



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SAKDOLOOZAT

Épületinformációs modellezés (BIM) és földi lézerszkennelési technológiák alkalmazási lehetőségei

OE-AMK

2023

Hallgató neve: Avarkeszi Katalin

Hallgató törzskönyvi száma: T000571/F112904/A-G



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Avarkeszi Katalin

Szakdolgozat száma: [REDACTED]

Törzskönyvi száma: T000571/FI12904/A-G

Neptun kódja: [REDACTED]

Szak: földmérő és földrendező mérnök

Specializáció: Geoinformatika specializáció

A dolgozat címe: Épületinformációs modellezés (BIM) és földi lézerszkennelési technológiák alkalmazási lehetőségei

A dolgozat címe angolul: Applications of Building Information Modelling (BIM) and terrestrial laser scanning technologies

A feladat részletezése:

Mutassa be a BIM modellezés elméleti háttérét, jelenlegi helyzetét a hazai tervezési gyakorlatban. Végezze el egy szabadon választott épület lézerszkenenres felmérést, a BIM modelljének felépítését. Összegezze tapasztalatait.

Intézményi konzulens neve: Dr. Tóth Zoltán

A kiadott téma elévülési határideje: 2026. 02. 10.

Beadási határidő: 2023. 12. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2023. 10. 24.



[Signature]

Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom: 2023. 12. 15.

[Signature]

belső konzulens

külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet



HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatban található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Kelt: Budapest, 2023. december 7.



.....
hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	1
2.	Épületinformációs modellezés	2
2.1	Mi az a BIM?	2
2.2	A BIM alkalmazási területei	2
2.3	A BIM hazai helyzete.....	2
2.4	OpenBIM munkafolyamatok	3
2.5	A BIM dimenziói	3
2.6	Modellelemek minőségére és tartalmára vonatkozó fogalmak	4
2.6.1	Modellelemek geometriai követelményei (LOG és LOD)	4
2.6.2	Modellelemek információtartalma (LOI, LOIN).....	6
2.6.3	Osztályozás, klasszifikáció	6
2.7	Minőségbiztosítás, minőségellenőrzési folyamatok.....	6
3.	Lézerszkennelési technológiák	8
3.1	A lézerszkennelés elve	8
3.2	A lézerszkennelési technológiák csoportosítása	9
3.3	A földi lézerszkennelésről bővebben	11
3.4	A felhasznált lézerszkennerekről	11
4.	Scan to BIM	13
4.1	A lézerszkennelés elterjedése előtt – felmérés analóg módszerekkel.....	13
4.2	Scan to BIM	14
4.3	Felmérési BIM modell	15
4.4	Heritage BIM	16
4.5	Építéskövetés.....	17
4.6	Megvalósulási BIM modell.....	18

4.7	FM – üzemeltetési BIM modell	19
5.	A veleméri templom felmérése	20
5.1	Veleméri Szentháromság templom	20
5.2	Felmérés megtervezése	20
5.3	Geodéziai mérések	21
5.3.1	Műholdas helymeghatározás.....	21
5.3.2	Poláris részletpontmérés	24
5.4	A templom lézerszkenneres felmérése	25
5.4.1	Statikus lézerszkennelés	26
5.4.2	Mobil lézerszkennelés.....	31
6.	Mérések feldolgozása	34
6.1	GNSS mérések feldolgozása	34
6.2	Alappontok és részletpontok számítása	34
6.2.1	Alappontok kiegyenlítése	35
6.2.2	Részletpontok koordinátáinak kiszámítása	35
6.2.3	Transzformáció	36
6.3	Pontfelhők feldolgozása	37
6.3.1	Cyclone REGISTER 360	37
6.3.2	Importálás és beállítások.....	37
6.3.3	Regisztrálás	39
6.3.4	Pontfelhő tisztítása	43
6.3.5	Georeferálás	44
6.3.6	Végtermék előállítása, publikálás	47
6.3.7	Tisztítás CloudCompare programban	47
6.3.8	Pontfelhők összehasonlítása CloudCompare programban.....	48

7.	BIM Modellezés	53
7.1	BIM modell létrehozása Archicadben.....	54
7.1.1	Pontfelhő modul és felmérési pont	54
7.1.2	Modellezés	58
7.1.3	Modellelemek paraméterezése.....	61
7.2	IFC exportálása	63
7.3	Minőségellenőrzés.....	64
7.3.1	Modell és pontfelhő összehasonlítása Imerso-val	64
8.	Összefoglaló.....	68
9.	Summary.....	69
10.	Irodalomjegyzék	70
11.	Ábrajegyzék	73
12.	Táblázatok jegyzéke	75
13.	Mellékletek	76

1. BEVEZETÉS

Építészmérnökként régóta foglalkozom épületfelmérésekkel és modellezéssel. Szempont volt, hogy az építészetet és földmérést jól összekapcsoló témát válasszak a szakdolgozatomhoz. Amikor a munkám és tanulmányaim kapcsán megismerkedtem a lézerszkennelés technológiájával és a pontfelhő adta lehetőségekkel, lenyűgözött, hogy ezáltal az épített környezet minden korábbinál gyorsabban leképezhető és pontosabban modellezhetővé válik. Az épületinformációs modellezés (BIM) egyre nagyobb teret nyer az építőipar különböző területein, a meglévő épületek modellezésétől kezdve, a tervezésen át, az építéskövetésen keresztül egészen az épületüzemeltetésig. A valóság digitális másának megmodellezéséhez a lézerszkennelés gyors, hatékony és pontos alapot tud nyújtani.

Szakdolgozatom első fejezeteiben bevezetést nyújtok az épületinformációs modellezésbe, továbbá ismertetem a lézerszkennelés alapjait, majd azzal foglalkozom, hogy a BIM és a földi lézerszkennelési technológiák milyen közös alkalmazási lehetőségeket rejtenek. Egy műemléki épület különböző módszerekkel történő lézerszkenneres felmérésén és modellezésén keresztül pedig a Scan to BIM munkafolyamat konkrét lépéseit mutatom be, a fellépő kihívásokkal és a módszer adta előnyökkel együtt. A mérések feldolgozása, a létrejött pontfelhők összehasonlítása modellezhetőségi szempontból, majd maga a BIM modell felépítése is a része ennek a folyamatnak. Vizsgálom, hogy mi az a geometriai pontosság, ami elérhető, illetve érdemes elérni a modellezés folyamán egy ilyen léptékű épületnél, és hogy a kitűzött határértékeket mennyire sikerül tartani a folyamat végére. Arra a kérdésre is igyekszem válaszolni, hogy egy ilyen típusú épületnél milyen információtartalommal érdemes felruházni az egyes modellelemeket, és ennek mi tud a forrása lenni.

2. ÉPÜLETINFORMÁCIÓS MODELLEZÉS

2.1 Mi az a BIM?

A BIM betűszó a Building Information Modeling kifejezésből származik, egy olyan, jellemzően az építőiparban használt, innovatív munkamódszert, attitűdöt takar, amely szoftveres segítséggel optimalizálja az épületek tervezési, kivitelezési és üzemeltetési fázisait. Egy másik megközelítés szerint, a BIM egy létesítmény funkcionális és fizikai jellemzőinek digitális megjelenítése, ábrázolása, ezáltal a létesítménnyel kapcsolatos különböző információk megosztott tudásforrása, amely a döntéshozás megbízható alapját képezi a létesítmény egész életciklusa során. Az életciklus a kezdeti koncepciótól egészen a bontásig értendő. [1] Fontos kiemelni, hogy a BIM nem egy CAD-szoftver. Eredeti értelmezésben információtartalommal rendelkező háromdimenziós modell létrehozását jelentette, amelyhez jellemzően BIM-modell előállítására alkalmas CAD szoftver szükséges. Az elnevezés végén lévő „M” betű újabban gyakran inkább a Management szóra utal, mivel a modellezésen és a különböző modellelemek információval történő felruházásán túl a módszer használata az adott építmény életciklusának összes fázisán átívelhet. [2] Magyarul legtöbbször épületinformációs vagy építményinformációs modellezésként/menedzsmentként hivatkozunk rá. Jelen szakdolgozat inkább a BIM építészeti megközelítésére fókuszál, kevésbé az infrastrukturális oldalára, így az épületinformációs modellezés megnevezést fogom használni.

2.2 A BIM alkalmazási területei

A BIM munkafolyamatok felhasználási lehetőségei széles spektrumot fednek le. Az elterjedtebb alkalmazási területek – a teljesség igénye nélkül – a tervezési tevékenységek támogatása, a modell- és tervellenőrzés, térbeli koordináció, aktuális állapot rögzítése, különböző mérnöki analízisek (energetikai, szerkezeti stb.), ütemtervezés, költségvetéskészítés, kivitelezéskoordináció, építéskövetés, megvalósulási állapot rögzítése, üzemeltetés. [2] A Scan to BIM munkafolyamatokkal részletesebben a 4. fejezet foglalkozik.

2.3 A BIM hazai helyzete

Magyarországon az építőipar digitalizációja sok szempontból még gyerekcipőben jár. Hivatalos nemzeti BIM-szabvány egyelőre nincs, külföldi BIM szabványok bizonyos részei

vannak átültetve magyar szabványokba. A Lechner Tudásközpont 2018-ban adott ki egy, a jövőben több kötetesre tervezett BIM-kézikönyvet, amely a hivatalos szabvány elkészültéig iránymutatásként tud szolgálni az építőipar és építésügy számára. Az idén elfogadott, az állami építési beruházások rendjéről szóló 2023. évi LXIX. törvény minden bizonnyal fel fogja gyorsítani az ipar digitalizációs átállását. A törvény 38. § (1) pontja értelmében 2024-től azon állami beruházásoknál, amelyek becsült értéke eléri az uniós közbeszerzési értékhatárt, az építtető köteles BIM-alapú műszaki megvalósítási rendszert alkalmazni a beruházás teljes életciklusán át. [3] Az állami szektor ilyen irányú figyelme a későbbiekben akár a BIM közigazgatásban, engedélyeztetési eljárásokban történő felhasználását is előmozdíthatja.

2.4 OpenBIM munkafolyamatok

Az OpenBIM-alapú környezetben az egyes résztvevők különböző szoftvercsomagokat használhatnak, az elsődleges szempont az, hogy az egyes feladatokhoz a legalkalmasabb programmal dolgozzanak. Mivel nem a szoftverek natív formátuma szolgál információátadásra (ez például Archicadnál PLN, PLA, Revitnél RVT kiterjesztés), felvetődik az igény egy olyan nyílt forráskódú formátumra, amely közös nyelven keresztül teszi lehetővé az információcsere és koordináció követelményeit, függetlenül a különböző célokra használt szakági szoftverektől. [4] Jelen esteben ez az IFC, Industry Foundation Classes angol kifejezés betűszava. Az IFC formátum és szabvány fejlesztője a buildingSMART International, tartalmazza az ISO16739:2013 ISO szabvány, és honosítva belekerült az MSZ EN ISO16739:2017 magyar szabványba is. [2]

2.5 A BIM dimenziói

A BIM dimenziói arra az információtartalomra és információmennyiségre vonatkoznak, amellyel az egyes modellelemek felruházzhatók. Ezekre a dimenziókra csak az ötödik szintig van világszerte egységes konszenzus.

- 2D: kétdimenziós elemek
- 3D: háromdimenziós elemek
- 4D: az időtényező, amely az építési ütemezést teszi tervezhetőbbé
- 5D: költségtényező

Az Egyesült Királyságban például a 6D az üzemeltetéssel és karbantartásokkal kapcsolatos adatokra vonatkozik. De van olyan értelmezés is, ahol a 6D a fenntarthatósági vagy életciklus-elemzéshez felhasználható információkra utal. Továbbá van, ahol megjelenik a biztonság is mint dimenzió, ide tartozhatnak például a menekülési és kiürítési útvonalakra vonatkozó információk.



1. ábra BIM dimenziók [4]

Pont az egyértelműség hiánya miatt fontos mindig tisztázni a konkrét információk elvárásokat, vagyis, hogy egy adott projektnél milyen információtartalom-követelmény társul a meghatározott BIM dimenzióhoz.

2.6 Modellelemek minőségére és tartalmára vonatkozó fogalmak

2.6.1 Modellelemek geometriai követelményei (LOG és LOD)

A LOD betűszó a Level of Development/Detail angol kifejezésből származik. Magyarul fejlettségi vagy részletezettségi szintnek hívják. Némileg átfedésben van az LOG, vagyis Level of Geometry szinttel. Ezeket a szinteket jellemzően valamilyen szabványosított vagy egyedileg fejlesztett klasszifikációs rendszerre vonatkoztatják, ezek közül a legelterjedtebbek az amerikai Uniformat és OmniClass (LOD) és az angol UniClass 2015 (LOG).

LOD 100 – LOG 1: Ez ritkán definiált szint, általános helyzetmegjelölőként lehet értelmezni, amely nem indikál valódi elemgeometriát, inkább az a célja, hogy a modellt IFC formátumba exportálva a modellemhez egyéb információkat lehessen rendelni. Ez a szint még nem tesz térbeli koordinációt lehetővé.

LOD 200 – LOG 2: Itt a cél, hogy vizuálisan felismerhető legyen az épületelem, de legalábbis a kiterjedése és a helyigényszükséglete már a valósághoz közelebb álljon. E szinten a modellemek fő sajátosságai már azonosíthatók, pl. ajtószárnyak száma. A rendel-

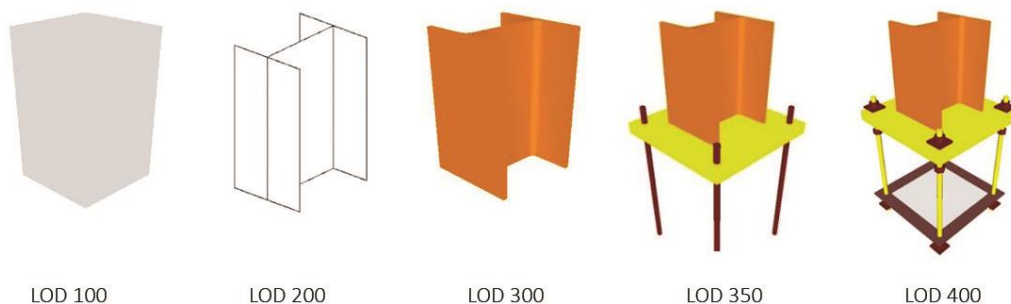
kezésre álló geometriai információ már lehetővé tesz alapszintű térbeli koordinációt (üt-közésvizsgálatot). Mennyiségkinyerésénél legfeljebb darabszámokat nyerhetünk ki pontosan, egyébként közelítő értékeket. Jellemzően az engedélyezési tervfázisnál elegendő ez a szint, de ez projektenként változhat.

LOD 300 – LOG 3: Az épületelemek már részletesebb, pontosabb geometriát mutatnak, és ábrázolva vannak a fő elemkapcsolatok. Az elemek pontos méret- és pozíciómeghatározása egyértelműen lehetővé teszi a szakágak közötti térbeli koordinációt. Elemszinten pontos mennyiségkinyerést tesz lehetővé, továbbá számíthatók származtatott mennyiségek is a modellelemekből. Jellemzően ez a kiviteli tervnél elvárt elemrészletezettségi szint, de ez is eltérhet projektenként.

LOD 350: A LOD 300 és LOD 400 közötti részletezettségi szintet jelöl, az angol NBS rendszerben nincs megfeleltetett számozása.

LOD 400 – LOG 4: Ennek a szintnek a célja a gyártói szintű részletezettségű modellelemek (nem gyártmányterv) vizualizációja és a teljes térbeli koordináció támogatása. Az elemkapcsolatok részletesek. Mennyiségkinyerés szempontjából elem és alkotóelem szinten is pontos.

LOD 500 – LOG 5: Beépítésre került termék szinten ábrázolja a modellelemet, akár üzemeltetéshez is megfelelő geometriai részletezettséggel. Helyszíni felmérést igényel, egyelőre ritka. [5]



2. ábra Acél pillér LOD szintjei [Ikerd.com]

2.6.2 Modellelemek információtartalma (LOI, LOIN)

Level of Information, illetve a Level of Information Need, vagyis a szükséges információszint határozza meg az információ minőségi, mennyiségi és részletezettségi követelményeit. A modellelemekhez rendelt információtartalom az egyes projektfázisok BIM alkalmazási céljait és módjait támogatja. Az adott projekten elvárt tervfázishoz kötött információtartalom és paraméterigények projektszinten kerülnek meghatározásra.

A modellelemek információtartalma nagyban függ a modellek felhasználási igényétől, pl. csak térbeli koordináció, együttműködés társtervezőkkel vagy mennyiségkinyerés, költségbecslés stb. Az erre vonatkozó követelmények jellemzően bővülnek is a projekt előrehaladtával, ahogy tervezés folyamán fejlődnek a modellek és egyre több döntés születik, részletesebb ismereteink lesznek az építőelemekről. [5] Az információ paraméterekként adható meg a különböző modellelemeknek, a tulajdonságokat szoftveres vagy egyedileg meghatározott tulajdonságkészletekbe (angolul Pset, PropertySet) rendezve. Ezáltal a modell képezi magát az adatbázist.

2.6.3 Osztályozás, klasszifikáció

A 2.5.1 pontban említett klasszifikációk segítségével az épületszerkezet, modellelemek osztályokba sorolhatók, csoportosíthatók, amely megkönnyíti a későbbi adatkinyerést, lekérdezéseket. [2] Jelen szakdolgozatnál az IFC kimentésnél lesz majd jelentősége a klasszifikációnak, vagyis az Archicaden belüli elemmegfeleltetésre korlátozódik az osztályozások bemutatása.

2.7 Minőségbiztosítás, minőségellenőrzési folyamatok

A BIM modellek minőségének ellenőrzésére több lehetőség is van. Általában maga a modellező szoftver is lehetővé tesz bizonyos mértékű minőségellenőrzési folyamatokat, akár lekérdezések, akár grafikus felülírások segítségével, vagy elemduplikátumok automatikus kiszűrésével, sőt beépített ütközéskeresési funkcióval. Azonban, amint több különböző szakág modelljeit akarjuk együttesen vizsgálni, és azokról visszajelzést küldeni, akkor érdemes az erre specializált szoftverek egyikét használni. A konszolidált modellé egyesített szakági modellek térbeli koordinációt és ütközésvizsgálatot tesznek lehetővé,

vagyis előre meghatározott szabályrendszer alapján történő geometriai ütközések kimutatását. BIM koordinációra számos szoftver található meg a piacon, ezek közül szemezve, a saját gyakorlatom során használt alkalmazásokat a 1. táblázat mutatja röviden be.

1. táblázat BIM koordinációs alkalmazások

	Solibri Office	Catenda Hub	BIMcollab ZOOM	BIMcollab Cloud
Automatizált minőségbiztosítási szoftver	x		x	
Felhőalapú együttműködési platform		x		x
BIM modellek 3D megjelenítése	x	x	x	
Pontfelhő-kompatibilitás		x	x	
Ütközésvizsgálat	x		x	
Információtartalom ellenőrzése (audit)	x	x *	x	
Dokumentumok feltöltése (CDE)		x		
Beépülő modul tervező szoftverekbe	x **	x		x
Van ingyenes/próbaverzió	x		x	x
Logo				

* kevésbé automatizálható

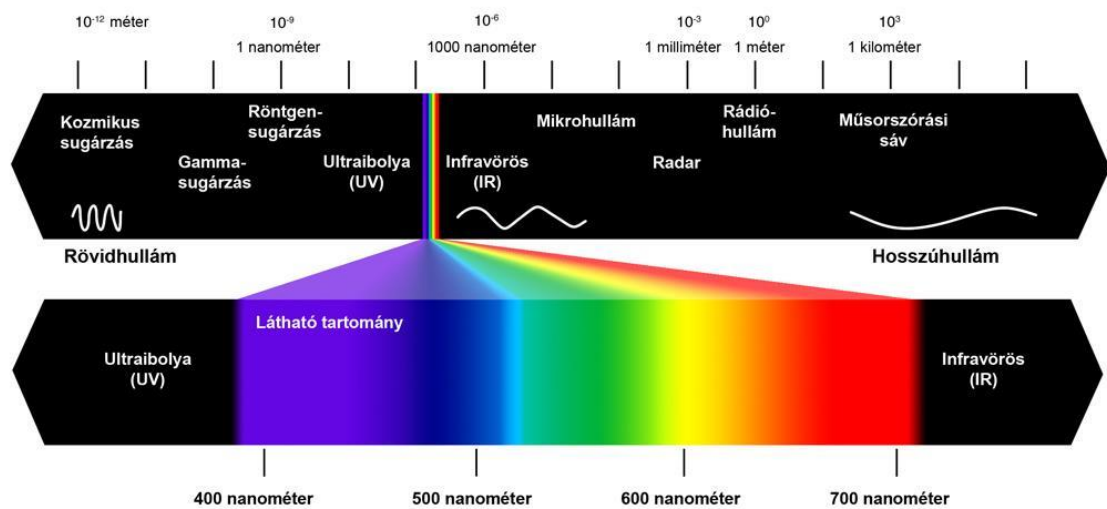
** csak Archicad add-on

3. LÉZERSZKENNELÉSI TECHNOLOGIÁK

3.1 A lézerszkennelés elve

A lézerszkennelés a távérzékelés egy gyorsan fejlődő ága. A távérzékelés egy olyan adatnyerési módszer, amely során valamely objektumról, illetve annak sajátosságairól anélkül gyűjtünk adatokat, hogy az adott objektummal közvetlen kapcsolatba kerülnénk. A lézerszkennelés működési elve szerint aktív távérzékelési módszer, hiszen a műszer a saját maga által kibocsátott lézersugarakat használja a mérés során. [6] Ebből kifolyólag akár éjjel is alkalmazható és nehezen elérhető, esetleg megközelíthetetlen objektumokról, területekről is lehet ezen az elven adatokat gyűjteni. [7]

A lézer az elektromágneses sugárzás, azaz a fény egy speciális fajtája. Fény alatt hétköznapi használatban jellemzően a látható tartományba eső sugárzásra gondolunk.



3. ábra Elektromágneses spektrum [8]

A lézerszkennelésnél azonban a látható és a közeli infravörös tartományban lévő lézerek használata az elterjedt. Maga a lézer (laser) szó angolul a Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation kifejezés betűszava. Magyarul fénykibocsátás útján kényszerített fényerősítésként lehet értelmezni. A lézer ún. stimulált emissziót használ az egybe-függő fénysugár létrehozásához.

A lézersugárzás jellemző tulajdonságai:

- **időben és térben koherens**, a kibocsátott hullámok fázisa a lézersugár különböző keresztmetszeteinél azonos
- **a lézernyaláb széttartása nagyon kicsi**, vagyis többnyire párhuzamos lézersugarakból áll, amellyel nagy energiasűrűség érhető el
- **a lézerfény energiája kis térrészben** tud koncentrálni
- **polarizáció**, a hullámok mágneses mezejének az iránya állandó
- **egyszínű, monokróm** a lézer fénye, mivel közel azonos hullámhosszú összetevőkből áll az elektromágneses hullám [9]

A lézerszkennelés vagy 3D-s szkennelés angolul LiDaR néven ismert, amely a Light Detection and Ranging kifejezésből származik. Magyarul egyszerűen lézeralapú távérzékelésnek lehet fordítani. A lézerszkennelés előnye, hogy viszonylag rövid idő alatt rendkívül sok pont felmérését és rögzítését teszi lehetővé, mindezt nagy pontossággal. A későbbiekben ismertetett Leica BLK2GO mobil szkennер másodpercenként akár 420.000 pont, míg a Leica RTC360 statikus szkennер akár kétmillió pont rögzítésére is alkalmas.

A lézerszkennelés eredménye a nagyfelbontású pontfelhő (angolul point cloud), azonban a nyers pontfelhő még nehezen felhasználható, jellemzően szükség van utófeldolgozásra.

3.2 A lézerszkennelési technológiák csoportosítása

A lézerszkennelési technológiákat többféleképpen lehet csoportosítani, és alkalmazásuk nagyban függ az adott feladat terjedelmétől, pontossági követelményeitől. A kategorizálás terén lehetnek eltérések a különböző szakirodalmi források között, mindezek a technológia fejlődésével is változnak.

A geodéziai munkák tekintetében a **távolság meghatározásának módszere** szerint időmérési és fázismérési műszereket különböztetünk meg. Az időmérési, angolul Time of Flight (ToF) működési elv jellemzően nagyobb hatótávolságú, valamivel lassabb és a pontossága is elmarad a fázismérési lézerszkennerektől, legalábbis a kezdetekben így volt. Ennél a módszernél a kibocsátott impulzus futási idejét lehet megmérni, vagyis azt az időt, amely az impulzus kibocsátása és visszaérkezése között eltelik. Leegyszerűsítve a futási időt (t) megmérve és a vivőjel sebességét (v) ismerve, kiszámolható a ferde távolság (D).

$$D = \frac{vt}{2} \quad (1)$$

A fázismérési, angolul Phase based (PB) rendszerek folyamatos hullámot alkalmaznak, amelyhez korlátozottabb energiaszint társul, ezért kisebb a hatótávolságuk is, így a földi lézerszkennelésben az elterjedtebbek, viszont jellemző rájuk – az időmérési módszerhez képest – a nagyobb pontosság és rendkívüli gyorsaság. A fázismérési távmérésnél a mérőjel hullámhossza (λ) ismert, az f a mérőjel frekvenciája, a v pedig a jel terjedési sebessége.

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2)$$

A fázismérési távmérés alapképlete egyrészt áll n számú egész ciklusokból, illetve az úgynevezett maradéktávolságból (D_m), amely a csonkakiklusokból ($\Delta\lambda$) számítható, továbbá a fázismérési távmérésnél is oda-vissza teszi meg a mérőjel a mérendő távolságot. [7] Tehát:

$$D = n \frac{\lambda}{2} + D_m \quad (3)$$

A lézer hatótávolságától függően beszélhetünk:

- nagy hatótávolságú – 150-1000 m
- közepes hatótávolságú – 1-150 m
- rövid hatótávolságú – 0,05-2 m szkennerekről.

A fenti értékek és kategóriák a technológia fejlődésével folyamatosan változnak.

A **műszer helyzetétől** függően lehet beszélni légi (airborne) és földi (terrestrial) lézerszkennelésről. Kezdetben a légi lézerszkennelés terjedt el. Ebben az esetben a szkennert egy repülő járműről mér, jellemzően repülőgépről, helikopterről vagy pilóta nélküli repülőgépről (UAV) vagyis drónról. A földi lézerszkennelés esetében a műszer a földfelszínen vagy annak közelében, vagy akár a Föld felszínén mozgó járművön helyezkedik el.

3.3 A földi lézerszkennelésről bővebben

A földi lézerszkennelés az 1980-as évek vége felé kezdett megjelenni. Angolul terrestrial laser scanning vagy röviden TLS. Működési elvében a lézeres távmérőhöz vagy mérőállomáshoz hasonlít, a lézersugár visszaverődik a mérendő objektum felületéről, ezáltal meghatározható a műszer és az adott pont távolsága. Továbbá ismerve a lézersugár vízszintes és magassági szögét, a felmérendő pont Y, X, Z koordinátái is meghatározhatók. A földi lézerszkennerek között is vannak időmérési és fázismérési műszerek. [7]

Megkülönböztethetünk ezen kívül statikus és mobil/dinamikus lézerszkennereket. Statikus lézerszkennelésnél a műszer a mérés alatt műszerlábba rögzítve mozdulatlan helyzetben van. Jellemzően jóval pontosabb és nagyobb hatótávolságú, mint a mobil megoldások. A mobil lézerszkennerek, ahogy nevéből is kiderül, a mérés közben mozgásban vannak, ez megvalósítható valamilyen mozgó platformra, járműre szerelve vagy akár kézben hordozva. A mobil szkennerek nagy előnye a gyorsaságuk. Megjegyzendő, hogy szokás az MLS (mobile laser scanning) technológiát a földi lézerszkennelésről (TLS) külön kategóriaként is kezelni.

3.4 A felhasznált lézerszkennerekről

A későbbi fejezetekben taglalt méréseknél két különböző technológiát használó műszerrel szkenneltük be a veleméri templomot. A Leica RTC360 lézerszkennerek az időmérési, földi és statikus lézerszkennerek csoportjába tartozik, míg a BLK2GO kézi (mobil) lézerszkennerek, úgynevezett GrandSLAM technológiával működnek. Ez a kifejezés három technológia együttes használatát jelenti. A SLAM betűszó a Simultaneous Localization and Mapping angol kifejezésből jön, és szimultán helymeghatározás és térképezésként lehetne fordítani. Egy olyan algoritmust jelent, amely lehetővé teszi, hogy a mérőműszer – esetünkben egy lézerszkennerek – mozgás közben feltérképezze a környezetét, és ez idő alatt ennek a térképnek a felhasználásával a térben a saját pozícióját is meg tudja határozni. [10] A GrandSLAM esetében a három technológia a LiDaR SLAM, a Visual SLAM és az IMU. A LiDaR SLAM a kibocsátott és a környezet elemeiről visszaérkező lézersugarak elemzésével segít meghatározni a szkennerek térbeli mozgását. A Visual SLAM a műszer három panorámakamerájának a segítségével voltaképp sorozatos előre- és hátrametszéssel az egymást követő fényképek közötti hasonlóságokból számolja a

szkenner mozgását a térben. A technológia alapját jelentő algoritmus a fotogrammetriában régóta használatos. Az IMU, vagyis Inertial Measurement Unit, magyarul inerciális mérőegység a műszer relatív elfordulásának és elmozdulásának a mérését végzi. A 2. táblázat a két műszer műszaki jellemzőit veti össze.

2. táblázat RTC360 és BLK2GO műszaki jellemzői [11] [12]

	Leica RTC360	Leica BLK2GO
Távmerési módszer	ToF (időméréses)	GrandSLAM (ToF)
Minimális mérési távolság [m]	0,5	0,5
maximális mérési távolság [m]	130	25
Pontosság – szögmérés ["]	18	+/-10 *** (beltér)
Pontosság – távmérés [mm]	1.0 + 10ppm	
Lézer hullámhossz [nm]	1550	830
Mérési gyakoriság [pont/s]	2 000 000	420 000
Szkennelési szögtartomány (vízszintes / függőleges) [°]	360/300	360/270
Tömeg [g] (akkumulátorral)	5350 (6030)	650 (775)
Lézerosztály	1	1
Távmerési zaj [mm]	0,4 @ 10m	+/- 3 * **
Nagyfelbontású fénykép [MPx]	36 (360° x 300°)	12 (90° x 120°)
Panoráma – 3-kamera r. [MPx]		4,8 (300° x 135°)

* 78% albedó esetén

** környezetfüggő

*** ellenőrzött körülmények között (2 perces szkennelési időtartam)

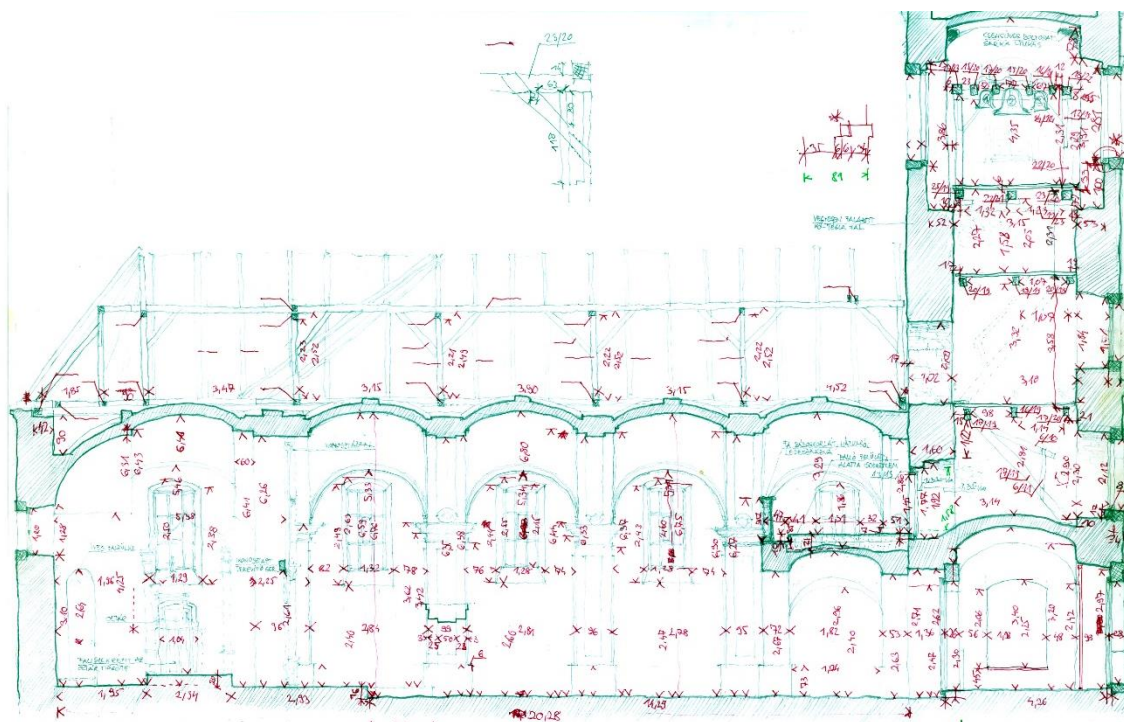
4. SCAN TO BIM

Felvetődik a kérdés, hogy miképp alkalmazható a lézerszkennelés az építészetben, építőiparban, és azon belül is a BIM területén. Valamint, hogy milyen módszerek és technológiák helyébe léphet egy sokkal pontosabb, adatgazdagabb, gyorsabb alternatívát nyújtva.

4.1 A lézerszkennelés elterjedése előtt – felmérés analóg módszerekkel

A lézerszkennelési technológiák utóbbi évtizedben tapasztalható szélesebb körű elterjedését megelőzően építészeti felmérési feladatoknál a mérőszalag, lézeres távmérő, szintező, alkalomadtán csöves vízmérték használata volt a megszokott. A felmérésnek kulcsfontosságú eleme volt a jól átlátható, lehetőleg a valóságot arányosan leképező manuálé. Példaként egy közepes méretű barokk templom alapos felméréséhez több ember, több napos munkájára volt szükség, hogy az épület alaprajzi, metszeti, homlokzati manunálé-ira minden releváns részlet, méret és információ felkerüljön, amiből aztán megfelelő felmérési tervek, rajzok készülhettek (4. ábra). Az idő előrehaladtával a 3D-s modellekre is egyre nagyobb igény alakult ki, amit a mérnökszakma és a szoftverek fejlődése is előidézett. Azonban egy – az adott célnak megfelelő – modell előállításához olyan részletekre is szükség lehet, amihez nem biztos, hogy a helyszínen készített alaprajzi, metszeti vagy homlokzati rajzok vagy akár az építményről készült (nem fotogrammetriai) fotódokumentáció elég információt tudnak nyújtani. Ilyen szempontból a földi lézerszkennelés alapjaiban változtatja meg az épített környezet leképezésének építészeti felhasználási lehetőségeit. Miközben a megnövekedett adatmennyiség feldolgozása, tárolása, archiválása kihívásokat is jelent. Illetve fontos megjegyezni, hogy a lézerszkennelési technológia térhódítása mellett a lézeres távmérő és a mérőszalag használata sem vesztek ki a gyakorlatból. Számos esetben, kisebb felmérési feladatnál nem is biztos, hogy indokolt, illetve

kifizetődő lézerszkenneres felmérést végez(tet)ni. Illetve műemléki célú, alakhű felmérési módszereknél a lézerszkennelés inkább kiegészítő adatrögzítésként tud szolgálni. [13]



4. ábra Garadnai görögkatolikus templom hosszmetsete [Forrás: Lendvay Á. építész]

4.2 Scan to BIM

A Scan to BIM olyan munkafolyamat, ahol a projekt tárgyát képező épületet vagy építményt vagy akár építési területet lézerszkennelési technikával mérik fel, majd a létrejövő adathalmazt (pontfelhőket és képeket) felhasználva készül el az adott objektum digitális BIM modellje. A folyamat a pontossági, részletezettségi és információtartalmi követelmények meghatározásával kezdődik, ami igazodik az adott projekt felhasználási és stratégiai céljaihoz. Ezután sor kerül a helyszíni lézerszkenneres felmérésre, amely kiegészülhet panorámaképek készítésével, illetve igény szerint helyszíni információgyűjtéssel. A korábban definiált pontossági követelmények, időtényező és a feladat sajátosságai határozzák meg, hogy milyen lézerszkennelési technológiá(ka)t érdemes bevetni, illetve, hogy milyen egyéb geodéziai mérésekre van szükség. A helyszíni felmérést követően az irodai feldolgozás során a pontfelhők összeillesztése, tisztítása, ritkítása, igény esetén georeferálása történik. Végeredményként rendelkezésre állnak a feldolgozott pontfelhők és

panorámaképek, amelyek segítségével elkezdődhet a modellezés. A projekt elején meghatározott pontossági és részletezettségi követelményeknek megfelelő mértékű generalizálással lehet az egyes épületszerkezeteket digitálisan felépíteni. A modell felépítése alapelemekből (mint falak, födémek, tetők, gerendák, ajtók, ablakok stb.), egyedi könyvtári elemekből (speciális profilok, egyedi nyílászárók) és automatizált folyamatokon keresztül létrejött elemekből történhet (fedélszékszerkesztő, terepgenerálás stb.). A modell elemei ezzel párhuzamosan vagy ezután metadatokkal, paraméterekkel lesznek ellátva. Az elkészült modell minőségellenőrzése kiterjedhet a modellkonzisztenciára, az információtartalmak helyességére, vagy a pontfelhő – modell egyezőség vizsgálatára. Az esetleg felmerülő korrigálások elvégzése után a BIM modell készen áll a projektben meghatározott felhasználási célokra. A végtermék lehet Archicad vagy Revit natív fájl, IFC fájlformátum, továbbá akár a modellből generált 2D tervek.



5. ábra Scan to BIM munkafolyamat [14]

4.3 Felmérési BIM modell

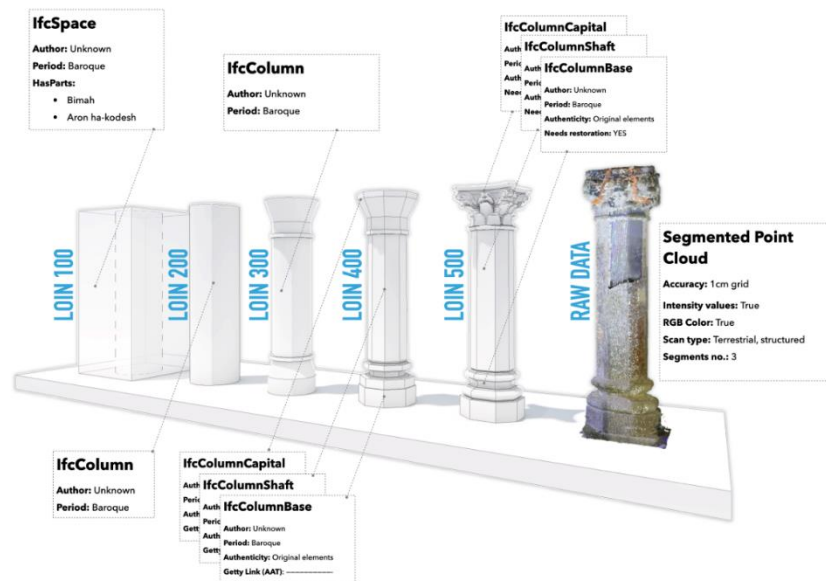
Az egyik leggyakoribb esete annak, amikor a modellezéshez szükséges felméréshez a lézerszkennelési technológiát használjuk. Jellemzően további tervezéshez, átépítéshez vagy akár bontási tervekhez is szükség lehet felmérési modellre. Az is elképzelhető, hogy a megrendelőnek a projekt idején csak az aktuális állapot rögzítésére van szüksége, a pontfelhő-állományon túl felmérési BIM modell formájában is. Amennyiben áttervezés céljára készül a modell, fontos, hogy a modell felépítése minél inkább támogassa a további feldolgozást. Ilyenkor hasznos – de nem kötelező érvényűen – ha már eleve abban a szoftverben készül a felmérési modell, amelyben a további munka is zajlani fog. Illetve gyakran a projekt BIM követelményeinek meghatározásakor is előre definiálva van a használandó szoftverek listája, akár verziószámmal. Magyarországon jellemzően

Archicaddel, kisebb számban Revittel dolgoznak az építészek, ugyanakkor a gépészek és elektromos tervezők körében a Revit az elterjedtebb. A tartószerkezeti tervezők többnyire Allplan és Tekla szoftverekben modelleznek. Előfordul igényként, hogy már eleve a megrendelő iroda Archicad alapfájlrendszere alapján épüljön fel a felmérési BIM modell, így is megkönnyítve az átmenetet a későbbi munkához. Fontos megjegyezni, hogy a következő pontokban bemutatott további kategóriák is alapvetően felmérési modellnek számítanak, csak annak speciális esetei.

4.4 Heritage BIM

A Heritage BIM, amit magyarul talán „műemléki BIM”-nek lehetne fordítani, a felmérési BIM modellezés egy speciális ága. Ebben az esetben a felméréndő objektumnál jellemzően műemléki védetség alatt álló vagy legalábbis történelmileg jelentős épített örökségről beszélünk. A külföldi szakirodalomban lehet a Historic BIM elnevezéssel is találkozni. Viszonylag új területe ez a BIM-nek, még inkább kutatási, kísérleti fázisban lehet különböző szakirodalmakban olvasni róla, és kevesebb a gyakorlati példa rá az újjépítésű projektekhez képest. Ennek az lehet az oka, hogy alapjában húzódik egy ellentmondás a BIM standardizált mivolta és a műemléki épületek szabálytalan, egyedi geometriája között. Ezáltal a Heritage BIM modell jellemzően nagyobb részletezettségű elemekből épül fel, amelyek speciális információtartalommal vannak felruházva: pl. építési időszak, eredetiség kérdése, az adott elem állapota, felújítandó vagy sem stb. Továbbá elképzelhető, hogy vannak olyan elemei egy ilyen objektumnak, amelyeket a hagyományos modellelemekkel, mint falak, födémek, gerendák, tetők, profilok stb. nem állíthatók elő kellő pontossággal. Ilyenkor úgynevezett mesh/felülethálók használata javasolt, amelyek bár pontosan le tudják követni az eredeti geometriát, későbbi szerkesztésre kevésbé alkalmasak. A meshek előállításánál gyakran fotogrammetriai módszerek és szoftvereket használata (is) javasolt, ahol aztán a végtermék beintegrálható a BIM modellbe. Emiatt az HBIM betűszóra külföldi szakirodalomban szoktak Hybrid BIM-ként is hivatkozni.

Azonban fontos hangsúlyozni, hogy a műemléki célokra folytatott lézerszkennelés és maga az HBIM modell is csak egy része, részfeladata lehet a műemléki, alakhű építészeti felmérésnek. [13] Nem helyettesíti, csupán kiegészítheti a helyszíni megfigyelések alapján készült, pontos állapotot tükröző részletrajzokat, feltárásokat, illetve a levéltári, tervtári és az archív fényképekre és ábrázolásokra vonatkozó kutatásokat.

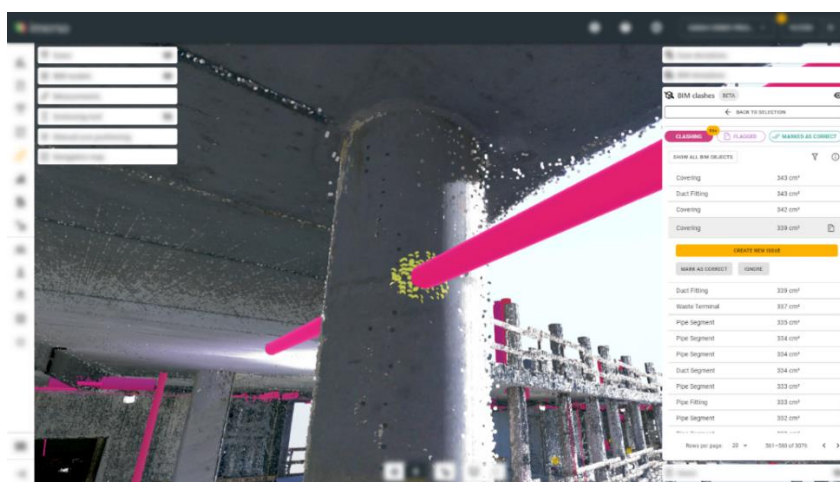


6. ábra HBIM barokk pillér megjelenítése [15]

4.5 Építéskövetés

Az építéskövetés lézerszenneres mérésekkel történő támogatása viszonylag új munkamódszernek számít. Az építéskövetés alatt nem is készül jellemzően BIM modell, csak a kivitelezési munkák egy-egy szakaszának befejeztével, megvalósulási modell formájában. Ezért az építéskövetés nem is feltétlenül megfeleltethető az 5. ábra alapján bemutatott munkafolyamattal, hiszen az építéskövetés alatt a kivitelezéshez készült tervezői BIM modellek és a helyszínen rögzített pontfelhők összehasonlítása történik. Ezáltal lekövetethetők az építési pontatlanságból adódó eltérések, a helyszínen „improvizált” döntésekből fakadó különbségek. Ez visszajelzés lehet a megrendelő számára a kivitelezés minőségével kapcsolatban, illetve a tervezők számára is, ha esetleg valamit módosítani kell a terveken (modellen) a helyszíni állapotok függvényében. Ilyen eset lehet például, ha egy fal- vagy födémáttörés kivitelezése nem a tervek szerinti pozícióban vagy méretben történik meg, és ez befolyásolja a későbbi gépészeti nyomvonalak vezetését. Az építkezés során a naprakész építéskövetéshez és később a megvalósulási modell előállításához több ütemben történik a megépült épületszerkezetek szkennelése is. Ezek a szakaszok többnyire összhangban vannak az építési fázisokkal. A megépült tartószerkezetek után és a belső szakipari munkák előtt fontos a gépészeti és elektromos szerelésekről is pontfelhőt készíteni, hogy még az eltakarás előtt rögzítve legyen a később „láthatatlan” nyomvonalak és

berendezések helyzete, mérete. Kihívást jelenthet a több hónapot, évet átívelő kivitelezés során biztosítani a pontfelhők regisztrálásához, georeferálásához használt kapcsoló-, illetve illesztőpontok mozdulatlanságát, védelmét, eltakarásának megakadályozását. A pontfelhő és 3D BIM modellek összehasonlítására olyan szoftverek állnak rendelkezésre, mint a norvég fejlesztésű Imerso, amely egy böngészőalapú alkalmazás. A felületen lehetőség van a pontfelhőt a BIM modellhez, illetve a modellt a pontfelhőhöz hasonlítani. Ezen kívül – bár még béta verzióban – de elérhető úgynevezett ütközésvizsgálati funkció is, amely a klasszikus BIM modellelemek közötti ütközéskeresés analógiájára, a már megépült (as-built) szerkezetek pontfelhőjét és a BIM modell még meg nem épült elemeit ütközteti, ezzel segítve a térbeli koordinációt. Megadható az elemek körüli védőtávolság is, amelyet – ütközés esetén – a program a pontok kisárgításával jelez.



7. ábra BIM ütközés pontfelhővel [<https://help.imerso.com/en>]

4.6 Megvalósulási BIM modell

A kivitelezés végéhez érve az építéskövetés folyamatának lezárása a megvalósulási modell létrehozása. Ez sok esetben a későbbi üzemeltetést is kiszolgáló modell. Ideális esetben elég átdolgozni a tervezői BIM modelleket a helyszínen megvalósult állapot alapján. Amennyiben nagyon sok és jelentős az eltérés az eredeti tervekhez képest, vagy esetleg a tervezési fázishoz képest más szoftverben igényli a megrendelő/üzemeltető a megvalósulási modellt, előfordulhat, hogy az alapokról kell teljesen felépíteni. Ideális esetben a megvalósulási BIM modell képezi a megvalósulási tervek alapját is.

4.7 FM – üzemeltetési BIM modell

Az üzemeltetési vagy létesítménygazdálkodási modell is a felmérési modellnek egy speciális változata. Az FM rövidítés az angol facility management szóból honosodott meg a magyar szakmai körökben. A BIM modell alapján üzemeltetést támogató adatbázis és rendszer hozható létre, például karbantartások ütemezésére vagy bérleményi területek kezelésére. A különbség jellemzően a modellelemek és ezáltal az elvárt pontfelhő részletezettsége, felbontása között van. Egy üzemeltetési modellnél sokkal inkább lehet a generalizálás, egyszerűsítés módszerével élni modellezés közben. Viszont olyan üzemeltetési szempontból jelentős objektumok feltüntetésére és modellezésére szükség van, amely például egy átervezés előtt álló, felmérendő épületnél nem feltétlenül lenne elvárás. Az üzemeltetési modell az aktuális állapotot akarja rögzíteni a meglévő gépészettel, radiátorokkal, szaniterekkel, tűzjelzőkkel, bizonyos esetekben beépített bútorokkal, mobíliákkal stb. A kvantitás fontosabb, mint a részletek. Vagyis az, hogy pontosan hány és mekkora teljesítményű radiátor található az épületben fontosabb, mint a homlokzatdíszek pontos megmodellezése. A modellelemekhez rendelt információk segítik az üzemeltetési feladatok elvégzését, a háromdimenziós modell a probléma helyének pontos azonosítását. A 3D-s helyiségpecséték használata, amelyekhez a modellben hozzá lehet kapcsolni az adott helyiségben megmodellezett tárgyakat, bútorokat, berendezéseket, pontos adatok szolgáltatásával segítheti a helyiséggazdálkodást és eszközmenedzsmentet. [5]

5. A VELEMÉRI TEMPLOM FELMÉRÉSE

Egy céges csapatépítő keretein belül 2023. áprilisában alkalmam volt az őrségi veleméri templom lézerszkenneres felmérésére.

5.1 Veleméri Szentháromság templom

Ez az Árpád-kori templom az ország nyugati határánál az Őrségben, Vas megyében található. A mára már 100 főnél is kevesebb lakosú település, Velemér szélén emelkedő kis dombon, a templomot lassan bekebelező erdő közepén áll. Az első okleveles említés 1360-as évekből származik a faluról és a Szentháromság tiszteletére felszentelt egyházzal. Az 1966-os felújítást megelőző kutatások során is azt állapították meg, hogy a templom a XIII. század második felében épülhetett. Az épület jellegzetes átmenetet képez a román és a gótikus stílus között. [16] Alaprajzi elrendezését a román korra jellemző falusi templomtípus hármas (torony – hajó – szentély) egysége jellemzi. A sokszögű szentélykialakítás gótikus vonás, és az ablakok is annak ellenére a gótika előszelei, hogy még románosan szűkek és a mérműveik is kezdetleges kialakításúak. A gótikára szintén jellemző támpilléreknek sincs nyoma, és boltozat is csak a szentélyben található. Művészettörténeti jelentőségét Aquila János falfestményeinek is köszönheti. [17]

5.2 Felmérés megtervezése

A mérések időbeni kivitelezését úgy sikerült megoldani, hogy a mérőállomással és GNSS vevővel történő felmérés szűk egy héttel megelőzte a lézerszkennelést. Ez azt is jelentette, hogy az illesztőpontok méréséhez nem volt érdemes mesterséges targeteket elhelyezni, hiszen azok mozdulatlanságát egyrészt nem tudtam volna biztosítani a két mérés között, továbbá jobbnak láttam a műemléki épületre nem elhelyezni mesterséges jelölőket. Ehelyett a pontfelhő későbbi georeferálásához úgy nevezett természetes targeteket használtam illesztőpontnak. A természetes targetek az építményen található olyan jellegzetes pontok, amelyek nagy megbízhatósággal és viszonylag nagy pontossággal meghatározhatók. Ilyenek lehetnek például ablaknyílások éleinek találkozása, díszítő szegélyek pontjai stb. [18] Veleméren a templomhomlokzat jellegzetes, kisméretű, négyzetes nyílásai (8. ábra), amik a kőfalazat építéséhez szükséges nehézállványzat bekötőgerendáinak nyomai, ideális illesztőpontnak bizonyultak, akárcsak a csúcsíves ablakok jellegzetesebb pontjai.



8. ábra A templom homlokzati nyílásai [saját kép]

5.3 Geodéziai mérések

A geodéziai mérésekhez az Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Karának Geoinformatikai Intézetétől tudtam kölcsönözni mérőállomást, prizmákat és GNSS vevőt.

- Foif RTS 332 mérőállomás és prizmák
A mérőállomás szögmérési pontossága 2", a távmérés pontossága prizmára 2 mm+2 ppm, direkt reflex módban 150 m-ig 3 mm+2 ppm.
- V100 Hi-Target hálózati GNSS RTK rover
A GNSS vevő GPS, Glonass, Galileo és Beidu műholdak vételére is alkalmas, RTK üzemmódban a horizontális pontossága 8 mm + 1 ppm, a vertikális pontossága 15 mm +1 ppm.

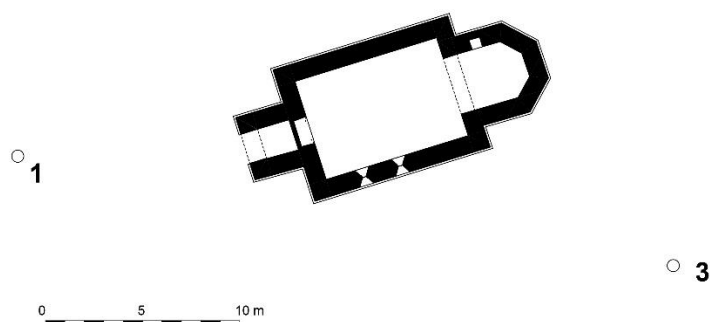
5.3.1 Műholdas helymeghatározás

A templom körül három álláspontot terveztem létesíteni (1-es, 2-es és 3-as pontok, 9. ábra), és GNSS vevővel meghatározni azok EOVS koordinátáit és Balti magasságukat, majd a pontokról mérőállomással az épület jellegzetes pontjait részletpontként megmérni. Fontos volt, hogy a három pontot úgy helyezzem el, hogy minden pontról meglegyen az összelátás lehetősége a másik két pontra is, és hogy a homlokzaton lehetőleg legyenek olyan mérendő pontok, amelyek több álláspontról is jól látszódnak. Mindeközben ügyelni próbáltam arra, hogy a környező magas fák minél kevésbé árnyékolják le a GNSS vevőt,

és az épülethez se legyenek az álláspontok túl közel. Mivel a GNSS vevőt kényszerközpontosan a műszerlábra helyeztem rá, mint utána a mérőállomást, ezért nem állandósítottam a terepen karóval a pontokat. A mérések során a műszertalp felső síkjától határoztam meg a GNSS vevő magasságát és a mérőállomás műszermagasságát, illetve a prizma jelmagasságát.

Az RTK roverhez Windows 10 alapú Carlson SurvCE szoftvert használtam. A program felhasználóbarát kezelőfelülettel rendelkezik. A szoftvert elindítva csatlakozni lehet a már korábban bekapcsolt roverhez. Létrehoztam egy új munkaállományt, majd beállítottam az antennamagasságot 9,8 mm-re. A Survey menüpont alatt a Store Points lehetőséggel lehet koordinátákat mérni. Ezen a felületen az „A” gombra kattintva lehet beállítani, hogy egy-egy ponton hány észlelést kívánunk végrehajtani, amelyből aztán a szofver egy kiátlagolt eredményt mutat a mérés végén. Konzulensemmel egyeztetve több rövidebb, 15-20 epochás mérést végeztem, legalább 3-szor megismételve az egyes pontokon. A mérések között a rovert a tenyeremmel letakarva mindig újrainicializáltam, illetve előfordult, hogyha legalább egy percre nem sikerült lebegőből fix minőségű pozíciót elérnem, akkor újra is indítottam a rovert, esetenként a SurvCE szoftvert is.

○ 2



9. ábra Létesített álláspontok vázlata [saját kép]

Az 1-es alapponton – a templom bejáratával szemben lévön – több próbálkozás, újrainicializálás, illetve műszer-újraindítás, sőt az álláspont-áthelyezés után sem sikerült RTK fix minőségű pozíciót elérni a GNSS vevővel, így végül a 2-es és 3-as pontokra tudtam

csak később hagyatkozni az hálózatkiegyenlítés és EOVS koordináták meghatározása során. Az, hogy csak lebegő minőségű pozíciót sikerült itt elérni, magyarázható az ionoszféra aktivitásának a GNSS hálózati észleléseket terhelő hatásával, ami a mérés idején a monitor.gnssnet.hu adatai alapján viszonylag magas, 5 cm-nél nagyobb értékű volt. [19] Illetve a legközelebb eső gnssnet.hu referenciaállomás is több, mint 20 km-re található a szlovéniai Bodonciba. Egy másik ok lehet, hogy a templomot viszonylag magasra nőtt erdő veszi körül, a rover viszont – a későbbi mérőállomással való mérésre (~1,40 m magasságra) beállított – műszerlábra volt rögzítve.

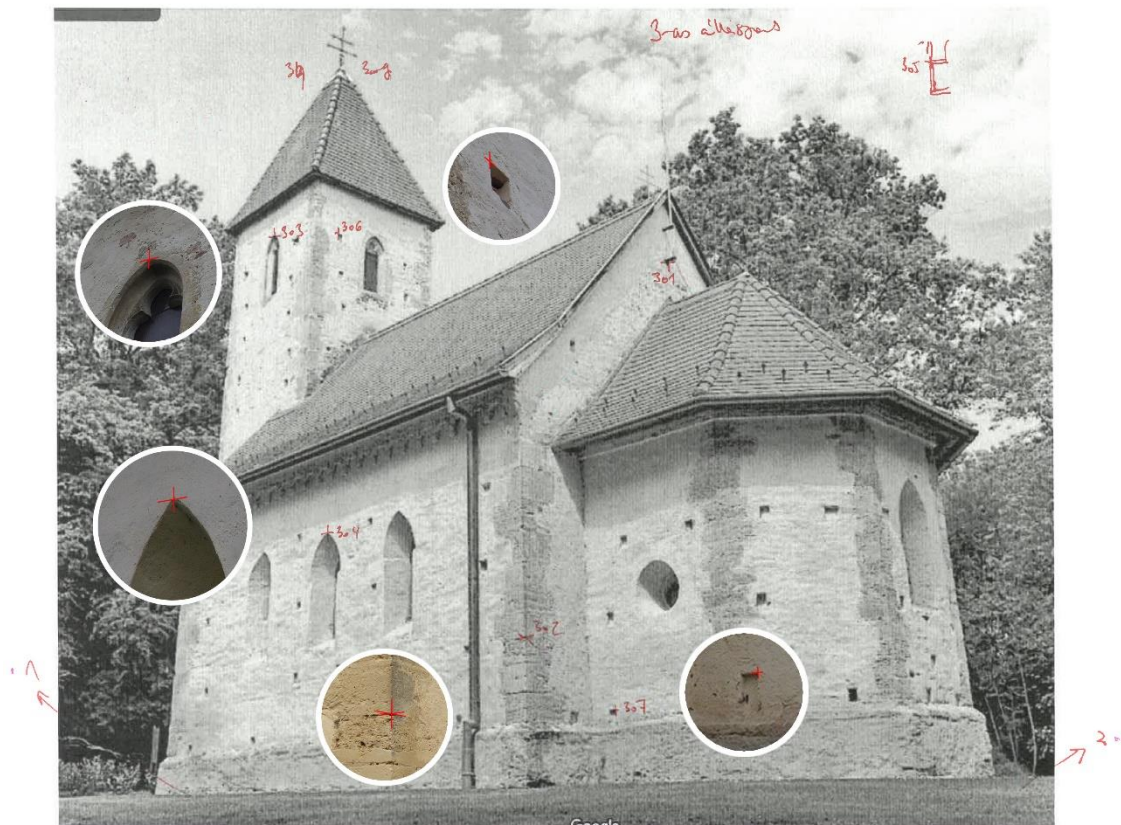
Az országos koordináták meghatározásával kapcsolatban érdemes még megjegyezni, hogy a templom tornya IV. rendű vízszintes alappont, ún. magaspont (31-1214), amelyhez egy őrpont is tartozik az épülettől nem messze (31-1214/1). Bár az őrpont pontleírása a geoshop.hu oldalról rendelkezésemre állt, a terepen nem sikerült beazonosítani. A torony csúcsához pedig túl közel voltak az álláspontjaim ahhoz, hogy megbízhatóan tájékozni lehessen rá. Így végül ezeket az országos alappontokat nem tudtam felhasználni a méréshez.



10. ábra A GNSS vevő műszermagassága és a templom előtti álláspont [saját képek]

5.3.2 Poláris részletpontmérés

Miután a két állásponton megtörtént a műholdas helymeghatározás, a GNSS vevőt kénysszerközpontosan mérőállomásra és prizmákra cseréltem a műszerlábakon. A mérést a 3. állásponton kezdtem. A FOIF RTS 332 műszeren a Program > Surveying > Set Job paranccsal létrehoztam egy saját munkát VELEMER néven, majd a Set Station funkcióval álláspontot is megadtam. Itt beállítottam a műszermagasságot a műszertalptól mérve. Ezután először mértem az 1-es és 2-es ponton elhelyezett prizmákra, ügyelve rá, hogy a jeltípust prizmára állítsam és megadjam a jelmagasságot, majd a georeferáláshoz alkalmasnak tekintett részletpontokat mértem meg az épületen, a jeltípusnál falat beállítva, a jelmagasságot pedig lenullázva. A műszer az ALL gomb megnyomásával irányértéket, zenitszöget és ferdetávolságot is mér. A sorozatot három fordulóban mértem meg, egy távcsőállásban. Szándékosan több illesztőpontot határoztam meg, mint amennyiről feltételeztem, hogy szükséges lesz. Részben ellenőrzésként, illetve azért is, mert nem voltam



11. ábra Részletpontok a 3. álláspontból [Csanádi József fotója alapján]

benne biztos, hogy melyik pontok fognak elég jól beazonosíthatóan látszódni a pontfel-

hőn. A későbbi feldolgozás megkönnyítéshez előre kinyomtatott homlokzati fotókon, manuálékon vezettem a mért részletpontokat. Eredetileg az volt az elképzelés, hogy az egyszerűség kedvéért a korábban említett négyzetalakú homlokzati nyílásoknak mindig ugyanazt a sarkát mérem, pl. a jobb felsőt. De a helyszínen és főleg a távcsőben megvizsgálva inkább a legkevésbé lekerekített, legenyhébben sérült sarkokat részesítettem előnyben. A részletpontok elnevezése az álláspont számával kezdődött, például a 3-as pontról 301-307-ig történt a számozás. A két állásponttól is bemért részletpontoknál ugyanazt a számozást használtam. A 3-as műszerálláson elvégzett mérések után kényszerközpontosan kicseréltem az 1-es ponton lévő prizmat mérőállomásra, majd végezetül a 2-es pontra is felállítottam a műszert, és ott is mértem a másik két ponton lévő prizmára és részletpontokra. Közben ügyeltem, hogy a jel típusát és a jelmagasságokat a megfelelően állítsam be. Közös részletpontokat csak a 2-es és a 3-as állásponttól sikerült mérnem, így ezek tudtak később ellenőrzésként szolgálni.

A méréseket a műszerben található SD kártyára mentettem, mivel gyakran előfordul, hogy a belső memóriába mentett adatok elvesznek kikapcsoláskor. Az első pár mérés után ki- és bekapcsoltam a műszert, hogy megbizonyosodjam róla, hogy a mérések tárolása valóban megtörténik, ellenőrizve az előzőleg rögzített álláspont és mért pontok meglétét.

A mérés befejeztével az SD kártyáról lemásoltam a saját számítógépre a VELEMER.mes fájlt, és egyből meg is nyitottam ellenőrzésként a Geocalc feldolgozó szoftverrel, hogy lássam, hogy minden álláspont és mérési adat megvan-e. A további utófeldolgozást a lézerszkenneléssel egybekötött csapatépítő után kezdtem el az irodában.

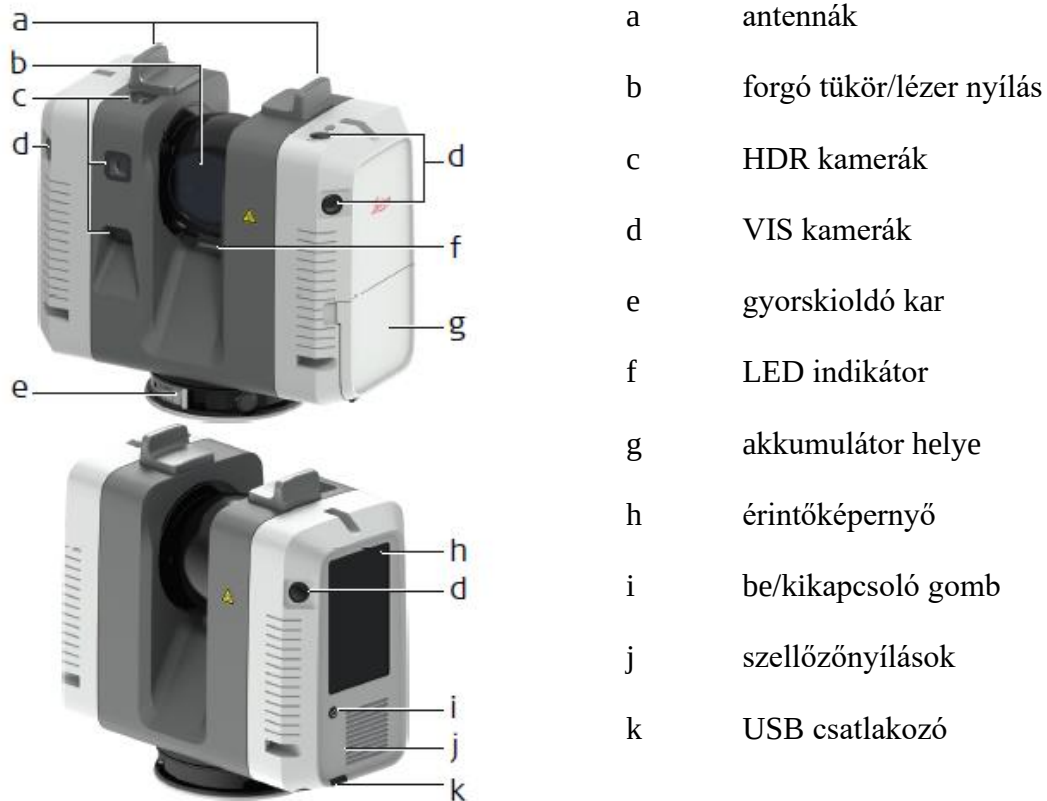
5.4 A templom lézerszkenneres felmérése

A csapatépítővel egybekötött lézerszkenneres mérésre 6 nappal később került sor. Mivel a templomot a gondnok 11 óra magasságában nyitotta ki, de mi már hamarabb megérkeztünk, a külső mérésekkel kezdtük a szkennelést. A csapatépítő célja különböző technológiák tesztelése, összehasonlítása volt, így a statikus és kézi lézerszkennelésen túl, amelyekkel jelen szakdolgozat foglalkozik, folyt földi fotogrammetriai munka is, továbbá az iPad Pro adta szkennelési lehetőségek tesztelése is. A későbbi vizualizációk miatt a belső méréseknél az indokoltnál több álláspont készült, hogy a fotogrammetriai munkafolya-

matoknál a lézerszkennelt pontfelhő megfelelő alapot nyújtson azokon a részeken is, amiről esteleg nem készült mérőfénykép, erre főleg a padsorok miatt volt szükség. A fotogrammetriai munkarészek további ismertetését terjedelmi korlátok miatt a szakdolgozatom nem tartalmazza.

5.4.1 Statikus lézerszkennelés

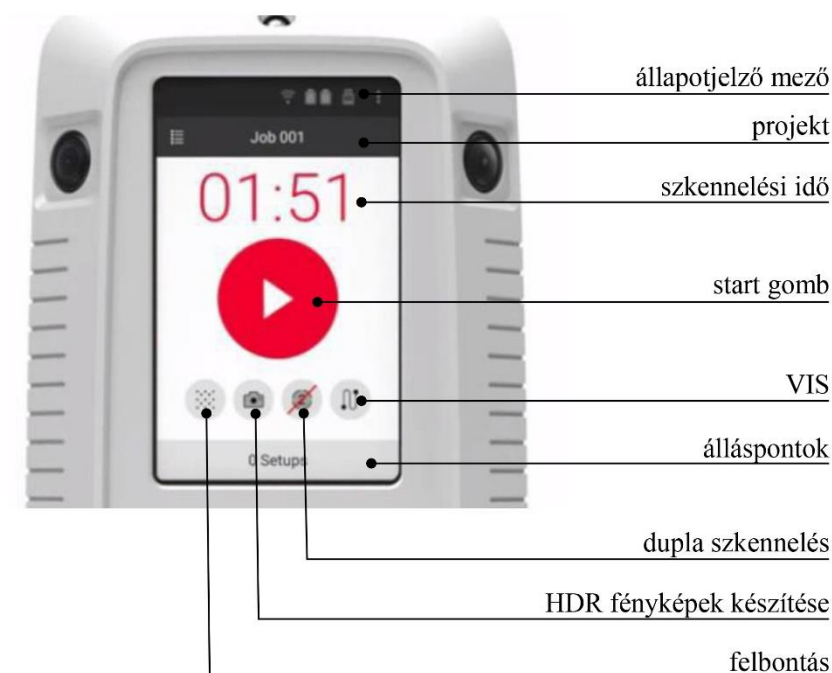
A statikus szkenneléshez Leica RTC360 műszert alkalmaztunk. A 3.4 fejezetben ismertettem a műszer specifikációit. Az 5.2 fejezetben leírt okok miatt mesterséges illesztőpontokat nem használtunk. Kapcsolópontokként szolgáló targeteket sem helyeztünk el a méréshez, részben mert a műemlékre nem akartunk mesterséges jelölőket tenni, illetve a targetek épületen belüli mozdulatlansága a látogatók viszonylag nagy száma miatt nem lett volna feltétlenül biztosítható. Így a későbbi utófeldolgozásnál a pontfelhőalapú vagy angolul cloud-to-cloud regisztrálási módszerrel illesztettem össze a pontfelhőket, amihez megvolt a pontfelhők között szükséges (~20-30%) átfedés. Ezt nagyban segítette a műszerbe integrált VIS (Visual Inertial System) technológia, amellyel a rendszer képes meghatározni a műszer relatív helyét álláspontról-álláspontra a 3D-s térben. Ez hasonlít a 3.4 fejezetben kifejtett BLK2GO-ban használt Visual SLAM technológiánál leírtakhoz. Az RTC360 szkennер a helymeghatározás és térképezés egyidejű végrehajtásához 5 db VIS kamerát használ, és megfelelő átfedés esetén a közösen lefedett területeken környezeti elemeket azonosít, amiket aztán referenciapontoknak tud használni az egyes álláspontok között. Ezt a voltaképp külső relatív tájékozást ötvözve az inerciális mérőegységgel (IMU), az egyes álláspontok közti regisztrálás már a helyszínen megtörténhet úgy, hogy a munkafolyamat közben a hibák halmozódása minimális. [20]



12. ábra RTC360 felépítése [11]

A szkennerekhez tartozó gyári műszerlábra helyezve, közelítőleg vízszintes helyzetben a műszert bekapcsolva az érintőképernyőn projektre szabhatók a szkennelési beállítások. A műszer távolról is vezérelhető, Leica Cyclone FIELD 360 szoftverrel telefonról (vagy tabletről), itt hoztunk létre a projekthez egy új munkaállományt (Job). Erre lehetőség van a műszer kijelzőjén is, de ott csak az alapértelmezett Job 001 névvel, ezért, ha egyedi nevet akarunk a munkáknak adni, akkor érdemes a Cyclone Field applikáción kezdeni. Ez akkor igazán indokolt, ha egy nap több Jobot is létrehozunk egy nagyobb épületkomplexumnál például, vagy akár több helyszínen is mérünk. A Leica Cyclone Field applikációval lehetőség van a helyszínen nyomon követni a szkennelés menetét, előképet kapni a pontfelhőről, ezáltal egyből látszódik, ha esetleg kimaradt egy terület.

Az RTC360 szkennerek kifejezetten felhasználóbarát, az érintőképernyős kijelzőn egyszerű piktogramokkal lehet beállítani a szkennelési paramétereket.



13. ábra RTC360 kijelző [11]

A felméréshez a legnagyobb felbontást használtunk, beállítottuk, hogy fényképeket is készítsen a műszer szkennelés közben és a VIS technológiát is aktiváltuk. A dupla szkennelésre, azaz ismétlődő szkennelés automatikus elindítására nem volt szükség. Ez a funkció olyan esetekben lehet hasznos, amikor például forgalmas út mellett kell mérni, ahol sok a kitakaró tényező a járműforgalom vagy embertömegek mozgása miatt. Az RTC360-on a szkennelési szögtartomány nem szűkíthető le, nincs erre külön beállítás, automatikusan vízszintesen 360°-ban, függőlegesen 300°-ban mér. A fenti beállításokkal egy setup, azaz egy állásponttól történő szkennelés is csak 2:42 percet vett igénybe (3. táblázat).

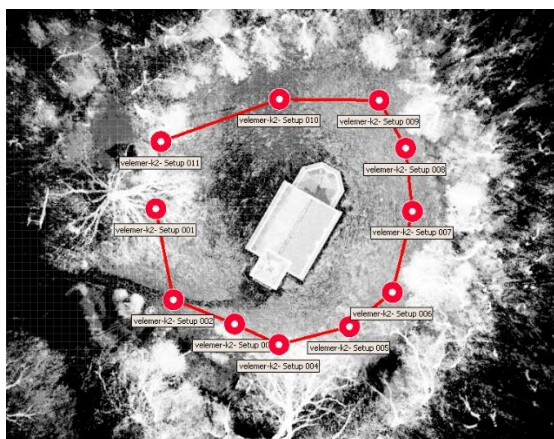
3. táblázat Szkennelési idő a beállítások függvényében [11]

Felbontás	Max. hatótáv (m)	Szkennelési idő (perc)	Szkennelés + fotók (perc)
Nagy (3mm@10m)	65	01:42	2:42
Közepes (6mm@10m)	130	00:51	1:51
Alacsony (12mm@10m)	130	00:26	1:26

Kívül összesen 11 db setup készült, az épületbelsőről, amelyet külön Jobbként kezeltünk, és tartalmazott külső méréseket is, 12 db úgy, hogy volt egy megismételt mérés is. Vagyis

a tiszta szkennelési idő bő egy órát vett igénybe. Ebben természetesen nincsenek beleszámolva az álláspontról-álláspontra való mozgások, vagy a várakozási idők, amiket nagyobb látogató csoportok érkezése indokolt. Továbbá a templomtorony belső mérése, és a műszer függőleges mozgatása igényelt valamivel több időt. A Start gomb megnyomásával a műszer először a szkennelést végzi el 180°-ot körbe forogva a függőleges tengely körül, majd további 360°-ot forogva, 30°-onként rövid időre megállva, a HDR kamerákkal panorámaképeket készít. Ezután átvihető a műszer a következő álláspontra, műszerlábbal együtt, óvatosan, anélkül, hogy kikapcsolnánk a szkennert.

A külső álláspontok a templomtól körülbelül 10 méteres távolságban, köralakban, egymástól átlag 10 méterre voltak. (14. ábra)



14. ábra Külső álláspontok Leica Cyclone REGISTER 360 szoftverben [saját kép]

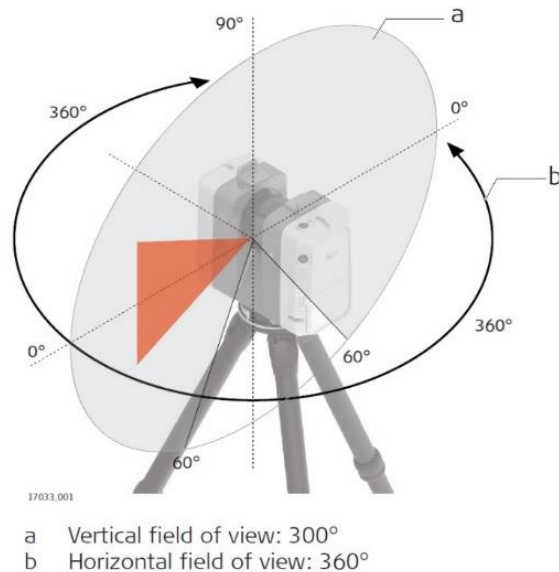
A templom belső felmérésére délután került csak sor, akkor némiképp csökkenni látszott a látogató forgalom. A belső szkennelések külön munkaállományba készültek, viszont a különböző Jobok között a VIS technológia nem keresi a közös területeket, ezért az irodai felhőalapú regisztráláshoz pár külső állásponttal kezdtük a belső méréseket is, hogy meglegyen a kellő átfedés a külső és belső munkaállományok között. A belső szkennelésnél a torony mérése jelentett némi kihívást, mivel a torony ajtaja a templomhajóba nyílik, kb. 4 méter magasságban, lépcső/feljáró nélkül. Ilyen szempontból hasznos volt, hogy pár napos különbséggel megelőzték az első mérések a lézerszkennelést, mert már tájékozódunk a gondnoktól róla, hogy szükség lesz saját létrát hozni, ha fel akarunk jutni a toronyba is.



15. ábra Toronyhoz vezető ajtó és a torony belseje [saját képek]

A torony felépítése két álláspontot tett lehetővé, egyet a templomtérből vezető nyílás szintjén, egyet pedig a harang alatt, ahova egy viszonylag hosszú létra vezetett fel. Ahogy ez várható volt, itt már hibaüzenettel és hangjelzéssel tudtukra adta a műszer, hogy elvesztette a relatív helyzetét az előző álláspontokhoz képest, hiszen a fölszínen történt méréseknél a torony ajtó még be volt zárva, így nem is látott rá a műszer a fenti álláspont helyére. Ami még nehézséget okozott, hogy amint a 15. ábra jobb oldalán látszik, a harang magasságában csak egy embernyi széles nyílás van a fapallókból készült födémen. Viszont a lézerszkennerek az alsó 30°-os kúpban nem lát (16. ábra). Így csak a lenti álláspontból feljutó lézersugarak által meghatározott pontokból tudtam később az irodai feldolgozás során a torony pontfelhőit összeilleszteni.

A szkennerek az adatokat a gyári pendrive-ra menti, így a szállásra visszatérve, az adathordozót az erre dedikált céges számítógéphez csatlakoztatva lementettük a nyers méréseket.



16. ábra Függőleges és vízszintes szkennelési szögtartomány [11]

5.4.2 Mobil lézerszkennelés

Összehasonlítási alapként, és későbbi tesztek elvégzése érdekében Leica BLK2GO mobil lézerszkennelőrrel is beszkeneltük az épületet. Kíváncsiak voltunk rá, hogy az elvárt minőségű BIM modell elkészítéséhez elegendő-e a kevésbé pontos, kisebb hatótávolságú, azonban sokkal gyorsabbnak számító mobil szkennelőr is. Illetve, hogy tud-e esetleg valamiben többletet nyújtani a statikus mérésekhez képest.

A BLK2GO készüléknek a tetején található búra alatt van a forgó alkatrészekből álló lézer és tükör. A műszer közepén 3 irányban 4 db nagylátószögű kamera helyezkedik el, ezeknek a segítségével lesznek a pontfelhő pontjainak színinformációi is. A kamerákkal panorámaképeket is lehet készíteni, bár ezek nem teljes 360°-os gömbpanorámák, a szkennelőr mögötti terület, illetve a padló és a mennyezet egy része is fekete területként jelenik meg a képeken. Tehát, ha egy felmérési projektnél követelmény a panorámaképek készítése, akkor az egyes helyiségekben érdemes több (minimum 2) irányban

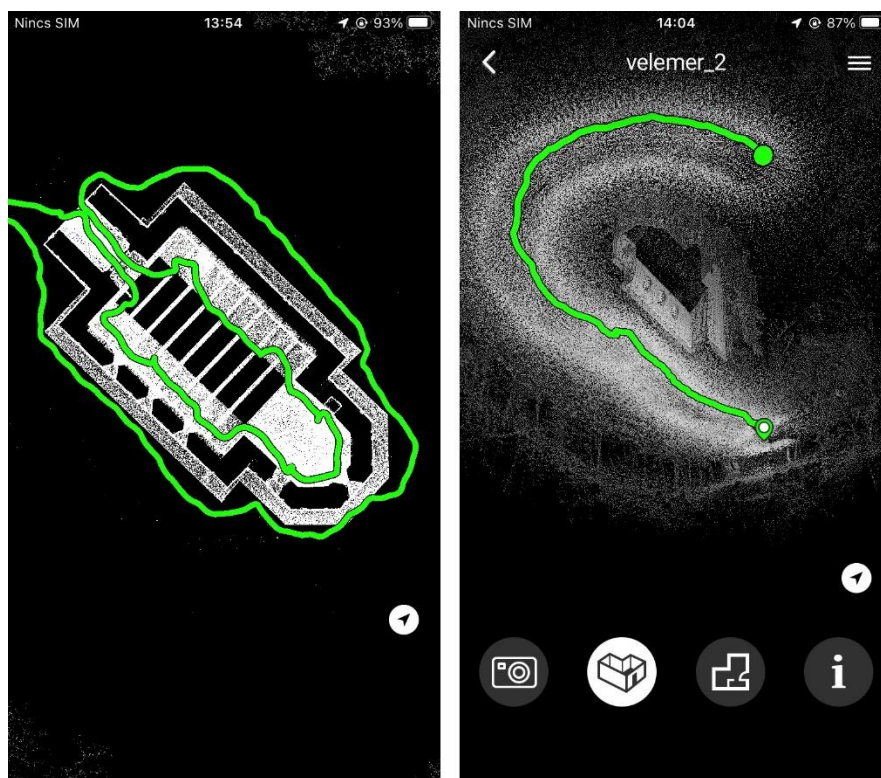


17. ábra Leica BLK2GO [12]

is képet készíteni, a bekapcsoló gomb rövid lenyomásával. A panorámák készítését mindig két kézzel tartott eszközzel végezzük, hogy a képek minél jobb minőségűek legyenek.

A BLK2GO-nál a statikus lézerszkennereknél megszokott álláspontokat nem kell létesíteni, de az eszközhöz tartozó úgynevezett dokkoló egységet stabil, lehetőleg vízszintes helyre kell a mérés megkezdéséhez helyezni. A dokkolót érdemes úgy lerakni, hogy ne legyen túl közel semmihez, és a felmérő se takarja ki a szkennerek környezetét bekapcsoláskor. Veleméren a bejáratától kb. 13 méterre található fa asztalra helyeztük a dokkoló egységet. Innen indítottuk mind a benti, mind a kinti walkokat. A mi munkafolyamatunkban egy walk (séta) jellemzően két dokkolás között felmért terület. Elkezdni a dokkolóállomásban elindított szkennerek felemelésével lehet, majd a felmérendő terület mentén egy legfeljebb 5-8 perces egyenletes sétát megtéve, hurokszerűen a dokkolóhoz visszatérve, a műszert visszahelyezve ideális a mérést befejezni. Ezáltal jobban kiszűrhetők az esetlegesen felmerülő (záró)hibák, mintha a dokkolótól távol fejeznénk be és kezdenénk egy új walkot. A következő walk indulhat ugyanerről a pontról, de arrébb is lehet vinni a dokkolóállomást. Azonban fontos, hogy az egyes séták között legalább 15-20 %-os átfedés legyen, a későbbi felhőalapú összeilleszthetőség érdekében. A szkennelés közben a műszert vállmagasságban, nagyjából nyújtott karral magunk előtt, illetve magunktól 45 fokban oldalra eltartva tartjuk.

A Leica BLK2GO Live tabletre vagy telefonra telepíthető alkalmazással a helyszínen nyomon követhető a mérés menete, a pontfelhő kirajzolódása, a kezdő- és végpont egyezősége, illetve így tudjuk elnevezni is a különböző walkokat. A mérés elkezdése előtt a már bekapcsolt szkennerekhez lehet az applikációval csatlakozni. A BLK2GO némi kalibrálást követően, elkezdi szkennelni a környezetét, az alkalmazás pedig folyamatosan mutatja a pontokból kirajzolódó felmért területet alaprajzi vagy 3D nézetben. Ez utólag videó formájában is visszaneézhető, szabadon navigálva a különböző nézőpontok között, azonban mindig csak a legutóbbi walk kirajzolódása elérhető.



18. ábra Képernyőképek a mobil applikáción nyomon követhető mérésekről [Opinion Builders Kft.]

Veleméren két 3 perc körüli walk készült, az elsőnél először – a tornyot leszámítva – az épület belsejét körüljárva, majd kívülről a homlokzati falaktól kb. 1-2 méterre sétálva jött létre a pontfelhő, a másodiknál a külső falaktól távolabbi (kb. 6-8 méter) hurkot tett meg az egyik kollégám a szkennel. (18. ábra) A toronyban a mobilszkennelrel két walk készült, az első a torony felső emeleti részén, a harang és fedélszék környezetét körbepásztázva, a második a torony bejárati szintjén, Mivel mindkét tér elég szűkös és nem kockáztattuk meg mérés (aktív walk) közben lehozni a műszert a rozoga létrán, félkézzel kapaszkodva, ezért ezek viszonylag rövid séták lettek (1-2 perc). A lenti mérés közben a templomhajóba nyíló ajtón a szkennert kitarva lehetett elérni, hogy meglegyen a kellő átfedés a belső szkennel a későbbi összeillesztés folyamán. A mobilszkenneres mérések összesen kevesebb, mint 10 percet vettek igénybe, itt sem számítva a toronyba feljutás időszükségletét.

6. MÉRÉSEK FELDOLGOZÁSA

6.1 GNSS mérések feldolgozása

Az egyetemi Hi Target V100 GNSS vevőből kinyert adatokból a TXT és RW5 kiterjesztésű fájlból tudtam a koordinátákat, illetve középhibákat kinyerni. A kapott eredményeket összehasonlítottam. A 2-es álláspontnál négy mérésből egynél volt jelentősen kevesebb az érvényes észlelések száma, ezért azt a mérést nem is vettem figyelembe végül az átlagolásnál. A 3-as állásponton több mérésem volt, viszont a 3D elnevezésű mérési eredmény több méteres eltérést mutatott a többi mérés koordinátaíhoz képest, a 3B mérésnek pedig a Z koordinátája tért el jelentősen (~70 cm) az átlagtól. Bár a 3A mérés is kevés érvényes észleléssel számolt, 1 cm különbséget jelentett volna X irányba, ha nem veszem be a 3A adatait is a számolásba, így végül három mérésből átlagoltam ki mindkét álláspont koordinátáit. A figyelmen kívül hagyott méréseket szürkével jelöltem a lenti táblázatokban.

4. táblázat 2-es álláspont GNSS-szel mért koordinátái

	Y	X	Z	VALID READINGS	HSIG	VSIG
2	445641,23	157801,03	216,42	18/20	0,027	0,025
20	445641,26	157801,09	216,45	3/20	0,021	0,029
21	445641,23	157801,02	216,35	20/20	0,017	0,023
22	445641,25	157801,06	216,32	20/20	0,022	0,030
Átlag:	445641,24	157801,04	216,36			

5. táblázat 3-as álláspont GNSS-szel mért koordinátái

	Y	X	Z	VALID READINGS	HSIG	VSIG
3A	445646,49	157776,21	216,06	4/20	0,033	0,049
3B	445646,63	157776,83	216,75	15/15	0,029	0,034
3C	445646,50	157776,22	216,01	15/15	0,028	0,035
3D	445649,51	157776,93	224,54	14/15	0,029	0,034
3	445646,48	157776,25	216,11	14/15	0,020	0,028
Átlag:	445646,49	157776,23	216,06			

6.2 Alappontok és részletpontok számítása

Ahogy az 5.3.1 fejezetben említettem, mivel az 1-es pontra nem sikerült EOVS koordinátákat mérnem, ezért a 2-es és 3-as álláspontok – mint ismert pontok – koordinátái alapján egyenlítettam ki az alaphálózatot GeoCalc szoftverrel. A kiegyenlítés folyamán azonban

4-5 cm-es javítások jöttek ki. Első ellenőrzésként megnéztem, hogy a GNSS vevővel mért koordinátákból számolt vízszintes távolság és a mért vízszintes távolság között is ez a különbség adódott-e. Mivel ott is ez a 4-5 cm eltérés volt tapasztalható, a konzulensem-mel két lehetőséget gyanítottunk. Egyrészt felmerült, hogy az összeadóállandót nem a megfelelő prizmára állítottam be a mérőállomáson a mérés során. Másrészt, hogy a GNSS vevőből kapott koordináták – az előző fejezetben taglalt okok miatt – nem elég megbízhatók. Ellenőrzésként a 2-es és 3-as pontról is mért közös pontok koordinátáinak meghatározását használtam. A GNSS vevővel mért koordinátákkal számolt poláris pontszámításokor a 2-es, majd a 3-as pontról kalkulálva mind a 301-es, mind a 306-os részletpontokra szintén 4-5 cm eltéréseket kaptam. Pontosabban Y irányban 1 cm, X irányban 5 cm körüli, Z irányban pedig körülbelül 4 cm eltérés jött ki. Ezek után szabadhálózatként is kiegyenlítettem az alappontokat, vagyis csak a mérőállomásból származó mérések alapján, és az így kapott lokális koordinátákból is kiszámítottam mindkét alappontról poláris pontszámítással a 301-es és a 306-os részletpontok koordinátáit, és a kiátlagolt eredmények mindhárom irányban centiméter alatti eltéréseket eredményeztek. (19. ábra) Ebből egyértelművé vált, hogy nem az összeadóállandó helytelen beállítása okozta a hibahatáron túli javításokat, hanem a műholdas helymeghatározással kapott alappontok koordinátáiban van 4-5 cm bizonytalanság.

6.2.1 Alappontok kiegyenlítése

Az előző pontban leírtak szerint az alappontok kiegyenlítése szabad hálózatként történt, mind vízszintes, mind magassági értelemben. A kiegyenlítési jegyzőkönyveket a 3. melléklet tartalmazza.

6.2.2 Részletpontok koordinátáinak kiszámítása

A részletpontok koordinátáit is helyi rendszerben számoltam ki a GeoCalc szoftver segítségével. Mivel minden pontot többször mértem meg, a kapott koordinátákat aztán kiátlagoltam, és ezek az értékek szolgáltak aztán alapul a transzformációhoz. (4. melléklet)

Pontszám/ÁP	Y	X	M	Pontszám/ÁP	Y	X	M
301	-10.357	9.705	7.607	306	-18.292	6.377	11.211
2	-10.357	9.705	7.607	2	-18.291	6.377	11.209
2	-10.358	9.706	7.604	2	-18.292	6.377	11.210
2	-10.358	9.705	7.607	2	-18.293	6.378	11.211
3	-10.358	9.704	7.608	3	-18.292	6.374	11.212
3	-10.355	9.704	7.607	3	-18.292	6.376	11.214
3	-10.356	9.704	7.608	3	-18.292	6.378	11.212

19. ábra Ellenőrzésre szolgáló pontok koordinátái [saját kép]

6.2.3 Transzformáció

Az alappont-koordinátákat és az azokból számolt, kiátlagolt részletpontokat GeoEasy szoftverrel 3 paraméteres Helmert (egybevágósági) transzformációval helyeztem be az országos rendszerbe a két ismert koordinátájú pont segítségével. Fontos volt, hogy a méretarány ne változzon, csak két irányú eltolás és forgatás történjen, különben torzult volna a templomon mért pontok egymáshoz való helyzete.

$$\mathbf{x}_C = \begin{bmatrix} y_c \\ x_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_y \\ t_x \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_F \\ x_F \end{bmatrix} = \mathbf{t} + \mathbf{R} \cdot \mathbf{x}_F \quad (4)$$

Szükség volt koordináta és magassági transzformálás számítására is az Y, X, Z koordináták meghatározásához. A műholdas helymeghatározással kapott pontok korábban leírt bizonytalansága miatt végül közelítőleg $\pm 2-3$ cm pontossággal sikerült a templom EOY koordinátáit és Balti magasságát meghatározni.

Helmert 3 paraméteres transzformáció fb_1 -> fb_3
 $Y = 445646.497 + y * 0.999839875 - x * 0.017894840$
 $X = 157776.204 + y * 0.017894840 + x * 0.999839875$

Méretarány = 1.000000000 Elfordulás = 1-01-31

Pontszám	y	x	Y	X	dY	dX	dt
2	-4.817	24.954	445641.240	157801.040	-0.006	0.028	0.029
3	-0.001	-0.002	445646.490	157776.230	0.006	-0.028	0.029

RMS= 0.029

Magassági transzformáció fb_1 -> fb_4

Pontszám	m	M	dM
M = m + 216.905			
2	-0.524	216.360	0.021
3	-0.866	216.060	-0.021

RMS= 0.021

20. ábra Egybevágósági transzformációs paraméterek és középhibák [saját ábra]

6.3 Pontfelhők feldolgozása

A pontfelhők feldolgozása már az irodában történt meg, az erre alkalmas irodai számítógépen. A következőkben leírt feldolgozási folyamatok sokban egyeznek a statikus és mobil lézerszkennerek pontfelhői esetében. Külön kitérek rá, amennyiben eltérő munkafolyamatot kellett használni.

6.3.1 Cyclone REGISTER 360

Az irodában a Leica Geosystems Cyclone REGISTER 360 szoftver licenz állt rendelkezésemre, ezért ezt az alkalmazást használtam a pontfelhők regisztrálásához. A szoftver kifejezetten felhasználóbarát, a vizuális projektfelület sokban könnyíti és gyorsítja a feldolgozási munkafolyamatot.

6.3.2 Importálás és beállítások

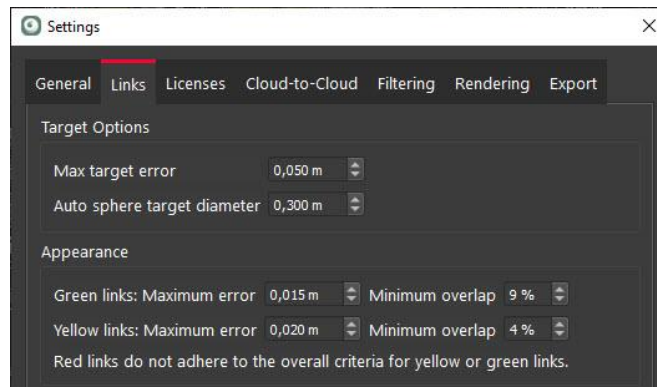
Az alkalmazást elindítva választhatunk, hogy új projektet hozunk létre vagy már egy meglévő munkát nyitunk meg. Importáláshoz az *Create a new project* gombra kattintva megadható a munka neve, majd megjelenik a program importálási felülete. Mielőtt behívom a nyers pontfelhőket, amelyeket előzőleg már a számítógép dedikált meghajtójára másoltam, ellenőrzöm a beállításokat (21. ábra).



21. ábra Cyclone REGISTER 360 menüsáv [saját kép]

Az általános fülön a hosszmértékegységet, a megjelenített értékek élességét, illetve az importálással kapcsolatos egyéb beállításokat lehet meghatározni. Az importálási teljesítménynél választani lehet „Fast”, „Balanced” és „Safe Mode” között. Mivel figyelemmel tudtam kísérni az importálási folyamatot, mindkét szkennerek nyers adatainak beolvasásánál a „Balanced” módot használtam.

A Links fülön (22. ábra), ami az egyes álláspontok vagy walkok közötti kapcsolatot jelenti, beállíthatók a kapcsolópontokra vonatkozó hibahatárok, valamint, hogy a linkek színekkel történő megjelenítése milyen feltételek és határértékek között történjen. Itt az alapértelmezett beállításokat használtam.



22. ábra Linkek beállítási [saját kép]

Drag and Drop funkcióval egyszerűen behúzhatók a nyers állományok az alkalmazásba, illetve a fájlkezelőn keresztül is kiválaszthatjuk az importálni kívánt fájlokat. A BLK termékcsalád esetében lehetőség van a műszerről közvetlenül a beolvasni a fájlokat. Az RTC nyers állományait behívva a programba a két munkaállomány külön csoportosítva jelenik meg. A különböző setupok sorban kirajzolódnak, és a VIS technológia által előre regisztrált/összeillesztett kapcsolatok először sárga szaggatott vonalként, majd a program ellenőrzése után piros színű folyamatos vonallal jelennek meg az álláspontok között. Ez viszonylag gyors folyamat, a valódi – időigényesebb – importálás majd csak az Import gomb megnyomásával történik meg. Itt lehetőség van kiválasztani, hogy mely setupokat akarjuk betölteni, és csak azokat kijelölve rányomni az import gombra.

A BLK2GO walkjait behívni hasonlóan kell, mint a statikus szkennernél. Ennek egy külön projektet hoztam létre a REGISTER 360 programban. A sikeres importálás után a négy walk: belső (szűkebb külső hurokkal), külső és a torony két külön felmérése egymástól függetlenül, külön setupokként jelennek meg a szoftver felületén. A BLK importálási beállításoknál a Filter Level opció a pontfelhő pontjainak sűrűségét átlagolja ki, High beállítással lehet leginkább minimalizálni a mobilszkennerre jellemző csíkozott, „pókhálós” pontfelhő-megjelenést. A Trajectory Settings résznél azt lehet beállítani, hogy hány méterenként készüljön importáláskor gömbpanoráma, illetve úgynevezett WayPoint a „walk” mentén. Ezek funkcionalitás szempontjából kicsit a statikus szkennerek álláspontjaihoz hasonlítanak. A túl sűrű beállítás jelentősen megnöveli az importálási időt, de mivel ez egy kicsi projekt, itt 5 m-es beállítást használtam. Bár a veleméri mérésnél nem készültek külön fényképek a mobilszkennerrel, de azok a Geotagek fülön jelennének meg.

Importálás előtt még lehetőség van ún. SiteMapekre (~szintekre) bontani a különböző walkokat vagy álláspontokat, például több szintes épületnél ez segítheti az átláthatóságot, de ez inkább nagyobb projektek esetén lehet hasznos, és a későbbi feldolgozási folyamatnál is van lehetőség ennek a szintstruktúrának a kialakítására.

6.3.3 Regisztrálás

A sikeres importálás után a Review and Optimize fülre lép át a program. Itt aktuális nézettől függően a következő menüsor jelenik meg.



23. ábra Cyclone REGISTER 360 menüsor [saját kép]

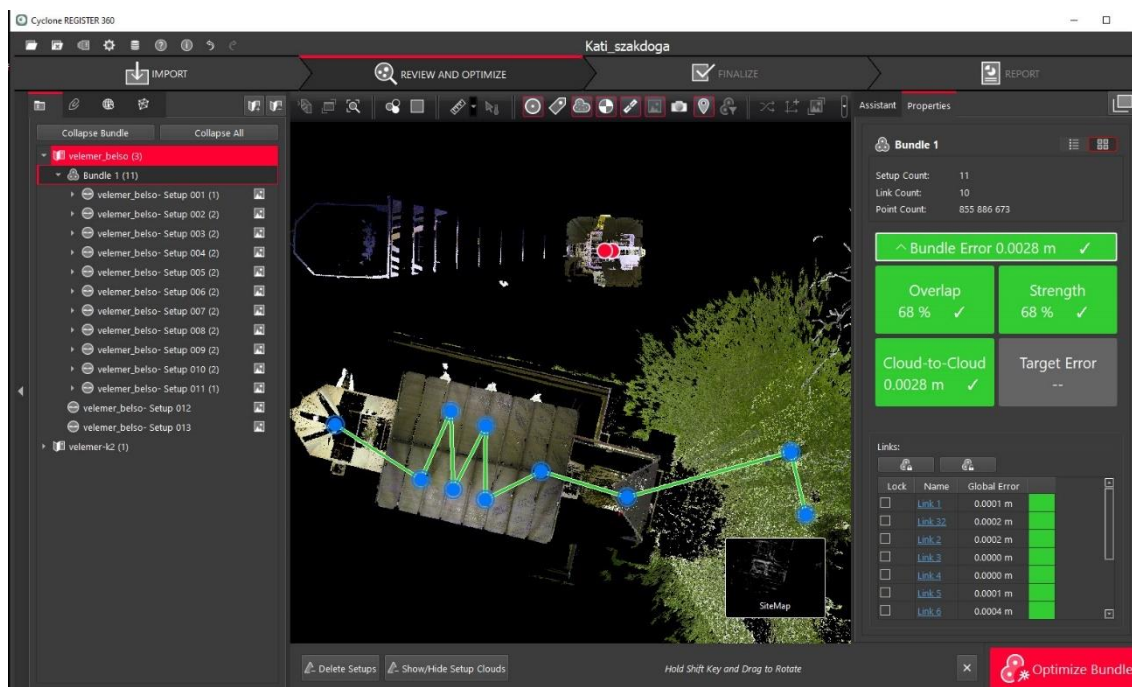
Az ablak jobb alsó sarkában négy megjelenítési mód közül lehet választani (24. ábra):

- SiteMap: felülnézeti 2D vetület, ahol az adott SiteMapen lévő álláspontok vagy walkok pontfelhői jelennek meg.
- Setup Cloud: a kijelölt setup (álláspont) vagy waypoint (walk) 3D pontfelhő nézete.
- Bundle Cloud: 3D pontfelhő nézet az összekötött (kötegbe rendezett) pontfelhőkről
- TruSlicer: olyan 3D nézet, amelyen metszősík, illetve metszőtéglatest állítható be, a különböző setupok/walkok eltérő színnel jelennek meg.



24. ábra Megjelenítési módok [saját kép]

A regisztráció a pontfelhők összeillesztését jelenti. A Cyclone REGISTER 360 programban alapvetően 3 féle regisztrálási lehetőség van. Target- vagyis kapcsolópont-alapú (Match Targets), pontfelhőalapú (Visual Alignment) vagy közös pontokat, legalább hármat alapul vevő funkció (Split View). Az 5.4.1 fejezetben ismertetett okok miatt kapcsolópontokat/targeteket nem használtunk a szkenneléskor, így – a felhők közötti átfedéseket kihasználva – a Cloud-to-Cloud regisztrálási módszerrel dolgoztam, ami vizuális interpretáción alapszik. A külső mérések már a VIS technológia által összeálltak egy köteggé (Bundle). A belső méréseknél a torony méréseit kellett még egymással és a belső köteggel összeilleszteni, majd a külső és belső méréseket egymáshoz regisztrálni. SiteMap nézetben a pontfelhőket mozgatni az álláspontjukat jelölő piros gömbre/körre kattintva lehet, a Shift billentyű lenyomása mellett a bal egérgombot nyomva tartva pedig forgatni. A nézetablak mozgatása a jobb egérgomb lenyomásával és az egér mozgatásával történik, közelíteni és távolítani az egér görgőjével lehet. Az összeillesztési folyamatot a torony alsó és a templom belső méréseinek regisztrálásával mutatom be. A kiinduló állapotot a 25. ábra mutatja.



25. ábra Belső köteg és a torony álláspontjai [saját kép]

Először felülnézetben a torony pontfelhőjét átfedéseket keresve közelítőleg a belső köteghöz mozgatom, ekkor a program fehér szaggatott vonalakkal automatikusan

lehetőséges linkeket javasol azon álláspontokhoz, ahol közös geometriát észlel. Majd kijelölve az alsó torony álláspontját és a templom hajójában készült első mérést a „Visual Alignment” parancsra kattintok. Ekkor egy olyan nézet jelenik meg, amelyben csak ennek a két álláspontnak a pontfelhője látszik két jól elkülönülő színnel, ezzel segítve a manuális igazítást. A felülnézeti beállításnál a vízszintes síkon mozgatni és a függőleges tengely körül forгатni lehet a felhőket. A mozgatás funkciót aktiválva a bal egérgombbal alapértelmezés szerint a kék színnel megjelenített pontfelhőt mozgathatjuk el a pontfelhő tetszőleges pontjára kattintva. A narancssárgára színezett pontfelhő mozgatásához ezen felül az Alt billentyű lenyomása is szükséges. A forgatás funkciót kiválasztva az egérmutató lesz a forgatás origója, a bal egérgombot nyomva tartva lehet elfordítani a felhőt a megfelelő pozícióba (26. ábra b és c). Oldalnézeten csak függőleges mozgatás lehetséges, de a nézetet lehetőség van a Z tengely körül körbeforgatni, illetve perspektivikusan is megjeleníteni a felhőket a megfelelő illeszkedés ellenőrzéséhez. Érdeemes még megjegyezni, hogy a Visszavon parancs a Visual Alignment nézetben nem működik, a Cancel gombra kattintva lehet elvetni a módosításokat és visszatérni a SiteMap nézethez.

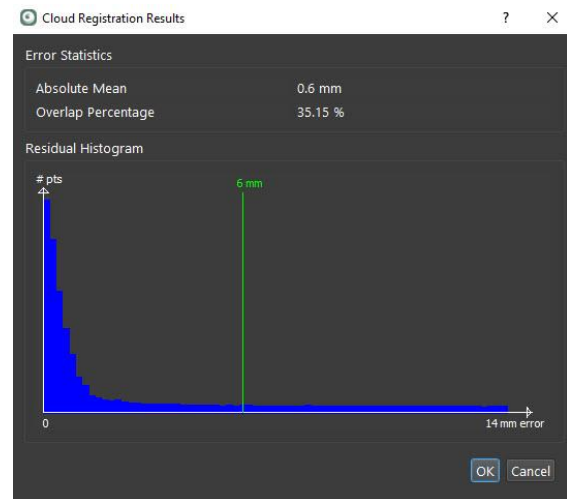


26. ábra Visual alignment (a) felülnézete elforgatás előtt, (b) oldalnézete elmozgatás előtt és (c) magasságilag igazított pontfelhők oldal nézetben [saját kép]

Ha megfelelőnek ítélem az igazítást, a Join and Optimize paranccsal tudom véglegesíteni a két felhő összeillesztését. Ezzel a program még automatikusan finomítja a kapcsolatot Iterative Closest Point (ICP) algoritmussal, majd megjeleníti az illesztésről készült statisztikát, középhibával, a felhők közti átfedéssel, és a maradék ellentmondások eloszlását

hisztogram nézetben is (27. ábra). A torony alsó mérése így már a belső köteg (Bundle) része lett.

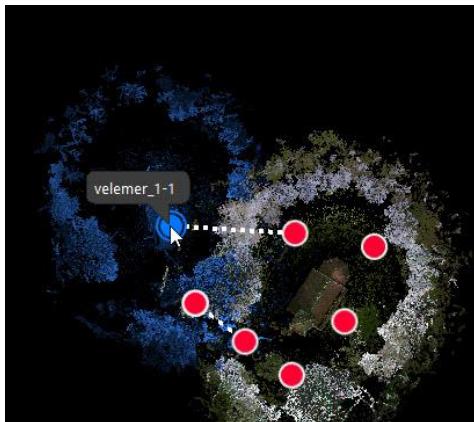
Ahogy azt a 15. ábra kapcsán már említettem, az átfedés a toronyban készült két pontfelhő között sajnos nem érte el az ideális mértéket, így némi kihívást jelentett ezek regisztrálása. Végül a harang geometriája segített az oldalnézeti illesztésben, de a véglegesítésénél a szoftver jelezte, hogy a link nem tűnik megfelelőnek, ami a 7% körüli átfedésnek tudható be. Ettől függetlenül jóváhagytam a módosításokat, de ennél a linknél ilyenkor nem is jelennek meg közeptérhibák, SiteMap nézetben pedig kék színű vonalként látszik.



27. ábra Illesztési statisztikák [saját kép]

Ezután a külső és belső mérések összeillesztése következett. Az egyik templombejárat előtti álláspontot megragadva a belső köteg mozgatasával megjelennek szaggatott fehér vonallal a külső álláspontok javasolt linkei, az egyikre rákattintva szintén a Visual Alignment felület nyílik meg, benne a szaggatott vonal által összekötött két álláspont pontfelhői. A korábbiakban ismertetett módon felül- és oldalnézetben összeillesztem a méréseket, és a Join and Optimize gombra kattintva véglegesítem a folyamatot. A szoftver ilyenkor felajánl további észlelt linkelehetőségeket, de ezeket mellőzöm. Befejezésül a külső hurkot összezárom, és még egy belső méréshez tartozó – de külső – álláspontot összekötök a fentiek analógiáján a külső pontfelhőköteggel, ezzel erősítve a linkek hálózatát. Így létrejön egy egyesített pontfelhő, amely az összes beimportált pontfelhőt tartalmazza. Az Optimize Bundle gombbal még egy az egész kötegre kiterjedő finomítást végez a program.

A BLK2GO-val készült pontfelhőknél annyiban más csak a folyamat, hogy ott összesen



28. ábra BLK2GO walkok közti javasolt link
[saját kép]

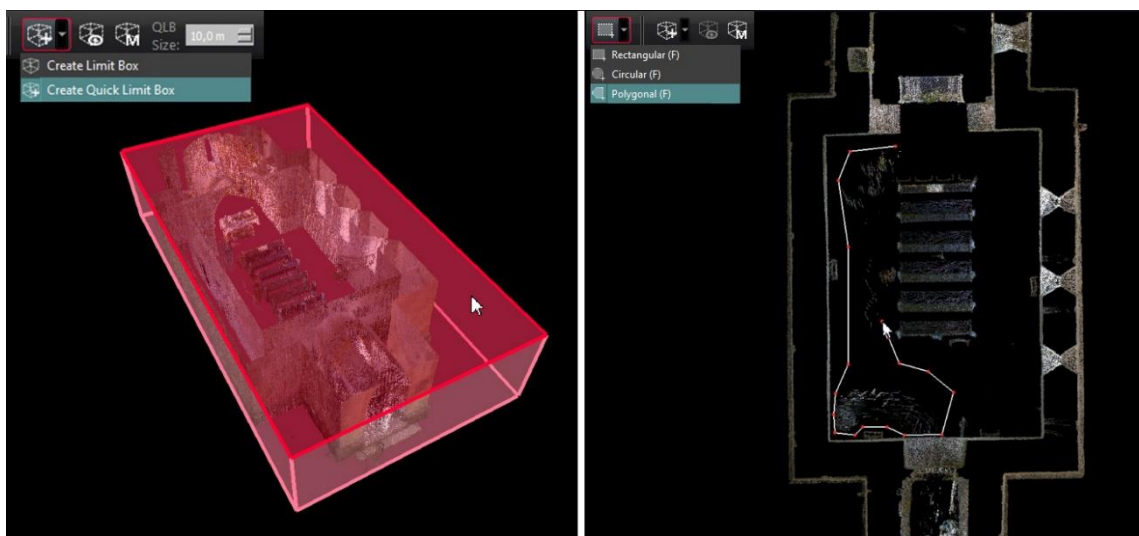
a 4 walkot kellett összeilleszteni, amelyek a behíváskor egymástól szétszórva helyezkedtek el. Mivel a torony felső részében a mobilszkennerral jobban körbe lehetett pásztázni a teret, sőt a korábban említett feljárónyílás alatti részen is lehetett fentről mérni vele, így könnyebb volt a toronyban készült szkenek összeillesztése. A külső és belső mérés között viszonylag nagy átfedés volt, hiszen a belső szkennel is tartalmazott egy külső hurkot (18.

ábra). A BLK2GO-nál az úgynevezett WayPointok helyettesítik az álláspontokat, ezekkel lehet megfogni és mozgatni a felhőket. Itt is felajánl szaggatott vonalakkal lehetséges linkeket a program (28. ábra). A külső és belső méréseket, miután közelítőleg egymásra mozgattam, a Visual Alignment nézetben illesztettem össze. A következő alfejezetben tárgyalt Fence vagy Kijelölő eszközzel a regisztráláshoz leszűkítettem a felhőket a templom szűkebb környezetére, hogy az ágak, levelek „zaja” ne terhelje az illesztést.

6.3.4 Pontfelhő tisztítása

A felmérés során számos olyan objektum is belekerül a pontfelhőbe, amely a feldolgozás vagy a későbbi hasznosítás során irreleváns vagy akár félreértéseket is okozhat. Ilyenek például a fényes felületekben, különösen tükörben látható kép tükör mögötti leképződése vagy járókelők, mozgó járművek rögzítése. Ezeknek a felesleges területeknek a levágására szintén alkalmazható a Cyclone REGISTER 360. A templom esetében inkább a látogatók körvonalának az eltávolítására volt szükség. A tisztítás a Kijelölő (Fence) funkcióval lehetséges, amelyhez segítség lehet az úgynevezett Limit Box opció. Ez egy olyan 3D-s hasáb a térben, amelynek oldalai szabadon mozgathatók, így a megfelelő nézetben egyszerűen lehatárolható egy-egy része a pontfelhőnek. A Create Quick Limit Box lehetőséggel egy tetszőleges pontra kattintva egy általunk megadott oldalhosszúságú határoló kocka jön létre. A templom belsejében rögzített járókelőket úgy tudtam a pontfelhőből egyszerűen eltávolítani, hogy a Bundle Cloud nézetben létrehozott határoló doboz csak a földem feletti és a tető alatti részt tartalmazta, így anélkül, hogy releváns pontokat is kitöröltem volna, felülnézetben eltávolítottam a Kijelölővel körbe rajzolt területet (29. ábra).

A Fence eszköz egyébként téglalap, kör vagy sokszög alakban is használható, és az alakzat megrajzolása után választhatunk, hogy a kijelölésen belüli vagy kívüli elemeket távolítsa el a program, sőt lehetőség van a Restore inside vagy Restore outside funkcióval a korábban törölt pontok visszaállítására is. Az Edit Visual Points és Edit Cloud-to-Cloud Points jelölőnégyzetek azt befolyásolják, hogy a pontok eltávolítása az általános megjelenítésre vonatkozzon, vagy csak a felhőalapú regisztráció folyamatára vagy akár mindkettőre.



29. ábra Pontfelhőtisztítás – templombelső [saját kép]

6.3.5 Georeferálás

Az EOV rendszerbe transzformáláshoz be kell hívnom a kiszámolt természetes illesztőpontok koordinátaállományát. Bár nem lesz minden pontra szükség, de a teljes listát betöltöm, hogy megkeressem a legjobban lehelyezhető illesztőpontokat. Ahogy a .txt fájlt az Import fülön behívom a programba, meg lehet adni, hogy milyen szabály alapján történjen a beolvasás, vagyis, hogy a jegyzék melyik oszlopa minek feleljen meg, az én esetemben: Label, Easting, Northing, Elevation. Rányomok az Import as Control lehetőségre, ami által megjelenik az Illesztőpontok listájában a fájl, majd az Import gombra kattintva lehet vele továbbdolgozni.

6. táblázat Georeferáláshoz behívott koordinátajegyzék

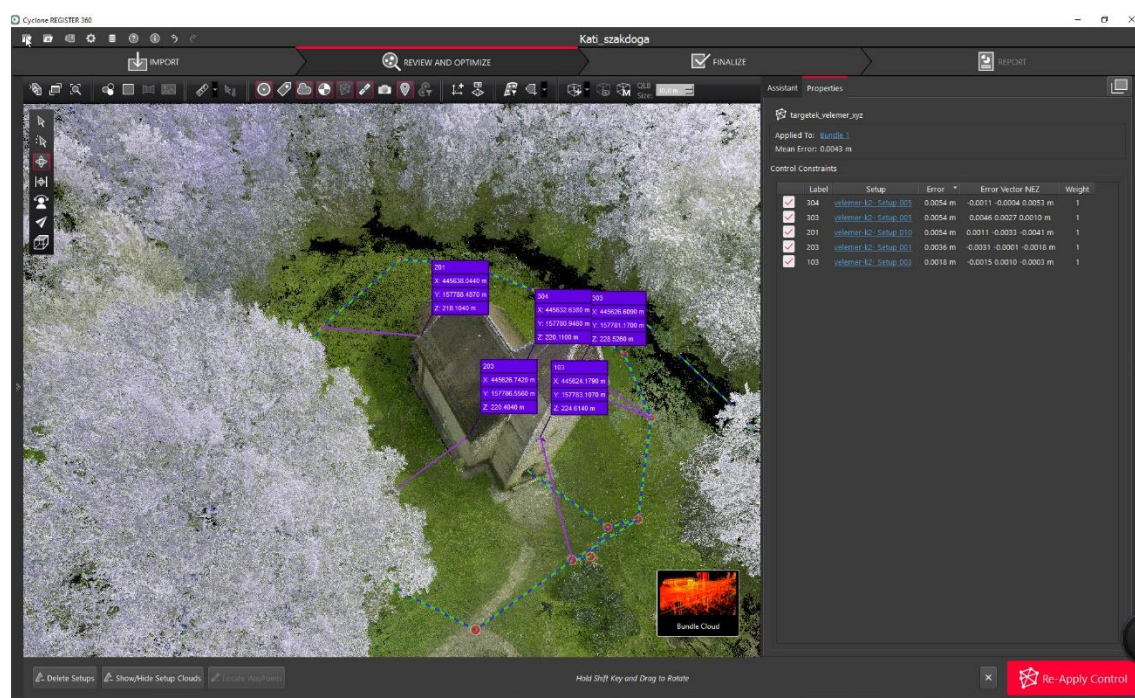
Psz.	Y	X	Z
101	445626.006	157784.472	218.615
102	445624.841	157780.879	218.171
103	445624.179	157783.107	224.614
104	445624.440	157782.519	226.995
201	445638.044	157788.487	218.103
202	445634.294	157788.893	217.431
203	445626.742	157786.555	220.404
204	445625.631	157784.317	228.421
301	445635.968	157785.722	224.512
302	445637.088	157782.314	217.838
303	445626.609	157781.170	228.526
304	445632.639	157780.948	220.110
306	445628.094	157782.253	228.116
307	445637.194	157783.572	216.938

A Review and Optimize fülön a georeferálás előtt fontos, hogy minden létrehozott linket zároljak, különben előfordulhat az illesztés középhibájának minimalizálása érdekében, hogy a korábban alapos munkával összeillesztett setupok kis mértékben elmozdulnak egymáshoz képest. A linkek melletti 'Lock' opcióval ezt lehet megakadályozni.

Mivel nem fekete-fehér pontjelekkel dolgoztam, ezért manuálisan kell lehelyeznem a targeteket a pontfelhő megfelelő pontjaira. Mindazonáltal mesterséges illesztőpontok használatakor is érdemes inkább manuálisan megadni a targetek helyét, még ha a pontfelhők importálásakor be is pipáltuk, hogy automatikusan ismerje fel a különböző targeteket. Az illesztőpontok szerkesztése funkció a Setup Cloud nézetben érhető csak el, vagyis álláspontonként lehet azonosítani a targetek helyét. A kiválasztott állásponti nézetben aktiválva a funkciót ráközelítek a keresett illesztőpont környezetére, és igény szerint a panorámaképpel együtt, vagy csak a felhőnézetben manuálisan lehelyezem a mért pontra a virtuális illesztőpontot. A beazonításhoz segítségemre van a terepen készített homlokzati manuálé, illetve a pontfelhőt is át lehet állítani intenzitás szerinti (Hue/Intensity Map) nézetre. A lehelyezés után a targetet egy háromdimenziós, piros színű kereszt jelöli, és ha megfelelőnek tűnik a pont pozíciója, Smart Labelként megadom a koordinátajegyzék szerinti pontszámot, és a Done gomb kétszeri megnyomásával véglegesítem a pontot. Meg-

jegyzendő, hogy az így lehelyezett illesztőpontok pozicionálásában több a bizonytalanság, mintha mesterséges tárcsákat vagy sakktáblaszerű pontjeleket használtam volna. [18] A cél legalább 4 db, de inkább több, az épület egészen megfelelő eloszlású, különböző homlokzati síkokon elhelyezkedő, lehetőleg eltérő magasságú pont lehelyezése volt. Voltak olyan targetek, amelyeket nem tudtam elég jól azonosítani, például a villámhárítót rögzítő szögvas sarkát vagy egy túl magasan lévő ablakpárkány szélét. Az ilyen esetekre is felkészülve mértem meg több pontot még a terepen. Végül az RTC360-nal készített felhőn 5 db illesztőpontot helyeztem így le, a BLK2GO pontfelhőn az alacsonyabb pontsűrűség miatt ez jóval nehezebb feladat volt, és csak 4 db pontot sikerült megbízhatóan azonosítani.

Ezt követően az egyesített pontfelhő kötegre jobb egérgombbal kattintva, a legördülő menüből az Apply Control lehetőségnél kiválasztom a betöltött koordinátajegyzéket, majd megtörténik a transzformáció. A 30. ábra. mutatja a georeferálás egész kötegre vonatkoztatott középhibáját, illetve targetenként is látszanak a maradék ellentmondások, akár X, Y, Z irányú komponensenként. Míg az RTC360 egyesített pontfelhő georeferálásának középhibája ~5 mm, ez a BLK2GO esetében valamivel 2 cm alatti érték, ott ráadásul kevesebb illesztőpontot használtam.



30. ábra RTC360 Pontfelhő georeferálás után [saját kép]

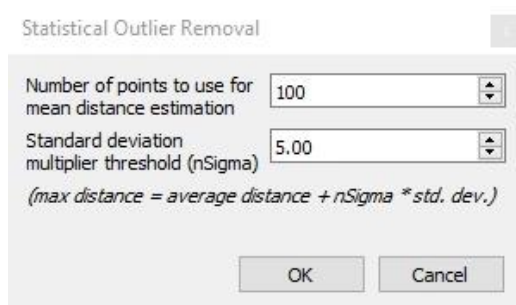
6.3.6 Végtermék előállítása, publikálás

A publikáláshoz először a Finalize fülre megyünk, ahol véglegesítjük az eddigi munkánkat. Majd a Report fülön lehet beállítani, hogy milyen végtermékeket szeretnénk kimenteni. Készül egy pdf jegyzőkönyv a munkafolyamatól, aminél megadható, hogy milyen adatokat tartalmazzon (7. melléklet). A Publikálási beállítások fülön pedig a különböző fájlformátumok között lehet választani. Mentek LGS fájlt, amellyel például a Leica TruView programmal tudok később navigálni az egyes setupok közötti panorámaképeket megtekintve, ez kifejezetten hasznos tud lenni a modellezés során. Bár nagyobb fájl mérettel jár, de a navigálást megkönnyíti, ha azt állítom be, hogy panorámaképek mellett pontfelhőt is mentsen a program az LGS fájlba. A pontfelhő kimentéséhez a gyártófüggetlen E57 formátumot használom. A későbbi Archicades feldolgozáshoz elég, ha egyesített pontfelhőként mentem ki. A pontfelhő-modell összehasonlításához, amennyiben a BIM-eltérés funkciót és panorámakép nézetet is használni akarom, szükség van olyan strukturált szerkezetű fájlra is, amely megtartja az álláspontonkénti információkat a panorámaképekkel együtt, ami jellemzően sokkal nagyobb fájl méretet is eredményez. A kimentéshez megadható, hogy milyen pontfelhő szűrővel, ritkítással készüljön a végtermék. A Decimate Point Cloud Setting ablakban az egyesített pontfelhőnél távolság alapon lehet megadni a szűrés mértékét, szem előtt tartva, hogy 1-2 GB-nál nagyobb pontfelhő fájlal nem optimális Archicadben dolgozni. Nagyobb projekteknél az 2 cm-es ritkítást szoktunk beállítani, de itt a fájl méret megengedte a 1,5 cm-es szűrést is. Ha egy fájlban, de külön setupokként mentjük a pontfelhőt, akkor a ritkítási faktort (sub-sampling factor) tört alakban lehet kiválasztani. A nevező értéke a megtartandó pontok indexe, az 1/4-es beállítás például minden negyediket tart meg, vagyis a pontok 25%-át menti csak ki. [7] Ezt a fájlt 1/9-es ritkítással mentettem ki.

6.3.7 Tisztítás CloudCompare programban

A Cylone REGISTER 360 alkalmazásban zajszűrésre nincs teljesen megfelelő módszer, így ott csak a manuális tisztítást végeztem el. A nagyobb porszemekről visszaverődő vagy többutas terjedésből keletkező pontok zaját a nyílt forráskódú CloudCompare programban, az úgy nevezett SOR szűrővel távolítottam el, amely a Statistical Outlier Removal

rövidítése, és a kiugró távolságban lévő pontok, pontcsoportok kiszűrésére alkalmas. A szűrési beállításoknál megadható az algoritmus által felhasználandó szomszédos pontok száma, és hogy a távolságok szórása mekkora egész számmal legyen az egyenletben megszorozva. Ebből kijön egy küszöbérték, az ennél távolabb eső pontok törlődnek, a közelebbi vagy egyenlő távolságra lévő pontokat megtartja az algoritmus. Némi kísérletezés után ki lehet tapasztalni, hogy mely beállításnál érünk el optimális tisztítást anélkül, hogy releváns pontokat is kitöröljünk (31. ábra).



31. ábra SOR filter beállításai [saját kép]

6.3.8 Pontfelhők összehasonlítása CloudCompare programban

A már szűrt, megtisztított pontfelhők összevetésére is a CloudCompare programmal tesztek kísérletet. Az eddigi tapasztalatok és a műszerspecifikációk alapján azt lehet várni, hogy a statikus lézerszkennerből származó pontfelhő jóval pontosabb és részletesebb, mint a mobilszkennerek eredménye. Visszautalva az 2. táblázatban bemutatottakra, a BLK2GO ellenőrzött körülmények között is csak tized annyira pontos, mint az RTC360. Ez a gyakorlatban a felbontásból is adódóan inkább ~20 mm-es pontosságot jelent. A távmérési zaj a statikus szkennernél 0,5 mm alatt van, a mobil megoldásnál viszont ± 3 mm körül (szintén ellenőrzött körülmények között). Szem előtt tartandó, hogy a BLK2GO eredményeit a sebessége adta előnyökkel párhuzamosan érdemes vizsgálni. A szabadszemmel is jól kimutatható különbség a maximális mérési távolságból adódó eltérések (32. ábra). A mobilszkennerekkel készült pontfelhő esetében hiányzik a torony felső lezárása a kereszttel, és a to-

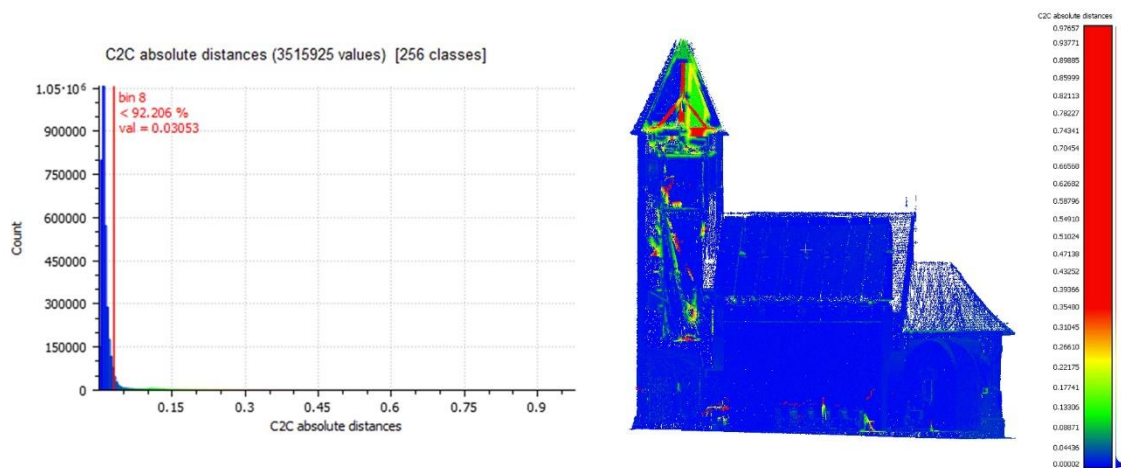


32. ábra (a) RTC360 pontfelhője (b) BLK2GO pontfelhője [saját kép]

rony cserép héjalásánál is nagyon alacsony a pontsűrűség. Ezek már némiképp nehezíthetnék a modellezési munkát. A hajó tetőhéjalásának is vannak hiányosabb részei, ahova úgymond nem látott rá a BLK2GO.

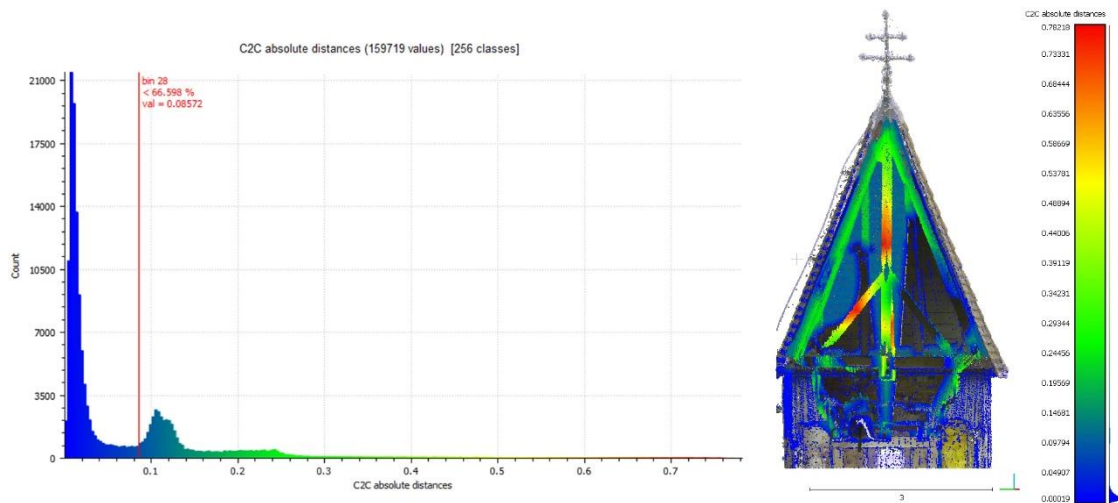
Az összehasonlításhoz először a szegmentálás funkcióval a két felhőt egyszerre kijelölve, felülnézetben körbe vágom, leszűkítem a templom épületére. A szegmentált pontfelhőrészekről a Clone funkcióval másolatot készítek, és a Cloud Compare-en belül egy újonnan létrehozott mappába/csoportba másolom, hogy egyszerű legyen visszanyúlni az eredeti állományokhoz. Ezután mindig a másolatokkal dolgozom tovább. Bár mindkét felhő georeferált, azért az összevetés előtt az RTC360-nal készült pontfelhőt referenciának véve finom regisztrálást, igazítást végzek még a mobilszkennerből származó pontfelhőn, 90%-os végső átfedést előirányozva.

A finom illesztés után elvégzem a két szegmentált pontfelhőre a Compute cloud/cloud distance funkcióval a pontfelhőösszehasonlítást, a statikus szkennerből származó (vagyis sűrűbb) pontfelhőt használva referenciának. Ahogy a hisztogramon is látszik (33. ábra), a pontok több mint 90%-ában az eltérés 30 mm alatti, ami jó eredménynek mondható. Jelentősebb különbség a toronyban, főleg a fedélszéknél tapasztalható, azon a részen, ahol az RTC360-nal egy álláspontból a szűkös, zezugos teret kevésbé lehetett jól rögzíteni.



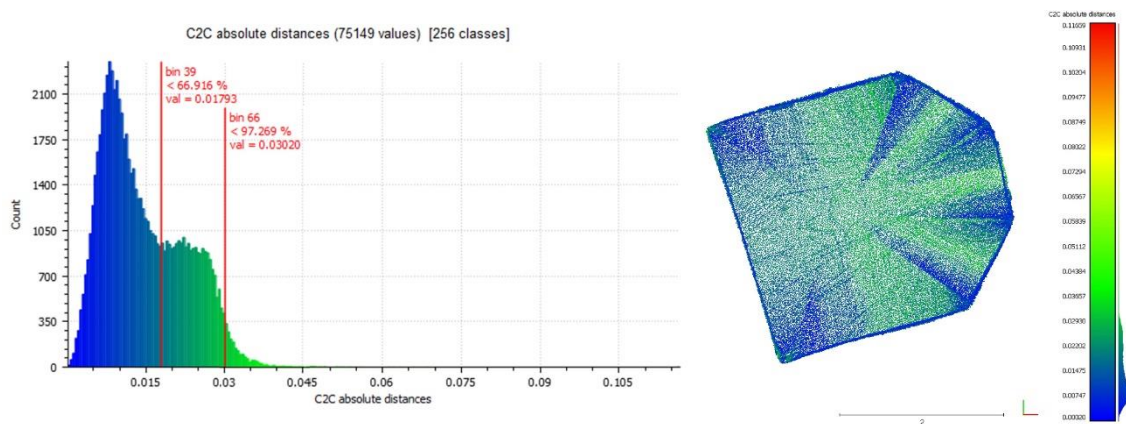
33. ábra Pontfelhő-pontfelhő távolság: teljes templom [saját kép]

Közelebről megvizsgálva torony tetőszerkezetét, a 34. ábra jól érzékelteti, hogy a fedélszék faszerkezetének mely részei szerepelnek csak a mobil mérésben.



34. ábra Pontfelhő-pontfelhő távolság: torony tetőszerkezete [saját kép]

A szentély boltozatáról is készítek egy kivágotat, hogy azokra a pontokra leszűkítve is el tudjam végezni a pontfelhők összehasonlítását. Itt a pontok kétharmada 18 mm-en belüli eltérést mutatott, inkább a magasabban fekvő (~4 m) pontok között figyelhető meg nagyobb különbség. De még így is 3 cm-en belül van a pontok 97%-a. A középhiba csak 14 mm.



35. ábra Pontfelhő-pontfelhő távolság: boltozat összehasonlítása [saját kép]

A felületek előtt-mögött, illetve alatt-felett szóródó pontok, vagyis a zaj vizsgálatához egy 1 cm magas, vízszintes szeletet vizsgáltam a hajó bejárati kökereténél. A 36. ábra mutatja, hogy míg az RTC360 egy viszonylag egyértelmű kontúrt rajzol ki, addig a BLK2GO esetében a pontok szóródása erőteljesebb, 2-3 cm közötti. Modellezésnél ez a bizonytalanság pontatlanabb eredményekhez vezethet, főleg a részletek, nyílászárók, kő-

keretek vagy díszek esetében. A zaj betudható akár annak is, hogy a kézi mobilszkennerrel ez a terület a templomba belépve és a templombelső körbejárása után kilépéskor is be lett szkennelve, a mobil, illetve SLAM technológia pedig hordozhat ennyi bizonytalanságot.



36. ábra Pontfelhőzajok közötti különbség [saját kép]

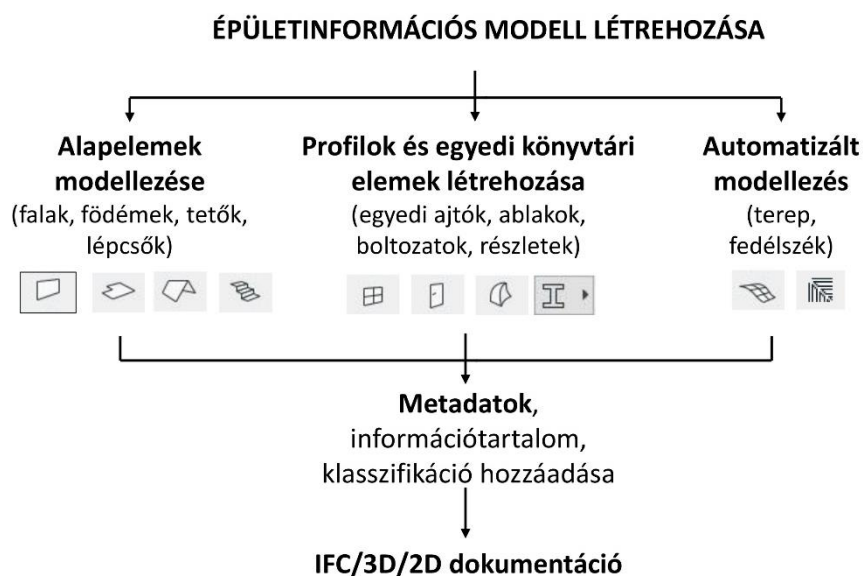
A pontfelhő összehasonlításoknál a BLK2GO viszonylag alacsony eltéréseket mutat az RTC360-hoz képest. Hozzá kell tenni, hogy ez egy kis léptékű épület, és a mobilszkennereknek kihívást jelentő helyzetek, mint a hosszú, jellegtelen folyosók, rámpák, lépcsőházak vagy nagy alapterületű, kevés megkülönböztető vonással rendelkező terek, itt nem merültek fel. Így elcsúszásokkal, halmozódó hibákkal nem kellett szembesülni. A BLK2GO-s pontfelhő inkább a zaj és a kisebb pontsűrűség miatt tud kevésbé alkalmas alapot nyújtani műemléki épület LOD 300 körüli modellezéséhez. Hátrányt jelent még, hogy a georeferálásnál az illesztőpontokat sokkal nehezebben és nagyobb bizonytalansággal lehetett azonosítani. Továbbá a panorámaképek felbontása is jóval elmarad az RTC360 által készített képektől. Viszont a zezugos terekben, mint például a torony fedélszéke, látványosan több információt rögzített, mint a statikus szkennerek, ami az eszköz mobilitásából adódik. Ezen kívül fontos az időfaktor is, hiszen a tiszta szkennelési időt nézve hatszor gyorsabb volt a mobil eszköz, de ha az álláspontok közti mozgást is beleszámolnánk, ez a szorzó még növekedne. A BLK2GO inkább alacsonyabb részletességi szint mellett tud jó szolgálatot tenni, illetve statikus szkennelési folyamatok kiegészítéseként tud gyorsasága miatt ideális munkaeszköz lenni. Nagyobb projekteknél, amíg

a szkennelt épület külső vázát a lépcsőházakkal és folyosókkal az RTC360 tudja biztosítani, addig a repetitív helyiségek gyors szkennelésére jól használható a Leica kézi szkennere.

A modellezéshez végül az RTC egyesített pontfelhőjét egészítem ki a BLK2GO toronyfedélszékekben rögzített pontjaival, így ötvözve a két eszköz kedvező tulajdonságait.

7. BIM MODELLEZÉS

A felmérési BIM modell létrehozásakor a későbbi felhasználási célokat szem előtt tartva folyamatos mérlegelés szükséges, hogy a generalizálás, közelítés, egyszerűsítés az építészeti szándékot tükrözze, továbbá a részletek a felhasználhatóság határain belül legyenek modellezve. Vannak olyan épületszerkezetek, amelyeket egyszerű alapelemekből lehet leképezni. Minél nagyobb a pontossági elvárás, jellemzően annál több egyedi elemkönyvtárra lehet szükségünk. Fontos tisztában lenni vele, hogy mit nyerünk és mit veszítünk egy-egy épületrész pontos vagy épp kevésbé pontos digitális 3D-s megjelenítésekor. Például, ha úgy döntünk, hogy lekövetjük a falak szabálytalanságait és szabálytalan szögtöréseit, számolni kell vele, hogy a modellből származtatott metszeteknél, homlokzatoknál nem kívánt nézeti vonalak fognak megjelenni, ami nem kívánt 2D-s javításokat vonhat maga után. Jelen projektnél a modell-pontfelhő eltéréseire 5 cm-es hibahatár irányoztam elő, főleg a szabálytalan falazatok miatt, és LOD 300 geometriai részletezettséget. Az információtartalomra (LOI) egy későbbi alfejezetnél térek ki.



37. ábra BIM modell létrehozásának lépései [15]

A felülethálóként generált 3D modellhez képest, a BIM modell létrehozásánál az jelenti a kihívást, hogy a folyamat sokkal kevésbé automatizálható. Bár számos szoftver célozza

meg azt a piaci rést, amely a pontfelhőt lekövetve bizonyos mértékben automatizálva generálja le a modellelemeket, ezek egyelőre még nem váltják be a hozzájuk fűzött reményeket.

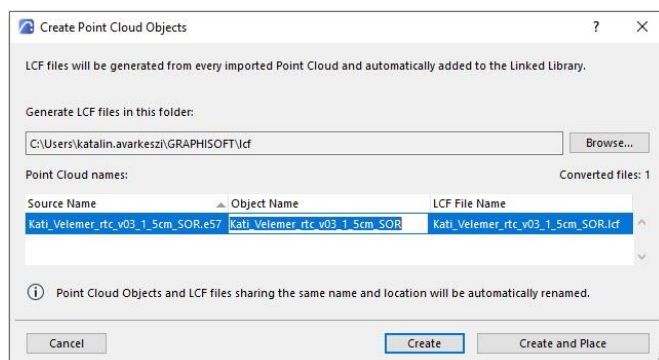
Fontos megemlíteni, hogy teljeskörű, LOD 200-300 részletezettségű elemekből álló Heritage BIM modell létrehozása archív tervek, felújításokról készült tanulmányok vagy részletes feltárás nélkül nem tud létrejönni. Olyan nem látható szerkezetek, mint az alapozás, takart földem- vagy tetőszerkezetek a lézerszenner számára is láthatatlanok. Ezek megmodellezéséhez korábbi felmérési, megvalósulási tervekre vagy helyi feltárára is szükség van. Ezek csak részben álltak rendelkezésemre.

7.1 BIM modell létrehozása Archicadben

A modellezéshez az Archicad 25 szoftvert használtam, amely Magyarországon az egyik piacvezető építészeti BIM szoftver, a munkahelyem biztosított licenszet a programhoz. Jelen dolgozat nem terjed ki az Archicad teljes felhasználói felületének bemutatására, igyekszem a fontosabb lépéseket bemutatva egy átfogó képet adni a pontfelhőalapú modellezés menetéről.

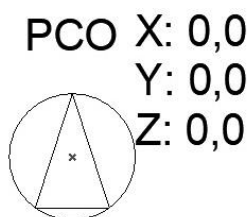
7.1.1 Pontfelhő modul és felmérési pont

A pontfelhőt modulként érdemes beimportálni a munkafájlunkba, mert így, ha – akár véletlenül – el is mozzgatjuk, forgatjuk, a modul segítségével újabb adatszolgáltatás befrissítése esetén is megmarad a lokáció. Rendelkezésemre állt egy jól előkészített céges Archicad alapfájl, abba hívtam be az RTC360-nal készült és a BLK2GO toronyfedélszékkel kiegészített, összeillesztett, georeferált, tisztított pontfelhőt a File>Interoperability>Import Point Clouds paranccsal. A behíváskor az alábbi ablak jelenik meg:



38. ábra LCF fájl létrehozása [saját kép]

Az Archicad tárgyi elemet készíti a kapott pontfelhő állományból, és innentől az E57 fájlt nem fogja használni, mindig az LCF tárgyi elemet fogja keresni. A Create helyett a Create and Place lehetőséget választom, mert az előbbi opcióra kattintva manuálisan kellene lehelyeznem a pontfelhő tárgyi elemet, ami ahhoz vezethet, hogy későbbi adatszolgáltatás vagy módosított pontfelhő esetén nem fognak illeszkedni az állományok. A felugró ablaknál megadom, hogy a földszint legyen a honszint, és a projekt origója egyezzen meg a georeferált pontfelhő 0,0,0 pontjával. Ezzel lehelyeződik a pontfelhő a megnyitott modulfájlban. Alaprajzon egyelőre nem jelenik meg, mert jóval magasabban (Balti magasság) helyezkedik el, mint a földszinti vágósík, de a 3D-s nézetben látszódik. A tárgybeállítási panelen tudom beállítani, hogy a honszint helyett, minden szinten legyen látható, ahol a felhőnek van kiterjedése, ami később, a munkafájlban történő modellezéshez elengedhetetlen lesz. A fóliastruktúrát szem előtt tartva, az alapfájlban erre a célra fenntartott fóliára helyezem át az állományt (000-Pontfelhő). Archicadben jellemzően nem a világ- vagy országos koordinátáknak megfelelő helyen rajzolunk, mert ez a sok tizedesjegyű számítás megjelenítési zavarokat (elmosódott anyagokat, villogó felületeket) okoz a szoftverben, és a frissítési idők is megnőnek. Bár a beimportált pontfelhő EOVS rendszerben van, de mivel a modul fájlban nem szerkeszték, ezért itt még nem okoz különösebb gondot, hogy a projektorigótól több százezer méterre van a pontfelhő tárgya. A későbbi munkafájlba történő lehelyezéshez mentés előtt még behívok egy PCO (point cloud origo), vagyis pontfelhőorigó-tárgyat, amelyet elhelyezek a projektorigóban a 000-Pontfelhő origó fóliára. Ez nem azonos a pontfelhő középpontjával vagy súlypontjával.

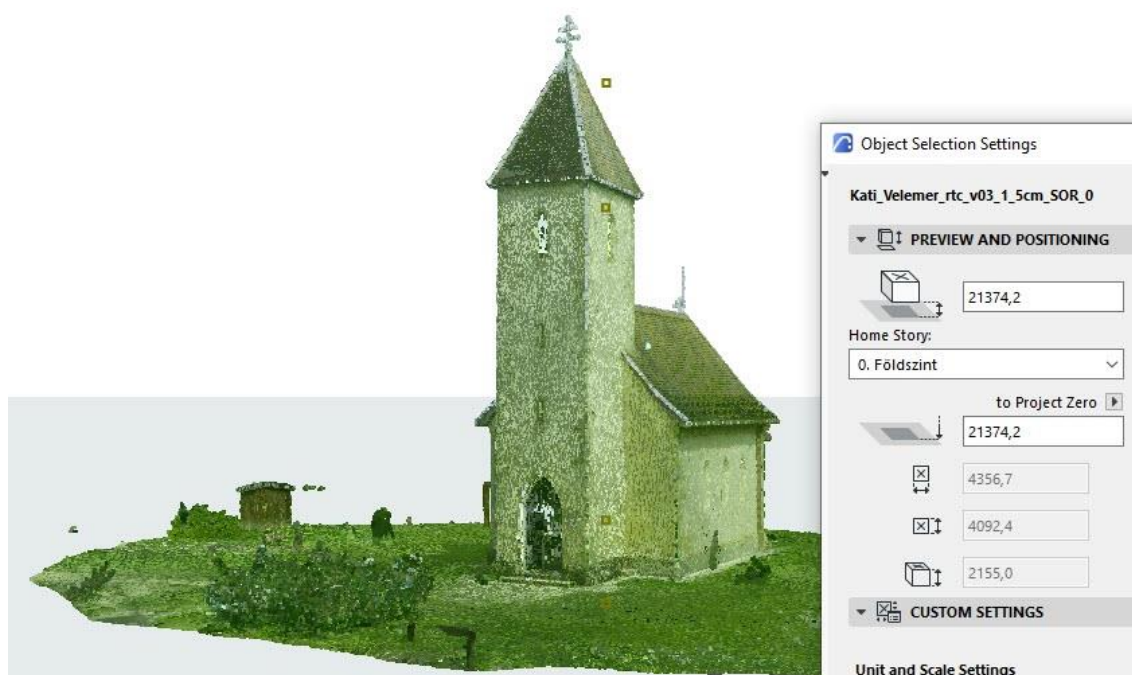


39. ábra Pontfelhőorigó-tárgy a 0,0,0 helyen [saját kép]

Ezzel tudom majd lekövetni, hogy mennyivel kell eltolni a pontfelhőt a munkafájlban, hogy az ottani projektorigó közelébe kerüljön. Ami pont az EOVS helyes modell kimentése miatt lesz majd fontos. Ezután elmentem a fájlt PLN kiterjesztésben.

Új Archicad sablon fájlt nyitok, elmentem a megfelelő névvel, és egyből a File>External Content>Place Hotlink lehetőségre kattintva a felugrik a Hotlink lehelyezése ablak. Itt kiválasztom a Select Module gombra kattintva a lementett Archicad fájlt (.pln), a szint kiválasztásnál a földszintet jelölöm be, mert a modulfájlban is csak oda helyeztem le elemet. Az ablak beállításainál ellenőrzöm, hogy mesterfóliaként a moduloknak fenntartott fólia van-e megadva, jelen esetben ez a '000-Modul' fólia, elforgatást vagy magassági eltolást nem alkalmazok, majd a Place Hotlink gombbal lehelyezem a modult. Az Archicadbe behívott modulok hozzák magukkal a bennük lehelyezett elemek tulajdonságait, így a fóliát is. Azáltal, hogy a modul fóliára helyezem le magát a külső tartalmat, több modul, illetve több fóliát használó modul esetén egyszerre is kapcsolható a láthatóság vagy szerkeszthetőség. Ezután a beillesztési beállításokat kell megadni. Itt is fontos, hogy ne az aktuális nézet közepére, hanem az eredeti helyére kerüljön a pontfelhő.

Ezzel azonban a pontfelhő helyén még csak egy kis négyzet jelenik meg, még manuálisan csatolni kell a korábban lementett LCF tárgyi elemet a munkafájlhoz, amit a könyvtárkezelőben az Add Linked Library legördülő menüre kattintva tudok kiválasztani. Ezután 3D-ben már jól megjeleníthető a pontfelhő, azonban ez még nagyon messze van a projekorigótól, x, y, és z irányban is.



40. ábra Pontfelhő Archicadben 3D-ben, tárgy beállításokkal [saját kép]

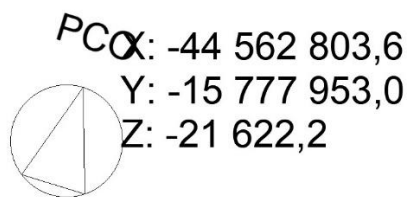
Mivel a modul tartalmazza a pontfelhőorigó-tárgyat, ezért innen már szabadon mozgathatjuk a pontfelhőt, az említett tárgyi elem nyomon követi a mozgásokat és az elforgatásokat is, hiszen a modult az Archicad egy entitásként kezeli. Először a 3D-s nézetben lejjebb hozom a pontfelhőt a projekt 0,00 szintjére, viszont mivel lejtős terep is társul a templomhoz a pontfelhőn, ezért először csak egy terepkaréj jelenik meg a fölszínten. Az 1. emeletre váltva viszont már látszódik az alaprajz, így egy jól elhelyezett segédmetszősík felvételével könnyedén megfelelő magasságra állítható a pontfelhő, hogy aztán könnyebben lehessen X, Y irányba is eltolni. Ahhoz, hogy az projektorigóhoz lehessen mozgatni, kicsit ki kell zoomolni, majd először egy közelítő mozgást végezni. Ezzel a projektorigóba tudom elhelyezni a pontfelhő középpontját. Érdeemes ezután egy nevezetes pontot kiválasztani, például az egyik falsarkot, és így, hogy már rá lehet jobban nagyítani az alaprajzra, átmozgatni a pontfelhőt a kiválasztott pontra. Mindeközben a modulfájl másik eleme, a pontfelhőorigó-tárgy ugyanennyivel mozog arrébb.



41. ábra Pontfelhő különböző helyzetei [saját kép]

A szerkesztés, modellezés egyszerűbb, ha az X vagy Y iránnyal vannak párhuzamos falak, bár a középkori templomnál nem számítottam rá, hogy túl sok derékszögű elemet fogok modellezni. A pontfelhő elfordítása helyett csak a rajztér irányultságát módosítottam úgy, hogy az X koordináta párhuzamos legyen a déli templomfallal (41. ábra).

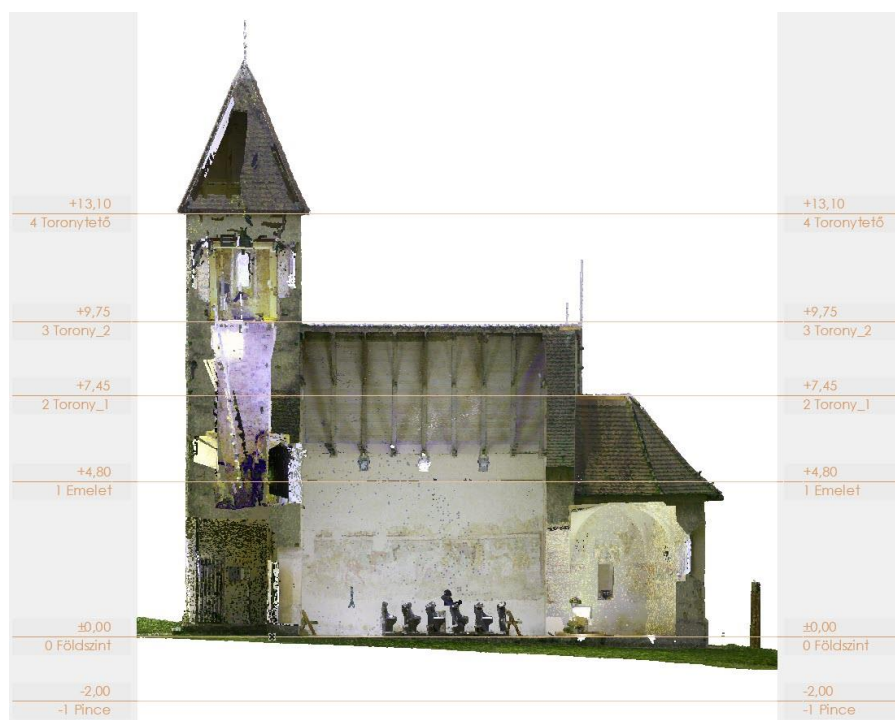
Ha ráközelítek a pontfelhőorigó-tárgyra, amely most több százezer méterre került a projektorigótól, akkor látom (cm-ben kifejezve), hogy mennyit mozgattam el a pontfelhőt X, Y, Z irányba. Ez olyan esetekben is hasznos információ, ha meg kell adni a modell origóját EOY koordinátákkal és Balti magassággal. Illetve ehhez a ponthoz majd az EOY helyes modell kimentésekor is visszatérek.



42. ábra Pontfelhőorigó-tárgy az eltolt koordinátákkal [saját kép]

7.1.2 Modellezés

Miután a pontfelhőt vízszintes értelemben a megfelelő helyre igazítottam, egy, az épület hossz tengelyén keresztülmenő metszősíkot felvéve, projektre szabom a szintbeállításokat. A céges alapfájlban már eleve definiálva vannak szintek, ezeket módosítom és egészítem ki a szükséges emeletekkel. A szintbeállítások még később is változtathatók, ha modellezés úgy kívánja meg. De olyankor figyelni kell a szintmagasságokhoz igazított elemek esetleges elmozdulására.



43. ábra Pontfelhő hosszmetsete szintmagasságokkal [saját ábra]

Már a modellezés közben ügyelek rá, hogy az egyes elemek az adott föliastruktúrán a megfelelő föliára kerüljenek, Archicad osztályozásuk stimmeljen a funkciójukkal, illetve, hogy az építőanyaguk is a valóságnak megfelelő típus legyen.

Falak

A modellezést a falakkal kezdem, az alaprajzi nézetben lemérve a falvastagságot, egyszerűen lekövethető a pontfelhő által kirajzolt falkontúr. Archicadben az alaprajzban elhelyezett elemeknek egyből 3D-s reprezentációja is van, így egyszerűen ellenőrizhető a folyamat, illetve modellelemek 3D-ben is jól szerkeszthetők. A szentély, hajó és torony falait szintenként modellezem.

Tetők

A tetőknél segédmeteszősíkok felvételével tudom a pontfelhőről jól megmérni a dőlésszöget, a vízcsendesítő mértékét, illetve magát a tetőhéjalás vastagságát is. A létrehozott tetősíkokkal le lehet vágni a túlnyúló falakat (44. ábra). A rétegrendet az archív helyreállítási tervekről tudom megnézni.



44. ábra Falak és tetők modellezésének folyamata Archicadben [saját kép]

Fedélszékek

A fedélszékeket gerendákból és oszlopokból manuálisan hoztam létre. A pontfelhőn kívül segítségemre volt egy nagyon részletes helyreállítási tervdokumentációs is, amelyet H. Nándori Klára, az 1960-as és 1990-es évek végén folyt helyreállítások építész tervezőjének a felkutatása után sikerült kézhez kapnom. A keleti oldalon lévő boltozat eltakarja a szentély feletti tetőszerkezet, így azt csak az egykori tervekből tudtam volna megmodellezni, de mivel a pontfelhő-modell összehasonlításnak ez eleve nem képezte a részét, ezért ettől jelen szakdolgozatnál eltekintettem.

Födémek és boltozatok

A szentély feletti boltozat létrehozásához a PointCab Origins nevű szoftvert vettem igénybe. Ez egy pontfelhő feldolgozó és kezelő alkalmazás, amely egy add-on segítségével direkt kapcsolatot tud létrehozni a modellező szoftverekkel. Ez lehetővé teszi például pontfelhőből automatikusan generált homlokzatok, metszetek, alaprajzok szinkronizálását Archicadbe, amelyek igény esetén egyből tervlapra helyezhetők és publikálhatók. A boltozathoz létrehoztam PointCabben egy „álmennyezeti nézetet”, tehát egy felfelé néző alaprajzot a szentély területére, és a 3D pont funkcióval pontokat helyeztem le a boltozat jellegzetes pontjaira és a falszélekre. Ezeket a pontokat aztán ki lehet XYZ kiterjesztésben menteni PointCab-ból, majd az Interoperability>Place Mesh from Surveyors Data paranccsal behívható a fájl Archicadbe. És mivel a PointCabben használt pontfelhő origója egyezik a modellezéskor használt projektorigóval, automatikusan a megfelelő helyre kerül a felületháló. Ezután még szükség van a felület finomítására a pontfelhő és a modellezett befoglaló forma, vagyis a környező falak alapján, de ez szolgál majd negatívként, ún. operátorelemként a végső boltozathoz.



45. ábra Boltozat (a) 3D pontok PointCabben, (b) felületháló Archicadben látható éllel és (c) simított éllel
[saját kép]

Nyílászárók

Talán a legidőigényesebb része a modellezésnek, hiszen szinte az összes nyílászárót egyedi tárgyként kell legyártani. Továbbá megnehezíti a folyamatot a ferde, csúcsíves lezárású kávak kialakítása, amelyeket külön falfülkékből és operátor elemekből tudok létrehozni. Az egyedi elemekhez nem kell feltétlenül GDL tárgyakat programozni, lehetőség van födemelemből, gerendákból az X, Y síkban létrehozni a szükséges geometriát, ami aztán elmenthető egyedi ablak- vagy ajtóelemként, és az alapkönyvtári nyílászárókhoz hasonlóan elhelyezhető a falazatokba.

Lábazat és koszorú

Ezekhez a bonyolultabb geometriákhoz egyedi profilokat hoztam létre, amelyek aztán gerenda vagy fal keresztmetszetként használhatók, amivel létrehozható a szükséges épületszerkezeti kontúr.

Homlokzati kiegészítő elemek

Az ívsoros párkányt homlokzati nézetben a pontfelhő alapján sokszögvonallal körberajzoltam, majd alaprajzra másolva létrehoztam egy ennek megfelelő alakú födémet, amely alakzattá alakítva már egyszerűen homlokzati síkba fordítható. Az épületre oly jellegzetes lőrészerű nyílásokat operátorelemként lerakott téglatestekkel vágtam ki a falakból. Ehhez szilárdtest műveleteket használtam, amellyel egymásból kivonhatók, összeilleszthetők különböző modellelemek. Az erre külön fenntartott operátor fólia alapértelmezésben le van kapcsolva, így csak az operátor elemek által kivágott geometriák érvényesülnek.

Terep

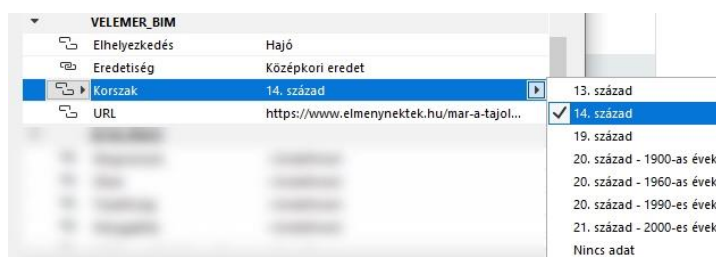
A terepet is a PointCab Origins szoftver segítségével hoztam létre, a 3D pontoknál lehetőség van megadott raszterben automatikusan lehelyezni pontokat, amelyeket aztán XYZ formátumban Archicadbe beolvasva létrejön felülethálóként a környező terep.

Bizonyos elemeket tudatosan nem modelleztem meg. Vagy mert nem volt látható, és nem volt hozzá elég információ, vagy mert a kitűzött részletezettségi szinthez nem volt szükség a modellezésére. Ilyenek a tetőn a hófogók, gerinccserepek, villámhárítók, falazat köelemei, a templom belsejében bútorok, berendezések, elektromos és gépészeti elemek. Az elkészült 3D modelltől könnyedén generálhatók alaprajzi, metszeti és homlokzati nézetek (9. melléklet).

7.1.3 Modellelemek paraméterezése

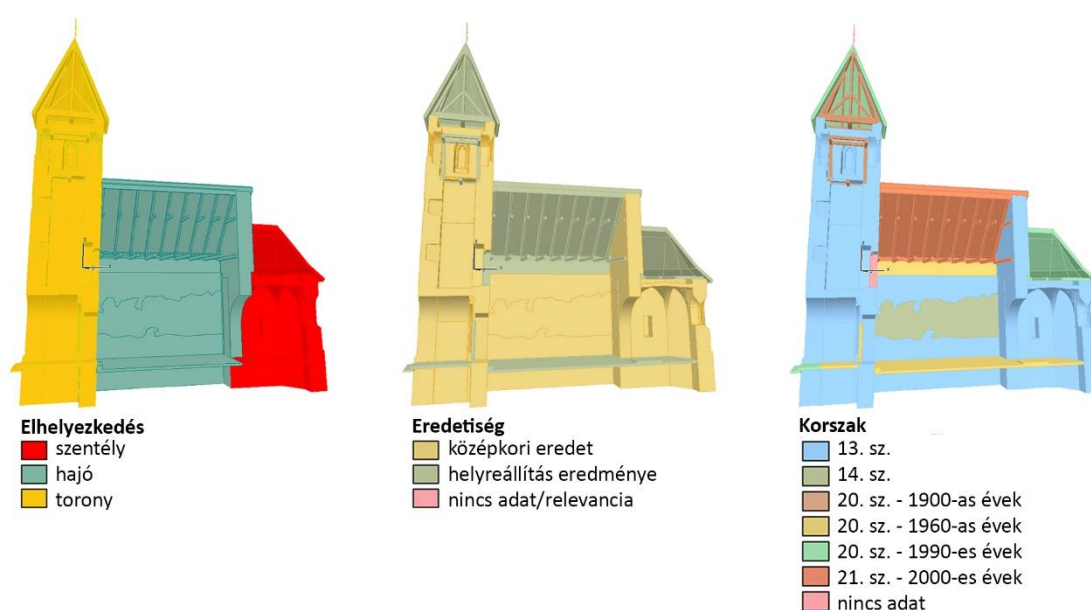
A szükséges információsztet (LOIN) jelen projektnél én határoztam meg, szem előtt tartva, hogy milyen adatok állnak megbízhatóan rendelkezésemre, mint a korábban említett helyreállítási tervek vagy egyéb fellelhető források. A paraméterezést lehet a modellezés végén vagy azzal párhuzamosan végrehajtani. Bizonyos tulajdonságok a tudatos modellezés folyamán már helyesen belekerülnek a modellelemekbe, pl. építőanyag, át-

építési szűrő, fólia stb. Az ennél egyedibb adatok számára az egyszerű kezelhetőség érdekében egy egyedi tulajdonságkészletet hoztam létre a Tulajdonságkezelőben (Property Manager) VELEMER_BIM néven. Ebbe a hozzáadott paramétereknél –a térinformatikai szoftverek attribútumaihoz hasonlóan – ki lehet választani az adat típusát (karakterlánc, szám, egészszám, beállításkészlet stb.), illetve, hogy milyen osztályba sorolt elemek legyenek az adott tulajdonsággal felruházva. Az alábbi egyedi információtartalom került bele a modellelemekbe: Elhelyezkedés, Eredetiség és Korszak, mindhárom ún. beállításkészlet (Option set) adattípussal, ezáltal megadott listából választható ki a megfelelő érték. Ezen kívül egy karakterlánc típusú URL nevű paramétert is létrehoztam, amely internetes linkek megadására ad lehetőséget, például a falfestmények esetén.



46. ábra Egyedi tulajdonságok választható beállításkészlettel [saját kép]

A tulajdonságok megfelelő beállítása legkönnyebben ún. grafikus felülírásokkal ellenőrizhető, amelyek segítségével a modell elemei előre meghatározott megjelenést kapnak egy-egy kiválasztott tulajdonság alapján (47. ábra).



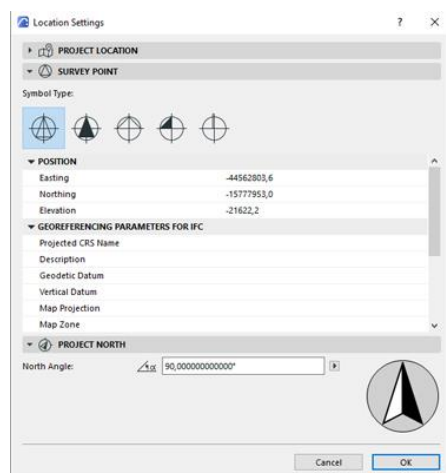
47. ábra Modellrészlet tulajdonságalapú grafikus felülírásokkal [saját kép]

7.2 IFC exportálása

Az IFC formátumú modell kimentéséhez be kell állítani az adott célnak megfelelő IFC fordítót, más néven átalakítót. Ez függ a megkövetelt metaadatokról, a szükséges geometria részletezettségtől és pontosságtól, illetve az adatcsere céljától (pl. további szerkesztés vagy referenciamodell). [21] Az ISO szabvány szerint meghatározott IFC sémaként az IFC2x3-as verzió az elterjedtebb, de IFC4-gyel is lehet már találkozni. Az, hogy melyiket kell használni, az jellemzően a projekt követelményeinél van meghatározva. A modellezés során beállítható, hogy mely elemek legyenek kimentve, és hogy olyan 2D-s elemeket is tartalmazzon-e az export, mint szövegek, címkék vagy nyílászárók alaprajzi megjelenítései. Típusmegfeleltetésnél az alapértelmezett Archicad osztályozás – v2.0 IFC2x3 beállítást használom, amely összhangban van az IFC sémával, ez biztosítja, hogy az általam modellezett elemek – helyes Archicad osztályozás mellett – a megfelelő IFC típusként jelennek meg az IFC modellben. A geometriakonvertálásnál a parametrikus (kihúzott) helyett a BREP geometriát választom, mert így érhető el az export során a megmodellezett látványhoz leginkább hű megjelenítése az épületszerkezeti elemeknek. Az IFC tulajdonságok megfeleltetésénél a korábban létrehozott egyedi paramétereket IFC tulajdonságként is felvezetem, kiegészítve olyan adatokkal, mint a fólia és az építőanyag. Majd az Adatkonvertálásnál a minél átláthatóbb adatstruktúra érdekében azt állítom be, hogy az alaplappontokon és alapadatokon túl, csak az IFC tulajdonság megfeleltetésénél megadott információkat mentse ki.

Ha EOVBan akarom kimenteni a BIM modellt, azt legegyszerűbben a Felmérési pont (Survey Point) funkcióval tudom megtenni. A funkciót aktiválva alapértelmezés szerint a 0,0,0 pontra helyezi le a program. Ha ezt átmozgatom a pontfelhőorigó-tárgy pozíciójába, akkor ezáltal lehetőség van EOVB rendszerben is kimenteni a modellt vagy akár EOVB helyes dwg-t publikálni. A Helyszín beállításai (Location Settings) ablakban numerikusan is módosíthatók a koordináták. (48. ábra) Azt, hogy melyik koordináta-rendszert vegye alapul a program exportáláskor, szintén a Geometriakonvertálás beállításánál lehet megadni, vagyis hogy az IFC hely az Archicad tervorigóval vagy a Felmérési ponttal egyezzen.

Az IFC modell kimentése mindig 3D-s nézetre vonatkozik, amely lehet előre mentett nézetből vagy alár publikálási készletből is.



Proj: -44 562 803,6
 Y: -15 777 953,0
 Z: -21 622,2
 North Angle: 90,00°
 Easting: -44562803,6
 Northing: -15777953,0
 Elevation: -21622,2

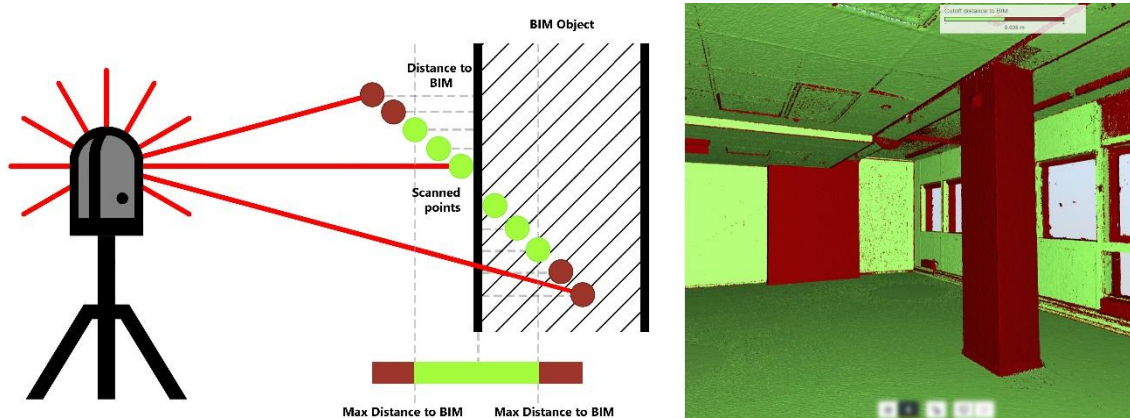
48. ábra Lokáció beállításai párbeszédpanel [saját kép]

7.3 Minőségellenőrzés

A BIM modell felépítésének és az információtartalom következetességének ellenőrzésére az Archicadban elérhető lekérdezések és grafikus felülírások szolgáltak.

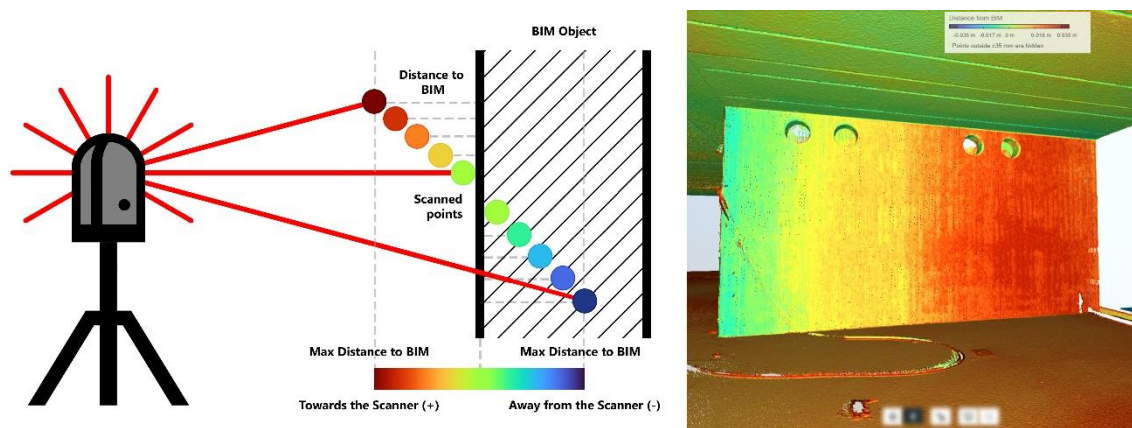
7.3.1 Modell és pontfelhő összehasonlítása Imerso-val

Az ellenőrzést a 4.5 fejezetben említett böngésző alapú Imerso felületen végzem. A vizsgálatához beállítandó a tűrési határérték, és attól függően, hogy a modellt vagy a pontfelhőt vesszük referenciának, a szoftver vizuálisan ábrázolja a beállított határértéktől való eltérést, vagy a pontfelhőt vagy az egyes modellelemeket színezve. Az úgynevezett Scan deviation, vagyis a pontfelhő modellhez képest fennálló eltéréseit megjelenítő funkcionál lehetőség van a küszöbértéken belül és kívül eső pontok különböző színű megjelenítésére (49. ábra Pontfelhő eltérések küszöbérték szerint [<https://help.imerso.com/en>]).



49. ábra Pontfelhő eltérések küszöbérték szerint [<https://help.imerso.com/en>]

A hőtésképszerű ábrázolásnál (50. ábra) némiképp több információt kapunk a pontok modellhez viszonyított elhelyezkedéséről, hiszen nem csak a határértéken belüli különbségek kapnak színátmenetet, hanem az is kiderül, hogy a mért pontok az adott BIM modellelem felületén kívül vagy belül esnek. Ez a módszer alkalmas akár a megépült szerkezetek síkpontossági vizsgálatára is, amelyre a Measurements lap alatt külön funkció van. Ezzel vizsgálhatók fal vagy födém adott síktól való eltérései, továbbá pillérsornál/oszlopsornál ellenőrizhető, hogy az egyes elemek egy vonalba esnek-e.



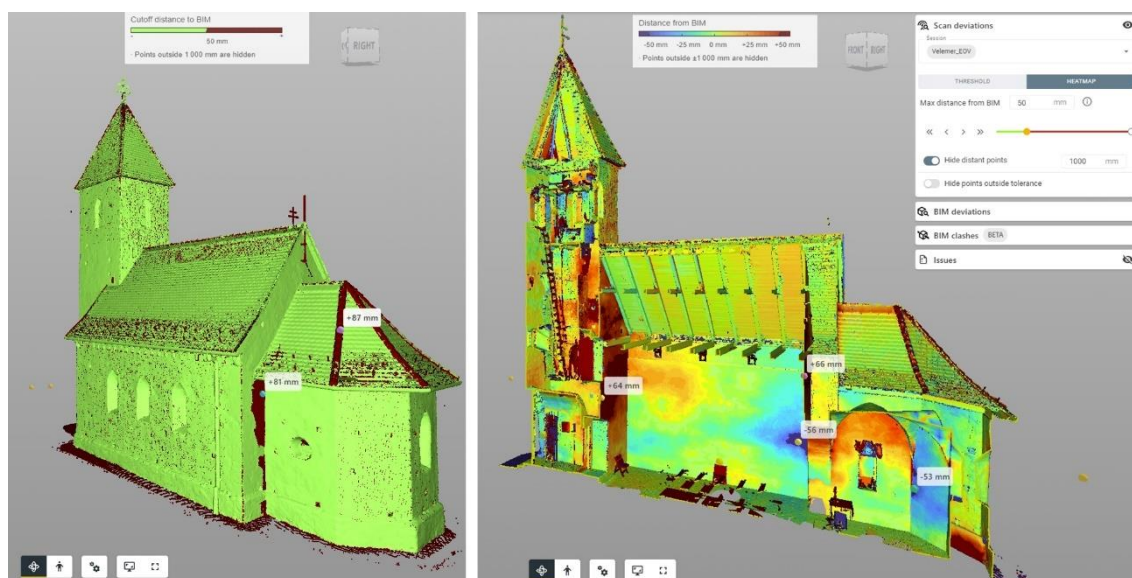
50. ábra Pontfelhő eltérések hőtésképszerűen [<https://help.imerso.com/en>]

A feltárt eltérésekről és ütközésekről észrevételeket lehet létrehozni, amely tárolja a 3D-s nézet(ek)et, a pozíciót, illetve bármilyen megadott címkét és leírást. Ezek aztán más észrevételkezelő felületre (pl. Catenda Hub) szinkronizálva, illetve BCF formátumban feltöltve, vagy akár PDF-ként kimentve megoszthatók az érdekelt felekkel. Ez lehetővé teszi az átlátható, naplózható kommunikációt a különböző projekt résztvevők között.

Az IFC fájl és az E57 fájlok feltöltése után jóvá kell hagyni a pontfelhő pozícióját alaprajzi és oldalnézetben. Ha nem egy koordináta-rendszerben lenne a két fájl, akkor lehetőség lenne manuálisan közelítő átfedésbe hozni a pontfelhőt a modellel, és az ún. best-fit alignment algoritmust lefuttatva rábízni az alkalmazásra a finomigazítást.

Az összevetéshez először a Scan deviations funkciót használom, amely a pontfelhő eltéréseit mutatja a modellhez képest a pontok színezésével. Ehhez azt egyesített, tisztított pontfelhőt használom, amelyet Archicadban is. 50 mm-es határértéket állítok be úgy, hogy az 1 m-nél távolabb eső pontokat vegye figyelmen kívül. A lefuttatás után az eredményt küszöbérték és hőtéskép szerint lehet megjeleníteni. Amint a 51. ábra is mutatja, nem mindenhol van a modell a pontfelhőhöz képest az 5 cm-es határértéken belül. A hajó

nyugati és keleti fala mutat jelentősebb eltérést a síkfelülettől, továbbá a tetősíkok szabálytalanabbak a valóságban, mint a BIM modellen. A gerinc- és élcserépek eltérésére lehetett számítani, hiszen ilyen szempontból egyszerűsítéssel éltem a modellezéskor. Az ajtószárnyaknál vannak még jelentősebb különbségek, mivel a modellben az egyedi nyílászárók csukott állapotban szerepelnek, ellentétben a szkennelt nyitott ajtószárnyakkal. A Measurements lapon a Scan deviation funkcióval pontosan megjeleníthető a pontfelhő választott pontjain, hogy mennyi az eltérés.

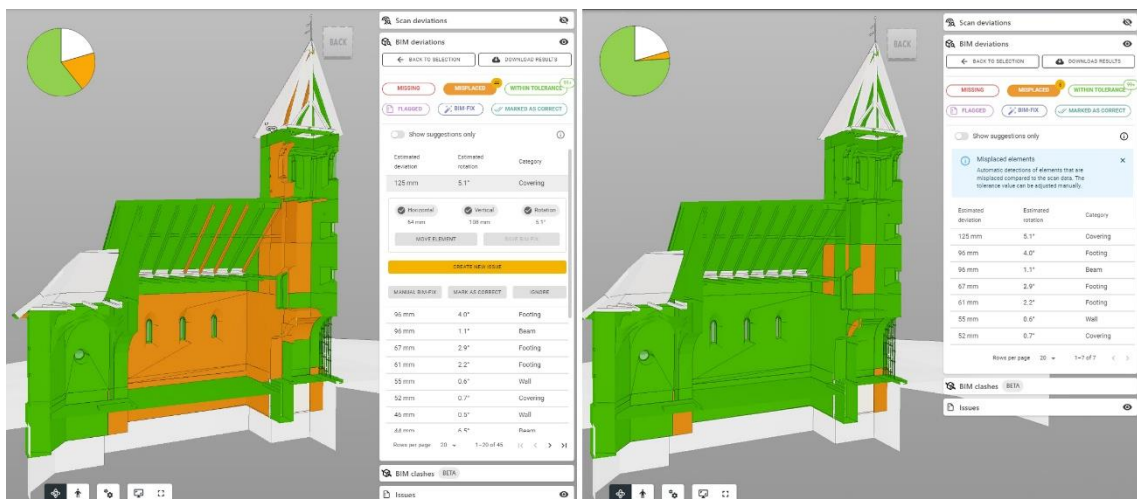


51. ábra Scan deviation Imerso alkalmazásban [saját kép]

Következő lépésként különböző vágósíkokat létrehozva meg lehet vizsgálni, hogy milyen modellezési javítások eszközölhetők, hogy az eltérések még jobban lecsökkenjenek. Érdeemes megemlíteni, hogy például a falak síkferdeségéből adódó különbségeket nem biztos, hogy érdemes modellszinten is lekövetni, mert a későbbi használhatóságot, szerkeszthetőséget ez nagyban csökkentené. Az eredeti építészeti szándék így is jól érvényesül.

A másik vizsgálat, a BIM deviation funkció, a modellelemeket kategorizálja a helyszíni állapotok, vagyis a pontfelhő függvényében. Itt a teljes funkcionalitás kihasználáshoz a külön setupokat is tartalmazó, stukturált pontfelhővel dolgozom. Lefuttatás után itt is 50 mm-es tűrést állítok be, és az összes modellelemet megjelenítem. A platform aszerint színezi az elemeket, hogy megtalálja-e a pontfelhőben a megfelelően egyező geometriát. A piros (Missing) elemeket nem tudta azonosítani, a narancssárga (Misplaced) elemek azonosíthatóak, de a megadott tolerancia értéken kívül esik a pozíciójuk. A zöld szín

(Within Tolerance) azt jelzi, ha a modellelem azonosíthatóan jó helyen van, a beállított küszöbértéken belül. A fehér elemek vagy nincsenek benne az aktuális szűrési feltételek között, vagy olyan eltérés van az elemek formája és akár felületeinek a szögében, hogy a program nem tud kellő bizonyossággal visszajelzést és javaslatot adni ezen elemekről. A veleméri modellnél sajnos több tetőelem és pár lábazatszakas is ilyen kategóriába esett. Illetve a referencia pontfelhő nem tartalmazza a torony fedélszéke BLK2GO-val készült, informatívabb felhőszakaszát, így a fedélszék elemeit értelemszerűen nem tudja beazonosítani a rendszer. 8 db elemet dobott ki Misplaced kategóriával. Ezeket végignézve, megjeleníthető, hogy mekkora a vízszintes és függőleges eltérés és az elfordulás. A feltárt eltérésekről létre lehet hozni észrevételeket, sőt lehetőség van az ún. BIM-fix funkcióval a megfelelő pozícióba mozgatni az elemet. Ezután a módosított modell letölthető, de akár kimenthető csak az elmozgatott elemek is listaként vagy IFC formátumban. Ez a funkció azért fenntartásokkal kezelendő, mert azzal, hogy egy-egy elemet elmozdítunk, létező elem-összekapcsolódások szűnhetnek meg. Megvalósulási modell esetén viszont jó referenciaként szolgálhatna. Összességében 5 cm-es toleranciaértéknél a modellelemek több mint 75%-a megfelelő pozícióban van, az elemek kb. ötöde nem beazonosítható. (52. ábra)



52. ábra BIM deviation (a) 25 mm toleranciaértékkal (b) 50 mm toleranciaértékkal [saját kép]

8. ÖSSZEFOGLALÓ

Szakdolgozatomban az építőiparban egyre elterjedtebb épületinformációs modellezés és a gyorsan fejlődő és széles körben alkalmazott földi lézerszkennelési technológiák közös felhasználási lehetőségeivel foglalkoztam. Igyekeztem átfogó képet adni mindkét technológia alapjairól, hogy aztán a közös alkalmazási módokat is átfogóbban bemutathassam.

Az elméleti rész mellé szerencsére adott volt a veleméri, céges csapatépítő kirándulás, amely keretein belül lehetőségem volt ezzel az egyedi történelmű, befogadható léptékű épülettel foglalkozni, és egyetemi segítséggel és céges támogatással kísérletezni a különböző felmérési technológiákkal. A pontfelhők összehasonlításánál az elsődleges szempont a modellezéshez való felhasználhatóság volt. Bár elsőre úgy tűnhet, hogy az épület léptéke nem követelne meg BIM technológiát, pont a templom adta műemléki jelleg miatt merülhettem el a HBIM egyelőre kevesebbet tárgyalt témakörében. A műemléki épületinformációs modellezés másfajta kihívásokat rejt, mint egy egyszerűbb felmérési modell elkészítése. Elengedhetetlen a kutatómunka az épület pontosabb megismeréséhez, hogy releváns információtartalommal lehessen felruházni az egyes modellelemeket. Továbbá szükséges az alap modellező szoftverek mellett más programok alkalmazása is a minél pontosabb geometria elérése érdekében. A munkafolyamat továbbfejlesztéseként a földi és légi (UAV) fotogrammetriai módszereket lehetne ötvözni a földi lézerszkenneléssel.

Bár csak a folyamat legvégén derült ki, hogy mennyire pontos digitális mását sikerült elkészítenem a Veleméri Szentháromság templomnak, azt gondolom – még ha a kitűzött határértéket teljes mértékben nem is értem el – hogy egy jó minőségű és a felhasználhatósági szempontokat szem előtt tartó BIM modell jött létre, amely a pontfelhőkkel együtt adott esetben fontos részét képezheti egy műemléki adatbázisnak.

9. SUMMARY

In my thesis, I dealt with the increasingly widespread building information modeling and the joint use of rapidly developing and widely used terrestrial laser scanning technologies. I tried to give a comprehensive picture of the basics of both technologies and to present the common application methods.

Fortunately, I had the opportunity to work with this historically unique church building thanks to a company team-building trip in Velemér, and with the help of the University and corporate support, I was able to experiment with various surveying technologies. The primary consideration in comparing the point clouds of static and mobile laser scanners, was how well they can be utilized for creating a BIM model. It may seem at first glance that the scale of the building did not require BIM technology. But due to the heritage character of the church, I had the opportunity to explore the less-discussed topic of HBIM. Heritage building information modeling poses different challenges than creating a simpler BIM model. It is essential to research the building more accurately in order to obtain relevant information about the individual building elements, and in addition to working with basic modeling softwares, it is also worth experimenting with other applications to achieve a more accurate geometry. As further improvement of the workflow, terrestrial and aerial photogrammetry could be combined with the terrestrial laser scanning methods.

Interestingly, I had to wait till the end of the process to see if creating an accurate digital twin of the Holy Trinity Church was successful or not. Even though the predefined threshold was not fully achieved, I'm confident that a high quality, usability-focused BIM model was created that along with the point clouds can be an important part of a historical database.

10. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] T. N. B. I. M. S. P. Committee, „National BIM Standards - United States,” [Online]. Available: <https://www.nationalbimstandard.org/nbims-us-v3>. [Hozzáférés dátuma: 2023. május 31.].
- [2] M. Zagorác és B. Szabó, „BIM-Kézikönyv,” Budapest, 2018.
- [3] 2023. évi *LXIX. törvény az állami építési beruházások rendjéről*, 2023.
- [4] GRAPHISOFT, *BIM Iroda menedzsment kézikönyv*, 2022.
- [5] Opinion Builders Kft., *BIM Követelmények (EIR)*, Budapest, 2020.
- [6] M. Verőné Wojtaszek, „Fotointerpretáció és távérzékelés: A távérzékelés fizikai alapjai,” Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar, Székesfehérvár, 2011.
- [7] T. Dr. Lovas, A. Dr. Berényi és Á. Dr. Barsi, *Lézerkiszennelés*, Budapest: TERC, 2012.
- [8] L. Bóta és P. Tömösközi, „Digitális szövegfeldolgozás,” Eszterházy Károly Főiskola, Eger, 2011.
- [9] M. Verőné Wojtaszek, „Fotointerpretáció és távérzékelés: A lézer alapú távérzékelés,” Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar, Székesfehérvár, 2011.
- [10] M. Asszonyi, „Autonóm járművek navigációja vizuális odometrián alapuló SLAM algoritmus segítségével,” 2019. [Online]. Available: <http://tdk.bme.hu/KSK/JI/Kameran-alapulo-SLAM-algoritmus>. [Hozzáférés dátuma: 2023. szeptember 1.].
- [11] Leica Geosystems, *Leica RTC360 User Manual*, Svájc, 2018.

- [12] „Leica Geosystems BLK,” [Online]. Available: <https://shop.leica-geosystems.com/leica-blk/blk2go/technology>. [Hozzáférés dátuma: 2023. november 17.].
- [13] B. Halmos és K. Maróty, „Architectura Hungariae,” 2011. [Online]. Available: http://arch.eptort.bme.hu/arch_old/hu/fooldal?id=26. [Hozzáférés dátuma: 2023. november 19.].
- [14] Buildext, „<https://buildext.com/>,” [Online]. Available: <https://buildext.com/scan-to-bim/>. [Hozzáférés dátuma: 2023. szeptember 10.].
- [15] K. Argasinski, Szerző, *Pointcloud workflows in Architectural Heritage BIM practise using Archicad*. [Performance]. Archintensive, 2023.
- [16] M. Hokkyné Sallay, *Velemér - Római katolikus templom*, 1987.
- [17] É. Ambrusné Kozák, „A veleméri r.k. templom kutatása,” in *Magyar Műemlékvédelem 1971-1972*, Budapest, Akadémia Kiadó, 1974, pp. 229-238.
- [18] M. S. Quinterio, B. Van Genechten, M. De Bruyne, M. Hankar, S. Barnes, H. Caner, P. Craven, L. Budei, E. Heine, H. Reiner, J. L. Lerma García és J. M. Biosca Taronger, „Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning,” 2008.
- [19] Z. Varga, „<http://geomentor.hu/>,” [Online]. Available: <http://geomentor.hu/bosszankodsz-mert-nem-fix-poz-ci>. [Hozzáférés dátuma: 2023. március 28.].
- [20] B. Metzel, „<https://leica-geosystems.com/>,” [Online]. Available: https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/leica-rtc360/visual_inertial_system_technology?fbclid=IwAR17Gh4qzkHV5xB1jb5Ps9num9Hk5mogbdGzBkRF1SLmOe4Ef1pyEDxN0EI. [Hozzáférés dátuma: 2023. szeptember 3.].
- [21] GRAPHISOFT, *Archicad BIM sablonfájl létrehozása kézikönyv*, 2022.

- [22] A. Dlesk, K. Vach, J. Šedina és K. Pavelka, „Comparison of Leica BLK360 and Leica BLK2GO on chosen test objects,” Prága, 2022.
- [23] Opinion Builders Kft., *Pontfelhők készítése és feldolgozás*, Budapest, 2022.
- [24] Leica Geosystems, *QuickStart Guide: Leica Cyclone REGISTER 360*, Svájc, 2018.
- [25] K. H. Nándori, „A veleméri r.k. templom helyreállítása,” in *Magyar Műemlékvédelem 1971-1972*, Budapest, Akadémia Kiadó, 1974, pp. 239-244.

11. ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra BIM dimenziók [4]	4
2. ábra Acél pillér LOD szintjei [Ikerd.com]	5
3. ábra Elektromágneses spektrum [8]	8
4. ábra Garadnai görögkatolikus templom hosszmet szete [Forrás: Lendvay Á. építész]	14
5. ábra Scan to BIM munkafolyamat [14]	15
6. ábra HBIM barokk pillér megjelenítése [15]	17
7. ábra BIM ütközés pontfelhővel [https://help.imerso.com/en]	18
8. ábra A templom homlokzati nyílásai [saját kép]	21
9. ábra Létesített álláspontok vázlata [saját kép]	22
10. ábra A GNSS vevő műszermagassága és a templom előtti álláspont [saját képek]	23
11. ábra Részletpontok a 3. álláspontról [Csanádi József fotója alapján]	24
12. ábra RTC360 felépítése [11]	27
13. ábra RTC360 kijelző [11]	28
14. ábra Külső álláspontok Leica Cyclone REGISTER 360 szoftverben [saját kép]	29
15. ábra Toronyhoz vezető ajtó és a torony belseje [saját képek]	30
16. ábra Függőleges és vízszintes szkennelési szögtartomány [11]	31
17. ábra Leica BLK2GO [12]	31
18. ábra Képernyőképek a mobil applikáción nyomon követhető mérésekről [Opinion Builders Kft.]	33
19. ábra Ellenőrzésre szolgáló pontok koordinátái [saját kép]	36
20. ábra Egybevágósági transzformációs paraméterek és középhibák [saját ábra]	36
21. ábra Cyclone REGISTER 360 menüsáv [saját kép]	37
22. ábra Linkek beállításai [saját kép]	38
23. ábra Cyclone REGISTER 360 menüsor [saját kép]	39
24. ábra Megjelenítési módok [saját kép]	39
25. ábra Belső köteg és a torony álláspontjai [saját kép]	40
26. ábra Visual alignment (a) felülnézete elforgatás előtt, (b) oldalnézete elmozgatás előtt és (c) magasságilag igazított pontfelhők oldal nézetben [saját kép]	41
27. ábra Illesztési statisztikák [saját kép]	42
28. ábra BLK2GO walkok közti javasolt link	43

29. ábra Pontfelhőtisztítás – templombelső [saját kép]	44
30. ábra RTC360 Pontfelhő georeferálás után [saját kép]	46
31. ábra SOR filter beállításai [saját kép]	48
32. ábra (a) RTC360 pontfelhője (b) BLK2GO pontfelhője	48
33. ábra Pontfelhő-pontfelhő távolság: teljes templom [saját kép]	49
34. ábra Pontfelhő-pontfelhő távolság: torony tetőszerkezete [saját kép]	50
35. ábra Pontfelhő-pontfelhő távolság: boltozat összehasonlítása [saját kép]	50
36. ábra Pontfelhőzajok közötti különbség [saját kép]	51
37. ábra BIM modell létrehozásának lépései [15]	53
38. ábra LCF fájl létrehozása [saját kép]	54
39. ábra Pontfelhőorigó-tárgy a 0,0,0 helyen [saját kép]	55
40. ábra Pontfelhő Archicadben 3D-ben, tárgy beállításokkal [saját kép]	56
41. ábra Pontfelhő különböző helyzetei [saját kép]	57
42. ábra Pontfelhőorigó-tárgy az eltolt koordinátákkal [saját kép]	58
43. ábra Pontfelhő hosszmetszete szintmagasságokkal [saját ábra]	58
44. ábra Falak és tetők modellezésének folyamata Archicadben [saját kép]	59
45. ábra Boltozat (a) 3D pontok PointCabben, (b) felületháló Archicadben látható éllel és (c) simított éllel	60
46. ábra Egyedi tulajdonságok választható beállításkészlettel [saját kép]	62
47. ábra Modellrészlet tulajdonságalapú grafikus felülírásokkal [saját kép]	62
48. ábra Lokáció beállításai párbeszédpanel [saját kép]	64
49. ábra Pontfelhő eltérések küszöbérték szerint [https://help.imerso.com/en]	64
50. ábra Pontfelhő eltérések hő térképszerűen [https://help.imerso.com/en]	65
51. ábra Scan deviation Imerso alkalmazásban [saját kép]	66
52. ábra BIM deviation (a) 25 mm toleranciaértékkel(b) 50 mm toleranciaértékkel [saját kép]	67

12. TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. táblázat BIM koordinációs alkalmazások	7
2. táblázat RTC360 és BLK2GO műszaki jellemzői [11] [12].....	12
3. táblázat Szkennelési idő a beállítások függvényében [11]	28
4. táblázat 2-es álláspont GNSS-szel mért koordinátái.....	34
5. táblázat 3-as álláspont GNSS-szel mért koordinátái.....	34
6. táblázat Georeferáláshoz behívott koordinátajegyzék	45

13. MELLÉKLETEK

1. melléklet: Mérési jegyzőkönyvek
2. melléklet: Homlokzati manuálék
3. melléklet: Vízszintes és magassági hálózatkiegyenlítési jegyzőkönyvek
4. melléklet: Részletpontszámítási jegyzőkönyv
5. melléklet: Munka koordinátajegyzék
6. melléklet: Transzformáció számítási jegyzőkönyvek
7. melléklet: Regisztrálási jegyzőkönyvek
8. melléklet: Veleméri templom BIM modell 3D nézetei
9. melléklet: Veleméri templom BIM modellből leképzett tervrajzok

Mérési jegyzőkönyv - 1. melléklet

Álláspont: 3 (műszermagasság = 0.189)

Psz	Hz	Zi	Tf	Tv	Mj	Jelleg	Tvet	dM
2	349.0405	89.1338	25.417	25.415	0.185	1		0.343
1	280.3132	86.1339	34.303	34.229	0.183	1		2.257
301	313.0744	59.4340	16.435	14.194	0.000	2		8.285
302	304.0036	81.4951	11.333	11.218	0.000	2		1.610
303	285.0156	59.0212	23.908	20.501	0.000	2		12.300
304	289.5444	75.0923	15.155	14.649	0.000	2		3.882
305	303.3942	65.1358	12.248	11.122	0.000	2		5.131
306	289.1216	58.2728	22.728	19.370	0.000	2		11.890
307	309.2352	86.3438	11.889	11.868	0.000	2		0.710
308	288.5135	50.1334	11.889	11.868	0.000	4		0.710
309	288.4432	50.1152	11.889	11.868	0.000	4		0.710
2	349.0354	89.1358	25.417	25.414	0.185	1		0.340
1	280.3134	86.1332	34.304	34.229	0.183	1		2.258
301	313.0814	59.4334	16.433	14.192	0.000	2		8.285
302	304.0150	81.4954	11.334	11.219	0.000	2		1.610
303	285.0222	59.0226	23.902	20.497	0.000	2		12.296
306	289.1238	58.2720	22.730	19.371	0.000	2		11.891
304	289.5543	75.0924	15.150	14.645	0.000	2		3.881
305	303.3959	65.1410	12.249	11.122	0.000	2		5.131
307	309.2358	86.3444	11.889	11.868	0.000	2		0.710
308	288.5114	50.1327	11.889	11.868	0.000	4		0.710
309	288.4433	50.1142	11.889	11.868	0.000	4		0.710
2	349.0340	89.1340	25.416	25.414	0.185	1		0.343
1	280.3120	86.1349	34.303	34.229	0.183	1		2.255
301	313.0800	59.4334	16.434	14.193	0.000	2		8.285
302	304.0058	81.4944	11.333	11.218	0.000	2		1.611
305	303.4028	65.1426	12.250	11.124	0.000	2		5.130
306	289.1256	58.2739	22.730	19.372	0.000	2		11.890
303	285.0236	59.0205	23.903	20.496	0.000	2		12.298
304	289.5454	75.0912	15.155	14.649	0.000	2		3.883
307	309.2410	86.3438	11.889	11.868	0.000	2		0.710
308	288.5130	50.1312	11.889	11.868	0.000	4		0.710
309	288.4445	50.1117	11.889	11.868	0.000	2		0.710

Álláspont: 1 (műszermagasság = 0.189)

Psz	Hz	Zi	Tf	Tv	Mj	Jelleg	Tvet	dM
2	142.5008	93.1131	34.420	34.366	0.185	1		-1.916
3	186.1959	93.4638	34.304	34.230	0.181	1		-2.260
101	165.4054	89.2654	13.522	13.521	0.000	2		0.130
102	181.2634	91.2856	12.138	12.134	0.000	2		-0.314
103	170.3530	61.5741	13.039	11.508	0.000	2		6.129
104	173.3506	54.0046	14.464	11.703	0.000	2		8.499
2	142.4955	93.1122	34.420	34.367	0.185	1		-1.915
3	186.1957	93.4638	34.304	34.229	0.181	1		-2.260
101	165.4019	89.2657	13.523	13.522	0.000	2		0.130
102	181.2644	91.2848	12.149	12.145	0.000	2		-0.314
103	170.3516	61.5740	13.039	11.508	0.000	2		6.129
104	173.3537	54.0112	14.511	11.743	0.000	2		8.525
2	142.4956	93.1130	34.420	34.366	0.185	1		-1.916
3	186.1939	93.4634	34.304	34.229	0.185	1		-2.259
3	186.1941	93.4646	34.304	34.229	0.183	1		-2.261
101	165.4035	89.2701	13.522	13.522	0.000	2		0.130
102	181.2632	91.2848	12.151	12.147	0.000	2		-0.314
103	170.3532	61.5745	13.039	11.509	0.000	2		6.129
104	173.3454	54.0115	14.479	11.716	0.000	2		8.506

Álláspont: 2 (műszermagasság = 0.189)

Psz	Hz	Zi	Tf	Tv	Mj	Jelleg	Tvet	dM
1	148.4138	86.4846	34.420	34.367	0.185	1		1.914
3	80.4358	90.4656	25.417	25.415	0.181	1		-0.347
201	106.5441	83.1538	13.068	12.978	0.000	2		1.534
202	122.2157	86.2800	14.041	14.015	0.000	2		0.861
203	137.3825	79.2441	20.865	20.509	0.000	2		3.834
204	135.3904	62.3750	25.781	22.895	0.000	2		11.852
308	131.5948	53.4249	25.781	22.895	0.000	4		11.852
309	132.0622	53.4219	25.781	22.895	0.000	4		11.852
306	127.3625	63.1747	25.689	22.949	0.000	2		11.544
301	111.3710	63.5501	18.064	16.225	0.000	2		7.942

1	148.4210	86.4846	34.419	34.366	0.185	1	1.914
3	80.4336	90.4702	25.417	25.415	0.181	1	-0.348
201	106.5422	83.1550	13.070	12.980	0.000	2	1.533
202	122.2140	86.2920	14.040	14.014	0.000	2	0.860
203	137.3809	79.2438	20.863	20.507	0.000	2	3.834
204	135.3842	62.3742	25.777	22.891	0.000	2	11.851
306	127.3629	63.1737	25.691	22.950	0.000	2	11.546
308	131.5942	53.4250	25.691	22.950	0.000	4	11.546
309	132.0604	53.4156	25.691	22.950	0.000	4	11.546
310	111.3720	63.5524	18.063	16.224	0.000	2	7.940
301	111.3724	63.5522	18.062	16.223	0.000	2	7.940
1	148.4110	86.4858	34.419	34.366	0.185	1	1.912
3	80.4336	90.4600	25.417	25.415	0.181	1	-0.347
201	106.5354	83.1529	13.070	12.979	0.000	2	1.534
202	122.2138	86.2922	14.041	14.015	0.000	2	0.860
203	137.3807	79.2440	20.865	20.510	0.000	2	3.834
204	135.3825	62.3736	25.775	22.889	0.000	2	11.851
306	127.3637	63.1730	25.690	22.949	0.000	2	11.546
308	131.5950	53.4310	29.460	23.748	0.000	4	17.433
309	132.0611	53.4138	29.451	23.733	0.000	4	17.438
308	131.5951	53.4136	29.451	23.733	0.000	4	17.438
309	132.0548	53.4136	29.451	23.733	0.000	4	17.438
311	132.0718	53.4136	29.451	23.733	0.000	4	17.438
312	111.3732	63.5453	18.063	16.223	0.000	4	7.942
301	111.3718	63.5500	18.064	16.224	0.000	2	7.942



* 3 $\rightarrow$ 18,9 a magasa's

104

A03



102

185

483

1. ellipsoid

3018, 1 m

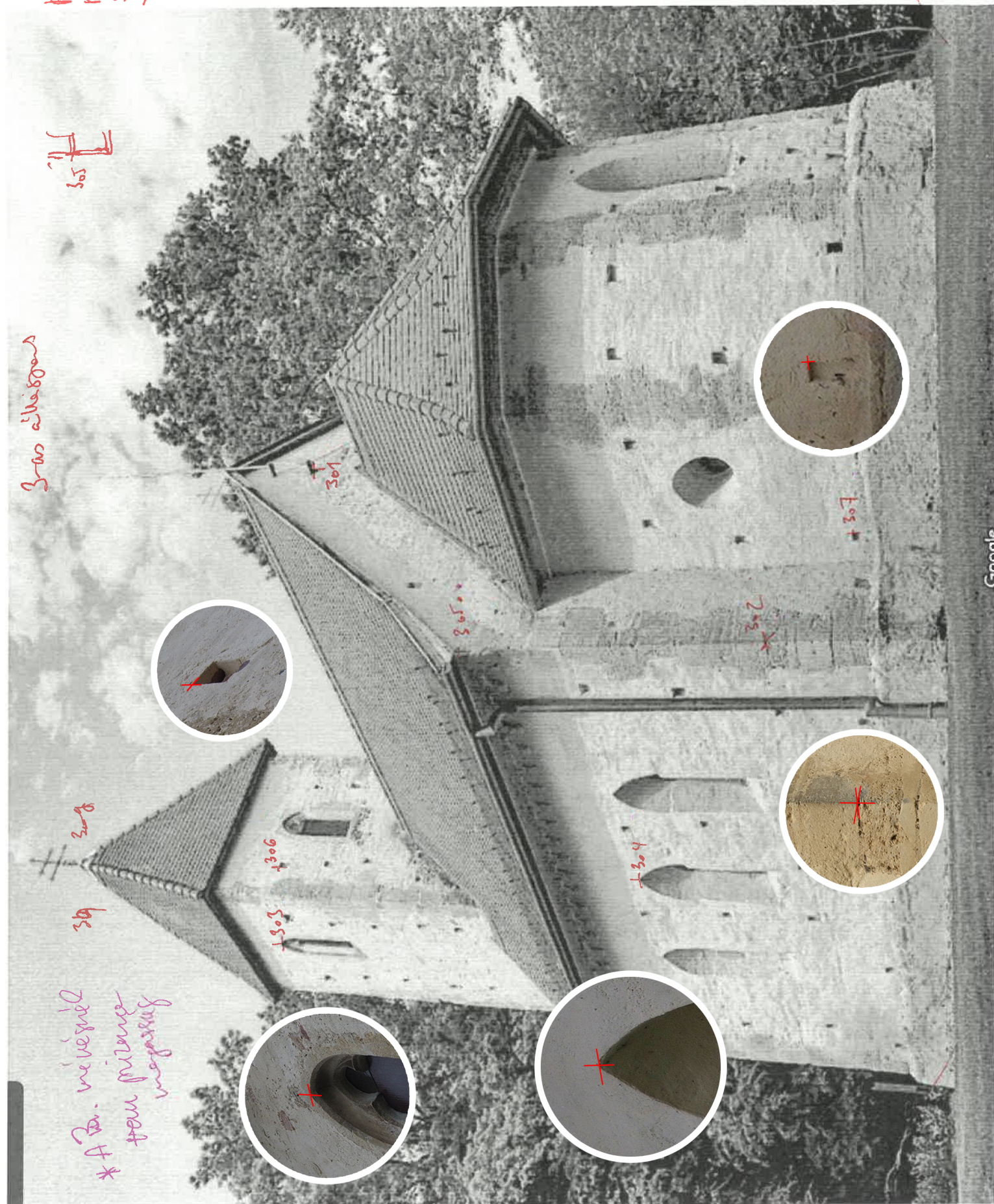
Prst

305

300 eljeges

308
309

* A. vévés
tem püze
megy



VÍZSZINTES HÁLÓZAT KIEGYENLÍTÉSE - Önálló hálózat számítása - 3. melléklet

A hálózat jellemző adatai

Hibahatár nincs megadva

Összes pont száma : 3
 Adott pontok száma : 0
 Új pontok száma : 3
 Mért irányok száma : 18
 Mért távolságok száma : 18
 Fölös mérések száma : 29
 Számításból kihagyott mérési eredmények száma : 1
 Iránymérés kiegyenlítés előtti középhibája = 6"
 Távmérés kiegyenlítés előtti középhibája = 5 mm + 2 mm/km
 Súlyegység középhibája kiegyenlítés előtt = 6
 Iránymérés súlya távolsággal arányos
 Távmérés súlya távolságtól független
 Átlagos távolság = 50 m
 Javítások súlyozott négyzetösszege = 1966.629
 Pótnormálegyenletből = 1966.629
 Súlyegység középhibája kiegyenlítés után = 8.23
 Relatív középhiba = 1/25047

Maximális javítások kimutatása

	Állaspont	Ir. pont	Jav.	Hibahat.
Iránymérés : 2		1	-32"	()
Távmérés : 3		2	2 mm	()

Statisztikai próbák durva hibák kimutatására

Valószínűségi szint = 99%

Globális teszt - F próba

Súlyegység középhibája kiegyenlítés előtt = 6.00
 Súlyegység középhibája kiegyenlítés után = 8.23
 Fölös mérések száma = 29
 Elméleti intervallum értékei: Alsó határ = 0.72 Felső határ = 1.34
 Súlyegység középhibájának intervalluma: Alsó határ = 4.31 Felső határ = 8.06

A globális teszt 99 %-os valószínűségi szinten nem elfogadható el

Lokális teszt - u próba

Állaspont	Ir. pont	Statisztika Szám.	Elméleti	Mérés
2	1	-5.23	2.58	Irány

A lokális teszt 99 %-os valószínűségi szinten nem elfogadható el

2023. évben meghatározott vízszintes alappontok

Pontszám	Jelölés	Y	X	Középhiba				szög
				my	mx	max	min	
1	2	-33.652	6.258	1	0	1	0	79°
		0.000	0.000					
		-33.652	6.258					
2	2	-4.817	24.954	1	1	1	0	27°
		-0.000	-0.000					
		-4.817	24.954					
3		-0.001	-0.002	1	1	1	0	132°
		0.000	-0.000					
		-0.001	-0.002					

MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV

Álláspont száma : 1

Jele : 2

Ir.pont Jelölés	Irányérték	Irányszög	Táj.szög	Távolság Mért Szám.	Jav. Hhat. mU Irány [mp] Távolság [mm]	Stat.	f
2				34.366	-6	5	-0.93 0.73
2	142.5008	57.0227	274.1219	34.366	-0	2	-0.06 0.92
3				34.230	-10	5	-1.61 0.73
	186.1959	100.3214	274.1215	34.228	-2	2	-0.31 0.93
2				34.367	7	5	1.18 0.73
2	142.4955	57.0227	274.1232	34.366	-1	2	-0.27 0.92
3				34.229	-8	5	-1.29 0.73
	186.1957	100.3214	274.1217	34.228	-1	2	-0.10 0.93
2				34.366	6	5	1.02 0.73
2	142.4956	57.0227	274.1231	34.366	-0	2	-0.06 0.92
3				34.229	10	5	1.62 0.73
	186.1939	100.3214	274.1235	34.228	-1	2	-0.10 0.93

zk = 274.1225

Álláspont száma : 2

Jele : 2

Ir.pont Jelölés	Irányérték	Irányszög	Táj.szög	Távolság Mért Szám.	Jav. Hhat. mU Irány [mp] Távolság [mm]	Stat.	f
1				34.367	-0	5	-0.03 0.72
2	148.4138	237.0227	88.2049	34.366	-1	2	-0.27 0.92
3				25.415	-13	6	-1.75 0.74
	80.4358	169.0435	88.2037	25.416	1	2	0.28 0.95
1				34.366	-32	5	-5.23 0.72
2	148.4210	237.0227	88.2017	34.366	-0	2	- -
3				25.415	9	6	1.29 0.74
	80.4336	169.0435	88.2059	25.416	1	2	0.28 0.95
1				34.366	28	5	4.53 0.72
2	148.4110	237.0227	88.2117	34.366	-0	2	-0.06 0.92
3				25.415	9	6	1.29 0.74
	80.4336	169.0435	88.2059	25.416	1	2	0.28 0.95

zk = 88.2049

Álláspont száma : 3

Jele :

Ir.pont Jelölés	Irányérték	Irányszög	Táj.szög	Távolság Mért Szám.	Jav. Hhat. mU Irány [mp] Távolság [mm]	Stat.	f
2				25.415	-14	6	-1.94 0.74
2	349.0405	349.0435	0.0030	25.416	1	2	0.28 0.95
1				34.229	-2	5	-0.29 0.72
2	280.3132	280.3214	0.0042	34.228	-1	2	-0.10 0.93
2				25.414	-3	6	-0.42 0.74
2	349.0354	349.0435	0.0041	25.416	2	2	0.49 0.95
1				34.229	-4	5	-0.62 0.72
2	280.3134	280.3214	0.0040	34.228	-1	2	-0.10 0.93
2				25.414	11	6	1.51 0.74
2	349.0340	349.0435	0.0055	25.416	2	2	0.49 0.95

1				34.229	10	5	1.66	0.72
2	280.3120	280.3214	0.0054	34.228	-1	2	-0.10	0.93

		zk =	0.0044					

TRIGONOMETRIAI MAGASSÁGI HÁLÓZAT KIEGYENLÍTÉSE - Önálló hálózat számítása

A hálózat jellemző adatai

Összes pont száma : 3
Adott pontok száma : 0
Új pontok száma : 3
Új pontok száma : 18
Fölös mérések száma : 16
Számításból kihagyott magasságkülönbségek száma : 0
Magasságkülönbség súlya a távolságtól független
Kiegyenlítés előtti középhiba = 10.0 [mm]
Egységnyi súlyú méréshez tartozó távolság = 20 [m]
Javítások súlyozott négyzetösszege = 4.096
Pótnormálegyenletből = 4.096
Súlyegység középhibája = 0.506

Maximális javítás kimutatása

Sorszám	Álláspont	Ir.pont	Javítás	Hibahatár
12	2	3	-0.010	(0.004)

Statisztikai próbák durva hibák kimutatására

Valószínűségi szint = 99%

Globális teszt - F próba

Súlyegység középhibája kiegyenlítés előtt = 1.00
Súlyegység középhibája kiegyenlítés után = 0.51
Fölös mérések száma = 16
Elméleti intervallum értékei: Alsó határ = 0.62 Felső határ = 1.46
Súlyegység középhibájának intervalluma: Alsó határ = 0.62 Felső határ = 1.46

A globális teszt 99 %-os valószínűségi szinten nem elfogadható el

Lokális teszt - u próba

Sorszám	Álláspont	Ir.pont	Statisztika	
			Szám.	Elm.
12	2	3	-1.04	2.58

A lokális teszt 99 %-os valószínűségi szinten elfogadható

MAGASSÁG-JEGYZÉK

2023. évben meghatározott alappontok

Pontszám	Jelölés	Előzetes magasság változás	Kiegyenlített magasság	Középhiba [mm]
1	2	1.391 + 0.000	1.391	1.0
2	2	-0.524 + 0.000	-0.524	1.0
3		-0.866 - 0.000	-0.866	1.0

MAGASSÁGKÜLÖNBSÉGEK ÉS JAVÍTÁSOK

Sor- szám	Álláspont Jelölés	Ir.pont Jelölés	Műsz.mag. Jelmag.	Zenitszög Távolság[m]	Mért mag. különbség Javítás	Kiegy.mag. különbség Hibahat.	Stat. f
1.	1	2	0.189	93.1131	- 1.912	- 1.915	-0.27
	2	2	0.185	34.366	- 0.003	(0.005)	0.89
2.	1	3	0.189	93.4638	- 2.252	- 2.257	-0.53
	2		0.181	34.230	- 0.005	(0.005)	0.89
3.	1	2	0.189	93.1122	- 1.911	- 1.915	-0.42
	2	2	0.185	34.367	- 0.004	(0.005)	0.89
4.	1	3	0.189	93.4638	- 2.252	- 2.257	-0.53
	2		0.181	34.229	- 0.005	(0.005)	0.89
5.	1	2	0.189	93.1130	- 1.912	- 1.915	-0.28
	2	2	0.185	34.366	- 0.003	(0.005)	0.89
6.	1	3	0.189	93.4634	- 2.251	- 2.257	-0.61
	2		0.181	34.229	- 0.006	(0.005)	0.89
7.	2	1	0.189	86.4846	+ 1.918	+ 1.915	-0.30
	2	2	0.185	34.367	- 0.003	(0.005)	0.89
8.	2	3	0.189	90.4656	- 0.339	- 0.342	-0.31
	2		0.181	25.415	- 0.003	(0.004)	0.89
9.	2	1	0.189	86.4846	+ 1.918	+ 1.915	-0.30
	2	2	0.185	34.366	- 0.003	(0.005)	0.89
10.	2	3	0.189	90.4702	- 0.340	- 0.342	-0.23
	2		0.181	25.415	- 0.002	(0.004)	0.89
11.	2	1	0.189	86.4858	+ 1.916	+ 1.915	-0.09
	2	2	0.185	34.366	- 0.001	(0.005)	0.89
12.	2	3	0.189	90.4600	- 0.332	- 0.342	-1.04
	2		0.181	25.415	- 0.010	(0.004)	0.89
13.	3	2	0.189	89.1338	+ 0.347	+ 0.342	-0.53
		2	0.185	25.415	- 0.005	(0.004)	0.89
14.	3	1	0.189	86.1339	+ 2.263	+ 2.257	-0.67
		2	0.183	34.229	- 0.006	(0.005)	0.89
15.	3	2	0.189	89.1358	+ 0.344	+ 0.342	-0.27
		2	0.185	25.414	- 0.003	(0.004)	0.89
16.	3	1	0.189	86.1332	+ 2.264	+ 2.257	-0.79
		2	0.183	34.229	- 0.007	(0.005)	0.89
17.	3	2	0.189	89.1340	+ 0.347	+ 0.342	-0.50
		2	0.185	25.414	- 0.005	(0.004)	0.89
18.	3	1	0.189	86.1349	+ 2.261	+ 2.257	-0.49
		2	0.183	34.229	- 0.005	(0.005)	0.89

Számítási jegyzőkönyv - részletpontok - 4. melléklet

Tájékoztató [1]

Tájékoztató	l	de	t	Zk/Zi	e''
1				274.1225	
2	142.5008	57.0227	34.366	274.1219	-6
3	186.1959	100.3214	34.228	274.1215	-10
2	142.4955	57.0227	34.366	274.1232	7
3	186.1957	100.3214	34.228	274.1217	-8
2	142.4956	57.0227	34.366	274.1231	6
3	186.1939	100.3214	34.228	274.1235	10

Poláris pont(ok) számítása [1]

Poláris számítás	Y	X	M	Li	T	Zk/de	dM
1	-33.652	6.258	1.391			274.1225	
101	-20.341	8.632	1.710	165.4054	13.521	439.5319	0.319
102	-21.577	5.063	1.266	181.2634	12.134	455.3859	-0.125
103	-22.191	7.301	7.709	170.3530	11.508	444.4755	6.318
104	-21.958	6.709	10.078	173.3506	11.703	447.4731	8.688
101	-20.340	8.634	1.710	165.4019	13.522	439.5244	0.319
102	-21.566	5.062	1.266	181.2644	12.145	455.3909	-0.125
103	-22.191	7.302	7.709	170.3516	11.508	444.4741	6.318
104	21.918 0	6.708	10.105	173.3537	11.743	447.4802	8.714
101	-20.340	8.633	1.709	165.4035	13.522	439.5300	0.319
102	-21.564	5.062	1.266	181.2632	12.147	455.3857	-0.125
103	-22.190	7.301	7.709	170.3532	11.509	444.4757	6.318
104	-21.944	6.710	10.086	173.3454	11.716	447.4719	8.695

Tájékoztató [2]

Tájékoztató	l	de	t	Zk/Zi	e''
2				88.2049	
1	148.4138	237.0227	34.366	88.2049	-0
3	80.4358	169.0435	25.416	88.2037	-13
1	148.4210	237.0227	34.366	88.2017	-32
3	80.4336	169.0435	25.416	88.2059	9
1	148.4110	237.0227	34.366	88.2117	28
3	80.4336	169.0435	25.416	88.2059	9

Poláris pont(ok) számítása [2]

Poláris számítás	Y	X	M	Li	T	Zk/de	dM
2	-4.817	24.954	-0.524			88.2049	
201	-8.233	12.433	1.198	106.5441	12.978	195.1530	1.723
202	-11.975	12.905	0.530	122.2157	14.015	210.4246	1.054
203	-19.567	10.704	3.499	137.3825	20.509	225.5914	4.023
204	-20.721	8.484	11.517	135.3904	22.895	223.5953	12.041
306	-18.291	6.377	11.209	127.3625	22.949	215.5714	11.733
301	-10.357	9.705	7.607	111.3710	16.225	199.5759	8.132
201	-8.232	12.431	1.198	106.5422	12.980	195.1511	1.722
202	-11.974	12.905	0.525	122.2140	14.014	210.4229	1.049
203	-19.565	10.704	3.499	137.3809	20.507	225.5858	4.023
204	-20.716	8.486	11.516	135.3842	22.891	223.5931	12.040
306	-18.292	6.377	11.210	127.3629	22.950	215.5718	11.735
301	-10.358	9.706	7.604	111.3724	16.223	199.5813	8.129
201	-8.230	12.431	1.199	106.5354	12.979	195.1443	1.723
202	-11.974	12.904	0.524	122.2138	14.015	210.4227	1.049
203	-19.566	10.702	3.499	137.3807	20.510	225.5856	4.023
204	-20.714	8.486	11.516	135.3825	22.889	223.5914	12.040

306	-18.293	6.378	11.211	127.3637	22.949	215.5726	11.735
-----	---------	-------	--------	----------	--------	----------	--------

Tájékozás [3]

Tájékozás	l	de	t	Zk/Zi	e''
3				0.0044	
2	349.0405	349.0435	25.416	0.0030	-14
1	280.3132	280.3214	34.228	0.0042	-2
2	349.0354	349.0435	25.416	0.0041	-3
1	280.3134	280.3214	34.228	0.0040	-4
2	349.0340	349.0435	25.416	0.0055	11
1	280.3120	280.3214	34.228	0.0054	10

Poláris pont(ok) számítása [3]

Poláris számítás	Y	X	M	Li	T	Zk/de	dM
3	-0.001	-0.002	-0.866			0.0044	
301	-10.358	9.704	7.608	313.0744	14.194	313.0828	8.474
302	-9.298	6.275	0.933	304.0036	11.218	304.0120	1.799
303	-19.799	5.320	11.623	285.0156	20.501	285.0240	12.489
304	-13.773	4.990	3.205	289.5444	14.649	289.5528	4.072
305	-9.256	6.165	4.454	303.3942	11.122	303.4026	5.320
306	-18.292	6.374	11.212	289.1216	19.370	289.1300	12.079
307	-9.170	7.533	0.033	309.2352	11.868	309.2436	0.899
301	-10.355	9.704	7.607	313.0814	14.192	313.0858	8.474
302	-9.297	6.279	0.933	304.0150	11.219	304.0234	1.799
303	-19.795	5.321	11.619	285.0222	20.497	285.0306	12.485
306	-18.292	6.376	11.214	289.1238	19.371	289.1322	12.080
304	-13.768	4.993	3.204	289.5543	14.645	289.5627	4.070
305	-9.256	6.166	4.453	303.3959	11.122	303.4043	5.320
307	-9.170	7.533	0.032	309.2358	11.868	309.2442	0.898
301	-10.356	9.70	7.608	313.0800	14.193	313.0844	8.474
302	-9.298	6.27	0.934	304.0058	11.218	304.0142	1.800
305	-9.257	6.16	4.453	303.4028	11.124	303.4112	5.319
306	-18.292	6.37	11.212	289.1256	19.372	289.1340	12.079
303	-19.793	5.32	11.621	285.0236	20.496	285.0320	12.487
304	-13.773	4.991	3.206	289.5454	14.649	289.5538	4.072
307	-9.169	7.533	0.033	309.2410	11.868	309.2454	0.899

Munka koordináta jegyzék - 5. melléklet

Felhasznált vízszintes alappontok

Pontszám	Y	X	M	Jelölés
----------	---	---	---	---------

. évben meghatározott vízszintes alappontok

Pontszám	Y	X	M	Jelölés
1	-33.652	6.258	1.391	1
2	-4.817	24.954	-0.524	1
3	-0.001	-0.002	-0.866	

. évben meghatározott részletpontok

Pontszám	Y	X	M	Jelölés
101	-20.340	8.634	1.710	2
101	-20.340	8.633	1.709	2
101	-20.341	8.632	1.710	2
102	-21.564	5.062	1.266	2
102	-21.566	5.062	1.266	2
102	-21.577	5.063	1.266	2
103	-22.190	7.301	7.709	2
103	-22.191	7.302	7.709	2
103	-22.191	7.301	7.709	2
104	-21.944	6.710	10.086	2
104	-21.918	6.708	10.105	2
104	-21.958	6.709	10.078	2
201	-8.230	12.431	1.199	2
201	-8.232	12.431	1.198	2
201	-8.233	12.433	1.198	2
202	-11.974	12.904	0.524	2
202	-11.974	12.905	0.525	2
202	-11.975	12.905	0.530	2
203	-19.565	10.704	3.499	2
203	-19.566	10.702	3.499	2
203	-19.567	10.704	3.499	2
204	-20.714	8.486	11.516	2
204	-20.716	8.486	11.516	2
204	-20.721	8.484	11.517	2
301	-10.358	9.704	7.608	2
301	-10.358	9.705	7.607	2
301	-10.358	9.706	7.604	2
301	-10.356	9.704	7.608	2
301	-10.355	9.704	7.607	2
301	-10.357	9.705	7.607	2
302	-9.298	6.276	0.934	2
302	-9.297	6.279	0.933	2
302	-9.298	6.275	0.933	2
303	-19.793	5.322	11.621	2
303	-19.795	5.321	11.619	2
303	-19.799	5.320	11.623	2
304	-13.768	4.993	3.204	2
304	-13.773	4.991	3.206	2
304	-13.773	4.990	3.205	2
305	-9.256	6.166	4.453	2
305	-9.257	6.168	4.453	2
305	-9.256	6.165	4.454	2
306	-18.292	6.377	11.210	2
306	-18.292	6.378	11.212	2
306	-18.292	6.374	11.212	2
306	-18.293	6.378	11.211	2
306	-18.292	6.376	11.214	2
306	-18.291	6.377	11.209	2
307	-9.170	7.533	0.032	2
307	-9.169	7.533	0.033	2
307	-9.170	7.533	0.033	2

Többször mért részletpontok koordinátáinak kimutatása

Pontszám/ÁP	Y	X	M	Jelölés
101	-20.341	8.633	1.710	2
1	-20.341	8.632	1.710	
1	-20.340	8.634	1.710	
1	-20.340	8.633	1.709	
Pontszám/ÁP	Y	X	M	Jelölés
102	-21.569	5.062	1.266	2
1	-21.577	5.063	1.266	
1	-21.566	5.062	1.266	
1	-21.564	5.062	1.266	
Pontszám/ÁP	Y	X	M	Jelölés
103	-22.191	7.301	7.709	2
1	-22.191	7.301	7.709	
1	-22.191	7.302	7.709	
1	-22.190	7.301	7.709	
Pontszám/ÁP	Y	X	M	Jelölés
104	-21.940	6.709	10.090	2
1	-21.958	6.709	10.078	
1	-21.918	6.708	10.105	
1	-21.944	6.710	10.086	
Pontszám/ÁP	Y	X	M	Jelölés
201	-8.232	12.432	1.198	2
2	-8.233	12.433	1.198	
2	-8.232	12.431	1.198	
2	-8.230	12.431	1.199	
Pontszám/ÁP	Y	X	M	Jelölés
202	-11.974	12.905	0.526	2
2	-11.975	12.905	0.530	
2	-11.974	12.905	0.525	
2	-11.974	12.904	0.524	
Pontszám/ÁP	Y	X	M	Jelölés
203	-19.566	10.703	3.499	2
2	-19.567	10.704	3.499	
2	-19.565	10.704	3.499	
2	-19.566	10.702	3.499	
Pontszám/ÁP	Y	X	M	Jelölés
204	-20.717	8.485	11.516	2
2	-20.721	8.484	11.517	
2	-20.716	8.486	11.516	
2	-20.714	8.486	11.516	
Pontszám/ÁP	Y	X	M	Jelölés
301	-10.357	9.705	7.607	2
2	-10.357	9.705	7.607	
2	-10.358	9.706	7.604	
2	-10.358	9.705	7.607	
3	-10.358	9.704	7.608	

3	-10.355	9.704	7.607	
3	-10.356	9.704	7.608	
Pontszám/ÁP	Y	X	M	Jelölés
302	-9.298	6.276	0.933	2
3	-9.298	6.275	0.933	
3	-9.297	6.279	0.933	
3	-9.298	6.276	0.934	
Pontszám/ÁP	Y	X	M	Jelölés
303	-19.796	5.321	11.621	2
3	-19.799	5.320	11.623	
3	-19.795	5.321	11.619	
3	-19.793	5.322	11.621	
Pontszám/ÁP	Y	X	M	Jelölés
304	-13.771	4.991	3.205	2
3	-13.773	4.990	3.205	
3	-13.768	4.993	3.204	
3	-13.773	4.991	3.206	
Pontszám/ÁP	Y	X	M	Jelölés
305	-9.256	6.166	4.454	2
3	-9.256	6.165	4.454	
3	-9.256	6.166	4.453	
3	-9.257	6.168	4.453	
Pontszám/ÁP	Y	X	M	Jelölés
306	-18.292	6.377	11.211	2
2	-18.291	6.377	11.209	
2	-18.292	6.377	11.210	
2	-18.293	6.378	11.211	
3	-18.292	6.374	11.212	
3	-18.292	6.376	11.214	
3	-18.292	6.378	11.212	
Pontszám/ÁP	Y	X	M	Jelölés
307	-9.170	7.533	0.032	2
3	-9.170	7.533	0.033	
3	-9.170	7.533	0.032	
3	-9.169	7.533	0.033	

Számítási jegyzőkönyv - transzformáció - 6. melléklet

Helmert 3 paraméteres transzformáció fb_1 -> fb_3

$$Y = 445646.497 + y * 0.999839875 - x * 0.017894840$$

$$X = 157776.204 + y * 0.017894840 + x * 0.999839875$$

Méretarány = 1.000000000 Elfordulás = 1-01-31

Pontszám	y	x	Y	X	dY	dX	dt
2	-4.817	24.954	445641.240	157801.040	-0.006	0.028	0.029
3	-0.001	-0.002	445646.490	157776.230	0.006	-0.028	0.029

RMS= 0.029

Pontszám	y	x	Y	X	z	M
1	-33.652	6.258	445612.738	157781.859		
101	-20.340	8.633	445626.006	157784.472		
102	-21.569	5.062	445624.841	157780.879		
103	-22.191	7.301	445624.179	157783.107		
104	-21.940	6.709	445624.440	157782.519		
201	-8.232	12.432	445638.044	157788.487		
202	-11.974	12.905	445634.294	157788.893		
203	-19.566	10.703	445626.742	157786.555		
204	-20.717	8.485	445625.631	157784.317		
301	-10.357	9.705	445635.968	157785.722		
302	-9.298	6.277	445637.088	157782.314		
303	-19.796	5.321	445626.609	157781.170		
304	-13.771	4.991	445632.639	157780.948		
305	-9.256	6.166	445637.132	157782.203		
306	-18.292	6.377	445628.094	157782.253		
307	-9.170	7.533	445637.194	157783.572		

Magassági transzformáció fb_1 -> fb_4

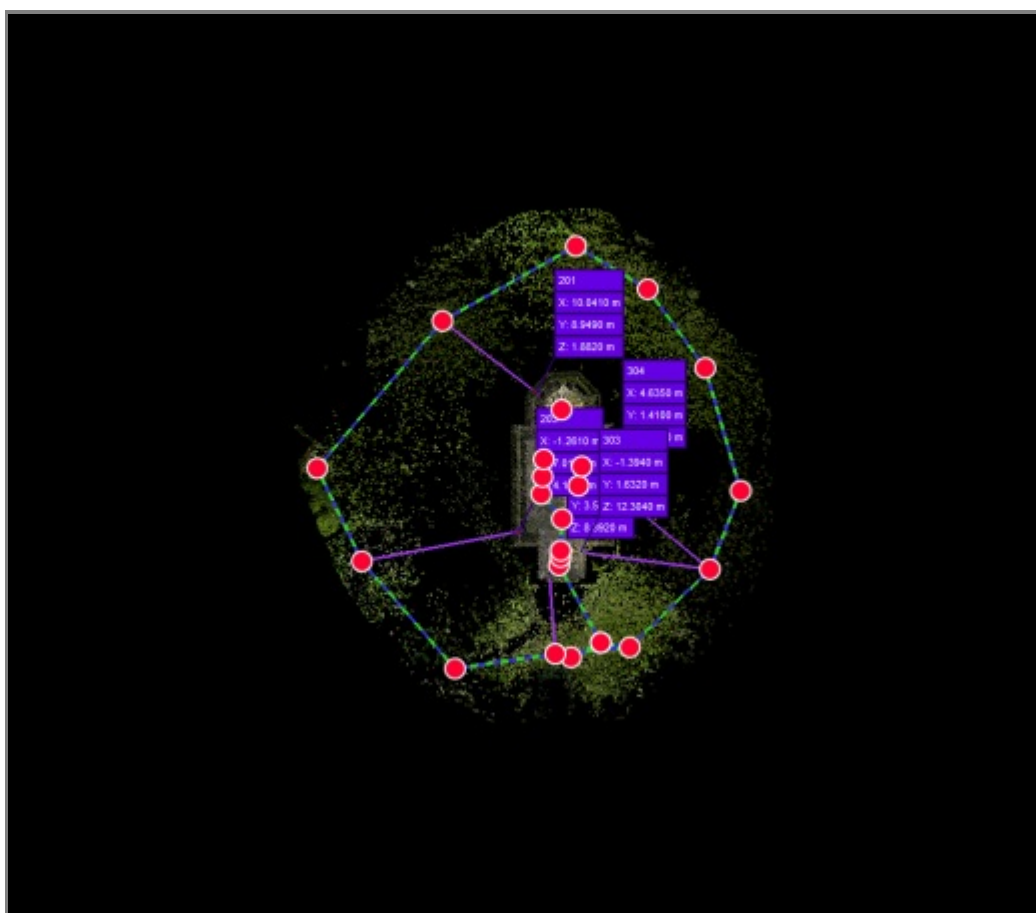
Pontszám	m	M	dM
M = m + 216.905			
2	-0.524	216.360	0.021
3	-0.866	216.060	-0.021

RMS= 0.021

Pontszám	m	M
1	1.391	218.296
101	1.710	218.615
102	1.266	218.171
103	7.709	224.614
104	10.090	226.995
201	1.198	218.103
202	0.526	217.431
203	3.499	220.404
204	11.516	228.421
301	7.607	224.512
302	0.933	217.838
303	11.621	228.526
304	3.205	220.110
305	4.453	221.358
306	11.211	228.116
307	0.033	216.938

Leica
Geosystems

Certified by:



RTC360

Overall Quality

Setup Count:	24
Link Count:	25
Strength:	62 %
Overlap:	52 %

Bundle Error
0.0048 m ✓

Overlap
52 % ✓

Strength
62 % ✓

Cloud-to-Cloud

Target Error

0.0048 m



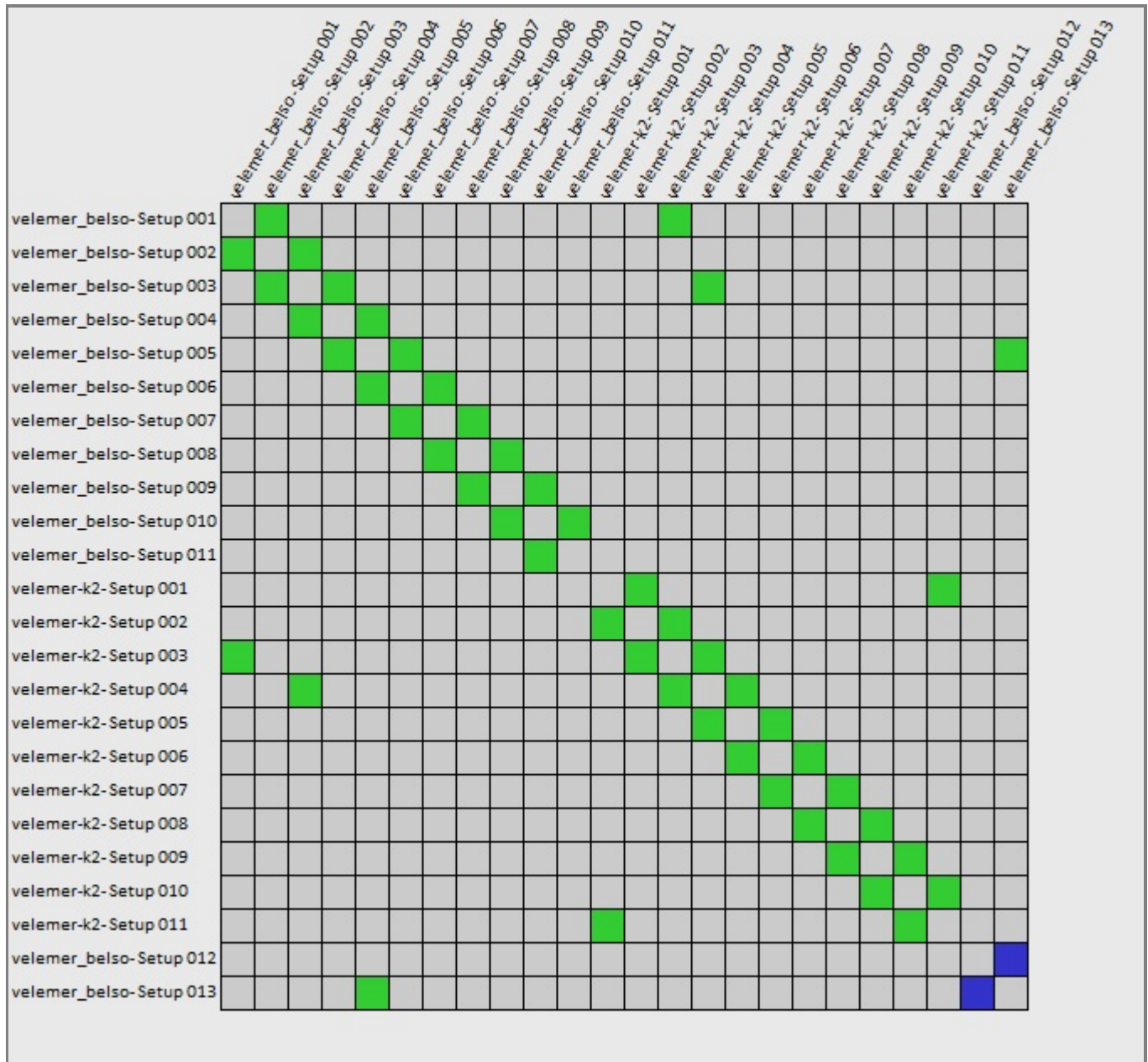
--

Max error of 0.0150 m.

Max error of 0.0200 m.

Error greater than 0.0200 m.

Link-Quality Matrix #1 -



Survey Report

Abs. Mean Error of Control to 'Bundle 1': **0.0043 m**

Bundle Name	Setup	Label	Error
Bundle 1	velemer-k2- Setup 001	203	0.0036 m
	velemer-k2- Setup 003	103	0.0018 m
	velemer-k2- Setup 005	304	0.0054 m
	velemer-k2- Setup 005	303	0.0054 m
	velemer-k2- Setup 010	201	0.0054 m

Link Error Results

1 Overview

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 1	velemer_belso- Setup 001	velemer_belso- Setup 002	51 %	0.0031 m
Link 2	velemer_belso- Setup 003	velemer_belso- Setup 004	32 %	0.0041 m
Link 3	velemer_belso- Setup 004	velemer_belso- Setup 005	23 %	0.0026 m
Link 4	velemer_belso- Setup 005	velemer_belso- Setup 006	87 %	0.0029 m
Link 5	velemer_belso- Setup 006	velemer_belso- Setup 007	78 %	0.0012 m
Link 6	velemer_belso- Setup 007	velemer_belso- Setup 008	80 %	0.0025 m
Link 7	velemer_belso- Setup 008	velemer_belso- Setup 009	79 %	0.0034 m
Link 8	velemer_belso- Setup 009	velemer_belso- Setup 010	80 %	0.0032 m
Link 9	velemer_belso- Setup 010	velemer_belso- Setup 011	84 %	0.0014 m
Link 10	velemer-k2- Setup 001	velemer-k2- Setup 002	41 %	0.0059 m
Link 11	velemer-k2- Setup 002	velemer-k2- Setup 003	41 %	0.0065 m
Link 12	velemer-k2- Setup 003	velemer-k2- Setup 004	42 %	0.0071 m
Link 13	velemer-k2- Setup 004	velemer-k2- Setup 005	46 %	0.0064 m
Link 14	velemer-k2- Setup 005	velemer-k2- Setup 006	48 %	0.0067 m
Link 15	velemer-k2- Setup 006	velemer-k2- Setup 007	39 %	0.0090 m
Link 16	velemer-k2- Setup 007	velemer-k2- Setup 008	42 %	0.0060 m
Link 17	velemer-k2- Setup 008	velemer-k2- Setup 009	41 %	0.0053 m
Link 18	velemer-k2- Setup 009	velemer-k2- Setup 010	25 %	0.0078 m
Link 19	velemer-k2- Setup 010	velemer-k2- Setup 011	30 %	0.0084 m
Link 32	velemer_belso- Setup 003	velemer_belso- Setup 002	88 %	0.0036 m
Link 33	velemer_belso- Setup 012	velemer_belso- Setup 013	7 %	0.0000 m
Link 34	velemer_belso- Setup 013	velemer_belso- Setup 005	35 %	0.0016 m
Link 35	velemer-k2- Setup 004	velemer_belso- Setup 003	71 %	0.0049 m
Link 36	velemer_belso- Setup 001	velemer-k2- Setup 003	72 %	0.0017 m
Link 37	velemer-k2- Setup 001	velemer-k2- Setup 011	44 %	0.0089 m

2 Details

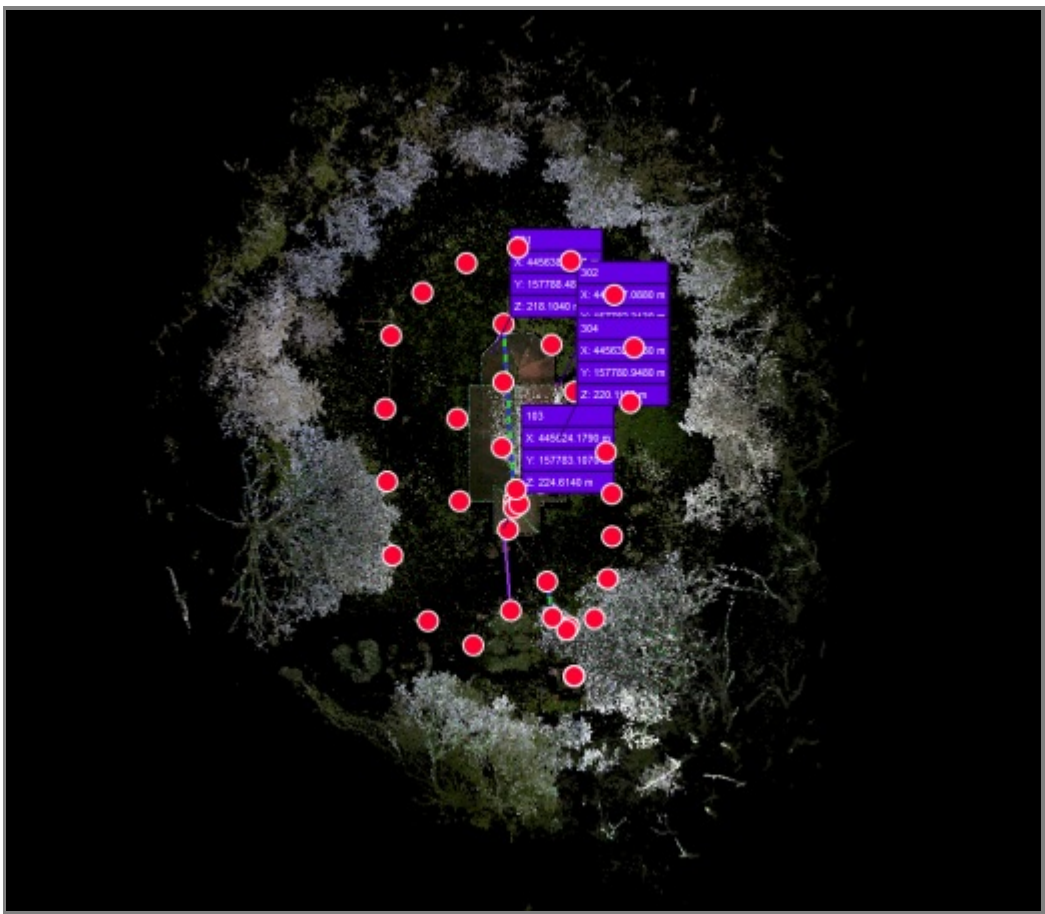
Cyclone REGISTER 360

Registration Report



nov. 22, 2023

Certified by:



BLK2GO

Overall Quality

Error Results for Bundle 1

Setup Count: 4
Link Count: 3

Strength: 70 %
Overlap: 45 %

Bundle Error 0.0029 m ✓	
Overlap 45 % ✓	Strength 70 % ✓
Cloud-to-Cloud	Target Error

0.0029 m



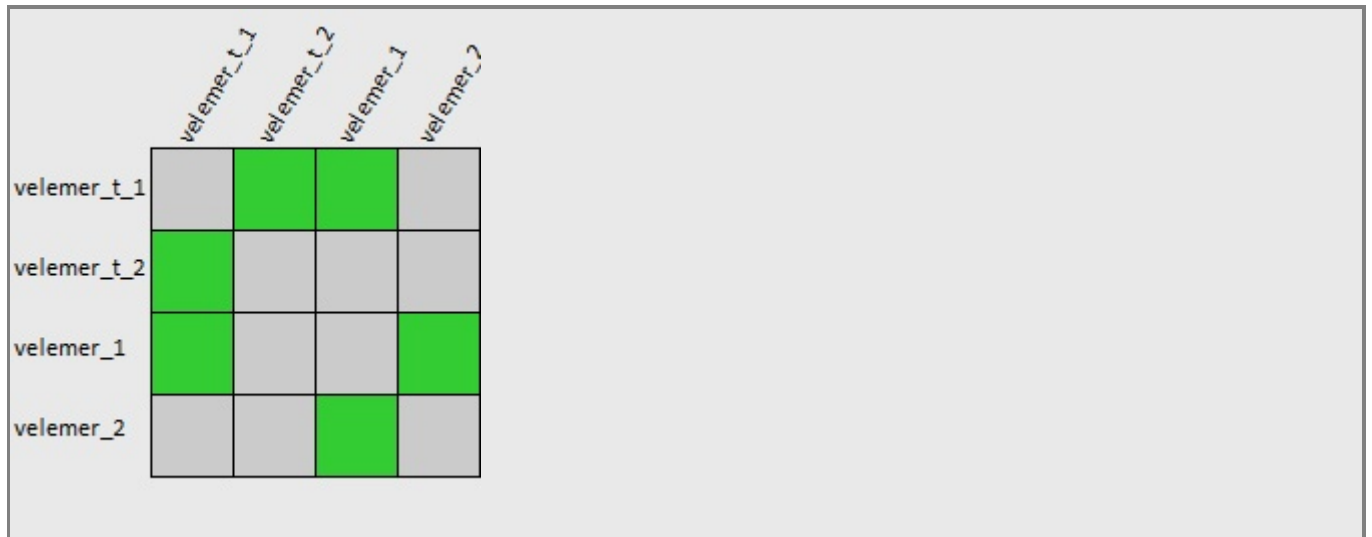
--

Max error of 0.0150 m.

Max error of 0.0200 m.

Error greater than 0.0200 m.

Link-Quality Matrix #1 -



Survey Report

Abs. Mean Error of Control to 'Bundle 1': **0.0142 m**

Bundle Name	Setup	Label	Error
Bundle 1	velemer_1	302	0.0160 m
	velemer_1	201	0.0149 m
	velemer_2	304	0.0194 m
	velemer_2	103	0.0066 m

Link Error Results

1 Overview

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 1	velemer_t_1	velemer_t_2	16 %	0.0043 m
Link 2	velemer_1	velemer_t_1	66 %	0.0022 m
Link 4	velemer_1	velemer_2	53 %	0.0033 m

2 Details

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 1	velemer_t_1	velemer_t_2	16 %	0.0043 m
		Cloud to Cloud		0.0043 m
		Target	Mean Target Error:	--

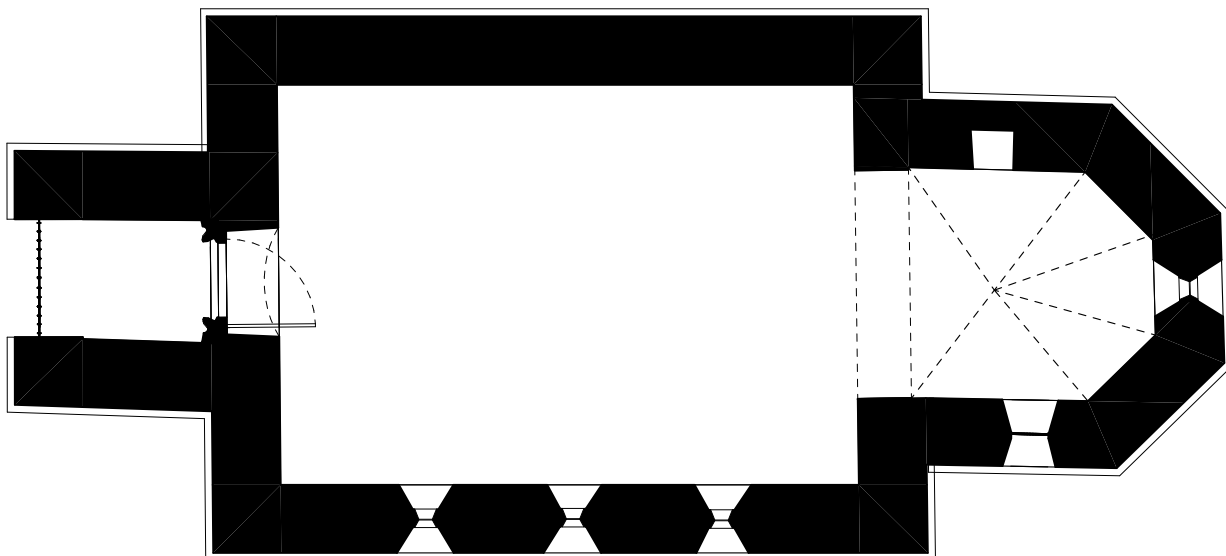
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 2	velemer_1	velemer_t_1	66 %	0.0022 m
		Cloud to Cloud		0.0022 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 4	velemer_1	velemer_2	53 %	0.0033 m
		Cloud to Cloud		0.0033 m
		Target	Mean Target Error:	--

MODELLNÉZETEK - 8. melléklet



TERVRAJZOK - 9. melléklet



Alaprajz

M=1:100



Hosszmetszet_egyszerű és textúrázott

M=1:200

