

3D SZKENNEREK, TECHNOLÓGIÁK ALKALMAZÁSA AZ ÉPÜLETRÉGÉSZETBEN ÉS A MŰEMLEKVÉDELEMBEN

FEHÉR ANDRÁS¹

Magyar Régészet 13. évf. (2024) 1. szám, pp. 1–8. <https://doi.org/10.36245/mr.2024.1.1>

A földi lézerszkennerek (TLS, Terrestrial Laser Scanning) alkalmazásának előnyeit az építészetben és a műemlékvédelemben ma már kevesen vitatják. Az épületekhez kapcsolódó információkat kezelő rendszerek (BIM, Building Information Management) és az ilyen jellegű munkafolyamatok, illetve szabványok megjelenése, széles körű elterjedése, a megbízható adatokra való igény még indokoltabbá tette ezen eszközök intenzívebb használatát. Sokan már elképzelni sem tudják a rekonstrukciók, átépítések tervezését pontfelhő alkalmazása nélkül, mások még küzdenek a technológia kihívásaival. Írásunkban 15 esztendő gyakorlati tapasztalatait foglaljuk össze, amiket régészeti lelőhelyek, várak, templomok, paloták mérése, digitalizálása, modellezése során szereztünk. A leírtakat a visegrádi műemlék együttes, kiemelten a Királyi Palota felmérésének különböző fázisaiban készült eredménytermékekkel is illusztráljuk.

Az ásatások, objektumok felmérése során lehetnek olyan részletek (szobrok, domborművek, zárókövek, leletek), amelyek részletgazdag digitalizálásához a lézerszkennerek felbontása (milyen sűrűséggel, hány milliméterenként rögzít pontokat) már nem elegendő. Ezekben az esetekben a strukturált fényű vetítésen vagy fotogrammetrián alapuló technológiákat alkalmazzuk; írásunkban ezekre az esetekre is mutatunk példát.

Kulcsszavak: lézerszkennelés, épületrégészet, műemlékvédelem, pontfelhő, 3D modellezés

A LÉZERSZKENNELÉS, A PONTFELHŐ HASZNOSSÁGA

A technológia és az eszközök ismertetésétől ezúttal eltekintենek, számos írásból tájékozódhat az érdeklődő.² Annak megválaszolására vállalkoznánk, hogy aki már használja a szkennerek segítségével előálló pontfelhőt, miért elégedett és hogyan dolgozik vele, aki idegenkedik attól, milyen negatív élményeket szerezhetett, aki pedig most ismerkedik a technológiával, mire figyeljen.

A SziMe3D AR³ kutatás-fejlesztési projekt során elsősorban a kulturális örökség legkorszerűbb eszközeivel való felmérése, valamint bemutatása volt a célunk. Az azt követő évtized során több száz épületben, tucatnyi templomban (pl. Debreceni Nagytemplom, Nyírbátori Református templom), várbán, (pl. Szigliget, Salgó, visegrádi Fellegvár), régészeti lelőhelyen (pl. Győr, Duna kapu tér; Kalocsai Székesegyház) és palotában (pl. Falconieri palota, Róma; Alsópetényi kastély), valamint egyéb ipari létesítményben dolgoztunk, összességében több millió négyzetmétert mértünk fel és digitalizáltunk. Az e munkák során szerzett tapasztalatra, valamint a velünk partneri kapcsolatban álló építészek, művészettörténészek, régészek felhasználói ismereteire építünk írásunkban. Véleményünk szerint a pontfelhő legnagyobb előnye, hogy nem a felhasználó irányozza meg a pontokat, így a meghatározott pontok kiválasztása és irányzási hiba nem terheli a pontfelhőt, mely így pontos, alakhelyes és megbízható kiindulási alap, ami sok esetben még további anyag- vagy épülettörténeti információkat is hordozhat.

A 3D szkennelt adatállomány nem csupán a jövőbeni munkát segíti, hanem a jelen állapot egy pontos, aktuális felvételét is jelenti, így az átépítések, rekonstrukciók után is birtokunkban lesz egy megbízható „ilyen volt” adat. Ez nemcsak az értékmegőrzés és a műemlékvédelem szempontjából fontos, hanem az építész mindennapi munkáját is segíti. Megnyugtató, hogy bármikor rendelkezésünkre áll egy állomány, egy korrekt adatbázis, amelyről levezethetők olyan méretek, információk, amire korábban a helyszínen nem is gondoltunk. Amikor bonyolult, nehezen átlátható a terek egymáshoz való viszonya, a térkapcsolatok

¹ Mérnök, üzletfejlesztési igazgató, 4iG Nyrt, Mensor3D üzletág; e-mail: andras.feher@4ig.hu

² <https://www.laserscanning-europe.com/en/services/devices/terrestrial-laser-scanners>; BERÉNYI 2011.

³ https://www.youtube.com/results?search_query=szime3dar

értelmezésében is sokat segít a teljes látható felületeket magában foglaló pontfelhő. A visegrádi műemlék együttes tipikus példája ennek a problémának; a domborzati adottságok miatt a különböző szintek, pincék, alagutak egy nézetben való ábrázolása nagyban segítette a koncepcionális tervezést. A jelen dokumentálásának előnyét az épületek mozgásvizsgálatánál is ki tudjuk használni. Az egymást követő időpontokban felvett állományban figyelemmel kísérhetjük a változás mértékét és jellegét, időbeli alakulását.

Vörös Márta főépítész⁴ egy a középkori romokat védő, illetve bemutatásukat lehetővé tevő üvegtető tervezéséhez, az acélszerkezetek és üveglapok előregyártásához, az acéloszlopok pontos helyének (a romfalakat kerülő) megválasztásához is használta a pontfelhőt. Pontosán kiszámolható volt, hány darab előregyártott üveglapra lesz szükség, illetve mennyit kell a helyszínen méretre vágni; ennek gazdasági előnye vitathatatlan. Véleménye szerint ezt a feladatot hagyományos geodéziai módszerekkel nem, vagy csak nagy kockázattal lehetett volna elvégezni. Nem kívánjuk szembeállítani a lézerszkenneres technológiát a hagyományos geodéziai módszerekkel végzett felmérésekkel; utóbbi eszközöket magunk is használjuk. Elengedhetetlenek a méréseink regisztrációjának pontosításához, a hibahatár csökkentéséhez, és természetesen a mérések geodéziai koordináta-rendszerbe történő illesztéséhez is. Mindkét eljárásnak megvan a maga helye, szerepe. Annyit jelenthetünk ki biztosan, hogy a lézerszkenneres felmérés sokszorta nagyobb adathalmaza biztosabb támaszt jelent a tervezéshez, kivitelezéshez, mint a geodéziai felmérés korlátozottabb számú adatai.

Egy, az időjárási viszonyok miatt tönkrement Szentháromság-szobor újrafaragását azzal segítette a korábbi szoborról készült felmérés és digitalizáció, hogy a kőtömbök megrendeléséhez pontosan meg lehetett határozni azok optimális méretét, illetve a faragásuk során az egyes elemek változó sudarasságát.

Felhasználóink kiemelték a lézerszkennerral nyert pontfelhő esetében az intenzitásértékek különbözőségéből (azaz mennyi verődik vissza a lézersugárból az adott felületről) adódó többletinformáció hasznosságát, ami jelezheti a vizesedés mértékét, illetve felhívhatja a figyelmet egy korábbi rétegre vagy egy rejtett szerkezeti elemre.

A PONTFELHŐ FELDOLGOZÁSA

Milyen hibákat követhetünk el a hagyományos felmérés során, amit a pontfelhővel végzett munka során fedezhetünk fel?

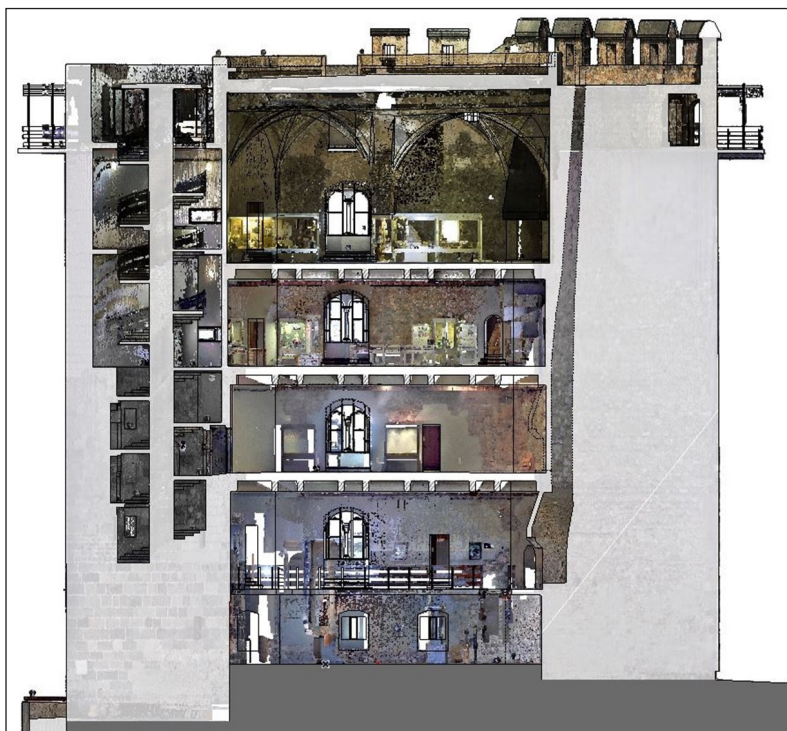
A hagyományos kézi felmérés során általában több szakértői csapat együttes munkával tudja hatékonyan „digitalizálni” az épületet. A különböző csapatok mérései közötti pontatlanságok, ábrázolástechnikai eltérések az irodai szerkesztés során kerülnek napvilágra. A tévesen generalizált elemek, az egyformának tűnő nyílászárók, falvastagságok vagy földérvastagságok csak pótméréssel korrigálhatók, ha az egyáltalán lehetséges. A lézerszkennerek alkalmazásával történő digitalizálással a helyszíni generalizálás, pontatlanság minimalizálható. A szkennerek és a mérőcsapatok száma a rendelkezésre álló időhöz igazítható, geodéziai támogatás mellett a teljes épület centiméter alatti pontossággal mérhető fel.

A pontfelhők komfortosabb felhasználásának ma még egyik jelentős akadálya az építész tervezőprogramok hatalmas mérete kapacitásukhoz képest. Az Autodesk termékei, például a ReCap Pro, vagy a Revit már jobban kezelik a lézerszkennelt adatokat. Az építészek által gyakran használt Archicad program nagyjából 100 millió pontban, közelítőleg 1GB fájl méretben korlátozza a kezelt pontfelhő méretét, amit könnyű meghaladni. Ezért is fontos az állomány szűrése, tisztítása, a felesleges részek eltávolítása, a pontfelhő darabolása, illetve esetleges ismételt mintavételezése. Ha egy épület homlokzatát rajzoljuk, a szomszédos épület kapcsolódása fontos, de érdektelen, mit látott a szkennerek az út másik oldalán, és ugyanígy haszontalan a homlokzatot elfedő fákról gyűjtött nagy méretű adathalmaz is. Belső részek feldolgozásakor törölni kell a bútorokat, függönyöket, a műtermékként keletkezett „szálló” pontokat. Ha sűrű a pontfelhő, akkor a decimált adathalmaz is elegendő lehet a munkához, illetve biztosan jó megoldás, ha kivágjuk a felhőből azt a részt, amivel dolgozni szeretnénk. A néhány cm vastag pontfelhő-szelet szinte már kész alaprajzot, metszetet vagy nézetet eredményez (1–2. képek).

⁴ Kalocsa-Kecskemét Főegyházmegyei Hivatal.



1. kép. Visegrád, Alsóvár-Salamon torony színes pontfelhő keresztmetszete



2. kép. Visegrád, Alsóvár-Salamon torony színes pontfelhő hosszmetzete

Többen vélekednek úgy, hogy a „kőműves pontosság” (kb. 2 cm) a pontfelhő esetében is elegendő, az ennél nagyobb eltéréseket kell csak majd a rajzban, modellben megjeleníteni. Falnyílások, bonyolult szerkezetek, erősen tagolt felületek, finomabb részletek, egyedi igény esetén szükség lehet fél centiméter alatti pontossággal meghatározni a felvett pontok távolságát. A technológiából adódó, nem orvosolható sajátosság, hogy az Archicadbe behívott pontfelhő megjelenítése nem paramétrezhető, vagyis sok jellemző sokféle értékének többféle módon lehetséges változtatása nem megoldható, ezért lehetnek olyan esetek, amikor az adatok nehezen értelmezhetők. Metszetek készítésekor a pontok 2D-be nem exportálódnak, a modell és pontfelhő együttes megjelenítését az utóbbiról levett képernyőkép segítségével tudjuk megoldani.

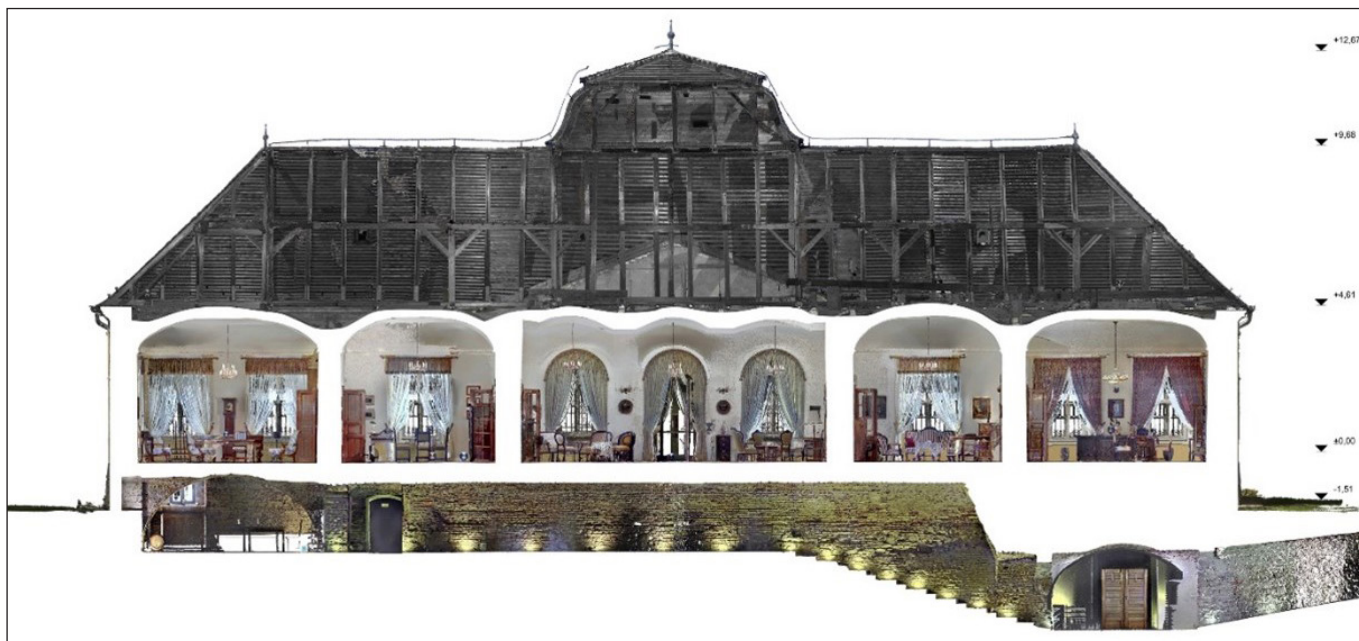
Látványos homlokzati, alaprajzi és metszeti nézet készíthető a pontfelhőből a merőleges vetítés módszerével. Az így kapott képek mérete helyes, és minden mért pontot magába foglal pixeles formában.

RAJZOK KÉSZÍTÉSE, MODELLEZÉS

Sokszor nehéz megválaszolni, hogy rajzok vagy modell készüljön inkább. A gyakorlat azt mutatja, hogy bonyolultabb, összetettebb, értékesebb épületek esetén célszerűbb a 3D BIM modell alkotás, de a díszített, ornamentális részletek ábrázolásához, a rekonstrukciós munka támogatásához nélkülözhetetlenek a részletgazdag 2D rajzok.

MILYEN HIBÁKAT KÖVETHETÜNK EL A MODELLEZÉS SORÁN?

Amennyiben a felmérést végző adatszolgáltató nem elég körültekintő a mérés során, a beépített szekrények, takart részek, álmennyezetek, álpadlók, a vizes blokkok elfedett vezetékezése okozhat tévedéseket a rajzok készítésekor. Ha szakági értelmezés nélkül, automatikusan másolunk a pontfelhőről, téves fal-, illetve földmestagságot vagy a valóságban nem is létező dolgokat ábrázolhatunk. Feldolgozáskor nélkülözhetetlen az építész tudás és a gyakorlat; amit nem láthatott a szkennerek, azt az építésznek kell felfedni, értelmezni. Tapasztalatunk szerint biztosabb és gyorsabb a pontfelhő feldolgozása, ha a felmérést végző személy építész szemlélettel bír, „meglátja” a falak mögött a szerkezetet. Üvegportálok, tükrök — különösen a vizesblokkok szűkebb tereiben lévők — olyan anomáliákat (jelenségeket, önmagukban nem értelmezhető eltéréseket)



3. kép. Alsópetényi kastély színes pontfelhő képe

mutathatnak, amelyek megfejtése szaktudást igényelhet. Különös figyelmet követel az adatszolgáltatóktól, ha a földi lézerszkennер-állományt drónok segítségével készült pontfelhővel egészítik ki, például a földről nem mérhető részletek, tetők, kémények, ornamentikák esetében. Ilyenkor a megfelelő számú és geodéziai eszközökkel is bemért kapcsolópontok alkalmazása elengedhetetlen. Itt említjük meg, hogy a visegrádi méréseket kisrepülőgépről készült LiDAR felvételekkel egészítettük ki, ezek alapján készült a Visegrádi-hegység terepmodellje.

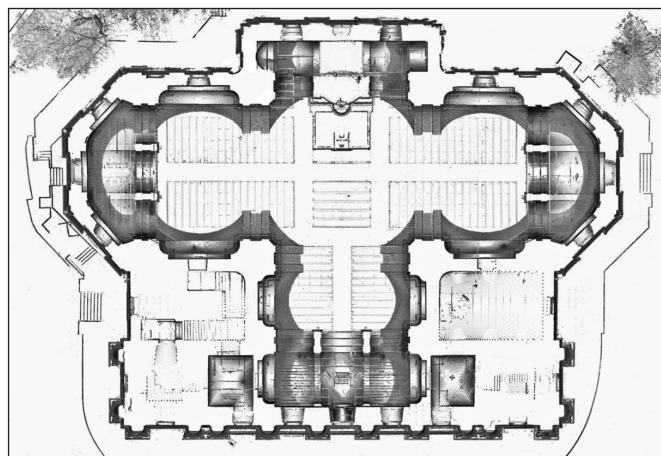
A hagyományos épületfelmérésnek része a fényképes dokumentáció. Sok esetben már a pontfelhő is olyan részletgazdag, mint egy fekete-fehér felvétel, azzal a további előnnyel, hogy 3D adatokat tartalmaz.

Ha a szkennelés során az eszközzel fényképfelvételeket is készítünk, akkor egy lépésben már ez a dokumentáció is előáll. Amennyiben az objektumról ortofotók, vagyis a perspektíva okozta torzulástól mentes képek vagy a pontfelhőből torzításmentes, ortogonális (merőleges) leképezéssel nézetképek (ld. 1. és 2. kép) is készülnek, a mért állományok megértése és a feldolgozása könnyebbé válik (3–4. képek).

Nem mindegy, hogy a modellezés támogatására milyen pontfelhő-megjelenítő programot és annak milyen beállításait használjuk; ennek alátámasztására mutatunk három képet ugyanabból az adathalmazból (5–8. képek).

Az ingyenes programokban is számtalan lehetőség van a pontfelhő szerkesztésére, szegmentálására, a pontok méretének változtatására, a felhasználónak legkedvezőbbnek tűnő megjelenítésre, nézetek beállítására, illetve a meshelt állomány (felszínmodell) előállítására. Programozói ismeretek birtokában egyedi elképzelések megvalósítása is támogatott. Az egyik leggyakrabban alkalmazott nyílt környezet a CloudCompare, mely felhasználói kézikönyvével együtt szabadon letölthető.

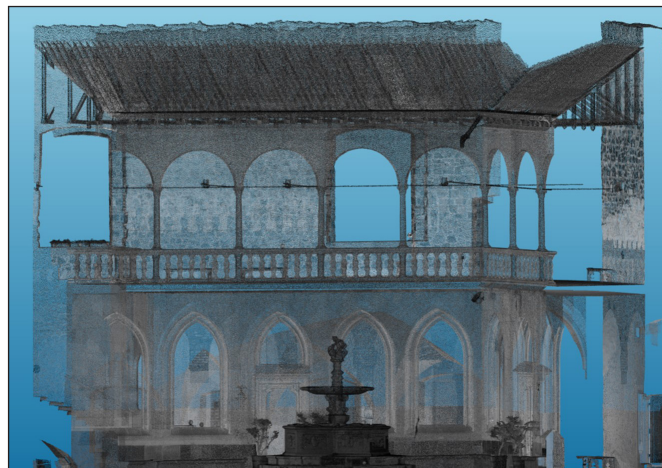
Tapasztalt építészek ragaszkodnak ahhoz az iskolához, amely szerint az épületet meg kell tanulni, az pedig csak a bejárások során készült kézi felmérések (manuálék), mérési jegyzetek, szabadkézi rajzok útján lehetséges. Véleményük szerint a pontfelhő nem helyettesíti a felmérési tervet, mert az is egyfajta interpre-



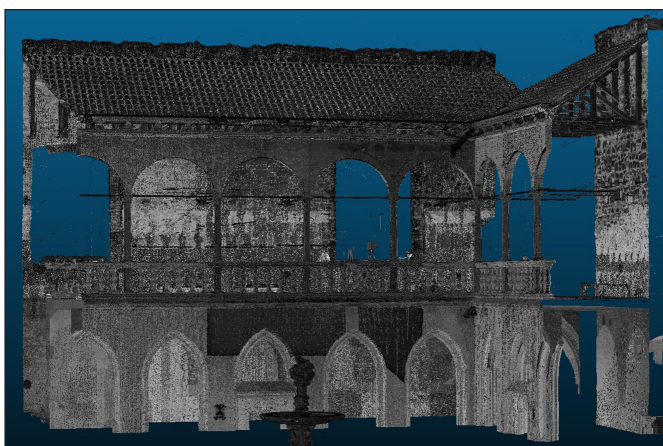
4. kép. Debreceni Nagytemplom pontfelhőből generált alaprajza



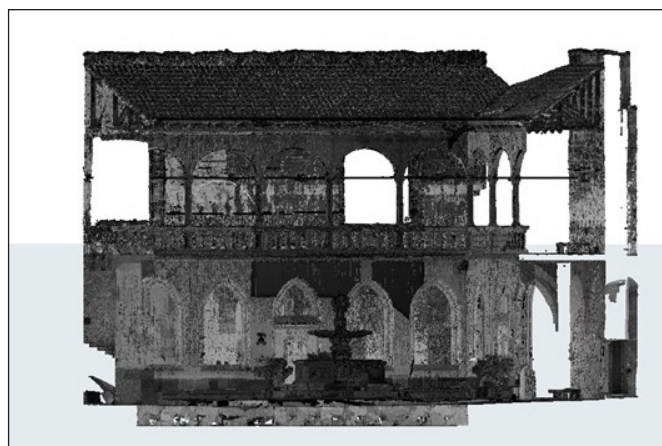
5. kép. Visegrádi Királyi Palota kerengőjének részlete a BIMcollab Zoom programban, intenzitásértékek megjelenítése nélkül, kiemelt éllel



6. kép. Királyi Palota kerengőjének részlete a BIMCollab Zoom programban



7. kép. A Visegrádi Királyi Palota kerengőjének részlete CloudCompare környezetben



8. kép. Pontfelhő megjelenítése ArchiCAD-ben

táció, ezért távolságtartással kezelendő. Ugyanakkor ők is elfogadják, hogy a 2D rajzok pontfelhővel kiegészítve rendkívül hasznosak lehetnek, többletinformációt hordoznak. Többen vannak azon a véleményen, hogy a színes pontfelhőképpel kiegészített rajz egy pályázaton, tervbírálaton hitelességével, szépségével elismerő „wow (húha) effektust” válthat ki.

Ha a lézerszkennelésnél részletgazdagabb digitalizálásra van szükség és a mérendő objektum mérete ezt megengedi, a strukturált fényű vetítésen alapuló technológiát alkalmazzuk. Ennek ma már komoly kihívója a fotogrammetria-alapú modellalkotás; magunk is használjuk mindkettőt. Utóbbit inkább akkor, ha nagy mennyiségű munkát kell elvégezni alacsonyabb követelményekkel, kevésbé részletező módon. A fotóalapú felületmodelleknél gyakran láthatunk lekerekített, elmosott, „elfolyt” éleket, olyan jelenséget, mintha a tárgyat valami sűrű folyadékkal öntötték volna le, ami mázat képzett a felületen. Jól használható méretű és kellően részletgazdag tárgymodellek elkészítéséhez gyakran veszünk igénybe gépészeti CAD programokat, amelyek segítségével a kívánt állományok könnyebben elkészíthetők. A faragott kövekről, bordákról, bonyolult faragású zárókövekről, fejezetekről, talpazatokról vagy szobrokról készült modellek jól illeszthetők a teljes objektumról készült modellekbe, emelve azok részletgazdagságát, szépségét (9–12. képek).

A visegrádi Fellegrár, az Alsóvár-Salamon torony, a völgyzáró fal és a Királyi Palota felmérési és digitalizálási munkáit az építészmodellek elkészítése koronázta meg; ezeket ArchiCAD környezetben készítettük el. A komplex geometriát vagy parametrikus tervezést magában foglaló 3D modellezésben kedvelt program a Rhino 3D, mert valódi tervezési szabadságot biztosít a más 3D-s tervezőprogramban található korlátok nélkül. A parametrikus tervezés megkönnyíti az épületek organikus formáinak megvalósítását; olyan új



9. kép. Zárókő modellje Mátyás király címerével a visegrádi Fellegvárból



10. kép. Zárókő 3D szkennelése a visegrádi ferences kolostorban

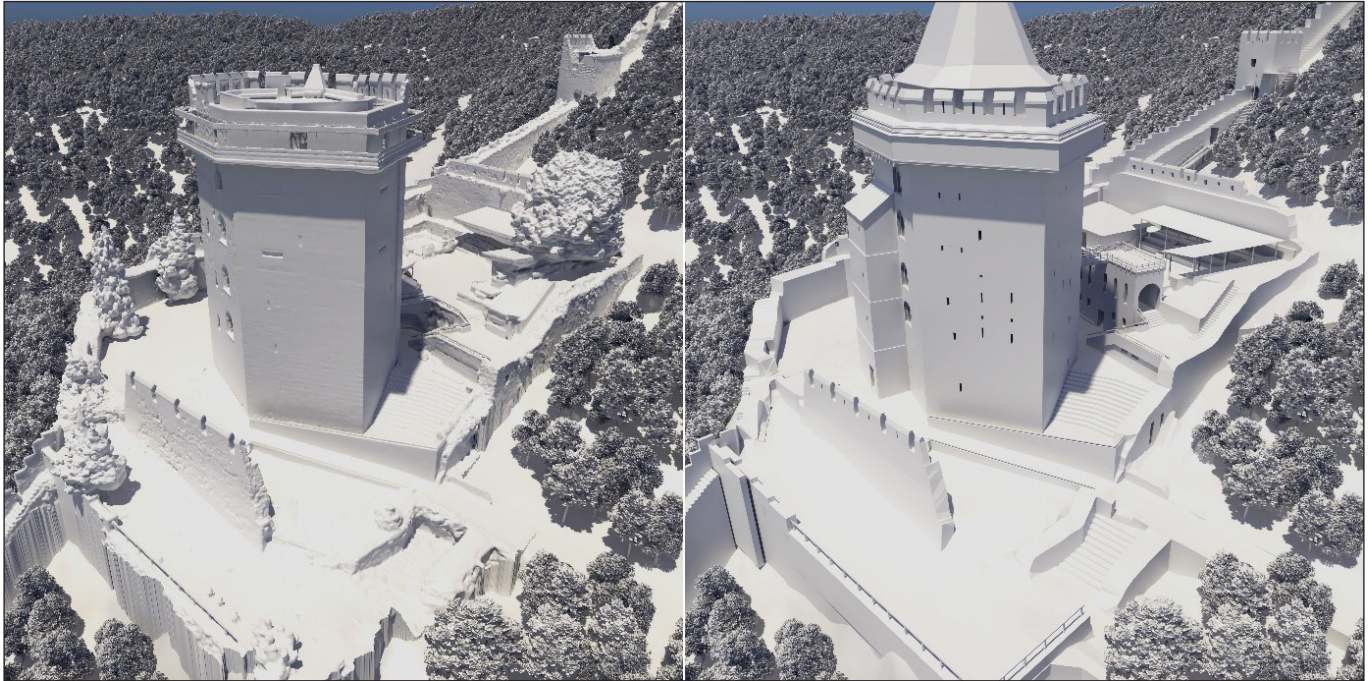


11. kép. Zárókő modellje a visegrádi ferences kolostorból



12. kép. A visegrádi ferences kolostor kápolnaboltozatának rekonstrukciója a szkennelt kőállomány felhasználásával (SziMe3D AR projekt Szőke Balázs munkája)

formákat, szerkezeteket alkothatunk, amelyeket a szokásos eszköztárunkkal lehetetlen lenne megrajzolni. A paraméterek megváltoztatásával a teljes geometriát megváltoztathatjuk, így lehetőség nyílik a lehetséges formai és működési változatok vizsgálatára is. Igényesebb részletek, például a Királyi Palota északnyugati szárnyára tervezett Mátyás király korabeli zárterkély tervezése Archicadben jelentős kihívás volt. A koncepcionális terv modelljeit, ahol ez megoldható volt, három szintben készítettük. Ábrázoltuk a jelenlegi, felmért állományt, a megalapozott rekonstrukciót és — ahol nem állt rendelkezésünkre kellő információ — a hipotetikus modellt. A tervezési feladatokat a műemlékeket legjobban ismerő, azok régészeti feltárásában résztvevő, a korábbi építéseket tervező, illetve azokban közreműködő szakemberek támogatták.



13. kép. Visegrád, Alsóvár-Salamon torony: bal oldalon a pontfelhő meshelt képe, jobb oldalon a megalapozott koncepcionális modell

Sokéves tapasztalatunk és a bemutatott példák bizonyítják, hogy a lézerszkennelt állománynak az épülettergészeti és műemlékvédelmi projekteknél nincs valódi alternatívája (13. kép).

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet a 4iG Nyrt. Mensor3D üzletág munkatársainak, különösen Surina Dóranak és Hadzijanisz Konsztantinosznak munkám támogatásért, a képek elkészítésében való közreműködésért.

HIVATKOZOTT IRODALOM

Berényi A (2010). *Földi lézerszkennelés mérnökgeodéziai célú alkalmazása*. PhD értekezés [kézirata](#)

JAVASOLT IRODALOM

Almukhtar, A., Osama, Z., Abanda, H. & Tah, J. H. M. (2021). Reality Capture of Buildings Using 3D Laser Scanners. *CivilEng* 2021: 2, 214–235. <https://doi.org/10.3390/civileng2010012>

Ebolese, D. & Lo Brutto, M. (2020). Study and 3D survey of the Roman baths in the archaeological site of Lylibaenum (Marsala, Italy). In *International Conference Florence Heri-tech: the Future of Heritage Science and Technologies, 14–16 October 2020*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 949, Red Hook, NY: Curran Associates, 850–857. <https://www.researchgate.net/publication/345692340>

Ebolese, D., Dardanelli, G., Lo Brutto, M. & Sciortino, R. (2018). 3D Survey in complex archaeological environments: an approach by terrestrial laser scanning. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42:2, 325–330. <https://www.researchgate.net/publication/325469684>

- Lee, J., Hong, S., Cho, H., Park, I., Cho, H. & Sohn H-G. (2015). Accuracy Comparison Between Image-based 3D Reconstruction Technique and Terrestrial LiDAR for As-built BIM of Outdoor Structures. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography* 33:6, 557–567. <http://dx.doi.org/10.7848/ksgpc.2015.33.6.557>
- Krnić, Đ., Vujinović, M., Batilović, M., Marković, M. & Budimirov, T. (2023). Investigation of Objects Verticality Using Terrestrial Laser Scanner. In *16th International Scientific Conference iNDiS 2023At: Vrdnik, Serbia*. <https://www.researchgate.net/publication/375901760>
- Kuzmić, T., Marković, M., Batilović M. & Bulatović, V. (2021). *Application of Terrestrial Laser Scanning Technology for the Purpose of Creating 3D Models of Objects*. FIG e-Working Week 2021. smart Sureyors for Land and Water Management – Challenges in a New Reality. virtually in the Netherlands, 21–25 June 2021. <https://www.researchgate.net/publication/357737039>
- Lipowiecki, I., Rządowski, W., Zapał, W. & Kowalikn M. (2023). Combining the Technology of Long-Range Laser 3D Scanners and Structured Light Handheld 3D Scanners to Digitize Large-Sized Objects. *Advances in Science and Technology – Research Journal* 17:3, 196–205. <https://doi.org/10.12913/22998624/166186>
- Russhakim, N. A. S., Ariff, M. F. M., Majid, Z., Idris, K. M., Darwin, N., Abbas, M. A., Zainuddin, K. & Yusoff, A. R. (2019). The Suitability of Terrestrial Laser Scanning for Building Survey and Mapping Application. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 42:2/W9, 663–670. <https://www.researchgate.net/publication/330771641>
- Suhari, K. T., Purwanto, H. & Sai, S. S. (2023). Terrestrial Laser Scanning for 3D Assets Registry. *Indonesian Journal of Computer Science* 12:2, 528–538. <http://ijcs.stmikindonesia.ac.id/ijcs/index.php/ijcs/article/view/3195>
- Suchocki, C., Okrój, S. & Błaszczak-Bąk W. (2023). Methodology for the measurement and 3D modelling of cultural heritage: a case study of the Monument to the Polish Diaspora Bond with the Homeland. *Reports on Geodesy and Geoinformatics* 116, 1–8. <https://sciendo.com/article/10.2478/rgg-2023-0005>
- Verykokou S. & Ioannidis, C. (2023). An Overview on Image-Based and Scanner-Based 3D Modeling Technologies. *Sensors* 23:2, 596. <https://doi.org/10.3390/s23020596>
- Li, Zh., Zhang, Y. & Du, W. (2023). *The Forward Modeling and 3D Printing of a Historical Building*. Preprint. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3696342/v1>