

## DIGITÁLIS REKONSTRUKCIÓK ÉS FELMÉRÉSEK A VISEGRÁDI FERENCES KOLOSTORBAN.

### Példák a hazai középkori épületek számítógépes feldolgozásának történetéhez

BUZÁS GERGELY<sup>1</sup> – FEHÉR ANDRÁS<sup>2</sup> – LASZLOVSZKY JÓZSEF<sup>3</sup> – SZÓKE BALÁZS<sup>4</sup>

Magyar Régészet 13. évf. (2024) 4. szám, pp. 28–39. <https://doi.org/10.36245/mr.2024.4.2>

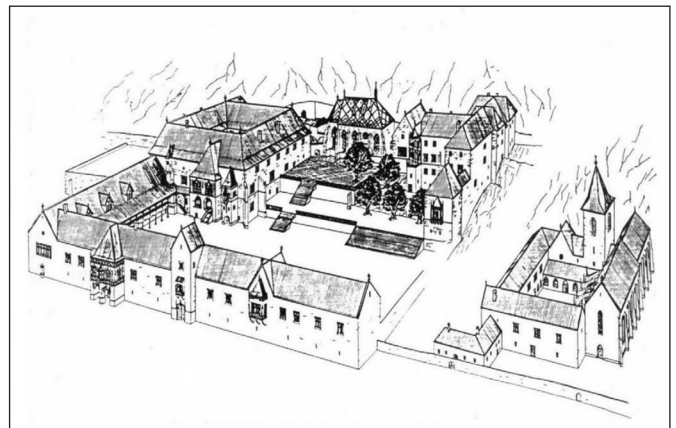
*Harminc éve, hogy elkészültek az első számítógépes rekonstrukciók egy magyarországi középkori épület-együttes gótikus szerkezeteiről. A visegrádi ferences kolostor kerengőboltozatának és a kerengő folyosó digitális újjáalkotása az egyik legelső hazai példája annak, hogy miként lehet elméleti és látványrekonstrukciót készíteni egy középkori épület faragott kőanyagának felméréseivel és számítógépes eszközökkel. Az évforduló nyomán összefoglaljuk az elmúlt harminc év fejlődését, és azt is bemutatjuk, hogy milyen új lehetőségek és módszertani kérdések merülnek fel a kolostor legújabb ásatásakor a digitális technikák kapcsán.*

**Kulcsszavak:** Visegrád, ferences kolostor, gótikus építészet, 3D rekonstrukció, *anastylosis*, CAD-modell

A digitális technológiák, 3D rekonstrukciók, valamint a 3D szkennerek korán megjelentek a visegrádi régészeti ásatásainál, így kiemelten a királyi palota kutatásában. Ennek legfontosabb fázisairól és eredményeiről, valamint a módszertani kérdésekről korábban már két cikkben is beszámoltunk (FEHÉR 2024a; 2024b). Ezúttal azt mutatjuk be, hogy ezeket a technológiákat hogyan használták a visegrádi Szűz Mária ferences kolostor és annak templomának felméréseiben és digitalizálásában az elmúlt három évtizedben. Ezt az is indokolja, hogy a középkori épületek szerkesztési elveivel és ezen keresztül a rekonstrukciók lehetőségével már foglalkozott a szakirodalom, de a digitális megoldások történetéről eddig kevés szó esett (FEHÉR & HALMOS 2015, 251; JOBBIK – KRÄHLING 2023). A legújabb ilyen visegrádi eredményeket később közöljük.

### AZ ELSŐ DIGITÁLIS REKONSTRUKCIÓK

A visegrádi ferences kolostor 1989-ben meginduló ásatását követően az első rajzi rekonstrukciót Buzás Gergely és Réti Mária készítették el az épületről, a palota Mátyás-kori állapotát bemutató rajz részeként (1. kép). Ez a pauszra készített tusrajz már 1990-ben napvilágot látott, és az 1990-es évek elején más cikkek képanyagában is szerepelt (BUZÁS 1990, 101; BUZÁS & SZÓKE 1992, 153, 13. kép). A rekonstrukció elsősorban Héjj Miklós 1983-as és Szóke Mátyás 1989-es feltárásainak eredményein alapult, amelyek nyomán a kolostor és palota együttesének alaprajzi rekonstrukcióját Székér György készítette el. Ez az alaprajz 1994-ben jelent meg a kolostor ásatásainak első közlésében, a szintén általa készített alaprajzi boltozatrekonstrukcióval együtt, amely a kolostor káptalani kápolnájának hálóboltozatát ábrázolta (BUZÁS *et al.* 1994, 2/a-b. ábrák; 9. kép). Ugyanitt láttak először napvilágot Papp Szilárd rekonstrukciós rajzai a kerengő szerkezetéről, a kerengőnyílá-



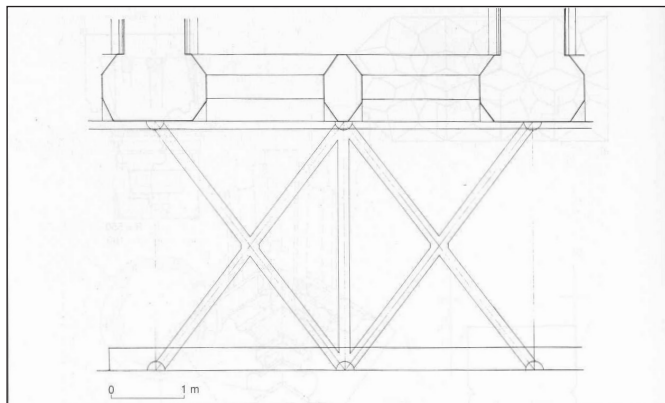
1. kép A visegrádi királyi ferences kolostor rekonstrukciós rajza (Buzás Gergely – Réti Mária)

<sup>1</sup> MNMKK Mátyás Király Múzeuma, Visegrád; [buzasgergely@visegradmuzeum.hu](mailto:buzasgergely@visegradmuzeum.hu), <https://orcid.org/0009-0005-4378-5922>

<sup>2</sup> 4iG/ Mensor 3D; [ndrs.fhr@gmail.com](mailto:ndrs.fhr@gmail.com)

<sup>3</sup> Central European University, Vienna; [laszlovj@ceu.edu](mailto:laszlovj@ceu.edu), <https://orcid.org/0000-0003-2181-7610>

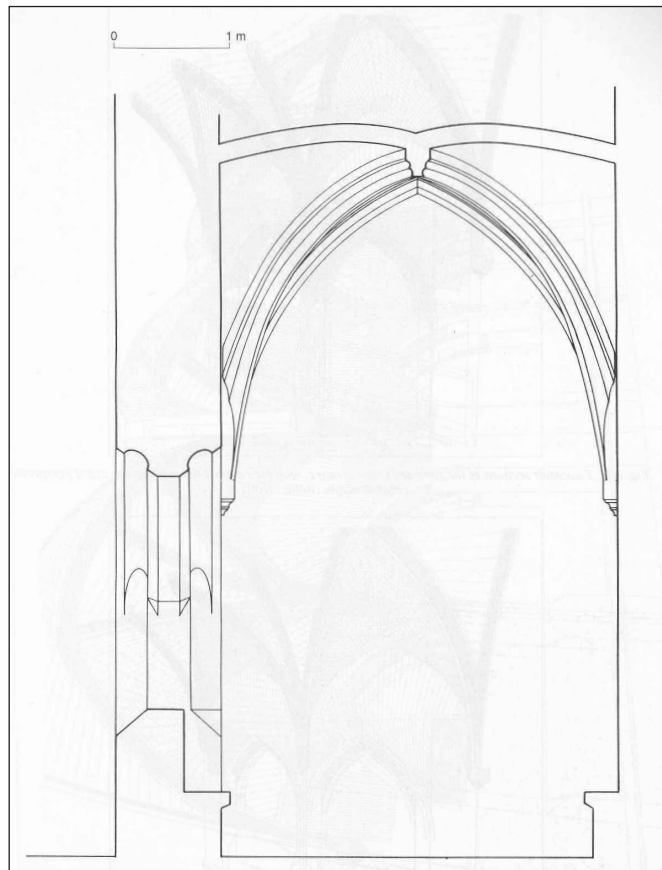
<sup>4</sup> Gál Ferenc Egyetem, Szeged; [szokebalazs.boltozat@gmail.com](mailto:szokebalazs.boltozat@gmail.com), [szoke.balazs@gfe.hu](mailto:szoke.balazs@gfe.hu), <https://orcid.org/0009-0004-3714-0696>



2. kép A kolostorkerengő egy szakaszának rekonstruált alaprajza (Papp Szilárd)

sok és boltozatok merőleges vetületű (*ortografikus*) ábrázolásával (BUZÁS *et al.* 1994, 18–20. képek). A rekonstrukciót az tette lehetővé, hogy jelentős álló falak maradtak meg a kerengőnél és a beszakadt késő gótikus boltozat faragott kövei (boltozati bordák, indítások, zárókő) is nagy számban előkerültek a kerengő padlóján. A boltozati indítások helyét meg lehetett határozni, így a boltozat magasságát is ki lehetett számolni (2-3. kép).

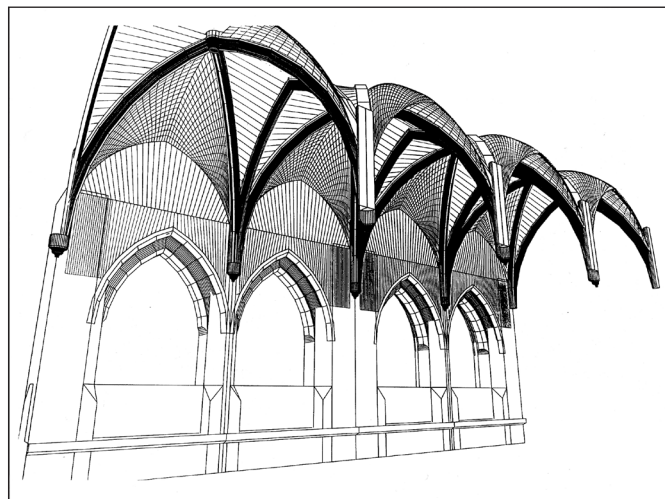
Az 1990-es évek elején már rendelkezésre álltak olyan számítógépes programok, amelyek lehetővé tették az építészeti tervezési folyamatot digitális eszközök segítségével. Ugyanakkor ezek a programok alapvetően modern építészeti szerkezetek tervezésére voltak alkalmasak, a régészeti emlékek 3D rekonstrukciója, vagy történeti épületszerkezetek digitális feldolgozása és megjelenítése még korántsem volt elterjedt. Ekkor még nem jelent meg az a Colin Renfrew által összeállított kötet, amely először mutatta meg látványos módon, hogy a virtuális valóság igazi előfutáráiként, milyen régészeti rekonstrukciók készíthetők a digitális technikákkal (RENFREW 1997). Bár már ekkor is ismert volt egy elpusztult középkori épület számítógépes rekonstrukciója, amely a Cluny apátsági templom „feltámasztásával” mutatta meg a digitális technikák lehetőségeit. Ez a program 1990-ben, majd az újabb és újabb verziói a Cluny III-nak



3. kép A ferences kolostor kerengő boltozatának elméleti rekonstrukciója (Papp Szilárd)

nevezett hatalmas templom rekonstrukcióját jelenítették meg (<https://www.dailymotion.com/playlist/xzf11>). Ez a program nagy hatással volt a témával foglalkozó hazai kutatókra is (BUZÁS 1995). Mindezek nyomán a ferences kolostor kerengője és az ott előkerült kőanyag alkalmasnak látszott 3D rekonstrukció szerkesztésére, amelyet Holl Balázs készített el (4. kép). Erről már 1995-ben cikk jelent meg (HOLL & LASZLOVSZKY 1995), majd az eredmények az újabb visegrádi kutatásokat angol nyelven bemutató kötetben is megjelentek (BUZÁS *et al.* 1995, Fig. 201-204).

A kerengő 3D modellje HP 9000-735-ös munkaállomáson készült, AutoCAD R12 programmal. A rekonstrukció alapja ebben az esetben kétdimen-



4. kép A ferences kolostor kerengő folyosójának számítógépes rekonstrukciója (Holl Balázs)



5. kép A számítógépes rekonstrukció fényképszerű megjelenítésben (Holl Balázs)



6. kép A számítógépes rekonstrukció „plotteren” megrajzolt változata (Holl Balázs)

ziós rajzanyag volt, ezek felhasználásával jött létre a 3D modell. A szerkesztés a bordaprofilokkal kezdődött, amelyek szimmetriája jól kihasználható volt a folyamatban. Az alaprajznak megfelelő helyzetbe mozgatva és elfordítva a tényleges térbeli ívnek megfelelő testmodellt alkottunk. A boltozat szimmetriáját kihasználva a keresztboltozat negyedét sikerült létrehozni, és ebből állt össze egy boltszakasz. Az akkori technikai lehetőségekről sokat elmond, hogy a teljes kerengőfolyosó boltozata valójában egyetlen boltszakasz többszöri megismétlésével jött létre, hiszen a tervező program nem középkori épületszerkezetek megjelenítésére készült. A „renderelés”, a felületek textúrájának kialakítása, vagy egy természetes háttér megjelenítése a kolostorudvar esetében ma már teljesen automatizált lépések, akkor még mindez „kézi” vezérléssel történt (5. kép). Ugyancsak jól mutatja a digitális háttér különbségeit az, hogy a boltozat egyik nézetét megmutató 3D rajz, amely sokkal inkább a kézi rajzok sémáját jelenítette meg, nem printeren, hanem „plotteren” készült. Vagyis egy toll és a papír egyidejű, digitális mozgásával állt elő a kép, több fázisban úgy, hogy a megfelelő színű részeket a tollak cseréjével lehetett elérni. A digitális technológiák gyors elavulását jól mutatja, hogy ezt a rajzot a programok és a fájlformátumok változása miatt ma már nem lehet digitálisan reprodukálni, csak a megmaradt eredeti digitális rajzot tudjuk beszkenneálni, és itt első alkalommal közölni (6. kép).

## KOMPLEX DIGITÁLIS FELDOLGOZÁSOK ÉS 3D REKONSTRUKCIÓK

A 2000-es évek második felében kezdődött meg a palota és a kolostor teljes digitális 3D rekonstrukciójának építése, amihez a 2008-as *Reneszánsz Év* rendezvényeihez kapcsolódóan, a Magyar Nemzeti Múzeumban rendezett *Reneszánsz Látványtár* című kiállítás adott alkalmat. Ennek előkészítéseként készítette el 2007-ben Buzás Gergely a kolostor első 3D modelljét az Archline Xp CAD szoftver segítségével. A modell csak az épület külső tömegét és először csak a kolostor Jagelló-kori állapotát ábrázolta (7-8. kép). Ez jelent meg a fent említett kiállításon, a Narmer Bt. által elvégzett átdolgozásban (9. kép), színezetlen változatban (RENEZÁNSZ 2009, 177, 432, 437). Ennek a modellnek az alapján készült el a palota és a kolostor első famodellje is. A virtuális modellen a következő években a munka tovább folytatódott, így 2010-re Buzás Gergely elkészítette a palota- és kolostoregyüttes többi építési periódusának



7. kép A királyi palota és a ferences kolostor első teljes digitális rekonstrukciója (Buzás Gergely)



8. kép A ferences kolostor kerengőudvarának első digitális rekonstrukciója (Buzás Gergely)



9. kép A kolostor digitális rekonstrukciója (2008) a Reneszánsz Látványtár kiállításon (Narmer Bt.)



10. kép A királyi palota és a ferences kolostor digitális rekonstrukciója a Narmer Bt. 2010-ben készült animációs filmjében

modelljét is, ami többek között a kolostor Zsigmond-kori fázisának 3D rekonstrukcióját is jelentette. Ezek már textúrázott, színes modellekként jelentek meg (10. kép) a Narmer Bt. által 2010-ben készített, a visegrádi királyi palotát bemutató animációs filmen és a királyi palota ekkor megjelent régészeti monográfiájában (BUZÁS & OROSZ 2010), valamint a 2013-ban megjelent angol verzióban (MEDIEVAL ROYAL PALACE).

## SZKENNEREK ÉS DIGITÁLIS FELDOLGOZÁS

Fehér András és munkatársai először 2013-ban kezdtek el dolgozni a helyszínen a SziMe3D AR kutatási-fejlesztési projekt keretében, majd annak jogutódjaként a Mensor 3D Kft. folytatta a munkát. A kutatás elsődleges célja az volt, hogy megvizsgálják a legkorszerűbb technológiák felhasználásának lehetőségeit a kulturális örökség megőrzésében és látványos bemutatásában. Munkájuk során számos várat, kastélyt, ásatást mértek fel és digitalizáltak földi lézer szkennerek segítségével. Vetített mintázattal dolgozó tárgyszkennerre felmérésére támaszkodva pedig több száz értékes leletet, múzeumi tárgyat és faragott követ modelleztek. A kolostorban végzett munka fontosságát és jelentőségét kiemelte, hogy a Visegrád városát a Duna árvizeitől megvédő védmű megépítése előtt a terület rendszeresen került víz alá. A folyó romboló hatásával szemben a hordalékkal való feltöltődés jótékonyan hatott a megmaradt épületrészek konzerválásában.



*11. kép A királyi palota és a ferences kolostor digitális rekonstrukciója 2017-ből (Pazirik Informatikai Kft.)*

Ezért ez a helyszín pályázott a CyArk 500 Alapítványnál (USA) is, amelynek az a célkitűzése, hogy a világörökség legveszélyeztetettebb értékeit felmérje, digitalizálja, a mérési állományokat a világ egyik legbiztonságosabb katonai bunkerében örökre megőrizze. 2014 októberében értesítettek a minket, hogy a visegrádi királyi palota, és így a kolostor is felkerült a megőrzendő értékek listájára. Az első mérések során földi lézér lézerszkennerekkel került sor a kolostor teljes területének digitalizálására, tárgyszkennerekkel pedig számos boltozati borda, csomópont és zárókö modellezésére.



*12. kép A ferences kolostor digitális rekonstrukciója 2017-ből (Pazirik Informatikai Kft.)*



13. kép A ferences kolostor templomának digitális rekonstrukciója 2017-ből (Pazirik Informatikai Kft.)



14. kép A ferences kolostor kerengőudvarának digitális rekonstrukciója 2017-ből (Pazirik Informatikai Kft.)

A 3D modellek további kidolgozására a 2017-ben készült *Királyok Visegrádja* című film, kiállítás és a hozzájuk kapcsolódóan 2018-ban megjelent könyv nyújtott lehetőséget (BUZÁS 2018), ahol a Pazirik Informatikai Kft. végezte el a 3D modelleknek a korábbiakénál valóságosabb textúrázását a palota és kolostor Zsigmond- és Jagelló-kori modelljén (11–14. kép). A kolostor 3D modelljének további átdolgozására a 2021-től induló *Visegrád Reneszánsza* program adott alkalmat 2023–24-ben, amikor a Mensor3D által elvégzett 3D szkenneléseket felhasználva, Albert János pontosította és fejlesztette tovább ArchiCAD szoftverben a kolostor utolsó periódusának digitális modelljét. Ez elsősorban a kerengő belső térének kidolgozásában hozott újdonságokat (15. kép). A program keretében végzett 2023–2024-es ásatások új eredményei a közeljövőben lehetővé teszik a 3D modell további fejlesztését és publikálását.



15. kép A kerengő belső térének digitális rekonstrukciója 2024-ből (Albert János)

## ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEK, MÓDSZERTANI KÉRDÉSEK

A korábbi kutatás-fejlesztési projekt során jelentős, nagy terjedelmű és átfogó tanulmányok készültek, mint például „Az örökségvédelem területén használt digitalizálási technológiák számbavétele elemzése a különböző tárgyak, objektum-típusok esetében”; „Eszközök meghatározása, kiválasztása a perspektivikus torzulásból és nézőpontkülönbségekből kiszámított pixel alapú modell generálása (fotogrammetriai eljárások)”; „Kulturális örökségvédelem területén használt feldolgozási eljárások és programok áttekintése, az eljárások gyakorlati tesztelése, dokumentálása”. Ezeknek a dolgozatoknak a gyakorlati példákat és tapasztalatokat tárgyaló részében jelentős szerepet kaptak a kolostor területén, illetve kőtárában végzett munkák. A projekt egyik kiemelkedő fejlesztése lett az Artec holland vállalkozás Eva típusú kézi szkennereinek forgatóasztallal történő összeépítése (16. kép). Ezzel az eszközzel korábban a kalocsai székesegyház régészeti ásatása során számos faragott kő digitalizálása készült el. Az ott szerzett tapasztalatokat is hasznosítva sikerült a kézi szkennelést folytatott méréseket felgyorsítani, félig automatizálni. Az 50 000 dollár alatti kategóriában a programmal együtt 21 200 dollárba kerülő eszközt megjelenésekor (2012) az egyik legjobbnak tartották a piacon. Másodpercenként 18 millió pontot 16 FPS (*Frames per Second*) sebességgel, a gyártó szerint 0,2 mm-es pontossággal képes rögzíteni. Kezelése nem egyszerű, gyakorlott szakember közreműködését igényli. Folyamatosan azonos távolságot kell tartani a mért tárgy felületétől, figyelni kell arra, hogy a megvilágított területről érkező információkat a gép időben fel tudja dolgozni. Sem túl lassan,



16. kép A kolostor köveinek mérése Eva szkennerral, forgató asztallal 2013-ban (Fotó: Fehér András)



17. kép A kolostor köveinek mérése Breuckmann tárgy szkennerral, 2024-ben (Fotó: Fehér András)

sem túl gyorsan nem szabad mozgatni. Az eszköz nagyon érzékeny a környezeti fényviszonyokra, valamint a mérendő tárgy anyagára. Az optikai szkennereknél általános megoldás, hogy az egymást követő képkockából származó adatot összeilleszti, ezzel folyamatosan számolja a szkennert és a tárgy viszonyát. Szabad téren, napfényes időben sokszor „veszíti” el a tárgyat a felmérés során, amiről fény és hangjelzéssel is tájékoztatja a kezelőt. A mért állomány szoftveres feldolgozásának is vannak „trükkjei”, amire sok-sok óra tapasztalattal lehet rátalálni. Ezért is volt jelentős lépés a félautomatizálás, a forgató asztallal való összeépítés. A kézi szkennerek nem nevezhető, de szintén a vetített mintázat alapján modellt alkotó Breuckmann-szkennert műszaki előrelépés volt (17. kép). Kiválasztását alapos piaci felmérés előzte meg, amelynek során 40 különböző műszer összehasonlítása és elemzése történt meg (SziMe3D AR). A kiválasztott eszköz elsősorban a gépiparban, ipari minőségbiztosításban és laboratóriumi környezetben használt, de a műszer „atyja” szívesen ajánlotta kulturális területen is. Számos jelentős projektet jegyeznek használatával, mint például. Michelangelo Dávid szobra, Laokoón szoborcsoport a Vatikáni Múzeumban, Hadrianus temploma Ephesosban, Angkor-stílusú reliefek Kambodzsában ([https://www.researchgate.net/publication/336586081\\_25\\_Years\\_of\\_High\\_Definition\\_3D\\_Scanning\\_History\\_State\\_of\\_the\\_Art\\_Outlook](https://www.researchgate.net/publication/336586081_25_Years_of_High_Definition_3D_Scanning_History_State_of_the_Art_Outlook)). Sőt egy jelentős magyar felhasználásra is sor került az olümpiai Zeusz templom 3D rekonstrukciós munkáiban (PATAY-HORVÁTH 2011).

A kiválasztott Breuckmann StereoScan-HE szkennert „Miniaturised Projection”- típusú strukturált vetített fényes technológiával dolgozik. Két darab, akkor még nagy felbontásúnak számító 3296x2472 pixeles CCD kamerával néhány másodperc alatt készített egy 8 MegaPixel felbontású felvételt. A mérendő tárgy méretétől függően lehetett optikát választani, a kolostori mérésekhez az „L-750” típust választottuk, ami azt jelentette, hogy a FOV (Field Of View) 605x480 mm-es. A mérési mélység 400 mm, az x-y irányú felbontás 185 µm, a pontosság 51 µm. Ezek a paraméterek bőségesen elegendőek a faragott kövek pontos felméréséhez. A mérés feldolgozása a gyártó által fejlesztett OPTOCAT programmal valósult meg, ami a

modell alkotását segédpontok felhelyezése nélkül, de az egyes mérések egymásba fűzését emberi segítséggel végzi. A modellek a legismertebb 3D-formátumokba exportálhatóak, ezzel lehetővé téve a széles körű további felhasználásukat.

Egy későbbi kutatás-fejlesztési projekt során lehetőség adódott egy még korszerűbb Hexagon Aicon StereoScanNeo R16 típusú eszköz vásárlására. Ez az eszköz 2db 16 Mega Pixelés kamerával (4864x2032 CCD), és multicolor LED-es vetítéssel bír. Az előző készülékhez hasonló „L” - típusú optika paraméterei kis mértékben javultak. Ehhez a készülékhez több optikai rendszer is rendelkezésre állt, hogy a lehető legszélesebb körben, az apró ékszerek nagy pontosságú szkennelésétől kezdve az épületelemek digitalizálásáig minden feladat megoldható legyen.

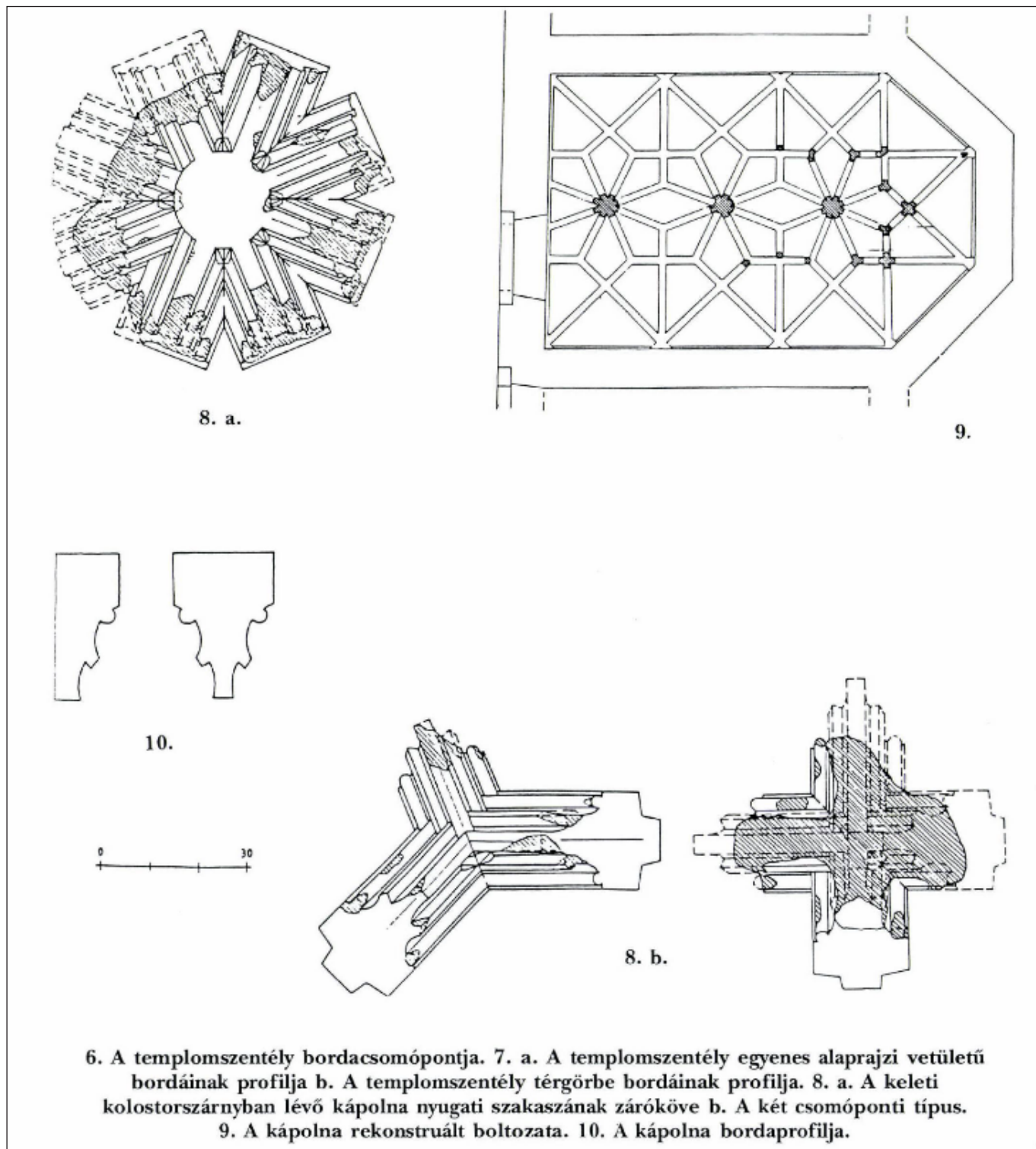
Az utóbbi időben hasonló feladatok elvégzésére a fotogrammetriai alapú megoldások alkalmazása vált fontossá. Bár már 10 évvel ezelőtt is tucatnyi program volt kapható, amivel lehetséges volt a fényképek alapján történő 3D modellezés, az igazi áttörés az elmúlt évtizedben következett be. A SziME3D AR kutatási projekt is sokat foglalkozott a fotogrammetria alapú lehetőséggel. Több száz oldalas tanulmányokban elemezték a fizikai alapokat, a fényképezőgépek és lencsék eltérő paramétereinek és hibáinak következtében előálló nem kívánt jelenségeket, a feldolgozó programok hiányosságait. Az akkor a piacon lévő, jobbnak mondható programok gyártói közül mára csak néhány maradt. Az orosz fejlesztésű Agisoft ezek közé tartozik, ma ez a vállalkozás a piac egyik legjelentősebb szereplője. Természetesen az eljárás felfutásához nagyban hozzájárult a fényképezőgépek és optikák, a feldolgozó hardverek számítási kapacitásának fejlődése, a képképzés területén is kiemelkedő okostelefonok megjelenése, valamint a feldolgozó programok robbanásszerű javulása. Az is hozzájárult a fotogrammetria térnyeréséhez, hogy a fiatalabb nemzedék bátran nyúl a technológiához, elsajátítása nem jelent számukra problémát. Ma a fotogrammetriára szakosodott folyóiratok mellett ezernyi tanulmány lelhető föl a világháló tudományos igényű adatbázisaiban. Abban, hogy a kézi szkennerekkel vagy fényképek alapján dolgozó fotogrammetriával lehet jobb eredményt elérni, nem foglalunk állást, mindkét technológiának vannak előnyei és hátrányai. Számos technikai példa bizonyítja, hogy a műszakilag jobbnak vélt megoldás alulmarad a piacon és nem csak a gazdasági megfontolások miatt.

## DIGITÁLIS FELMÉRÉSEK ÉS 3D REKONSTRUKCIÓK ÖSSZEKAPCSOLÁSA A FERENCES KOLOSTOR ÉPÍTÉSZETI MARADVÁNYAINÁL

A ferences kolostor káptalani kápolnájának feltárását az 1980-as évek elején végezték, és a kolostorszárny legjobban értelmezhető része a keleti szárnyban található kápolna volt. A téglalap alakú, a nyolcszög három oldalával záródó teret egykor hálóboltozat fedte, amelynek boltozati kövei nagy számban kerültek elő a feltáráson. A boltozatról Székér György készített rekonstrukciós rajzokat (Buzás *et al.* 1994, fig. 2/b; 6-10). Meghatározta a boltozat alaprajzi vetületét és egykori formáját, és a feldolgozásban közölte a két alapvető bordacsomópont felmérési rajzait, valamint az egyik zárókő rekonstrukciós rajzát (18. kép). Ez alapján megjelent a teljes, értelmezett alaprajz a bordacsomópontok feltételezhető elhelyezésével. Egy csomóponttöredék alapján bizonyítható volt, hogy az egykori boltozat fecskefarkas boltvállakkal épült. Mivel a bezuhant boltozat elemei a feltárással azon a helyen kerültek elő a padlón, ahová a boltozat omlott, így az azonos helyzetű csomóponti elemek pontos helye is feltételezhető vált. A boltozat egy rendkívül elterjedt alapmotívumra épülő, de kivételes igénnyel elkészített csillagháló-boltozat volt. Érdekessége, hogy a boltozattípus még a 17. század építőmesteri képzés gyakorlati anyagában is feltűnik (MAISSEN 2019, 71-72) (19. kép). A SziMe3D AR programban ennek a szerkezetnek a 3D modellezését és virtuális rajzi rekonstrukcióját Szőke Balázs készítette el (20-23. kép). Célja az volt, hogy a digitalizált és modellezett köveket egy *anastylosis* igényű rekonstrukciós modellben helyezze el, vagyis eredeti elemeket, eredeti pozíciójukba helyezze vissza a virtuális modellben (CANCIANI *et al.* 2013).

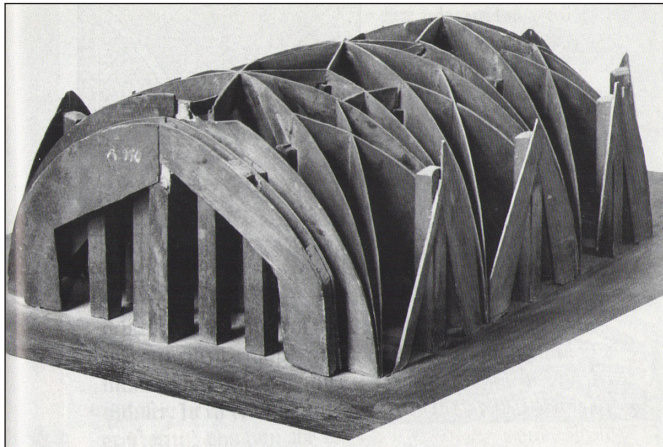
A munkához kapott alapanyag a kőfaragványoknak strukturált fényű vetítéses technológiával készült digitális változata volt. A mérési eredmények alapján felvett ponthálóból, háromszög felületekből felépülő poligonháló – MESH – készült, amely már DWG formátumban tárgyelemként kezelve is használható. Az



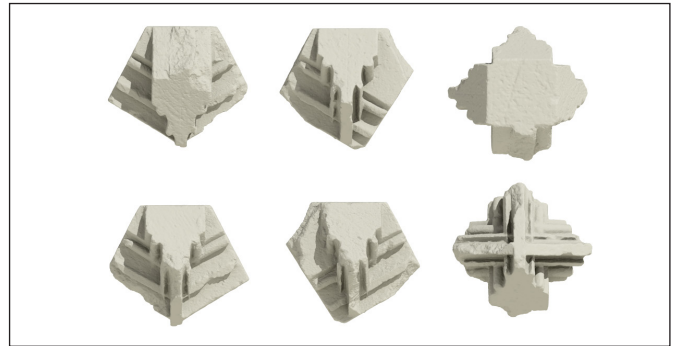


18. kép A visegrádi ferences kolostor káptalani kápolnájának elméleti rekonstrukciója (Szekér György)

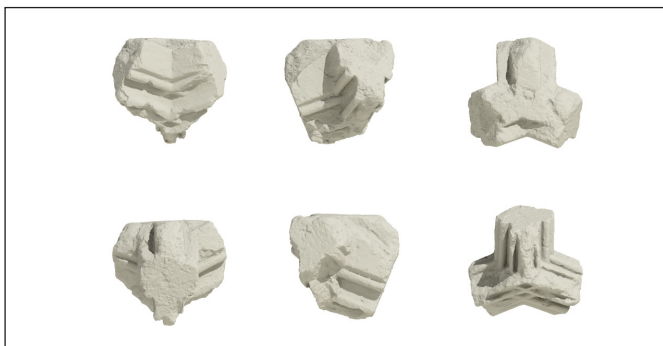
alkalmazott szoftverek teljesítményére tekintettel a felmérési pontosság egy százalékára mérsékelt felbontású modellek készültek a vizuális megjelenítésnél. Ez a lépték így is lényegesen pontosabb volt, mint bármilyen korábban használt felmérési módszer. Az elkészített CAD-modell alapja a digitálisan felmért kőfaragványok voltak. A bordaprofil a keresztmetszete, a keresztmetszeti nézetben felvett bordaprofilok átlaga alapján készült, hiszen a kőfaragómunka sajátosságai miatt a bordaprofil sehol sem tekinthető azonosnak. A CAD-modell az építéskor használt szerkesztési elveket követte, csak az alaprajzi szabálytalanságot vette figyelembe. A kápolnatér alaprajza közel szabályosnak tekinthető, de kisebb szögeltérések mérhetőek. A



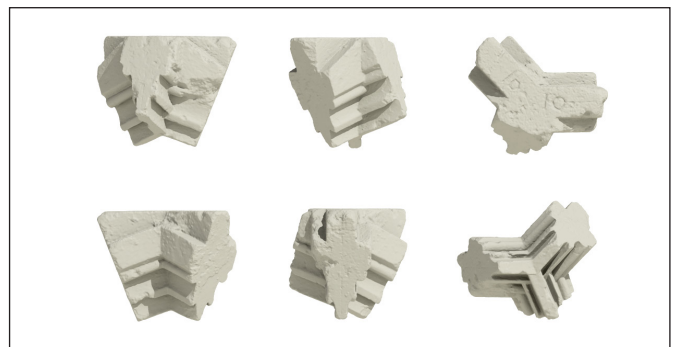
19. kép Boltozatmodell, mestervizsga a 17. századból. Bambergi Történeli Múzeum (MAISSEN 2019 nyomán)



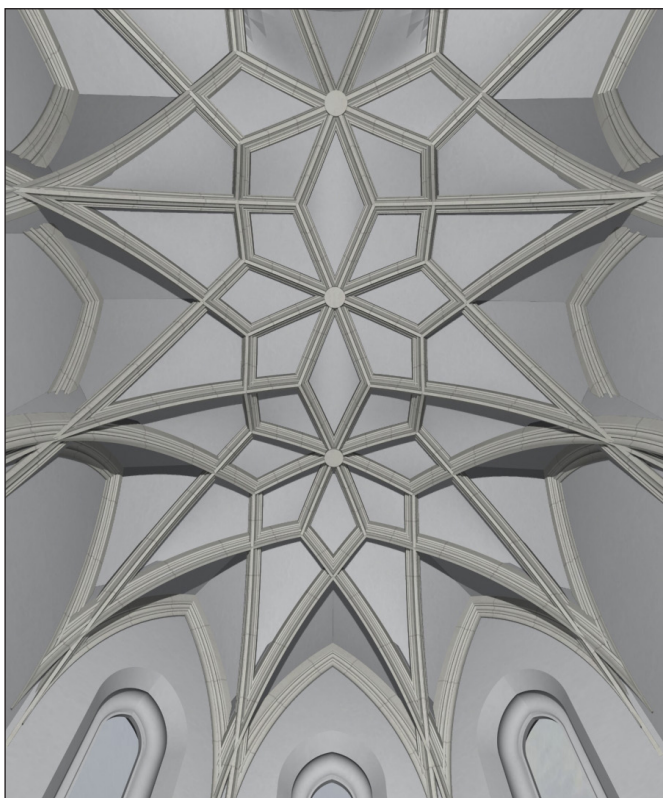
20. kép Bordacsomópont a visegrádi ferences kolostor kápolnájából. Digitális felmérés, SziMe3D AR projekt.



21. kép Bordacsomópont a visegrádi ferences kolostor kápolnájából. Digitális felmérés, SziMe3D AR projekt.



22. kép Bordacsomópont a visegrádi ferences kolostor kápolnájából. Digitális felmérés, SziMe3D AR projekt.



23. kép A ferences kolostor káptalani kápolnájának elméleti rekonstrukciója (Szőke Balázs)



24. kép A ferences kolostor káptalani kápolnájának elméleti rekonstrukciója a digitálisan felmért kőelemek elhelyezésével. A felmért kőelemek vörössel kiemelve. Digitális rekonstrukció, SziMe3D AR projekt.

Buzás Gergely et al. • Digitális rekonstrukciók és felmérések a visegrádi ferences kolostorban.

strukturált fényű vetítésen alapuló technológiával felmért kőfaragványok a CAD-modellbe úgy kerültek be, hogy a meglévő faragványok helye ki lett csonkolva. A teljes mértékben szabályszerűen szerkesztett CAD-modell és a kőfaragványok valós adatai jó közelítéssel megegyeznek, csak a kőfaragó munka szabálytalanságaiban mutatható ki minimális eltérés. A modellezési munka eredménye az egykori tér valós látványának bemutatása, valamint annak demonstrálása, hogy az *anastylosis* a középkori boltozott szerkezetek bemutatásánál is megfelelő módszer (24. kép). Jó példája ennek a nagyszekeresi templom szentélyében azonos típusú hálóboltozat bordarácsának részleges visszaállítása, amelynek terveit Székér György készítette ([http://templomut.hu/files/27/szinopszis\\_hu.pdf](http://templomut.hu/files/27/szinopszis_hu.pdf)). A digitalizált kőfaragványok 3D-modellben történő elhelyezése a széles közönség számára biztosíthatja az egykori szerkezet átláthatóságát, megértését, valamint bizonyítja a rajzi elméleti rekonstrukció helytállóságát.

A bemutatott példák mutatják, hogy a visegrádi ferences kolostor feltárt maradványai és azok felmérései egyfajta mintakönyvként is használhatóak az elmúlt harminc év digitális felméréseinek és 3D rekonstrukcióinak számbavételénél, a számítógépes technológiák hazai elterjedési történetének megírásánál.

#### HIVATKOZOTT IRODALOM

Buzás G. (1990). A visegrádi királyi palota. *Valóság* 33/1, 91-101.

Buzás G. (1995). Számítógép és építészettörténet, Cluny III. rekonstrukciója. *Építés és Felújítás* 2/1, (január-február), 64-65.

Buzás G. (2018). *A királyok Visegrádja*. Visegrád: Mátyás Király Múzeum

Buzás G., Laszlovszky J., Papp Sz., Székér Gy. & Szőke M. (1994). A visegrádi ferences kolostor. In Haris A. (szerk.) *Koldulórendi építészet a középkori Magyarországon. Tanulmányok* (pp. 281-304). Művészettörténet – Műemlékvédelem 7. Budapest: Országos Műemlékvédelmi Hivatal

Buzás, G., Laszlovszky, J., Papp, Sz., Székér G. & Szőke M. (1995). The Franciscan Friary of Visegrád. In Laszlovszky, J. (ed.) *Medieval Visegrád: Royal Castle, Palace, Town and Franciscan Friary*, (pp. 26-33). *Dissertationes Pannonicae ex Instituto Archaeologico Universitatis de Rolando Eötvös Nominatae Budapestiensis provenientes Series III. Volumen 4*. Budapest: ELTE Régészettudományi Intézet

Buzás G. & Orosz K. (2010). *A visegrádi királyi palota*. Budapest: MNM Mátyás Király Múzeum

Buzás G. & Szőke M. (1992). A visegrádi vár és királyi palota a 14-15. században. In Cabello, J. (ed.), *Várak a későközépkorban / Die Burgen im Spätmittelalter*. Castrum Bene 2. (pp.132-156). Budapest: Castrum Bene Egyesület

Canciani, M., Falcolini, C., Buonfiglio, M., Pergola, S., Saccone, M., Mammì, B. & Romito, G. (2013). A Method for Virtual Anastylosis: the Case of the Arch of Titus at the Circus Maximus in Rome. In Grussenmeyer, P. (ed.) *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume II-5/W1 (pp. 61-66). XXIV International CIPA Symposium, 2 – 6 September 2013, Strasbourg, France <https://doi.org/10.5194/isprsannals-ii-5-w1-61-2013>

Fehér A. (2024a). A visegrádi műemlékegyüttes 3D felmérése és dokumentálása. *Archaeologia - Altum Castrum Online* A Magyar Nemzeti Múzeum visegrádi Mátyás Király Múzeumának középkori régészeti online magazinja <https://archeologia.hu/content/archeologia/943/feher-visegrad-3d-felmeres-2-1-.pdf>

Buzás Gergely et al. • Digitális rekonstrukciók és felmérések a visegrádi ferences kolostorban.

Fehér A. (2024b). 3d szkennerek, technológiák alkalmazása az épületrégészetben és a műemlékvédelemben. *Magyar Régészet* 13/1, 1–8. <https://doi.org/10.36245/mr.2024.1.1>

Fehér K. & Halmos B. (2015). A középkori építészet szerkesztési módszerei a hazai szakirodalom tükrében. *Építés-Építészettudomány* 43/3-4, 237-284. <https://doi.org/10.1556/096.2015.43.3-4.7>

Holl B. & Laszlovszky J. (1995) A visegrádi kolostor középkori kerengőjének számítógépes rekonstrukciója (Módszertani és gyakorlati tapasztalatok). *Építés és Felújítás* 2/2, 60-61.

Jobbik, K. & Krähling, J. (2023) Real Net Vault or Pseudo-Ribbed Net Vault? Geometry, Construction and Building Technique of the Vault of the Reformed Church of Nyírbátor and the Nave Vault of the Franciscan Church of Szeged-Alsóváros. *Építés-Építészettudomány* 51/3-4 229-256.

Maissen, M. (2019). Von Haspelsternen und Prinzipalbögen: Spätgotischer Gewölbebau österreichischer Baumeister im Bistum Chur. *IN SITU* 11/1, 67-82. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000333534>

MEDIEVAL ROYAL PALACE (2013). Buzás, G. & Laszlovszky, J. (eds) *The Medieval Royal Palace at Visegrád*. Medieval Visegrád: Archeology, Art History and History of a Medieval Royal Centre. Vol. 1. Budapest: Archaeolingua

Patay-Horváth, A. (2011). *The Virtual 3D Reconstruction of the East Pediment of the Temple of Zeus at Olympia – Presentation of an Interactive CD-ROM*. Geoinformatics FCE CTU. <https://doi.org/10.14311/gi.6.30>

*Reneszánsz látványtár – Virtuális utazás a múltba*. (2009). Buzás G., Orosz K. & Vasáros Zs. (szerk.). Budapest: Magyar Nemzeti Múzeum

Renfrew, C. (1997). *Virtual Archaeology: Great Discoveries Brought to Life Through Virtual Reality*. London: Thames and Hudson

*SziMe3D AR eredménytermékek. Eszközök meghatározása, kiválasztása fehér fényű szkennerekre*. Digitális kézirat