

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
Építészmérnöki Kar

**“DDD”**

Data Doing Dimension

*Műemléki felmérés és dokumentáció konfliktuszónában*

**Készítette:**

**Kovács Kata**

Építészmérnöki mesterképzési szak  
(osztatlan)

**Miklós Bernadett**

Építészmérnöki nappali alapképzés  
(BSc)

**Molnár Ádám**

Pázmány Péter Katolikus Egyetem  
Bölcsészeti- és Társadalomtudományi  
Kar  
Régészeti MA

**Konzulens:**

**Dr. Major Balázs**

tanszékvezető, külügyi dékánhelyettes,  
Pázmány Péter Katolikus Egyetem  
Bölcsészeti- és Társadalomtudományi  
Kar, Régészeti Tanszék (külső)

**Vasáros Zsolt DLA**

egyetemi docens  
Ipari és Mezőgazdasági Épülettervezési  
Tanszék

Tudományos Diákköri Konferencia  
*Budapest, 2016*

# 1. Tartalomjegyzék

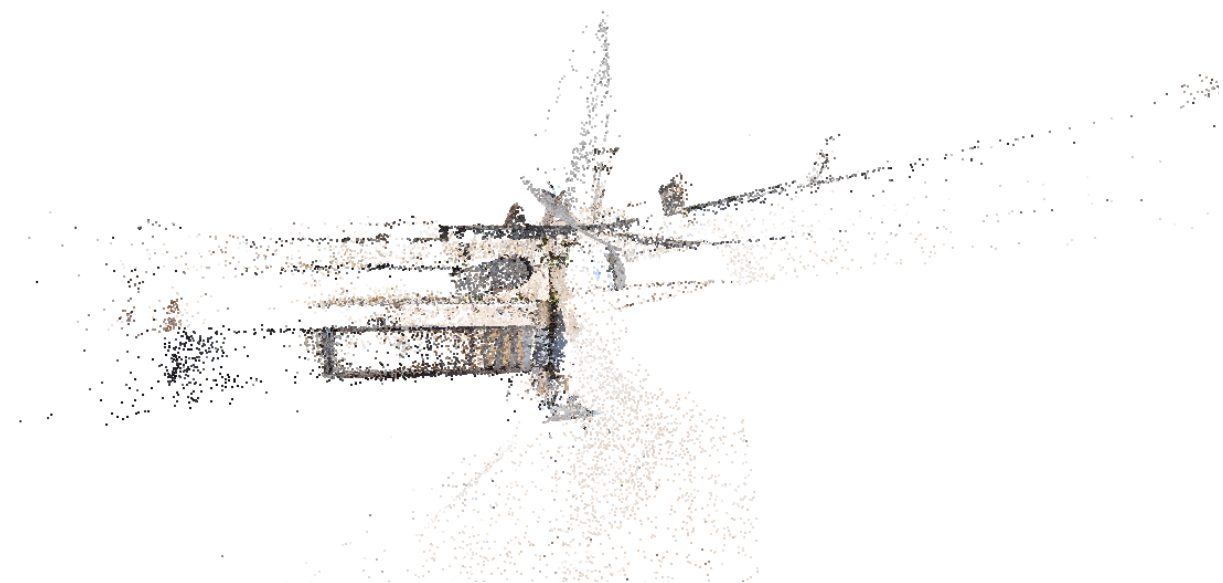
1. Tartalomjegyzék	4
2. Absztrakt	5
3. Bevezető	7
3.1. A műemlékvédelem tárgya és módszere	7
3.2. Rövid történeti áttekintés a <i>Levante</i> -ről	8
3.3. <i>A Szíriai-Magyar Régészeti Misszió (SHAM)</i>	12
4. Felmérési eljárások	14
4.1. <i>Bauforschung</i> , a tradíció	14
4.2. Az IMS <sup>EV</sup> mérési technológia	15
4.3. Lézerscan	15
4.4. Fehérfényscan — Optikai scanner	16
4.5. <i>Structure from Motion</i> , "Sfm" programok — tapasztalatok elméleti úton	17
4.5.1. <i>AutoCAD 123D Catch, PhotoModeler, Python Photogrammetry Toolbox, MeshLab</i>	17
4.5.2. <i>Az Agisoft Photoscan és a Structure from Motion</i>	18
5. Digitális eszközigény — háttértudás	21
5.1. Eszközigény	21
5.2. Felmérés menete	22
5.2.1. Helyszíni munka	22
5.2.2. Adatok feldolgozása	24
5.2.3. Utómunka	25
6. Esettanulmányok	28
6.1. Kőfaragó jelek, karcolatok	28
6.2. Faragványok	31
6.3. Építészeti részletek	35
6.3.1. <i>Crac des Chevaliers</i> / konzolkő	35
6.3.2. <i>Crac des Chevaliers</i> / várkápolna déli ablaka	36
6.4. Épületrészletek	39
6.4.1. <i>Crac des Chevaliers</i> / tetőre vezető lépcső	39
6.4.2. <i>Crac des Chevaliers</i> / kápolnatető	41
6.4.3. <i>Crac des Chevaliers</i> / 120 méteres terem	43
6.5. <i>Crac des Chevaliers</i> / kápolnaépület	45
7. Konklúzió	47
7.1. Időigény	47
7.2. Összegzés	48
8. Perspektívák	49
9. Köszönetnyilvánítás	50
10. Felhasznált irodalom	51
11. Képek forrása	53

## 2. Absztrakt

A műemlékvédelem talán az egyik legkomplexebb határterülete az építészetnek, mely elméleti-módszertani és különösen technológiai szempontból folyamatos fejlődésen megy keresztül. Az elmúlt évtizedre jellemző és egyre fokozódó politikai instabilitás a kulturális kincseket sem kíméli meg a pusztítástól, a kutatókat szélsőséges körülmények közé és gyors vizsgálati-adatfelvételi módszer alkalmazására kényszeríti.

Egy ilyen aktuális konfliktuszóna a szír tengerparti régió, ahol a Szentföld jelentős épített öröksége található. A *Szíriai-Magyar Régészeti Misszió (SHAM)* 2000 óta végez értékmentő kutatásokat és képzési tevékenységet ezen a lelőhelyekben gazdag területen, ez évtől pedig az UNESCO világörökség részét képező *Crac des Chevaliers* várában is elkezdődött a háborús károk felmérése. Az évtizedek óta alkalmazott, jól bevált alakhelyes felmérés alapvető fontosságú, de ezzel a manuális módszerrel egy komplexebb, nagyobb és részletgazdag objektum — esetünkben egy több hektár alapterületű keresztres erőd dokumentálása — már évtizedeket vehet igénybe. Elsősorban a politikailag instabil régiókban, háborús övezetekben a sokéves helyszíni munka kivitelezhetetlen, vagy legalábbis nehezen megengedhető „luxussá” vált. Ez a versenyfutás az idővel olyan megoldások alkalmazására készíti, sokszor kényszeríti a kutatókat, amelyek a különböző szakterületek progresszív együttműködését igénylik. Az alapvető cél itt is egy szakmailag korrekt és használható dokumentáció elkészítése, mindezt a lehető legrövidebb idő alatt kell megvalósítani. Ez egy összetettebb, de mégis hatékony felmérési technológiát igényel, amely megkönnyíti a helyszíni és az otthon elvégzendő utómunkát is.

A technológiai fejlesztéseknek köszönhetően egyre több eszköz áll rendelkezésünkre a különböző léptékű és minőségű dokumentációkhoz, azonban ezen eszközök nagy része jelentős szakmai ismeretet és komolyabb anyagi háttérrel igényel, ellenben az általunk alkalmazott mindezeketől jelentősen eltér. Dolgozatunkban — esettanulmányokon keresztül — a 2016 nyári szíriai terepmunkánk során használt – és másutt már korábban is sikerrel alkalmazott - ún. *“Structure from Motion” (SfM)* technológiát, illetve annak a különböző lehetőségeit mutatjuk be és illusztráljuk a helyszínen végzett munka és a feldolgozás során szerzett tapasztalatokkal.

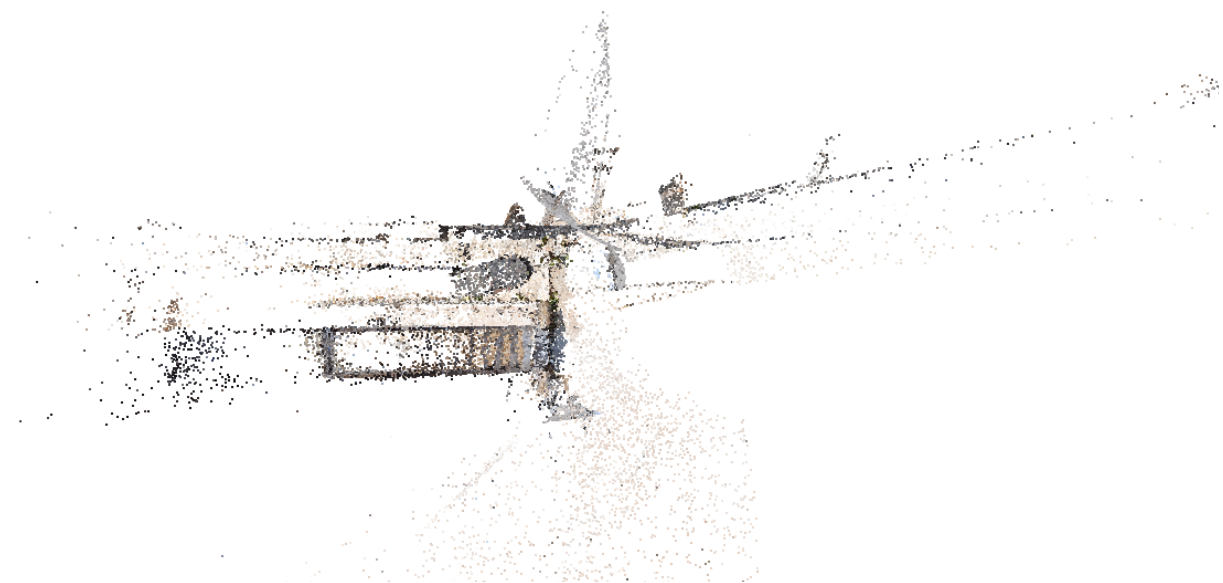


## 2. Abstract

Preservation of monuments is one of the most complex part of architecture, which goes through constant methodological and, in particular technological developement. The escalating political instability of the last decades doesn't avoid cultural assets. The extreme working conditions, with the lack of available time for research constrains using the most effective and fastest methods on the archaeological sites in conflict zones.

One of the actual venues is the Syrian costal region, where numerous heritage sites of the Holy Land are located. The *Syro-Hungarian Archaeological Mission (SHAM)* has worked since 2000 to preserve and document the archaeological and cultural heritage of this unique region. Since 2016 the Mission started with the preparation for the restoration works of *Crac des Chevaliers* which is part of UNESCO's world heritage. The traditional research method (Bauforschung, Building Archaeology) is well used for long period research projects, however, with this manual method the documentation and damage assesment of larger and more complex objects like the Crac citadel, would take decades to be done. Doing site work for many years has became an impracticeable "luxury" in conflict zones. The constant race against the time leads to solutions which requires the progressive cooperation of different specializations. The aim is to provide a professional and usable document. This leads to a more complex but still effective land-surveying technology, easing site work and postprocessing as well.

With the technological developements there are more and more available tools for different methods of documentation. However, these tools demand professional knowledge and strong financial background, in contrast to the currently used method. In this essay through case studies we would like to present the different possibilities of the "*Structure from Motion*" (*SfM*) technology which was used during the summer mission of 2016 on the fieldwork in Syria.



# 3. Bevezető

## 3.1. A műemlékvédelem tárgya és módszere

Az épített örökség védelmének másfél évszázadra visszanyúló tradíciója országokként és műemlékes-építész iskoláknaként is eltérő képet mutatott a kezdetekben. Nagyrészt az adott épület *“stílusista”*, különböző mértékű átalakítását értették műemlékvédelmi beavatkozás alatt, ez egy szubjektív restauráció volt, gondoljunk csak *Viollet-le-Duc*-re vagy *Schulek Frigyes* munkásságára. Elvi háttere, módszere és gyakorlati megvalósítása változatos volt egész Európában, egészen az 1931-es athéni konferenciáig, melyen 22 ország vett részt. Az itt elkészült Karta elsősorban a megőrzésre és az újonnan bevezetett fogalomra, az *“anastylosis-ra”* helyezte a hangsúlyt, konzekvensen meghatározva az intézményesülő műemlékvédelem irányvonalát nemzetközi szinten.<sup>1</sup> A II. világháború pusztítását követő, Európa-szerte meginduló helyreállítások gyakorlati tapasztalataiból nőtt ki a második, immár részletesebb és konkrét ajánlásokat is megfogalmazó karta a műemlékvédelem területén. Az 1964-ben Velencében elfogadott Karta így fogalmaz: *“A műemlék fogalmán olyan önálló építészeti alkotásokat [...] értünk, amelyek valamely sajátos kultúrának, jelentős fejlődésnek vagy történelmi eseménynek tanúi”*, így ezen értékek egyediségét, vagyis pótolhatatlan voltukat hangsúlyozták, reflektálva a háborúk okozta kulturális károkra is. Az adott emlék helyreállítása, esetleg kiegészítése kizárólag a tudományos igényű kutatást követően valósulhat meg, amely *“feltárja és konzerválja a műemlék esztétikai és történelmi értékét”*, vagyis a műemlék értelmezésével a későbbi beavatkozásokhoz nyújt támpontot. A tudományos feldolgozás alapjául pedig teljeskörű szöveges és képi-rajzi dokumentáció készítését ajánlja, melyet közkinccsnek tekint.<sup>2</sup>

A XX. század során a műemlékvédelem többször definiálta önmagát, és az alapvető módszertani és etikai kérdésekre megoldási javaslatokat adott és célokat tűzött ki az épített kulturális örökségek védelméért.<sup>3</sup> Közel fél évszázad változó világa miatt azonban szükségszerű lépést tartania az újdonságokkal. Az *“IT”* korunkban igen gyorsan fejlődő tudományág, beszűrődése az örökségvédelembe új lehetőségeket teremtett és teremt folyamatosan a történelmi rekonstrukciók terén. A digitális technológiák s segítségével lényegesen hatékonyabban dokumentálhatóvá vált épített örökségünk — egyéb kulturális javak egyaránt —, továbbá a tudományos feldolgozásukat is nagyban segítik a számítógépes módszerek.<sup>4</sup>

{ Angol kifejezés: “Information Technology”. Diszciplína, amelyet tulajdonképpen “számítógép-tudományként” lehetne fordítani. Tárgya maga a számítógép, mint eszköz, valamint a különböző, számítógépet használó technológiákat — esetünkben a virtuális megjelenítések, látványvilágok — is e névvel illetjük. }

1 Román A. (2002). 13-15.

2 Dercsényi D. (1980): 120–125.; továbbá a Velencei Charta szövegének magyar fordítása: Dercsényi D. & Horler M. (1964). 193–216.; és online elérhetősége: [http://www.icomos.hu/data/documents/velencei\\_charta\\_1964.pdf](http://www.icomos.hu/data/documents/velencei_charta_1964.pdf)

3 A Velencei Charta 1970-es évektől jellemző módosítási és kiegészítési próbálkozásairól összefoglalóan: Horler M. (1991) 261–267, jöhetnek az eltérő kulturális és társadalmi adottságok miatt aligha lehetett cél általános érvényű szabályok-ajánlások megalkotása.”

Hardy, M. (2008): *The Venice Charter Revisited: Modernism, Conservation and Tradition in the 21st Century*. Cambridge Scholars Publishing, Newcastle upon Tyne

4 Áttekintően lásd: Vasáros Zs. (2009). 12-45.

Az elkészült eredmények közzétételét szintén meghatározzák a virtuális világ lehetőségei. A kortárs tömegkultúrának a vizuális látványra és élményre van igénye, így a tudományos ismeretterjesztésnek alkalmazkodnia kell a laikus közönség magas elvárásaihoz, ha párhuzamosan kíván együtt fejlődni a társadalommal, mely közpénzekből tartja fenn a kultúra ezen ágának szakembereit. A tudományos feldolgozás során megalkotott digitális 3D modellek tehát több szempontból is hasznosak. Egyrészt térben képezik le és jeleníthetik meg az adott emlék rekonstrukcióját, így a térbeli összefüggések könnyebben érthetőbbé és feldolgozhatóbbá válnak<sup>5</sup>, másrészt a kortárs kultúra valóságghű számítógépes megjelenítésekre való igénye válik kielégíthetővé, így az új kiállítások és interpretációk pedig eladhatóvá és a szélesebb közönség számára befogadhatóvá válnak.<sup>6</sup> A 2006 februárjában Londonban megrendezett *“Making 3D Visual Research Outcomes Transparent”* c. szimpózium<sup>7</sup> ezekre a kihívásokra keresett választ és két évvel később, 2009-ben ennek eredményeként adták ki *“A kulturális örökség számítógépes megjelenítéséről”* c. állásfoglalást, javaslatokat és célokat meghatározó kartát a digitális technikák alkalmazása terén.<sup>8</sup>

A műemlékvédelem alapgondolatai szerint a mai digitális technikákat használjuk a dokumentációs munkálatainkban, miközben igyekszünk a hagyományos felmérési eljárásokat is ötvözni a legújabb technológiákkal. A következő fejezetekben a Szíriában végzett munkánkból levont friss tapasztalatainkat foglaljuk össze, miután röviden bemutatjuk térben és időben a helyszínt, illetve magát a Missziót és tevékenységét is.

## 3.2. Rövid történeti áttekintés a *Levante*-ről. A keresztes korszak emlékei

A *Levante* (1. *ábra*), vagyis a Mediterráneum keleti fele rendkívül változatos képet mutatott a középkorban mind természetföldrajzában, mind pedig lakosságát és azok vallását tekintve egyaránt. Az ókori civilizációk és az egykori Kelet-Római Birodalom is gazdag, elsősorban a kereskedelmen alapuló városias kultúrát és épített örökséget hagyott hátra ezen a területen, melyet a középkor is tovább gyarapított. Csak még színesebb a kép attól, hogy a zsidóság és a kereszténység is bölcsőjének tekinti ezt a régiót, amit a VII. századtól megjelenő iszlám is szentként tisztel.<sup>9</sup>

A Szentföld új korszakát jelenti az 1095 novemberében, II. Orbán pápa által, *Clermont*-ban meghirdetett *“fegyveres zarándoklat”* elindítása. Az 1098-tól meginduló hadjáratok eredeti

5 Az ICOMOS 2007-ben közzé tett Kartája a kulturális örökségi helyszínek interpretációjáról és bemutatásáról: [http://en.icharter.org/downloads/ICOMOS\\_Interpretation\\_Charter\\_EN\\_10-04-07.pdf](http://en.icharter.org/downloads/ICOMOS_Interpretation_Charter_EN_10-04-07.pdf)

6 A digitális technikák alkalmazásával számos szervezet foglalkozik világszerte, több konferencia is rendszeresen az IT alkalmazását elemzi, a teljesség igénye nélkül: CAA - Computer Applications in Archaeology, VAST - International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage, Eurographics Workshop on Graphics and Cultural Heritage, CIPA - International Workshop dedicated on e-Documentation and Standardisation in Cultural Heritage, Euromed Conference on IT in Cultural Heritage.

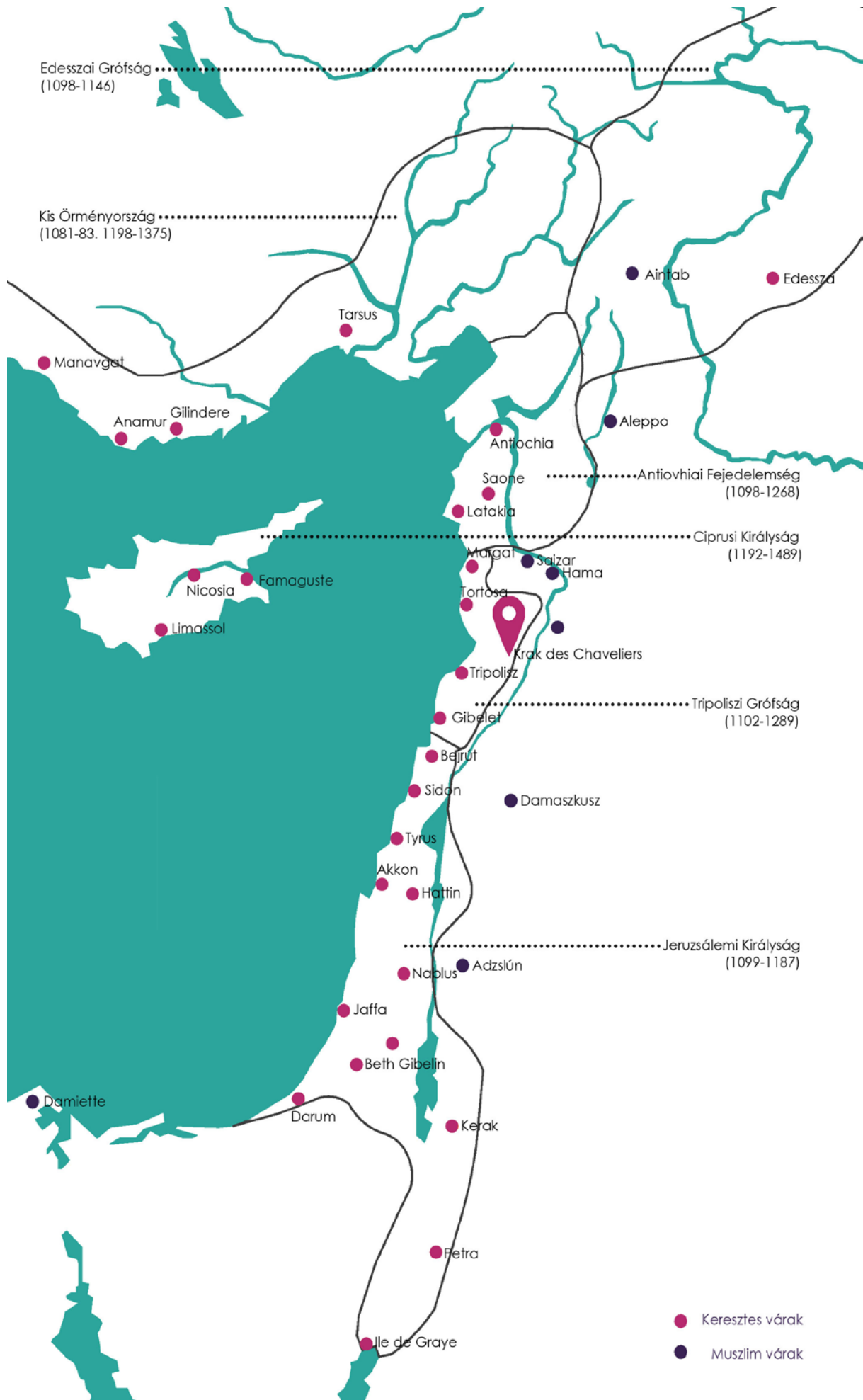
7 Az új Charta létrejöttének néhány éves előzményéről angol nyelven: <http://www.londoncharter.org/history.html>

8 A Charta legújabb, 2009-es tervezete letölthető formában elérhető a hivatalos website-ról eredeti angol nyelven: <http://www.londoncharter.org/>, illetve magyar fordítással egyaránt: [http://www.londoncharter.org/fileadmin/templates/main/docs/london\\_charter\\_2\\_1\\_hu.pdf](http://www.londoncharter.org/fileadmin/templates/main/docs/london_charter_2_1_hu.pdf)

A Kartával foglalkozó cikk: Kelemen B. Z. & Rácz M. (2015). 26–31.

9 Major B. (2001).





1. ábra. Levante térképe.

célja az ortodox Bizánc katonai megsegítése a támadó *szeldzsukok* ellen, illetve a muszlimok kezén lévő Szentföld “*visszafoglalása*” volt. Az első latin hadaknak 1098-ban sikerült *Edessza* és *Antiochia* városát elfoglalni, a következő évben pedig Jeruzsálem is sorra került. A XII. század elején, Tripoli meghódításával négy kereszties állam jött létre: a *Jeruzsálemi Királyság*, az *Edessai Grófság*, az *Antiochiai Hercegség* és a *Tripoliszi Grófság*. Az európaiak gyors terjeszkedését jórészt a muszlim világ megosztottsága magyarázta, amelyet az 1140-es évektől a muszlim vezetés megerősödése állított meg, és fordított visszájára. *Edesszát* már 1144-ben elveszítették a keresztiesek, majd az 1187-es katasztrofális kimenetelű hattíni ütközet utáni gyors területvesztésekkel a tengerparti sávra szorultak.

Ennek következményeként épültek fel a határvidékek védelmét szolgáló, továbbá adminisztrációs központként is működő erődkomplexumok, mint a *Crac des Chevaliers* a *Tripoliszi Grófság* keleti végvidékén. Az 1220-as évek végén diplomáciai úton visszakerült a kereszties fennhatóság alá Jeruzsálem, a következő évtized végére pedig újabb területekkel gyarapodtak. Ennek ellenére belső harcok és az itáliai kereskedőkolóniáknak a század közepére polgárháborúvá fajult itáliai kereskedők konfliktusa tovább gyengítette az amúgy is emberhiánnyal küzdő kereszties államokat. A muszlimokkal a folyamatos béke fenntartásában érdekelt “*frank*” államok számára több, Európából induló hadjárat inkább volt kontraproduktív hatású, a békés *status quo*-t felborító, veszteségeket eredményező dúlás, mintsem stabilitást és utánpótlást nyújtó segítség. Ez a viszonylag instabil helyzet állt fenn egészen a XIII. század közepéig, az Egyiptomból származó *Mamlukok* előretöréséig. A központosított katonáállam a következő évtizedekben fokozatosan morzsolta fel a terjeszkedése útjában lévő kereszties államait, míg 1291 nyarára végleg megszűnt a latinok uralma a Szentföldön.<sup>10</sup>

Az európaiak közel két évszázadnyi szentföldi megtelepedése nem hozott látványosabb kulturális kölcsönhatást és cserét magával, gondolkodásukban sem következett be alapvető változás sem a latinokban, sem pedig a helybéli lakosságban. A keresztiesek társadalma megőrizte alapvető európai hierarchikus vonásait, azonban az eltérő kulturális környezet és fejlődés okán nem lehetett hasonlatos az anyaországbeli társadalmi rétegződéshez. Nem tudtak kialakulni kommunák, céhek, a nemesség, a monopolhelyzetben lévő itáliai kereskedők és a lovagok szinte autonóm helyzete és a keletiek sokfélesége eleve integrálhatatlanná tette a városok közösségeit. A kereskedelem azonban rég nem látott fejlődéneke indult. A nagyobb tengerparti kikötőkben — *Akkó*, *Tyros*, *Beirut*, *Tripolis* — gazdagon profitált az európai textil-, fém- és fakereskedelem, illetve a keleti luxus- és finomárúk, illetve az alapvető bor- és olaj exportja is gyarapodott a velencei, genovai és pisai kalmárok által.<sup>11</sup>

Más átírásban *Crac des Chevaliers*, vagy *Crac de l’Ospitale*. Mai arab neve: Qal’at al-Ḥosn (قلعة الحصن), míg a kurd erődítést Ḥosn al-Akrād (حصن الأكراد) névvel illették, amely a “kurdok vára” elnevezést takarja. A szír állam tulajdonát képezi, melyet 2006-ban vettek fel az UNESCO világörökségi helyszínek listájára a Szaladin-citadellával együtt, 2013-tól veszélyeztetett státuszú.

A dolgozatunk témáját, illetve esettanulmányát a *Crac des Chevaliers* kereszties erőd adja, amit a “*csodálatos*” jelzővel szokás illetni. A mészkö kvaderekből emelt koncentrikus erőd az *Orontes* folyó völgyét és Szíria belső területeit, vagyis a *Tripoliszi Grófság* határvidékét tartotta ellenőrzése alatt. A XI. század első felében létesült a ma álló kereszties vár elődjének

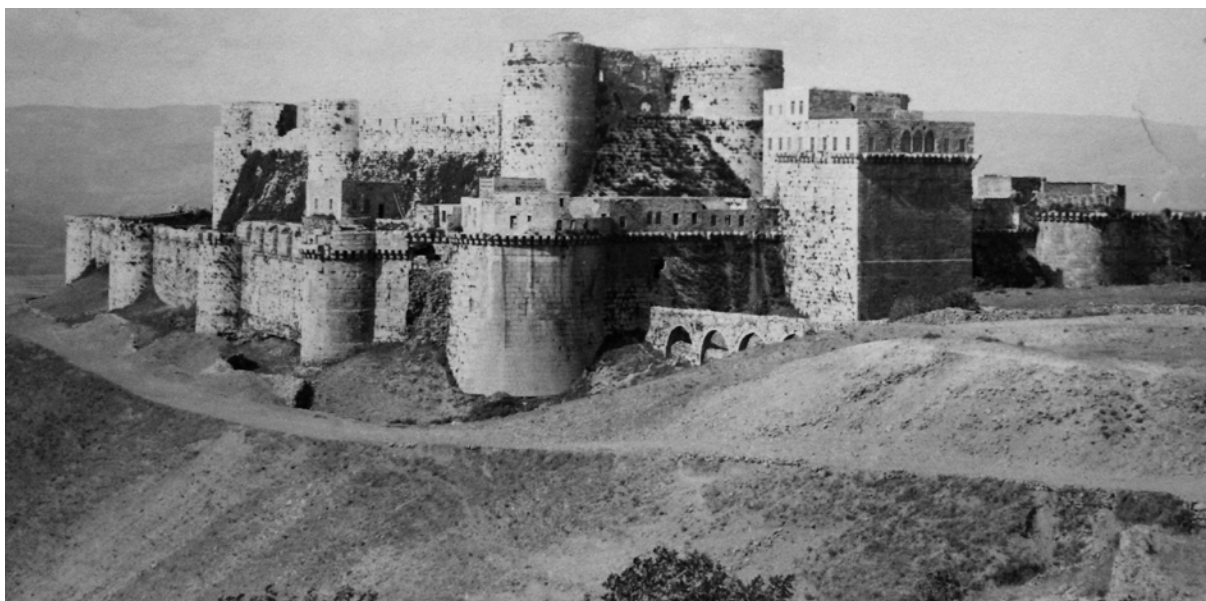
10 Major B. (2001).

11 Major B. (2001).

{ Arabul: Qal'at al-Marqab (قلعة المرقب), vagyis "Örhely". A Banias városának közelében fekvő, szintén kereszties kori vár az egyik legjobb állapotban fennmaradt, nagy kiterjedésű komplexum. }

számító kisebb kurd erősség, melynek maradványaiból kevés ismert. Az első írásos emlék még 1031-ből való, de valószínűleg az 1040-es, 1050-es évekre tehető ennek a korai erősségnek az építése Homs akkori emírije által. A várat később 1110-ben foglalták el a keresztiesek *Qādī Fakhr al-Mulk* emírtől. Tripolisz grófjától, II. Raymondtól 1142-ben a johannitákhoz került birtokadomány formájában, akik akkor már *Margat* várának is a tulajdonosai voltak.

Ekkortól több periódusban épült ki a vár. A második, 1170-es földrengést követően álltak már a főbb épületek: a tornyok, dongaboltozatos terek, a kápolna, és a keleti kapuzat. Az 1187-es hattíni ütközet után is frank kézen maradt *Crac*, mivel *Saladin* a vár erőssége miatt inkább meg sem próbálta az ostromot. Ma ismert formáját, a koncentrikus, komplex jellegét viszont a XIII. század közepére nyerte el. Ekkor épült meg a nagyterem a kerengővel, a külső várfalgyűrű a félkör alakú oldaltornyokkal, kapukkal, valamint a pártázatokkal, és több termet is kisebb-nagyobb mértékben átalakítottak, vagy bővítettek. Érdeemes megemlíteni, hogy 1218-ban II. András királyunk, a szentföldi útja során jelentős adományt tett, évjáradékot rendelt el a johanniták részére. Baybars szultán 1271-es, több mint egy hónaig tartó ostroma után jutott a vár a Mamlukok kezére.<sup>12</sup>



2. ábra. *Crac des Chevaliers*

*Crac* folyamatosan veszítette el jelentőségét, bár hosszú időre példává vált az hadi építészet tervezésében, például I. Edward angol király (1272–1309) is számos erődöt építtetett a mintájára. Az első modern értelemben vett kutató, aki foglalkozott a várral *Melchior de Vogüé* volt, akinek a munkája a nyugati világ számára a *Second Empire* (1852–1870) keleti terjeszkedése által vált ismerté. A vár a francia mandátumidőszak (1920–1946) alatt is elsősorban a francia kutatás területének számított.

{ 1927-ben még a romok közt lévő kis falu 530 lakost számlált, melyet öt évvel később számoltak fel. }

<sup>12</sup> Boas, A. (1999): 109–110.; továbbá bővebben az egyes épületek leírásáról és *Crac* történelméről: Zimmer, J., Meyer, W. & Boscardin L. (2011): 173–293., 345–359.



3. ábra. Balra fent: Archív felvétel, a kerengő a 20. század első felében



4. ábra. Jobbra fent: A vár rekonstrukciója a 30-as években

Az 1930-as évektől kezdődött el a vár restaurálása és régészeti kutatása — kiemelve *Paul Deschamps* munkásságát —, illetve turisztikai célponttá is ekkor vált. A XX. század közepétől, a francia kutatók “visszavonulásával” az 1960-as évektől német és brit szakemberek foglalkoztak az erődítéssel, megemlítendő *Denys Pringle*, illetve *John Zimmer*<sup>13</sup> és *Thomas Biller* kutatói gárdája.<sup>14</sup> *Crac des Chevaliers* vára 2006-tól a világörökség részét képezi és a szír állam tulajdona.

### 3.3. A Szíriai-Magyar Régészeti Misszió (SHAM)

A Misszió alapvető célkitűzése a középkori *Levante* térségének kutatása, amely 2000-től kezdődően településföldrajzi és -hálózati<sup>15</sup>, illetve 2007 őszétől — koncesszió formájában — a XII. században kiépült kereszties erőd, *Margat* várának komplex régészeti, építészet- és művészettörténeti kutatásából áll magyar és szíriai kutatók részvételével. Ez év júliusában a Misszió<sup>16</sup> a margati projekthez kapcsolódóan a *Homs* Tartománybéli *Crac des Chevaliers* kereszties kori erődjében végzett munkálatokat a szíriai kollégák felkérésére. A vár általános állapotát dokumentáló felmérés egy későbbi, komplex műemléki helyreállítást alapoz meg, célja az utóbbi években megrongálódott épületrészek felmérése, a károsodások mértékének diagnosztizálása, a rekonstrukció előkészítése, különös tekintettel a várkapolna szerkezeti

13 Zimmer, J., Meyer, W. & Boscardin L. (2011): 363–368.

14 Biller, Th. (2006) (ed.). *Der Crac des Chevaliers. Die Baugeschichte einer Ordensburg der Kreuzfahrerzeit*. Regensburg.

15 Major B. (2015).

16 A 2016-os júliusi kutatási szezon magyar résztvevői: Major Balázs (régész, egyetemi docens, PPKE; projektvezető, SHAM), Vágner Zsolt (régész, PPKE; projektvezető, Crac des Chevaliers), Vasáros Zsolt (DLA építészmérnök, egyetemi docens, BME), Bertók Gábor (régész, PPKE, Pécs–JPM), Borosházi Tamás (építészmérnök), Buránszki Nóra (régész, Forster Központ), Franta Dezső (restaurátor), Lóki Róbert (régész, PPKE), Balog Gellért (önkéntes), Bojtár Erzsébet (régészhallgató, PPKE), Hirling Beáta (régészhallgató, PPKE), Kocsis Anita (régészhallgató, PPKE), Kotán Dávid Márk (régészhallgató, PPKE), Kovács Kata (építészhallgató, BME), Lovas Klára (építészhallgató, BME), Miklós Bernadett (építészhallgató, BME), Molnár Ádám (régészhallgató, PPKE), Takács Mór Bendegúz (régészhallgató, PPKE).

Segítségüket és támogatásukat ezúton is köszönjük a szíriai kollégáknak: Na’ima al-Mahartam (igazgató, Crac des Chevaliers, DGAM), Edmond el-Ajji (igazgató, Damaszkuszi Citadella, DGAM), Ahmed al-Boush (mérnök, DGAM), Hazem Hanna (mérnök, Crac), Maysam Youssef (régész, Jabala).

és vizesedési problémáinak hosszú távú orvoslása. A projektben a *Pázmány Péter Katolikus Egyetem Régészeti Tanszékének* és a *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Ipari és Mezőgazdasági Épülettervezési Tanszékének* oktatói és hallgatói<sup>17</sup>, valamint a korábbi években már csatlakozott kutatók vettek részt.

A szíriai háború<sup>18</sup> anarchikus eseménysorozatai következtében jelentős károk keletkeztek Crac erődjében, több bástya és falszakasz is megrongálódott, némelyik életveszélyes állapotban van. A legjelentősebb veszteség a várudvar területét érinti, ahol egy, a déli csarnok teraszára vezető robusztus, XIII. századi lépcsőt körülbelül két évvel ezelőtt egy, a várat megszálló fegyveres csoport felrobbantott, ezzel megsemmisítve magát a lépcsőt, illetve az udvar átellenes, nyugati felén álló kerengő is súlyosan sérült, mérműves ablaksorában és az épület déli szerkezetében is komolyan rongálódott.

A gyakorlati munkánk többretű volt. A következő fejezetekben a különféle elterjedt felmérési eljárások leírásán át, majd az elvégzett munkánkból példákat mutatunk be esettanulmányokon keresztül, és az abból levonható tapasztalati következtetéseinket adjuk közre.



**5. ábra.** A magyar csapat és a szír kollégák egy része Cracban 2016 nyarán

17 Az Ipartanszék jelenlegi kutatási célkitűzései között számos nagyléptékű, ún. kultúrtáj projekt szerepel. Hallgatók és oktatók bevonásával Erdélyben a római limes mentén, a Somlóhegyen, Mezőhegyesen, Borsodban, Észak-Irakban továbbá Egyiptomban több projektben is részt veszünk, többeknek kezdeményezői vagyunk, a PPKE számos projektben partnerünk illetve a projekt irányítója. Ebbe remekül illeszkedik a szíriai szerepvállalás, amely keretében sokszor szélsőséges körülmények között, változatos feladatok megoldását végezzük több szakterület együttműködésével. Lényeges elem, hogy a vállalt feladatok és az alkalmazott, sokszor kísérleti módszerek új, egyetemi környezetben értelmezhető modellértékű eredményeket adjanak, ezt reprezentálja jelen dolgozat is. Jóllehet itt elsősorban műemléki karakterű esettanulmányokat mutatunk be, célunk az ember formálta táj máig is ható folyamatainak, az antropogén hatások lényegi elemeinek analízisa, abból eredeztethető tervezési megfontolások levezetése.

18 Néhány online hírközlés a vár 2014 májusi visszafoglalásáról, a szír kormányerők által: <http://www.reuters.com/article/us-syria-crisis-hosn-idUSBREA2J12D20140320>; <http://www.bbc.com/news/world-middle-east-26696113>

# 4. Felmérési eljárások

## 4.1. Bauforschung, a tradíció

Felmérésünk módszertani előzményének a *“Bauforschung”* néven emlegetett, eredendően a német épületkutatás szemléletét tükröző tudományág tekinthető. Maga az elnevezés a *“Bauforscher”* Armin von Gerkan nevéhez fűződik. A mai értelemben vett metodika a XX. század első felében alakult ki, elsősorban az antik romok kutatásához kapcsolódóan.<sup>19</sup>

Bauforschung: német kifejezés, az alakhű felmérési technikán alapuló, nagy részletezettségű, pontos, a történetiséget és annak rétegzettségét mindig szem előtt tartó dokumentálás és elemzés, amely a meglévő írott források kritikai elemzésének elvén alapszik. Az elsődleges forrás mindig maga az épület. A Bauforschung, alakhű felmérés történhet hagyományos kézi felméréssel, de a korszerű eljárások alkalmazásával is éppúgy készülhet.

A régi, főként a klasszikus ókori épületek felfedezése a reneszánsz kezdetén, a *quattrocento* alatt vett lendületet. A cél a kor építőművészetének ihletként szolgáló antikvitás klasszikus formáinak megismerése és tanulmányozása volt.<sup>20</sup> A fennmaradt, csekély számú írott forrás okán a tanulmányozás nem jelentett mást, mint a felmérni kívánt épületet, épületromot, annak minden lényeges információt hordozó formaváltozásait, szabálytalanságait *“alakhűen”*, azaz precíz módon, léptékhelyesen rögzíteni, dokumentálni. A XIX. században már nemcsak megismerni kívánták a régmúlt korok építészetét — a klasszicizmus és historizmus jegyében —, hanem a műemlékek megőrzéséért és helyreállításáért is készültek a műszaki felmérések és tervrajzok. A régi épületek így tehát a művészet- és építészettörténet elsődleges forrásává váltak.<sup>21</sup>

A felmérési munkákat mindig a helyszínen végzik el, két lényeges alapelv szerint: az épülettől független geodéziai alaprendszer alapján veszik fel a mérőhálót, melyet a helyszínen végzendő felrajzolás követ. A mérnöki rajz menetére jellemző, hogy törekszik a legkisebb információveszteségre azzal, hogy minél pontosabban próbálja meg az adott épület formáit, szerkezetét, anyaghasználatát rögzíteni és ezzel párhuzamosan értelmezni. A hagyományos metodika máig megőrződött, csak kivitelezésének módjában történtek innovációk. A felméréseket ma a szakrestaurátor destruktív beavatkozásának, vagyis a falszövet szondázásának, illetve a természettudományos vizsgálatoknak az eredményei egészítik ki. A fentiek alapján az *“épületértelmezési és dokumentálási kényszer”* folyamatos interpretációra készíti a kutatókat, hogy adott esetben egy alakváltozott, több építési periódussal rendelkező épület relatív kronológiája felállhasson. Ennek a hagyományos kutatói módszernek nagy előnye, hogy a folyamatos helyszíni kutatói munkának köszönhetően alapos és igényes dokumentáció készülhet el, azonban az ideális kutatói körülmények megteremtéséhez és leszervezéséhez hosszabb idő, valamint állványzatok felépítése szükséges. A néhány évtizede elterjedő *“fotogrammetria”*<sup>22</sup> és

19 Sokat idézett mű a Bauforschunggal kapcsolatban: Schuller, M. (1990).; továbbá egy hazai, példaértékű munka monográfiája: Halmos B. & Maróty K. (2015); illetve: Krähling J., Halmos B. & Fekete J. Cs. (2006): 5–55.

20 Bővebben a témáról: Storz (2001): 1–23.

21 Krähling J. (2009): 681.

22 Alapvető irodalom a témában: Foramatti, H. (1973).; példa a fotogrammetria hazai használatára: Dankó K., Feld I. & Szekér Gy. (1999): 375–393.; illetve német irodalom: Hell, G. (2001): 41–43.

*térszkennelés* módszere nagyban megkönnyíti és lerövidíti a terepi munkálatokat, azonban ezzel párhuzamosan az irodai utómunkálatok minősége már elmarad a ténylegesen helyszínen végzett és elkészített felmérésekéhez képest. Lényege, hogy a helyszínen végzett felmérési folyamat a kutató állandó jelenléte mellett egyszerűsíti és szelektálja a rendelkezésre álló információk tömegét, míg a fotók vagy a pontfelhők által csak egy automatikusan redukált adathalmazból kénytelen dolgozni a szakember.<sup>23</sup>

## 4.2. Az IMS<sup>EV</sup> mérési technológia

Az Integrált Mérés Eljárással<sup>24</sup> végzett kutatások és fejlesztések gyakorlatilag előremutató eredményeket csak az 1980-as évektől kezdve hoztak, annak ellenére, hogy már egy évtizeddel korábban alkalmazták és az új technológiák, mint lézer és fotogrammetria is jelentős fejlődésnek indultak.

{ IMS<sup>EV</sup>: angol kifejezés: Integrated Measurement System }

Maga a technológia a különböző szakterületek kooperációjából született. Mint minden felmérésnek, az IMS<sup>EV</sup>-nek is a korrekt, teljességre törekvő dokumentáció az alapja, előtanulmányokkal és összetett háttértudással. Ez esetben az értékmentés az említett alapokon nyugszik, továbbá komplex hardveres és szoftveres ismeret szükséges hozzá.

A felmérés lényege, hogy térbeli poligonra szoftveresen illesztik a digitálisan felvett képi adatokat *“komplex mérési- és illesztőadatokkal”*. A módszer összetettségét jelzi, hogy képes integrálni az egyes digitális mérési technológiák előnyeit, míg a *Bauforschung* úgymond *“gyenge pontjait”* kiküszöböli. Mint minden digitális rendszer, úgy ennél is mind az adatfelvételnek, annak feldolgozásának, valamint az eredmény létrehozásának folyamatában is folyamatos a technikai fejlődés. A végtermék minőségi — vagyis az elkészült fájlok mérete — szintje csak a munka előtt elérni kívánt céltól függ.

## 4.3. Lézerszken

A *“LIDAR”* lézer alapú távérzékelés repülőgépről végezve mint felmérési eszköz az 1960-as évektől van jelen, elsősorban a mérnöki környezetben.

{ LIDAR: angol nyelvű kifejezés: Light Detection and Ranging. A lézer által kibocsátott folytonos elektromágneses hullám kölcsönhatásba kerül a környezetben található objektumokkal, és visszaverődik azokról. A távolság meghatározása a kibocsátott és elnyelt fáziskülönbségek mérésével történik }

Módszereit már közvetlenül a lézer megismerését követően kidolgozták, első alkalmazói a meteorológusok voltak. A technika a köztudatba először az *Apollo-15* missziója során került, amikor is térképészeti céllal alkalmazták a Hold felszínének felméréséhez. Az eljárás során elektromágneses hullámokat használtak a távolság méréséhez.<sup>25</sup>

A felmérés eredménye egy pontthalmaz, amelyről leolvasható a mért objektumok

23 Krähling J. (2009). 681–683.;

24 V. Györfy I. & Vajda J. (2009): 685–687.; ugyanerről korábbi irodalom: V. Györfy I. & Vajda J. (1998): 175–202.

25 Veroné Wojtaszek M. (2010): 17–22.; továbbá: Székely B., Molnár G. & Roncat, A. (2007).

“x”, “y” és “z” koordinátái. A legújabb szenzorok már a köztes visszaverődés rögzítésére is alkalmasak, illetve a lézerpulzus teljes jelalakjának rögzítésére egyaránt. Segítségével lehetővé válik nagyobb sűrűségű adatfelhők felvételére és a különböző “reflektanciájú” felületek megkülönböztetésére, amely még pontosabb és részletesebb felmérési dokumentációt eredményezhet.

A gyors adatnyerés más felmérési eszközökkel szemben olyan nagy előnyt jelent, amely a technológia széles körű elterjedését okozta. Nagy pontossága mellett még számos előnye van, köztük az időjárástól és napszakoktól való függetlenség, valamint a felmérések során nem jelent problémát a természetes növényzet, viszont a hullámhosszak szakszerű megválasztásával olyan speciális helyzetek kezelhetőségét hordozza magában, mint például a víz alatti objektumok mérése.

Hátrányának vehető, hogy a légköri ún. “inhomogenitás” akadályozza a műszer detektálását. Mindemellett az eszköz használata rendkívül nagy üzemeltetési költséggel jár annak ellenére, hogy a felmérés jelentős időt spórol meg az adatfelvételi szakaszban. A mért adatok feldolgozása csak részben automatizálható, mivel jelentős manuális munkarészt követel meg jelentős szakmai ismeretekkel és eszközigénnyel együtt.

#### 4.4. Fehérfényszken/ optikai szkennerek



6. ábra. A Visegrádi Madonna részletének felületszkennelt modellje poligonháló megjelenítésével

A térbeli képpalkotási módszerek között léteznek még egyéb háromdimenziós szkennerek. Az optikai szkennerek<sup>26</sup> vagy lézerral, vagy pedig ún. fehér fényvel dolgoznak, és a fény visszaverődését használva alkotnak képet, vagyis egy virtuális másolatot az adott objektumról.

26 Fazekas F. & Végvári Zs. (2009): 689–691.



A módszer a visszaverődött fény erősségét és a kontrasztok eltérését használja fel a mérésre, amelynek az alapja a háromszögelés elve. A szkennert két fő egységből, videokamerából és a projektorból áll. Utóbbi kontrasztrácsot vetít a tárgy felszínére, amely határterületeinek a változtatásával összehasonlítási adatokat hoz létre. A beesési és a visszaverődési szög különbségéből adja meg a tárgy adott pontban mért alakját is kiterjedését.

A végigpásztázott tárgy adatait és a visszaverődő fényt egy vagy több színes digitális kamera rögzíti, attól függően hogy *mono* vagy *stereo* berendezésről beszélünk. A digitális kamera lapkájának (*CCD*) paramétereitől függően változik a kapott kép felbontása.

A tökéletes színadat eléréséhez szükséges a tárgy semleges, globális fénnel történő megvilágítása. A kamera látószöge csak egy adott méretű részlet befogadására képes, azonban a munkaterület változtatásával fordítottan arányos a pontosság. A tárgyról készült szkennelések szoftver segítségével illeszthetők össze a közös pontok alapján. A háromdimenziós modellben a pontokat a program összeköti, és egy felülethálót illeszt a kapott ponthálóra.

## 4.5. *Structure from Motion*, “*SfM*” programok — tapasztalatok elméleti úton

A digitális modelleknek több felhasználási területe is lehet. Esetünkben például az adatok rögzítése után a hiányzó köelemek, fragmentumok pótlása, kiegészítése az eredeti objektumtól függetlenül, labor körülmények között is megoldható, így jelentős segítség lehet olyan projektek esetében, amelyek keretében későbbi, utólagos helyszíni munka már nem, vagy csak nehezen oldható meg. A feldolgozás alkalmával a kívánt léptékben akár számtalan másolat, munkamodell vagy műtárgymásolat is előállítható. Az adatállományokból különböző programok segítségével további adatok nyerhetők ki, amelyek az utófeldolgozást és az értelmezést segíthetik.

### 4.5.1. *AutoCAD 123D Catch*, *PhotoModeler*, *Python Photogrammetry Toolbox*, *MeshLab*



123 Catch

MeshLab

Python

PhotoModeler

QGIS

7. ábra. *Structure from Motion* algoritmuson alapuló programok ikonjai

A következőkben több olyan alkalmazást, illetve programot is ismertetünk, amelyek importált, digitális fotókból képesek virtuális modellt alkotni különböző objektumokról.

A *123D Catch*<sup>27</sup> az *AutoCAD* szoftvercsalád tagja, amely most már kizárólag telefonos alkalmazásként működik. Előnye, hogy egyszerűbb, kevésbé összetett, “*hirtelen*” modellek kreálására kiválóan alkalmas, csupán egy konfigurációjában alkalmas okostelefonra van szükségünk. Körülbelül húsz fotó elkészítése elégséges a célobjektum különböző oldalairól, a

27 <http://www.123dapp.com/howto/catch>

képeket importáljuk a programba, és kész is a 3D modell lementve a telefon memóriájába. Ezek után a modellt még több effektel is módosítható, azonban ez már jelentősen az adott telefon teljesítményétől függ.

A *PhotoModeler*<sup>28</sup> program is egy számítógépre konfigurált alternatíva, azonban tapasztalataink szerint — a későbbiekben leírt *Photoscan* programmal összehasonlítva — a kezelőfelülete kevésbé felhasználóbarát. Rengeteg manuális beállítás szükséges a korrekt használatához, és a modellek generálása is több időt vesz igénybe, tehát praktikum szempontjából kevésbé megfelelő.

A *Python Photogrammetry Toolbox*<sup>29</sup> egy ingyenes opció, hátránya viszont, hogy a sűrű pontfelhő létrehozását követően a *MeshLab*<sup>30</sup> nevű program segítségével tudjuk csak elkészíteni az objektum felületmodelljét. A szétbontott modell miatt még összetettebb munkafolyamatot eredményez és sokkal több informatikai háttértudásra van szükség a finombeállításokhoz. A felhasználói felület a — később részletezett — *Agisoft*hoz képest jelentősen bonyolultabb, sok paramétert manuálisan kell beállítani a felhasználóknak,<sup>31</sup> a program optimalizálása is kevésbé megoldott, ugyanazon modell összeillesztése körülbelül kétszer annyi időt vesz igénybe.

## 4.5.2. *Agisoft PhotoScan* és a *Structure from Motion*

A “*Structure from Motion*”,<sup>32</sup> röviden “*SfM*” technológia segítségével a 2D képekből színvonalas 3D modelleket tudunk létrehozni.<sup>33</sup> Előnye a fentebb felsorolt technológiákkal szemben, hogy — az esetünkben fennálló idő- és költségkeret szűkössege és adott esetben fennálló krízishelyzet miatt — gyorsan, kisebb eszközparkkal, csupán egy digitális kamera segítségével is készíthetünk a lézerszken technológia eredményeihez hasonló minőségű pontfelhőket és felületmodelleket. Az ehhez szükséges feltétel alapvető és egyértelmű: a modellek elkészítéséhez megfelelő minőségű fotókra és az “*SfM*” technológiát alapul vevő programalgoritmusra van szükségünk, melyet az *Agisoft LLC* által fejlesztett *PhotoScan* tud biztosítani.<sup>34</sup>

A “*Structure from Motion*” technológia nagy előnye, hogy a kézi felméréssel nem mérhető szerkezetek, nehezen hozzáférhető vagy összetettebb, bonyolultabb geometriák esetén is pontos információt képes adni. A kontextusába helyezett, ún. georeferált 3D modellekről a terepmunka befejeztével is bármilyen részletet, adatot ki tudunk nyerni, immár labor- vagy irodakörülmények között. A helyszíni munkához ideális esetben csak egy megfelelő minőséget nyújtani képes digitális kamerára van szükségünk, valamint a kellő háttértudásra a program működésével kapcsolatban. A lényeg az adatgyűjtés — azaz a fotók készítése —, illetve a fotózás folyamatának kontrollja.

28 <http://www.photodeler.com/index.html>

29 <http://184.106.205.13/arcteam/ppt.php>

30 <http://meshlab.sourceforge.net/>

31 Az Agisoft és a MeshLab programok összehasonlításáról szóló kisfilm: <https://www.youtube.com/watch?v=KY4k-z5D59pk>

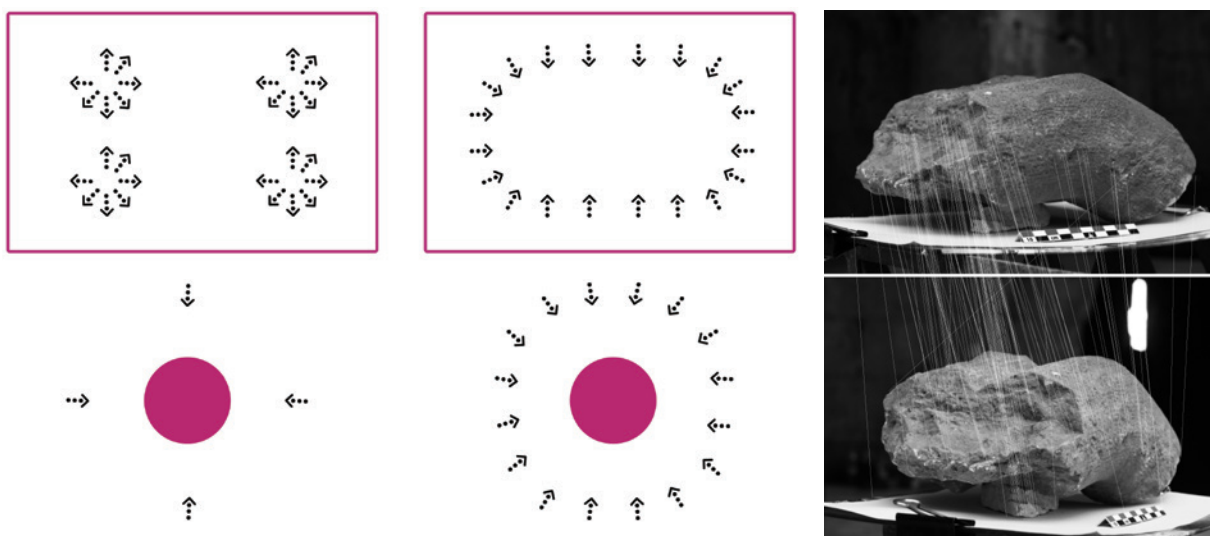
32 [https://www.researchgate.net/publication/262186389\\_Robotrepulokkal\\_keszitett\\_legifelvetelek\\_feldolgozasa](https://www.researchgate.net/publication/262186389_Robotrepulokkal_keszitett_legifelvetelek_feldolgozasa)

33 A program friss, 2016-os használati utasítása angol nyelven: [http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro\\_1\\_2\\_en.pdf](http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_2_en.pdf)

34 <http://www.agisoft.com/>

A képek készítésénél alapvetően két szituációt különböztethetünk meg a fotós és az objektum kapcsolatát vizsgálva (**8.ábra**), eszerint belső teret vagy külső, szabadonálló objektumot fotózunk. Az adatfelvétel művelete során figyelni kell a készített képek átfedésének arányára, ez legalább 30-40% fedettséget kell, hogy jelentsen. Ennél kevesebb közös rész esetén az összetettebb térmodellek jelentős torzulással, hibás, valótlan geometriával jöhetnek létre.

Mint minden "SfM" algoritmuson alapuló program, úgy az *Agisoft Photoscan* is a fotók közötti hasonlóságok és a képek tulajdonságai alapján számolja ki a kamerapozíciókat, ezek alapján építi fel az objektum térbeli pontfelhőjét. Nagy előny, hogy automatikusan felismeri a fókusz távolságokat, objektívtípusokat és képes számolni a korrekciós értékekkel. Amennyiben drónnal készített fotókat használunk, a fényképek GPS koordinátáit is felhasználja, így a kamerapozicionálás által a modell is sokkal pontosabb lesz. A pontoknak előre is megadhatunk koordinátákat, sőt előre definiálhatunk olyan közös pontokat a képen, amelyek segítik az összeillesztést.



**8. ábra.** Balra fent: Fotózás menete (bal oldalon a helytelen mód, jobb oldalon a helyes)

**9. ábra.** Jobbra fent: Az egyes fotók közötti képpont párok megjelenítése

A létrejött pontfelhőből sűrű pontfelhőt, különböző minőségű és poligonszámú felületmodellt készíthetünk, végül a 2D fotók alapján a program a felületet textúrával látja el. Ezen folyamatok részletes beállításait nem kívánjuk a dolgozat keretei között ismertetni, kizárólag az esettanulmányok alkalmával előkerült problémákkal foglalkozunk a későbbiekben, csak a számunkra releváns, hasznos és a tapasztalataink útján kikísérletezett megoldásokat részletezzük.

## 5. Digitális háttértudás, eszközigény

Az idei 'misszió' valójában nem a helyszínen kezdődött, hanem még jóval előtte, az otthoni stratégiai megbeszéléseken. Elsősorban fontos volt belátni, hogy a rendelkezésünkre álló idő — az elmúlt évek hazai tapasztalataiból kiindulva — a hagyományos felmérési technikáknak lehetetlen időkeretet szabott olyan nagyléptékű műemlékek esetében, mint *Crac* vagy *Margat*. Elengedhetetlen volt tehát egy dokumentációs stratégiát felállítani ahhoz, hogy mit kívánunk elérni a terepi munkák alatt az adott időkereten belül, és azt miként fogjuk a helyszínen megoldani majd itthon feldolgozni. Nem utolsósorban szükségünk volt egy egyedi, a saját felmérési szükségleteinket kielégítő algoritmusra, amit gyakorlatilag a helyszínen, Szíriában kellett tesztelni és a későbbiekben módosítani a fellépő igényeinknek megfelelően.



10. ábra. Jelmagyarázat a későbbi fejezetekben használt ábrákhoz

## 5.1. Eszköz igény

Az “*SfM*” technológia ugyan viszonylag minimális eszköztárral is könnyedén használható, de a megfelelő műszaki kellékek, kiegészítők megléte nagyban hozzájárul a dokumentáció pontosságához, azaz a felmérés sikerességéhez. Az alapfelszerelés legfontosabb kelléke egy megfelelő digitális fényképezőgép.



11. ábra. Felhasznált eszköztár

Eleinte az eszköztár (10. ábra) meghatározásánál az volt az elsődleges szempont, hogy az általunk preferált és szükségesnek tartott kellékek összértéke ne érje el olyan technológiák árát — például lézerszken, fehérfényscan —, amelyek kiválthatnák az alkalmazott módszerünket. Ez könnyedén teljesíthető kritérium volt,<sup>35</sup> mivel semmi másra nem volt szükségünk egy “*SfM*” modell létrehozásához, mint egy középárkategóriás fényképező vázra, egy flexibilis gyújtótávolságú zoom objektívra ami kiváltható kisebb távolságokban működő objektívekkel —, fényképezőgép állványra, vakura és egy legalább az alábbi rendszerfeltételek minimumát teljesítő laptpra:

### Alap konfiguráció

Processzor | CPU  
Négymagos Intel Core i7,  
Socket LGA 1150 vagy 1155

Alaplap  
LGA 1150 vagy 1155 4 GB  
DDR3 és legalább 1 PCI  
Express x16

RAM  
DDR3-1600, 4 x 4 GB vagy 4 x  
8 GB

Videókártya | GPU  
Nvidia GeForce GTX 780 vagy  
GeForce GTX 980 (opcionális)

### Haladó konfiguráció

Processzor | CPU  
Hatmagos Intel Core i7, Socket LGA  
2011-v3 vagy 2011

Alaplap  
LGA 2011-v3 vagy 2011 8 GB DDR4  
vagy DDR3 és legalább 1 PCI Express  
x16

RAM  
DDR4-2133 vagy DDR3-1600, 8 x 4  
GB vagy 8 x 8 GB

Videókártya | GPU  
Nvidia GeForce GTX 780 Ti,  
GeForce GTX 980 vagy GeForce  
TITAN x

### Extrém konfiguráció

Intel Xeon Munkaállomás

### Általunk használt konfiguráció

Laptop1  
CPU | Intel Core i7 6700 HQ 2.6 Ghz (4mag)  
GPU | Nvidia GTX 960M  
RAM | 16 GB 2133 Mhz DDR4  
SSD | 512 GB M.2 csatlakozás

Laptop2  
CPU | Intel Core i7 3630 QM 2.40 Ghz (4mag)  
GPU | Intel HD Graphics 4000  
RAM | 8 GB 2401 Mhz  
SSD | 1 TB

Laptop 3  
CPU | Intel Core i7 5500 CPU 2.40 Ghz  
GPU | AMD Radeon (TM) R9 M375  
RAM | 8 GB  
SSD | 1 TB

Asztali számítógép  
CPU | Intel Core i7-5930K 3.5 GHz  
GPU | Nvidia GeForce GTX 1070  
RAM | 128 GB 3501 Mhz 6 mag  
Alaplap | MSI - egyedi

12. ábra. Rendszerfeltételek és általunk használt eszközpark paraméterei

A műszaki kellékek mellett természetesen nem elhanyagolható a hagyományos kézi felmérés fontossága, a rajzos manuálék elkészítése, főként még a tervezési fázisban, a későbbi számítógépes feldolgozást megelőzően. Az elkészült épületmodellek léptékezése az utófeldolgozás részét képezik, ezért a manuális felméréseken a szükséges minimális számú méretek felvétele segédpontokkal, markerekkel — nem kihagyható, sőt evidens és létfontosságú.

Az időhiány és a távoli, nehezebb körülmények együttműködésre sarkallják az embereket, így a különböző szakterületeken dolgozó kutatócsapatokat is, mindez kooperációban, a tapasztalati tudás átadása, cseréje mellett zajlik.

35 <http://www.agisoft.com/downloads/system-requirements/>

## 5.2. Felmérés menete

A teljes folyamat tulajdonképpen két nagyobb fázisra bontható: az adatgyűjtésre és az utólagos feldolgozásra. A korábbi években, a jelentős nagyságendű, helyszínen elvégzett munka még a helyszínen rengeteg adatot jelentett a felmérőknek, viszont ezek otthoni utómunkája sokkal kevesebb, inkább emberi léptékű, még feldolgozható adatmennyiség volt. Többnyire az adott helyszínen elvégzett felméréssel egyenértékű volt az utómunka mennyisége.

Esetünkben a hatékony és gyorsan kezelhető technológiáknak köszönhetően a terepi munka jelentősen lerövidül a hagyományos kézi felméréshez képest, azonban ezzel párhuzamosan megnövekedett feldolgozandó adatmennyiség miatt az utómunkára számható idő aránytalanul megnövekedik. Ez az érzékelhető adatmennyiség-növekedés azonban jelentős információ-többletet hordoz, ami már olyan mértékű, hogy minőségében sok tekintetben túlnő a korábbi években elkészített munkák összességével. Az idei júliusi terepen töltött idő során egyértelművé vált számunkra, hogy a különböző léptékű, nagyságrendű és összetettségű objektumok dokumentálása során más és más jellegű problémák adódnak. Ezen szituáció egyike sem megoldható a különböző szakterületek együttműködése és a kiegészítő technológiák alkalmazása nélkül, mint például a drónos légi felvételek alkalmazása, mérőállomás használata, régészeti és térinformatikai ismeretek integrálása.

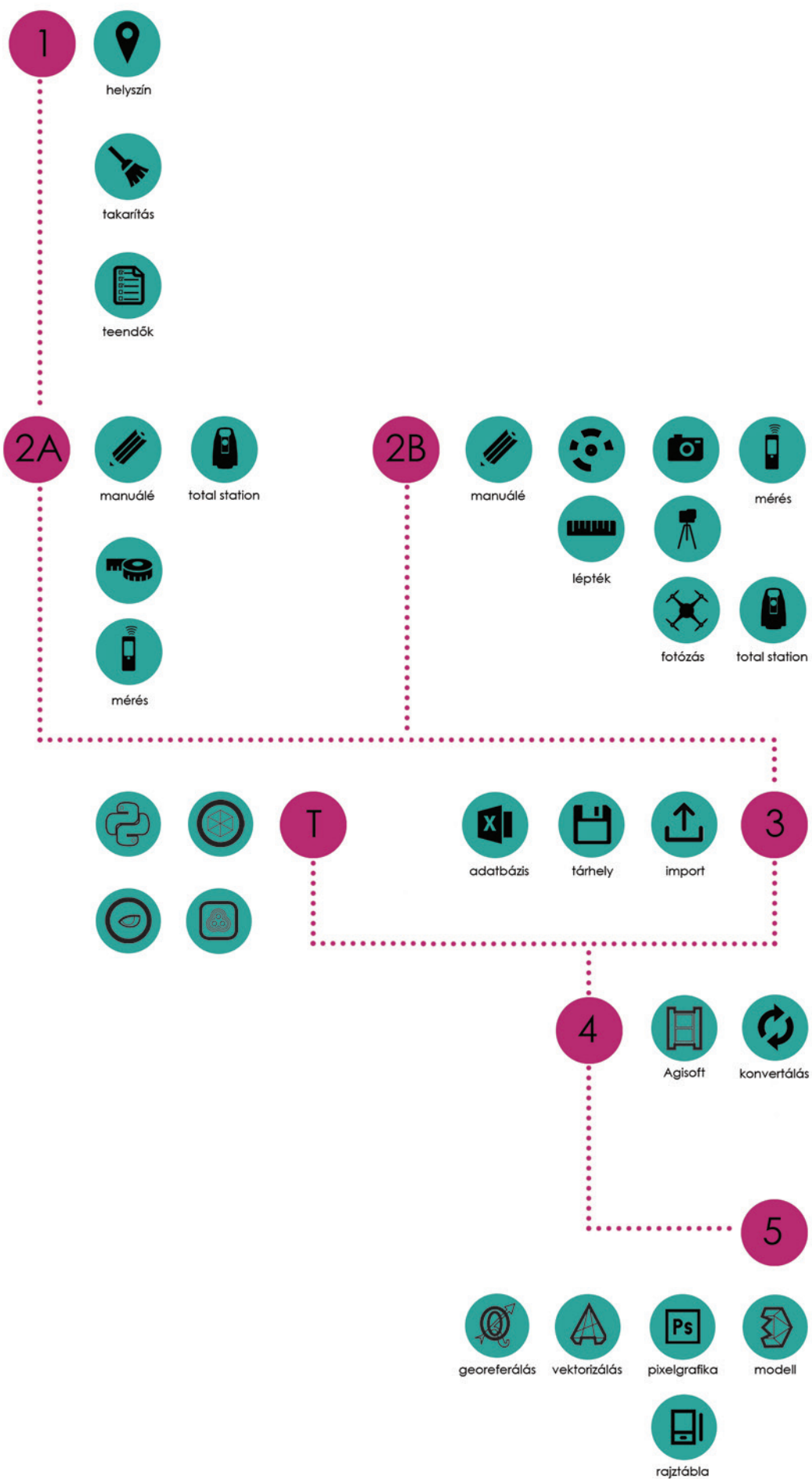
### 5.2.1 Helyszíni munka

A helyszíni munka előkészítése alapvető a technológia alkalmazásához és használatához. Mivel az elkészült modellek egy adott időbeli, pillanatnyi állapotot rögzítenek, így fontos, hogy a felmérni kívánt terület a lehetőségekhez mérten a lehető legtöbb információt közvetíthesse felénk. A terület előkészítése, tisztítása így kulcsfontosságú.

Az adatgyűjtés hatékonyságának érdekében szükségszerű a felméréndő objektum méreteinek és koordinátáinak pontos meghatározása. A felmérés tárgyának paraméterei és a feldolgozás eléri kívánt minősége jelentősen próbára teszi a mind a résztvevők, mind pedig a használt eszközök teljesítőképességét.

A paraméterekhez szükséges referenciapontok elhelyezése a felméréndő objektumon több módon is történhet, mely a léptékeztést, illetve a modellek összeillesztését segítik a későbbiek folyamán. Ez történhet a program által generált markerek helyszíni kiragasztásával és egymáshoz viszonyított összemérésükkel, az egyes referenciapontok felvétele mérőállomással, de bizonyos esetekben a léptékrúd elhelyezése is elegendő lehet. A digitális eszközzel történő referenciamérés nagy előnye, hogy a modellhez "x", "y", "z" koordinátákat tudunk kapcsolni, ezáltal térben elhelyezhető, georeferált modellt tudunk létrehozni. Ennek hiányában is alakhelyes lehet az eredmény, viszont nem helyezhető el semmilyen vetületi rendszerben, egy "lebegő" modellt kapunk.

A leírt előkészítő folyamatokat követően az adott objektum, tárgy vagy épület, épületrész megfelelő metodikájú, szisztematikus fotózása következik.<sup>36</sup>

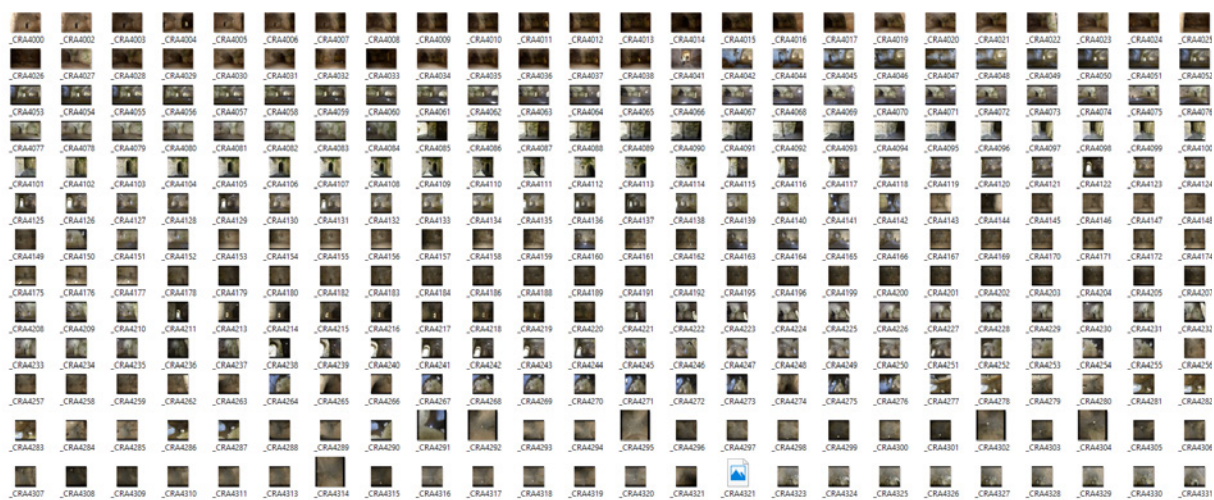


13. ábra. Munkafolyamat ábrázolása

Egy jó minőségű modell alapja a megfelelő szögekből történő, jó minőségű felvételek elkészítése. Egy-egy pontról legalább 3 képet kell, hogy készítsünk, ugyanakkor— tapasztalataink szerint — a későbbi kalibrálást a szoftverben az is segíti, ha az adott épületrész, objektum fotózását szisztematikusan haladva végezzük el. Az optimális eredmény elérése érdekében képeinknek legalább 6 megapixel (MP) felbontásúaknak kell lenniük, lehetőség szerint szórt fényben, vagyis derített égbolt alatt, ha terepi munkáról van szó. Általánosságban elmondhatjuk, hogy a magasabb minőségű és nagyobb számú képek készítése részletesebb modellt eredményez, de ez jelentősen növeli a számítógépes feldolgozás hardverigényét és időtartamát, fontos tehát hogy meghatározzuk a minőségi igényeinket, milyen részletezettségű eredményt várunk a dokumentáció során.

## 5.2.2. Adatok feldolgozása

A felmérés során kapott adatállomány önmagában még nem használható fel az utófeldolgozás során. A képeket, tesztmodelleket és az anyagokat válogatni kell, amihez jelentős adminisztráció szükséges, vagyis a gyűjtött információk kezelése és rendszerezése, illetve az egyes munkafolyamatok megszervezése alapvető, hogy a későbbiekben gördülékenyen dolgozhassanak együtt a résztvevő kutatók és szakemberek.



14. ábra. Képtenger

A munka előrehaladását folyamatosan és pontosan kell vezetni, hogy a már meglévő, friss adatállomány naprakész és rendszerezett legyen. Sok esetben a feldolgozást végző szakemberek sem helyileg, sem időben nem dolgoznak egy adott részfeladaton egyszerre. Képzelnék csak el, mekkora kavardás lenne egy ekkora adatállományban bármiféle ellenőrzés nélkül? Ki tudná fejben tartani, hogy egy adott helyen elvégzett felmérésből készült-e már próbamodel, és ha van, milyen állapotban, léptékben van, már elkezdték-e annak bármilyen jellegű feldolgozását? Előzetes becsléseink szerint a jelenleg birtokunkban lévő adatokból többévtényi aktív utómunka keletkezik, tehát létfontosságú, hogy a későbbiekben a projekt feldolgozása során a teljes munkafolyamat végigkövethető és ellenőrizhető legyen, hogy a kezdeti adathalmazból egy teljeskörű dokumentáció, egy tudományos munka, végül pedig egy kivitelezhető — esetünkben egy rekonstrukció — tervehessen a jövőben.



J	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R					
1	Name	All photos	Agisoft photos	Catalog photos	Agisoft model part 1	3DAlign Photos	Quality	Dense Cloud	Quality	Mesh	Texture	Agisoft model	Fullalign	Photos	Quality	Dense Cloud	Quality	Mesh	Texture	Render	Photographer	Server	Notes
257	137	27																					
258		28		X																			Kata_2016_07_19
259	130	32																					
260		32		X																			
261	139	29																					
262		29		X																			Kata_2016_07_19
263	140	29																					
264		29		X																			Kata_2016_07_19
265	141	28																					
266		28		X																			Kata_2016_07_19
267	142	32																					
268		33		X																			Kata_2016_07_19
269	143	30																					
270		30		X																			Kata_2016_07_19
271	144	109								X	X	X	X	X									Betti
272	145	34			X	medium	medium	X	X	X	X	X	X	X									Betti
273		38		X				X	X	X	X	X	X	X									Betti
274	146			X																			
275	147_149_150	316	316							medium	medium	medium	X	X									Betti
276	147	58	58	X		medium	medium	X	X	X	X	X	X	X									Betti
277		52	52	X		medium	medium	X	X	X	X	X	X	X									Betti
278	148	31	31	X		medium	medium	X	X	X	X	X	X	X									Betti
279		31	31	X		medium	medium	X	X	X	X	X	X	X									Betti
280	149	30	30	X		medium	medium	X	X	X	X	X	X	X									Betti
281		33	33	X		medium	medium	X	X	X	X	X	X	X									Betti
282	150	40	40	X		medium	medium	X	X	X	X	X	X	X									Betti
283		41	41	X		medium	medium	X	X	X	X	X	X	X									Betti
284	151	33	33	X		medium	medium	X	X	X	X	X	X	X									Betti
285		33	33	X		medium	medium	X	X	X	X	X	X	X									Betti
286	152	34	34	X		medium	medium	X	X	X	X	X	X	X									Betti
287		33	33	X		medium	medium	X	X	X	X	X	X	X									Betti
288	153	31	31	X		medium	medium	X	X	X	X	X	X	X									Betti
289		31	31	X		medium	medium	X	X	X	X	X	X	X									Betti
290	154	33	33	X		medium	medium	X	X	X	X	X	X	X									Betti
291		32	32	X		medium	medium	X	X	X	X	X	X	X									Betti
292	155	32	32	X		medium	medium	X	X	X	X	X	X	X									Betti
293		32	32	X		medium	medium	X	X	X	X	X	X	X									Betti
294	156	34	34	X		medium	medium	X	X	X	X	X	X	X									Betti
295		33	33	X		medium	medium	X	X	X	X	X	X	X									Betti
296	157	33	33	X		medium	medium	X	X	X	X	X	X	X									Betti
297		28	28	X		medium	medium	X	X	X	X	X	X	X									Betti
298	158	99	99	X						X	X	X	X	X									Betti
299	159	88		X																			
300		43		X																			
301	160	55	55	X		medium	medium	X	X	X	X	X	X	X									Kata
302		53	53	X		medium	medium	X	X	X	X	X	X	X									

15. ábra. Adatok kezelése Excel táblában

Az általunk vezetett “infotábla” (15. ábra) azokat az éppen aktuális alapadatokat tartalmazza, amelyek a feldolgozás egy adott szakaszában jelentőséggel bírtak. A már meglévő adatokat fontos rögzíteni az adatfelvevő személyével együtt, hogy bármilyen technikai probléma esetén visszakövethető legyen az adat forrása. Kezdeti szakaszban ennek a sok számadatnak statisztikai jelentősége is van, mivel még a technológia újdonságából fakadóan nem áll rendelkezésre értékelhető adatmennyiségen alapuló, kiértékelt eredmény, amelyből a munkavégzés időtartamára egyértelműen következtethetnénk és így a későbbiekre tervezhetnénk.

Ebből kifolyólag jelen tanulmányunk — a dokumentáción túl — egy kísérlet a jövőbeni munkafolyamatokhoz szükséges erőforrások becsléséhez és leképezéséhez.

### 5.2.3. Utómunka

A fotók szoftver általi összeillesztése során létrejött modell látványos és értékes vizuális dokumentáció, azonban a tudományos elkészítéshez szükséges a már meglévő adatok értelmezése és mérnöki ábrázolása az utómunkálatok részeként. A végeredmény létrejöttéhez — a részletettség és a végterméktől függően — különböző építészeti és akár más, képszerkesztői programok szükségesek.

Egy modell elkészítésének folyamata tömören: a képekből összeállított pontfelhő felületté, majd textúrázott modellé alakítása, mely pixelgrafikus feldolgozása után a létrehozott végtermék vektorizálásával zárul. Végül egy .dwg formátumú fájl készül el, ami a felhasználható programok számának legszűkebb keresztmetszetének bizonyult, ennek következtében több, különböző tudományág közös kommunikációs csatornájának is vehető.

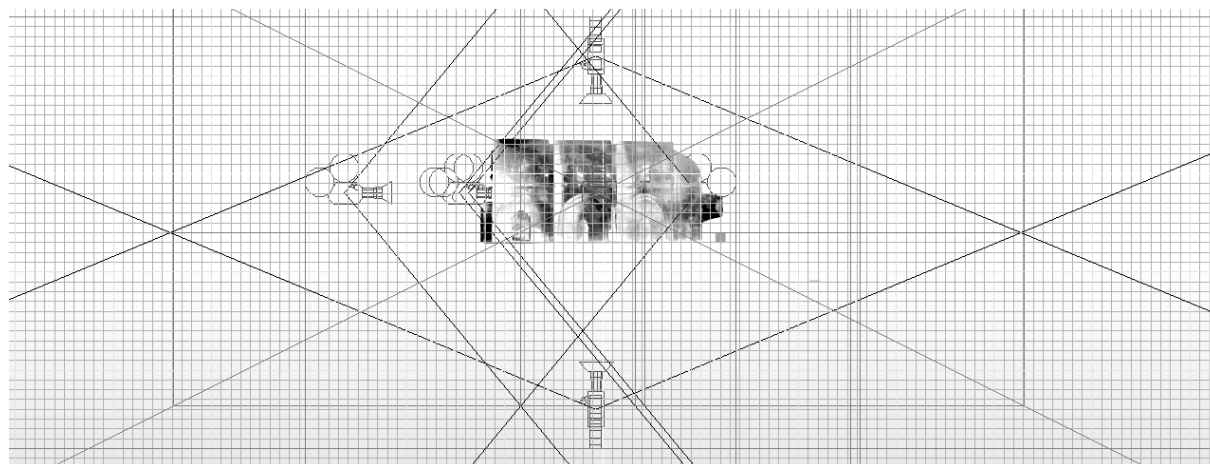
A már kész, léptékében megfelelő és georeferált modelleket 3D objektumként exportáljuk az Agisoftból, majd a 3DsMax nevű programban folytatjuk a feldolgozást. A modellek a georeferálás által a megnyitásuk után automatikusan északra tájoltva, megfelelő

méretben, léptékben jelennek meg — importálásnál figyelniük kell a programok közötti, eltérő mértékegységekből adódó léptékkülönbségre —, így ezzel a későbbiekben már nem kell foglalkoznunk.



**16. ábra.** Felhasznált programok az utófeldolgozás során

A *3DsMax* lehetőséget ad arra, hogy a modellekről gyorsan és hatékonyan, számunkra megfelelő nézeteket vehessünk és egyéb módosítások is elvégezzünk. A programon belül a kameraállások módosításával hozhatunk létre nézeteket, metszeteket, illetve egyéb modellmódosítók segítségével akár más jellegű lekérdezéseket is tehetünk. Az exportált, nagy — legalább  $2000 \times 3000$  — felbontású, *.png* fájl a későbbiekben alkalmas lesz más, pixelgrafikus programokban történő átrajzolásra is.



**17. ábra.** A kápolna modell *3dsMax* programon belül, kamera- és képbeállításokkal

Az egyes nézetek, metszetek átrajzolása általában digitális rajztáblával, kézzel történik. Ennek több oka van: főként a pontos, 1:1 arányban történő ábrázolás, illetve a lehetőség arra, hogy a már kiszerkesztett rajzokkal összehasonlíthassuk. A későbbiekben konkrét esettanulmányokon keresztül részletesebben is ki fogunk térni erre.

Az átrajolás szisztematikusan, különböző képi rétegek megkülönböztetésével történik. A szakmai szempontból elkülönített elemek és részletek, eltérő fóliára kerülnek a programban, hogy a későbbi konvertálások során a heterogén részleteket kezelni és megkülönböztetni lehessen. Más részletezettséget igényel például egy 1:200-es léptékű falnézet és egy 1:20-as részlet, ezért szükséges a különböző rétegek szeparálása. A kézi rajz önmagából adódóan természetesen pontatlan, ugyanakkor a valóságot mégis a legjobban képezi le, ez a pontatlanság a vektorizálás során bizonyos paraméterek beállításával jelentősen csökkenthető, vagy akár ki is küszöbölhető. A vonalvastagság és a ceruza típusa, hosszú tesztelések után végül 3 képpontnyi (pixel) átmérőjűre nőtt a kezdetben 1 képpontnyi vonal, ugyanis a későbbi feldolgozások során derült ki, hogy ez a vonalméret hozhatja a legpontosabb eredményeket.



**18. ábra.** Ceruzaméreték képpontban

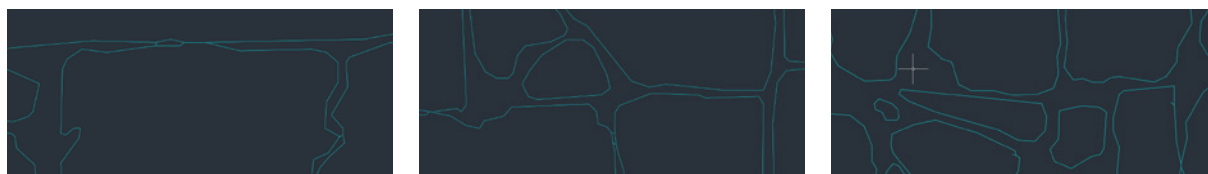
A rajz elkészülte után elhelyezünk egy illesztési pontot — egy keretet vagy egy léptékrudat — a virtuális lapon, majd a rétegeket ezután *.tiff* formátumban exportáljuk és az ún. *R2V* nevű — eredetileg katonai térképészeti célokat szolgáló, vektorizáló — programban digitalizáljuk. A folyamat során egy előre definiált rétegmintát használunk amit a program megnyitása után kell betölteni. Ezen a rétegmintán állítjuk be, hogy az épp vektorizálandó kép melyik rétegre kerüljön végül. Ennek a használata azért fontos, mert így bárki, bármelyik részletben vektorizálna egy réteget, akkor az másoknál, az általuk használt rendszerben is ugyanolyan színnel és fóliatulajdonságokkal, a saját rétegén fog megjelenni, amivel rengeteg idő spórolható meg a későbbi feldolgozás során. A mintaréteg importálása után a kép szaturálása, majd a vektorizálás következik. A beállítások során figyelni kell, hogy a 3 képpontnyi méretű vonal középvonala legyen az irányadó a konvertálás során — ugyanis kontúrt is képes vektorizálni a program —, így még precízebb eredményre juthatunk.

A módosítás után még szükségszerű az ún. vonalsimítás, mert a természetes kézirajz vonásai többszörösen megtört vonalakat tartalmazhatnak, amik vektoros formában nehezen kezelhetőek, illetve bizonyos — 1:10 közeli — léptékű rajzokon kifejezetten zavaróak tudnak lenni, ugyanakkor a szabálytalanságok, a vonaltörések hitelesen, alakhűen adják vissza a valóság szabálytalanságait.



**19. ábra.** A vektorizálás folyamata. Balról jobbra: Eredeti pixeles vonalrajz, vektorizált nyers majd simított vonalú vektorizált változat

A mentés *.dxf* formátumban történik, ami minden probléma nélkül — most már a különböző fóliainformációkkal együtt rögzítve —, megnyitható AutoCAD-ben, de más CAD programokban is egyaránt. Az így létrejött egyes *.dxf*-fóliákat egyesítenünk kell még egy közös fájlban az illesztőpont(ok) segítségével, majd a vonalak találkozási pontjait végig kell vizsgálni. Néhány esetben, szabad szemmel csak nehezen észrevehető hibák keletkeznek a manuálék rajzaiban, mint például nem érnek össze azok a vonalak, amelyeknek illeszkedniük kellene, vagy folt marad az amúgy kitöltött felszínen. Ezek a későbbi, vektorizált *.dwg* fájlban hibaként, vagy kis csökevényes vonalakként jelenhetnek meg, és megakadályozhatják a poligonkitöltések létrehozását.



**20. ábra.** Csökevényes vonalak különböző szituációkban

A feldolgozás végterméke és a felmérési dokumentáció *.dwg* formátumú, a megfelelő kitöltésekkel és vonalvastagságokkal. Ezeken a rajzokon minden egyes feldolgozó csoport a saját észrevételeit és szimbólumait jelölheti. A végső ellenőrzés pedig ugyanebben a formátumban történik.

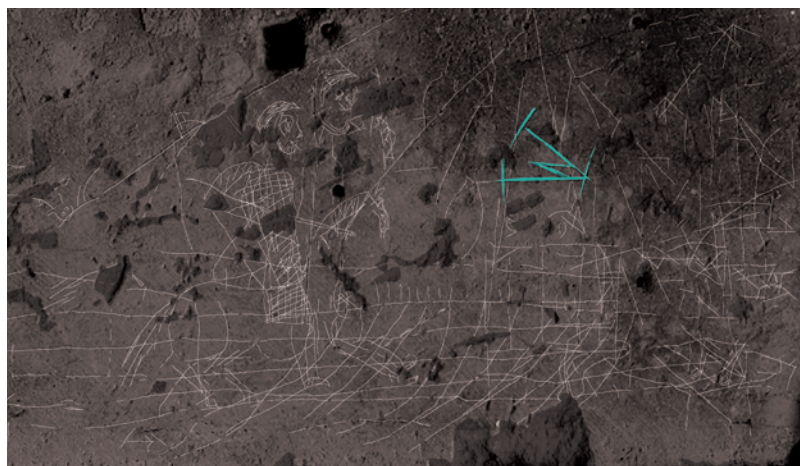
## 6. Esettanulmányok

A helyszíni és utómunka során szerzett tapasztalatainkat az egyes objektumok léptéke szerinti sorrend szerint vizsgáltuk, így külön értelmezhetőek és vizsgálhatóak, az adott lépték részletezettségi követelménye és az általunk elért eredmény alapján. Az elemzések során az adott részletezettséghez szükséges, más jellegű dokumentációkat is felhasználtunk, hogy a digitális technológia teljes körűen értelmezhető és kiértékelhető legyen. A továbbiakban kisebb fejezetekben írjuk le az egyes esetekből szerzett tapasztalatainkat.

### 6.1. Kőfaragó jelek, karcolatok

A már említett *Bauforschung* módszere az alapos, értelmező épületfelmerésen alapul. Az így elkészült dokumentáció minden fontos, jelentőséggel bíró információt megragad, értelmezi és összefüggésben láttatja azokat. A történeti épületek — jelen esetben a *Crac des Chevaliers* — falazatául szolgáló kvádereket és egyéb falazati elemeket, kisarchitektúrákat az egykori faragómester saját egyedi szignójával látta el a darab azonosíthatósága miatt, illetve a felületére még a szerkezetbe illesztést segítő elhelyezőjeleket is véshetett. A falfelületeken további jelek is felfedezhetőek, mint különféle kreatív ábrák, állatok, alakzatok, vagy csak céltalan vonalkák karcolatai.

A XIII. század közepén a várkápolna elé egy, az emeleti szintre felvezető lépcsőt emeltek azért, hogy az északi várfalak könnyebb megközelíthetőségét biztosítsák, vagyis *Crac* katonai erejét segítsék. A kápolna nyugati kapuzatától délre elhelyezkedő, a lépcsőszerkezetet alátámasztó harántfal északi oldalán, kb. 1,5 méteres magasságban látható több, a keresztben készült falfirka **(25. ábra)**.<sup>37</sup> A karcolatrendszer több elemre bontható: a falfelület legnagyobb részét kitevő ábra egy hosszú, kb. 1 m hosszúságú, 40 cm magas árbócos, hajó, amely középtájjára több próbálkozás után karcoltak fel egy lánccingés, lovon ülő egészalakot **(21. ábra)**.

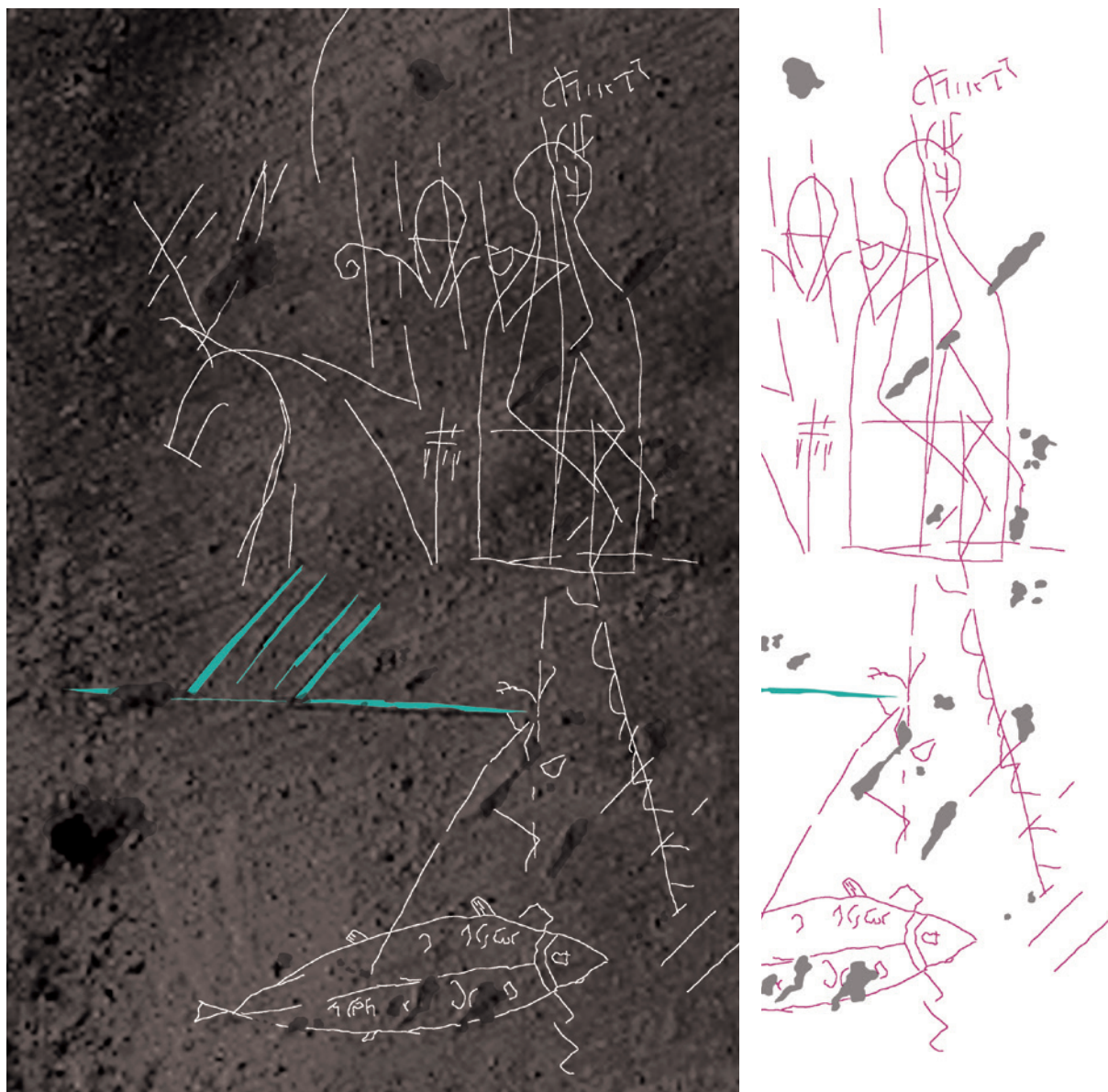


**21. ábra.** Balra fent: részlet a graffitiből háttérben a texturált modell nézete. Fehér: karcolatok, kék: kőfaragójelek, szürke: a falon fellelhető sérülések

**22. ábra.** Jobbra: Részlet a vektorizált rajzból. Pink: karcolatok, kék: kőfaragójelek, szürke: a falon fellelhető sérülések

37 A crac-i kőfaragójelekről és karcolatokról: Großmann, G. U., (2006): 348–361., illetve az általunk feldolgozott karcolatról: u.ő: 351–353.

A falfelület keleti részén szintén szembetűnő egy lovasalak (23. ábra), azonban egyszerűbb, sematikusabb kivitelben az előző, részletesebb rajzolatú figuránál. Ez utóbbi alak alatt pedig egy kisebb méretű, finomabb kidolgozású pikkelyes hal látható, amely “testére” egy rövidebb, olvashatatlan feliratot véstek.



23. ábra. Balra fent: részlet a graffitiből háttérben a texturált modell nézete. Fehér: karcolatok, kék: kőfaragójelek, szürre: a falon fellelhető sérülések

24. ábra. Jobbra: Részlet a vektorizált rajzból. Pink: karcolatok, kék: kőfaragójelek, szürke: a falon fellelhető sérülések

A helyszínen az említett falfelületre áttetsző, A/4-es szabványméretű műanyag fóliát rögzítettünk, így a karcolatrendszer 1:1-es léptékben lehetett alkoholos filctollal, különböző színek alkalmazásával átmásolni. Az így elkészült 10 lapot összeillesztve kirajzolódik a teljes falfelület: az ábrázolások karcolatai, két kőfaragójel az érintett egy-egy kváderen, illetve a sérült kőfelületek.

Mivel a “graffiti” nagysága miatt több lapra készült el az átrajzolás, így a másolat későbbi felhasználóságának kulcsa ezen részletlapok minél pontosabb összeillesztése. A lapok egymáshoz viszonyított helyzetét, valamint a kváderek széleit megadó távolságadatok feltüntetésével oldható meg az egyes fóliák sorrendjének későbbi visszaazonosítása is. A lapok

digitalizálása során és az utólagos feldolgozáskor az összeillesztés nem problémamentes, tökéletesen nem, de kisebb hibákkal megoldható. A módszer előnye, hogy a vékony, gyakran csak 0,5-1 milliméter átmérőjű vonalak rögzítése és értelmezése kizárólag így, az említett eljárással fogható csak meg. Pontossága ellenére viszont körülményesnek is mondható, mivel az alkalmazott alapanyagok, mint a filctoll és a műanyag fólia sérülékenyek, könnyen fakulhat és törhet, emiatt egy nagyon rossz információhordozó. Ugyanakkor a hasonló felületek kizárólagos fotódokumentálása sem kielégítő, hiszen a finomabb részletek még az éles, nagy felbontású, optimális fényviszonyban készülő felvételeken sem jelennek meg. Ebből kifolyólag a fentebb részletezett, *“Structure from Motion”* módszerrel, fotókból összeállított modell sem volt képes elérni a kívánt minőséget.



**25. ábra.** A graffiti vektorizált rajza. Pink: karcolatok, kék: kőfaragójelek, szürke: a falon fellelhető sérülések. Az ábra nagyobb változata a mellékletben található

A helyszíni előfeldolgozás során elvégzett próba-futtatásokból pedig egyértelművé is vált, hogy megfelelő pontosságú és részletezettségű modell létrehozásához komolyabb eszközparkra van szükség. A finom karcolatok, vésetek rögzítéséhez olyan pontosságú textúrára van szükség a modelleken, amelyek elkészítése magasabb minőségű objektívet és fényképezőgép-vázat, illetve nagyobb teljesítményű számítógépet is igényel. Az alábbi két részleten látható (**21. és 23. ábra**), hogy az így létrejött magas minőségű modellen lévő textúra még mindig nem haladja meg a helyszínen elvégzett kézi felmérés eredményének pontosságát.

A kívánt minőségi ugrás egy modellen olyan többszörös adat- és költségtöbbletet okoz a létrehozott modell fájl mérete és a szükséges eszközök miatt, hogy a befektetett energia már nem egyenesen arányos az elért eredménnyel. Azaz, egy ilyen, viszonylag csekély minőségi javulás érdekében felvállalt jelentős beruházás nem térül meg, ugyanakkor az utómunkálatokat lassítja, mivel egy nagy méretű és technológiai értelemben kényes és körülményes fájl már nem lehet akármilyen eszközön kezelni, nem beszélve a szükséges tárhelyek érzékeny mivoltáról.

A felvázolt érvek tudatában a hasonló, finom épületrészletek rögzítése két alapvető lépésben történhet. A helyszíni munka a *Bauforschung* módszerével a fentebb említett módon, míg az utófeldolgozása egy 3D modell kombinálásával a leghatékonyabb. A kézi rajz segítségével minden, alapvető fontosságú információ felvehető, majd digitálisan feldolgozott ábra a modellre helyezhető. Tehát a kézi részletfelméréssel kiragadott épületrészlet számítógépes modellre illesztésével kihasználhatjuk annak egyik legfontosabb előnyét, hogy kontextusában tartja meg a részleteket magával az épület egészével, azzal együtt kezelhető és vizsgálható a kisebb léptékű karcolat, vagy kőfaragójel. Mindemellett a modellel együtt így a részlet is egy geodéziai alaphálóbba kerül, *quasi* nem fog térben ‚lebegni‘ a feldolgozás során, mint a más, ezt meg nem oldó eljárások során.

## 6.2. Faragványok

Az egyes korok épületei a történelem során különböző mértékben bővíthetnek, átépülhetnek, változhatnak és pusztulhatnak. A pusztulás bekövetkezhet egyszerűen a természet által, vagy az emberi behatások következményeként. A pusztulás — téma hosszabb fejtegetését mellőzve — során az adott műemlék fokozatos aprózódásáról beszélhetünk.

Esetünkben, a Crac várudvarán — a fentebb már említett —, két évvel ezelőtti pusztítás során súlyosan sérült — többek között — a kerengő épülete. A robban(t)ások következtében lényegében törmelékké vált a faragványok, boltozatok és szerkezetek egy része, a még diagnosztikus építészeti részletek feldolgozása volt a cél. A kerengő esetében a fragmentumok válogatásával, leltárba vételével összesen 221 db töredék került az adatbázisba, különböző mérettel és jelleggel, volt köztük negyed kilogrammos és méter hosszú, mázsás darab is.

A felmérés kezdeti ütemeként szükség volt egy olyan logikus és átlátható nevezéktanra (26. ábra) a dokumentálandó részletek elnevezéséhez, amit könnyen lehet használni és az egyes munkafolyamatok párhuzamos futását is — reális keretek között — megengedte. Az általunk használt kódrendszernek minden olyan információt tartalmaznia kellett, amely szükséges egy adott elem pontos helyének és funkciójának értelmezéséhez, ezáltal a könnyebb azonosíthatóságát is lehetővé tette az épületek bonyolultabb struktúrái között.

**GH-C\_W\_XI\_CA\_N\_Inner**

GH - Great Hall  
C - Cloister

W - Window  
G - Gate

PO - Postopening

PW - Post window

A - Arch

P - Peduccio

K - Keystone

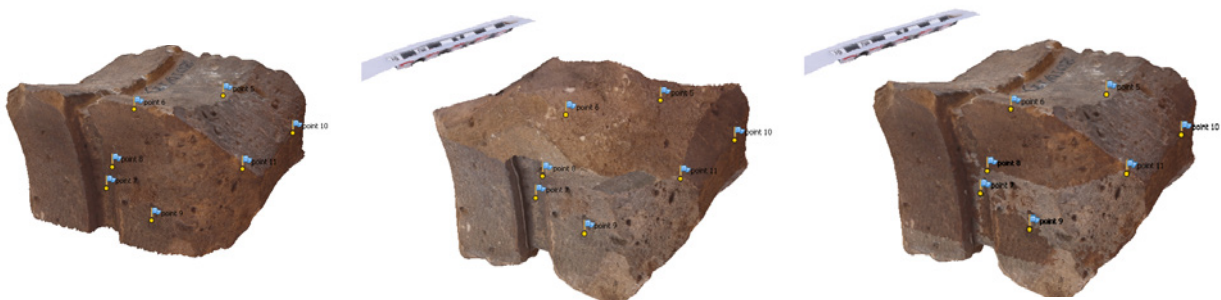
CA - Capital of column

N - North

S - South

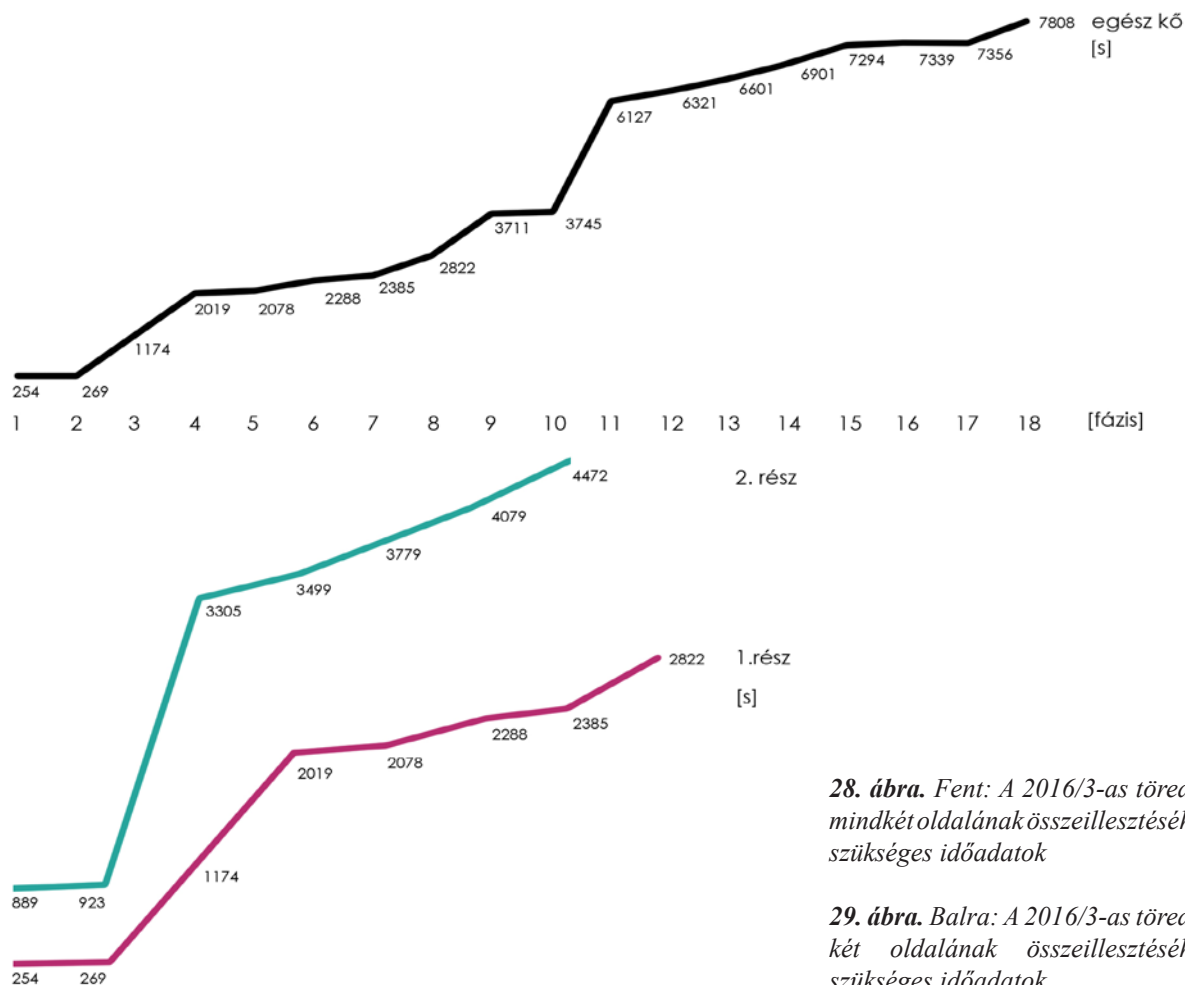
26. ábra. A lovagterem és kerengő töredékeinek elnevezése az elhelyezkedésük alapján történt

Az általunk használt, Agisoft program a fentebb ismertetett módszerrel csak problémásan volt használható, mivel a faragványok fotózása közben — a nagyobb darabok esetében — a háttérként szolgáló talaj egy olyan zavaró tényezőnek bizonyult, amivel számolni kellett. A létrehozandó végtermékként egy olyan független objektummodellt képzeltek el, amely a dokumentáció minőségétől függően publikálható, összehasonlítható más modellel, illetve különböző beállításokkal módosítható, személyre szabható, ugyanakkor egyszerre kell informatívnak, pontosnak és értelmezhetőnek is lennie. Az összetett probléma megoldását az adott modell többszöri előállítás, vagyis a különböző nézőpontokból készült modellrészletek összeillesztése jelentette.



27. ábra. A 2016/149-es kő összeillesztésének lépései. Az első és második képen a töredék egy-egy oldala, a harmadikon a kész textúrázott modell látható referenciapontokkal

Egy adott töredék felmérése során két nézőpontból — vagyis a kövek forgatásával — készültek el a felvételek, majd a félmodelleket az átfedő, azonos felületek alapján történő összeillesztése bizonyult végül a probléma hatékony megoldásának. Ettől meghosszabbodott a modellezési folyamat, azonban a felhasználandó fényképek száma jelentősen lecsökkenthető volt, így a feldolgozási idő valamelyest mégis lerövidült.



**28. ábra.** Fent: A 2016/3-as töredék mindkét oldalának összeillesztéséhez szükséges időadatok

**29. ábra.** Balra: A 2016/3-as töredék két oldalának összeillesztéséhez szükséges időadatok

Az egyes nézeteket egyenként kellett feldolgozni *Agisoft*-ban, majd a helyszínen elhelyezett — ideiglenes, eltávolítható — illesztési pontok segítségével a programon belül lehetett összeilleszteni őket. A művelet során ezen fix pontok bejelölését értjük, a modelleken külön-külön, majd ezek segítségével a program összeforgatja a részmodelleket, a távolságok lehető legpontosabb megtartásával.

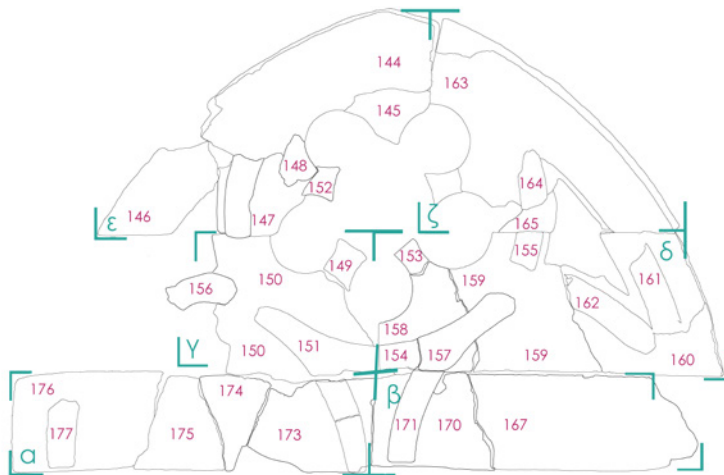
Az így keletkezett pontfelhőn a felületháló módosítását majd újratextúrázását, illetve színkonfigurációját kell elvégezni a pontos eredmény érdekében. Az utóbbira azért van szükség, mert a képek tónusa, kontrasztja az időjárási- és fotózási körülményektől függően változhatott, ezért a textúrában néhol akár jelentős árnyalatbeli különbségek is megmutatkozhatnak.

A fényképezés előtti kézi méretvételezés nem bizonyult praktikusnak a felületek összetettebb kiképzése miatt, így az általánosan használható léptékrúd mellett döntöttünk, amely ismert távolságadatát a programon belül megadhatjuk a végső modell textúrázása után. Az adott koordináta rendszerben a program egy gyors léptékváltást végez, felhasználva az adott méretkülönbséget. A folyamat nem jelent többlet időigényt, ugyanakkor ez a módszer sokkal pontosabban és általánosan alkalmazható, mint más hasonló programokban, vagy a későbbi feldolgozás során. Itt külön megemlítenénk a rommá vált lépcsőket, támíveket és boltozatokat,



ahol a kisszámú megmaradt, díszítetlen kváderkő egykori pozíciójának megtalálását is a módszer segítségével tervezzük. Ez jóval nehezebb feladatot jelent, mint az illeszkedő, faragott kövek összeillesztése.

A módszer ellenőrzése céljából az ún. W\_VII-es kódú ablak az ostrom során összetört mérművének egyes darabjait kísérletképpen összeillesztettük a helyszínen, *quasi anastylosis* végezve. A kézzel még mozdítható, súlyos darabokat kevesebb, mint fél nap alatt össze lehetett illeszteni, majd egyesével, külön lemodellezni. Így vizsgálható a program egyéb perspektíváinak, mint például a műemléki rekonstrukció során nyújtható támogatás lehetősége is.

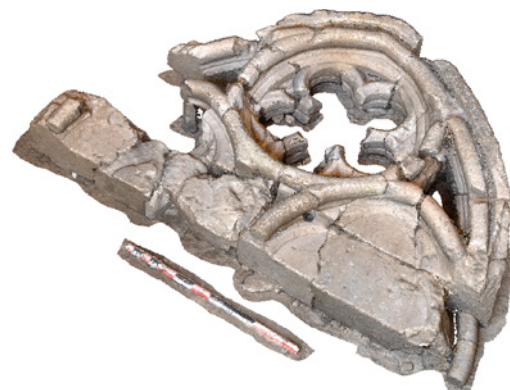
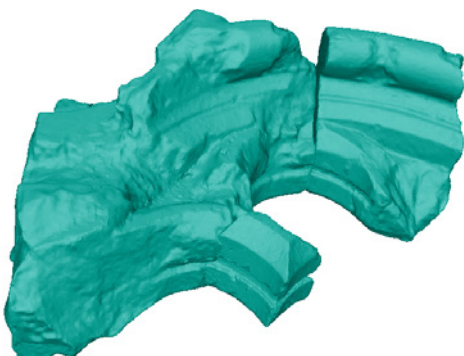


Fent: 30. ábra. A helyszínen összerakott mérmű modelljének nézete és az AutoCAD-es szerkesztés

Balra: 31. ábra. A töredékek elnevezése

Balra lent: 32. ábra: A 147-es, 149-es és 150-es kő illesztése az Agisoft programban

Jobbra lent: 33. ábra. A helyszínen összerakott mérmű 3D pontfelhője



Az említett ablak önmagában már egy rekonstrukció.<sup>38</sup> A felmérés során nem a hitelességét szeretnénk elemezni, hanem a kialakult szituációt, vagyis egy töredékes építészeti részlet (újra)rekonstrukcióját kívántuk vizsgálni, az egyes elemek digitális úton történő összeilleszthetőségének lehetőségét és a digitális technika potenciálját. A vizsgálatainkat az egyértelműbb illesztéseknél kezdtük (2016/147, 2016/149 és 2016/150-es számú töredékek), ahol valamilyen felületi sérülés — például becsapódásnyom —, vagy tisztább törésfelületi síkok által könnyebben meghatározható volt az elem viszonylagos helye.

Sajnos a programban manuálisan kell az illesztéseket elvégezni, és az ehhez tartozó felhasználói felület — egyelőre — nem nyújt elég flexibilis, felhasználóbarát környezetet ehhez. A kötődések mozgatása, forgatása a programban körülményes, sokszor nem mutatkozik elég egyértelműnek az egyezés. Mindez abból adódik, hogy egy, a valóságban a szinte tökéletes negatív-pozitív törésfelület a szoftveres feldolgozás során természetesen nem párban kerül feldolgozásra, hanem egyedi, más-más felületekként, így az utólagos illesztésük is kisebb mértékben összeegyeztethető, vagyis illeszthető. Úgy ítéltük meg tehát, hogy a helyszíni manuális kiértékelés és vizsgálat feltétlenül szükséges a későbbi, digitális illesztési folyamatoknál jóllehet pusztán a felület geometriájának rögzítése is eredményre kellene hogy vezessen. Ugyanakkor itt hívjuk fel ismét a figyelmet a nagyszámú töredékre és a krízishelyzet okozta körülményekre. A hasonló műveletek fejlesztéseként a létrehozott modelleket egyszerűbb volna egy felhasználóbarátabb, algoritmusában fejlettebb programban kezelni, amelyre a szoftver az illeszteni kívánt felületekkel való műveletekre is képes lenne. Ennek hiányában azonban a program jelenleg csak a modell “lebutítása” árán képes csak összeilleszthető felületeket generálni, ezzel viszont párhuzamosan olyan minőségi romlás jön létre az adott modelleken, amelyek színvonala nem elfogadható egy korrekt dokumentáció szempontjából. Azonban ilyen úton mindenképpen a modell “lebutítására” lenne szükség, amely jelentős minőségi romlást eredményez ezzel párhuzamosan nagy mértékű információvesztést is.

A fent említett kezelési probléma más megoldási kísérletekre ösztönzött minket. A rendelkezésünkre álló archív fotók és a meglévő darabok geometriája által kiszervezhető az ablak szerkesztési váza, ami alapján a modellen további elemek kerülhetnek a helyükre.

Ez esetben is ismételten oda juthatunk vissza, hogy a tapasztalati úton szerzett információkkal és kézi rajzzal, és a szerkesztési eljárási ismeretekkel kellett támogatni a digitális feldolgozást, hogy hiteles dokumentáció jöhessen létre. Ugyan a virtuális modellek illesztése még nem képes az elvárható szintet nyújtani, de olyan vizuális és információ-többletet adott a felmérési anyaghoz, ami az eddigi felmérésekhez képest egyedülálló.

**34. ábra.** A 2016/3 számú kötődék modellről generált nézetek, fekete vonallal a helyszínen készített manuálé vektorizált rajza



38 Az 1930-as években kezdődött meg a kiegészítéssel egybekötött helyreállítás, amit a Paul Deschamps vezette francia misszió a kerengő új részébe faragott 1954-es évszám datál. Bővebben a kerengő leírása: Zimmer, J., Meyer, W. & Boscardin L. (2011): 220.

## 6.3. Építészeti részletek

A súlyosan sérült kerengő — a nagyszámú töredék ellenére viszonylag — épségben áll, rendkívül gazdag építészeti részletekben. A felmérési munkálatok teljes körűen, a töredékeken túl a várudvar körüli épületek egészére is kiterjedtek, a kápolna, a lovagterem, illetve a belső vár keleti és nyugati teremsoraira egyaránt.



35. *ábra.* Balra fent: A kerengő állapota 2006-ban

36. *ábra.* Balra lent: A háborús pusztítás nyomai. Fotó 2013-ból



37. *ábra.* Jobbra lent: A háborús pusztítás nyomai. Fotó 2013-ból

A történelmi épületek az évszázadok során többszörösen változtak: bővítették, átalakították, pusztították, újjáépítették, esetleg hagyták enyészni azokat. A rengeteg változás, változtatás megőrződött a szerkezetükön, falszöveikben. Ezeknek a mai, precíz műemléki felmérése — egy helyreállításhoz kapcsolódóan — viszont gyakran kihívás a kutatók számára, időigényes, és nagy szakmai háttértudást, komolyabb előkészületeket, nagyszámú csapatot jelenthet, nem beszélve a szükséges anyagi erőforrásokról. Mindez megengedhetetlen, jobban mondván teljesíthetetlen feltétel abban a szituációkban, mint a mai Szíria. A szűkös, korlátozott lehetőségek között mégis a legproduktívabbnak lenni jelenti az igazi kihívást.

A történelem során a többszörösen átépített épületek felmérése több szempontból is nehézkes, pontatlan. Az emberi agy jelentős egyszerűsítésekre képes, tudatos tervezési szándékot és előzményeket feltételez, azonban egy rekonstrukció, egy részleges visszaépítés vagy egy kármegelőzés során minden, információval bíró részlet pontos visszaadására van szükség. Sok esetben ezek hagyományos kézi felmérése lehetetlen, vagy annyira komplikált, ami az adott szituációban nem reális.

### 6.3.1. Crac des Chevaliers / konzolkő

Az 1250 után épült kerengő és lovagterem gazdag, gótikus épületplasztikával és ornamentális szerkezeti elemekkel rendelkezik.<sup>39</sup> Ezeknek a részleteknek a hagyományos kézi felmérése képtelen lenne visszaadni azt a bonyolult, aprólékos struktúrát, amire jelen esetünkben szükség volna, vagyis a rengeteg apró fragmentum egykori helyzetének minél pontosabb rögzítését egy rendkívül nagy részletezettségű dokumentációban, főként akkor, amikor az elpusztított struktúra fragmentumainak a helyét keressük.

A 2000-es évek elején a *John Zimmer*-féle várkutatás átfogó, részletes képet adott a várról, az épületeiről és építési szakaszairól. Ennek ellenére a hagyományos, *Bauforschung*-módszerrel történt felmérési munkálataik — geodéziai visszamérések, ellenőrzőpontok alapján, tapasztalataink szerint — néhány esetben hibásak, pontatlanok voltak, ugyanakkor a jelentős háborús károkat szenvedett udvar épületeiről, úgy mint a kerengőről és a lovagteremről nem készült átfogó rajzi dokumentáció<sup>40</sup>, építészeti részletmetszetek, részletrajzok nem kerültek publikálásra. A magyarázata az, hogy egy ekkora méretű épületkomplexum esetén *John Zimmer* kutatása — érthető módon egy viszonylag redukált témában — elsősorban csak a hadászati felmérésre helyezte a hangsúlyt. A bástya-, illetve a védelmi rendszer dokumentálása történt meg első körben a régészeti kutatás mellett. A háború azonban nem válogat dokumentált vagy a tudományos érdeklődés szempontjából marginális területek között, így *Crac* esetében sajnos pontosan azok az épületek károsodtak az ostrom során, amelyek az 1:200-as részletezettségű dokumentációban alig szerepeltek.

A júliusi terepmunkánk során a fentiekből következően adott a feladat és a cél: a kárfelmérés részeként az említett épületek teljes körű, alakhű, 1:1-es léptékű “*SfM*” dokumentációját is elvégeztük, annak érdekében, hogy egy jövőbeni rekonstrukció során megfelelő tervek – egyben tartalmazva a megmenthető köelemeket - rendelkezésre álljanak.

Esettanulmányunkban egy, a kerengő boltívét gyámolító, *P\_12*-es számú (35. ábra) konzolkő példáját ismertetjük. A kerengő teljes modellje már korábban elkészült, azonban a gazdag plaszticitás az alacsonyabb minőségi szint miatt kevésbé érvényesül. Emiatt a finomabb részletekkel később foglalkoztunk, külön-külön, magasabb felbontásban lettek felmérve, azáltal egy magas minőségű, részletgazdag részmodellt kaptunk, amely a teljes kerengőmodellbe beilleszthető.



38. ábra. Balról jobbra: a peduccio 3D modellről generált nézete, vonalas metszete, metszete és oldalnézetei

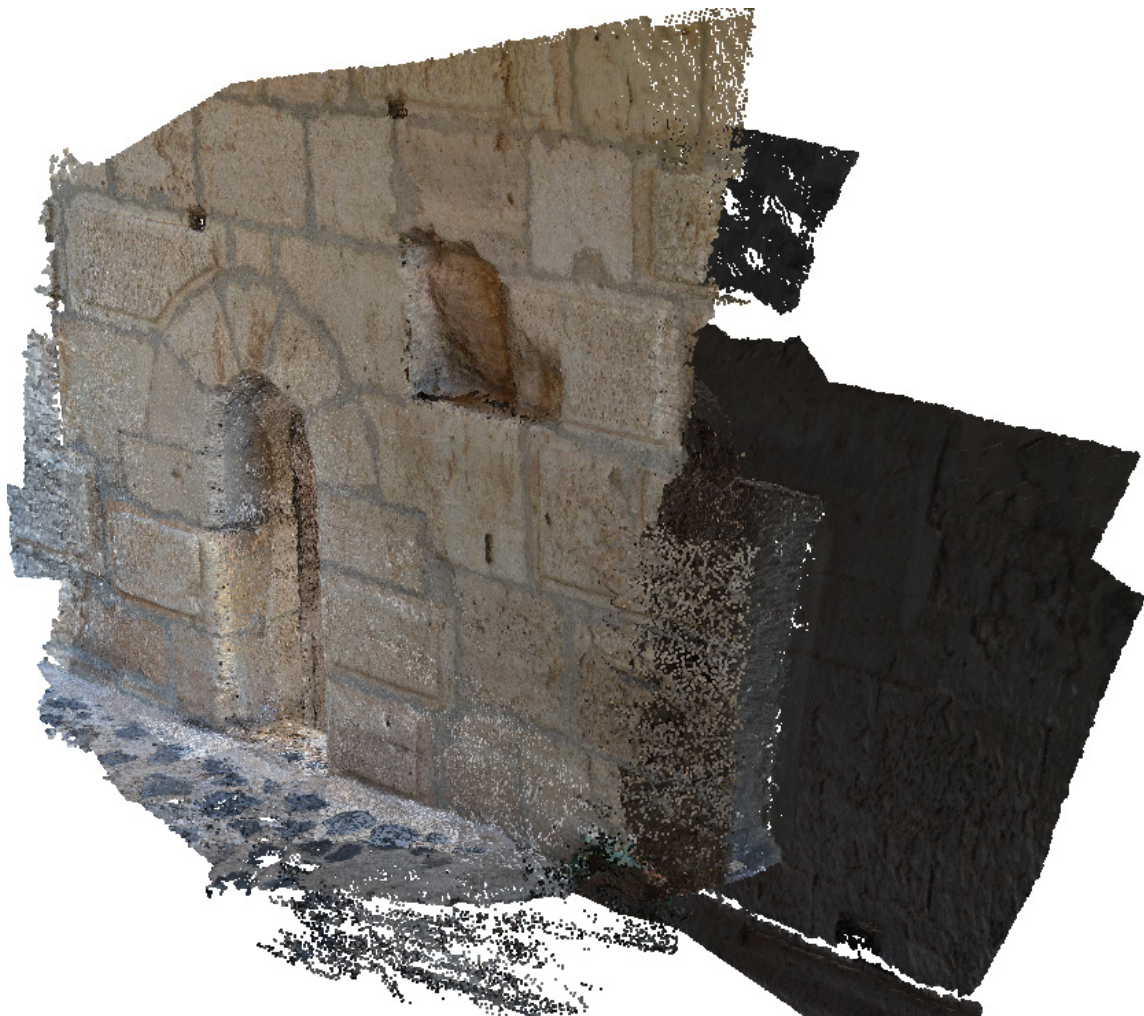
39 A épületek leírása: Zimmer, J., Meyer, W. & Boscardin L. (2011): 336–337.

40 (az építészet áttekintő rajzok publikált léptéke 1:200, néhány részlet jelent kivételt ezek alól, a felmérés sem készült részletesebb léptékben, ezt a kinagyított rajzok jól szemléltetik)

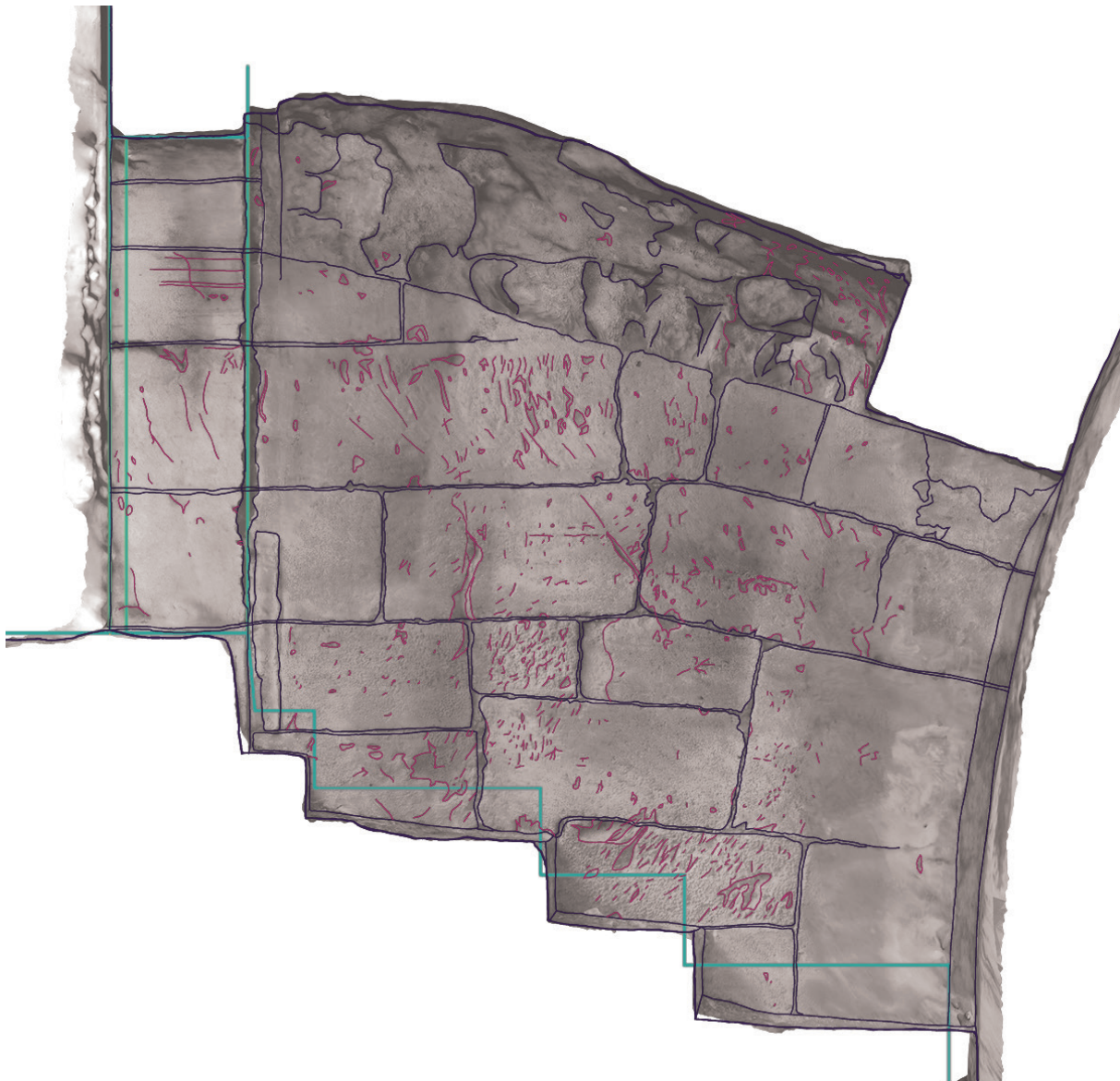
Esetünkben a legnagyobb problémát a nem megfelelő fényviszonyok okozták. A kerengő konzolfői félárnyékban helyezkednek el, amely a fotózás szempontjából ideális. A lovagterem viszont sötét belső terének részleteit nem sikerült természetes fényben rögzíteni, vagyis nem volt rá mód hogy ideális körülményeket teremtsünk. A fotózásához külső vakut használtunk. Ez részben kiküszöbölte a rossz fényviszonyok okozta durva részletvesztést, így viszont a képek nagy része túlexponált és a fény-árnyék kontrasztok sokkal erőteljesebbek lettek a vakufény miatt. Erre az volt a megoldás, ha több szögből készítettünk fotókat, így a modellen több pontból számítható, egységesebb fényviszony jön létre.

### 6.3.2. *Crac des Chevaliers* / várkápolna déli ablaka

Az 1170 körül emelt várkápolna is része volt a felmérésünknek. A kápolna terét csúcsíves dongaboltozat fedi, két-két falpillér és a köztük feszülő két hevederív osztja három traktusra. Szentélye félkör alaprajzú apszisos, mely a keleti faltömbben kiképzett, kívülről tehát egyenes zárású. A kápolna keleti, külső élei főzoltak. A kápolna és a várfalak építési periodizálása még kérdéseket rejt. A belső terében néhány falszakaszon fennmaradt az eredeti XII. század végi freskódísz, illetve a *Mamluk*-kori *minbar* a délkeleti pillérhez építve az eredeti helyén látható<sup>41</sup>. Ebben az esettanulmányban a kápolna nyugati szakaszának déli ablakáról készítettük el a modellt.



39. ábra. A 3D kápolna ablak modell sűrű pontfelhője



**40. ábra.** Fent: A vizsgált ablak metszete

kék: szerkesztés kézi rajz alapján,  
 lila: nézet és metsztvonalak,  
 kváderhatárok, pink: a felületen  
 lévő sérülések, karcolatok



**41. ábra.** Balra: A vizsgált ablak külső oldali nézete

kék: szerkesztés kézi rajz alapján,  
 lila: nézet és metsztvonalak,  
 kváderhatárok, pink: a felületen  
 lévő sérülések, karcolatok

A felmérési dokumentációknak természetesen a nyílászárók is részét képezik. Általában ezekkel is több probléma adódik: változatos geometriájúak, többnyire nem is szabályosak, esetleg extrém körülmények között pl. nagy magasságban találhatóak. Esetünkben a nehéz hozzáférés okozott gondot, a fotózáshoz egyszerűen alig fértünk be a nyíláson még, ha meg is lehetett az egyik oldaláról közelíteni.

Elkészítettük a hagyományos kézi felméréseket is, a manuálékát a szükséges szélességi, magassági méretezésekkel, valamint a fontosabb építészeti részletekkel együtt, hogy a modellek léptékezhettek legyenek. A textúrát most nem mértük fel külön, azt a végső modelltől kértük le. Ezzel a technológiával jelentős helyszíni időt takarítottunk meg. Egy-egy nyílászáró kézi felmérése egy, maximum két órát vett igénybe, valamint az egyes részletek megrajzolása és kiértékelése már itthon folyt. A képeken látható, hogy már közepes minőségben is egyértelműen meghatározhatóak a kváderek kontúrjai az apróbb részletekkel együtt — mint sérülések, kőfaragó jelek —, ezek könnyedén felismerhetők, azonosíthatóak. Egy ehhez hasonló geometriájú ablak lemérése a hagyományos úton sokkal több időt és energiát vett volna igénybe és a végeredmény valószínűleg nem érte volna el az így generált minőséget. Ortofotózással ilyen szabálytalan, görbült és többszörösen metsződő felületeket dokumentálni kivitelezhetetlen az adott körülmények között.

Az eset konklúzióját a manuálék és a digitális modell összehasonlításából vontuk le. A legfőbb különbség a két módszer eredményének részletei között fedezhető fel: míg a kézi rajz idealizálva ábrázol, vagyis nem veszi észre többek között az apróbb egyenetlenségeket, a falsík görbületeit, addig a “*SfM*” technikával felmért objektum modelljén mindezek az apróbb jellegű eltérések megmutatkoznak, így például a műemléki állagmegóvás és helyreállítás dokumentációja értékesebb, pontosabb és részletgazdagabb lesz, továbbá az épület valós jellemzőit láttatja.

## 6.4. Épületrészek

### 6.4.1. *Crac des Chevaliers* / tetőre vezető lépcső

A belső erőd keleti teremsora közül — *Zimmer* nomenklatúrája alapján — a “4. számú” várkapu és a kápolna közötti helyiség északnyugati sarkában egy kisebb lépcső<sup>42</sup> (**42. ábra**) vezet fel a terem feletti terasz szintjére. A lépcső a külső falsík felől indul északi irányban, majd a falmagban kiképezve kétszeresen tört vonalban halad tovább déli irányban, az emeleti szintre. Szűk, vízszintes és függőleges irányban is komplex, így a felmérés szempontjából az egyik legproblémásabb esettel volt dolgunk.

A szűk terek dokumentációjában a “*Structure from Motion*” módszere lehetőséget ad arra, hogy viszonylag rövid idő alatt pontos eredményt kapjunk a hasonló, hagyományos kézi módszerrel nehezebben felmérhető objektumokról is. A modelltől könnyen lekérhető bármilyen metszet, nézet, anélkül hogy a helyszínen, hosszadalmas hagyományos módszerrel felmértük volna. A lépcső több részben sérült, néhány foka hiányzik, ezek pontos helyének és méretének meghatározása ebben az esetben könnyebben és precízebben megoldható.

42 Részletesebb leírás: Zimmer, J., Meyer, W. & Boscardin L. (2011): 202–203., a lépcső: u.o.: Abb. 4.39., száma: 14.0.8



*42. ábra. Balra fent: A lépcső 3D pontfelhője*



*43. ábra. Jobbra fent: Udvar felőli nézet*



*44. ábra. A lépcső texturált modelljének metszete*



*45. ábra. A saroklépcső felülnézete*



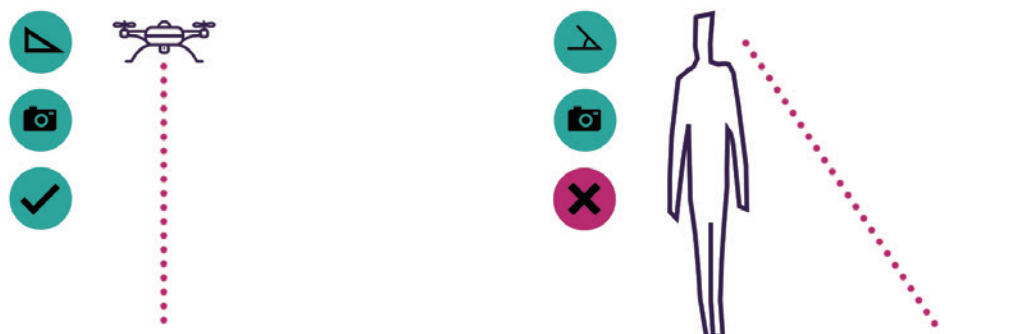
## 6.4.2. Crac des Chevaliers / kápolnatető

A kápolna laposteteje, mint nagyobb léptékű építészeti elem egy olyan problémával szembesített minket, amivel addig nem találkoztunk a technológia alkalmazása során. A szokásosan készített képeinkből olyan felületeknél lehet a leghatékonyabban pontfelhőt készíteni, ahol a felmérést az ortofotózáshoz hasonlóan, de más szögben és átfedésben lehet elvégezni. Az belátható, hogy egy kb. 13×25 m alapterületű lapostető esetében, egyszerű kézi eszközökkel nehezen kivitelezhető az ilyen esetben megfelelő fotózási technika, helyette egy magasabb szemszögből, átfogó képet készíteni tudó eszközre van szükség, amely esetünkben egy drón volt.

Az *Agisoft* képfelismerő eljárása a fotókon az egyedi, azonosító jellegű információkat keresi. Egy felépítményekkel tarkított tető esetén így referenciapontokat könnyen találhat a program, viszont a probléma abból adódik, hogy egy homogén, egyszerű, jellegtelen felületű lapostető kövei között nehezen tud különbséget tenni.

Esetünkben a kápolnatető kiviteli tervdokumentáció pontosságú és színvonalú felmérése kulcsfontosságú feladat volt, a tetőzet vízszigetelési problémáit megoldó kivitelezési terv érdekében. A műemlék eddigi meglévő felmérései szakmai szempontból hiányosnak bizonyultak, továbbá több belövés is érte a felületet és az attikafalakat, emiatt a nyári terepmunkánk során egy pontos többrétű dokumentáció elkészítése is cél volt.

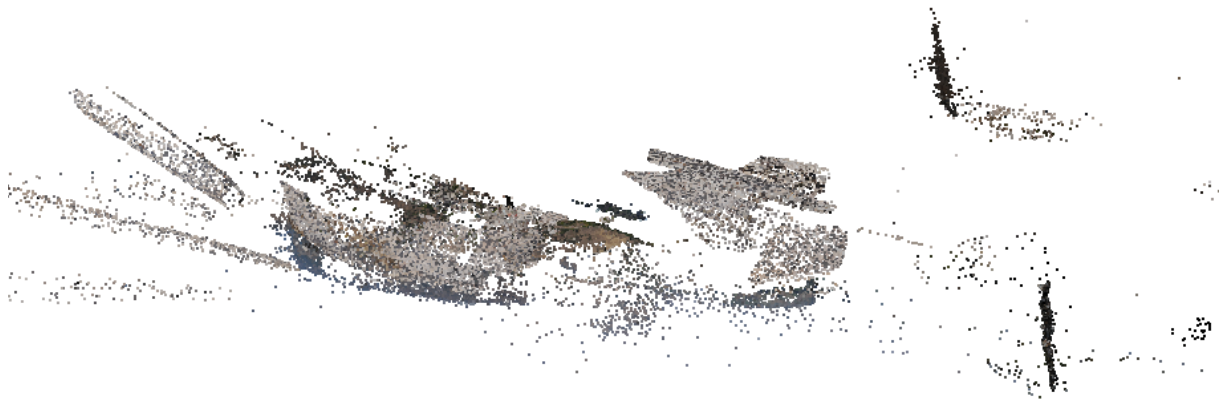
A Szíriában töltött idő alatt ez volt az első olyan projekt, amelyet többszöri nekifutásra tudtuk csak elvégezni. Így rengeteg tapasztalatot gyűjtöttünk, amely elősegítette a felmérési algoritmusunk pontosabbá tételét.



46. ábra. Tetőfotózás

Egy ehhez hasonló, nagy felületű, kevés jellegzetességgel és markáns különbséggel bíró objektum fotózása több szempontból is nehézkes, körülményes volt. Először is a tető kiszolgáltatott felület az időjárásnak, tehát a fotózás nagyban függ az aktuális időjárási helyzettől: lényegében árnyékmentes hely az ideális, erős napfényben pedig nehéz nem ,kiégett', jól exponált képet készíteni, viszont az erősen felhős, borús, rossz idő is akadályozó tényező. A túlexponált felvételek miatt nagymértékben megnő a hibalehetőség, mivel a képek egybefüggő, fehér foltjai miatt már jelentős információvesztésről beszélhetünk.

A kudarcok tapasztalataiból okulva a megfelelő eredmény érdekében a tetők fotózását a továbbiakban már csak megfelelő fényviszonyok mellett, drónnal, ortofotó jellegű beállításokkal végeztük.



*47. ábra. A kézből fotózott modell alacsony pontfelhője*



*48. ábra. A drónos modell sűrű pontfelhőjének felülnézete*

### 6.4.3. Crac des Chevaliers / 120 méteres terem

A mai nevén csak “120 méteres teremnek” hívott épületrész (49. ábra) az 1170 körüli időkből épült ki, mely ekkor még több helyiségből álló teremsor volt. A következő évtizedekben nagyobb átalakításra nem került sor,<sup>43</sup> viszont a XIII. század második felében e teremsor keleti oldalában, a várudvaron felépült a lovagterem és a hozzá tapadó kerengő<sup>44</sup>. A terem maga egy hosszú, többszörösen törtvonalú, egyterű, csúcsíves dongaboltozatos épület, melynek belső terét fülkék, valamint változatos ablak- és kapunyílások tagolják. A válaszfalakat csak a későbbi korokban bonthatták le.



49. ábra: A 120 méteres terem pontfelhője

A hagyományos, kézzel készült rajzi dokumentáció során sokszor találkozhatunk a szabálytalan formák mérhetőségének problematikájával. Ezeket többnyire több pontból történő kimetszéssel határozhatjuk meg, vagy más mérőeszközöket — például mérőállomást — használhatunk szerkesztő pontok felvételéhez. A geometria felvétele után a falnézetek pontos dokumentálása is nehézséget okozhat. A hagyományosan alkalmazott technikák többsége ilyen helyzetekben rendkívül hosszadalmas és bonyolult feladat. Egy digitális modell létrehozása egyértelműen megkönnyíti az esetünkhöz hasonló, szabálytalan geometriájú épületek pontos dokumentálhatóságát, tehát felmérését.



50. ábra: A kiragasztott markerek nagyban segítik a modell későbbi léptékezését, illesztését

43 Az épületrész leírása: Zimmer, J., Meyer, W. & Boscardin L. (2011): 209–211.

44 Zimmer, J., Meyer, W. & Boscardin L. (2011): 278.

A léptékezés folyamata során többféle technológiát használtunk párhuzamosan, első körben az *Agisoft* program által generált, egyedi markereket helyeztünk el az épület fontosabb pontjain, majd lézeres távmérővel az egymáshoz viszonyított távolságukat mértük meg, egy adott pontból mindig a látható összes többi markert és fordítva. Következő lépésként az egymáshoz már bemért pontok koordinátáit *total station* segítségével is meghatároztuk, a későbbi modell pontosságának elősegítése érdekében.



51. ábra: A modell alapján generált nézet



53. ábra: A 120 méteres terem keresztmetszete

52. ábra: Alaprajzi nézet

54. ábra: A 120 méteres terem keresztmetszete

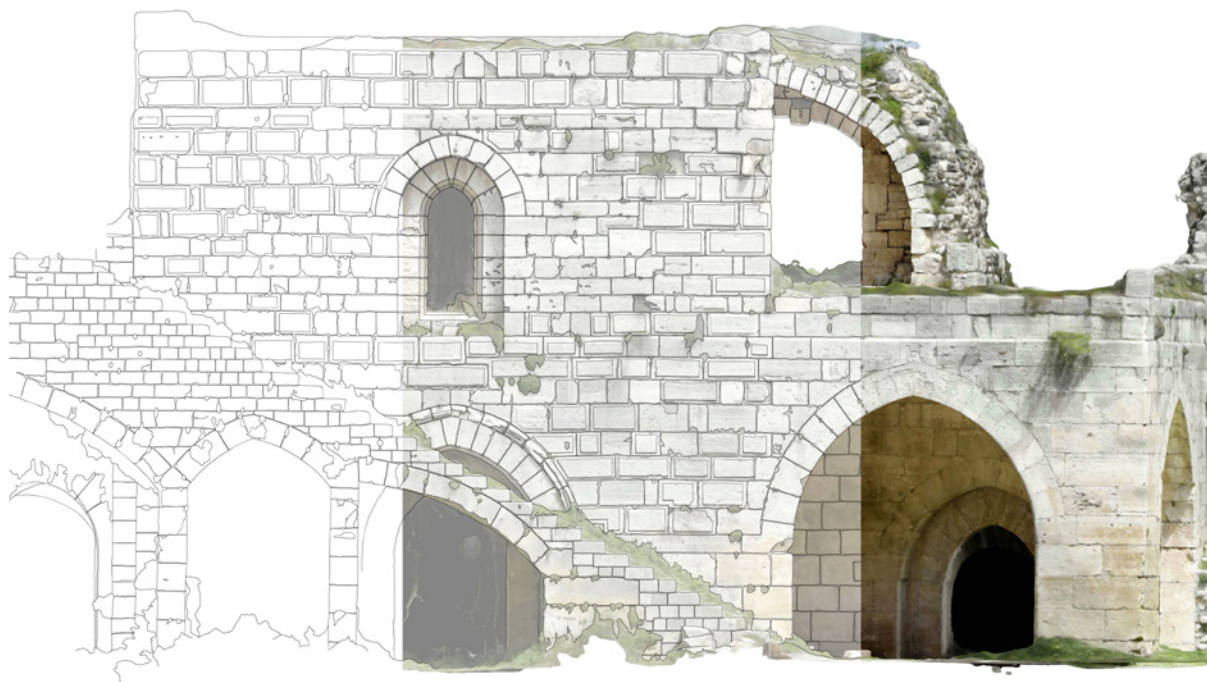
A fotózást kizárólag fényképezőgép-állvány használatával végeztük, mivel a hosszú terem egyes sötét részei miatt hosszú záridővel készülő képek elkészültéhez stabil támasz volt szükséges - itt jegyezzük meg, hogy egy lényegében sötét tér állványos fotózása jelentős időigényű, ahogy ezt tapasztalhattuk a helyszínen. Ezzel párhuzamosan viszont a másik probléma a nyílásoknál előforduló kiégés volt. Ezt úgy tudtuk kiküszöbölni, hogy egy-egy részletről alul- és túlexponált felvételt is készítettünk az adatvesztés elkerülése, de legalábbis annak minimalizálása érdekében. A felmerülő problémák és a dokumentálandó terület jelentős mérete miatt nagyszámú kép készült, ezért az objektum generálása csak igen magas konfigurációjú számítógépen volt lehetséges. A teljes modell egyéb programokba történő átkonvertálása során az adatok redukálására volt szükség.

## 6.5. Crac des Chevaliers / kápolnaépület

Visszatérve a várkápolna épületére: részleges “SfM” felmérése már egy korábbi szezonban megtörtént drón és digitális fényképezőgép segítségével. Az így elkészült részmodellekből az idei kutatási szezon előtt már elkezdhattük az egyes építészeti rajzok, részletek előzetes feldolgozását, amelyek hozzájárultak a most júliusban használt mérési technológiánk pontosításához. Az így elkészített rajzok és az előre lefuttatott modellek a helyszínen tehát felhasználhatóak voltak a felmérési részfolyamatok vezetésére, a modellek textúrájának előzetes korrektúrájára, illetve már számos technikai problémát előre ki tudtunk küszöbölni.



55. ábra: A kápolna és környezetének több részletből összeillesztett 3D pontfelhője



56. ábra: Az előző szezonban készült modell nézete az előfeldolgozás során elkészült rajzokkal, nyugati homlokzat

A már elkészített nézet- és metszetrajzokon látszódott a kápolna szabálytalansága, így biztosak lehettünk abban, hogy a helyszíni újabb adatfelvételt hogyan végezzük el egy pontosabb és precízebb módon. Emellett a kézzel felvett ellenőrző méréseket is szintén felhasználtuk, a későbbi, alaposabb utófeldolgozás gördülékenysége érdekében.

A felmért objektumok közül talán a kápolna a hozzá kapcsolódó néhány épületrésszel együtt az egyik legnagyobb projekt volt, amit hazai körülmények között igyekeztünk egységben kezelni, bizonyos részeit — például a nyílászárók, lépcsők, folyosók — pedig külön futtattunk le, majd *Agisoft*-ban illesztettük össze. Az így keletkezett modell mind méretében, mind részletezettségében és a közölt információk tekintetében is felülmúlta az eddigi eredményeket. Sajnos ez a minden szempontból összetettebb és informatív eredmény a technológiai hátteret is megterheli, ezért a fent részletezett, általunk használt felmérési technológia az utófeldolgozással együtt nem alkalmazható rajta. Ennek okán a modellt csak végső ellenőrzés, illetve egyéb korrekciós és dimenziós elemzésekhez, esetleg illusztrációkhoz használhatjuk.



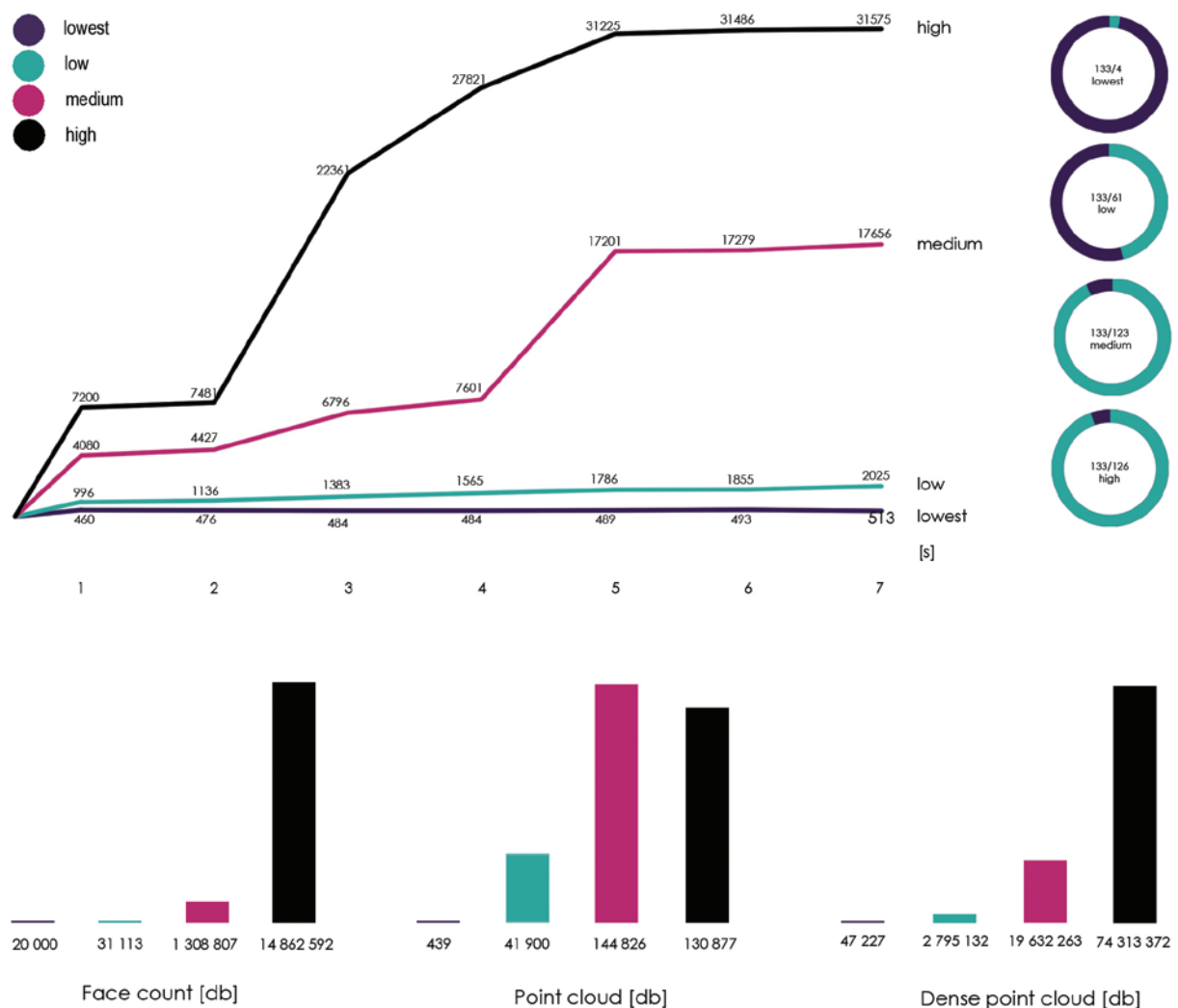
*57. ábra. A előző szezonban készült modell nézete az előfeldolgozás során elkészült rajzokkal, keresztmetszet*

# 7. Konklúzió

## 7.1. Időigény

A 2016 júliusi egy hónapos terepi munka utófeldolgozásaként statisztikai kiértékeléseket is végeztünk a későbbi tervezhetőségért és tapasztalatokért, valamint a program működésének és az erre fordítandó idő közeli becslésének érdekében. Mivel eddig még nem volt példa ilyen léptékű projekt hasonló szintű és összetettségű feldolgozására, ezért a jövőbeli felmérések érdekében fontos volt vizsgálni az adott léptékű és minőségű dokumentációk elkészítéséhez szükséges időt és az anyagi ráfordítást.

Az utófeldolgozásunk során az elkészült délnyugati kápolnaablak különböző minőségű modelljeit készítettük el, majd az ezek pontosságát és részletezettségét vizsgálva a meglévő adatok — kézi konzignáció, mérőállomás — alapján statisztikai módszerrel tudtunk meg többet a felmérési eljárás hatékonyságáról (58. ábra).



58. ábra. Az utófeldolgozás során elért adatok grafikonon történő ábrázolása. Balra fent: (vonal diagram) a különböző minőségű modellek futási ideje. Jobbra fent: (kördiagram) felismert képek száma a minőség függvényében. Alul: (oszlopdiaagram) Különböző részletek nagysága a minőség függvényében

A fenti ábrákon jól látható, hogy a középső “*medium*” minőség tűnik a legoptimálisabb választásnak az idő-eredmény arányt tekintve. A “*lowest*” verzió az első lépés után szinte alig ismert fel néhányat a rengeteg képből, emellett a kész, alacsonyabb minőségű modell egyszerűen használhatatlan volt.

A dokumentációhoz szükséges léptéket és részletezettséget pontosan tudva ki tudjuk előre választani a számunkra legmegfelelőbb minőségű modellt. Gyakorlati tapasztalataink alapján a legmagasabb minőségű modellek hatványozott növekedést mutatnak a feldolgozás idejében, ugyanakkor a legtöbbször alig haladják meg, vagy épp el sem érik azt a színvonalú eredményt, mint az alacsonyabb minőségű modellek. További fontos szempont, hogy a helyszínen célszerű a fotósorozatokat alacsonyabb minőségű modellek generálásával — a rendelkezésre álló infrastruktúra miatt — tesztelni. Több esetben szükség volt kiegészítő fotók készítésére, ennek azonban a helyszínen ki kell derülnie, hogy ne akadályozza vagy lehetetlenné el a későbbi feldolgozást.

## 7.2. Összegzés

A helyszíni felmérés meglepő méretű adattengert generált az új feldolgozási eljárásunk során:

{ 1343,6 GB adat | 85 490 db kép | 468 Agisoft modell }

Ennyi adatból, ha az egyes folyamatok átlagait kiszámítjuk — 1 modell lefuttatása = 1 nap; különböző nézetek lekérése = 1 nap; a pixelgrafikus folyamatok = 2 nap; vektorizálásuk kb. 1 nap —, akkor egy adott építészeti elem, egység minimális szintű feldolgozásához — kiértékelés nélkül — körülbelül egy hét szükséges. Ha a fenti modellszámot nézzük, akkor több, mint egy évnyi, a hét minden napjára jutó feladattal számolhatunk a teljes dokumentáció feldolgozásához. Belátható tehát, hogy a Szíriában eltöltött egy hónapnyi terepmunkával fordítottan arányos a feldolgozásra szükséges idő: a helyszíni felmérés ideje jelentősen lerövidül, ezzel párhuzamosan viszont a felhalmozott adatmennyiség feldolgozása, azaz az eredmények mennyisége és azok minősége exponenciálisan megnő. Ez olyan szituációkban, ahol a helyszínen eltölthető idő rövid, szűk keretek között kénytelen mozogni a kutatás, jelentős előrelépést jelenthet a fentebb ismertetett dokumentációs és épületkutatási eljárás. Az elkészült modellek szinte teljes egészükben *quasi* duplikálják a feldolgozandó épületeket, emiatt nagyon csekély annak az esélye, hogy bizonyos részletek hiánya miatt újbóli felmérésére van szükség. A modellek teljessége miatt — minőségüktől függően persze — bármilyen részadat lekérhető, vizsgálható, szemben a hagyományos felmérési eljárások adta, viszonylag kisszámú és részletű dokumentációs anyagokkal. Itt egy fordított helyzetről van szó, míg az ismertetett eljárás esetében — hasonlóképp a lézerszkenneléshez — a teljeskörű adatrögzítés történik meg és abból bármi lehívható, hagyományos eljárások esetében az adatbázisépítés részleges, és soha nem lehet teljeskörű.

Az esettanulmányok során egyértelművé vált, hogy a digitális felmérés a rajzi dokumentálással kombinálva működik a leghatékonyabban, azaz az aktív emberi jelenlét és



szaktudás nem mellőzhető. A rajzok a későbbi interpretációban és a felmerülő problémák tisztázásában jelentős segítséget nyújtanak, sok esetben ezek hiánya későbbi értelmezési problémákat okoznak. Emellett az egyes részprojektek nagyságrendjei az adatgyűjtés szakaszolását igénylik, azaz egy bizonyos méret után már az épületek ‚feldarabolása‘ szükséges, vagyis bizonyos részleteinek külön-külön dokumentálása egyrészt a modell problémamentes elkészítéséhez, ugyanakkor a finomabb részletek aprólékosabb felmérése, feldolgozhatósága miatt célszerű.

A felmérések alapos és pontos, előzetes megtervezése — az épületek vizsgálata, a műszaki eszközök, anyagi források és megfelelő időjárási körülmények megléte — a helyszíni munka hatékonyságát növeli. Javasolt a problémákat előre feltérképezni és számolni az eshetőségekkel, hiszen a technológiai problémák nagy része az új eszközök, kellékek feltérképezésének hiányából — például kövek esetében léptékrudak, vakuzás sötét helyiségben, nagyobb, nehezen kezelhető, nagyobb felületek esetén drón használata — származnak, ebből adódóan érdemes az alkalmazandó eszközök és technikák, módszerek meghatározása. Az általunk használt eljárás gyakorlatilag sokkal produktívabb és komplexebb, ugyanakkor egy sokszínűbb dokumentációs anyag készíthető el vele. További pozitív tulajdonsága, hogy a felmérésben részt vevő, különböző szakterületek kutatói együttműködve, személyre szabottan tudnak dolgozni a közös projekten, ezáltal kiegészítve egymás látásmódját és tudását egy sokkal összetettebb tudományos művet hozhatnak létre.

Az általunk alkalmazott, ezen dolgozat keretein belül ismertetett felmérési technológia és módszer mérlege egyértelműen a pozitív irányba billen az elért eredmények alapján. Bár vannak még esetek, amik kissé problémásabbak, ezek viszont inkább kapacitásbeli hiányosságok, mintsem magából a felmérés módszeréből eredő, súlyos hibák. Mindez betudható a technológia újdonságának, amely rövidesen, az eljárás bevált gyakorlattá válása után már nem fognak jelentkezni a felmérések és utófeldolgozásuk során.

## 8. Perspektívák

A program folyamatos fejlődésével, illetve a működése közbeni apróbb hibák orvoslásával egyre jobb minőségű és sokrétűbb eredményeket tudunk elérni az egyre pontosabb és precízebb adatgyűjtést követően. Az új lehetőség már adott, csak élni kell vele, komolyan foglalkozni, hogy egy hatékony, költségkímélő, innovatív dokumentációs eljárás népszerűbbé, majd általánosan elterjedté és hosszú távon elfogadottá váljon. Nagy esély van rá, hogy a hagyományos felmérési technikákat a *“Structure from Motion”* módszerével kiegészítve, és bizonyos léptékekben, esetekben — a jelenlegi apróbb nehézségek ellenére — helyettesítve egy sokkal komplexebb, átfogóbb eljárás váljon kanonizálttá.

Az *Agisoft* program továbbfejlesztésével és új algoritmusok beépítésével, illetve más programok kompatibilitásának létrehozásával vagy javításával a feldolgozási folyamatok gyorsabbá válhatnak, természetesen a rendelkezésre álló eszközpark teljesítményétől függően.

Az informatikai hátteren túl nem szabad megfeledkezni az eljárás nyújtotta vizualitásról sem. Egyrészt, az elkészült tudományos munkák egy gazdag, illusztratív, könnyebben

interpretálható képi anyagból állnak, amelyek másrésztől távolabbi célokra is felhasználhatóak. A diszciplína itt válik a nagyközönség felé eladhatóvá és megérthetővé, vagyis marketing szempontjából válik széles körűen is hasznosíthatóvá, fenntarthatóvá.

Egy sima fényképezőgéppel olyan modellek állíthatóak elő viszonylag kis eszközigénnyel és rövid idő alatt, amelyek például marketinges vagy más prezentációs szakágak alapját is képezhetik, ezek nélkül a tudomány világa sem képzelhető már el.

## 9. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk megköszönni a *Szíriai-Magyar Régészeti Misszió*nak, hogy tagjai lehettünk a 2016 júliusi kutatási szezonban Szíriában és részt vehettünk a *Crac des Chevaliers* UNESCO-világörökségi helyszínen folyt felmérési munkálatokban, illetve a dokumentációs anyagokat a rendelkezésünkre bocsátották és engedélyezték a kutatási eredményeink közzétételét. Továbbá köszönet illeti *Major Balázst*, *Vágner Zsoltot* és *Vasáros Zsoltot* a segítségükért és támogatásukért, a *Pázmány Péter Katolikus Egyetemet*, valamint a *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemet*, hogy e dolgozat megszülethetett.

Ugyanakkor szeretnénk köszönetet mondani az idei szíriai misszió további csapattagjainak, hogy segítettek az utófeldolgozás eredményességében: *Lovas Klárának* és *Takács Bendegúz Mór-nak* a digitális modellek elkészítésében, valamint a fentebb már felsorolt résztvevőknek: *Bertók Gábornak*, *Borosházi Tamásnak*, *Buránszky Nórának*, *Franta Dezsőnek*, *Lóki Róbertnek*, *Balog Gellértnek*, *Bojtár Erzsébetnek*, *Hirling Beátának*, *Kocsis Anitának*, *Kotán Dávid Márknak* és a szíriai kollégáknak: *Na'ima al-Mahartamnak*, *Edmond el-Ajji-nek*, *Ahmed al-Boush-nak*, *Hazem Hanna-nak* és *Mayssam Youssef-nek*.

## 10. Felhasznált irodalom

- Agisoft LLC** (2016). *Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 1.2*. [http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro\\_1\\_2\\_en.pdf](http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_2_en.pdf).
- Biller, Th.** (2006) (ed.). *Der Crac des Chevaliers. Die Baugeschichte einer Ordensburg der Kreuzfahrerzeit*. Regensburg.
- Boas, A.** (1999). *Crusader Archaeology — The Material Culture of the Latin East*. London.
- Boas, A.** (2006). *Archaeology of the Military Orders*. London.
- Fazekas F. & Végvári Zs.** (2009) “Műtárgyak dokumentálása optikai szkennerek alkalmazásával.” Buzás G., Orosz K. & Vasáros Zs. (ed.) *Reneszánsz látványtár — Virtuális utazás a múltba*. Budapest, pp. 689–691.
- Fedden, R. & Thompson J.** (1959). *Kreuzfahrerburgen im Heiligen Land, Brockhaus*. Wiesbaden.
- Dankó K., Feld I. & Szekér Gy.** (1999). “A régészeti kutatások jelentősége a sárospataki vár építéstörténetének felderítésében.” *Herman Ottó Múzeum Évkönyve 37*: 375–393.
- Gerő, L.** (1984). *Magyar Műemléki ABC*. Budapest.
- Großmann, G. U.** (2006). “Zu den Steinmetzzeichen und den mittelalterlichen Inschriften Graffiti.” Biller, T. (ed.) *Der Crac des Chevaliers — Die Baugeschichte einer Ordensburg der Kreuzfahrerzeit*. Regensburg, pp. 348–361.
- Hardy, M.** (2008): *The Venice Charter Revisited: Modernism, Conservation and Tradition in the 21st Century*. Cambridge Scholars Publishing, Newcastle upon Tyne
- Halmos B. & Marótzky K.** (2015). *Műemlék, rajz, kutatás. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építészettörténeti és Műemléki Tanszékének felmérései és kutatásai a gyulafehérvári Szent Mihály-székesegyházon 2000-2013*, Budapest.
- Hell, G.** (2001). “Photogrammetrie — Stellung in der Bauaufnahme und heutige Möglichkeiten.” Weferling, U., Heine, K. & Wulf, U. (eds.) *Von Handaufmaß bis High Tech: Messen, Modellieren, Darstellen; Aufnahmeverfahren in der historischen Bauforschung*. Mainz am Rhein, pp. 41–43.
- Hellenkemper, H.** (1976). *Burgen der Kreuzritterzeit in der Grafschaft Edessa und im Königreich Kleinarmenien*. Bonn.
- Horler M.** (1991). “Az utóbbi 25 év műemléki elvei.” *Építés-építészettudomány 22/3–4*: 261–267.
- Kelemen B. Z. & Rácz M.** (2015). “A kép illusztráció...? — A Londoni Karta magyar fordítása elé.” *Műemlékvédelem 59/1*: 26–31.
- Kennedy, H.** (1995). *Crusader castles*. Cambridge.

**Krähling J.** (2009). “Az alakhú felmérés mint a hiteles épületrekonstrukció alapja.” Buzás G., Orosz K. & Vasáros Zs. (ed.) *Reneszánsz látványtár. Virtuális utazás a múltba*. Budapest, pp. 681–683.

**Krähling J., Halmos B. & Fekete J. Cs.** (2006). “A fertődi marionettszínház új értelmezése — az épületkutatás („Bauforschung”) és alakhú felmérés mint kutatási módszer alkalmazásával.” *Építés-Építészettudomány* 34/1-2: 5–55.

**Lawrence, E. T.** (1990). *Crusader castles*. Oxford.

**Major B.** (2001). “Európaiak a Közel-Keleten: a keresztés államok.” *Iskolakultúra-könyvek 10*. Pécs. <http://www.terebess.hu/keletkultinfo/majorb.html>

**Major B.** (2006). “Keresztés várak a Szentföldön.” Laszlovkszky J., Majorossy J. & Zsengeller J. (eds.) *Magyarország és a keresztés háborúk*. LII–LXIV.

**Major B. & El-Ajji, E.** (2011). “Al-Marqab Research Project of the Syro-Hungarian Archaeological Mission (a Brief Report on the Activities of 2009).” Jammous, B., Abdulrahman, A., al-Maqdissi, M., Hamoud, M., Hasan, H. & Dib, M. (eds.) *Chronique Archéologique en Syrie. Excavation Reports of 2009*. 5: 263–283.

**Major, B.** (2015). Medieval Rural Settlements in the Syrian Coastal Region (12th and 13th Centuries). *Archaeolingua Central European Archaeological Heritage* 9. Oxford.

**Müllet-Wiener, W.** (1966). *Burgen der Kreuzritter im Heiligen Land, auf Zypern und in der Agais*. München.

**Ramzy, S. N.** (2015). “The Dual Language of Geometry in Gothic Architecture: The Symbolic Message of Euclidian Geometry versus the Visual Dialogue of Fractal Geometry.” *Peregrination: Journal of Medieval Art & Architecture* 5: 135–172.

**Ross, B.** (1999). *Monuments of Syria: an historical guide*. London.

**Schuller, M.** (1990). *Der Dom zu Regensburg. Ausgrabung, Restaurierung, Forschung*. München–Zürich.

**Storz, S.** (2001). “Das Aufmaß von antiken Bauwerken in der Architekturstudien der Renaissance.” Weferling, U., Heine, K. & Wulf, U. (eds.) *Von Handaufmaß bis High Tech: Messen, Modellieren, Darstellen; Aufnahmeverfahren in der historischen Bauforschung*. Mainz am Rhein, pp. 1–23.

**Székely B., Molnár G. & Roncat, A.** (2007). *Domborzat- és felületmodellek teljes jelalakos légi lézerszkenneléssel* (PDF). [https://www.academia.edu/20489876/Domborzat-\\_fel%C3%BCletmodellek\\_teljes\\_jelalakos\\_l%C3%A9gi\\_l%C3%A9zerszkennel%C3%A9ssel\\_Digital\\_terrain\\_and\\_surface\\_models\\_by\\_full-waveform\\_laser\\_scanning](https://www.academia.edu/20489876/Domborzat-_fel%C3%BCletmodellek_teljes_jelalakos_l%C3%A9gi_l%C3%A9zerszkennel%C3%A9ssel_Digital_terrain_and_surface_models_by_full-waveform_laser_scanning)

**Vasáros Zs.** (2009) “Bevezetés. Vizualitás, virtualitás és a Reneszánssz Látványtár.” Buzás G., Orosz K. & Vasáros Zs. (ed.) *Reneszánsz látványtár — Virtuális utazás a múltba*. Budapest, pp. 12–45.

**V. Gyórfy I. & Vajda J.** (1998). “Műemlékek felmérése. A fotogrammetria építészeti alkalmazásának fejlődése – IMSEV mérési technológia – gyakorlati eredmények.” *Műemlékvédelmi Szemle* 8/2: 175–202.

V. Gyórfy I. & Vajda J. (2009). "Műemlékek felmérése IMSEV technológiával." Buzás G., Orosz K. & Vasáros Zs. (ed.) *Reneszánsz látványtár. Virtuális utazás a múltba*. Budapest, pp. 685–687.

Verőné Wojtaszek M. (2010). *Fotointerpretáció és távérzékelés 3. A lézer alapú távérzékelés*. (PDF) [http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027\\_FOI3/index.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_FOI3/index.html)

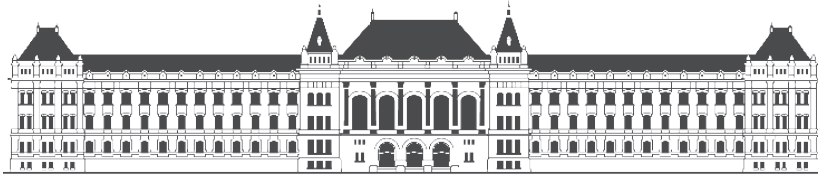
Zöllner, W. (1990). *Geschichte der Kreuzzüge*. Berlin.

Zimmer, J., Meyer, W. & Boscardin L. (2011). *Krak des Chevaliers in Syrien. Archäologie und Bauforschung 2003 bis 2007*. Koblenz.

## 11. Képek forrása

**Borító.** szertők által készített ábra **Absztraktban szereplő kép.** szerzők által készített ábra **1.** szerzők által átrajzolt térkép a <http://olvasmanyaid.blogspot.hu/2012/10/a-keresztes-hadjaratokrol.html> alapján **2.** fotó Paul Deschamps archívumából **3.** fotó Paul Deschamps archívumából **4.** fotó Paul Deschamps archívumából **5.** Balog Gellért fotója **6.** Fazekas Ferenc, Végvári Zsófia (2009). "Műtárgyak dokumentálása optikai szkennelők alkalmazásával." Buzás G., Orosz K. & Vasáros Zs. (ed.) *Reneszánsz látványtár. Virtuális utazás a múltba*. Budapest, pp. 688–691. **7.** saját ábra **8.** általunk átrajzolt ábra a [http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro\\_1\\_2\\_en.pdf](http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_2_en.pdf) 6. oldalán található kép alapján **9.** a [http://demo.ipol.im/demo/my\\_affine\\_sift/](http://demo.ipol.im/demo/my_affine_sift/) által készített ábra **10-45.** szerzők által készített ábra **46.** online kép forrása: <http://www.bbc.com/news/world-middle-east-26696113> **47.** online kép forrása: <http://www.bbc.com/news/world-middle-east-26696113> **48.** online kép forrása: <http://www.bbc.com/news/world-middle-east-26696113> **38-49.** saját ábra **50.** Kovács Kata fotója **51-58.** szerzők által készített ábra





BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

Építészmérnöki Kar

## “DDD”

Data Doing Dimension

*Műemléki felmérés és dokumentáció konfliktuszonájában*

## MELLÉKLET

*A mellékletben szereplő képek az Agisoft Photosan és a 3DSmax program által generált saját ábrák.*

Készítette:

Kovács Kata

Építészmérnöki mesterképzési szak  
(osztatlan)

Miklós Bernadett

Építészmérnöki nappali alapképzés (BSc)

Molnár Ádám

Pázmány Péter Katolikus Egyetem  
Bölcsészeti- és Társadalomtudományi Kar,  
 Régészeti MA

Konzulens:

Dr. Major Balázs

tanszékvezető, külügyi dékánhelyettes,  
Pázmány Péter Katolikus Egyetem  
Bölcsészeti- és Társadalomtudományi Kar,  
 Régészeti Tanszék (külső)

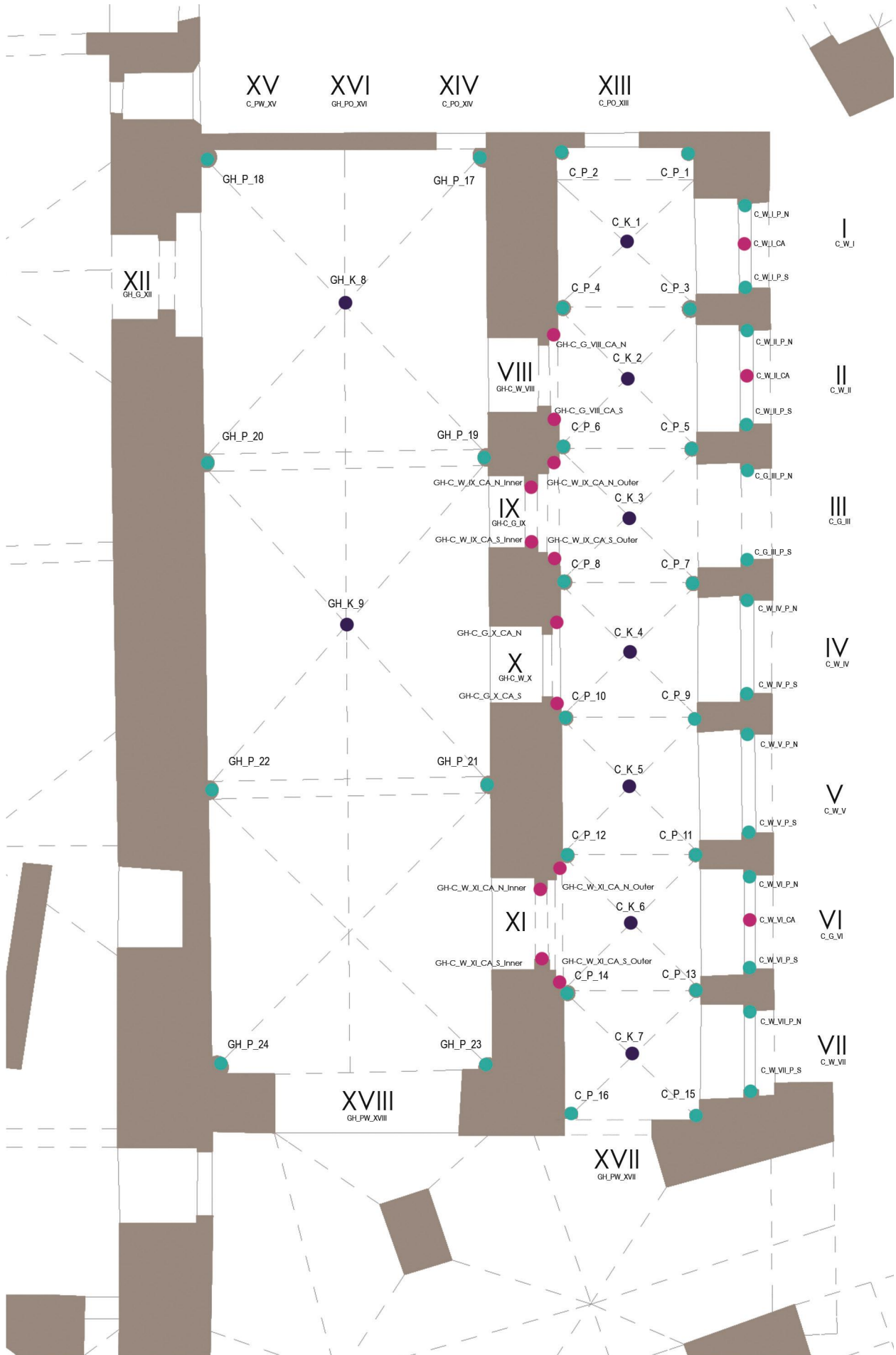
Tudományos Diákköri Konferencia

*Budapest, 2016*

Vasáros Zsolt DLA

egyetemi docens  
Ipari és Mezőgazdasági Épülettervezési  
Tanszék

1.sz melléklet  
Kerengő és lovagterem alaprajz







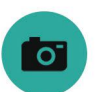




Syria, Crac des Chevaliers



Nikon D3200  
AF-S DX NIKKOR 18–55MM  
F/3.5–5.6G VR II



58 db (1) + 52 db (2)



67 778 db | medium



7 957 585 db | medium



92 364 faces



5000 × 5000



lunetta (rekonstruált)  
töredéke (ε elem); primer és  
secunder tagozatok  
— rózsza



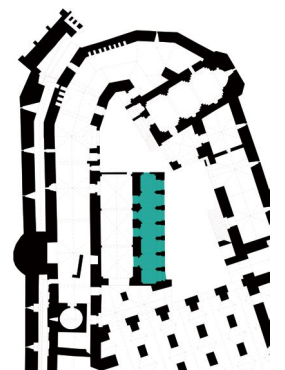
30 × 35 × 28



10 cm



Az ablaklunetta „ε” elemének rózszaablakáról származó ívtöredék. Profilja lemez, horony, lemez, pálca, lemez. Secunder tagozata a rózszaablak lemezekből kialakított karéja, középsíkjában vájattal. Sérült darab. Rekonstrukció. A közvetlenül ehhez illeszkedő darab: 2016/144.





Syria, Crac des Chevaliers

Nikon D3200  
AF-S DX NIKKOR 18-55MM  
F/3.5-5.6G VR II

30 db (1) + 33 db (2)

38 223 db | medium

4 564 690 db | medium

324 940 faces

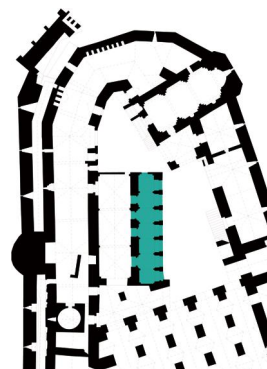
5000 × 5000

lunetta (rekonstruált)  
töredéke  
(γ elem);  
secunder tagozat — rózsza

15 × 16 × 17

10 cm

Az ablaklunetta „γ” elemének rózsablakáról származó töredék. Secunder tagozat, profilja lemezekből kialakított, középsíkjában vájattal. Sérült darab. Rekonstrukció. A közvetlenül ehhez illeszkedő darab: 2016/150.





Syria, Crac des Chevaliers



Nikon D3200  
 AF-S DX NIKKOR 18–55MM  
 F/3.5–5.6G VR II



40 db (1) + 41 db (2)



82 253 db | medium



8 690 608 db | medium



218 660 faces



5000 × 5000



lunetta (rekonstruált)  
 töredéke  
 (γ elem); primer és secunder  
 tagozatok —  
 rózsza és vakmérmű

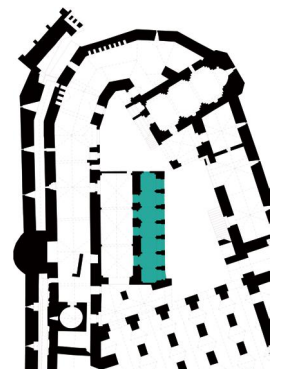


60 × 35 × 47

10 cm



Az ablaklunetta „γ” elemének vakmérmű és rózszaablak töredéke. Primer tagozata: lemez, negyedhomorlat, pálca. Secunder tagozata: lemezekből kialakított, középsíkjában vājattal. Durván sérült darab. Rekonstrukció. A közvetlenül ehhez illesztkedő darabok: 2016/149; /151 és /156.





Syria, Crac des Chevaliers

Nikon D3200  
AF-S DX NIKKOR 18–55MM  
F/3.5–5.6G VR II

47 min 2 s

35 db (1) + 41 db (2)

65 323 db | medium

1 717 752 db | medium

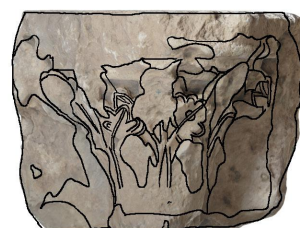
343 550 faces

25 000 × 25 000

félszlopfejezet

51 × 50 × 39

Téglalap alakú falazási tömbből kiemelkedő félszlopfejezet. A kehely alakú fejezeten két sorban elhelyezett levelek láthatóak. Az alsó és felső sorban erősen kinyúló, homorú hátú levelek helyezkednek el, bimbóik letörtek, kizárólag az egykor volt fal síkjában maradtak meg a lenyomatai. Az alsó sor egy-egy levele között, dupla nyélből indított, összeolvadó, majd három ágba vezetett, széttartó, ötkaréjos levelek kötik össze a két zónát. Fejlemez profilja pálca, lemez, homorlat. Pálca profilú lemez zárja alulról. Erősen sérült darab.





Syria, Crac des Chevaliers

Nikon D810  
AF-S Nikkor 14-24 mm  
f/2.8G ED

13 min 11 s

41 db

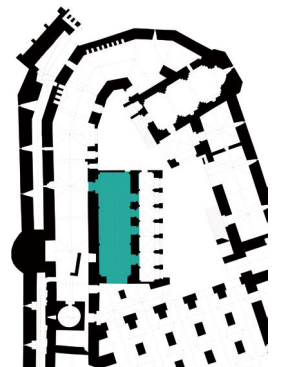
38 422 db | high

1 012 058 db | medium

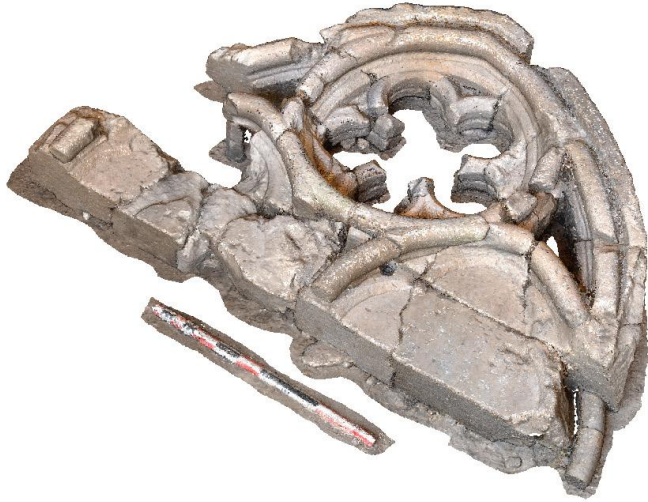
202 410 faces

25 000 × 25 000

Eredeti helyzetében lévő konzolkő a G\_XI-es számú kapuzat északi oldalánál, a kerengő nyugati falában. A keresztboltozat 5. és 6. szakaszainak három boltívét gyámolítja. Lapos, kehely alakú fejezetén három zónában, osztott alakú, húsos levelek helyezkednek el, csoportjuk gömbölydeden kiemelkednek. Az alsó zónát a falsíknál egy-egy fél, illetve középen két nagyobb levél sora alkotja, köztük nagyobb virágbimbókkal. A felső két sávban szimmetrikusan elhelyezett három rövidebb és két hosszabb száron lévő, páratlan levélcsoportok mutatnak felfelé. A rövidebb száron ellentétes irányba mutató, levél nélküli ágakkal. A konzol alsó zárása egy homorúan csavarodó gyűrű. Fejlemeze összetett, sarkai csapottak, egyszerű echinusszal, az abakuszának negyedhomorlatában pálcátaggal. Viszonylag ép felületű, kevés sérüléssel.



9.sz melléklet  
Ablak mérmű



Syria, Crac des Chevaliers



Nikon D3200  
AF-S DX NIKKOR 18–55MM  
F/3.5–5.6G VR II



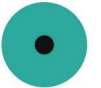
9 h 33 min 38 s



216 db



134 894 db | high



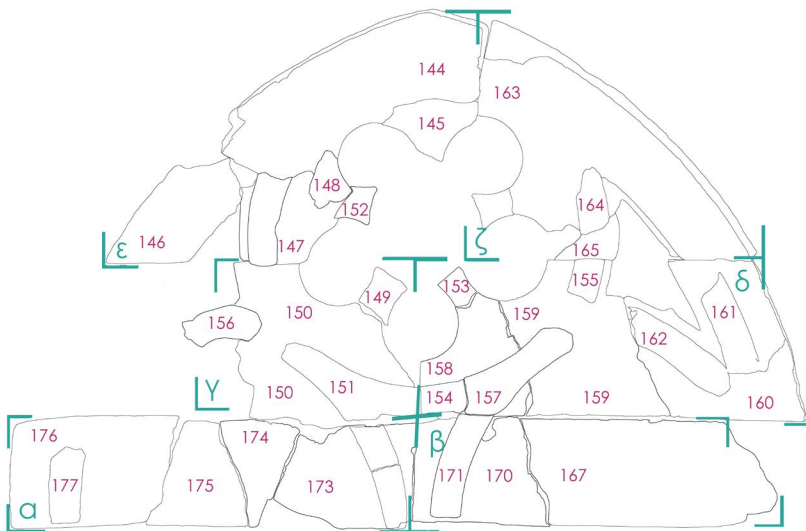
12 386 385 db | medium



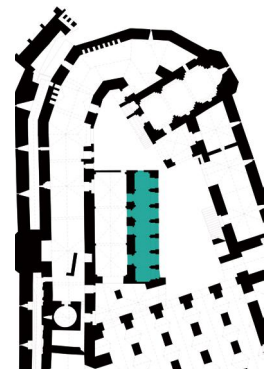
825 743 faces



30 000 × 30 000



1 m





10.sz melléklet  
101 udvar saroklépcső



Syria, Crac des Chevaliers



Nikon D3200  
AF-S DX NIKKOR 18-55MM  
F/3.5-5.6G VR II



5 h 34 min 13 s



512 db



313 162 db | low



48 372 617 db | medium



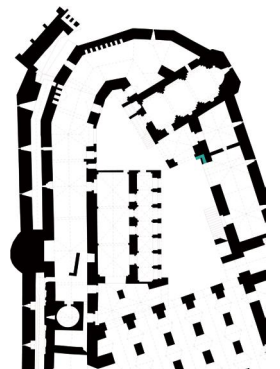
3 224 822 faces



8000 × 8000



1 m



11.sz melléklet  
 { Kápolna délnyugati ablak }



Syria, Crac des Chevaliers



Nikon D3200  
 AF-S DX NIKKOR 18-55MM  
 F/3.5-5.6G VR II



1 h 14 min 29 s



142 db



150 797 db | medium



17 848 572 db | medium



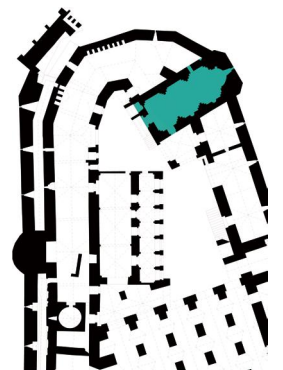
1 037 131 faces



5000 × 5000











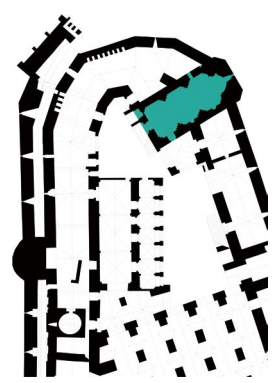
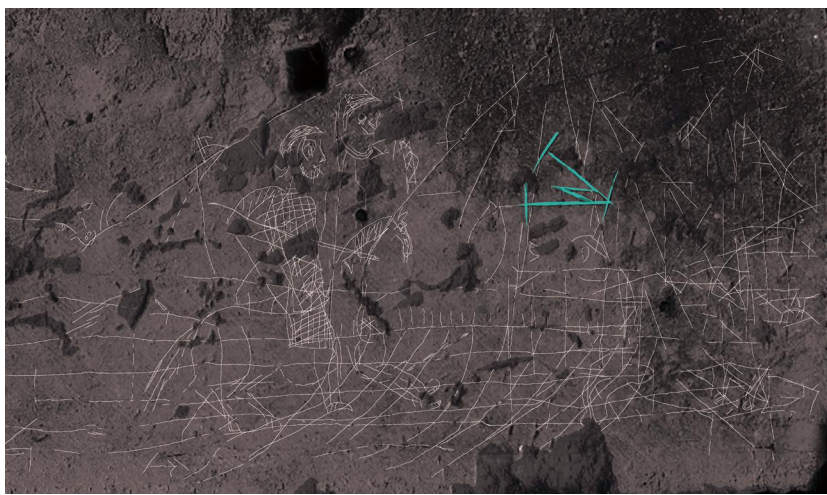
1 m



12.sz melléklet  
Boltív



- Syria, Crac des Chevaliers 
- Canon EOS 700D  
EF-S18-135 mm  
f/3.5-5.6 IS 
- 20 h 58 min 55 s 
- 427 db 
- 197 188 db | high 
- 231 133 863 db | high 
- 46 418 944 faces 
- 30 000 × 30 000 



13.sz melléklet  
Kápolna tető 200 / 300



Syria, Crac des Chevaliers

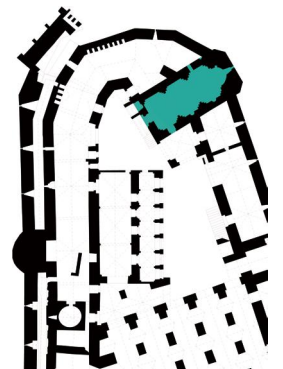
Nikon D810  
AF-S Nikkor 14-24 mm  
f/2.8G ED VR



| medium



| medium



14.sz melléklet  
120 m terem



Syria, Crac des Chevaliers



Nikon D810  
AF-S Nikkor 14-24 mm  
f/2.8G ED VR



4 nap 2 h 15 min 18 s



1681 db



383 683 db | medium



103 599 241 db | medium



17 737 964 faces



16 384 × 16 384



15.sz melléklet  
Kápolna



Syria, Crac des Chevaliers

Nikon D810  
AF-S Nikkor 14-24 mm  
f/2.8G ED VR

2 nap 13 h 7 min 30 s

6099 db

