



**SZÉCHENYI
EGYETEM**
UNIVERSITY OF GYŐR
ÉPÍTÉS-, ÉPÍTŐ- ÉS
KÖZLEKEDÉSMÉRNÖKI KAR

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

**MŰEMLÉKI ÉPÜLETEK BIM ALAPÚ FELDOLGOZÁSA -
A VESZPRÉMI MEGYEI KÖNYVTÁR PÉLDÁJÁN KERESZTÜL
BIM-BASED PROCESSING OF HISTORICAL BUILDINGS -
THROUGH IN CASE STUDY OF VESZPRÉM COUNTY LIBRARY**

Készítette:
Szűrös Zsolt
(D6RS6S)
építész szakos hallgató

Konzulens:
Ajtayné Dr. Károlyfi Kitti
egyetemi adjunktus
Szalai Dóra
tudományos
segédmunkatárs
Ördög Rita Rebeka
okl. építészmérnök

Győr
2023

Tartalomjegyzék

Bevezetés	4
1 Épületbemutató	5
1.1 A kutatás előzménye és célja	5
1.2 Az épület elhelyezkedése	6
1.3 Történeti érték	7
2 Épületfelmérés	9
2.1 Épületfelmérési lehetőségek	9
2.1.1 Lézerszkennelés	9
2.1.2 Fotogrammetria	10
2.1.3 Drón	11
2.1.4 LiDAR	11
2.1.5 Egyéb korszerű felmérési módszerek	12
2.2 Megyei Könyvtár felmérése	12
2.3 Homlokzat felmérése	13
2.3.1 Lézerszkenneléses felmérés	13
2.3.2 Fotogrammetria	15
2.4 Belső terek felmérése	16
2.4.1 LiDAR	16
2.4.2 OrthoGraph	18
2.4.3 Hagyományos manuálé	19
3 Feldolgozás	23
3.1 Alkalmazott eljárások ismertetése	23
3.2 Megyei Könyvtár felmérésének feldolgozása	23
3.2.1 Pontfelhő készítése felmérésből	24
3.2.2 Pontfelhő analízis	26
3.3 További vizsgált feldolgozási lehetőségek	27
4 Heritage Building Information Modelling	32
4.1 Fogalommeghatározás	32
4.2 Parametrikus pontfelhő feldolgozás	34
4.3 HBIM készítés	37
4.3.1 Részletességi irányelvek	37
4.3.2 Modellkészítés folyamata	39
5 Gyakorlati alkalmazás	43
5.1 Hibakataszter készítés lehetőségei	43
5.2 Mesterséges Intelligencia használatának lehetőségei	47
6 Konklúzió	50

7 Jövőbeli kutatási lehetőségek	52
Jegyzékek	53
Ábrajegyzék	53
Táblázatjegyzék	54
Felhasznált irodalom	55
Mellékletek	58

BEVEZETÉS

Műemléki épületeink megőrzése és restaurálása egyre kiemelkedőbb szereppel bír kulturális örökségeink megőrzése és fenntartása szempontjából. A hagyományos metódusokon alapuló felmérési, tervezési és üzemeltetési, fenntartási eljárások sok esetben azonban rendkívül időigényesek, valamint pontatlanok a műemléki épületek komplexitásából adódóan. Ebben a kontextusban a BIM (Building Information Modeling) megjelenésével forradalmasította a hagyományos tervfeldolgozási eljárásokat, számos új technológia és innovatív módszer jelent meg, mely megreformálta a műemléki épületek feldolgozási lehetőségeit is. Fontosnak tartjuk ezeknek a lehetőségeknek a megismerését és gyakorlatba ültetését, hiszen még nem minden eljárás kiforrott és fejlesztésükben nagy potenciál rejlik.

A hagyományos felmérési eljárások sok esetben roppant időigényesek és nem tudják garantálni a megfelelő/elvárt pontosságot a rendkívül tagolt és komplex műemléki épületek esetében. A felmérés pontosságából, időhatékonyságából, részletezettségéből, valamint gazdaságosságából származó kihívások egyaránt felmerülhetnek.

Kutatásunk célja az, hogy egy esettanulmány keretein belül megvizsgáljuk a műemléki jellegű épületek BIM (Building Information Modeling) alapokon történő feldolgozását, valamint annak automatizálásának lehetőségeit számos innovatív technológia bevonásával. A kutatás során a különböző felmérési technológiák (lézerszkennelés, fotogrammetria) alkalmazhatóságát, a felmérés pontosságát, a pontfelhő alapú, részletes 3D-modellezés módszertanát vizsgálom. A tesztelt felmérési és feldolgozási eljárások összehasonlítása során az adatintegritás, a technológiai innovációk, valamint a költség- és időmegtakarítás aspektusait vizsgáljuk, hogy javaslatokat tegyünk a műemléki épületek felmérésének és megőrzésének hatékonyabbá tételére, valamint a restaurációs folyamatok megtervezésére.

1 ÉPÜLETBEMUTATÁS

1.1 A kutatás előzménye és célja

2006-os megalakulása óta az UNeECC, az Európa Kulturális Fővárosainak Egyetemi Hálózata neves tudósokat, kezdő akademikusokat és PhD-hallgatókat gyűjt össze éves konferenciáján. Itt lehetőségük van kutatóknak, oktatóknak kutatási eredményeik megosztására az ECoC (Európai Kulturális Főváros) és az európai kultúrák terén, valamint párbeszédet folytathatnak az ECoC szervezőivel, például a helyi hatóságokkal és művészekkel.

A konferenciát hagyományosan az adott év Európai Kulturális Fővárosában, így idén Veszprémben rendezték meg a helyi UNeECC egyetemi tag szervezésében, a Pannon Egyetemen (1. ábra).



1. ábra
UNeECC Annual Conference 2023 – Veszprém - logo¹

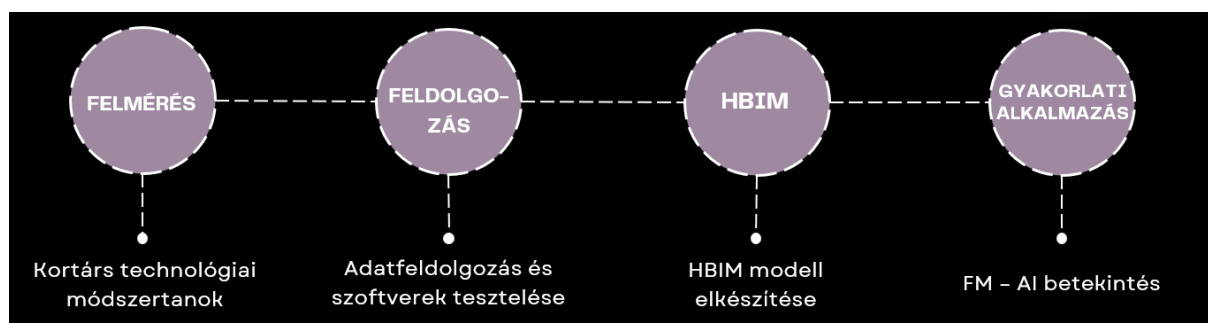
Kutatásunkat eredendően a konferencián való bemutatásra készítettük, amelyen belül egy Veszprém belvárosában található műemléki jellegű, -és kulturális épületet vizsgáltunk. A kutatás előzménye képpen felvettük a kapcsolatot Veszprém városának Főépítészevel, Sulyok Balázs Edével, illetve Veszprém Fejlesztési igazgatójával, Schmidt Istvánnal. Javasataik alapján a Veszprémi Eötvös Károly Megyei Könyvtár épületét választottuk ki az esettanulmány elkészítéséhez.

Az esettanulmány és a kutatás szempontrendszerül szolgált egy olyan műemléki épület kiválasztása lehetőleg Veszprém belvárosában, amelynek kora, állapota és geometriai tagoltsága lehetővé tesz számos technológiai, valamint építészeti eszköz bevonását, amelyen keresztül a 3D épületfelmérés, a pontfelhő alapú BIM (Building Information Modeling) modellezés (azaz a Scan-to-BIM módszertan), illetve a Heritage Building Information

¹Forrás: <https://uneecc2023.uni-pannon.hu/>
Letöltés dátuma: 2023.10.25.

Modelling (HBIM) hatékonyságát, felhasználási lehetőségeit (lásd 4. fejezet) tudjuk vizsgálni és reprezentálni.

A kutatás módszertana alapvetően a kutatás tárgyát képező kiválasztott épület bemutatásától egészen a jövőbeni kutatási lehetőségek vizsgálatáig terjed (2. ábra). Először szeretnénk ismertetni és megindokolni az esettanulmányhoz választott épületet, majd részletesen bemutatásra kerül, hogy hogyan mértük fel az épületet különböző felmérési eljárásokkal. A felmérést követően részletesen bemutatásra kerülnek a feldolgozáshoz alkalmazott módszerek és szoftverek, valamint kitérünk ezek gyakorlati kihívásaira is. A felmérési adatok feldolgozását követően a HBIM modellezési folyamatokat ismertetjük, bemutatjuk annak részletezettségét, egyedi eszközszerét, valamint azt, hogy hogyan tudják támogatni a felmérési adatok a tervezési feladatokat. A továbbiakban kitérünk a szoftverek által nyújtott gyakorlati alkalmazhatóságok előnyeire, amelyben egy konkrét szoftveren keresztül kerül bemutatásra, hogy hogyan képes a program támogatni egy műemléki épület hibafeltárásait BIM alapokon. Végül, de nem utolsó sorban betekintést biztosítunk a mesterséges intelligencia részleges felhasználási lehetőségeibe, valamint áttekintjük az HBIM további kutatási lehetőségeit, amellyel még praktikusabbá lehet tenni a műemléki épületek feldolgozását BIM alapokon.



2. ábra
Munkafolyamat²

1.2 Az épület elhelyezkedése

A választott épület az Eötvös Károly Megyei Könyvtár, amely Veszprém Vármegyeszékhelyen található, Magyarország Dunántúli részén a Balaton északi részétől mintegy 18 km-re. A könyvtár egy kulturális közintézmény, szabadon látogatható, amely Veszprém történeti, -és kulturális belvárosában található egy rendkívül forgalmas területen a Pannon Egyetem oktatási épületeitől pár percre (3. ábra).

² Forrás: Saját ábra



3. ábra
*Veszprém Eötvös Károly Megyei Könyvtár*³

Rendkívül jó elhelyezkedését az is igazolja, hogy nem csak az Egyetem oktatási épületei veszik körül, hanem számos más kiemelkedő intézmény is megtalálható a közvetlen közelségében, mint például a Laczkó Dezső Múzeum, a Veszprémi Petőfi Színház, valamint a Városháza. Az Egyetem és a kulturális belváros közelségéből adódóan remekül el tudja látni funkcióját az épület.

1.3 Történeti érték

A könyvtár története egészen a XX. század elejére nyúlik vissza. 1902-ben Schmahl Henrik tervei alapján épült meg eklektikus stílusban, neogótikus jegyekkel, eredendően a Püspöki Jóságkormányzóság számára. Az épület környezetében kialakított zöld övezet szintén Püspökkertként funkcionált, melyet egy támfal választ el az épület bejárati szintjétől. A rendkívül gazdagon díszített homlokzatot számos izgalmas ornamentika és figurális díszítés is kiegészíti, melyek sokszor a város nagy becsben tartott embereit mintázzák. Az 1945 utáni államosításoknak következtében az épület sorsa és funkciója rendkívül gyorsan változott, amely gyakran állagromlással járt. Használták az épületet ifjúsági házként, lelkészi hivataalként, tervezőirodaként, szállásként, de még élelmiszerüzletként is, végül 1968-tól véglegesen beköltözhetett a mai funkcióját is ellátó Eötvös Károly Megyei Könyvtár. A könyvtár épülete az 1980-as évekre rendkívül leromlott, így szükségessé vált a felújítása, amiről tervek is készültek, azonban a felújítással sajnos egészen 1998-ig kellett várni. A műemléki könyvtár épületrészét kiegészítették egy új szárnyal, melyekbe földfelszín alatti tárolótermek,

³ Forrás: <https://www.kitervezte.hu/epuletek/kultura/eotvos-karoly-megyei-konyvtar-veszprem>
Letöltés dátuma: 2023.10.25.

gyermekkönyvtár, olvasószobák és különböző közösségi terek kerültek kialakításra. Helyet kapott itt például egy földbe süllyesztett kültéri Theatrum is, amely számos színdarabnak biztosít helyet. Az eredetileg 1800 m² alapterületű eklektikus épület 4700 m²-re bővült és egy modern épületrésszel egészült ki (4. ábra).



4. ábra
Az 1998-ban épült új épületszár⁴

A századfordulós épület elvesztette eredeti funkcióját, a könyvtár átköltözött az új épületegységbe, a régi épületet pedig a könyvtár irodarészének rendezték be kiegészítve konferenciateremmel, képtárral, valamint zenemű-, -és médiatárral. Napjainkban közművelődési intézményként és könyvtárként funkcionál.

⁴ Forrás:
https://multidezoepiteszet.blog.hu/2018/07/02/a_vezspremi_eotvos_karoly_megyei_konyvtar_gyonyoru_epulete
Letöltés dátuma: 2023.10.25.

2 ÉPÜLETFELMÉRÉS

2.1 Épületfelmérési lehetőségek

Az egyre jobban fejlődő technológia és a javuló feltételek lehetővé teszik, hogy napjainkban már gyorsabban és könnyebben mérjük fel a korábban épült épületeinket.

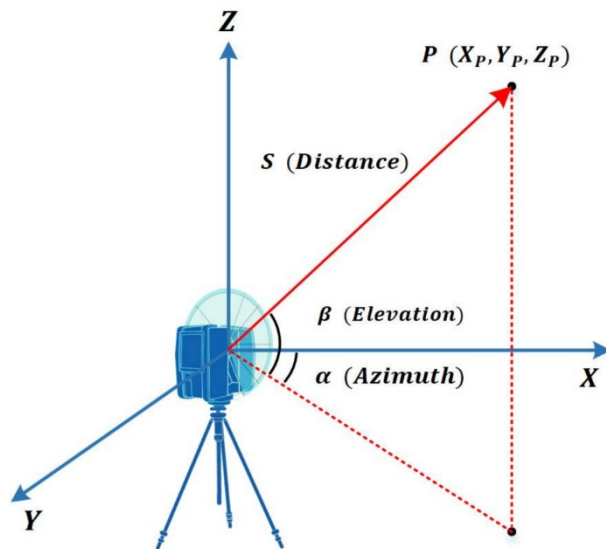
A kezdeti manuális módszerektől ma már eljutottunk addig, hogy különböző digitális eszközöket és módszereket vonunk be a felmérési folyamatba. Ezek a technikák nemcsak a felmérési időt gyorsítják, hanem sok esetben megbízhatóbbak és pontosabbak is. Jó alkalmazhatóságukat egyszerű kezelhetőségük is bizonyítja, ráadásul számos esetben mobiltelefonnal vagy tablettel is elvégezhető a felmérés. Az alábbiakban röviden áttekintést adunk az általunk alkalmazott módszerekről.

2.1.1 Lézerszkennner

A lézerszkennneres felmérés előnye, hogy az épület bonyolult díszítéseit és párkányzatát is megfelelő pontossággal (akár 3-4 mm-es szórással) tudjuk felmérni. A lézerszkennereknek több típusuk van, melyeknek eltérő tulajdonságaik lehetnek, melyek hatással vannak a felmérés eredményére is, ugyanakkor technológiája folyamatosan fejlődik.⁵

A lézerszkennerek működése a lézeres távolságérzékelésen alapul (5. ábra). A műszer lézersugarakat bocsát ki az előre beállított szkennelni kívánt területre. A sugarak a tárgyról, a fogadófelületről visszaverődnek. A visszaverődött lézersugarakat a szkennner (vevő) érzékeli és a visszaérkezés idejéből ki tudja számítani a szkennner és a tárgy közti távolságot. A lézerszkennerek képesek a beérkezési szöget is érzékelni, így azonosítható XYZ rendszerben mindegyik pontfelhőt alkotó pont és így kaphatunk a felmért tárgyakról alakhű képet és magas pontosságú pontfelhőt (5. ábra).

⁵ Az alábbi hivatkozásokon olvasható bővebben a lézerszkennerek működése:
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/48/1/160/meta>
<https://www.isprs.org/proceedings/XXXIV/5-W10/papers/monti.pdf>
<https://www.mdpi.com/1424-8220/22/1/265>



5. ábra
A lézerszkennerek működése⁶

2.1.2 Fotogrammetria

A fotogrammetria módszere könnyen alkalmazható és bárki számára elérhető, hiszen nem igényli drága eszközök használatát, csupán egy fényképezőgép vagy mobiltelefon is elegendő, melyekkel jó minőségű fényképek készíthetők. A technológia tehát jól használható, azonban szemben a lézerszkennerekkel a pontossága kisebb (a pontfelhő szórása cm-es nagyságrendű).

A fotogrammetria esetén nem a felméréndő tárgy az adathordozó, hanem a róla készített fénykép. A fényképek közös programba való feltöltése után különböző algoritmusok (általában az ún. SfM azaz Structure from Motion algoritmus) megkeresik a képeken az azonos pixel-párokat és egységes, összeillesztett pontfelhőt készítenek belőlük. A fényképezés során érdemes elkerülni a tükröződő és megcsillanó felületeket, mivel ezek rontják a végeredmény minőségét és pontosságát. A bonyolult geometriákról célszerű több fényképet készíteni.⁷

⁶ Forrás: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/1/265>

Letöltés dátuma: 2023.11.06.

⁷ A fotogrammetria alkalmazása és bővebb leírása az alábbi hivatkozáson keresztül elérhető:

<https://lechnerkozpont.hu/oldal/fotogrammetria>

https://www.nive.hu/Downloads/Szakkepzesi_dokumentumok/Bemeneti_kompetenciak_meresi_ertekelesi_eszk_ozrendszerenek_kialakitasa/20_2241_011_100915.pdf

2.1.3 Drón

A drónok alkalmazása már bevett gyakorlat a fotogrammetriai felmérés során. Továbbá, a technológia fejlődésével ma már lézerszkennerral felszerelt drónok alkalmazására is van lehetőség, ugyanakkor az eszköz magas ára miatt még nem elterjedt megoldás az épületfelmérésben. Épületek esetében a tetőformák felmérése miatt gyakran alkalmaznak drónokat a fotogrammetriai felmérés során. Magas szakértelmet igényel ez a technológia, hiszen a drón vezetésének képességén kívül érteni kell a megfelelő fényképezési pontok (azaz útvonal) kiválasztásához is. Fontos, hogy minden részletről készüljön elegendő mennyiségű fénykép, melyek átfedésben vannak egymással és a teljes tetőfelületet feltérképezik. A repülést megelőzően a jogosítvány meglétéén kívül engedélyt kell kérni a drón használatára és a légtérrel is le kell foglalni az útvonalterv megadásával. Az engedély megszerzése a fizetési kötelezettségen kívül időigényes is, ugyanis akár egy hónapba is telhet a légtérhasználati engedély kiadása. Ezen okok miatt érdemes időben átgondolni a felmérés ezen részét és csak nagyon indokolt esetben számításba venni a drón használatát.

2.1.4 LiDAR

A LiDAR (Light Detection and Ranging) korszerű technológiájának használatát a kamerák fejlődése tette lehetővé. Az épületről, méretéről, formájáról minden információ elérhetővé válik a LiDAR szkennelés alkalmazásával. A technológia működése a fényérzékelésen alapul, aminek köszönhetően a korszerű mobiltelefonokban olyan érzékelőket helyeztek el a kamerákon kívül melyek képesek érzékelni a tereket és a környezetet, ezzel háromdimenziós világot hozva létre virtuálisan is.⁸

A technológia közel azonos a lézerszkennerek működési elvével, azonban míg a lézerszkennerekben mozgó alkatrészek dolgoznak, addig a mobilok és táblagépek kameráiban mindez nem lehetséges. Az eszközökbe beépített LiDAR szkennerek adatait, valamint a kamerák és a mozgásérzékelők adatait közösen javítja tovább egy számítógépes algoritmus a szkennelni kívánt objektum részletesebb feltérképezése érdekében. A technológia hátulütője a maximum 5 méterig terjedő távérzékelés.⁹

⁸ A LiDAR széleskörű használatáról bővebb információk az alábbi linken tekinthetők meg: <https://frontiermetrology.com/lidar-scanning-for-use-in-architecture-engineering-construction-aec/>

⁹ A LiDAR széleskörű használatáról bővebb információk az alábbi linken tekinthetők meg: <https://ithon.hu/mit-is-tud-az-iphone-ok-lidar-szkennere/>

2.1.5 Egyéb korszerű felmérési módszerek

A fent felsorolt felmérési módszerek eredménye egy 3 dimenziós pontfelhő, amely közvetlenül felhasználható az épület modellezéséhez, azonban ezeken kívül ma már találkozhatunk olyan lehetőségekkel is, melyek bárki számára elérhetők.

A számítástechnika és a mobiltelefonok, illetve tabletek fejlődésével további olyan korszerű technikák is elérhetők, melyekkel már rögtön 3D modellt kaphatunk és ezeket a megfelelő fájlformátum használatával (leggyakrabban .ifc) egyszerűen importálhatjuk a modellező programba.¹⁰ (6. ábra)



6. ábra

PolyCam alkalmazással scannelt nappali, generált 3D modellelemekből¹¹

Ezek előnye, hogy mindenki könnyen használhatja őket, mivel nem kell drága eszközöket és szoftvereket megvásárolni hozzájuk, mellesleg könnyű kezelőfelületük miatt szakképesítést sem igényelnek.

A dolgozat keretében több olyan megoldás kerül bemutatásra, amelyek képesek előre mozdítani a felmérés folyamatának fejlődését.

2.2 Megyei Könyvtár felmérése

A fent bemutatott Veszprémi Megyei könyvtár épületének példáján keresztül kerültek megvizsgálásra a különböző korszerű felmérési folyamatok nyújtotta lehetőségek. Az épület nagy méretéből adódóan nem került felmérésre a teljes könyvtár, csupán a műemléki

¹⁰ Ilyen korszerű módszerekről bővebb információ az alábbi linken keresztül elérhető:

<https://www.orthograph.com/orthograph-blk360/>

<https://poly.cam/>

¹¹ Forrás: Saját ábra

homlokzatok és néhány hozzá kapcsolódó iroda, loggia, előadóterem és egy folyosó. Az egyes irodákban, és helyiségekben különböző módszerek kerültek alkalmazásra, melyeken keresztül megtapasztalhatók az alkalmazott programok és eljárások közötti különbségek, valamint előnyök-hátrányok.

A homlokzatok felmérése egyrészt lézerszkennel (lásd: 2.3.1. Lézerszkenneléses felmérés), másrészt a fotogrammetria (lásd: 2.3.2. Fotogrammetria) módszerével történt. A belső terekben is felmértünk egy emeleti irodát lézerszkennel használatával, majd PolyCam segítségével pontfelhőt készítettünk egy földszinti irodáról (lásd: 2.4.1. LiDAR), az OrthoGraph szoftvert (lásd: 2.4.2. OrthoGraph) használtuk egy emeleti folyosó felméréséhez, végül, de nem utolsósorban egy kisméretű emeleti irodát hagyományos, manuális módszerekkel (lásd: 2.4.3. Hagományos manuálé) rögzítettünk.

A felmérésre egy teljes napot szántunk, de hála a számos korszerű megoldásnak néhány óra elég volt rá.

2.3 Homlokzat felmérése

2.3.1 Lézerszkenneléses felmérés

Az épület homlokzati felmérése egy Leica HDS6200-as típusú lézerszkennel alkalmazásával (Lásd: 2.1.1. Lézerszkennel) történt. ¹²

A felmérés a szkennel felállításával és színtezésével történik. A megfelelő, viszonylag vízszintes helyszín kiválasztása és a lábak felállítása után ráhelyezésre került a szkennel. Nagyon fontos a tekerők finom állításával vízszintes helyzetbe hozni a lézerszkennelt a pontos mérési eredmény érdekében.

A szkennelés megkezdése előtt beállítható a minősége, mely öt lehetőség közül választható ki. A megfelelő minőség nagyrészt a távolságoktól függ. Ha messzire kell mérnie a szkennelnek, akkor érdemesebb a „Superhigh” vagy az „Ultrahigh” beállítást alkalmazni. A „Preview” beállítás főként előnézetre szolgál, azonban a felmérések során a leggyakrabban használt minőség a „High” és „Middle”. A kettő kiválasztása közül a távolságé a döntő szerep, amittől függ a pontsűrűség is. Mivel a Könyvtár esetében lehetőségünk nyílt az épülethez és a felmért helyiségekhez közel tartózkodni, így elegendő volt a „Middle” pontosság használata.

¹² A típust ismertető bővebb információ megtekinthető a következő linken keresztül:
https://www.oceanscan.net/gallery/PDFs/Leica%20HDS6200%20DAT_en.pdf

Előnye, hogy kevesebb időt vett igénybe a szkennelés és kisebb fájl méretet eredményezett, mint a „High”, azonban a feldolgozás szempontjából még így is jelentős mennyiségű pontot tartalmazott (1. Táblázat).

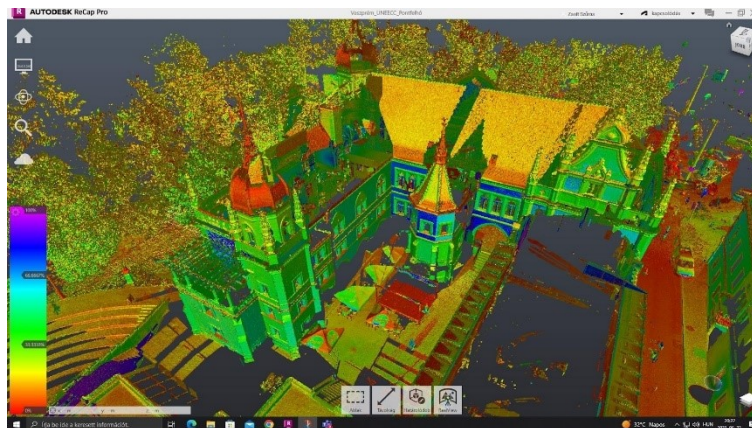
*1. Táblázat
Lézerszkennerral készített pontfelhő pontsűrűsége a mérési erősség és a mérési távolságok függvényében¹³*

	Ultrahigh	Superhigh	High	Middle	Preview
10 m	1,6 mm	3,1 mm	6,3 mm	12,6 mm	50,3 mm
25 m	3,9 mm	7,9 mm	15,7 mm	31,4 mm	125,7 mm
50 m	7,9 mm	15,7 mm	31,4 mm	62,8 mm	251,3 mm
80 m	12,6 mm	25,1 mm	50,3 mm	100,5 mm	402,1 mm
Scantime	13,2 min	6,6 min	3,3 min	1,6 min	24 sec
Filesize	4,5 GB	1,1 GB	289 MB	72 MB	4 MB

14 állásra volt szükség, hogy az összes homlokzat felmérésre kerüljön, ez 14 pontfelhőt eredményezett, melyeket később, a feldolgozási szakaszban kellett összesíteni és egy pontfelhőt készíteni belőlük az Autodesk ReCap szoftver használatával. A pontfelhők illesztését (regisztrációját) a felmérés során alkalmazott jelölőtárcsák (prizmák) segítették, melyeket úgy helyeztünk el, hogy minden állás esetében legalább 2 látható legyen. Erre azért volt szükség, mert 2 fix felmérési állás között minimum 2 de inkább 3 darab szintén fix jelölőtárcsa elhelyezése szükséges ahhoz, hogy a két állásnál kapott pontfelhőt össze lehessen kapcsolni a ReCap programban. Ehhez a szoftverben a fix jelölő tárcsákat kellett kiválasztani, mint közös pont, ami alapján el tudta helyezni a rész-felméréseket egymáshoz képest ugyanabban a koordináta-rendszerben. Ha kellő pontosságúak a közös pontok, akkor torzulás és kalibrációs probléma nélkül tudja egymáshoz kapcsolni a rész-felméréseket, aminek a végén megkaptuk az egységes pontfelhőt az egész épületről és közvetlen környezetéről.

A tetősíkok pontosabb felmérése érdekében drón (lásd: 2.1.3. Drón) alkalmazása vált volna szükségessé. Mivel a Könyvtár a belvárosban helyezkedik el, ezért mindenképpen szükséges lett volna a légtér lefoglalása, valamint a Bakonyban gyakorlatozó NATO miatt is fokozottan figyelik a légtérhasználatot. Szerencsére a helyszín lehetővé tette, hogy távolabbi állásokból is megtörténhessen a szkennelés, amellyel elegendő pont keletkezett az épület egészéről (7. ábra).

¹³ Forrás: Saját ábra



7. ábra
Lézerszenneres pontfelhő ábrázolás ReCAP szoftverben¹⁴

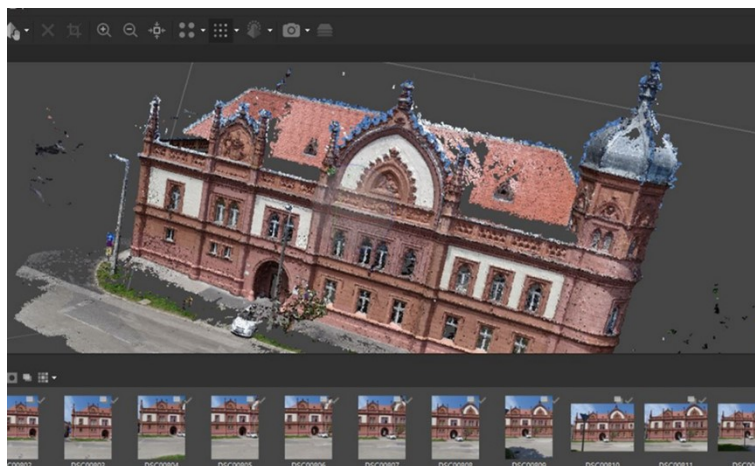
2.3.2 Fotogrammetria

A lézerszenneres felméréssel párhuzamosan a homlokzatokról készült egy fotogrammetriai felmérés (lásd: 2.1.2. Fotogrammetria) is a későbbi összehasonlíthatóság miatt, amelyhez szükséges volt nagy mennyiségű fénykép elkészítése a helyszínen. Az összesen 108 db kép egy Sony DSC-HX350 típusú digitális fényképezőgéppel készült. Ezeket a fényképeket később az Agisoft Metashape nevű programba importáltuk, majd a beépített illesztő algoritmus segítségével elkészült a ritka pontfelhő, melynek során a program megkeresi a képek közötti közös pontokat. Ezt követően a ritka pontfelhőt alapul véve az algoritmus képes a képek alapján a pontfelhő sűrítésére további közös pontok keresésével. Az algoritmus egyes lépéseinél van lehetőség egy négyfokozatú skálán kiválasztani a kívánt pontosságot, amely a futási időt is nagyban befolyásolja. A ritka pontfelhő készítéséhez ezért a harmadik, “high” fokozatot, míg a sűrített pontfelhő készítéséhez a második, “medium” fokozatot volt érdemes választani. Ennek eredményeként a fényképekből egy pontfelhő készült, amely így összehasonlíthatóvá vált a lézerszenner által készített pontfelhővel. A két pontfelhő a későbbiekben egymást kiegészítve állt a rendelkezésre.

A szoftverből .e57 formátumban lehetett exportálni a pontfelhőt. A fényképek készítéséhez 20 percre volt szükség, a feldolgozási folyamat 90 percet vett igénybe.

Fontos megjegyezni, hogy ezekhez a fotókhoz elegendő egy mobiltelefon is, így könnyen elérhető bárki számára ez a felmérési megoldás (8. ábra).

¹⁴ Forrás: Saját ábra



8. ábra

Fotogrammetria módszerrel készített pontfelhő Agisoft Metashape szoftverben¹⁵

A lézerszkenneres felméréssel való összehasonlítás eredménye az lett, hogy pontosabb, sűrűbb pontfelhőt eredményezett a lézerszkenneres felmérés, azonban a későbbiekben mégis hasznos részleteket hordozott a fotogrammetriás pontfelhő is, a két pontfelhő kiegészítette egymást. A felmérést fotogrammetriával bárki elkészítheti, hiszen elegendő a fényképek készítéséhez egy magas felbontással rendelkező mobiltelefon vagy digitális fényképezőgép, míg a lézerszkenneléshez drága felszerelésre van szükség.

Idő tekintetében sokkal hamarabb elkészül a helyszíni felmérés a fotogrammetriás módszerrel, ellenben a lézerszkennер lábait minden állásban színtezni kell és folyamatosan szét kell szerelni és a következő állásban újból felállítani. Ezzel ellentétben pontosság és részletezettség tekintetében a lézeres pontfelhő magasabb minőséget biztosít.

2.4 Belső terek felmérése

2.4.1 LiDAR

A belső terek felméréséhez a LiDAR (lásd: 2.1.4. LiDAR) technológiát alkalmaztuk. A LiDAR a tableten és mobiltelefonon található szenzorok és kamerák segítségével érzékeli a távolságot és a képet, melyből képes megalkotni a digitális teret, 3D modellt, mesh fájlt vagy pontfelhőt.

A felmérés során a LiDAR technológia használatára egy, a külső homlokzattal közvetlen kapcsolatban lévő 140,5 m²-es irodahelyiség került kiválasztásra. A használt szoftver egy iPad

¹⁵ Forrás: Saját ábra

applikáció, a PolyCam¹⁶ volt. A térben lassan körbesétálva, a kamerát irányítva kellett mindent felderíteni és a teljes iroda letérképezése után a program rögzítette és feldolgozta az adatokat. Ezt a fájlt később a feldolgozási és modellezési periódusban egy közös ArchiCAD fájlba lehetett importálni .xyz fájlformátum segítségével. Az importálás közben megadható a fájlformátumból adódóan a szín (RGB színek használata szükséges) és a koordináta-rendszer (XYZ irányokkal). Mindezek után a lehelyezés pozíciója is kiválasztható. ArchiCAD-be történő importálása rendkívül gyors az alacsony fájlméretnek köszönhetően. Az irodahelyiség felmérése két ütemben történt, ezért a modellező programban először össze kellett illeszteni a kapott két pontfelhőt, ami a metszeti és alaprajzi nézeteknek köszönhetően nem igényelt sok időt. A felmérés 15 percet, a pontfelhők összeillesztése 10 percet vett igénybe (9. ábra).



9. ábra
*LiDAR technológiával készített pontfelhő Polycam szoftver használatával
(Pontfelhő perspektíva fent; Alaprajz lent)¹⁷*

¹⁶ A PolyCam szoftverről bővebb információ megtekinthető a következő linken keresztül:
<https://poly.cam/>

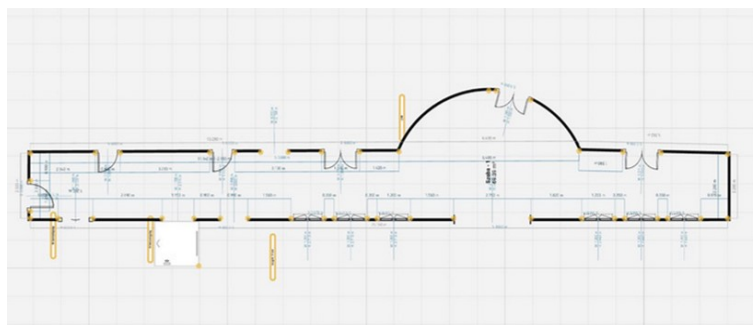
¹⁷ Forrás: Saját ábra

2.4.2 OrthoGraph

Az OrthoGraph (lásd: 2.1.5. Egyéb korszerű felmérési módszerek) szoftvert egy 59 m²-es folyosó felméréséhez használtuk. A program nem teljeskörű épületfelmérésre lett fejlesztve, hanem épületüzemeltetéshez szükséges részfelmérések elkészítéséhez és ezek további kezelésére. A dolgozatban felmérésre használtuk és éppen ezért ilyen tekintetben nem volt felhasználóbarát számunkra, néhány nehézségbe ütköztünk. Főként az íves falak pontos megrajzolása nem sikerült és néhány beállítás bonyolult volt csak elérhető, ami jelentősen meghosszabbította a felmérési időt.

A felmérési folyamat a következőképpen zajlott: az iPad-re letölthető applikáció lehetővé tette, hogy a felmérési helyszínen történjen a modell felvétele, melynek során méretpontosan rajzolhatók fel a falak, födémek és pontosan rögzíthetők az ajtók és ablakok helyei. Lézeres távmérővel és mérőszalaggal a helyszíni felmérést követően a fal az összes paraméterével és adottságával felrajzolható, a nyílászárók pedig pontosan beilleszthetők a valódi geometriájukkal és méreteikkel. A folyamat során ellenőrizhetjük 3D-s ablakban, hogy a valóságnak megfelel-e a felmért geometria. A helyszínen javítható a hibás felmérés, mely a későbbiekben már további korrekciót nem igényel, hiszen a szoftverben extra ellenőrző funkciók vannak beépítve, így a mérési hibákból származó anomáliákat ügyesen kiszűri és jelzi a felhasználónak. Például, ha két párhuzamos fal hossza nem egyezik, akkor jelzi és figyelmeztet, hogy hibát észlelt. Szemben a jól ismert felmérési módszerekkel itt nem fordul elő olyan, hogy valami kimarad a felmérés során és későbbi helyszíni szemlét igényel.

A kapott modell .ifc formátumban könnyen kimenthető, majd importálható ArchiCAD-be. Az importálás során csak a beágyazott könyvtár helye adható meg, egyéb beállítások nem lehetségesek. Az importált fájl átveszi az eredeti, OrthoGraph-ban rajzolt tulajdonságokat és a falak szintén fal elemként jelennek meg az ArchiCAD-es modellben (10. ábra).



10. ábra

Alaprajz készítése helyszínen 3D modellelemekkel iPaden, OrthoGraph szoftver használatával¹⁸

Ez a felmérési folyamat kb. 1 órát vett igénybe. A fent említett okokból kifolyólag a folyosóra szánt 1 óra soknak mondható a léptékéhez képest.

Pozitívumként azonban kiemelhető, hogy a program magyar fejlesztésű és sikerült elérnünk, valamint beszélnünk a tulajdonossal, aki rendkívül segítőkész volt, illetve ingyenes licenst biztosítottak számunkra a kutatás során. Az .ifc formátum ArchiCAD-be történő importálásánál is problémát jelzett a fájl, pontatlan objektumok jelentek meg, de a fejlesztők segítségével ezt is sikerült megoldani.

Minden, ami sikertelen volt mindössze abból adódott, hogy a szoftvert nem a rendeltetésének megfelelően használtuk (nem épületüzemeltetésre), hanem a felmérési folyamatot szerettük volna ennek segítségével megvalósítani.¹⁹

2.4.3 Hagyományos manuálé

Végül, de nem utolsósorban a hagyományos, manuális felmérési mód is alkalmazásra került egy egyszerű geometriájú, 46,4 m²-es tárgyaló esetében, mely a szokásos módon, mérőszalaggal és lézeres távmérővel, manuálé készítésével került felmérésre. A modellezési feladatokat ez a módszer nem könnyítette meg semmilyen módon sem, manuálisan kellett megszerkeszteni a modellező programban a falakat, ablakokat és ajtót.

A felmérés körülbelül 10 percet vett igénybe, azonban a modellezés, a nyílászárók manuális beállításai és a helyszínen készített számos fénykép folyamatos ellenőrzése miatt a feldolgozási idő növekedést mutatott a fentebb bemutatott módszerekhez képest (11. ábra).

¹⁸ Forrás: Saját ábra

¹⁹ Az OrthoGraph szoftverről bővebb információ megtekinthető a következő linken keresztül:
<https://www.orthograph.com/got-interested-about-orthograph/>

Költségvonzat: A költségvonzat alatt az felmérés során felmerülő költségeket kell érteni, melybe beletartozik a táblázatban a hardverek és a szoftverek költsége is. (2. Táblázat)

2. Táblázat
Felmérési eljárások összehasonlítása²¹

	Lézerszkenn er	Fotogram- metria	LiDAR	OrthoGraph ²²	Manuális
Egyszerűség	szakértelem szükséges	szakértelem szükséges	igen	igen	igen
Diákverzió	igen	30 nap próbaverzió	nincs	1 hónap próbaverzió	-
Felmérési idő	240 perc	10 perc	15 perc	60 perc	10 perc
Utómunka	240 perc	90 perc	nincs	nincs	60 perc
Terület	összes homlokzat	főhomlokzat	140,5 m ²	59 m ²	46,4 m ²
Korszerűség	igen	igen	igen	igen	nem
Pontosság	5 mm	cm-es	0,5-10 mm ²³	cm-es	cm-es
Szükséges hardverek	Lézerszkenn er	Mobiltelefon, fényképezőgé p	Mobiltelefon, tablet	Mobiltelefo n, tablet	Papír, ceruza, mérőeszközö k
Szükséges szoftverek	Autodesk ReCAP	Agisoft Metashape	Polycam (mobiltelefon os applikációk)	OrthoGraph	nincs
Költségvonz at	magas	közepes	alacsony	alacsony	minimális

Bár a táblázatból remekül kiolvashatók az egyes felmérési eljárásokhoz társított adatok, érdemes megemlíteni, hogy a fent felsorolt módszerek a felmért épületrészek arányában különböznek egymástól. A lézerszkennerek és a fotogrammetria esetében szükség volt a

²¹ Forrás: Saját ábra

²² Bővebb információ megtekinthető a következő linken keresztül:
<https://www.orthograph.com/hu/is-your-rental-space-measured-accurately/>

²³ Bővebb információ megtekinthető a következő linken keresztül:
<https://www.vectornav.com/applications/lidar-mapping>

szakértelemre a műszerek és a szoftverek kezeléséhez, míg a többi felmérési módszer esetében számottevő háttértudásra nem volt szükség. A felméréshez használt szoftverek többsége rendelkezett diák verzióval, illetve a PolyCam alkalmazás, amivel a LiDAR technológiát teszteltük, pedig méltányos összegért biztosított prémium felhasználási és exportálási lehetőségeket. Az egyes módszerekhez szükséges idő tekintetében fontos szempont a felmérési arányok figyelembe-vétele, amiből megállapítható volt, hogy az OrthoGraph felmérés igényelt arányaiban a legtöbb időt. Ez részben köszönhető a szoftver-előismeret hiányának, valamint a nem minden esetben egyértelmű felhasználói platformjának. Összességében elmondható, hogy az alkalmazott felmérési eljárások során kapott adatok mindegyikét felhasználtuk és külön előnyt jelentettek a már digitálisan értelmezhető felmérési adatok.

3 FELDOLGOZÁS

3.1 Alkalmazott eljárások ismertetése

Egy műemléki jellegű épületről készült dokumentációs/felmérési adatokat számos módszerrel és metodika alapján van lehetőségünk feldolgozni az elkészült adathalmaz típusától és méretétől függően. Ahhoz, hogy az épület minden részlete le legyen képezve digitális formátumba, a Scan-to-BIM²⁴ eljárást alkalmaztuk, amely magába foglalja a lézerszenneres és a fotogrammetria módszerrel készített pontfelhő alapú modellezési folyamatot. Ezzel a megközelítéssel hoztuk létre az épület digitális ikertestvérét (Digital Twin)²⁵, amellyel kifejezetten az épület speciális geometriai adottságait igyekeztünk megjeleníteni.

A feldolgozás során a korábbi fejezetekben már ismertetett felmérési eljárásokból (lásd: 2.3 Homlokzat felmérése) kapott adathalmazokat ültettük át digitális formátumban jól értelmezhető virtuális elemekké, amelyet már a tervezőprogramban is konkretizált elemekként tudunk tovább dolgozni. A munkafolyamat segítésére számos szoftver létezik, amelyeket szelektálnunk kellett projektspecifikusan a Megyei Könyvtár és a rendelkezésre álló adathalmaz típusához igazodva.

3.2 Megyei Könyvtár felmérésének feldolgozása

Az Eötvös Károly Megyei Könyvtár épületének legnagyobb kihívása a műemléki jellegéből adódó volt. A műemléki jellegű épületek sok esetben nem derékszöges raszterben épülnek, valamint falvastagságaik mérete is rendkívül változatos. tovább nehezíti a helyzetet az épület léptéke, valamint geometriai részletezettsége, díszítettsége (12. ábra).

²⁴ A Scan-to-BIM eljárásról bővebb információ megtekinthető a következő linken keresztül:
<https://www.mdpi.com/2412-3811/7/4/49>;
<https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/177607/1/BRUMATTI%20PINHO%20LETICIA%2010665567.pdf>

²⁵ A Digital Twin fogalomról bővebb információ megtekinthető a következő linken keresztül:
<https://vciba.springeropen.com/articles/10.1186/s42492-023-00137-4>



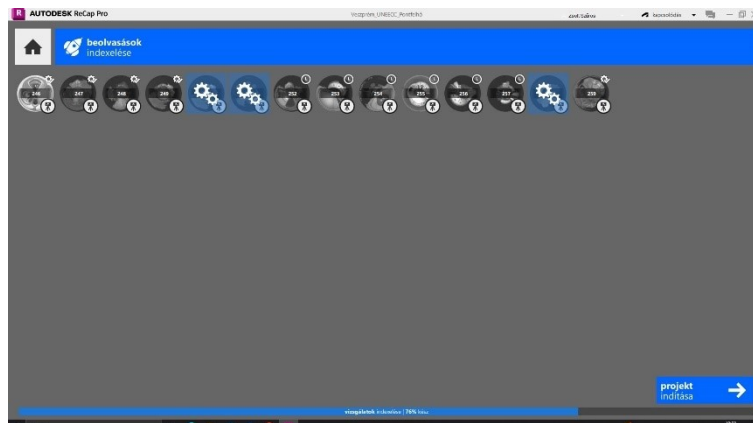
12. ábra
Homlokzat ornamentikájának részletezettsége²⁶

A felmérésnél használt legkézenfekvőbb és egyre gyakrabban alkalmazott lézeres pontfelhő remek kiindulási alapként szolgált a feldolgozási folyamatok megkezdéséhez, hiszen kellő részletességű leképezés készült az épületről. Első lépésben a végleges pontfelhő fájlt kellett használható méretűvé alakítani.

3.2.1 Pontfelhő készítése felmérésből

Miután a lézerszkennerral mind a 14 állásból elkészültek a felmérések, megkaptuk a nyers .zfs és .jpg fájlokat a könyvtárról. Ezek a fájlok önmagukban nem értelmezhető és használható adatokat hordoznak, további feldolgozás szükséges. A kapott fájlokat egy szoftver segítségével szükséges összelinkelni, hogy abból értelmezhető 3D pontfelhő születhessen. Ehhez az AutoDesk ReCap Pro szoftvert használtuk, amit kifejezetten földmérési, épület- és infrastruktúra-projektek tervezéséhez, kivitelezéséhez és felújításához szoktak alkalmazni a gyakorlatban. A ReCap szoftver jeleskedik a BIM-folyamatok támogatásában, valamint átlátható platformjának köszönhetően nem igényel előképzettséget a használata. Első lépésként importálni kellett az összes elkészült .zfs és .jpg fájlt. Egy darab .zfs fájl mérete körülbelül 180 MB tehát az importálási folyamat időigényes része a pontfelhő elkészítésének. Kimondottan fontos, hogy a .jpg fájlok is fel legyenek töltve, hiszen ezek a képek szolgálnak előképekül a mérési pontoknak, ami alapján össze lehetett őket kapcsolni egymással (13. ábra).

²⁶ Forrás: Saját ábra



13. ábra
Pontfelhő felmérési fájlok importálása ReCAP szoftverbe²⁷

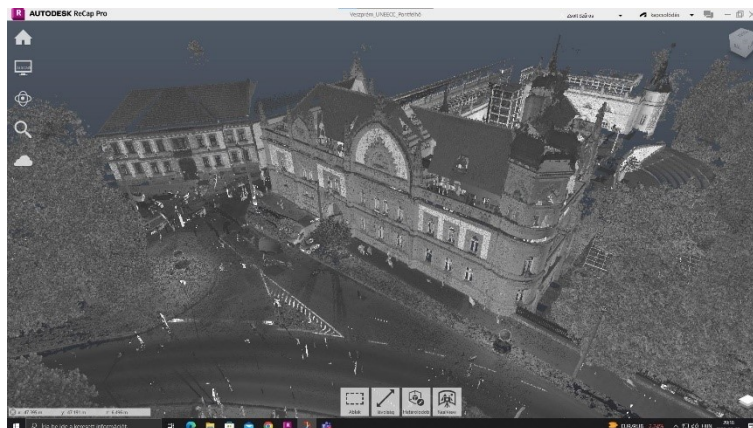
Az importálás után megkezdődhetett a felmérési pontok összekapcsolása. (lásd: 2.3.1 Lézerszkenneres felmérés)

A lézerszkennerral kapott pontfelhők segítségével rendkívül pontosan lekövethető a homlokzat ornamentikája. A 14 pontfelhőből alkotott teljes homlokzatot tartalmazó közös pontfelhő összesen 577.138.686 db pontot tartalmazott, fájlmérete meghaladta a 13 GB-ot. A további feldolgozás szempontjából problémákat okozott a kapott pontfelhő mérete. A túlméretes fájlt mind az ArchiCAD, mind a feldolgozásnál alkalmazott többi program nehezen, lassan vagy egyáltalán nem tudta kezelni, megnehezítve ezzel a további munkálatokat. A megoldás a pontfelhő méretének csökkentése, aminek keretein belül a pontok sűrűsége 2 mm helyett 20 mm-re lett állítva. Az így kinyert fájl már csak 6 GB nagyságú volt. A kapott pontfelhő még egy módosításon esett át, aminek eredménye egy 27.372.570 db pontból álló, 750 MB méretű pontfelhő fájl, ahol már csak az épületről készült pontfelhő lett megtartva, a környezete el lett távolítva. Ezzel már könnyedén lehetett a további feldolgozási folyamatokat elvégezni. Az épületről készített pontfelhő szintenként is kimentésre került.

A szoftverből .e57 formátumban volt célszerű exportálni a pontfelhőt az ArchiCAD-el való kompatibilitás miatt. A homlokzat felmérése a helyszínen töltött 4 órán kívül ezzel a módszerrel összesen további 4 órát vett igénybe (14. ábra).²⁸

²⁷ **Forrás:** Saját ábra

²⁸ **Forrás:** Oscar Gámez Bohórquez – William Derigent – Hind Bril El-Haouzi: Parametric point cloud slicing for facade retrofitting, International Journal of Architectural Computing, Jul 2021, Epinal, France, Université de Lorraine, HAL Open Science, 2021, 15 p.



14. ábra
Teljes pontfelhő ReCAP szoftverben²⁹

3.2.2 Pontfelhő analízis

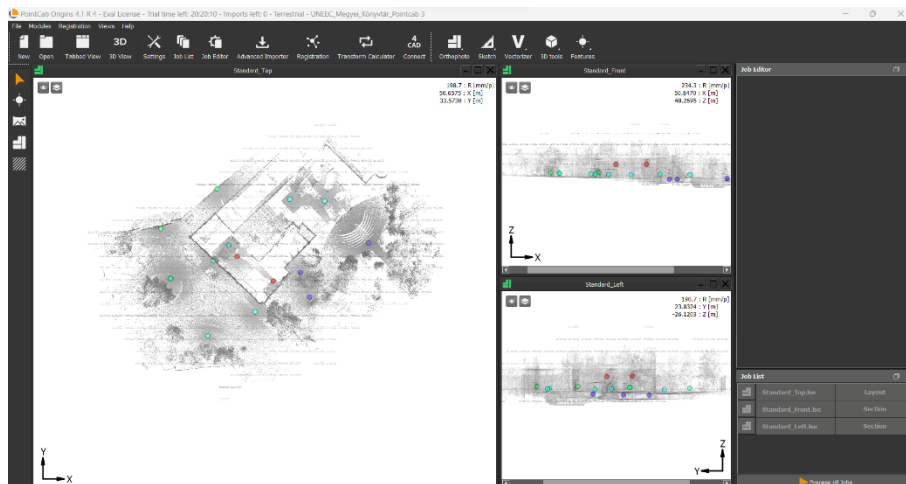
A Scan-to-BIM folyamat fontos része volt, amikor a kapott pontfelhőt tovább kellett dolgozni és digitálisan jól érzékelhetővé, azaz modellelemekké kellett alakítani. Számos szoftver létezik, köztük a ReCap is, amely képes a pontfelhőt mesh-é alakítani. A kapott mesh egy az épület geometriáit kirajzoló, pontokból és vonalakkól álló poligon háló a pontfelhő részletezettségétől függő pontossággal, azonban az építészeti modellező szoftverek szempontjából értelmezhetetlen. Ebből adódóan más megoldás és megközelítés vált szükségessé.³⁰

Az általunk alkalmazott szoftver a pontfelhő feldolgozásához a PointCab volt, ami az importálás után analizálta a fájlt, majd alaprajzokat és metszeteket generált. Az alaprajzokon és metszeteken képes volt felismerni a falak síkja mentén húzódó pontsűrűsödést és ezekre a helyekre automatikusan vonal elemeket generált, melyek kirajzolták az épület alaprajzi és metszeti kontúrját. A könyvtár épületéről csak részben készültek belső lézerszkenneres felmérések, viszont a külső oldaláról teljes a felmérési állomány, ezért a külső főfalak alaprajzi rendszere jól leképezhetővé vált vonalasan. A vonalaknak köszönhetően digitálisan értelmezhető és feldolgozható vektorizált elemek jöttek létre.

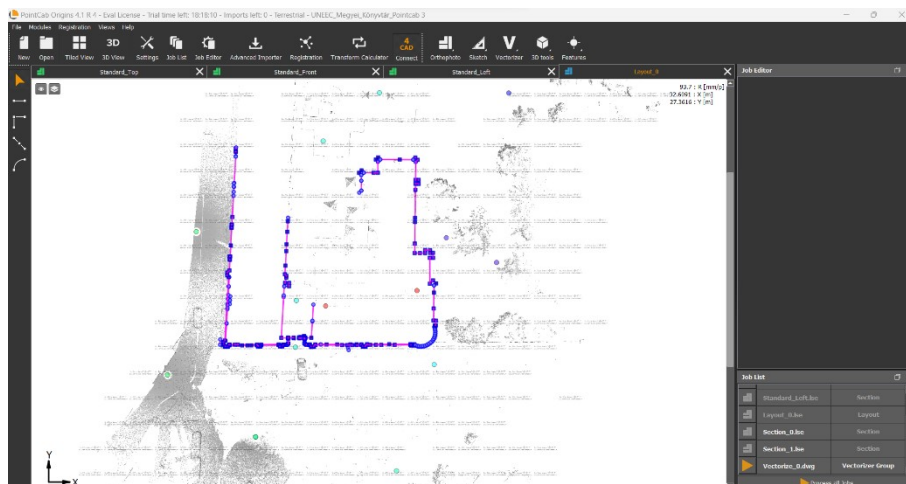
²⁹ Forrás: Saját ábra

³⁰ Forrás: Taehoon Kim - Soonmin Hong - David Stephen Panya - Hyeongmo Gu - Hyejin Park - Junghye Won - Seungyeon Choo: Development of technology for automatic extraction of architectural plan wall lines for concrete waste prediction using point cloud, International Conference for The Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, 9-15th April 2022, Sydney, Australia, Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA), Vol. 2, pp.597-606.

A feldolgozási folyamat automatizálásának jelentős állomása a vektorizált vonal elemek létrehozása, hiszen a továbbiakban ezek szolgálnak kiindulópontként az épület falainak létrehozásában (15-16. ábra).³¹



15. ábra
*PointCab szoftverbe importált pontfelhő 3 nézete*³²



16. ábra
*Pontfelhő alaprajzi nézetében generált vonalak falak mentén*³³

3.3 További vizsgált feldolgozási lehetőségek

Potfelhő fájlt sokféleképpen fel lehet dolgozni, számos módszerrel és szoftverrel. Az esettanulmányra vonatkozóan - miután elkészült az egységesített fájl - több olyan módszer

³¹Forrás: Bruno Daniotti – Marco Gianinetta – Stefano Della Torre: Digital Transformation of the Design, Construction and Management Processes of the Built Environment, Springer Open, Milan, Italy, ISBN 978-3-030-33569-4, 2019, 391 p

³²Forrás: Saját ábra

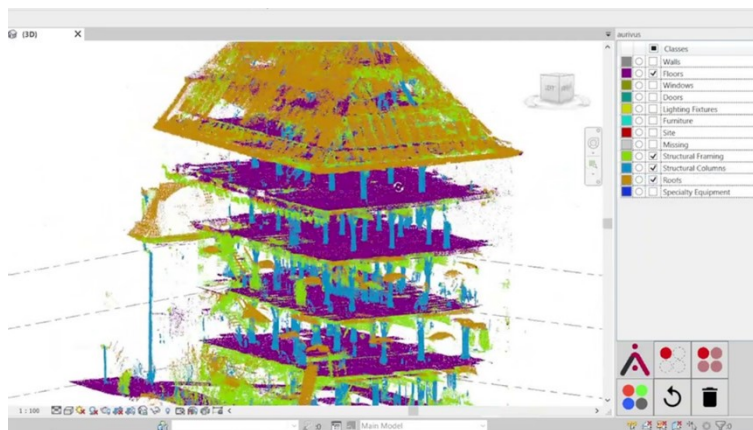
³³Forrás: Saját ábra

került kipróbálásra, amelynek esetében csak később derült ki, hogy nem lesz meghatározó kimenetele a kutatás szempontjából. Ezeket több probléma faktor eredményezte, volt amelyik módszernél már az elején kiütköztek a hátráltató tényezők és voltak olyanok, amiknek csak az elkészülte után.

Az elsők közt említeném meg a drónnal készített lézerszkenneres pontfelhő hiányát. Bár a tárgyi feltételek adottak voltak a drónos lézerszkenneres pontfelhő elkészítéséhez, azonban mivel az esettanulmányban vizsgált épület Veszprém egyik legforgalmasabb belvárosi környezetében helyezkedett el, mindenképp légtérhasználati engedélyt kellett volna kikérni, aminek átfutási ideje meghaladhatja az 1 hónapot is, illetve jelentősebb anyagi vonzata is lett volna az engedélynek. Tovább nehezítette a helyzetet, hogy Veszprém közelében Szentkirályszabadján repülőtér is található, ezért a könyvtár feletti légi forgalmat akadályozhatta volna a drón reptetése.

Továbbá, a feldolgozás kapcsán érdemes megemlíteni, hogy léteznek online is elérhető programok, ahova fel lehet tölteni az elkészített pontfelhőket az épületekről, majd az egy hosszabb elemzés után rendszerezi (azaz klasszifikálja) a pontfelhőt az épület elemeinek megfelelően, így elkülöníti például a falakat, födémeket, oszlopokat, amik ezután külön fóliákra kerülnek és fel – le lehet kapcsolni őket a felhasználási módnak megfelelően. Az esettanulmányban az Aurivus³⁴ szoftvert választottuk, mivel ebben a programban AI technológiával dolgoznak a hatékonyabb pontfeldolgozás eléréséhez. A pontfelhőt .e57 fájlként kellett feltölteni, majd a program körülbelül egy napig dolgozta azt fel, amibe bele tartozik a fájl automatikus megtisztítása is a számára zavaró elemektől. Tisztítás után csoportokra bontja a felismerhető, azonos térbeli elhelyezkedésű és eltérő típusú elemeket, amihez különböző klaszterezési technikákat használ. A továbbiakban a megtisztított és csoportokra bontott fájlt fel lehet használni vizualizációs, valamint modellezési eljárásokhoz is, megkönnyítve és gyorsítva a munkafolyamatokat. A szoftverrel való probléma az oktatási licenz hiánya, melyből adódóan a generált fájl a további feldolgozási folyamatokhoz nem letölthető és felhasználható díjmentes formában (17. ábra).

³⁴ Az Aurivus szoftverről bővebb információ megtekinthető a következő linken keresztül:
<https://aurivus.com/?fbclid=IwAR2ZxpH1nyLqzUkiXxz3SPvzhoRCN3HsXC2LIqmH8SGC6Owsxpsatwh0u7w>

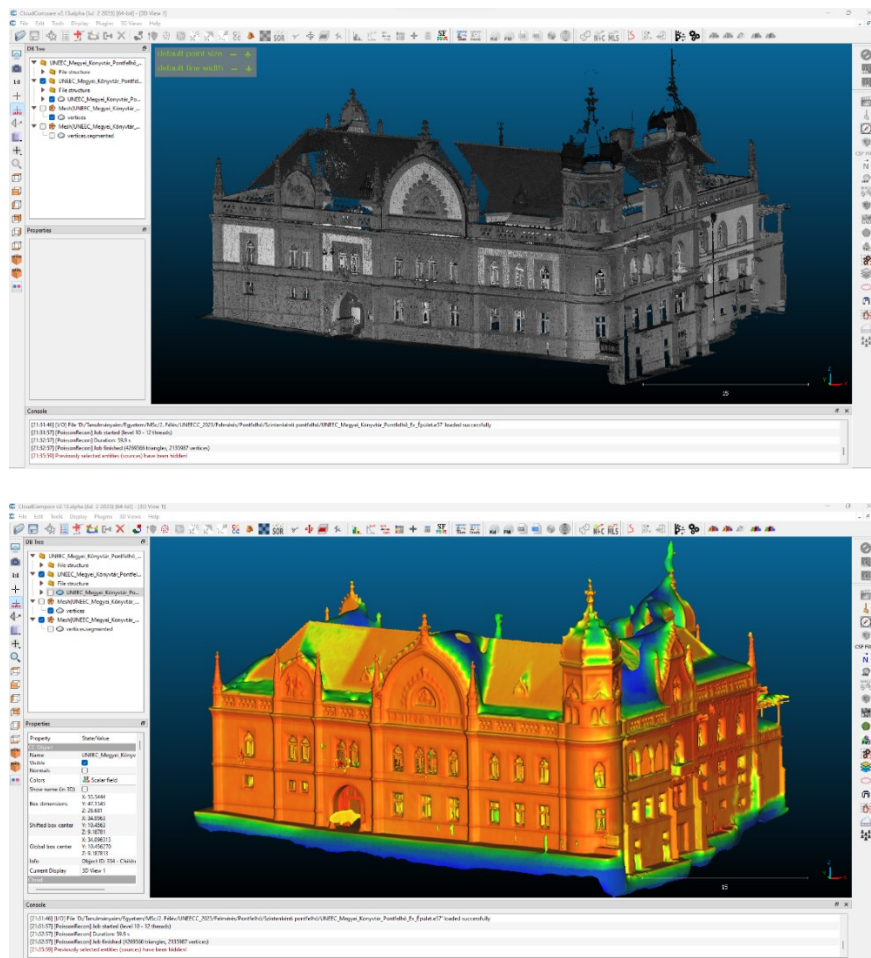


17. ábra
Aurivus pontfelhő osztályozó szoftver³⁵

A műemléki jellegű épület geometriai adottságait sok esetben nehéz átlátni és méreteket detektálni róla. Ennek elősegítésére lett felhasználva a CloudeCompare szoftver, ami képes az épületről készült pontfelhőből geometriailag helyes felülethálót készíteni a pontfelhő pontjai alapján. A program használata rendkívül gyorsá és átláthatóvá tette a felhasználást. Szintén .e57 fájl lett importálva a programba, ami ezután feldolgozta azt, majd a beállítási és részletességi paraméterek megadása után legenerálta a felülethálót. Minél részletgazdagabb felülethálót generált a program, annál szebben rajzolta ki a tagozati elemeket a homlokzaton. A program képes színekkel megkülönböztetni a pontok helyzetéből és szórásából adódó hiányosságokat, így például a tetőidomok egyes részeit, ami a földszintről nehezen beláthatók voltak a lézerszkennerek számára, más színnel jelölte. A pontatlanságok kiszűrésére további beállítási lehetőségek szolgáltak a programon belül, ami alapján manuálisan megadhattuk a szűrés mértékét. A probléma a továbbiakban a felületháló poligonjainak a száma volt. Ahhoz, hogy az épület geometriai részleteiben is képes legyen kirajzolni a felülethálót, a poligonok száma sokszorosára nőtt. A felületháló több, egymástól eltérő fájlformátumban lett kimentve (BIN fájl; Autodesk DXF; 3D Object) amikkel kompatibilis az ArchiCAD, viszont a túlméretes fájlokat nem tudta feldolgozni vagy meg sem nyitotta őket. A továbbiakban a felülethálót nem tudtuk felhasználni az esettanulmányunkban (18. ábra).³⁶

³⁵ Forrás: <https://aurivus.com/?fbclid=IwAR2ZxpH1nyLqzUkiXxz3SPvzhoRCN3HsXC2LIqmH8SGC6Owsxpsatwh0u7w>
Letöltés dátuma: 2023.10.28.

³⁶ Forrás: Stephen Fai - Katie Graham - Todd Duckworth - Nevil Wood - Ramtin Attar: Building Information Modelling and Heritage Documentation, XXIII CIPA International Symposium, 12th- 16th September 2011, Prague, Czech Republic, 2011.



18. ábra
*CloudCompare szoftver kezelési platformja
 (Eredeti pontfelhő fent; Generált felületháló lent)³⁷*

Az alábbiakban összegezzük az általunk alkalmazott feldolgozási módszerek tapasztalatait, összehasonlítva azokat az alábbi szempontok szerint:

Egyszerűség: Az egyszerűség alatt a szubjektív egyszerűséget kell érteni. Minden ember másként gondolkodik és dolgozik, de mégis megállapítható, hogy valószínűleg melyik feldolgozási módszert milyen könnyen vagy nehezen lehet alkalmazni.

Feldolgozási idő: Itt az adott feldolgozási módszerrel eltöltött időt kell érteni.

Használhatóság: A kutatás során segítségünkre volt-e az adott technológia a modellezés tekintetében.

Fájlméret: Az adott feldolgozási módszer kapcsán keletkezett fájl méret, mely további felhasználásra szánt.

Szoftver szükséglet: Az jelenti, hogy mennyire volt szükséges drága szoftvereket, feldolgozási programokat) alkalmazni és a kutatásban melyek voltak ezek.

Letöltés/Online: Az adott program letöltés után vagy online felületen elérhető. (3. Táblázat)

³⁷ Forrás: Saját ábra

3. Táblázat
Felhasznált feldolgozási módszerek alkalmazhatósága³⁸

	Pontfelhő készítése	Pontfelhő analízis	Mesh készítése	Osztályozás
Egyszerűség	Minimális szakértelem szükséges	Minimális szakértelem szükséges	igen	igen
Feldolgozási idő	8 óra	4 óra	2 óra	8 óra
Használhatóság	igen	igen	nem	nem
Fájlméret	13 GB	16 KB, 72,8 MB, 23 KB	1,38 GB	-
Szükséges szoftverek	Autodesk ReCap	PointCab	CloudCompare	Aurivus
Letöltés/Online	Letöltés	Letöltés	Letöltés	Online

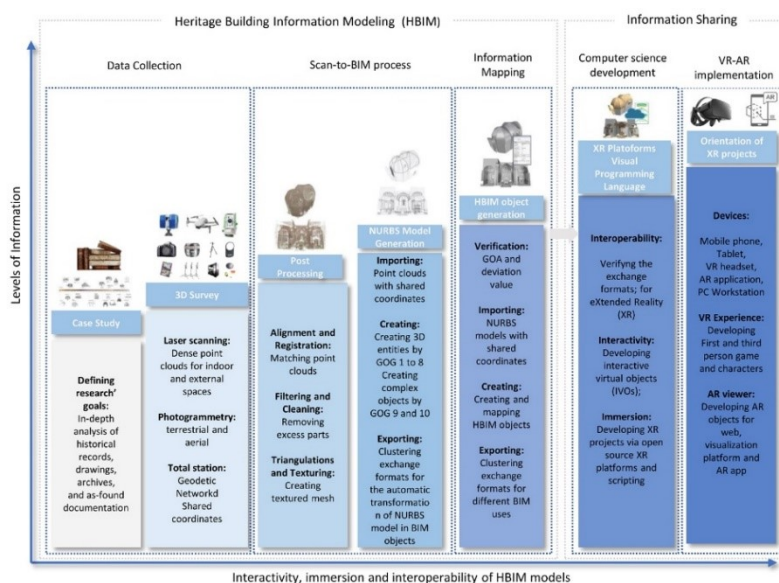
A táblázatból remekül kiolvasható, hogy a Pontfelhőből való felülethálózhoz és az osztályozás elkészítéséhez volt szükséges a legkevesebb háttértudásra az adott területről. Továbbá megállapítható, hogy a pontfelhő analíziséhez és a Mesh elkészítéséhez kellett a legkevesebb előmunka, míg a pontfelhő ReCap szoftverben való feldolgozásához 8 órára volt szükség. Bár az osztályozás körülbelül 8 órát vett igénybe, az ezzel eltöltött idő körülbelül 15 perc volt, amíg a fájl feltöltődött a program felületére, ezután automatikusan dolgozta fel azt. A használhatóság során bár a Mesh készítésnél és az osztályozásnál rendkívül látványos és izgalmas eredményeket kaptunk, a már korábban említett okokból kifolyólag (3.3 További vizsgált feldolgozási lehetőségek) a további vizsgálatokhoz csak a pontfelhőt és annak analízisével kapott eredményeket használtuk fel. Ahogyan azt a táblázat is mutatja a legnagyobb fájl méret a pontfelhő és a felületháló esetében keletkezett, ahogyan azt a szoftverek leterheltségéből is tapasztaltuk. A pontfelhő analízise során végeredményképpen vonal elemeket kaptunk ezért ezen fájl mérete nem volt nagy, valamint az osztályozás esetében a fájl lementése közben tapasztalt problémák miatt nem tudtuk annak méretét meghatározni, de valamennyivel kisebb lehet, mint az eredetileg feltöltött .e57 fájl. A vizsgálat során felhasznált 4 szoftver közül egyedül az osztályozáshoz felhasznált Aurivus szoftvert nem tudtuk elérhető/letölthető formában felhasználni.

³⁸ Forrás: Saját ábra

4 HERITAGE BUILDING INFORMATION MODELLING

4.1 Fogalommeghatározás

Az UNESCO szerint a Világörökség természeti, kulturális és víz alatti örökségre oszlik. A Kulturális Örökség (Cultural Heritage = CH) viszont további két nagy kategóriára bontható, méghozzá tárgyi kulturális örökségre és a szellemi kulturális örökségre. Mindegyikük olyan jelentős és univerzális értékeket tükröz, amelyeknek örökségül kell maradniuk a jövő generációi számára. A műemléki- és történelmi épületek többsége esetében azonban hiányzik a tervdokumentáció és a műszaki információ. A közeljövőben és már napjainkban is ezek a hiányosságok karbantartási és üzemeltetési problémákhoz, megnövekedett költségekhez vezethetnek. Ezek a hiányosságok eredményezik az építészeti örökségek felmérésének, feldolgozásának igényét, amely folyamat részeként strukturált digitális, háromdimenziós (3D) HBIM modellre van szükség. A digitális modellt a dokumentáció megértésének és monitorozásának kulcsfontosságú referenciakeretévé kell alakítani, így olyan adatforrást (digital twin-t) kell létrehozni, amely alkalmas a konzerválási, restaurálási és rekonstrukciós folyamatok segítésére (19. ábra).³⁹



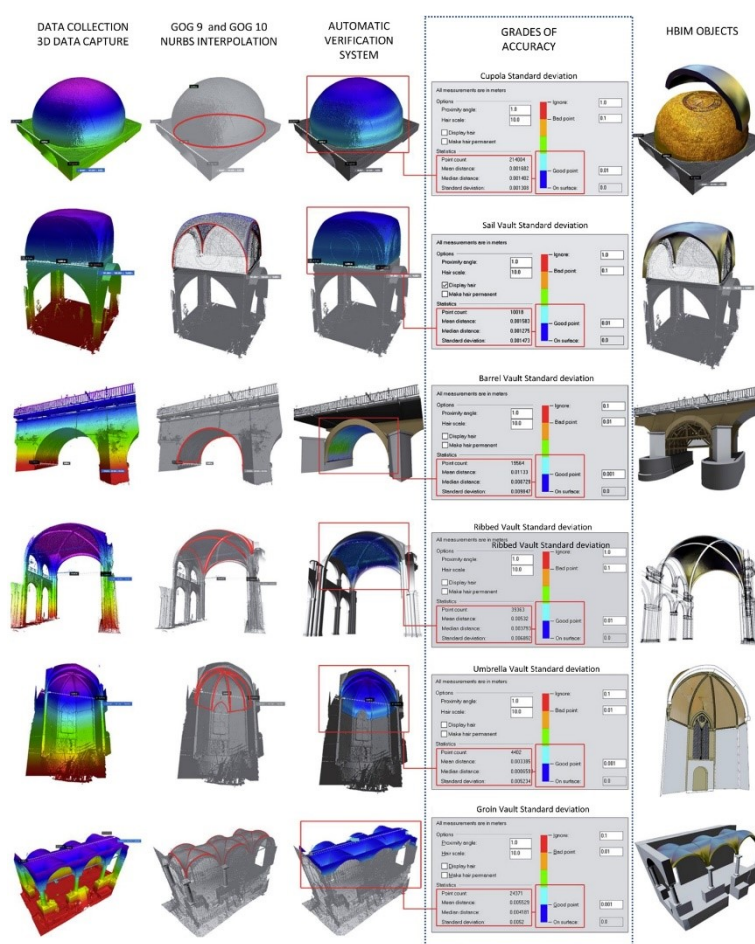
19. ábra
HBIM készítésének lépései⁴⁰

³⁹ Forrás: Facundo José López – Pedro M. Leronés – José Llamas – Jaime Gómez-García-Bermejo – Eduardo Zalama: A Review of Heritage Building Information Modeling (H-BIM), Multimodal Technologies and Interact, Vol. 2, No. 2, 2018, pp. 1-30.

⁴⁰ Forrás: <https://www.mdpi.com/2220-9964/10/10/685>
Letöltés dátuma: 2023.10.28.

A 3D lézerszkennelési- és fotogrammetriai technológiák különösen fontosak a meglévő épületek térbeli adatgyűjtésének felgyorsítására, valamint a gyors beavatkozás előkészítéséhez. Az épületről elkészített nyers pontfelhő használatához számos lépésre van szükség, mint például a pontfelhő „zajának” megtisztítása és szűrése, hogy létrejöjjön egy végső globális felhő, amelynek célja a dokumentált örökség eredeti összetettségének megőrzése.⁴¹

A feldolgozott pontfelhők beépíthetők épületinformációs modellezési (BIM) platformokba, amelyeket a tudományos közösségek és az építészeti, mérnöki és építőipari szektor az elmúlt években a tervezés, a dokumentáció és a digitális tervezés új paradigmájaként fogadott el. meglévő eszközök kezelése, különös tekintettel az épített történelmi emlékekre (20. ábra).⁴²



20. ábra
HBIM modell készítése pontfelhőből⁴³

⁴¹Forrás: Ramona Quattrini - Roberto Pierdicca - Christian Morbidoni: Knowledge-based data enrichment for HBIM: Exploring high-quality models using the semantic-web, Journal of Cultural Heritage, Vol. 28, 2017, pp. 129 - 139.

⁴²Forrás: Facundo José López – Pedro M. Leronés – José Llamas – Jaime Gómez-García-Bermejo – Eduardo Zalama: A Review of Heritage Building Information Modeling (H-BIM), Multimodal Technologies and Interact, Vol. 2, No. 2, 2018, pp. 1-30.

⁴³Forrás: https://www.mdpi.com/journal/ijgi/special_issues/HBIM_GIS

Letöltés dátuma: 2023.10.28.

Jelenleg számos BIM platform létezik, amelyet az építészek, műemléki szakértők használnak az építészeti örökség integrált és inkrementális tudásának modellezésére, virtuális megjelenítésére és kezelésére. Fontos azonban megjegyezni, hogy a BIM platformok könyvtárai és eszközei többnyire új épületek tervezésére és építésére koncentrálnak egyszerű, szabályos és szabványos objektumokkal. Emiatt a kultúrtörténeti örökség virtuális és részletes rekonstrukciója feltárta a BIM-platformok bizonyos korlátait és hiányosságait, mint például a történelmi paraméteres objektumkönyvtárak elérhetetlenségét, valamint az összetett, szabálytalan és bizonytalan formák kezeléséhez szükséges eszközök hiányát. Ebből kifolyólag a műemlék épületek helyreállításának és digitális ábrázolásának növekvő igénye, valamint a pontfelhő értelmezhető modellelemekké történő közvetlen átalakítását automatizáló szoftverek korlátai arra készítették a szakértőket, hogy szembenézzenek azzal a kihívással, hogy különböző BIM-platformokat, szoftvereket válasszanak, amelyek a félautomata tervezés megvalósítását és a virtuális modellezés rekonstrukciós részfolyamatait segítik elő.⁴⁴

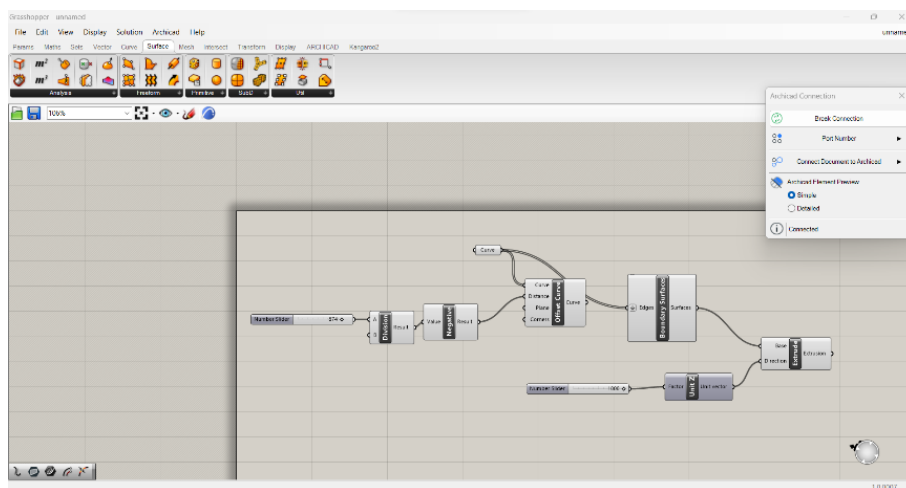
4.2 Parametrikus pontfelhő feldolgozás

A parametrikus tervezést⁴⁵ gyakran használják az építészetben olyan esetekben, amikor szabad formatervezésben vagy modell optimalizálásában gondolkodnak, vagy éppen, amikor az előre meghatározott paraméterek gyakran változnak. A parametrikus tervezésben a vizuális programozás nyelvét (Visual Programming Language = VPL) alkalmazva előre definiált parancsok segítségével olyan hálózatot építhetünk fel egy erre alkalmazott szoftverben, melyben a parancsok között különböző logikai, matematikai összefüggéseket definiálunk. Továbbá az egyes parancsok bemenő adatait (pl. számszerű értékeit) nem állandó értékkel, hanem általunk megválasztott intervallumon belül változtathatjuk. Ezek a kapcsolatok lehetővé teszik számunkra, hogy egy parancs vagy paraméter változása esetén a többi paraméter is automatikusan alkalmazkodjon a változásokhoz. Ez a fajta parametrikus kapcsolat jelentős tervezési rugalmasságot képes nyújtani (21. ábra).

⁴⁴ Forrás: Facundo José López – Pedro M. Leronés – José Llamas – Jaime Gómez-García-Bermejo – Eduardo Zalama: A Review of Heritage Building Information Modeling (H-BIM), Multimodal Technologies and Interact, Vol. 2, No. 2, 2018, pp. 1-30.

⁴⁵ A parametrikus tervezésről bővebb információ:

Caetano, I.; Santos, L.; Leitão, A. Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design. Front. Arch. Res. 2020, 9, 287–300.



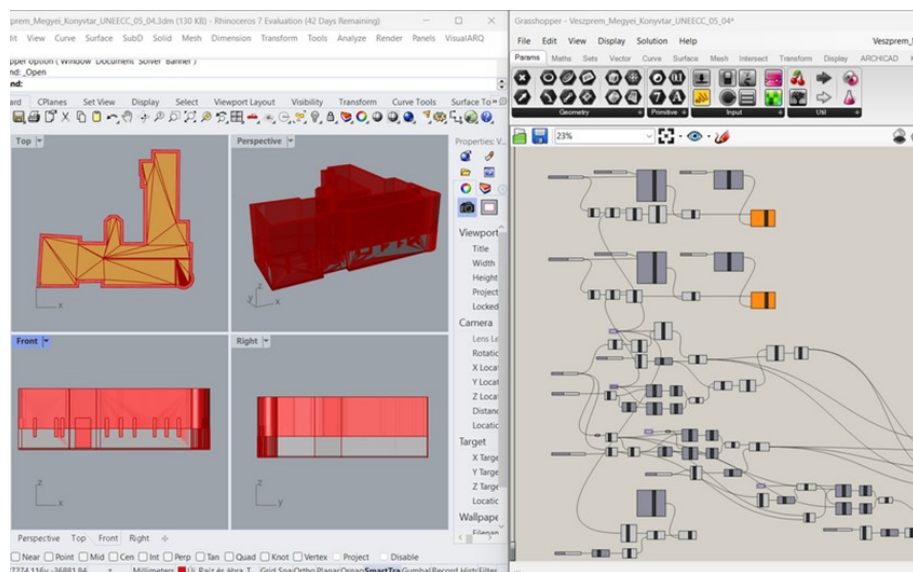
21. ábra
Grasshopper szkript⁴⁶

A parametrikus tervezést a PointCab-ben generált vonalak 3D fal elemmé alakításában tudtuk felhasználni. Először is a PointCab-ből .dwg formátumban szükség volt a vonal elemek kimentésére. Mivel a vonal elemek egy egyenes sík kirajzolása közben is többször megtörttek, ezért szükség volt egy előzetes korrekciót készíteni ArchiCAD-ben. A .dwg fájlt ArchiCAD-be importálva szerkeszthető formátumban megnyílt a kimentett vonalas alaprajz. Az alaprajzon fellelhető egyenes szakaszokon a kisebb töréseket egy egységes vonalelemmé kellett alakítani. Erre azért van szükség, mert a parametrikus falgenerálás során minden egyes vonalelemet egy külön fal elemként kezel a szoftver.

A vonalas alaprajzok letisztítása után azokat szintén .dwg formátumban importálni kellett a Rhinoceros 7 programba, aminek bővítményeként használható a Grasshopper szoftver. A Grasshopper program platformja biztosította a parametrikus szkriptek írását, ami a Rhinoceros-ban megnyitott vonalelemeket használta bemeneti adatként. Fontos, hogy az ArchiCAD-del élő kapcsolat létesüljön, hiszen így rögtön ArchiCAD-ben jelennek meg a vonal elemekből készült épületelemek (22. ábra).⁴⁷

⁴⁶ **Forrás:** Saját ábra

⁴⁷ **Forrás:** Caetano, I.; Santos, L.; Leitão, A. Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design. Front. Arch. Res. 2020, 9, 287–300.



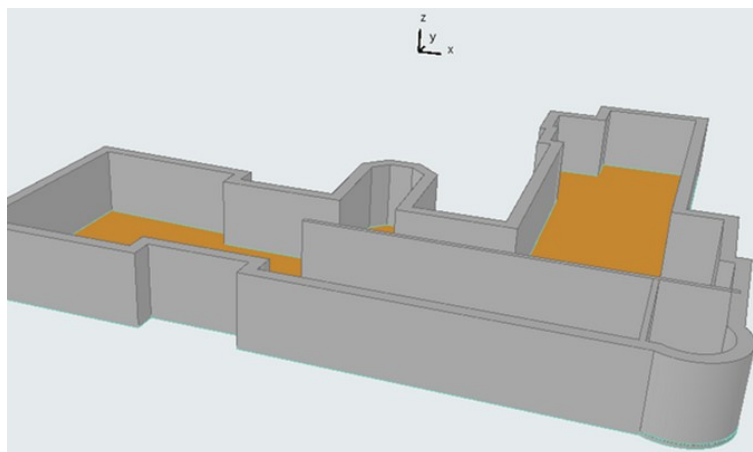
22. ábra
Vonalból szkriptek használatával átalakított parametrikus falak⁴⁸

A Grasshopper ArchiCAD bővítményében minden elemtípusra, így a falakra és a vonalakra is ki lehetett választani szkripteket, melyekhez különböző paramétereket lehetett társítani. Ezeknek a szkripteknek a segítségével kellett először felismertetni a Rhino-ban megnyitott vonal elemeket, melyek az ArchiCAD fal referencia vonalaiként működtek, majd további paramétereket kellett megadni (mint például a falvastagság, építőanyag, fólia, stb.). Ennek eredményeként az ArchiCAD-ben értelmezhető fal elemeket kaptunk a számunkra fontosnak tartott paraméterekkel.

Köszönhetően a Grasshopper Live Sync kapcsolati lehetőségnek az elvégzett módosításokat automatikusan a tervezési platformban, ArchiCAD-ben kaptuk meg, ahol a további részletek kerülnek kidolgozásra (23. ábra).⁴⁹

⁴⁸ Forrás: Saját ábra

⁴⁹ Forrás: Mesrop Andriasyan – Juan Moyano – Juan Enrique Nieto-Julián – Daniel Antón: From Point Cloud Data to Building Information Modelling: An Automatic Parametric Workflow for Heritage, Remote Sensing, Vol. 12(7):1094, March 2020, 22. p.



23. ábra
Parametrikusan létrehozott falak ArchiCAD-ben⁵⁰

4.3 HBIM készítés

Miután a Grasshopper és a Rhino programban mind a 2 szinten legenerálásra kerültek a falak, a további elemek ArchiCAD-ben kerültek megmodellezésre. Ennek oka a műemléki jellegű épület rendkívül tagolt, stukkókban és ornamentikákban gazdag homlokzati geometriája. A geometriai részletezettségi szempontok alapján különösen a történeti nyílászárók, különleges tagozatok, mellvédek, stukkók, ornamentikák, valamint az egyes kupola idomokra kellett a legnagyobb hangsúlyt fektetni.

4.3.1 Részletességi irányelvek

Ahhoz, hogy egy egységes, részleteiben azonos szinten lévő modellt kapjunk, ahhoz már a tervezés kezdeti fázisában meg kellett határozni egy Level of Detail (LoD) szintet.⁵¹

A kutatás szempontjából irányadó szint a LoD 350 volt. Legtöbb esetben a LoD kifejezést használjuk, amikor egy épületről készült BIM modellt kategorizálunk részletesség szerint, azonban ennek számos, kevésbé közismert alkategóriája is megjelent, mint például a Level of Geometry (LoG), ami kifejezetten a modell geometriai részletezettségére vonatkozik, a Level of Information (LoI), ami a modell és annak elemeinek beágyazott információtartalmának

⁵⁰ Forrás: Saját ábra

⁵¹ A LoD részletességi szintről bővebb információ:

Chuck Eastman – Paul Teicholz – Rafael Sacks – Kathleen Liston : BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, Egyesült Államok, ISBN 1119287537, 9781119287537, 2018, 688p.

részletességét tükrözi, vagy a Level of Accuracy (LoA) ami a felmérés pontosságának szintjét jelenti (24. ábra).⁵²

Érdemes megemlíteni azt is, hogy bár nagyon szerteágazó megközelítésekkel értelmezhető az egyes LoD szintek definiálása, műemléki épületekre és azok akár geometriai, akár információ tartalmi részletezettségére nincs külön kategória a szakirodalomban, úgy ahogy magáról a HBIM-ről⁵³ is kevés forrás áll rendelkezésre.



24. ábra
*Level of Detail (LoD) modell részletezettségi szintek*⁵⁴

Az esettanulmányban elkészített modellre az alkategóriák közül leginkább a LoG 350-es szint jellemző, hiszen a kutatás nagyobb arányban a műemléki jellegű épületek geometriai feldolgozásával foglalkozik (25. ábra).⁵⁵

⁵² Forrás: Zagorác Márk - Szabó Beatrix - Kari Szabolcs - Tiszavölgyi Karolina - Turányi József - Wagner Szilvia: BIM – kézikönyv, Bevezetés az épületinformációs modellezésbe, Lechner Nonprofit Kft., Budapest, 2018, 128p.

⁵³ A Historical Building Information Modeling fogalomról bővebb információ:

Sofia Antonopoulou – Dipl-Ing Arch – MSc Arch Cons – Paul Bryan BSc – FRICS.: BIM for Heritage, Developing a Historic Building Information Model, Historic England, Swindon, England, ISBN 978-1-848-02487-8, 2017, p. 78

⁵⁴ Forrás: <https://www.datbim.com/2018/10/05/le-lod-definit-des-niveaux-de-detail-de-plus-en-plus-precis/>
Letöltés dátuma: 2023.10.28.

⁵⁵ Forrás: Raffaella Brumana - Stefano Della Torre – Mattia Previtali - Luigi Barazzetti – Lorenzo Cantini - Daniela Oreni – Fabrizio Banfi: Generative HBIM modelling to embody complexity (LOD, LOG, LOA, LOI): surveying, preservation, site intervention—the Basilica di Collemaggio (L'Aquila), Applied Geomatics, Vol. 10, 2018, pp. 545–567.



25. ábra
ArchiCAD szoftverben elkészített LoD 300 részletezettségű modell látványterve⁵⁶

4.3.2 Modellkészítés folyamata

Miután parametrikus tervezéssel elkészültek a főfalak és importálva lettek a tervezőprogramba, a következő lépésekben a részletezettséggel kellett foglalkozni. Parametrikus tervezéssel az ablakok pozicionálása a falakba és a homlokzati díszek elhelyezése sokkal több plusz munkát eredményezett volna, így ezek a speciális elemek ArchiCAD-ben lettek létrehozva.

Mivel a felmérést 5 különböző módszerrel végeztük el, ezért a többi módszerrel készült digitális leképezéseket is elhelyeztük a modelltérben. A homlokzatról lézerszkennerral készített pontfelhőhöz remekül hozzá lehetett igazítani a belső térről készített pontfelhőket, illetve az OrthoGraph-ban létrehozott modellelemeket. Mindkét variáció esetében a külső homlokzat felőli nyílászárók szolgáltak referenciaként, amely a lézerszkenneres pontfelhőn kiválóan kirajzolódott. A további modellezési feladatok csak azután kezdődtek el, miután az összes felmérési adat bekerült a modelltérbe (26. ábra).

⁵⁶ Forrás: Saját ábra



26. ábra
*Lézerskenneres és fotogrammetrikus pontfelhő összeillesztve*⁵⁷

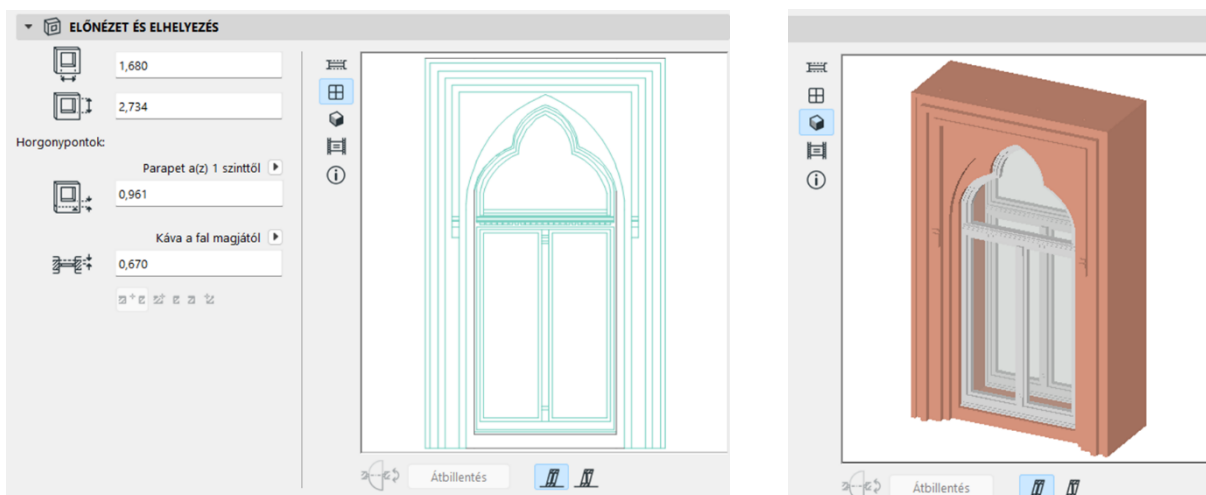
Elsődleges feladat az ArchiCAD modellezési környezet megfelelő kialakítása volt, amellyel a későbbi munkafolyamatokat lehetett megkönnyíteni és gyorsabbá tenni. Ilyen beállítások voltak a fóliák- és fóliakombinációk kialakítása, nézettulajdonságok megfelelő beállítása, grafikus felülírás készítése, tollkészlet beállítása, valamint a szintmagasságok meghatározása az épületen belül. Utóbbi jelentős szereppel bírt, hiszen az épület belső térkialakítása jelentősen tagolt szintugrásokkal, amely nehezítette a modell gyors átláthatóságát.⁵⁸

A HBIM létrehozásához szükség volt a történelmi, műemléki részleteket tükröző egyedi könyvtári elemek készítésére. Az ArchiCAD esetében fennáll ez a hiányosság, ezért szükséges volt elkészíteni teljesen egyedi elemeket a beépített könyvtárrendszerbe, amelyeket később fel lehetett használni a modellezésnél. Ilyen és hasonló egyedi könyvtári elemek voltak az ablakok, ajtók, homlokzati tagozatok, homlokzati ornamentikák, a főparkány fölött lévő mellvédfal, a baluszterek, a huszártornyok, a kupolák és a hozzájuk tartozó csúcsdíszek. Ezek az elemek egyedi objektumokként lettek elkészítve és elmentve a könyvtárkezelőbe (27. ábra).⁵⁹

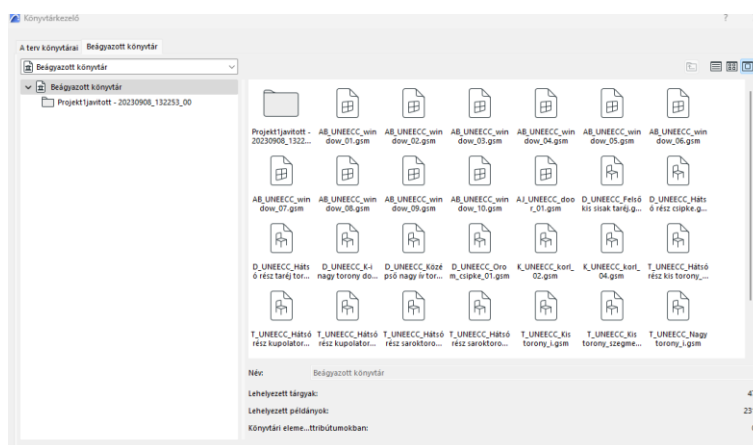
⁵⁷ Forrás: Saját ábra

⁵⁸ Forrás: Ajtayné Károlyfi Kitti: BIM Bevezető, Tartószerkezeti BIM, 2020.09.02, Győr, Széchenyi István Egyetem, 2020

⁵⁹ Forrás Mesrop Andriasyan – Juan Moyano – Juan Enrique Nieto-Julián – Daniel Antón: From Point Cloud Data to Building Information Modelling: An Automatic Parametric Workflow for Heritage, Remote Sensing, Vol. 12(7):1094, March 2020, 22. p.



27. ábra
Egyedileg elkészített műemléki ablak⁶⁰



28. ábra
Egyedi könyvtári elemek könyvtárkezelőben⁶¹

Az alábbiakban összegezzük a modellezési módszertanokat, összehasonlítva azokat az alábbi szempontok szerint:

Egyszerűség: Az egyszerűség alatt a szubjektív egyszerűséget kell érteni. Minden ember másként gondolkodik és dolgozik, de mégis megállapítható, hogy valószínűleg melyik feldolgozási módszert milyen könnyen vagy nehezen lehet alkalmazni.

Feldolgozási idő: Itt az adott feldolgozási módszerrel eltöltött időt kell érteni.

Használhatóság: A kutatás során segítségünkre volt-e az adott technológia a modellezés tekintetében.

Fájlméret: Az adott feldolgozási módszer kapcsán keletkezett fájl méret, mely további felhasználásra szánt.

⁶⁰ Forrás: Saját ábra

⁶¹ Forrás: Saját ábra

Szoftver szükséglet: Az jelenti, hogy mennyire volt szükséges drága szoftvereket feldolgozási programokat) alkalmazni és a kutatásban melyek voltak ezek.

Letöltés/Online: Az adott program letöltés után vagy online felületen elérhető. (4. Táblázat)

4. Táblázat
A parametrikus pontfelhő feldolgozás és a HBIM készítésének gyakorlati hasznosítása⁶²

	Parametrikus pontfelhő feldolgozás	HBIM készítése
Egyszerűség	szakértelem	szakértelem
Szükséges idő	6-8 óra	~ 60 óra
Használhatóság	igen	igen
Fájlméret	521 Kb	369 Mb
Szükséges szoftverek	Rhinoceros 7 + Grasshopper	ArchiCAD 26
Letöltés/Online	igen	igen

A táblázatból leolvasható, hogy a kutatás ezen fázisában már szükséges volt a szakértelem a modellezési folyamatok során, amelyek esetében az ArchiCAD-ben készített HBIM modellezés igényelte a legtöbb időt a speciális elemek miatt. Fontos megemlíteni, hogy a három szoftver (Rhinoceros 7 + Grasshopper + ArchiCAD 26) remekül együtt tud dolgozni, ami a használhatóságukat teszi felhasználóbaráttá, valamint a keletkezett fájl mérete is elfogadható mindkét módszer esetében.

⁶² Forrás: Saját ábra

5 GYAKORLATI ALKALMAZÁS

A fent bemutatott HBIM modell - túlmenően szemléletességén és felhasználásán a tervezés folyamán - alkalmazható az épület életciklusának további fázisaiban is különböző célokra. A következő fejezetben bemutatásra kerül néhány javaslat, melyek alapját szolgálja egy BIM modell az épületről.

5.1 Hibakataszter készítés lehetőségei

A hibakataszter készítése egyre fontosabb kérdéskör manapság, hiszen az okos rendszerek, beépített érzékelők, monitoring eszközök segítségével nem csak az építés szakaszában válik hasznossá a BIM modell, hanem az épület teljes életciklusa alatt is megkönnyíti az üzemeltető, tulajdonos munkáját. Egy meglévő épület használatba vételekor problématérkép készítésével képet kaphatunk az aktuális hibákról, problémákról, és a szükséges beavatkozás helyéről és jellegéről, ezáltal a karbantartás, felújítás tervezhetővé válik.

Ebben a kutatásban a hibakataszter és a problématérkép megalkotását egy épületüzemeltetési szoftver segítségével közelítettük meg, mivel kifejezetten problématérképet kezelő program hiányt képez a piacon.

A felmérés során készített állományok felhasználásával, valamint az üzemeltetőkkel történt beszélgetések alapján összegyűjtöttük az épületben felmerülő problémákat.

Hibakataszter során a modellben szeretnénk jelölni a problémás, hiányos részeket. Ezek lehetnek lokális, kisebb észrevételek, amely csupán egy elemet érint, de lehetnek összetett, sok elemet érintő problémák is. Ezek egyértelmű jelölését és minden a javításhoz szükséges információt célszerű feljegyezni a hibakataszterre. E célra a tervező szoftverek nem alkalmasak, mert egy-egy modellelemet nem célszerű szétarabolni, hogy a hibás terület megjelölhető legyen, például grafikus felülírás segítségével, illetve több elem összekapcsolására sincs igazán lehetőség. Az irodalom- és piackutatás során nem találtunk olyan forrásokat vagy eszközöket, amelyek dedikált megoldást nyújtottak volna a problémára. A hibakataszter készítésére koncentrálni szerettünk volna egy erre alkalmas szoftvert megismerni és kiépíteni benne egy lehetséges eljárást.

Erre a célra a felhő alapú Dalux szoftvert alkalmaztuk, illetve ezen keresztül kerültek megvizsgálásra a digitalizált és központosított felületű épületüzemeltetésben rejlő előnyök és lehetőségek (29. ábra).



29. ábra
Dalux szoftver logója⁶³

Az épületről készült kész BIM / HBIM modellt .ifc formátumban fel kell tölteni a böngészőjéből elérhető felületre. Az alaprajzok és a 3D modell a mobiltelefonos applikációba történő bejelentkezés után szintén elérhetővé váltak. Az adott projekthez való csatlakozáskor meg kell jelölni, hogy üzemeltetőként vagy fenntartóként van az illető jelen, így különböző hozzáféréseket kap az applikáció használata közben (30. ábra).

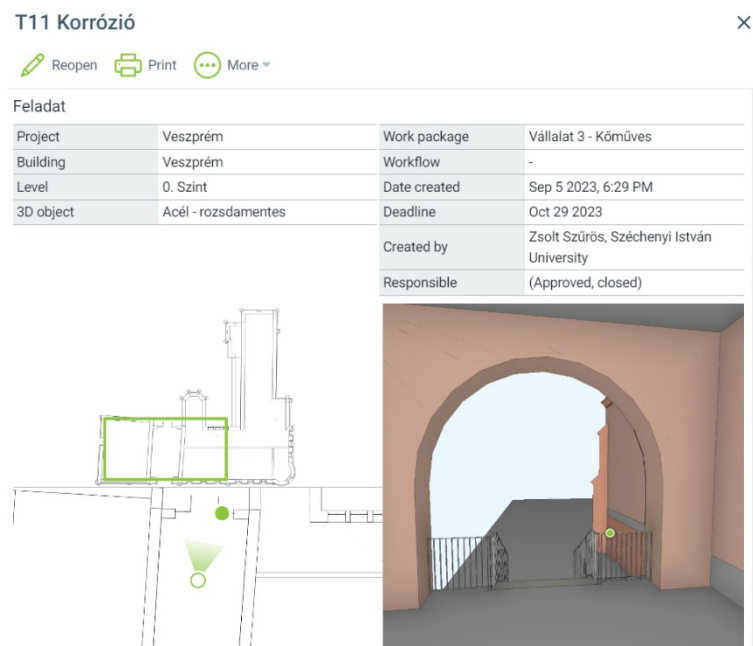


30. ábra
Dalux szoftver kezelési platformja
(HBIM modell perspektivikus ábrázolása balra; HBIM modell alaprajzán felvett hibajegyek jobbra)⁶⁴

A használat és az elv nagyon egyszerű: amennyiben minden résztvevő csatlakozott a projekthez, nem kell ismerni a vállalkozó elérhetőségeit, hanem a probléma észlelésekor a megadott név kiválasztásával rögtön értesíti az applikáció az illetékes vállalkozót, aki értesítést kap mobiltelefonján és egy figyelmeztető e-mail is rögtön érkezik számára. Az így létrehozott hibajegyek tartalmazzák a probléma leírását, az elkészítési határidőt, fényképet a helyszínről és a hibáról, továbbá a program kivágja a megfelelő alaprajzi részletet és a 3D-s modellből a megfelelő nézetet (31. ábra).

⁶³ Forrás: https://www.dalux.com/wp-content/uploads/2022/06/Dalux_logo_-5000px_png_HIGH_RES.png
Letöltés dátuma: 2023.10.25.

⁶⁴ Forrás: Saját ábra



31. ábra
T11 számmal jelölt korrózióra vonatkozó hibajegy részletei⁶⁵

A vállalkozó - ha teljesítette a feladatot - a programon keresztül visszajelzést tud küldeni az épület üzemeltetőjének, aki az ellenőrzés után (ha úgy véli, hogy a tényleges teljesítés megtörtént) a jelölést teljesítettre tudja állítani. Így ér véget egy probléma kezelése. A szoftverbe szöveges dokumentumok feltöltésére is nyílik lehetőség .pdf formátumban, mely főként a tervdokumentáció elérhetőségében jelent nagy segítséget. A hibajegyek sorban megjelennek, mind az üzemeltetőnél, mind pedig a vállalkozónál. A hibajegyek táblázatba rendeződnek és különböző szempontok szerint sorba rendezhetők, mint például a határidő, a teljesítési állapot vagy az illetékes személy (32. ábra).

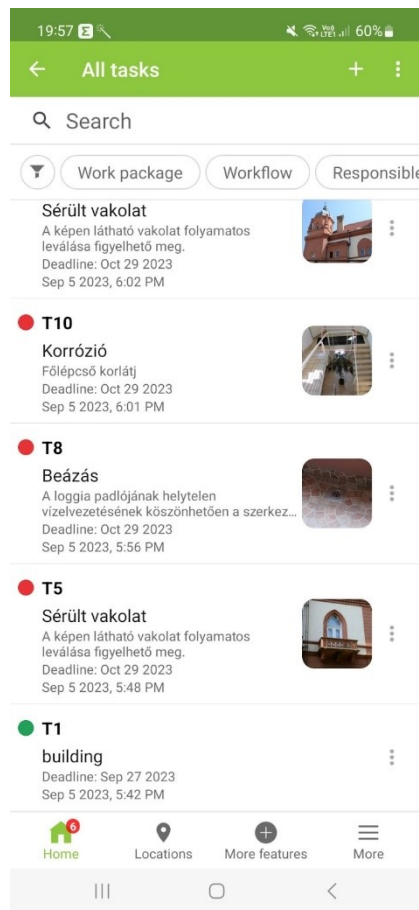
⁶⁵ Forrás: Saját ábra

Memo no.	Modified by	Date modified	Created by	Date created	Work package	Title	Deadline
T8	Zsolt Szűrés, Szé...	Sep 12 2023, 7:09 PM	Zsolt Szűrés, Szé...	Sep 5 2023, 5:56 PM	Vállalat 1 - Ács	Beázás	Sep 15 2023
T1	Zsolt Szűrés, Szé...	Sep 5 2023, 5:42 PM	Zsolt Szűrés, Szé...	Sep 2 2023, 2:52 PM	Vállalat 1 - Ács	building	Sep 27 2023
T2	Zsolt Szűrés, Szé...	Sep 5 2023, 5:38 PM	Zsolt Szűrés, Szé...	Sep 2 2023, 2:58 PM	Vállalat 1 - Ács	Párkány	Sep 30 2023
T3	Zsolt Szűrés, Szé...	Sep 5 2023, 5:41 PM	Zsolt Szűrés, Szé...	Sep 2 2023, 3:04 PM	Vállalat 1 - Ács	Ablakkeret csere	Sep 30 2023
T4	Zsolt Szűrés, Szé...	Sep 5 2023, 5:41 PM	Zsolt Szűrés, Szé...	Sep 2 2023, 4:15 PM	Vállalat 1 - Ács	Korrózió	Sep 30 2023
T5	Zsolt Szűrés, Szé...	Sep 5 2023, 5:48 PM	Zsolt Szűrés, Szé...	Sep 5 2023, 5:48 PM	Vállalat 1 - Ács	Sérült vakolat	Oct 29 2023
T6	Zsolt Szűrés, Szé...	Sep 5 2023, 6:02 PM	Zsolt Szűrés, Szé...	Sep 5 2023, 5:50 PM	Vállalat 1 - Ács	Sérült vakolat	Oct 29 2023
T7	Zsolt Szűrés, Szé...	Sep 5 2023, 6:02 PM	Zsolt Szűrés, Szé...	Sep 5 2023, 5:53 PM	Vállalat 1 - Ács	Tetőhéjazat koszolódása	Oct 29 2023
T9	Zsolt Szűrés, Szé...	Sep 12 2023, 7:07 PM	Zsolt Szűrés, Szé...	Sep 5 2023, 5:58 PM	Vállalat 3 - Kőműves	Kiesés veszélye	Oct 29 2023
T11	Zsolt Szűrés, Szé...	Sep 12 2023, 7:14 PM	Zsolt Szűrés, Szé...	Sep 5 2023, 6:29 PM	Vállalat 3 - Kőműves	Korrózió	Oct 29 2023

32. ábra
Hibajegyek listája⁶⁶

A különböző állapotú problémák különböző színnel jelennek meg az alaprajzon és a 3D-s modellen is, mely szín a kilistázáskor is jellemzi őket. Az épület életciklusa szempontjából is fontos ez a hibakataszter, mert követni tudjuk az egyes változásokat, a korábban már elhárított hibákat és így tudjuk értelmezni az új probléma megjelenésénél az esetleges okokat (33. ábra).

⁶⁶ Forrás: Saját ábra



33. ábra
Hibajegyek / feladatlista⁶⁷

5.2 Mesterséges Intelligencia használatának lehetőségei

Korunk egyik nagy vívmánya a Mesterséges Intelligencia (MI), vagyis idegen szóval Artificial Intelligence (AI). A gyorsan fejlődő terület számos lehetőséget kínál nekünk az építészet terén is. Léteznek alaprajzot megtervező, kialakító szoftverek, mint például a Finch, pontfelhőket osztályozó programok, mint a 3.3. fejezetben bemutatott Aurivus, és látványterveket is készíthetünk az AI használatával.

A kutatásban a látványtervek készítését szeretnénk bemutatni, hiszen a Könyvtár esetében ez a lehetőség tűnt a legkézenfekvőbbnek. Új építés és alaprajz kialakítás esetén lenne releváns a forma, a belső terek tervezése, elrendezése, de ebben az esetben a meglévő vázat szeretnénk feltölteni tartalommal és kiegészíteni valami többlettel, melyhez az AI rugalmassága és szabadsága sokat hozzátesz az ötletelés és koncepcióalkotás fázisában.

⁶⁷ Forrás: Saját ábra

A mesterséges intelligencia alkalmazását a felmért épület különféle megjelenítési módszereire, renderelt képek készítésére alkalmaztuk. A használt program a Veras⁶⁸ volt (34. ábra).



34. ábra
*Veras szoftver logója*⁶⁹

Az alkalmazása nagyon felhasználóbarát. Fel kell tölteni egy képet az épület 3D-s modelljéről a felületre, majd egy 0-tól 100-ig csúsztható elemmel be lehet állítani, hogy a renderelt kép geometriája és az anyaga mennyire térjen el az eredeti látványtervtől (35. ábra). Ezt követően szövegesen lehet különböző parancsok megadásával változtatásokat eszközölni. Az ingyenes licenc 30 próbálkozást enged és egy képet egy percen belül elkészít rendkívül jó minőségben, úgy, hogy a legkülönlegesebb kéréseket is végrehajtja.

Ezt lehet használni a tervezés kezdetén ötleteléshez, kerttervezéshez, könnyedén meg lehet nézni az épületet más-más burkolattal, különböző időjárási körülmények között, vagy éppen a nap egyes szakaszaiban. Alkalmazható továbbá valósághű rendereléshez és kreatív képek, grafikák készítéséhez is (36. ábra).

⁶⁸ További információk: <https://www.evolvelab.io/veras>

⁶⁹ Forrás: https://global.discourse-cdn.com/mcneel/uploads/default/optimized/4X/8/1/9/81938de162c49a1d1e34e9dbcf251354a9a662fb_2_500x500.jpeg

Letöltés dátuma: 2023.10.25.



35. ábra
HBIM modell renderképe⁷⁰



36. ábra
Mesterséges Intelligencia által generált képek a 35. ábra alapján⁷¹

⁷⁰ Forrás: Saját ábra

⁷¹ Forrás: Saját ábra

6 KONKLÚZIÓ

Összességében azt a következtetést vonhatjuk le az esettanulmányunkon végzett kutatás során, hogy az építőipar jelen technológiai színvonala bár az utóbbi években rengeteget fejlődött, azonban a műemléki- és műemlék jellegű épületek geometriai tagoltsága, részletessége, szabálytalansága, állapotának változatossága miatt teljeskörű és automatizálható megoldással nem tud szolgálni az épület HBIM alapokon való feldolgozására, Scan-to-BIM eljárással.

Ugyanakkor pozitívként tapasztaltuk, hogy az egyes technológiák, szoftverek pontossága és gyorsasága számottevően lerövidítette főleg a felmérési munkafolyamatokat. A vizsgálathoz bevont ötféle felmérési eljárás/technológia közül négy a gyakorlatban is egyre többször alkalmazott modern felmérési metódus, amely ahogyan esettanulmányunkban is tapasztaltuk, képes jelentősen redukálni az élőmunka igényt, valamint a gyorsaságot és a pontosságot is garantálja. A felmérések során olyan többlet adathalmazzal bíró felmérési eredményeink születtek, amelyet a feldolgozási folyamatok keretein belül digitálisan feldolgozhatóvá tudunk alakítani, jelentősen megkönnyítve és felgyorsítva a munkafolyamatot. Kutatásunkban azt tapasztaltuk, hogy a felmérési technológiák együttes használatában további fejlődés szükségeltetik, akár épületrészek, akár egész épület léptékben is, valamint az AI technológiákat is érdemes minél intenzívebben bevonni ezen eljárásokba.

A metaadatokkal szolgáló felmérési eredmények feldolgozására jelentős mennyiségű szoftver áll rendelkezésre, amelyekkel digitálisan jól értelmezhető modellelemeket generálhatunk félautomata/automata megoldásokkal. A feldolgozási folyamatokat szintén nagyban elősegítette a szoftverek felhasználóbarát platformja, melyben kezdő szoftverfelhasználóként is könnyedén ki lehetett igazodni. Bár a pontfelhős adathalmaz rendkívül részletes és pontos, jelentős utómunka szükségeltetik a fájl méret csökkentésekor, szoftverek közötti importáláskor és exportáláskor, az automatizált objektumfelismerés korlátozottan érhető el, valamint korlátozottan működőképes. A pontfelhő kontúrjainak szoftveres felismertetése sem kiforrott még, hiszen a generált vonalakat nem javította a program, azokat manuálisan utólag korrigálni kellett.

A felmért adatok teljeskörű automatizált feldolgozási lehetőségeit sajnos még az AI térhódítása sem teremtette meg hiánytalanul, jelen technológiai fejlettség mellett szükséges az emberi tényező a folyamatok tematikus elvégzéséhez, mint például az HBIM modell elkészítése tervezőszoftverben. Cél a HBIM további felhasználási lehetőségeinek vizsgálata, illetve az

elkészített hibatérkép alapján a karbantartás ütemezése, amivel leromlási görbe készítése is lehetséges.

A kutatásunk során igyekeztünk megvizsgálni a technológia fejlettségének gyakorlati alkalmazhatóságát, valamint a Mesterséges Intelligencia által nyújtott lehetőségeket, azonban az épület hibakataszterének készítése közben szembe tűnt a tárgykör hiányossága az építőiparban. Mindez arra engedett következtetni minket, hogy pontfelhő és HBIM alapokon nyugvó AI-al vagy képfeldolgozással támogatott épületdiagnosztikai szoftverrel, eljárással, amellyel műemléki épület vagy más történeti értéket képviselő épület állapotát lehetne dokumentálni Scan-to-BIM módszertannal jelenleg nincs, vagy csak szűk körben elterjedt félautomata megoldások léteznek.

7 JÖVŐBELI KUTATÁSI LEHETŐSÉGEK

Kutatásunk és esettanulmányunk során számtalan páratlan épületfelmérési és dokumentálási lehetőséggel találkoztunk, amelyek szoros kapcsolatban álltak a BIM alapú épületfeldolgozás módszertanával és felhasználhatók műemléki épületek esetében is, azonban hiányt éreztünk mindezek kollektív együttműködési megvalósíthatóságában. Hiányt éreztünk egy gyakorlatban is jól alkalmazható dedikált eljárás/módszertan/szoftver meglétében, mellyel kollektíven lehetne kezelni az épületdiagnosztikához szorosan kapcsolódó folyamatokat a történeti értékekkel bíró épületek esetében.

Mindemellett azt tapasztaltuk, hogy az egyre nagyobb teret nyerő BIM mellett a HBIM mint fogalom széles körben nem elterjedt feldolgozási folyamat, amelyet jól tükröz a hazai és nemzetközi források mennyisége. Mivel a műemléki és történeti épületekről nem áll rendelkezésre digitális adathalmaz, állapotuk romló tendenciát mutat az idő elteltével, ezért úgy érezzük a közeljövőben kiemelt szerepet kap a BIM alapú feldolgozás, szoros kapcsolatban az épületdiagnosztikával, melynek eredményeképpen valós idejű digitális leképezést kaphatnánk, kárfelméréseket végezhetnénk egy HBIM alapokon nyugvó Digital Twin segítségével.

A téma komplexitása és a tárgykörhöz tartozó technológia kiforratlansága további kutatásokra invitál, melyet akár egy magasabb szintű kutatási folyamatban is érdemes lehet vizsgálni.

JEGYZÉKEK

Ábrajegyzék

1. ábra UNeECC Annual Conference 2023 – Veszprém - logo	5
2. ábra Munkafolyamat	6
3. ábra Veszprém Eötvös Károly Megyei Könyvtár	7
4. ábra Az 1998-ban épült új épületszár	8
5. ábra A lézerszkennerek működése	10
6. ábra PolyCam alkalmazással scannelt nappali, generált 3D modellelemekből	12
7. ábra Lézerszkenneres pontfelhő ábrázolás ReCAP szoftverben	15
8. ábra Fotogrammetria módszerrel készített pontfelhő Agisoft Metashape szoftverben	16
9. ábra LiDAR technológiával készített pontfelhő Polycam szoftver használatával (Pontfelhő perspektíva fent; Alaprajz lent)	17
10. ábra Alaprajz készítése helyszínen 3D modellelemekkel iPaden, OrthoGraph szoftver használatával	19
11. ábra Hagyományos manuálé készítése iPaden, Nebo alkalmazás használatával	20
12. ábra Homlokzat ornamentikájának részletezettsége	24
13. ábra Pontfelhő felmérési fájlok importálása ReCAP szoftverbe	25
14. ábra Teljes pontfelhő ReCAP szoftverben	26
15. ábra PointCab szoftverbe importált pontfelhő 3 nézete	27
16. ábra Pontfelhő alaprajzi nézetében generált vonalak falak mentén	27
17. ábra Aurivus pontfelhő osztályozó szoftver	29
18. ábra CloudCompare szoftver kezelési platformja (Eredeti pontfelhő fent; Generált felületháló lent)	30
19. ábra HBIM készítésének lépései	32
20. ábra HBIM modell készítése pontfelhőből	33
21. ábra Grasshopper szkript	35
22. ábra Vonalból szkriptek használatával átalakított parametrikus falak	36
23. ábra Parametrikusan létrehozott falak ArchiCAD-ben	37
24. ábra Lovel of Detail (LoD) modell részletezettségi szintek	38
25. ábra ArchiCAD szoftverben elkészített LoD 300 részletezettségű modell látványterve ...	39
26. ábra Lézerszkenneres és fotogrammetrikus pontfelhő összeillesztve	40
27. ábra Egyedileg elkészített műemléki ablak	41
28. ábra Egyedi könyvtári elemek könyvtárkezelőben	41
29. ábra Dalux szoftver logója	44
30. ábra Dalux szoftver kezelési platformja (HBIM modell perspektivikus ábrázolása balra; HBIM modell alaprajzán felvett hibajegyek jobbra)	44
31. ábra T11 számmal jelölt korrózióra vonatkozó hibajegy részletei	45
32. ábra Hibajegyek listája	46
33. ábra Hibajegyek / feladatlista	47
34. ábra Veras szoftver logója	48
35. ábra HBIM modell renderképe	49
36. ábra Mesterséges Intelligencia által generált képek a 35. ábra alapján	49

Táblázatjegyzék

1. Táblázat Lézerszkennerrel készített pontfelhő pontsűrűsége a mérési erősség és a mérési távolságok függvényében.....	14
2. Táblázat Felmérési eljárások összehasonlítása	21
3. Táblázat Felhasznált feldolgozási módszerek alkalmazhatósága.....	31
4. Táblázat A parametrikus pontfelhő feldolgozás és a HBIM készítésének gyakorlati hasznosítása	42

FELHASZNÁLT IRODALOM

Chuck Eastman – Paul Teicholz – Rafael Sacks – Kathleen Liston: BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, Egyesült Államok, ISBN 1119287537, 9781119287537, 2018, 688p.

Zagorác Márk - Szabó Beatrix - Kari Szabolcs - Tiszavölgyi Karolina - Turányi József - Wagner Szilvia: BIM – kézikönyv, Bevezetés az épületinformációs modellezésbe, Lechner Nonprofit Kft., Budapest, 2018, 128p.

Ajtayné Károlyfi Kitti: BIM Bevezető, Tartószerkezeti BIM, 2020.09.02, Győr, Széchenyi István Egyetem, 2020

Ramona Quattrini - Roberto Pierdicca - Christian Morbidoni: Knowledge-based data enrichment for HBIM: Exploring high-quality models using the semantic-web, Journal of Cultural Heritage, Vol. 28, 2017, pp. 129 - 139.

Massimiliano Pepea – Domenica Costantinoa – Vincenzo Saverio Alfioa – Alfredo Garofalo Restuccia – Nicola Massimiliano Papalino: Scan to BIM for the digital management and representation in 3D GIS, Journal of Cultural Heritage, Vol. 50, 2021, pp. 115 – 121.

Bruno Daniotti – Marco Gianinetto – Stefano Della Torre: Digital Transformation of the Design, Construction and Management Processes of the Built Environment, Springer Open, Milan, Italy, ISBN 978-3-030-33569-4, 2019, 391 p.

Raffaella Brumana - Stefano Della Torre – Mattia Previtali - Luigi Barazzetti – Lorenzo Cantini - Daniela Oreni – Fabrizio Banfi: Generative HBIM modelling to embody complexity (LOD, LOG, LOA, LOI): surveying, preservation, site intervention—the Basilica di Collemaggio (L'Aquila), Applied Geomatics, Vol. 10, 2018, pp. 545–567.

Vereckei Szilvia: A „múlt” digitalizálása, BME Építésmérnöki Kar TDK, 2017, Budapest, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2017.

Stephen Fai - Katie Graham - Todd Duckworth - Nevil Wood - Ramtin Attar: Building Information Modelling and Heritage Documentetion, XXIII CIPA International Symposium, 12th- 16th September 2011, Prague, Czech Republic, 2011.

Sofia Antonopoulou – Dipl-Ing Arch – MSc Arch Cons – Paul Bryan BSc – FRICS.: BIM for Heritage, Developing a Historic Building Information Model, Historic England, Swindon, England, ISBN 978-1-848-02487-8, 2017, p. 78

Filippo Diara: HBIM Open Source: A Review, International Journal of Geo-Information, Vol. 11(9), No. 472, 2022, 18 p.

Taehoon Kim - Soonmin Hong - David Stephen Panya - Hyeongmo Gu - Hyejin Park - Junghye Won - Seungyeon Choo: Development of technology for automatic extraction of architectural plan wall lines for concrete waste prediction using point cloud, International Conference for The Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, 9-15th April 2022, Sydney, Australia, Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA), Vol. 2, pp.597-606.

Camille Gourguechon – Hélène Macher – Tania Landes: Automation of as-built bim creation from point cloud: an overview of research works focused on indoor environment, XXIV ISPRS Congress “Imaging today, foreseeing tomorrow”, Commission II 2022 edition, 6–11 June 2022, Nice, France, Jun 2022, Nice, France. pp.193-200.

Valeria Croce - Marco Giorgio Bevilacqua - Gabriella Caroti - Andrea Piemonte: Connecting geometry and semantics via artificial intelligence: from 3d classification of heritage data to h-bim representations, XXIV ISPRS Congress, June 2021, pp.145-152.

Oscar Gámez Bohórquez – William Derigent – Hind Bril El-Haouzi: Parametric point cloud slicing for facade retrofitting, International Journal of Architectural Computing, Jul 2021, Epinal, France, Université de Lorraine, HAL Open Science, 2021, 15 p.

Mesrop Andriasyan – Juan Moyano – Juan Enrique Nieto-Julián – Daniel Antón: From Point Cloud Data to Building Information Modelling: An Automatic Parametric Workflow for Heritage, Remote Sensing, Vol. 12(7):1094, March 2020, 22. p.

N.M. Elabd – Y.M. Mansour – L.M. Khodier: Utilizing innovative technologies to achieve resilience in heritage buildings preservation, Developments in the Built Environment, Vol. 8, 2021, 13 p.

Liang Zixin – Géza Várady – Márk Balázs Zagorác: Application of visual simulation in the activation of historical district, Pollack Periodica - An International Journal for Engineering and Information Sciences, Pollack Periodica 17 (2022) 2, 168–174.

Facundo José López – Pedro M. Leronés – José Llamas – Jaime Gómez-García-Bermejo – Eduardo Zalama: A Review of Heritage Building Information Modeling (H-BIM), Multimodal Technologies and Interact, Vol. 2, No. 2, 2018, pp. 1-30.

Caetano, I.; Santos, L.; Leitão, A. Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design. Front. Arch. Res. 2020, 9, 287–300.

Chuck Eastman – Paul Teicholz – Rafael Sacks – Kathleen Liston : BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, Egyesült Államok, ISBN 1119287537, 9781119287537, 2018, 688p.

Sofia Antonopoulou – Dipl-Ing Arch – MSc Arch Cons – Paul Bryan BSc – FRICS.: BIM for Heritage, Developing a Historic Building Information Model, Historic England, Swindon, England, ISBN 978-1-848-02487-8, 2017, p. 78

<https://www.kitervezte.hu/epuletek/kultura/eotvos-karoly-megyei-konyvtar-veszprem>

(letöltve: 2023.10.23)

<https://www.mdpi.com/1424-8220/22/1/265>

(letöltve: 2023.11.06.)

<https://ithon.hu/mit-is-tud-az-iphone-ok-lidar-szkennere/>

(letöltve: 2023.11.06.)

MELLÉKLETEK