

Structure from Motion-alapú fotogrammetria és 3D-térrekonstrukció a pānkāni régészeti lelőhelyen (2014–2021)¹

Takáts Mór Bendegúz

PPKE BTK Régészettudományi Intézet, egyetemi tanársegéd

Structure-From-Motion-Based Photogrammetry and 3D Spatial Reconstruction at the Pānkān Archaeological Site (2014–2021).

Abstract: This study presents the application of Structure-from-Motion (SfM) photogrammetry and 3D spatial reconstruction methods at the archaeological site of Pānkān (Iraqi Kurdistan, 36 km northeast of Erbil), conducted by the Kurdish–Hungarian Archaeological Mission (KHAM) between 2014 and 2021. The digital documentation of the late Sasanian and early Islamic architectural complex resulted in high-precision, georeferenced 3D models and geographic information system (GIS) analyses. These integrated models facilitated detailed spatial analyses of the site and ensured digital preservation of cultural heritage, particularly considering the region's unpredictability and associated risks. This research was supported by the EKÖP-24-4 University Research Grant Program, financed by the National Research, Development, and Innovation Fund.

Absztrakt

A tanulmány a Structure from Motion (SfM) fotogrammetria és a 3D-térrekonstrukció alkalmazását mutatja be a pānkāni régészeti lelőhelyen (Iraki Kurdistan, Erbil-től 36 km-re északkeletre) a KHAM (Kurdisztáni–Magyar Régészeti Misszió) 2014–2021 közötti kutatásai során. A feltárt késő Szasszanida- és korai iszlám kori épületkomplexum digitális dokumentálása révén nagy pontosságú, georeferált 3D-modellek és térinformatikai (GIS) elemzések készültek. Az integrált modellek lehetővé tették a lelőhely térbeli elemzését, valamint a kulturális örökség digitális megőrzését, különös tekintettel a régió kiszámíthatatlanságából adódó veszélyekre. A kutatás az EKÖP-24-4 Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Program keretében, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap támogatásával valósult meg.

1. Bevezetés

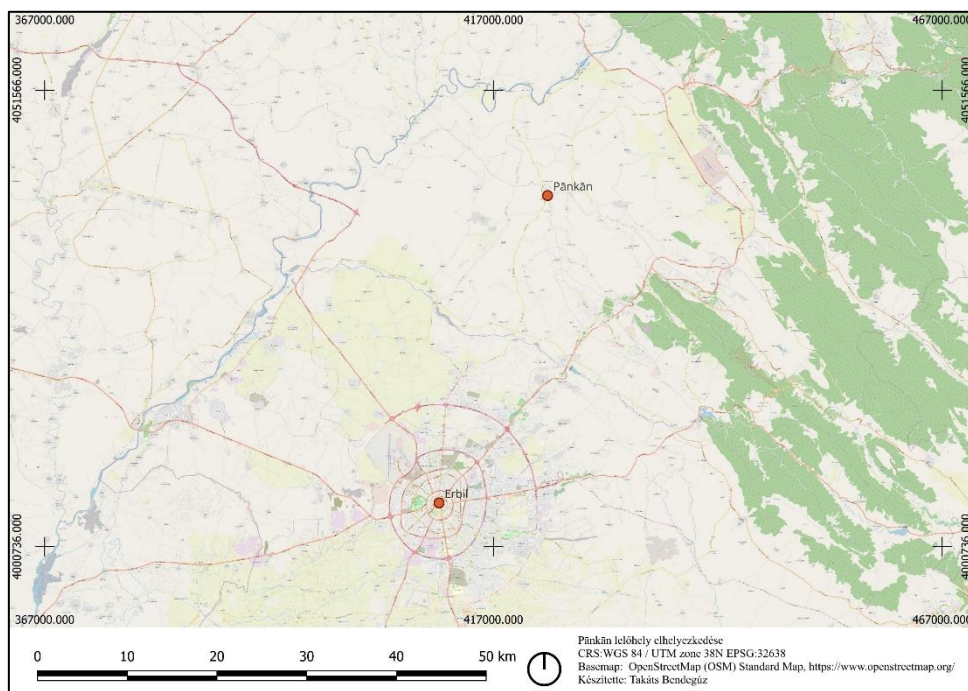
Pānkān régészeti lelőhely Iraki Kurdistan Regionális Kormányzata területén, Erbil-től mintegy 36 km-re északkeletre található (1. ábra). A tanulmányhoz felhasznált adatokat a Pázmány Péter Katolikus Egyetem Régészettudományi Intézetének Kurdisztáni–Magyar Régészeti Missziója (KHAM)² által végzett terepmunkák során gyűjtött kutatási

¹ A tanulmány a Kulturális és Innovációs Minisztérium EKÖP-24-4 kódszámú Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

² A Kurdisztáni–Magyar Régészeti Misszió a Pázmány Péter Katolikus Egyetem Régészettudományi Intézete, az erbíli Szalahaddin Egyetem Régészeti Tanszéke, valamint az Erbíli Régészeti Igazgatóság (a Kurd Regionális Kormány Kulturális Örökségvédelmi Főigazgatóságának felügyelete alatt) közös kutatási programja. A projekt központi helyszíne Dwin vára és az annak közvetlen környezetéhez tartozó Pānkān, amelynek kutatása dr. Zidan Bradosty irányításával indult, és amelyet később a kurd oldalon dr. Aziz Zebari, a magyar oldalon pedig dr. Major Balázs és Takáts Bendegúz vezetett tovább.

A kutatások megvalósulását elsősorban a MOL (Magyar Olaj- és Gázipari NyRt.) és a Pázmány Péter Katolikus Egyetem KAP (Kutatási Alapú Program) támogatása tette lehetővé, a legutóbbi években pedig

eredmények szolgáltatották. A feltárások során egy megközelítőleg 70×70 méteres, késő Szasszanida- és korai iszlám kori erődtített épületkomplexum maradványai kerültek elő,³ amelyek arra utalnak, a helyszín szerepe a történelem folyamán jelentősen megváltozott. A lelőhely egy instabil politikai helyzetű régióban helyezkedik el; évtizedes konfliktusok és elszigeteltség miatt a térség számos régészeti emléke feltáratlan maradt egészen a 2010-es évekig. Bár az utóbbi időszak viszonylagos békéje lehetővé tette új kutatások indítását, a kulturális örökség továbbra is erősen ki van téve a pusztulás veszélyének. A térségben zajló politikai bizonytalanságok, időszakos fegyveres konfliktusok és a helyi műemlékvédelmi infrastruktúra hiánya miatt a feltárt épületek állapota folyamatosan romlik. Ebben a kontextusban kulcsfontosságú a lelőhely részletes és modern eszközökkel történő dokumentálása, valamint virtuális megőrzése, hogy az onnan nyert információk akkor is hozzáférhetők maradjanak, ha a fizikai emlékek tovább károsodnának vagy megsemmisülnének.



1. ábra: A lelőhely elhelyezkedése
 (készítette: Takáts Bendegúz; BaseMap licenc; © OpenStreetMap)

az Emberi Erőforrások Minisztériuma biztosított hozzá forrást. A misszió az „Archeológiai kutatások Magyarország és a Kelet kapcsolatrendszeréről” című projekt (Keleti örökségünk, PPKE Történeti és Régészeti Interdiszciplináris Kutatócsoport; TKP2020-NKA-11) keretében valósul meg a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal Tematikus Kiválósági Programjának támogatásával.

Ezúton mondunk köszönetet Magyarország Erbil Főkonzulátusának, Mala Awat úrnak, dr. Kayfi Ali, dr. Nader Babakr, dr. Zidan Bradosty, dr. Aziz Zebari, dr. Yadgar Argoshi munkatársaknak, valamint a kurd és magyar csapat valamennyi tagjának az elkötelezett és lelkes közreműködésükért.

³ A pānkāni épületkomplexum bemutatásához lásd Major, 2022, 560–563.

A KHAM 2014-ben kezdte meg Pānkānban a régészeti terepmunkákat, és több szezonen át (2014, 2015, 2016) folytatta a komplexum felszíni maradványainak felmérését. A hagyományos régészeti dokumentáció mellett kezdettől fogva modern digitális módszerek is alkalmazásra kerültek: GNSS- és total station-alapú geodéziai felmérés, drónnal támogatott légi fényképezés, valamint Structure from Motion (SfM) fotogrammetriai⁴ rögzítés alkalmazásával zajlott a lelőhely és közvetlen környezetének felmérése. Ennek eredményeként hatalmas mennyiségű nyers térbeli információt tartalmazó adathalmaz gyűlt össze (fényképek, mérési pontok, térképek), amelyek részletgazdagon rögzítik a lelőhely jellegzetességeit. A lelőhelyet teljes mértékben lefedő légi felmérés adatgyűjtése RPAS alapon történt, amely kezdetben DJI Phantom 2 GoPro kamera kombinációjával (2014), majd DJI Phantom 3 Professional típusú drónrendszer felhasználásával (2015–2016) biztosított átlapoló fényképsorozatot a 3D-fotogrammetriai⁵ feldolgozáshoz. Ez az adathalmaz képezi egy átfogó utófeldolgozás alapját, amelynek keretében megtörtént a lelőhely 3D-s rekonstrukciója és a kapcsolódó térinformatikai (GIS) elemzések elvégzése. A projekt fő célja a pānkāni épületmaradványok 3D-s rekonstruálása és a különböző történeti korszakokban létrejött térbeli elrendezésének vizsgálata, valamint egy esettanulmány bemutatása arra, miként segíthetik a modern digitális technikák (fotogrammetria, 3D-modellezés, integrált adatfeldolgozás) a veszélyeztetett régészeti örökség tudományos dokumentálását és megőrzését.

2. SfM-fotogrammetria a 3D-dokumentáció szolgálatában

A pānkāni lelőhely térbeli dokumentálásának központi eleme az SfM-fotogrammetriai módszer,⁶ amely lehetővé teszi, hogy egyszerű fényképek segítségével pontos 3D-modellt hozzunk létre az ásatási területről. Az SfM-fotogrammetria lényege, hogy az átfedő fotókon azonosított közös képpontokat algoritmusok segítségével térbeli koordinátákkal látjuk el, ezáltal a képsorozatból felépíthető a jelenet 3D-s modellje.⁷ A 2014–2016-os évadokban gyűjtött több ezer felvételt (mind a drónnal készített légi fotókat, mind a földfelszíni ásatási fényképeket) ilyen módon dolgoztuk fel. A feldolgozáshoz az Agisoft Metashape Professional szoftvert alkalmaztuk. E korszerű szoftver fejlett algoritmusai rendkívül sűrű és pontos 3D-pontfelhők, illetve textúrázott felületmodellek generálását tették lehetővé a fényképes adatokból.⁸ Minden ásatási szezont fotóanyagát kezdetben külön kezeltük, így először évadonként különálló részmodellek készültek el a lelőhely feltárt részeiről. A fotogrammetria

⁴ A földi fotogrammetriáról lásd Magnani et al., 2020, 744–746.

⁵ A légi régészeti georeferáláshoz és ortofotók készítéséhez lásd Verhoeven et al., 2012, 2061–2062.

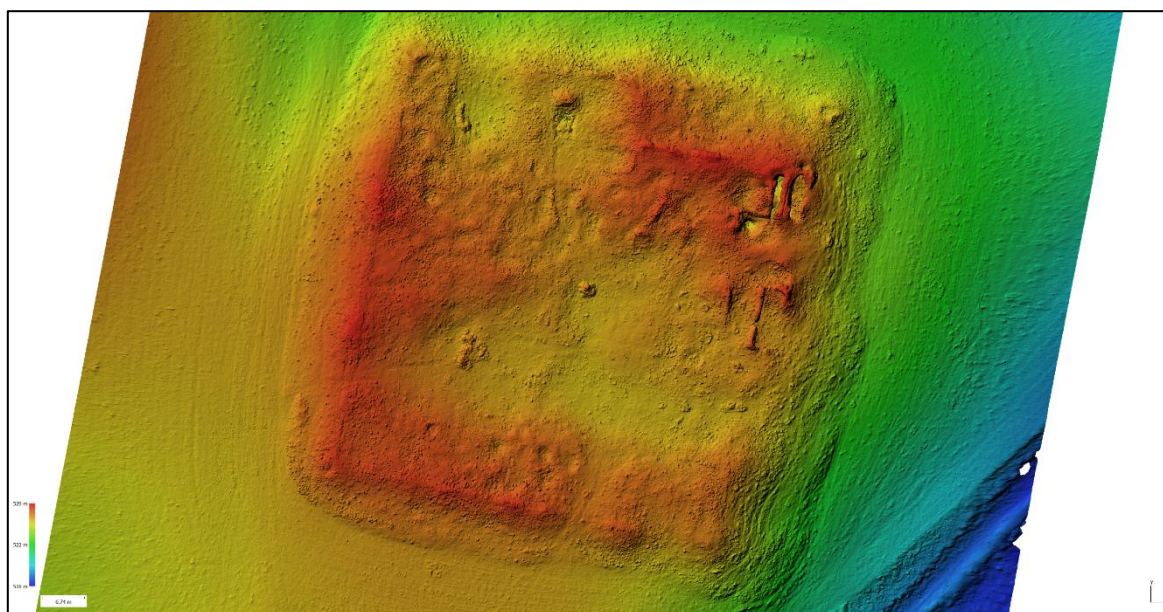
⁶ A fotogrammetriai modellekről a régészetben lásd Marín-Buzon et al., 2021, 1–4; Barszcz, 2021, 1–5.

⁷ Ehhez lásd Doneus et al., 2011, 82–83.

⁸ A régészeti célú fotogrammetriai felhasználásról lásd Marín-Buzon et al., 2021, 1–4; Doneus et al., 2011, 83–85; Takáts, 2019, 23–34.

eredményeképpen a modelleken például jól kivehetők a falak alapozásai, a padlószintek, sőt akár az apróbb objektumok (tűzhelyek, cölöphelyek) is, és néhány milliméteres pontossággal be is mérhetők. Ez a részletgazdagság jóval meghaladja a hagyományos kézi rajzolás vagy egyedi ortofotók nyújtotta dokumentációs szintet, és biztosítja, hogy a falazatok és üledékek finom részletei is megőrződjenek digitális formában.⁹

A fotogrammetriai feldolgozás során kiemelt figyelmet kapott a modellek méretbeli és földrajzi regisztrációja. A geodéziai alappontok (korábban Leica GS14 GNSS-szel¹⁰ és TSO6¹¹ mérőállomással bemért illesztőpontok) felhasználásával minden 3D-modell georeferálása valós koordinátákkal készült el, így a fotogrammetriai rekonstrukciók a terepi viszonyoknak (2. ábra) megfelelő méretarányban és tájolással kerültek előállításra. A külön-külön elkészült évadmodelleket ezt követően közös koordináta-rendszerbe sikerült illeszteni. Az egyes terepmunkaszezonok átfedő ásatási területein azonosított illesztőpontok segítségével történt a részmodellek egyesítése, amelynek eredményeként egyetlen egységes mestermodell készült el (2. ábra). Ez a teljes, georeferált 3D-modell lefedi az egész feltárt épületkomplexumot, és lényegében egy nagy felbontású, méretpontos „3D-pillanatfelvételt” ad a lelőhelyről, ahogyan az az ásatások idején kinézett (3. és 4. ábra).

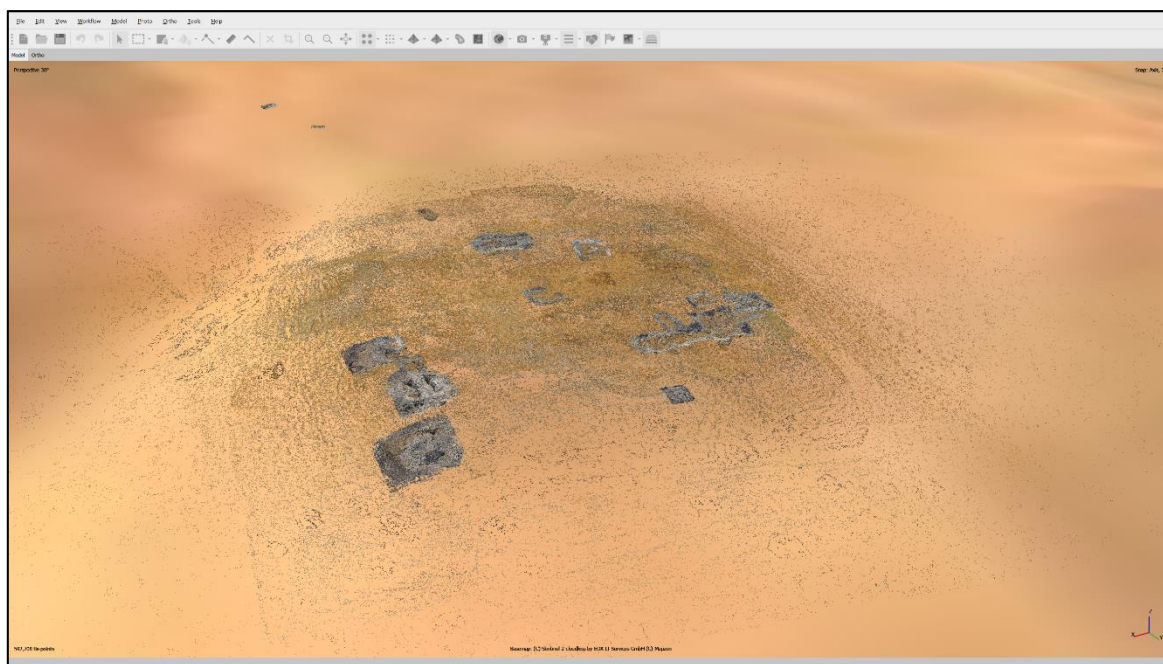


2. ábra: A pānkāni épületkomplexum digitális magasságmodellje (DEM; illusztráció: Takáts Bendegúz)

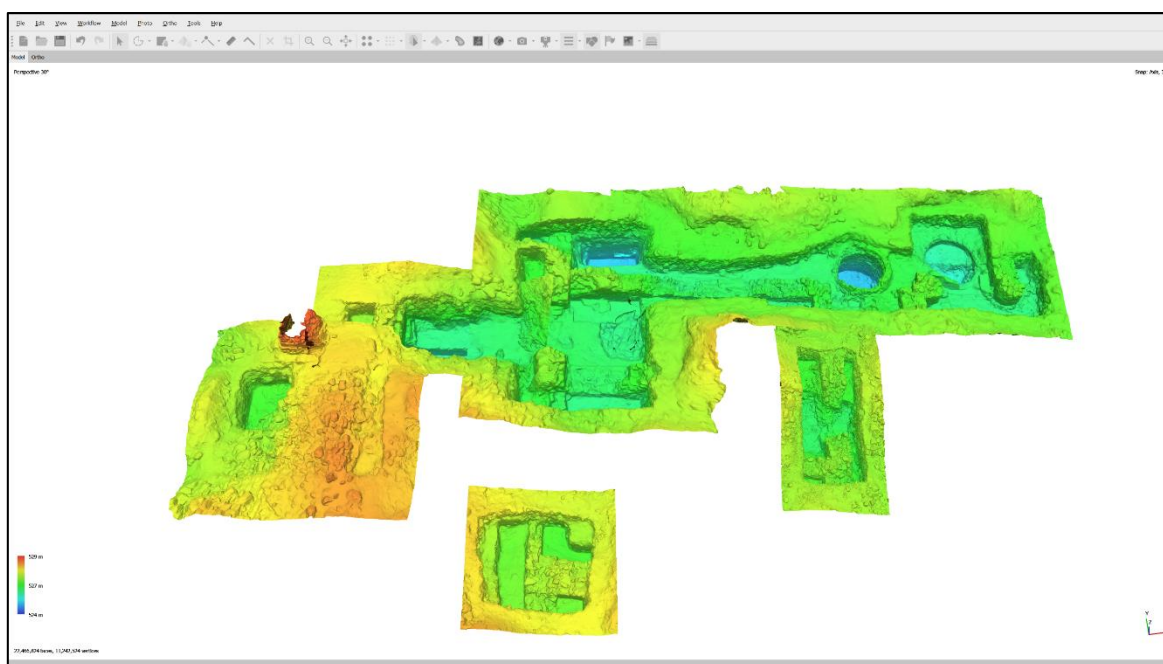
⁹ A régészeti célú 3D-felhasználásról lásd Lanjouw, 2016, 2–8.

¹⁰ Lásd https://leica-geosystems.com/-/media/files/leicageosystems/products/datasheets/leica_viva_gs14_ds.ashx?la=en.

¹¹ Lásd https://leica-geosystems.com/-/media/files/leicageosystems/products/brochures/leica_flexline_tso6plus_bro.ashx?la=en.



3. ábra: A 2018–2021 közötti feltárási szelvények összesített mestermodell 3D-pontfelhője az Agisoft Metashape Professional szoftveren belül, 3D-domborzatmodell-nézetben (készítette: Takáts Bendegúz; BaseMap licence; © Sentinel-2 cloudless by EOX IT Services GmbH Mapzen)



4. ábra: A 2019-es feltárás északi szelvényeinek összesített 3D-modellje az Agisoft Metashape Professional szoftveren belül, 3D-magasságszínezéssel (készítette: Takáts Bendegúz)

3. Az ásatási szelvények integrált térrekonstrukciója (2014–2021)

A 2014–2021 közötti terepi adatgyűjtés alapján a lelőhely részleges és teljes térrekonstrukciója is megvalósult. Összesen 19 ásatási szelvény 3D-dokumentációjára és modellrekonstrukciójára került sor a különböző terepmunkaszezonokban. Az így elkészült szelvénymodelleket egyesítve – az előzőekben ismertetett georeferálás és illesztés révén – a projekt során sikerült egységesíteni a téradatokat és integrált módon feldolgozni valamennyi feltárási szezon eredményeit. A 2014–2021 között dokumentált és feltárt összes objektum és réteg egy közös koordináta-rendszerben, egyetlen térbeli adatbázisban összegezve áll rendelkezésre. Az egybeszerkesztett 3D-modellek révén elkészült a feltárt épületkomplexum teljes körű virtuális rekonstrukciója, amely lehetővé teszi a lelőhelyen belüli viszonyok térbeli elemzését és a különböző ásatási egységek közötti kapcsolatok vizsgálatát.

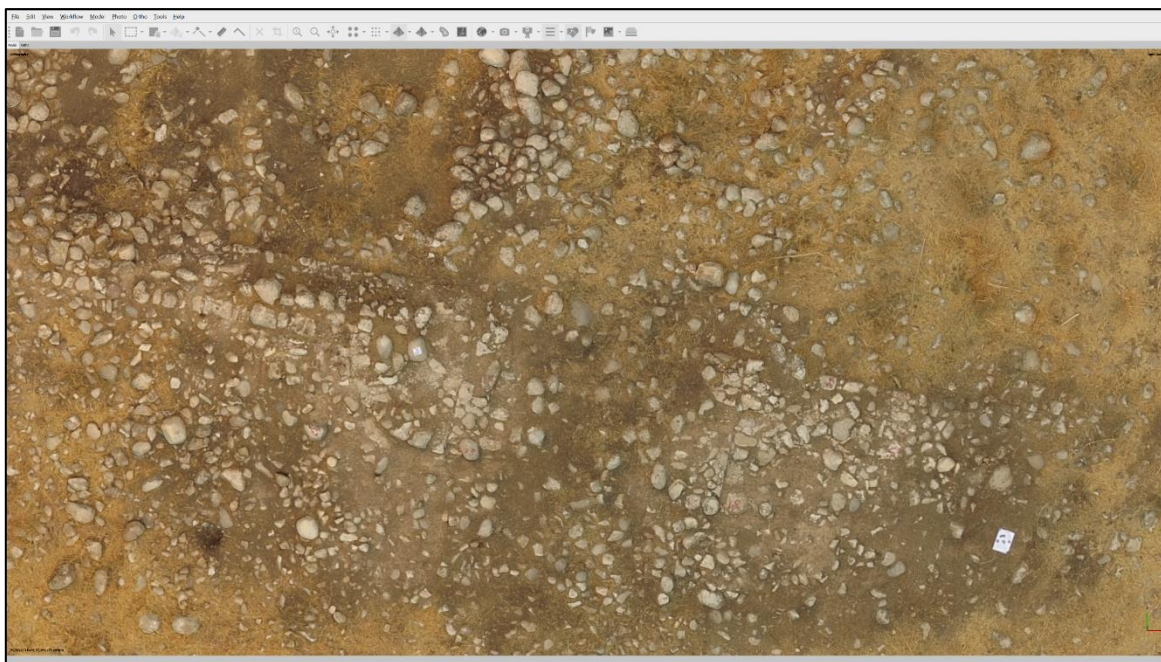
Fontos eredmény, hogy a teljes lelőhely terepmodellje is előállt a fotogrammetriai feldolgozás kiterjesztésével. Az ásatást megelőzően végzett részletes topográfiai felmérések (terepi szintezés, domborzatmérés) és a drónos légi fotófelvételek kiértékelése alapján digitális domborzatmodell készült a lelőhely tágabb környezetéről. Ezt összeillesztve a feltárt részek 3D-modelljével létrejött a lelőhely virtuális modellje a feltáratlan területekkel együtt. Ez a teljeskörű 3D-rekonstrukció azt jelenti, Pānkān feltárt struktúrái a környező természetes tereppel együtt vizuálisan és térinformatikailag is tanulmányozhatók, mintha a helyszín egy virtuális valóságban bármikor „bejárható” lenne.¹²

4. A GIS- és CAD-alapú feldolgozás eredményei

A fotogrammetriai úton létrehozott 3D-modellek nem öncélú végeredmények, hanem kiindulópontul szolgálnak számos további elemzéshez és hagyományos dokumentációs termék előállításához. A sűrű pontfelhőkből és textúrázott felületmodellekből többféle kimenet készült. Egyrészt ortomozaik-alapú térképeket (felülnézeti, méretarányos légifotó-mozaikokat) hoztunk létre (5. és 6. ábra), másrészt a 3D-modellek metszésével digitális domborzatmodelleket (DTM), melyeket különböző síkmetszetek (függőleges metszetrajzok) egészítettek ki. Ezekből az állományokból álltak elő a lelőhely alaprajzai és metszetrajzai, amelyek a hagyományos régészeti tervdokumentáció kiegészítéseként bírnak jelentős szereppel. A 3D-adatokból származó 2D-rajzok elkészítése térinformatikai (GIS) és tervezőprogramok (CAD) alkalmazásával történt, amelyek közül a QGIS és az AutoCAD Map 3D szoftver különös hangsúlyt kapott.¹³ Ennek köszönhetően a generált alaprajzok és metszetek georeferáltak, méretarányhűek és megfelelnek a szakmai ábrázolási normáknak, így közvetlenül felhasználhatók publikációkban vagy további elemzésekben is.

¹² A régészeti célú 3D-dokumentálásról lásd Mañana-Borrazás et al., 2016, 99–108.

¹³ Ezekhez lásd Dell’Unto & Landeschi, 2022, 29–31.



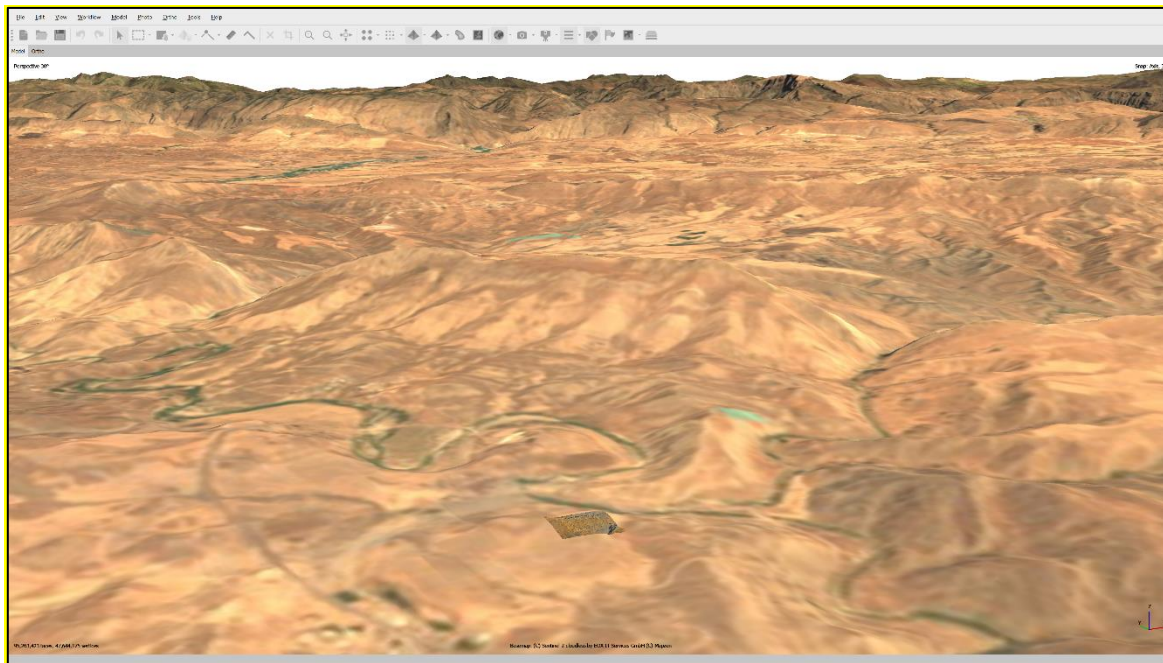
5. ábra: Felülnézeti ortografikus részlet a 2016-os 3D-felmérés modelljéről az épületkomplexum déli bejáratának felszíni maradványainál az Agisoft Metashape Professional szoftverben (készítette: Takáts Bendegúz)



6. ábra: Az épületkomplexum déli bejáratának feltárt állapota (2019/I. szelvény) ortografikus felülnézetben az Agisoft Metashape Professional szoftverben (készítette: Takáts Bendegúz)

A 3D-modellek térinformatikai integrációja révén lehetővé vált a lelőhely térbeli viszonyainak részletesebb vizsgálata. A georeferált modellekből kinyert adatok a QGIS környezetében kerültek összevetésre egyéb térbeli állományokkal, többek között

műholdfelvételekkel és a tágabb környezet domborzati modelljével (7. ábra). Ennek eredményeként a lelőhely táji kontextusának – például vízforrásokhoz vagy hegyi átjárókhoz való viszonyának – pontosabb értelmezése is megvalósítható.



7. ábra: 3D-domborzatmodellel egyesített 3D-modell az Agisoft Metashape Professional szoftverben (illusztráció: Takáts Bendegúz; BaseMap licenc; © Sentinel-2 cloudless by EOX IT Services GmbH Mapzen¹⁴)

A projekt során a CloudCompare nevű nyílt forráskódú pontfelhő-feldolgozó szoftver a 3D-pontfelhők finomhangolásában bizonyult hatékony megoldásnak, amely a nagy méretű pontfelhők tisztításában, ritkításában és módosításában is fontos szerepet töltött be. Ez lehetővé tette az egyesített modellek vizuálisan és számítási szempontból is kezelhetőbb állományának létrehozását. A CloudCompare lehetőséget ad továbbá kvantitatív összehasonlító elemzésekre is: például különböző időpontban készült modellek összevetésére, a változások kimutatására, illetve egy adott pontfelhőn belül a finom felszínváltozások detektálására. Jelen esetben elsődlegesen egy időmetszet (a feltárás ideje) állt rendelkezésre, de a programot bizonyos épületrészeknek a teljes pontfelhőn belül történő elkülönítésére és vizualizálására is használtuk. Végül, a fotogrammetriai úton nyert 3D hálómódellet (mesh) állítottuk elő.

¹⁴ A Sentinel-2 cloudless 2024 (<https://s2maps.eu/>) by EOX IT Services GmbH (<https://eox.at/>) a Creative Commons Nevezd meg! – Ne add el! – Így add tovább! 4.0 nemzetközi licenc (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>) alatt áll. Az előírt attribútum a megadott linkeket is beleértve: „Sentinel-2 cloudless – <https://s2maps.eu> by EOX IT Services GmbH (tartalmazza a módosított Copernicus Sentinel 2024 adatokat)”.

Az ásatás digitális feldolgozása során több szakprogram együttes alkalmazására volt szükség, amelyek mindegyike a munkafolyamat különböző fázisait támogatta:

- Agisoft Metashape Professional:¹⁵ fotogrammetriai feldolgozószoftver, amellyel a drónfelvételekből és helyszíni fotókból nagy felbontású pontfelhőket és textúrázott 3D-modelleket állítottunk elő (SfM-algoritmusokkal).
- Autodesk ReCap Pro:¹⁶ az AutoCAD-ben is jól kezelhető pontfelhőállományok létrehozásában töltött be fontos szerepet; a Metashape-ből exportált állományok a ReCap saját formátumban (.rcp) CAD-es környezetben is hatékonyan alkalmazható adatállományok előállításában bizonyult hatékony szoftvernek.
- CloudCompare:¹⁷ nyílt forráskódú 3D-pontfelhő-kezelő alkalmazás, amelyet a fotogrammetriai pontfelhők utófeldolgozására (zajszűrés, redukció) és elemzésére (modell-összehasonlítás, metszetek készítése) használtunk.
- QGIS:¹⁸ térinformatikai szoftver; ennek segítségével a georeferált 3D-modelleket térképi környezetbe illesztettük, integráltuk más térbeli adatokkal (ortofotók, domborzat, lelőhelyek) és térbeli elemzéseket végeztünk rajtuk.
- Autodesk AutoCAD Map 3D:¹⁹ CAD-szoftver térinformatikai funkcionalitással; a terepmodell és az épületmaradványok adatait ebben felhasználva készítettük el a lelőhely alaprajzi és metszeti rajzait, biztosítva a dokumentáció mérnöki pontosságát.

5. Összegzés és örökségvédelmi jelentőség

Összefoglalva, a pānkāni lelőhely 3D-dokumentációja és virtuális rekonstrukciója jól mutatja, hogy a modern digitális technikák alkalmazása miként egészítheti ki a régészeti kutatást és az örökségvédelem eszköztárát. Az intenzív fotogrammetriai felmérés és a GIS-alapú elemzések révén egyedülálló részletességű térbeli rekonstrukciót sikerült létrehozni a pānkāni épületkomplexumról és közvetlen környezetéről, ami új betekintést nyújt a lelőhely felépítésébe és használatába a különböző korokban.

A Pānkān-komplexum digitális „újjaépítése” lehetővé tette a késő Szasszanida- és a korai iszlám kori fázisok közötti építészeti változások és funkcionális átalakulások elemzését, ezáltal pedig árnyaltabb értelmezést kaptunk a helyszín történeti szerepéről. Láthatóvá vált például egy olyan narratíva, amely szerint a korábban katonai jellegű, erősített kihelyezett központ a későbbi évszázadokban egyre inkább civil- és gazdasági funkciókat vett fel – ez a változás a 3D-modelleken jól nyomon követhető a térbeli átrendeződések és leleteloszlások alapján.

¹⁵ Lásd <https://www.agisoft.com/features/professional-edition/>.

¹⁶ Lásd <https://www.autodesk.com/hu/products/recap/overview>.

¹⁷ Lásd <https://www.danielgm.net/cc/>.

¹⁸ Lásd <https://qgis.org/project/overview/>.

¹⁹ Lásd <https://www.autodesk.com/hu/products/autocad/included-toolsets/autocad-map-3d>.

A digitális megközelítés további nagy értéke, hogy a lelőhely virtuális megőrzése is megvalósult. A rendkívül nagy felbontású 3D-dokumentáció azt jelenti, Pānkān régészeti emlékei digitális formában, részletekbe menően megőrzésre kerültek – ami felbecsülhetetlen előnyt jelent, tekintve a fizikai helyszínt fenyegető veszélyeket. A projekt eredménye összhangban van a nemzetközi örökségvédelmi irányelvekkel, amelyek szorgalmazzák a fenyegetett kulturális javak digitális archiválását és dokumentálását. Különösen instabil vagy veszélyeztetett térségekben ez a fajta proaktív dokumentáció létfontosságú: egy digitális archívum hosszú távú garanciát nyújthat arra, hogy a tudományos és kulturális információk megmaradjanak akkor is, ha a műtárgyak vagy épületmaradványok a jövőben megsérülnének. Pānkān példája azt is megmutatja, hogy a régészeti kutatás és a technológiai innováció együttese miként szolgálhat mintául más, nehezen hozzáférhető vagy kiszámíthatatlan területen fekvő lelőhelyek dokumentálására és megőrzésére. Pānkān virtuális rekonstrukciója révén nemcsak a tudományos közösség nyer új ismereteket, hanem a kulturális örökségi helyszín is esélyt kap arra, hogy valamely formában – a jelen kihívásai ellenére – fennmaradjon a jövő számára.

Irodalomjegyzék

- Barszcz, M., Montusiewicz, J., Paśnikowska-Łukaszuk, M., & Sałamacha, A. (2021). Comparative Analysis of Digital Models of Objects of Cultural Heritage Obtained by the “3D SLS” and “SfM” Methods. *Applied Sciences*, 11(12), 5321. <https://doi.org/10.3390/app11125321>
- Dell’Unto, N., & Landeschi, G. (2022). *Archaeological 3D GIS*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003034131>
- Doneus, M., Verhoeven, G., Fera, M., Brieše, Ch., Kucera, M., & Neubauer, W. (2011). From Deposit to Point Cloud – A Study of Low-Cost Computer Vision Approaches for the Straightforward Documentation of Archaeological Excavations. *Geoinformatics*, (6), 81–88. <https://doi.org/10.14311/gi.6.11>
- Lanjouw, T. (2016). Discussing the Obvious or Defending the Contested: Why Are We Still Discussing the ‘Scientific Value’ of 3D Applications in Archaeology? In H. Kamermans, W. de Neef, Ch. Piccoli, A. G. Posluschny, & R. Scopigno (szerk.), *The Three Dimensions of Archaeology: Proceedings of the XVII UISPP World Congress (1–7 September, Burgos, Spain). Volume 7/Sessions A4b and A12 (pp. 1–12)*. Archaeopress. <https://doi.org/10.2307/jj.15135959.6>
- Magnani, M., Douglass, M., Schroder, W., Reeves, J., & Braun, D. R. (2020). The Digital Revolution to Come: Photogrammetry in Archaeological Practice. *American Antiquity*, 85(4), 737–760. <https://www.jstor.org/stable/27112401>

- Major B. (2022). The Sasanian Fort of Pānkān. In M. van Berkel & L. Osti (eds.), *The Historian of Islam at Work: Essays in Honor of Hugh N. Kennedy* (pp. 560–590). (Islamic History and Civilization. Studies and Texts 198). Brill.
- Mañana-Borrazás, P., Blanco-Rotea, R., & Sánchez-Pardo, J. C. (2016). Fast 3D Recording Techniques: A Low-Cost Method for the Documentation and Analysis of Scattered Architectural Elements as a Part of the EMCHAHE Project. In H. Kamermans, W. de Neef, Ch. Piccoli, A. G. Posluschny, & R. Scopigno (szerk.), *The Three Dimensions of Archaeology: Proceedings of the XVII UISPP World Congress (1–7 September, Burgos, Spain). Volume 7/Sessions A4b and AI2* (pp. 99–110). Archaeopress. <https://doi.org/10.2307/jj.15135959.14>
- Marín-Buzón, C., Pérez-Romero, A., López-Castro, J. L., Ben Jerbania, I., & Manzano-Agugliaro, F. (2021). Photogrammetry as a New Scientific Tool in Archaeology: Worldwide Research Trends. *Sustainability*, 13(9), 5319. <https://doi.org/10.3390/su13095319>
- Takáts B. (2019). Applying the Most Recent Technologies in Archaeological and Architectural Documentation at Margat. In P. Edbury, D. Pringle & B. Major (szerk.), *Bridge of Civilizations: The Near East and Europe c. 1100–1300* (pp. 23–34). Archaeopress. <https://doi.org/10.2307/j.ctvrxrq04h.6>
- Verhoeven, G., Doneus, M., Brieze, Ch., & Vermeulen, F. (2012). Mapping by Matching: A Computer Vision-Based Approach to Fast and Accurate Georeferencing of Archaeological Aerial Photographs. *Journal of Archaeological Science*, 39(7), 2060–2070. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2012.02.022>