

## A CSÓKAKŐI VÁR FELTÁRÁSA SORÁN ALKALMAZOTT 3D FOTOGRAMMETRIAI MÓDSZEREK GYAKORLATI TAPASZTALATAI

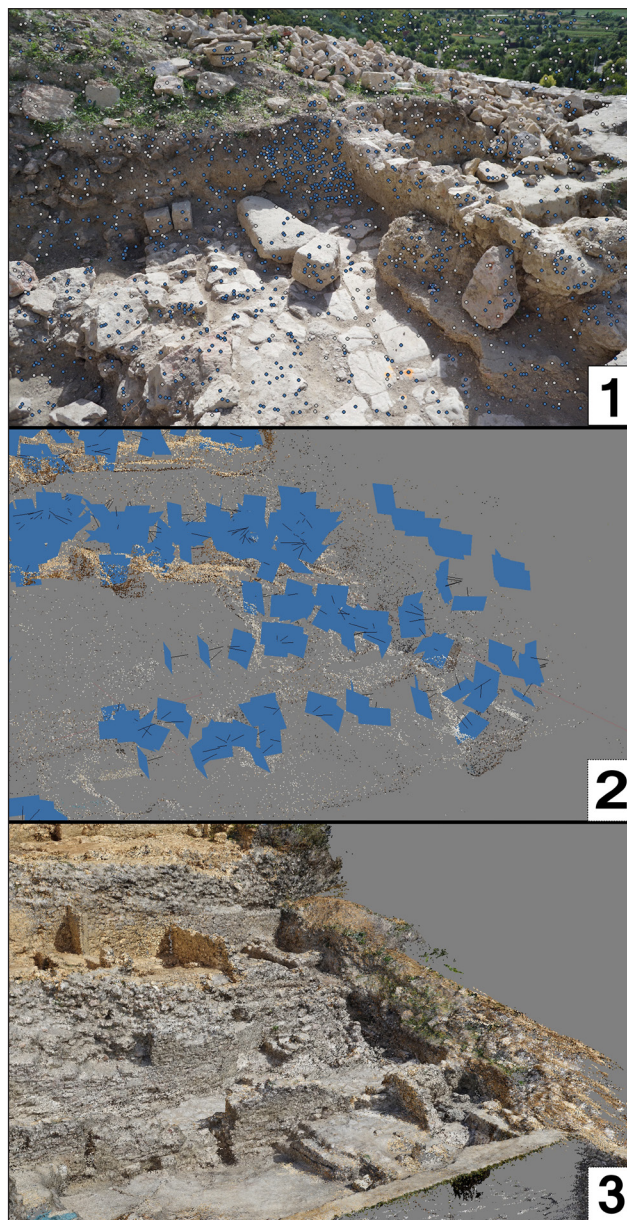
POKROVENSZKI KRISZTIÁN<sup>1</sup> – VÁGVÖLGYI BENCE<sup>2</sup> – TÓTH ZOLTÁN<sup>3</sup>

*A régészeti terepi munkák dokumentációjában a számítástechnikai eszközök tömeges elterjedésével egyre inkább előtérbe kerülnek a digitális módszerek, melyek lehetővé teszik az adatok korábbinál sokkal komplexebb, részletesebb és pontosabb rögzítését. Bár e módszerek sokáig elsősorban a végleges dokumentáció utómunkálatai során kaptak szerepet, a mobil eszközök és szoftverek térhódításával egyre gyakrabban kerülnek alkalmazásra már közvetlenül a terepi kutatások alatt is.*

Az egyik legkomolyabb kihívást a régészeti jelenségek valós térbeli képének rögzítése jelenti. Ennek legfőbb eszköze sokáig a kézi, felül- és oldalnézetes rajzok készítése volt, amelyekről legfeljebb később készült digitális, vektoros rajzolat.<sup>4</sup> Az így készült állományok azonban még a legjobb térinformatikai feldolgozás mellett is csak leegyszerűsített, szubjektíven értelmezett, szükségszerűen kétdimenziós képét mutatják az egyes jelenségeknek, amelyből így a későbbi kiértékelések során korlátozott mennyiségű információ nyerhető ki.

Ebből a szempontból komoly előrelépést jelentenek a közelmúltban megjelent 3D adatrögzítési és modellezési technikák, immár lehetővé téve egyes tárgyak, vagy akár egész ásatások térbeli adatainak objektív, háromdimenziós feltérképezését és térinformatikai közegben való elhelyezését. E módszerek közé sorolható a csókakői feltárásokon is alkalmazott 3D fotogrammetria, amelyet a terepi munka hatékonyabbá tétele érdekében az ásatási dokumentáció készítésének számos aspektusában sikeresen tudunk alkalmazni.

A modellek elkészítéséhez az erre kifejlesztett szoftverek számára csak a modellezendő felületet ábrázoló, viszonylag nagy mennyiségű, különböző rálátási szögekben, egymással átfedésben készült digitális fényképek<sup>5</sup> van szükség. A program az egymással bizonyos



1. kép: A 3D fotogrammetria munkafolyamatának főbb elemei: 1. Képek elemzése, megegyező pontok keresése, 2. Képek egymáshoz viszonyított helyzetének meghatározása, 3. Sűrű pontfelhő generálása

<sup>1</sup> Szent István Király Múzeum Régészeti és Antropológiai Tár; pokrovenszki.krisztian@szikm.hu

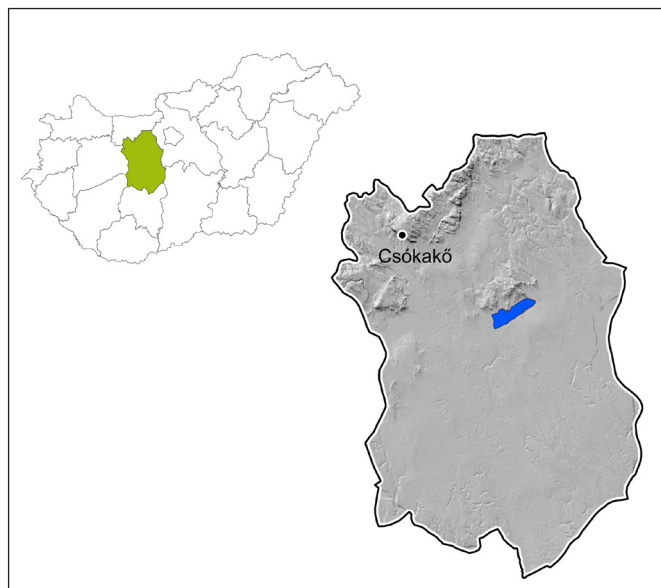
<sup>2</sup> Magyar Tudományos Akadémia Bölcsészettudományi Kutatóközpont, Régészeti Intézet; vagvolgyi.bence@btk.mta.hu

<sup>3</sup> GeoMontan Kft; toth\_zoltan@montan.hu

<sup>4</sup> Ilyen utólagos, rajzokon alapuló digitalizációhoz lásd: Vágvölgyi Bence: Térinformatikai fejlesztések a Dobó István Vármúzeumban, *Gesta – Miskolci Történelmi Folyóirat* XIII (2014), 33–38.

<sup>5</sup> Fontos megjegyezni, hogy a módszer csak digitálisan készült képekkel tud dolgozni, szkennelt papíralapú képekből bizonyos metaadatok híján nem tud modellt alkotni.

fokú átfedésben lévő képek tartalmát és metaadatait hasonlítja össze (1. kép). A többjükön is eltérő szögekből látható, megegyező jelenségeket lekövetve képes azok készítésének egymáshoz viszonyított helyét meghatározni.<sup>6</sup> Ennek alapján pontfelhő, valamint síklapokból álló 3D modell (TIN<sup>7</sup>) hozható létre, melyek nagy pontossággal leképezik a modellezett jelenség felszínét.<sup>8</sup> Ez a modell a képek alapján textúrával is ellátható, így lényegében egy teljesen élethű digitális mását kapjuk meg bármilyen tárgynak, objektumnak. Fontos kiemelni, hogy ezek az állományok georeferenciával is elláthatók, vagyis pontjaik valós térbeli koordinátákkal kapcsolhatóak össze. Ehhez csupán arra van szükség, hogy az ábrázolandó terület jól látható pontjain a környezettől elütő, felismerhető mérőpontokat helyezzünk el, amelyeket geodéziai műszerrel bemérünk. Ezeket az elkészült modellen (vagy az ahhoz használt fényképeken) bejelölve a teljes modell valós koordináta-rendszerbe helyezhető, az állomány pedig teljes körűen felhasználhatóvá válik térinformatikai közegben.



2. kép: Csókakői vár elhelyezkedése

Az így kapott állományok a régészeti munka számos területén felhasználhatók. Segítségükkel a feltárásokon előkerült jelenségek soha nem látott részletességgel írhatók le, a terepi munkával párhuzamosan használva pedig hatalmas segítséget jelentenek azok dokumentációjának hatékonyabb és pontosabb elkészítésében.<sup>9</sup> Mindebben fontos tényező, hogy a módszer drága műszerek beszerzése nélkül, az ásatásokon alapvetően használt eszközökkel alkalmazható. Egyetlen igénye a megfelelő célszoftver, amire ma már számos ingyenes megoldás is elérhető.<sup>10</sup>

A fentebbiekből is látható rugalmasságot, illetve pontosságot és hatékonyságot kihasználva kezdünk el a csókakői vár feltárása során is 3D fotogrammetriával kísérletezni, fokozatosan egyre szélesebb körben alkalmazva a módszert. Tanulmányunk gerincét az ennek során szerzett tapasztalataink jelentik.

### 3D FOTOGRAMMETRIAI MÓDSZEREK ALKALMAZÁSA A CSÓKAKŐI VÁR FELTÁRÁSA SORÁN

Csókakői vára az egyetlen ma is álló Fejér megyei sziklavár (2. kép), melyet az Árpád-kor végétől a 17. század végéig folyamatosan használtak. A várnak a Szent István Király Múzeum által végzett kutatása már az 1960-as években elkezdődött (Fitz Jenő, Kralovánszky Alán), majd a munka 1996 és 2008 között folytatódott.

<sup>6</sup> A munkafolyamat részletes leírásához lásd: Westoby, M. J. et. al.: Structure from motion photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology* 179 (2012), 302–306.

<sup>7</sup> A TIN rövidítés jelentése Triangulated Irregular Network, mely térinformatikai közegben háromszögeléses módszerrel alkotott, síklapokból álló 3D modellt takar.

<sup>8</sup> Az így létrehozott modellek pontosságához lásd: Koutsoudis, Anestis et al.: Multi-image 3D reconstruction data evaluation. *Journal of Cultural Heritage* 15 (2014), 73–79.

<sup>9</sup> A dokumentációban való segítséghez példaként lásd: Doriana, Mariana: Fieldwork 3D interpretation – Integrating established methods and emerging technologies in a medieval context. In: *Proceedings of the 18th International Conference on Cultural Heritage and New Technologies, Vienna, November 11-13, 2013* (Vienna, 2013).

<sup>10</sup> A különböző 3D fotogrammetriai szoftverek összehasonlításához lásd: Kersten Thomas P. – Lindstaedt, Maren: Image-Based Low-Cost Systems for Automatic 3D Recording and Modelling of Archaeological Finds and Objects. In: *Progress in Cultural Heritage Preservation. 4th International Conference, EuroMed 2012, Limassol, Cyprus, October 29 – November 3, 2012. Proceedings*, ed. Ioannides, Marinos et al. (Berlin, 2012), 1–10.

dott (Hatházi Gábor, Kovács Gyöngyi, Kulcsár Mihály).<sup>11</sup> A Magyar Nemzeti Vagyonkezelő Zrt. finanszírozásával 2014-től indult meg a legújabb feltárási ütem (Kovács Gyöngyi, Hatházi Gábor), mely – immár a Nemzeti Várprogram részeként – ma is tart, és az alsóvár még feltáratlan részeire irányul.<sup>12</sup>

Az 1997–2008 közötti ásatások dokumentálása már szintén térinformatikai módszerekkel történt Holl Balázs közreműködésével. A felületről geodéziai felmérés készült, majd a számozott pontokat tartalmazó állományt kinyomtatták és a terepen arra készítettek a felszínrajzokat ellenőrző kézi mérések és mérőkeret alkalmazásával. További segítséget jelentett, hogy a bemért jelölőkről fényképek is készültek, melyek a nyomtatott ábrákkal összevetve segítették a tájékozódást a felületen. Ez egészült ki 2000 után Vajda József és Györfi Ilona fotogrammetriai falszövet-felméréseivel.

A 2014-es feltárást még többnyire hagyományos módon, főként terepi rajzok segítségével dokumentáltuk, azonban az ásatás közepén és végén már készítettünk kvadrokopterrel is egy-egy felvételsorozatot. Ezzel a látványos illusztrációk készítésén túl az összesítő felszínrajz fotogrammetriai módszerekkel történő elkészítése volt az elsődleges célunk, melyhez partnerünk, a Geomontan Kft. az Agisoft Photoscan programot alkalmazta. A terepi adatrögzítésnél egyedi mintázatú, a program által automatikusan felismert mérőpontok lettek kihe-lyezve, majd geodéziai pontossággal bemérve, így modellünket georeferenciával láthattuk el. A repülés alatt rövid időn belül több száz kép készült, melyekből először egy sűrű pontfelhőt, majd egy mesht<sup>13</sup> és az ehhez tartozó textúrát készítettük el, valamint a képekből egy fotótérképet (ortofotót) is generáltunk. Utóbbit a felszínrajzunk digitális feldolgozása során, az egyes jelenségeket CAD programban vektorosan átrajzolva használtuk fel (3. kép). Ezen munkák tapasztalatai alapján azonban megfigyelhető volt, hogy számos részlet vagy jelenség – csupán az ortofotókat használva – nehezen határolható le és azonosítható be, ami problémát jelentett a digitalizáció során, mely csak a hagyományos kézi rajzok bevonásával vált kezelhetővé.<sup>14</sup> Mindez a két (manuális és ortofotós) dokumentálási módszer “vegyes” vagy együttes, egymást kiegészítő és ellenőrző alkalmazásának fontosságát húzta alá.



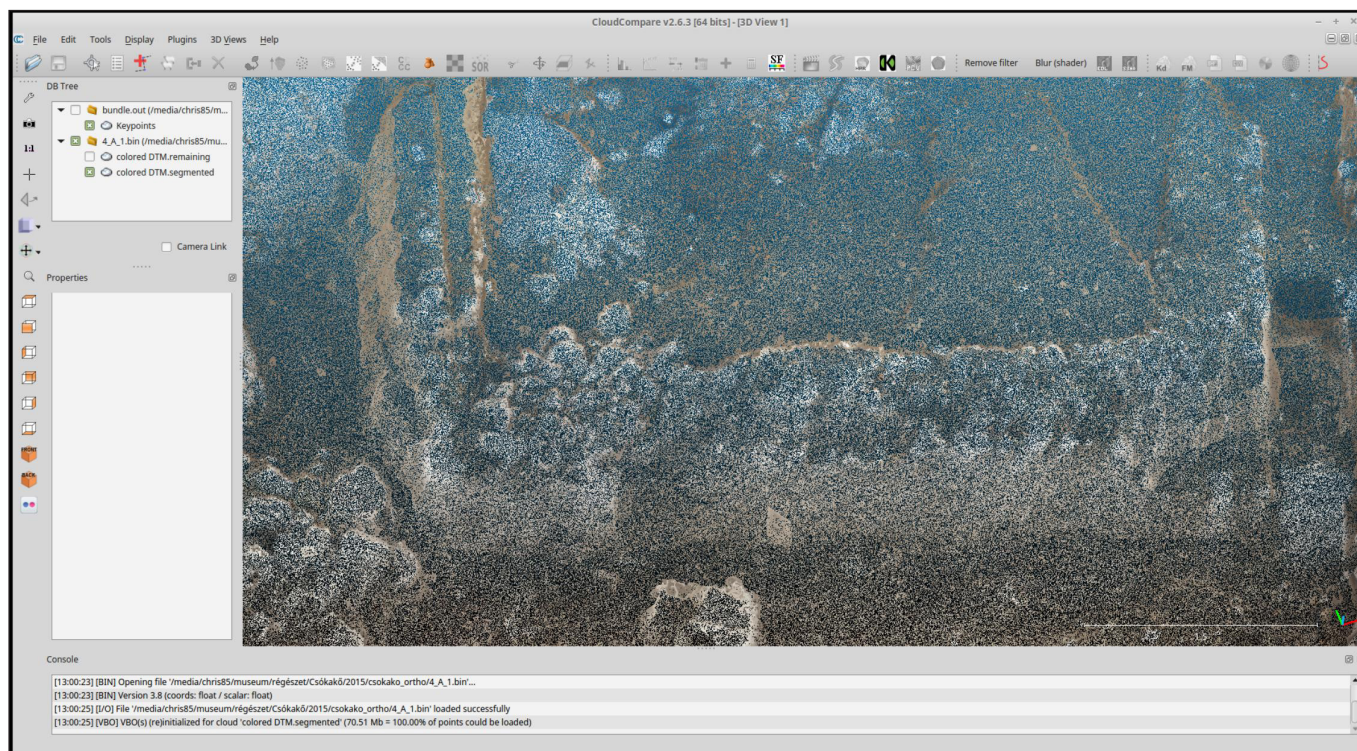
3. kép: A felületről készített ortofotó és vektorizált rajza (készítette: Dr. Tóth Zoltán, Pokrovenszki Krisztián)

<sup>11</sup> Csókakő várának részletes összefoglalását lásd: Hatházi Gábor: Csókakő vára az írott és régészeti források tükrében. In: *Csókakő a harmadik évezred küszöbén*, szerk. Béni Kornél (Csókakő, 2010), 15–151.

<sup>12</sup> A legújabb kutatási eredményekhez lásd: Hatházi Gábor – Kovács Gyöngyi: Újabb kutatások a csókakői várban. Az alsóvár régészeti kutatása (2014–2015). *Castrum* 19 (2016), 111–130.

<sup>13</sup> Mesh = a pontfelhő alapján készített, háromszögletű síklapokból álló modell. Térinformatikai megfelelője a TIN modell.

<sup>14</sup> Korábbi tapasztalataink alapján erre részben megoldást jelentett a skiccek készítése, rajta feltüntetve a fontosabb jelenségeket, amiket utána a vektorizálás során vissza tudtunk azonosítani az ortofotókon is (pl. sírmellékletek).



4. kép: A CloudCompare-ben megjelenített pontfelhő

A 2015-ös feltárás dokumentálásánál új kihívásokkal kellett megküzdenünk. A terepi kézi rajzok elsődlegességét – a bonyolult objektum- és rétegtani struktúra időigényes rögzíthetősége, valamint a feltárási területen belüli majd tíz méteres szintkülönbség miatt (ami kérdésessé tette a kézi rajzok térbeli pontosságát) – elvetettük. A megoldást a fotogrammetria elsődlegessé tétele jelentette, amelyet mindig az adott feladathoz optimalizáltunk. A feltárási jelenségekről külön-külön részletfotók készültek kézi fényképezőgéppel, adott esetben egy teleszkópos rúdra erősítve, törekedve minél több függőleges tengelyű kép előállítására. A körülményekhez igazodva alkalmanként 50–150 darab fotót készítettünk, melyek fotogrammetriai feldolgozásához (kereskedelmi szoftver híján) ingyenesen felhasználható szoftvereket vetettünk be. Ezek közül korábban gyakorta használtuk az Autodesk 123D Catch programot, mely bár a feladatnak megfelelő minőségű modelleket készített, használatához online kellett feltölteni a képeket, s ezek száma alig 70 darabnál volt maximalizálva. Végül az OpenDroneMap nevezetű programra esett a választásunk, melynek segítségével már a helyszínen laptopon, vagy az ásatási időn túl generáltunk képeinkből pontfelhőt. Az így kapott modell oldalnézetből kevésbé volt használható, mi azonban elsősorban georeferált ortofotók létrehozására törekedtünk. Ennek érdekében a fotózás során minden felületen legalább négy illesztőpontot helyeztünk el. Az így készült képekből generált sűrű pontfelhőt ezután a CloudCompare nevű alkalmazásba importáltuk (4. kép), ahol a pontfelhőn kikeresve a bemért pontokat, georeferenciával láttuk el a modellt.<sup>15</sup> Az EOV koordinátarendszer azonban túl nagy volt a program számára, így az első három számjegyet elhagyva, csak az ezen felüli értékeket használtuk.<sup>16</sup>

Az így kapott pontfelhő olyan sűrűnek bizonyult, hogy bizonyos távolságból nézve gyakorlatilag felületnek hatott. Ezért a mesh- és textúragenerálást kihagyva elegendő volt csak a pontfelhőt függőleges tengelyű (ortogonális) nézetben képként kimenteni. Ezt a felvételt azután a szintén ingyenes QGIS-be behívva és a négy illesztőpont valódi EOV koordinátáját megadva ismét georeferenciával tudtuk ellátni. Ezt követően ki tudtuk menteni az egyes felvételeket többféle (1:20, 1:40 stb.) méretarányban. A nyomtatott változatokon a helyszínen el tudtuk különíteni, továbbá – manuális terepi “utórajzolással” véglegesítve – tisz-

<sup>15</sup> Az OpenDroneMap alapvetően alkalmas GPS fájlok kezelésére, azonban ezzel jelenlegi munkánk során nem volt lehetőségünk kísérletezni.

<sup>16</sup> Pl.: 601665.983, 205342.246, 113.95 helyett 665.983, 342.246, 113.95

tázni, értelmezni és főként ellenőrizni az egyes részleteket, periódusokat (5. kép). Így ötvözni tudtuk a terepi látásmódot a fotogrammetria nyújtotta előnyökkel, s részletes, naprakész felszínrajzon tanulmányozhattuk a feltárandó területet, ami komoly segítséget jelentett az ásátás folyamatában is.

Az összesítő felszínrajzot 2015-ben is légi felvételek alapján állítottuk össze. Bár a részletrajzok szintén alkalmasak lettek volna erre a célra, tapasztalataink alapján a GPS technológiával rögzített pontok tartalmaznak némi csúszást, így a több részletből álló, s minden esetben újabb pontokhoz illesztett szelvények pontatlanabbul fedik egymást. A teljes felület modellezése földi módszerekkel is elvégezhető, a légi fotó alkalmazásával azonban nagyobb területet lehet egyszerre lefedni, így kevesebb terepi munkával, kevesebb képet használva (a modell méretét és előállításának idejét is csökkentve) tudtuk elkészíteni a teljes ásátás modelljét. Hátránya viszont, hogy kevésbé élesek a felvételek, és kevesebb részletinformáció nyerhető ki, mintha a földről fotóztunk volna.<sup>17</sup>

Az elkészült modellek további lehetőségeket rejtettek magukban, melyeket szintén hasznosíthattunk az utófeldolgozás során. Ilyen volt például a hosszanti metszet elkészítése a feltárási terület északnyugati részén lévő lépcsősorról. Ehhez a 3D modellen kijelöltünk egy tetszőleges szakaszt, amely mentén kivágtuk a metszetünket, így nem volt szükség arra, hogy a terepen felmérjük a lépcső vonalát (6. kép). A másik praktikus gyakorlati alkalmazással az SE számok (az ásátáson megfigyelt stratigráfiai egységek azonosító számai) kiadásánál szembesültünk. Elég volt az átrajzolt ortofotókra ráírni menet közben a számok kiosztását, így az utólagos feldolgozás során könnyen vissza lehetett őket azonosítani, és már a feltárás alatt is hasznos segítséget nyújtottak.

A dokumentáció támogatása mellett a 3D fotogrammetriai módszerek nagyban elősegítették a lelőhely állagmegóvását is. Az ásátás

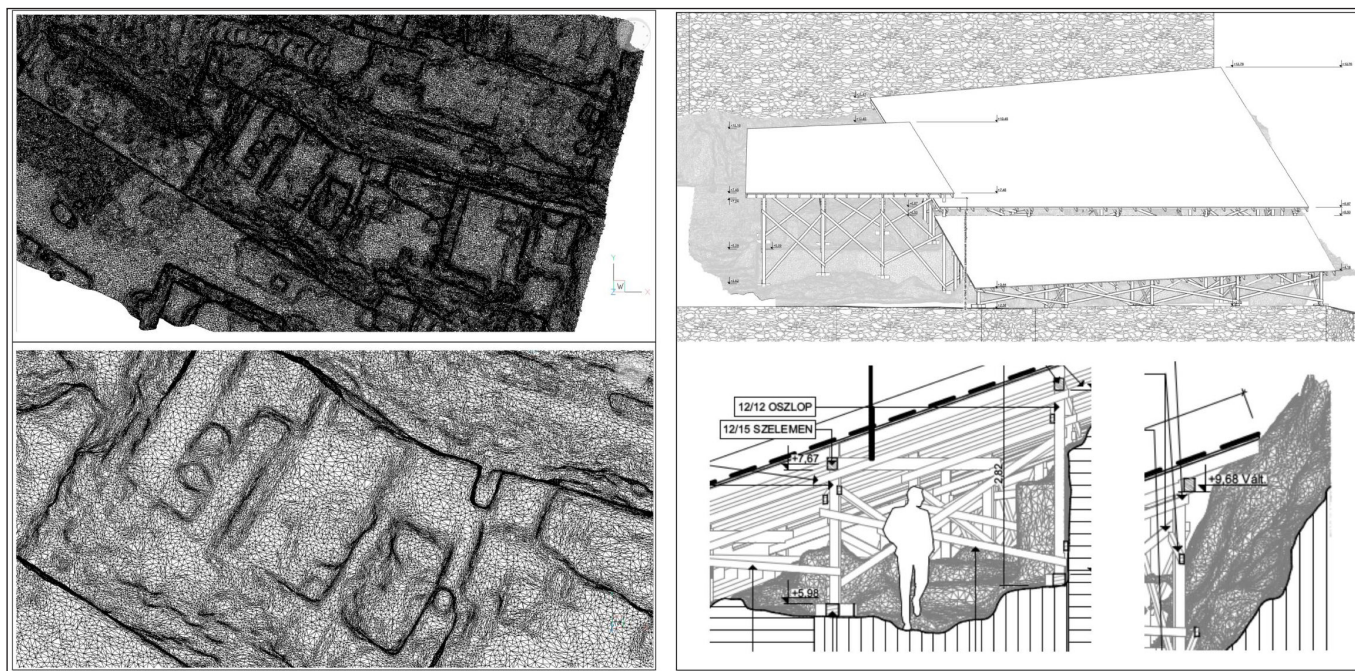


5. kép: 1. Sűrű pontfelhőből megfelelő nagyításban kimentett kép (több részletből összeillesztve),  
2. Nyomtatott változat, a helyszínen ellenőrzött és értelmezett manuális utánrajzolással  
(modell: Pokrovenszki Krisztián; rajz: Hatházi Gábor)



6. kép: Az "A" szintre vezető lépcső hosszanti metszete

<sup>17</sup> Jó példát jelent erre az MTA BTK Régészeti Intézetének munkatársai által kísérleti jelleggel ugyanerről a területről kézi fényképezőgéppel készített modell, mely bár részletességében és felbontásában jobb volt a drónról készülnél, azonban a bonyolult felszín miatt jóval több, összesen 446 kép kellett az elkészítéséhez, melyek előállítása jóval több időt vett igénybe, mint a drón esetében.



7. kép: A pontfelhőből előállított TIN-modell balra (készítette: Dr. Tóth Zoltán) és a tervezett védőtető jobbra (tervező: Gál Tibor [GLG Mérnöki Iroda Kft.])

befejezése után a szabadon álló falak védelme védőtető felállítását tette szükségessé. Ennek tervezéséhez szintén fel lehetett használni a modellünket, megspórolva ezzel a helyszíni felmérést. A tervezők igényeinek megfelelő, pontfelhőből generált mesh készült, az erről leolvasható felszínforma- és magasságadatok az ortofotókkal kombinálva hatékony segítséget nyújtottak a tervezéshez (7. kép).

## ÖSSZEFOGLALÁS

A csókakői vár feltárása során alkalmazott 3D fotogrammetriai módszerek komoly előrelépést jelentettek mind az ásatási dokumentáció pontossága, mind pedig hatékonysága terén. Az így előállított ortogonális felvételek révén a felülnézeti rajzok részletessége jelentősen megnőtt, készítésük felgyorsult és pontosabb lett. A georeferenciával ellátott 3D modellek pedig nemcsak a kutatót felszín térbeli tulajdonságainak a leírásához járultak hozzá, hanem a feltárt régészeti örökség állagmegóvásának tervezéséhez is.

Fontos, hogy mindez a hasznosulás folyamatos fejlesztés eredménye, ami természetesen nem áll meg a mostani állapotnál. Számos olyan terület van, ahol az itt bemutatott módszerek továbbfejleszthetők, illetve teljesen új felhasználási területek is kiaknázásra várnak. Az egyik ilyen lehetséges fejlesztési irány a most még részben papíron folyó dokumentációknak a minél nagyobb arányú digitalizációja. Az eleve digitálisan, térinformatikai módszerekkel készült dokumentáció az utólag digitalizált állományokhoz képest még komolyabb előrelépést jelenthetne a részletesség terén. Mindebben egyre nagyobb segítséget jelentenek az évről évre jobb és jobb mobil eszközök, amelyek nemcsak 2D-s vektoros állományok létrehozását teszik lehetővé a fotogrammetria alapján terepi körülmények között, hanem idővel akár egyenesen a 3D modell helyszínen történő manipulálására és az azon történő rajzolásra is módot adhatnak.

A 3D fotogrammetria azonban az aktív terepi használat mellett a lelőhelyek utólagos feldolgozásában is komoly segítséget jelenthet. A feltárás során az egyes jelenségekről készült, georeferált 3D modellek térinformatikai adatbázisokba rendezhetők,<sup>18</sup> jelentősen megnövelve a jelenleg még csak kétdimenziós vektoros megjelenítésekre szorító rendszer által nyújtott elemzési lehetőséget. Mindezek mellett pedig olyan

<sup>18</sup> Roosevelt, Christopher H. – Cobb, Peter et al.: Excavation is Destruction Digitization: Advances in Archaeological Practice. *Journal of Field Archaeology* 40 (2015)/3, 337–339.

Vágvölgyi Bence et al. • A csókakői vár feltárása során alkalmazott 3D fotogrammetriai módszerek gyakorlati tapasztalatai

nagy felbontású, textúrázott, tetszőlegesen körbejárható állományok keletkeznek, melyek amellet, hogy a jövő kutatói számára értékes vizuális forrást jelentenek,<sup>19</sup> akár a régészeti örökség védelmét<sup>20</sup> és a nagyközönség számára történő bemutatását is jelentősen elősegíthetik.

#### AJÁNLOTT IRODALOM

HATHÁZI GÁBOR

Csókakő vára az írott és régészeti források tükrében. In: *Csókakő a harmadik évezred küszöbén*, szerk. Béni Kornél. Csókakő, 2010, 15–151.

HATHÁZI GÁBOR – KOVÁCS GYÖNGYI

Újabb kutatások a csókakői várban. Az alsóvár régészeti kutatása (2014–2015). *Castrum* 19 (2016), 111–130.

WESTOBY, M. J. ET. AL.

Structure from motion photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology* 179 (2012), 302–306.

DORIANA, MARIANA

Fieldwork 3D interpretation – Integrating established methods and emerging technologies in a medieval context. In: *Proceedings of the 18th International Conference on Cultural Heritage and New Technologies, Vienna, November 11-13, 2013*. Vienna, 2013.

KERSTEN THOMAS P. – LINDSTAEDT, MAREN

Image-Based Low-Cost Systems for Automatic 3D Recording and Modelling of Archaeological Finds and Objects. In: *Progress in Cultural Heritage Preservation. 4th International Conference, EuroMed 2012, Limassol, Cyprus, October 29 – November 3, 2012. Proceedings*, ed. Ioannides, Marinos et al., Berlin 2012, 1–10.

ROOSEVELT, CHRISTOPHER H. – COBB, PETER ET AL.

Excavation is ~~Destruction~~ Digitization: Advances in Archaeological Practice. *Journal of Field Archaeology* 40 (2015)/3, 325–346.

DE REU, JEROEN – PLETS, GERTJAN ET AL.

Towards a three-dimensional cost-effective registration of the archaeological heritage. *Journal of Archaeological Science* 40 (2013), 1108–1121.

DOUGLASS, MATHEW – LIN, SAM – CHODORONEK, MICHAEL

The Application of 3D Photogrammetry for In-Field Documentation of Archaeological Features. *Advances in Archaeological Practice* 3 (2015)/2, 136–152.

<sup>19</sup> De Reu, Jeroen – Plets, Gertjan et al.: Towards a three-dimensional cost-effective registration of the archaeological heritage, *Journal of Archaeological Science* 40 (2013), 1108–1121.

<sup>20</sup> A digitális módszerek régészeti örökségvédelemben való felhasználásának irányelveihez lásd a 2009-es Londoni Kartát. [Magyarul elérhető](#) (Utolsó elérés: 2016.09.14.).

BALOGH ANDRÁS – KISS KINGA

[Robotrepülőekkel készített légifelvételek feldolgozása.](#) *Magyar Régészet* (2014)/tavasz.

RÁCZ MIKLÓS

A modellezés, mint az elemzés és az elméleti rekonstrukciós folyamatok bemutatásának eszköze a cseszneki vár példáján I. *Castrum* 15 (2012), 49–60.