



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

TDK DOLGOZAT

**Fotópontfelhők előállítása és összehasonlítása
különböző adatgyűjtő lehetőségek
használatával**

**OE-AMK
2024**

Hallgató neve:
Hallgató törzskönyvi száma:

Balaton Regina Hanna
T001481/FI12904/A-M



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

HALLGATÓI NYILATKOZAT

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

Kelt:

.....
hallgató aláírása

TARTALOMJEGYZÉK

1.	BEVEZETÉS.....	5
2.	FELMÉRENDŐ TERÜLET BEMUTATÁSA	6
3.	A FELADAT ELMÉLETI ÁTTEKINTÉSE.....	8
3.1.	Fotogrammetria	8
3.2.	Légi fotogrammetria	8
3.3.	Földi fotogrammetria	9
4.	A KUTATÁSHOZ HASZNÁLT ESZKÖZÖK	13
4.1.	Ricoh Theta Z1 360° kamera	13
4.2.	Leica ScanStation C10 lézerszkennel	14
4.3.	Matterport PRO 3	15
5.	FELDOLGOZÓ SZOFTVEREK	17
5.1.	Agisoft Metashape	17
5.2.	Recap Pro	17
5.3.	CloudCompare	17
6.	FELMÉRÉS.....	19
6.1.	Felmérés folyamata a Ricoh Theta Z1 360° kamerával	19
6.2.	A Leica ScanStation C10 lézerszkennelrel történő felmérés	19
6.3.	Felmérés a Matterport PRO 3 kamerával	22
7.	FELDOLGOZÁS	24
7.1.	A 360°-os képek feldolgozása	24
7.1.1.	Képek exportálása és összekapcsolása	24
7.1.2.	A feldolgozás során alkalmazott beállítások	26
7.2.	A szkennelés feldolgozása	28
7.3.	A mobilszkennelés feldolgozása	33
8.	ÖSSZEHASONLÍTÁS, ELEMZÉS.....	36

9. EREDMÉNYEK	42
10. ÖSSZEGZÉS.....	48
11. ÖSSZEFOGLALÁS	49
12. SUMMARY	50
13. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	51
14. IRODALOMJEGYZÉK.....	52
15. ÁBRAJEGYZÉK	53

1. BEVEZETÉS

A kutatási téma ötletét a Mikoviny Szakkollégium által szervezett a Pozsonyi Szlovák Egyetemen töltött intenzív egy hetes BIM modellezés kurzus adta, ahol volt lehetőségem kipróbálni a 360°-os kamera működését, megismerni az általa elkészített nyers képek struktúráját, a feldolgozási és felhasználási lehetőségeit.

A dolgozat a 360°-os panorámaképekből előállítható modell létrehozásának folyamatát mutatja be, kitérve az adódó előnyökre és felmerülő hátrányokra is. Emellett ismertetésre kerül a RICOH THETA Z1 360° kamera, és a feldolgozó szoftverkörnyezet is elméleti alapokra támaszkodva.

A dolgozat apropóját az adja, hogy felmerült az igény egy partner részéről ipari terület háromdimenziós bemutatására, melyre egy ilyen kamerás felmérés termelékenyebb alternatívát adhat a 3D lézerszkenneléssel szemben, melyben a Geoinformatikai Intézetnek jelentősebb, évtizedes tapasztalata van. Mindkét felmérési módszer eredménye egy térbeli koordinátákkal és minőségi információkkal rendelkező pontthalmaz, úgynevezett pontfelhő. A különbség abban van, hogy milyen fizikai jelenségek útján képződnek le ezek a pontok. A lézerszkennelésnél irány és távmérésen alapul a geometriai információ, a hozzájuk tartozó minőségi adat pedig vagy a lézerintenzitás érték, vagy valamilyen fényképi adat. A fotópontfelhőnél a geometria közvetetten, a különböző pozíciókból készült fényképek azonos pontjai- és a kalibrált kameraadatok által számított térbeli metszések segítségével kaphatók meg, a minőségi információ pedig fényképek spektrális tulajdonága lesz.

A fentiekből feltételezhető, hogy a két eljárással készült felmérések több szempontból is eltérhetnek nem utolsó sorban pontossági szempontból is.

Ebben a kutatásban a 360°-os panorama fényképek alapján történő fotópontfelhő előállítása kerül bemutatásra és a kapott eredmények értékelésére is sor kerül.

A kutatásaimat a kapott pontfelhő geometriai megbízhatóságának elemzésével folytattam. Ennek keretében a teszterület felmérését elvégeztem további eszközökkel is. A felmérés kiegészült egy Leica C10-es ScanStation lézerszkennerral és ezen kívül egy Matterport PRO 3-mal végzett méréssel is. A feldolgozás során több különböző szoftvert alkalmazva létrehoztam a teszterület pontfelhőit, majd ezeken méréseket végrehajtva határoztam meg azok közti eltéréseket.

2. FELMÉRENDŐ TERÜLET BEMUTATÁSA

A felméréndő területhez teszterületként a Geoinformatikai Intézet földszinti folyosóját választottam. A kutatáshoz mintaterületként kiváló alapul szolgált, hisz kellően hosszú, így szükség volt több ponton keresztüli képillesztésre, mindemellett nehezített a feladaton a folyosó egyhangúsága, hisz így a szoftver által kínált automatikus illesztési hibák is nehezebben voltak észrevehetőek a feldolgozás folyamata során.

Az egyhangú folyosóhoz három helyiség még felmérésre került. az ezekbe történő ki- és behaladás nem egyszerűsítette a folyamatot.



1. ábra - A felmért terület

A kapott eredmények összehasonlításában eltérést képez majd, hogy a Ricoh Theta Z1 360°-os kamerával történő felmérésből az iroda, tanterem és közösségi helyiség kimaradt -mivel ez egy korábbi felmérés során készült el-, abban csak a folyosó szerepel.



2. ábra - A tanterem



3. ábra - Az iroda

3. A FELADAT ELMÉLETI ÁTTEKINTÉSE

3.1. Fotogrammetria

A fotogrammetria a fizikai tárgyakról és a környezetről megbízható információk megszerzésének tudománya és technológiája a fényképfelvételek, valamint az elektromágneses sugárzási képek és más jelenségek mintáinak rögzítési, mérési és értelmezési folyamata révén.[1]

A fotogrammetria kifejezést Albrecht Meydenbauer porosz építész alkotta meg [2], amely 1867-ben megjelent "Die Photometrographie" [3] című cikkében.

A fotogrammetriának számos változata létezik. Ilyen például a háromdimenziós mérések kinyerése kétdimenziós adatokból (azaz képekből); itt az alapelv az, hogy a fényképes képsíkkal párhuzamos síkon fekvő két pont távolsága meghatározható úgy, hogy megmérjük a távolságukat a képen, ehhez az szükséges, hogy a kép léptéke ismert legyen. Egy másik felhasználása a pontos szintartományok és értékek kinyerése, amelyek olyan mennyiségeket képviselnek, mint az albedó, a tükröződés, a fényesség vagy a fényképek alapján meghatározott környezeti elzáródás (oklúzió), fizikai alapú megjelenítés céljából.

A fotogrammetriának két általános típusa létezik a kamera fényképezés során való elhelyezkedése alapján: légi (a fényképezőgéppel a levegőben) és földi (kézi kamerával vagy állványon). A földi fotogrammetria tárgytávolságig kb. 200 m közel-fotogrammetriának is nevezik.

3.2. Légi fotogrammetria

Egy adott terület feltérképezésére a leggyakrabban használt fotogrammetriai módszer a légi fotogrammetria. A légifotogrammetriában a kamerát repülőgépre szerelik, és (klasszikusan) függőlegesen a talaj felé irányítják. Ha a terv egy repülési útvonalat követ, és a fényképezőgépet függőlegesen a talaj felé szereli, a kamera több egymást átfedő képet készít a talajról, ezáltal a területről úgynevezett ortofotó készíthető. Az ortofotó, vagy ortokép olyan légifelvétel vagy műholdkép, amelyet geometriailag korrigáltak („ortorektifikáltak”), hogy a lépték állandó legyen: a fénykép vagy kép egy adott térképi vetületet követ. A javítatlan légifelvételekkel ellentétben az ortofotó alkalmas a valós távolságok mérésére, mivel ez a Föld felszínének

pontos ábrázolása, amelyet a topográfiai domborzathoz, az objektív torzulásához és a kamera dőléséhez igazítottak.

3.3. Földi fotogrammetria

Földi fotogrammetriának nevezik azt a tudományágat, amely a mérési képek, valamint mérési és értékelési célokra szánt fényképek földi helyzetből történő elkészítésével és feldolgozásával foglalkozik. Ott használható, ahol a mérendő terület, tárgy vagy felület akadálytalan rálátása biztosított. Napjainkban a 3D-s adatbázisok elterjedésével kezd újra előtérbe kerülni alkalmazása a térképészetben, korábban csak azokon a szakterületeken alkalmazták, ahol nem csak a metrikus adatok feldolgozása, hanem a fénykép által nyújtott kiegészítő információk is fontosak voltak.

Az egyik legfontosabb alkalmazási terület a mérnökgeodéziai felhasználás. Ezen belül mozgásvizsgálatokhoz, deformáció mérésekhez, állapotfelméréshez és egyéb vizsgálatokhoz használható. Ezek lényege, hogy egy kiindulási helyzethez képest meghatározzuk, hogy a vizsgált objektum mennyire és milyen irányba mozdult el. Ezek mértéke alapján prognosztizálhatjuk a valószínűsíthető következményeket. Ezek a vizsgálatok, az építőiparban (pl. magas karcsú objektumok, nagy tömegű műtárgyak), a közlekedésben (pl. hidak, vasúti objektumok, műtárgyak), hidrológiai objektumoknál (pl. völgyzárógát, zsilipek, töltések), bányászat következtében (pl. bányaművelés) bekövetkezett elmozdulások, elsősorban süllyedések kimutatása. Szintén a mérnökgeodéziai felhasználás körébe tartozik pl. külfejtésű bányák által kitermelt depóniák térfogatának meghatározása, alagutak, hengerszelvények felmérése, tartályok ürtartalmának meghatározása, gépek, gyártósorok összeszerelésének ellenőrzése.

Második leggyakoribb felhasználó az építészet. Ide tartoznak az állapotfelmérések, az átépítést vagy újratervezést megelőző felmérések, az épületkár dokumentációk és a belsőépítészeti felmérések.

A FÖLDI FOTOGRAMMETRIA JELLEMZŐI

- a mérés során nem szükséges megközelíteni a vizsgált tárgyat, létesítményt (ezért a földi fotogrammetria is a távérzékelés egyik fajtája),
- rövid a terepi méréshez szükséges idő,
- a rövid expozíciós idő miatt gyors folyamatok mérésére is alkalmas,

- a mérési képek sok (mennyiségi- és minőségi) információt tartalmaznak,
- az értékelés gyors és könnyen automatizálható.

A fotogrammetriát csoportosíthatjuk aszerint is, hogy egy kép, vagy több kép a feldolgozás alapja.

A fotogrammetriának az az esete, amikor képpárok adják a feldolgozás alapját sztereofotogrammetriának is nevezzük, ilyenkor az objektumok pontjainak háromdimenziós koordinátáinak becslését foglalja magában két vagy több, különböző pozícióból készített fényképfelvételen végzett mérés. A közös pontok ilyenkor mindegyik képen megtalálhatók. A kamera helyétől a tárgy pontjáig látóvonalat (vagy vetítősugarat) lehet létrehozni. Ezeknek a sugaraknak a metszéspontja (háromszögelés) határozza meg a pont háromdimenziós helyét. A kifinomultabb algoritmusok kihasználhatják a felvételezéssel kapcsolatos egyéb, eleve ismert információkat, például a szimmetriákat, bizonyos esetekben lehetővé téve a 3D koordináták rekonstrukcióját akár egyetlen kameraállásból is. A fotogrammetriai modellek létrehozására szolgáló képgyűjtemény pontosabban polioszkópiának nevezhető Pierre Seguin után.

Napjainkban az ilyen jellegű feldolgozások számítógépes sztereó látás elvén valósulnak meg. A számítógépes sztereó látás a 3D információ kinyerése digitális képekből, például a CCD kamerával készített képekből. Egy objektum információinak két nézőpontból történő összehasonlításával 3D-s információ nyerhető ki a két képen lévő objektumok egymáshoz viszonyított helyzetének vizsgálatával. Ez hasonló a sztereopszis biológiai folyamatához.

A hagyományos sztereó látásban két, egymástól vízszintesen elhelyezett kamerát használnak arra, hogy egy objektumról két különböző nézetet kapjanak az emberi binokuláris látáshoz hasonlóan. E két kép összehasonlításával a relatív mélységinformációt kaphatunk egy eltérési térkép formájában, amely a megfelelő képpontok vízszintes koordinátáinak különbségét kódolja. Ezen az eltérési térképen az értékek fordítottan arányosak a fényképezett objektum mélységével az adott pixelhelyen.

Ahhoz, hogy az ember összehasonlíthassa a két képet, azokat egy sztereoszkópikus eszközben egymásra kell helyezni úgy, hogy a jobb kamera képét a megfigyelő jobb szemének, a balról pedig a bal szemnek kell megjeleníteni.

A számítógépes látórendszerben több előfeldolgozási lépésre van szükség.

- A képnek először torzításmentesnek kell lennie, hogy a hordótorzítás és a tangenciális torzítás megszűnjön. Ez biztosítja, hogy a megfigyelt kép megfeleljen egy ideális lyukkamera vetítésének.
- A képet vissza kell vetíteni egy közös síkra, hogy lehetővé váljon a képpárok összehasonlítása, amit kép-helyesbítésnek neveznek.
- Opcionálisan a kapott eltérési térképet egy 3D pontfelhőbe vetíti ki. A kamerák projektív paramétereinek felhasználásával a pontfelhő kiszámítható úgy, hogy ismert léptékű méréseket adjon.

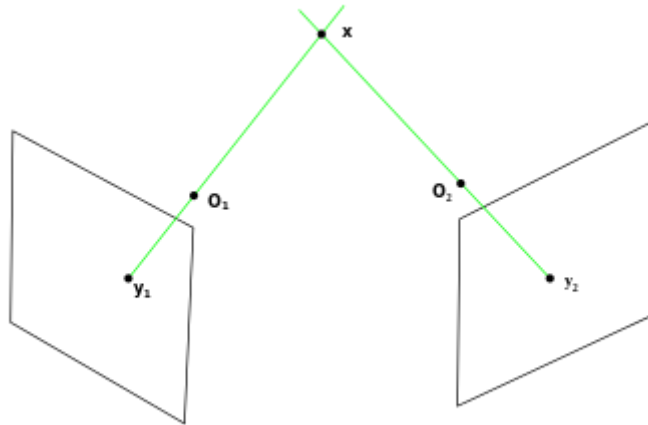
Ahogy a korábbiakban említettük, a 3D koordináták háromszögelés útján kerülnek meghatározásra a két kép képpontjai alapján.

A számítógépes látásban a háromszögelés egy pont meghatározásának folyamatát jelenti a 3D-s térben, ha annak két vagy több képre vetítik a képét. A probléma megoldásához ismerni kell a felvételeket készítő kamera vetítési paramétereit, legegyszerűbb esetben a kameramátrixokkal megadva.

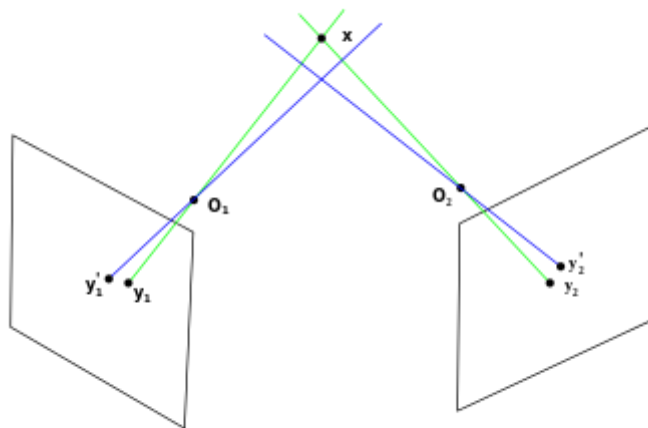
A háromszögelési probléma elvileg triviális. Mivel a kép minden pontja egy egyenesnek e felel meg a 3D térben, a vonal minden pontja 3D-ben a kép pontjára vetül. Ha két vagy több képen található egy megfelelő pontpár, akkor ezek egy közös x jelű pont 3D vetületei. A képpontok által generált egyenesek halmazát x -ben (3D pont) kell metszeni, és az x (3D pont) koordinátáinak algebrai meghatározása többféleképpen is kiszámítható, az alábbiak szerint.

A gyakorlatban azonban a képpontok koordinátái nem mérhetőek tetszőleges pontossággal. Ehelyett a különböző típusú hibák, például az objektív elrajzolásából származó geometriai hiba vagy a fókusz helyének hibája pontatlansághoz vezet a mért képpontkoordinátákban. Ennek következtében a megfelelő képpontok által generált vonalak nem mindig metszik egymást a térben. A probléma valójában tehát az, hogy találjunk egy 3D pontot, amely optimálisan illeszkedik a mért képpontokhoz. A szakirodalomban számos javaslat található ennek meghatározására és az optimális 3D pont megtalálására.

A következőkben feltételezzük, hogy a háromszögelés a megfelelő képpontokon történik két lyukkamera által generált nézetből.



4. ábra - Az epipoláris geometria ideális esete: Egy x 3D-s pontot két kameraképre vetítenek (zöld) vonalakon keresztül, amelyek metszik az egyes fényképezőgépek fókuszpontját (O_1 és O_2). Az eredményül kapott képpontok y_1 és y_2 . A zöld vonalak x pontban metszik egymást.



5. ábra - A gyakorlatban az y_1 és y_2 képpontok nem mérhetők tetszőleges pontossággal. Ehelyett az y_1' és y_2' pontokat észleli és használja a háromszögeléshez. A megfelelő vetületi vonalak (kék) általában nem metszik egymást a 3D-s térben

4. A KUTATÁSHOZ HASZNÁLT ESZKÖZÖK

4.1. Ricoh Theta Z1 360° kamera



6. ábra - RICOH THETA Z1 360° camera [2]

A fényképek elkészítéséhez a fenti ábrán látható Ricoh Theta Z1 kamerát alkalmaztam. Az önmagában kb. 200 grammos kamera 6720 x 3360-as állókép felbontással képes képeket rögzíteni, mindemellett videófelbontása 2K-ra és 4K-ra egyaránt alkalmas.

Az elkészíthető képek fájlformátuma is választható a RAW+ vagy JPEG. Objektumtávolsága kb. 40 centiméteres. Zársebességei az alábbi opciók közül választhatóak:

- **Állókép:** (automatikus) 1/25000-1/8 másodperc,
- (zár-prioritásos mód) 1/25000-15 másodperc *1
- (kézi mód) 1/25000-60 másodperc *1
- **Videó:** (automatikus) 1/25000-1 /30 másodperc
- (Zár prioritás, kézi) 1/25000 - 1/30 másodperc *3
- Élő közvetítés: (Automatikus) 1/25000 - 1/30 másodperc

A kamera a THETA fényképezőgépcsalád egyik legjobb modellje, mely 23 megapixeles felbontású 360°-os állófényképes fotózást támogat. A fényképek elkészítéséhez a kameratartozékként beszerezhető saját kameraállványa került felhasználásra a gépnek. [2]

4.2. Leica ScanStation C10 lézerszkennner

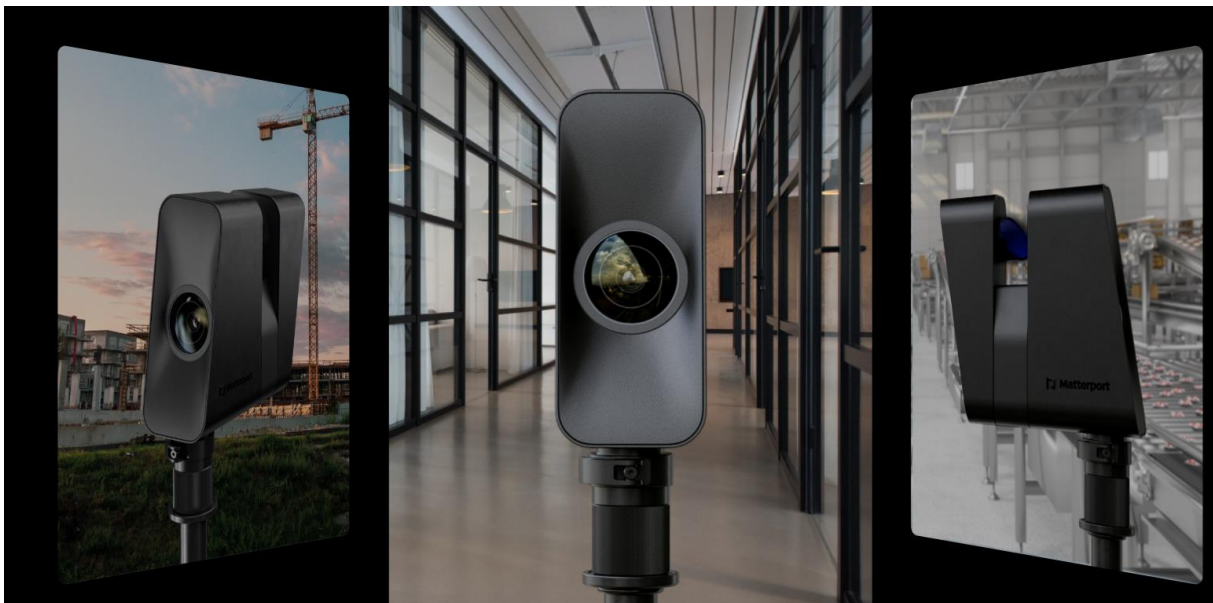


7. ábra - Leica ScanStation C10 lézerszkennner

- hatótávolság: 0,1-300 m
- mérési sebesség: akár 50 000 pont/s
- lézer osztály: 3R
- integrált színes kamerával
- üzemi hőmérséklet: 0 °C és +40 °C között
- **Rendszer információk:**
 - Egyszeri mérés pontossága
 - Pozíció: 6 mm
 - Távolság: 4 mm
 - Szög (vízszintes/függőleges): 60 μ rad / 60 μ rad (12" / 12")

- Modellezett felületi pontosság**/zaj 2 mm
- Célfelvétel*** 2 mm std. eltérés
- Kéttengelyes kompenzátor:
 - Választható be/ki,
 - felbontás 1",
 - dinamikatartomány +/- 5',
 - pontosság 1,5" [11]

4.3. Matterport PRO 3



8. ábra - Matterport PRO 3 [12]

- Mélység technológia: LiDAR
- Lézer: 1. osztály (az IEC 60825-1:2014 szerint)
- Hullámhossz: 904 nm
- Látómező: 360°H / 295°V
- Pontosság: +/- 20 mm 10 m-en
- Mélységi felbontás: 100 000 pont másodpercenként 1,5 millió. Pontok szkennelésenként
- Minimális működési tartomány: 0,5 m
- Maximális működési tartomány: 100 m-ig (csak E57-tel érhető el)

- 3D adatregisztráció: Automatikusan
- Kimenet panoráma pixelben: 134,2 MP
- Expozíciók száma HDR-kockánként: 5
- Fehér egyensúly: Automata, általános modell
- Beszerzési sebesség: <20 másodperc szkennelésenként
- A kamera kezdési ideje: <40 másodperc
- Távirányító: Matterport Capture alkalmazás Apple vagy Android mobileszközökön
- Vezeték nélküli kommunikáció: BLE Wi-Fi kapcsolat beállításához Wi-Fi 802.11 5GHz kommunikáció a Capture alkalmazást futtató mobileszközzel
- Méretek: 181 mm x 161,4 mm x 76 mm
- Súly: 2,2 kg
- Akkumulátor csomag: >220 szkennelés folyamatos, szekvenciális szkennelést feltételezve
- Az akkumulátor töltési ideje: 2,5 óra 80%-os töltés 3,5 óra 100%-os töltés
- Rögzítő mechanizmus: Állványtartó gyorskioldással; Belső menet 3/8-16
- GPS: Tartalmaz
- Üzemi hőmérséklet: 0°C és 40°C között
- Tárolási hőmérséklet: -20°C és 60°C között
- Védelmi osztály: IP43 [12]

5. FELDOLGOZÓ SZOFTVEREK

5.1. Agisoft Metashape

Az Agisoft Metashape szoftver egy olyan fotogrammetriai program, amelynek felhasználási területe elég széles. A digitális képek fotogrammetriai célú feldolgozásán kívül téradatokat generálására is alkalmas. Könnyedén elvégezhető vele a pontfelhő és ortofotó előállítása.

A készen előállított termékekről különböző megbízhatósági elemzések készíthetők, ezen felül az adatok is mérhetők, és kimenthetők különböző formátumokban is.

Kezelőfelülete és eszköztárai észszerűek, könnyedén érthetőek és tanulhatóak. [1]

5.2. Recap Pro

A lézerszkennerral történő felmérés feldolgozásához az Autodesk termékcsalád Recap Pro szoftverének oktatási verzióját alkalmaztam.

A ReCap Pro szoftver segítségével a felhasználó kiváló minőségű, részletes modelleket rögzíthetnek a valós eszközökről. Lehetőséget biztosít a következő lehetőségekre is:

- A meglévő feltételek és a beépített eszközök megértése és ellenőrzése, hogy betekintés nyerése és jobb döntéseket hozásának támogatása a felhasználó számára.
- Pontfelhő, háló vagy BIM (Épületinformációs Modellezés) folyamatok előállítása
- Épület- és infrastrukturális projektek felmérése, tervezése, kivitelezése és felújítása [10]

5.3. CloudCompare

A CloudCompare egy ingyenesen bárki számára, bármely operációs rendszerre (Windows, Linux, Mac) telepíthető 3D pontfelhő (és háromszöghálós) feldolgozó szoftver. Eredetileg úgy tervezték, hogy összehasonlítsa két sűrű 3D pontfelhőt (például a lézerszkennerral kapott pontfelhőket), vagy egy pontfelhőt és egy háromszöghálót. Ezt követően egy általánosabb pontfelhő-feldolgozó szoftverre bővült, amely számos fejlett algoritmust tartalmaz

(regisztráció, újrámintavételezés, színes/normál/skaláris mezők kezelése, statisztikai számítások, szenzorkezelés, interaktív vagy automatikus szegmentálás stb.).

A CloudCompare számos nyíltpont-felhőformátumot (ASCII, LAS, E57 stb.), valamint egyes gyártói formátumokat (DP, Riegl, FARO stb.) képes betölteni. Háromszög alakú hálókat (OBJ, PLY, STL, FBX stb.) és néhány vonalláncot vagy sokszög formátumot (SHP, DXF stb.) is betölthet. Egyes SfM formátumok is támogatottak (Bundler, Photoscan PSZ stb.). [14]

A szoftver nyíltsága (opensource program) okán úgynevezett pluginokkal (egyéb bővítményekkel) bővíthető, a felhasználó akár saját bővítményt is tud a kezelőfelülethez létrehozni saját munkájának tökéletesítésére.

6. FELMÉRÉS

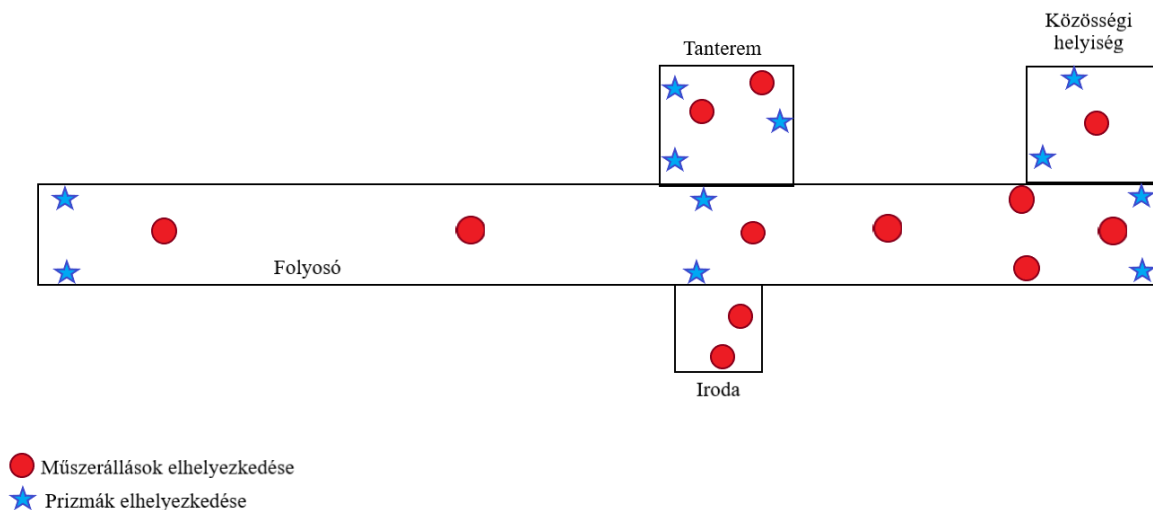
6.1. Felmérés folyamata a Ricoh Theta Z1 360° kamerával

A felmérés során 23 panorámakép készült el a folyosón a megfelelő átfedést biztosítva, az illesztésekhez jeltárcsák, és pontjelek nem kerültek alkalmazásra mivel a feldolgozást független szoftverkörnyezetben hajtottam végre, nem a Matterport által forgalmazott felületen, illetve a illesztőpontok nélkül elérhető megbízhatóságot szerettem volna tesztelni.

6.2. A Leica ScanStation C10 lézerszkennerral történő felmérés

A felmérés során a teszterület az összehasonlításhoz a Geoinformatikai Intézet földszinti folyosója. A Leica ScanStation C10-es szkennerral történő felmérés során az álláspontok illesztéséhez használtam a Leica 3 és 6 inches HDS tárcsákat is, melyek az illesztések minőségén képesek javítani, ezzel pontosítva a keletkező pontfelhőt.

A képeken látható a prizmák elhelyezkedése.



9. ábra - Átnézet a műszerállás és a prizmák elhelyezkedéséről



10. ábra - Felmérés folyamata egy folyosói állásponton

A C10-es szkennerral a felmérés ideje a várakozásokhoz képest hosszabb lett, 2 egymás követő nap alatt készült el a felmérése a területnek. A 2 kiválasztott plusz helyiség felmérése okozott kis fejtörés az éles „kanyarban” történő befordulások miatt, mivel a felmérés során még nem tudtuk milyen módszerrel fog történni a feldolgozás és végig jeltárcsákat is használtunk. Utólag visszagondolva, és tudva, hogy a jeltárcsák nem kerültek felhasználásra, a helyiségek szkennelését ajtónyílásokban felállított műszerrel oldanám meg, az átfedések növelésének érdekében.

A szkennerek a mérőkamerákhoz képest nem a legmobilisebb mérési műszer már súlyából adódóan sem (~16 kg).

A felmérés folyamata során minden állásponton új álláspontot (*Station*) definiáltam, majd bemértem a jeltárcsák helyzetét, hogy később az illesztés folyamatát könnyítsék. Ezután a beépített modul lehetőséget kínál csak szkennelés, csak fényképezés, vagy a kettő kombinációjának végrehajtására, melyek közül legutóbbit választottam ki minden álláspont során. Olyan helyzetekben, ahol megfelelőek a fényviszonyok, és feldolgozás során érdekes lehet a visszaverődő lézerintenzitás mellett a mért pontokhoz tartozó felületek anyaga, színe stb., ott célszerű fényképeket is készíteni, függetlenül az fényképezéssel járó időtöbblettől.

Így az összes állásponton a kb 2-3 perces szkennelés után a szkennerek elkészített 260 db fényképet is, mely időben már hosszabb folyamatnak bizonyult.

Összesen a tesztterület felmérése a két helyiséget is beleértve 12 álláspontból tevődött össze. Ügyeltem arra, hogy a helyiségekben is legyen kellő átfedés, így azok is 2-2 állásból lettek felmérve.



11. ábra - A tantermi álláspontok egyike



12. ábra - A kiválasztott iroda felmérése

6.3. Felmérés a Matterport PRO 3 kamerával



13. ábra - A Matterport PRO 3 felmérés közben

A képen látható a teszterület felmérési folyamata a Matterport PRO 3 mérőkamerával, a felmérés során az eszközhöz controllerként egy Samsung tablet került csatlakoztatásra, amelyen keresztül végig követhető volt a folyamat. Végig követhető az álláspontok száma, látható az elhelyezkedésük, vázlatosan rajzolódik ki a terület, amelyen dolgozunk. Felmérés során szembetűnő az, hogy amennyiben az eszköz nem észlel a benne lévő algoritmusnak megfelelően kellő mennyiségű átfedést – egymásnak azonosítható pontot -, akkor a következő álláspont szkennelését nem hajtja végre addig, míg ennek a feltételnek meg nem felel az eszköz helyzete. A felmérések közül ezáltal elmondható, hogy az álláspontok (*Station*) számát tekintve, ez a legnagyobb átfedést igénylő.

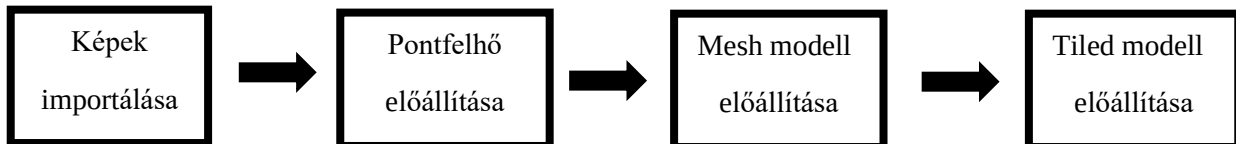


14. ábra - Felmérés folyamata, álláspontok elhelyezkedése a folyamat során

7. FELDOLGOZÁS

7.1. A 360°-os képek feldolgozása

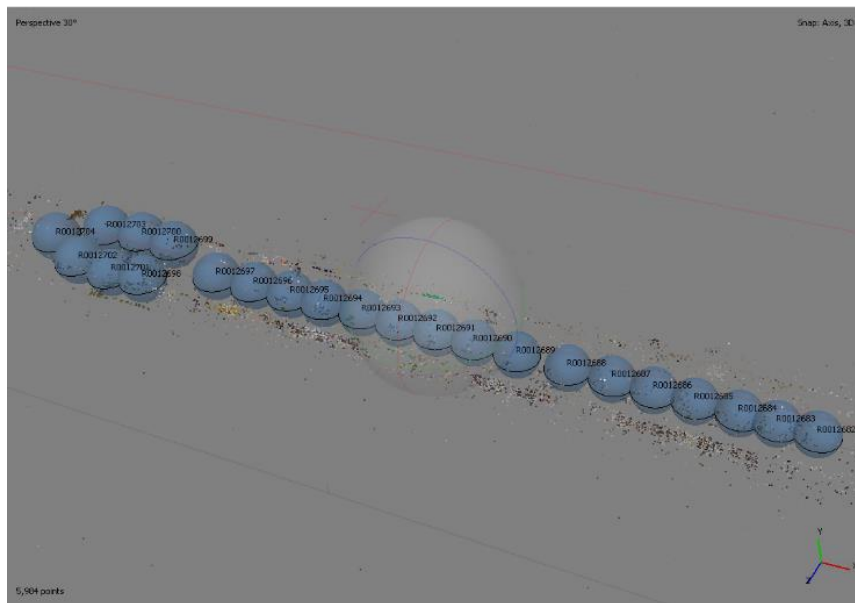
A feldolgozás több lépcsős folyamatként valósult meg, melynek a lépéseit ebben a fejezetben fogom összefoglalni. A folyamatot az Agisoft Metashape szoftverben hajtottam végre.



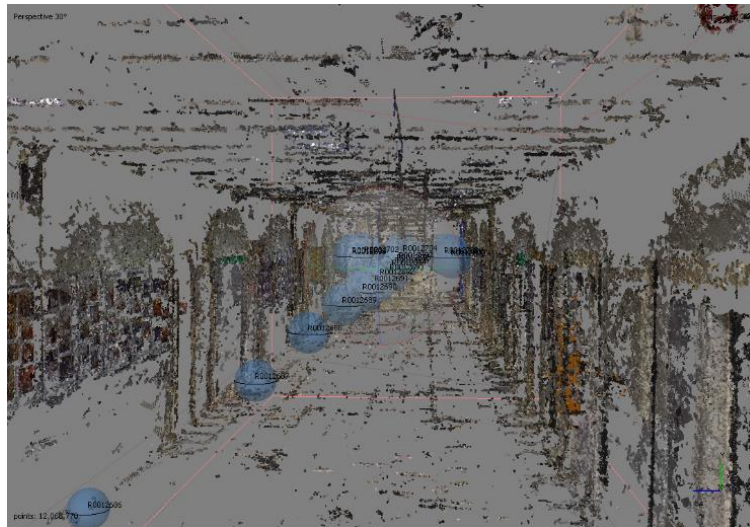
7.1.1. Képek exportálása és összekapcsolása

Az elkészített panorámaképeket a Ricoh Theta Z1 kamerából JPEG fájlformátumban exportáltam ki a feldolgozási folyamat első lépéseként.

A folyamat bővebb leírását az előző féléves kutatási témám tartalmazza. [14], [15]



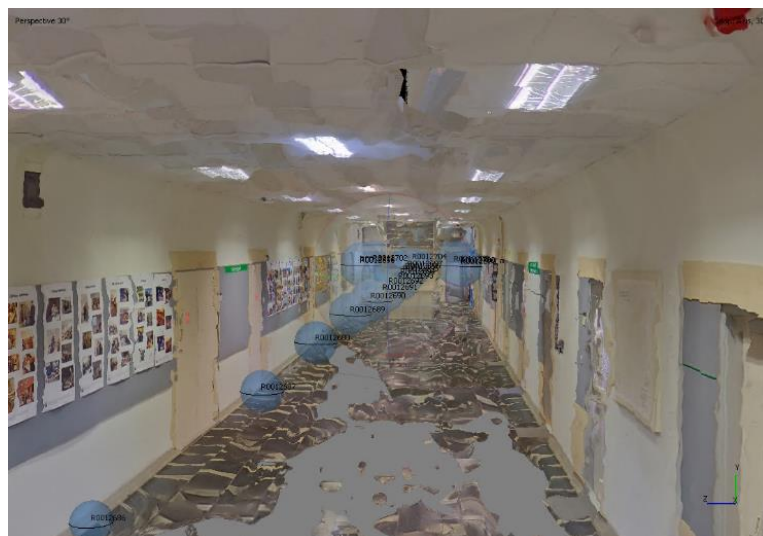
15. ábra - A képek felvételező pontjainak elhelyezkedése



16. ábra - A felmért terület pontfelhője



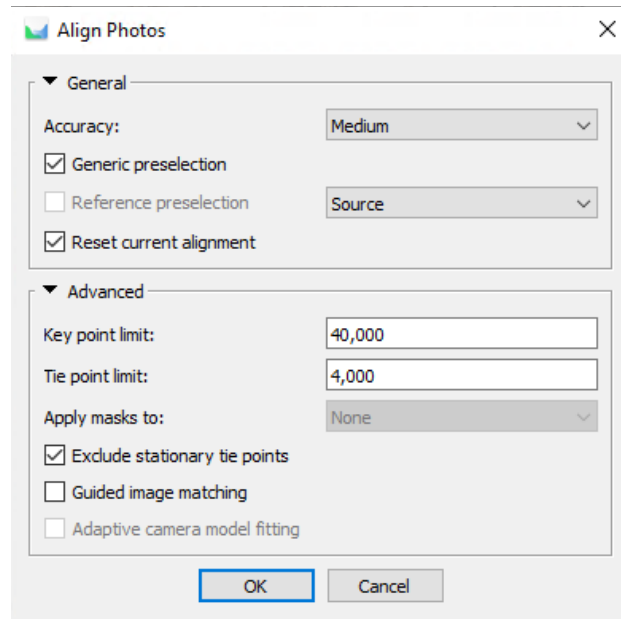
17. ábra - A felmért terület mesh modellje



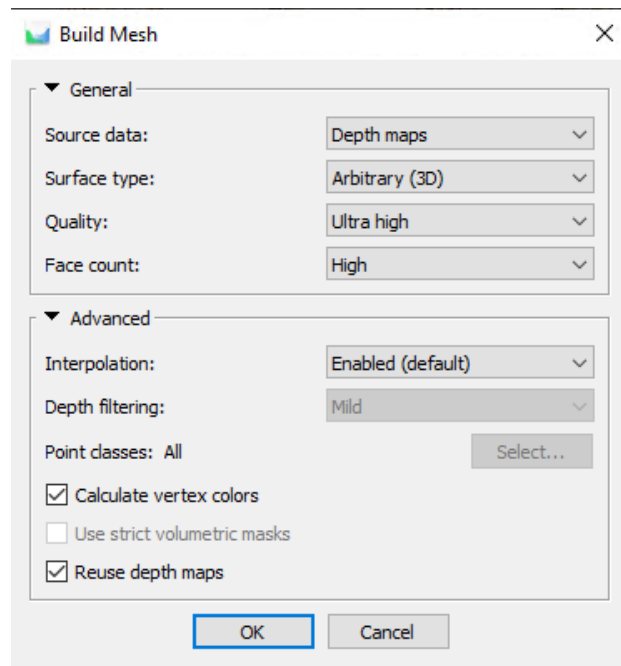
18. ábra - Tiled Modell

7.1.2. A feldolgozás során alkalmazott beállítások

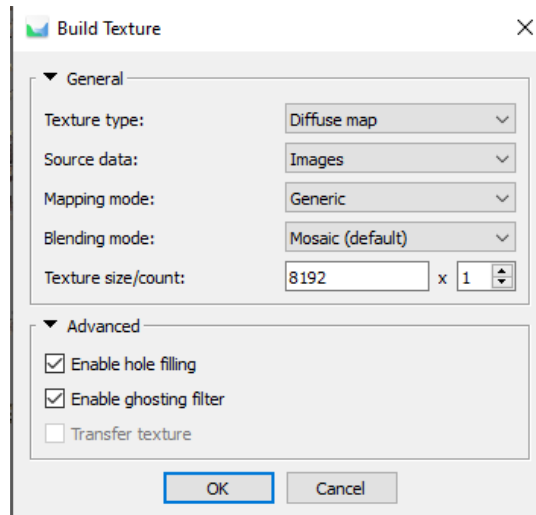
Ahhoz, hogy az előző (16., 17., 18.) ábrákon látható eredményeket kapjuk, a szoftver funkcióinak és paramétereinek megismerésén túl többször próbálgatni is kellett az egyes beállításokat, hogy melyikkel kapunk optimális eredményt. A dolgozat eredményeként kapott pontfelhőhöz az alábbi képeken látható beállításokkal jutottunk:



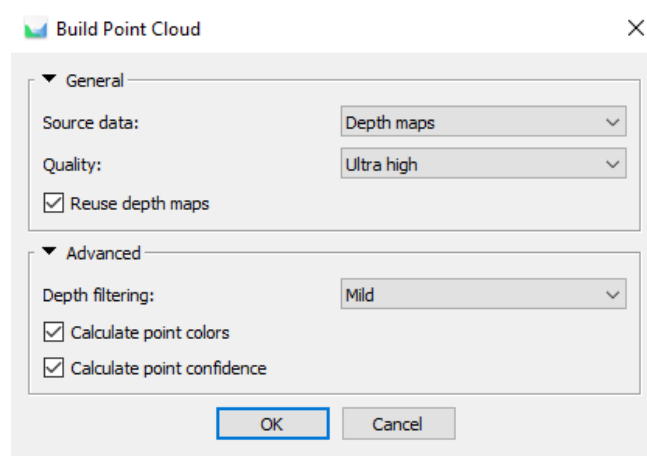
19. ábra - Az Align Photos beállításai



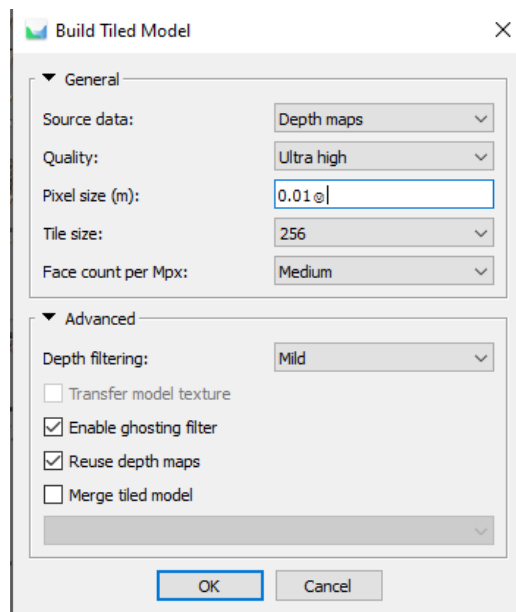
20. ábra - A Build Mesh beállításai



21. ábra - A Build Texture beállításai



22. ábra - A Build Point Cloud beállításai

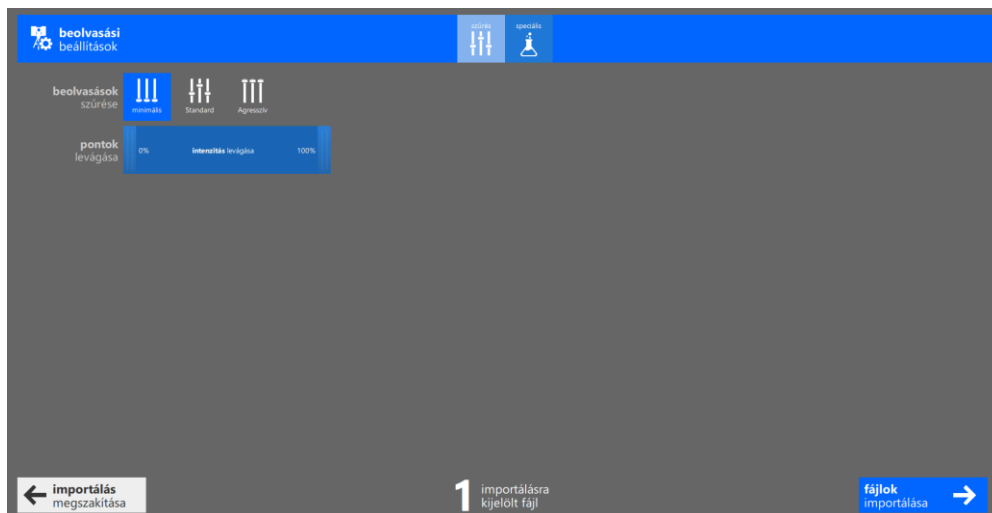


23. ábra - A Build Tiled Model beállításai

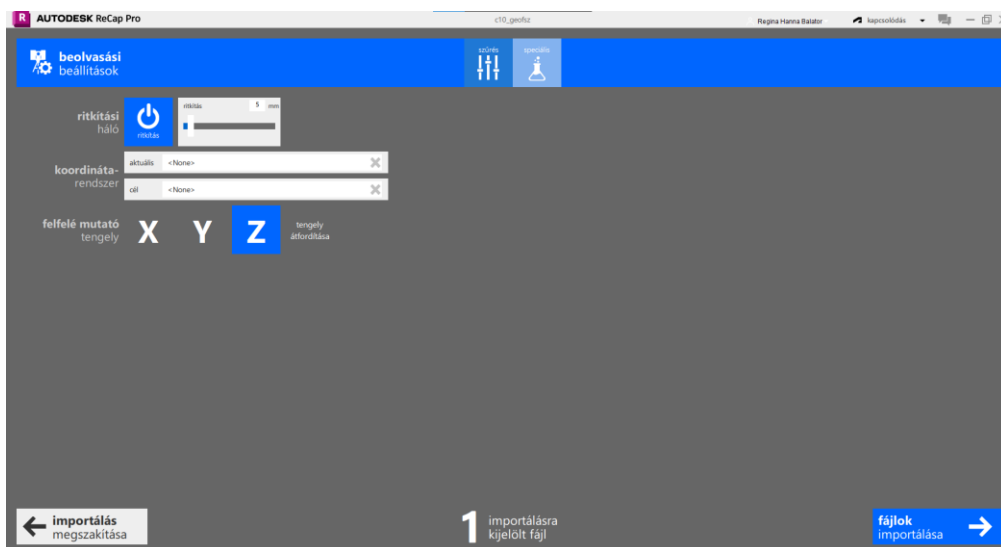
7.2. A szkennelés feldolgozása

A kinyert állomány feldolgozásához az Autodesk termékcsalád Recap Pro szoftverének oktatási verzióját használtam. Az új projekt létrehozása után a beolvasási beállítások az elsők, amelyek megjelennek, itt lehetőség nyílik a pontfelhő szűrésére, körbevágására, koordinátarendszer megadására többek közt.

A feldolgozás során nem változtattam az alapértelmezett paramétereken, illetve a beolvasások szűrését is minimálisan hagytam.



24. ábra - Projekt paraméterek beállításai



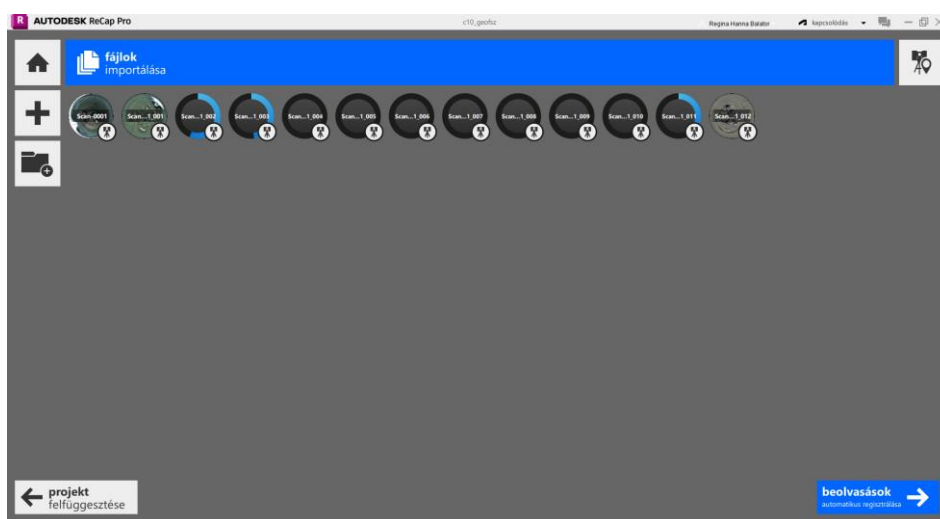
25. ábra - Ritkítási és egyéb beállítások

Először kipróbáltam a szoftver automatikus regisztrációját (relatív tájékozása az egyes álláspontoknak), mely során a program a szerinte egymáshoz kapcsolódó részeit a pontfelhőnek egymáshoz rendeli az általa használt felismerési eljárások alapján.

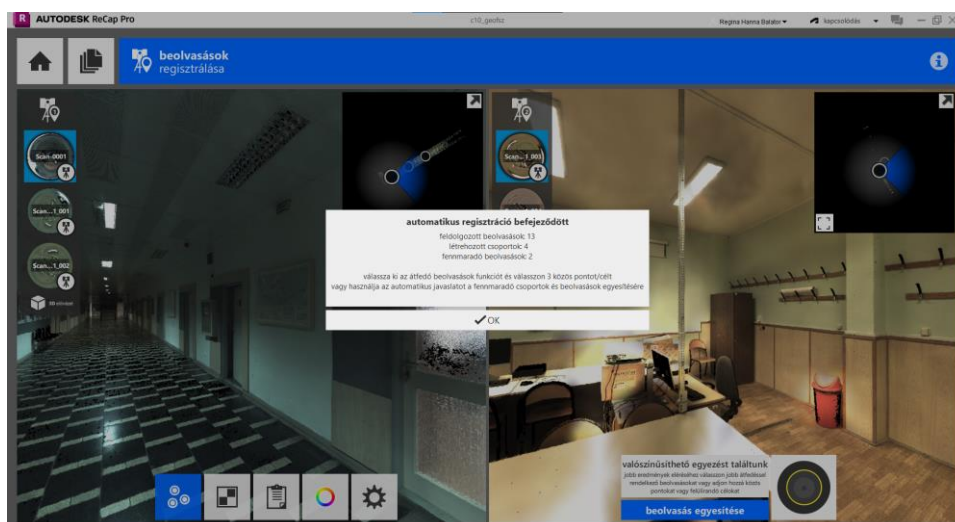
Ám ebben a helyzetben ez az opció nem bizonyult jónak, hisz a teszterület több helyen deformáltan került összeillesztésre, így ezt a projektet ezzel a lehetőséggel felfüggesztettem.

Lehetséges hibaokként gondolok a folyosó homogenitására (sakktábla szerű padlóburkolat, szabályosan ismétlődő textúrájú mennyezet) hisz a teljes hossza összehúzásra került, a helyiségek pedig befördítva kerültek elhelyezésre.

Az automata regisztráció egyébként kb. 5-10 perc alatt végig is fut, bár ez valószínűleg változó a pontfelhő méretétől, és a számítógép vagy a szerver teljesítményétől, amelyen futtatásra kerül.



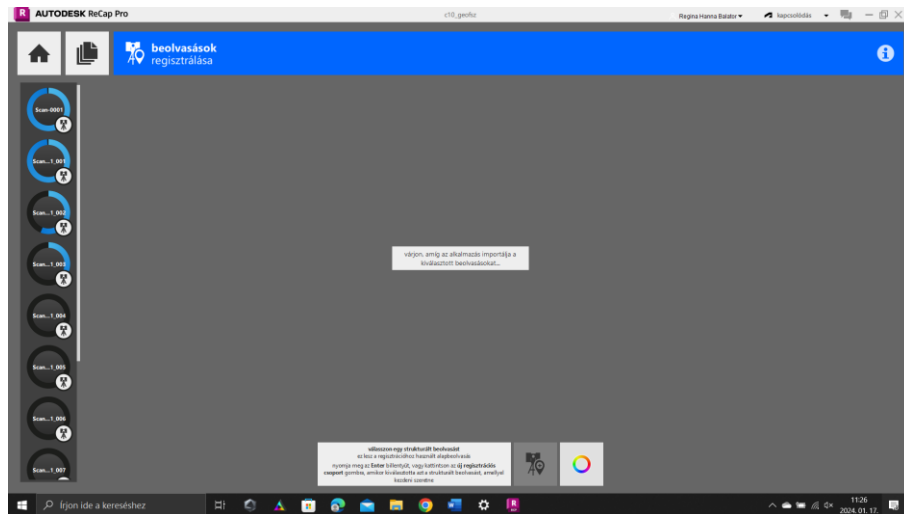
26. ábra - Álláspontok betöltése a C10-es E57 fájlból



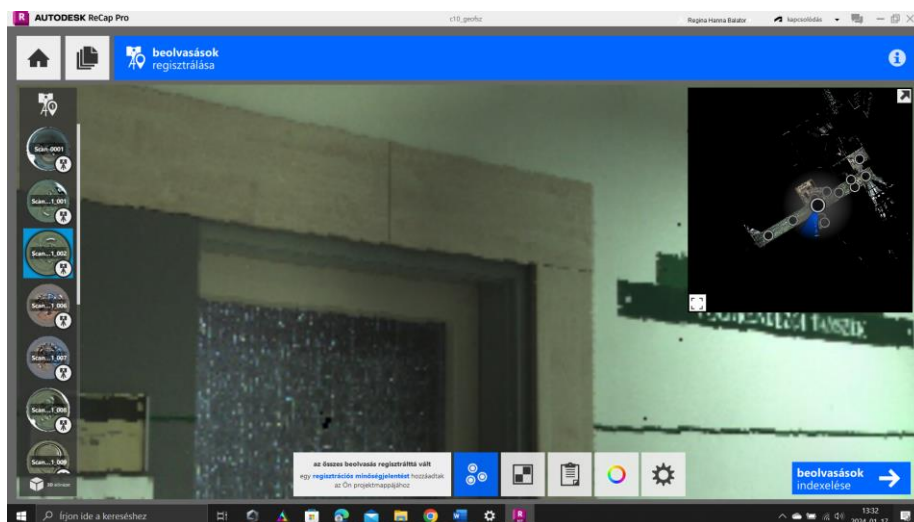
27. ábra - Az automata regisztráció végeredménye

Az automatikus regisztráció sikertelensége után új projektet létrehozva betöltés után a kézi regisztrációt alkalmaztam, mely során, ha betöltésre kerülnek az álláspontok a felhasználó manuális illeszti össze a pontfelhő különböző állásait a neki tetsző sorrendben, ehhez mindössze azonos pontokat kell kijelölni a tájékozni kívánt pontfelhőkön (3-3 db). Ez praktikus lehetőség

volt számomra, hisz két nap történt a felmérés, így nem volt mindegy, hogy mit milyen sorrendben illeszttek össze, hisz a tárcsák helyzete a folyosón változott.



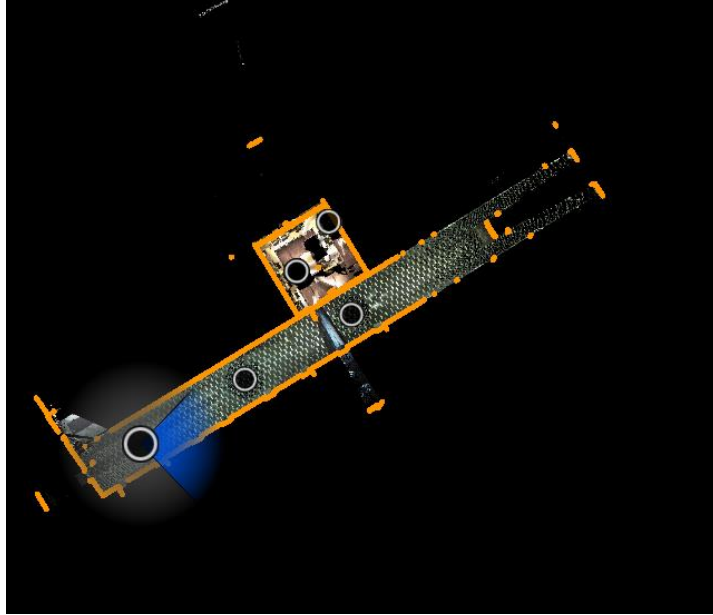
28. ábra - Álláspontok megjelenése az új projekt létrehozásánál



29. ábra - Állások előzetes elhelyezkedése az illesztés előtt

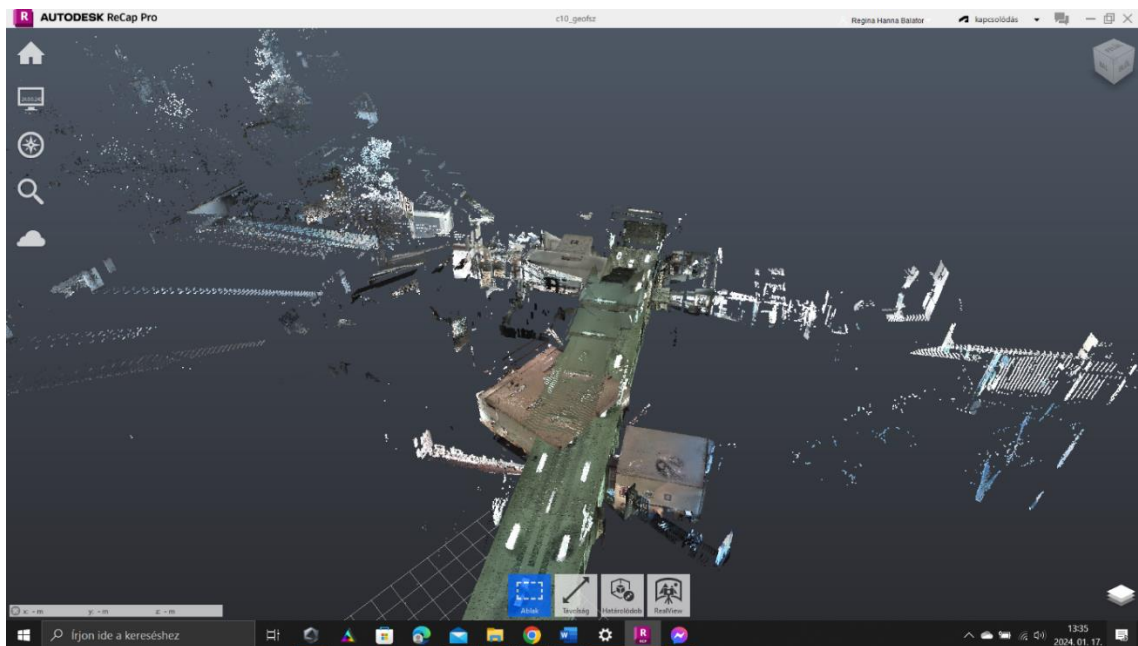
Az előzetesen megnyíló kép alapján az álláspontok elhelyezkedése már jobban tükrözte a valóságot, mint az automatikus illesztés során. Ezután manuálisan elkezdtem összeilleszteni az álláspontokat, ebben segítségemre voltak a bemért tárcsák középpontjai. Ezek hiányában jól azonosítható részletpontokat használtam, sarkok, élek találkozási stb. Azonban a szkennerek hatótávolsága miatt volt már olyan álláspont, ahol a tárcsa már túl alacsony felbontásban került csak be a pontfelhőbe, mert a beállított felbontási távolság szélére, vagy azon kívülre esett. Az ilyen esetekben, és a helyiségek folyosóhoz történő illesztéséhez volt, hogy csak 2 tárcsa képe volt jól azonosítható, ezen esetekben egy vagy két olyan pontot alkalmaztam mely jól elütött a környezetétől például az iroda ajtóknál található üvegek szélei, vagy a zöld molinók a falakon.

Két álláspont összeillesztéséhez a szoftver három pont megjelölését kéri, és segíti a felhasználót abban, hogy a kijelölt pont mennyire helyes, ha a felismerése számára nem egyezik a kijelölt rész, akkor pirosan jelzi, hogy nincs egyezés. A teljes egyezést zöldként jelöli, az esetleges egyezéseket pedig annak mértékétől függően narancssárga vagy citromsárga színnel.



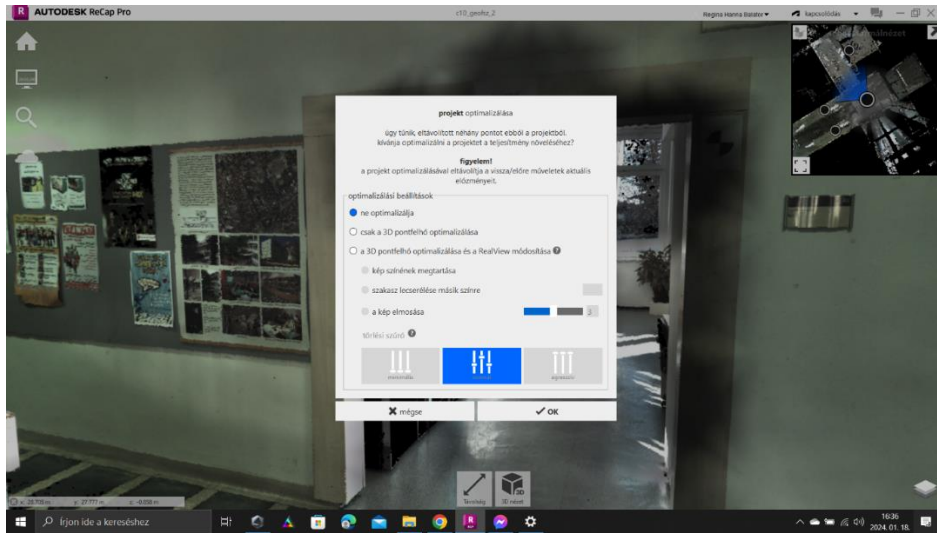
30. ábra - Kézi illesztés folyamata a C10-es szkennelésen

A kézi regisztrációs illesztést is kétszer hajtottam végre, hisz az első illesztés során nem vettem figyelembe a két nap közötti eltérést, hogy a jeltárcsák máshol helyezkedtek el, így a pontfelhőben a képen látható módon ez is elcsavarodást okozott.



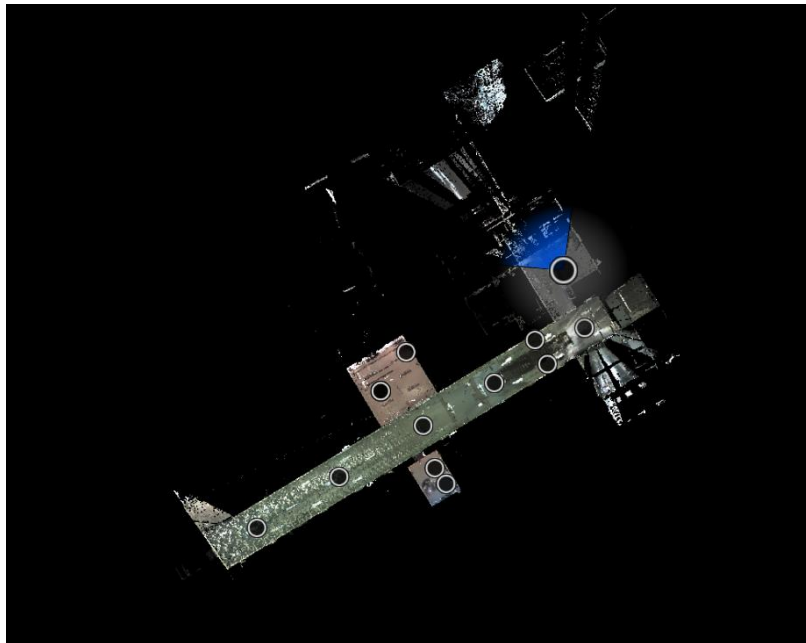
31. ábra - A deformálódott végeredmény a hiba következtében

A hiba észrevétele után az egész folyamatot előlről kezdtem ügyelve arra, hogy figyeljek arra, hogy a tárcsák bemérése helyett egy kapcsolásnál a közös pontok bemérésére összpontosítsak. Az így történő kapcsolás után a továbbiakban már a nagyobb biztonsággal és pontossággal azonosítható tárcsák felhasználását követtem. Miután újrámértem és illesztettem mindent manuálisan megjelenik a projekt optimalizálása ablak, ahol kértem, hogy a pontfelhőt ne optimalizálja.



32. ábra - A projekt optimalizálása ablak szűrési lehetőségei

A beállítások elfogadása után manuálisan tisztítottam az ablakokon kívül jelentkező zajokat, melyeket a fénytörés jelensége okoz amikor a lézeres mérőjel áthatol ablaküvegen. Így kaptam meg az alábbi képen látható pontfelhőt a tesztterületről.



33. ábra - Az eredmény pontfelhő

Tanulságok:

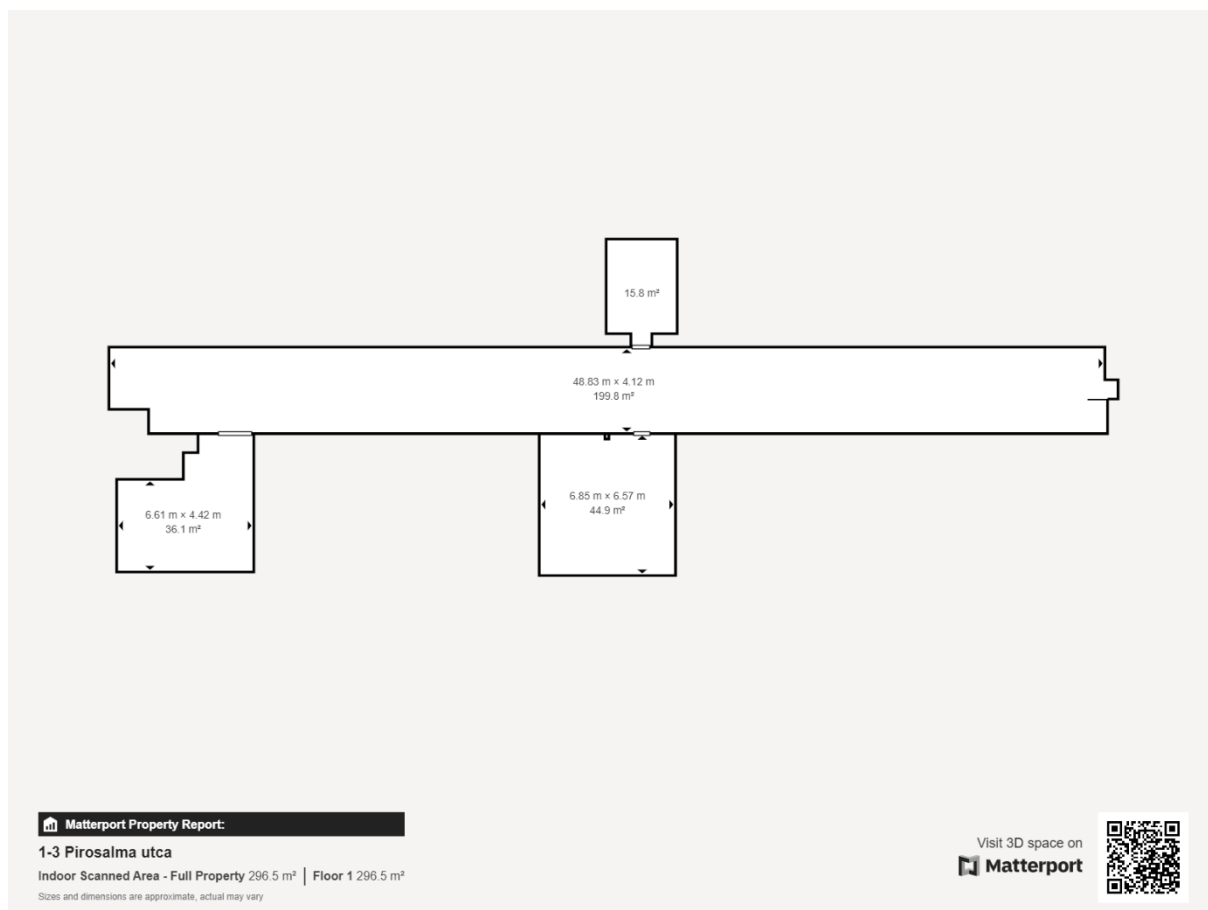
- több napon át tartó felmérés esetén mindenképp lerögzített tárcsákkal dolgoznék a könnyebb tovább haladás és illesztés érdekében
- azonos napszakokban történő felmérés esetén a fényviszonyok is egyezőbbek, erre is jobban figyelnék
- helyiségek felmérése esetén figyelnék arra is, hogy a kiválasztott helyiségek ajtajai nyitva legyenek a folyosókon történő haladás során is, mert ez is nagyban befolyásolja az illesztés
- amennyiben az idő lehetővé teszi törekednék a nagyobb átfedés alkalmazására is
- még nagyobb pontossági mutató eléréséhez geodéziailag bemérném az álláspontok és a tárcsák helyzetét is helyi hálózatot kialakítva

A kész összeillesztett pontfelhőt kb. fél perc alatt exportáltam ki e57 formátumban a későbbi elemzések végrehajtásához.

7.3. A mobilszkennelés feldolgozása

A Matterport PRO 3-mal történő felmérés eredményeként egy E57-es pontfelhő került kiexportálásra. Az eszköz hátrányaként felhozható, hogy a kiolvasás csak akkor megoldható, ha rendelkezünk a gyártónál megfelelő előfizetési csomaggal. A különböző előfizetési csomagok különböző exportálási lehetőségeket rejtenek magukban, így ezekre érdemes figyelni attól függően, hogy mi az elvárt cél a méréstől és az eszköztől.

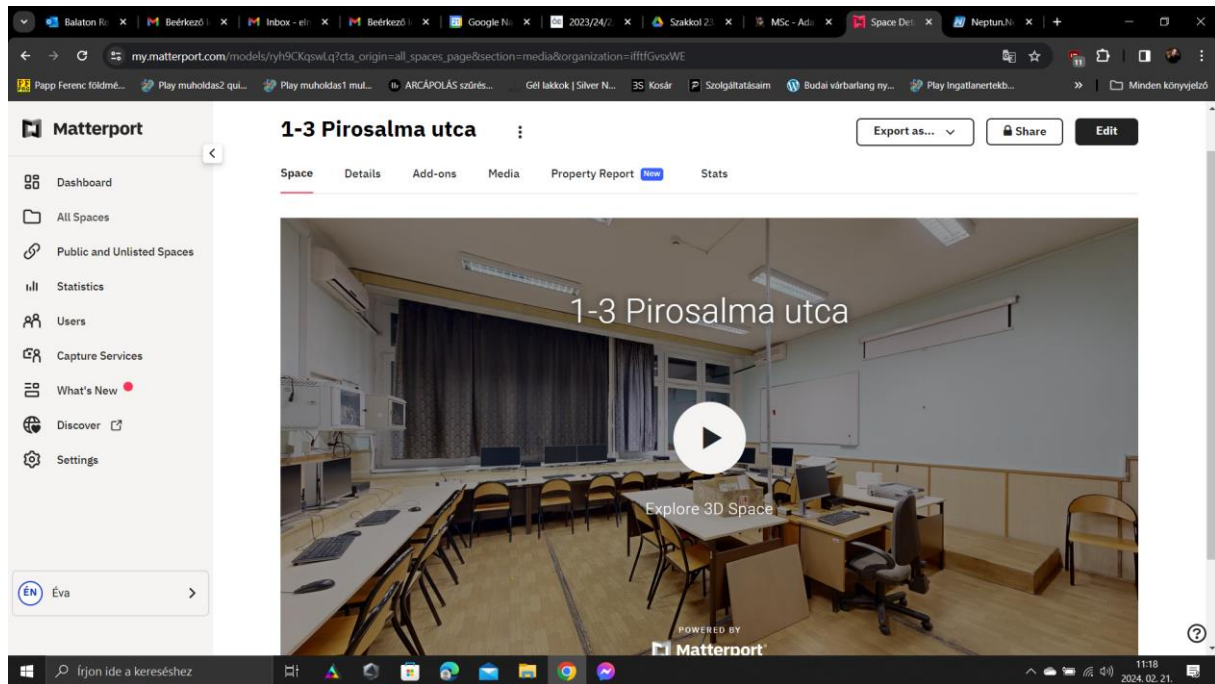
A Matterport felületen a felmérés végrehajtása után egy VR-ban bejárható modellt láthatunk a területről, amelyeken mérések is lehetségesek. Ezen kívül ingyenesen letölthető egy úgynevezett report file is, mely egy legenerált alaprajzot tartalmaz a felmért részekről és azok területéről. Lehetőség van egy rövid és egy hosszabb videó letöltésére is, amely bemutatja a helyiségeket, illetve 360-as képekére is.



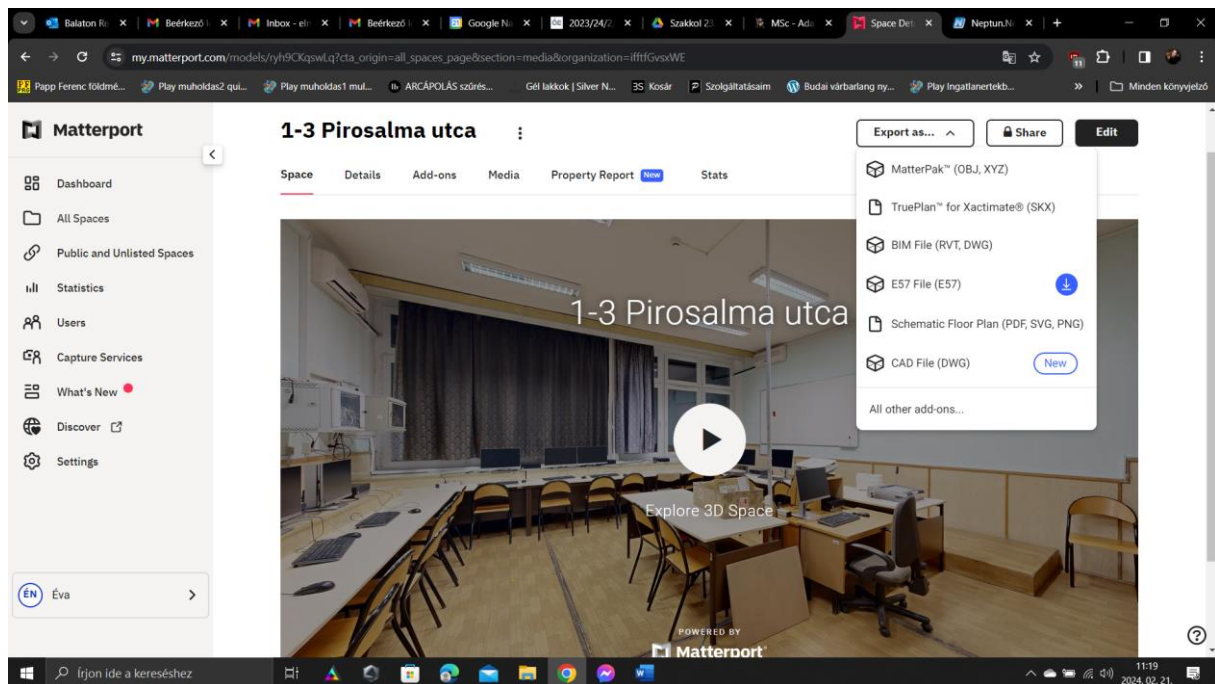
34. ábra - A tesztterület alaprajza



35. ábra - 360-as kép



36. ábra - Matterport felület



37. ábra - Exportálási lehetőségek

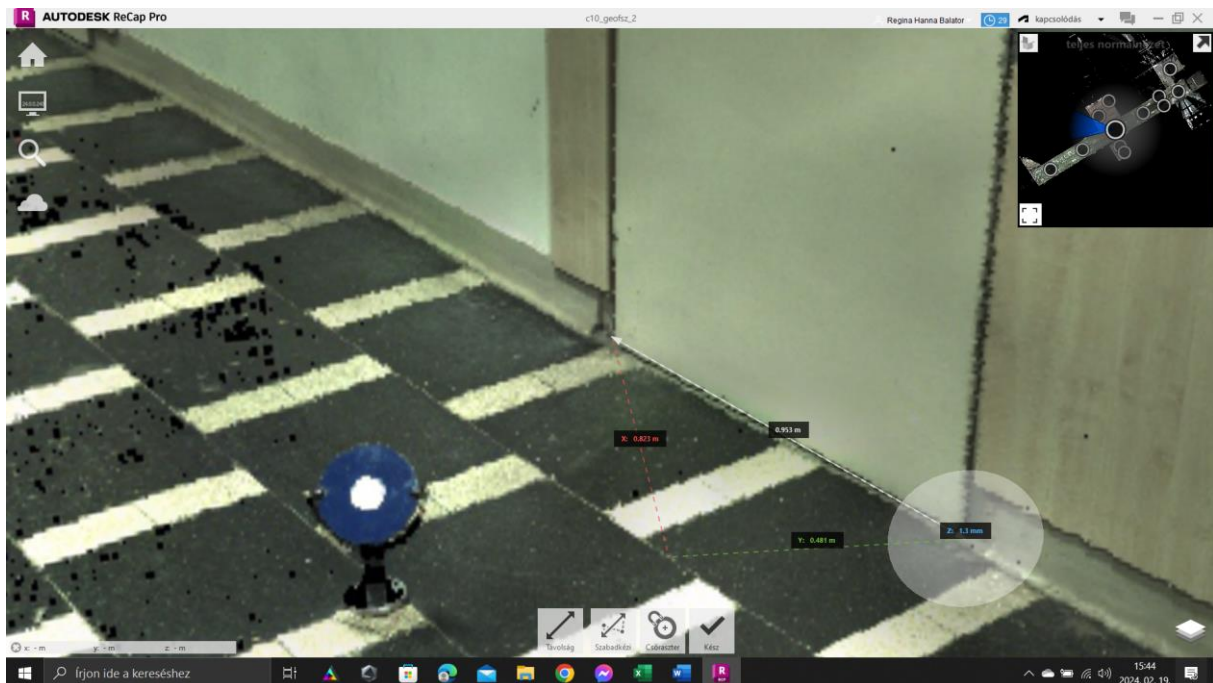
Az összehasonlítás folyamatához a méréseket a pontfelhőn a Recap szoftverkörnyezetben hajtottam végre a pontfelhőn, majd a pontfelhők összehasonlításához a CloudCompare-be került beimportálásra.

8. ÖSSZEHASONLÍTÁS, ELEMZÉS

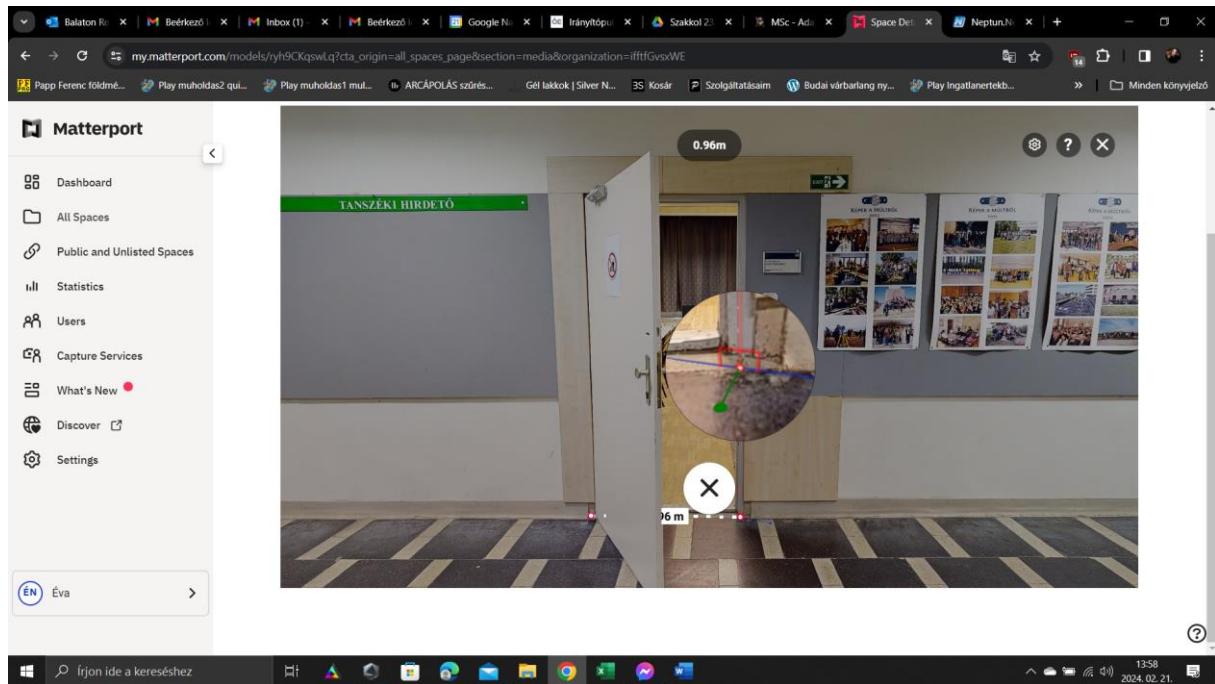
Az alábbi fejezetben szeretném elvégezni a három eszköz összehasonlítását, mint geometriai, mint pedig kompaktsági és egyéb szempontokból is az eredmények értékelésével.

	<i>Ricoh Theta Z1 360° kamera</i>	<i>Leica ScanStation C10 lézerszkennner</i>	<i>Matterport PRO 3</i>
<i>Súly</i>	~ 200 g	~ 16 kg	2,2 kg
<i>Kompaktság</i>	kompakt	nagy helyigényű	kompakt
<i>Kezelőfelület</i>	egyszerű	egyszerű	egyszerű
<i>Felmérés sebessége</i>	gyors	lassú	gyors

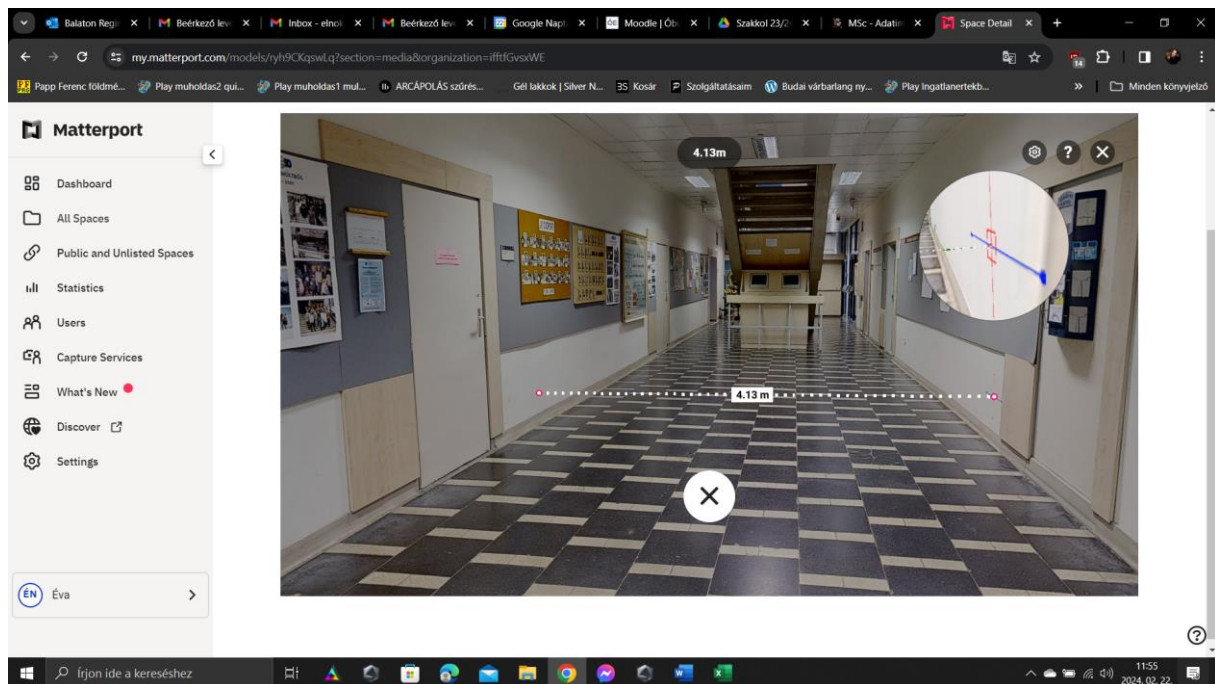
Az általános összehasonlítás után a következő táblázatban szemléltetném a pontfelhőkön történő mérések és a valóságban egy Leica Disto távmérővel történő felmérés eltéréseit. A következő képeken látható, hogy miként jelennek meg a pontfelhőkön történő mérések a különböző környezetekben, és állományokon.



38. ábra - Mérés Recapben a C10-es pontfelhőn



39. ábra - Mérés a Matterport felületen



40. ábra - A folyosó szélessége a Matterport VR felületén méréskor

A pontfelhőkön és a valóságban történő mérések összehasonlítását mutatja be a következő táblázat.

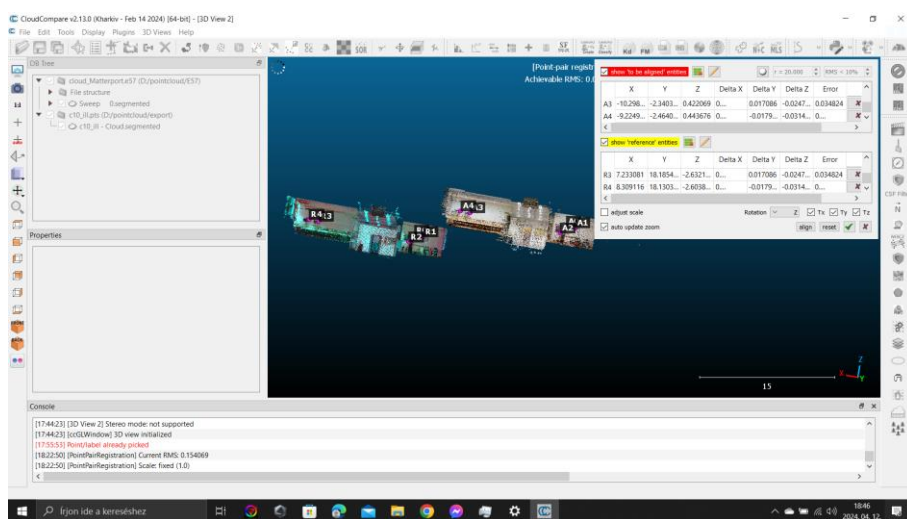
<i>Pontfelhőkön történő mérések összehasonlítása</i>										
	<i>Leica Disto</i>	<i>Ricoh Theta Z1 360° kamera</i>	<i>Eltérés</i>	<i>Leica ScanStation C10 lézerszkenner</i>	<i>Eltérés</i>	<i>Matterport PRO 3 - Recap Pontfelhő</i>	<i>Eltérés</i>	<i>Matterport PRO 3 - Weblap VR</i>	<i>Eltérés</i>	<i>Átlag eltérés</i>
<i>folyosó</i>	4.13m	4.18m	-0.05m	4.15m	-0.02m	4.13m	0.00m	4.13m	0.00m	- 0.018m
<i>folyosó</i>	47.02m	47.47m	-0.45m	47.00m	0.02m	47.08m	-0.06m	47.03m	-0.01m	- 0.125m
<i>tanterem</i>	6.85m	-	-	6.87m	-0.02m	6.83m	0.02m	6.86m	-0.01m	- 0.003m
<i>tanterem</i>	6.88m	-	-	6.86m	0.02m	6.88m	0.00m	6.87m	0.01m	0.010m
<i>tanterem</i>	6.58m	-	-	6.59m	-0.01m	6.59m	-0.01m	6.57m	0.01m	- 0.003m
<i>tanterem</i>	6.57m	-	-	6.59m	-0.02m	6.59m	-0.02m	6.57m	0.00m	- 0.013m
<i>tábla</i>	2.38m	-	-	2.38m	0.00m	2.40m	-0.02m	2.39m	-0.01m	- 0.010m
<i>tanterem</i>	0.95m	-	-	0.95m	0.00m	0.97m	-0.02m	0.95m	0.00m	- 0.007m
<i>iroda</i>	0.85m	-	-	0.89m	-0.04m	0.87m	-0.02m	0.87m	-0.02m	- 0.027m
<i>iroda</i>	0.92m	-	-	0.90m	0.02m	0.90m	0.02m	0.96m	-0.04m	0.000m
<i>iroda</i>	0.65m	-	-	0.64m	0.01m	0.68m	-0.03m	0.65m	0.00m	- 0.007m
<i>iroda</i>	0.65m	-	-	0.64m	0.01m	0.63m	0.02m	0.64m	-0.01m	0.013m
<i>iroda</i>	1.20m	-	-	1.13m	0.07m	1.21m	-0.01m	1.19m	0.01m	0.023m
<i>iroda</i>	1.23m	-	-	1.27m	-0.04m	1.23m	0.00m	1.18m	0.05m	0.003m
<i>iroda</i>	4.66m	-	-	4.70m	-0.04m	4.61m	0.05m	4.62m	0.04m	0.017m
<i>iroda</i>	3.32m	-	-	3.38m	-0.06m	3.36m	-0.04m	3.36m	-0.04m	- 0.047m
<i>folyosó</i>	2.47m	2.65m	-0.18m	2.47m	0.00m	2.47m	0.00m	2.48m	-0.01m	- 0.048m
<i>Átlag:</i>	-	-	- 0.227m	-	- 0.006m	-	- 0.007m	-	- 0.0006m	- 0.060m

A táblázat eredményeiből is látható, hogy a teszterület bővítésre került, hogy átfedőbb képet kapjunk arról, hogy a helyiségek illesztései melyik módszerrel képződnek le legátfogóbban. Ennek következtében a Ricoh Theta kamerából előállított pontfelhőn kevesebb méret került lemérésre, hisz ezen a helyiségek hiányoznak.

Egy Leica Disto távmérővel jellemző távolságokat mértem meg, majd az eredményeket összehasonlítottam a pontfelhőből lement értékekkel.

A kisebb átfedés következtében a legritkább pontfelhő a Ricoh Theta Z1 kamera képei alapján készült, így pontossága ennek a leggyengébb ebben a kivitelben, mely nagyobb átfedést biztosítva, több kép elkészültével lényegesen javítható lenne véleményem szerint.

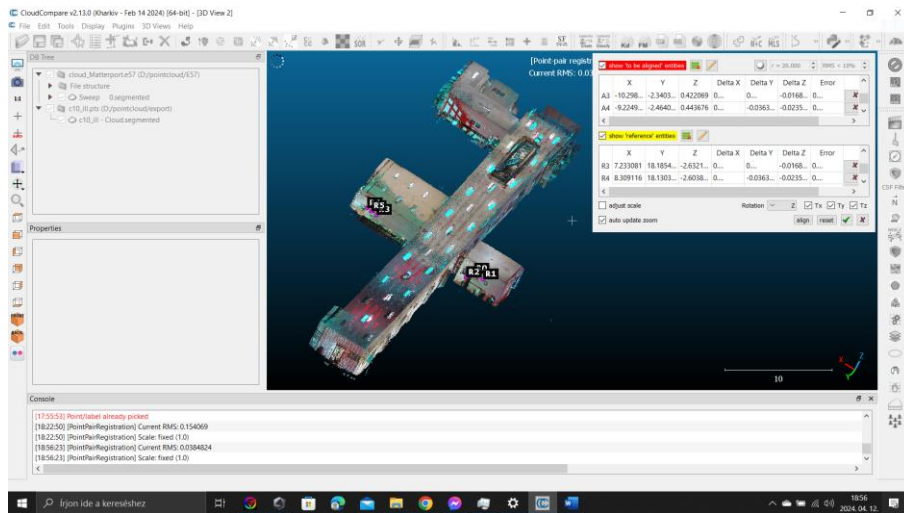
A pontfelhőkön és VR felületen történő méréseken felül a pontfelhőket a C10-es lézerszkennerek eredményéhez viszonyítva a CloudCompare szoftverkörnyezetben összetranszformáltam közös pontokkal, hogy így is szemléltethetővé váljanak az eltérések. A referenciaként kiválasztott pontfelhő így mindkét esetben a C10-es volt.



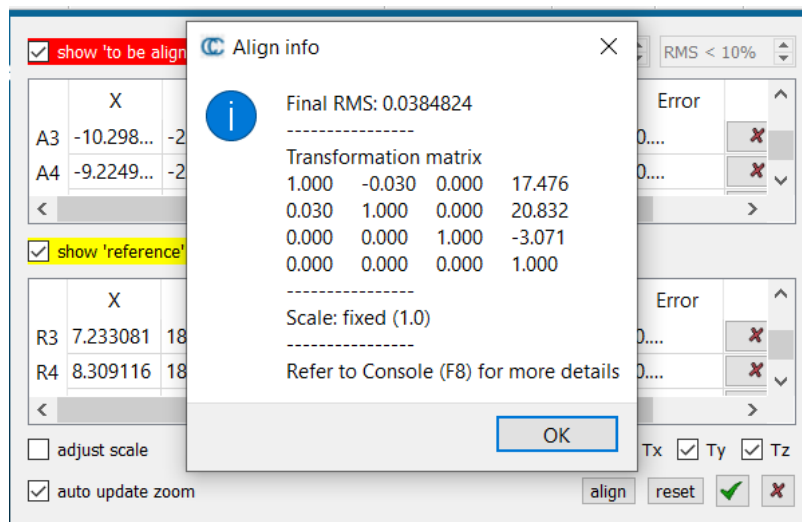
41. ábra - A Matterport és a lézerszkennerek pontfelhőinek illesztése



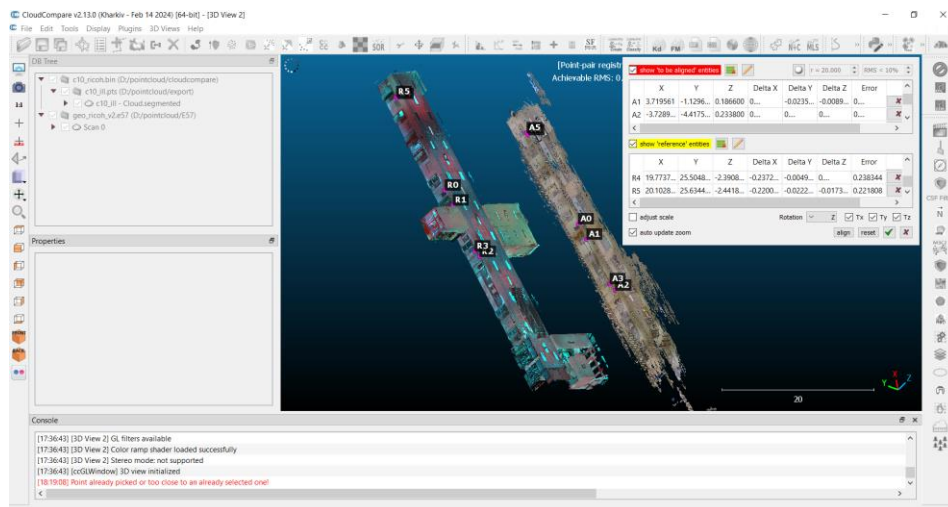
42. ábra - Közös pontok elhelyezkedése a pontfelhőkön



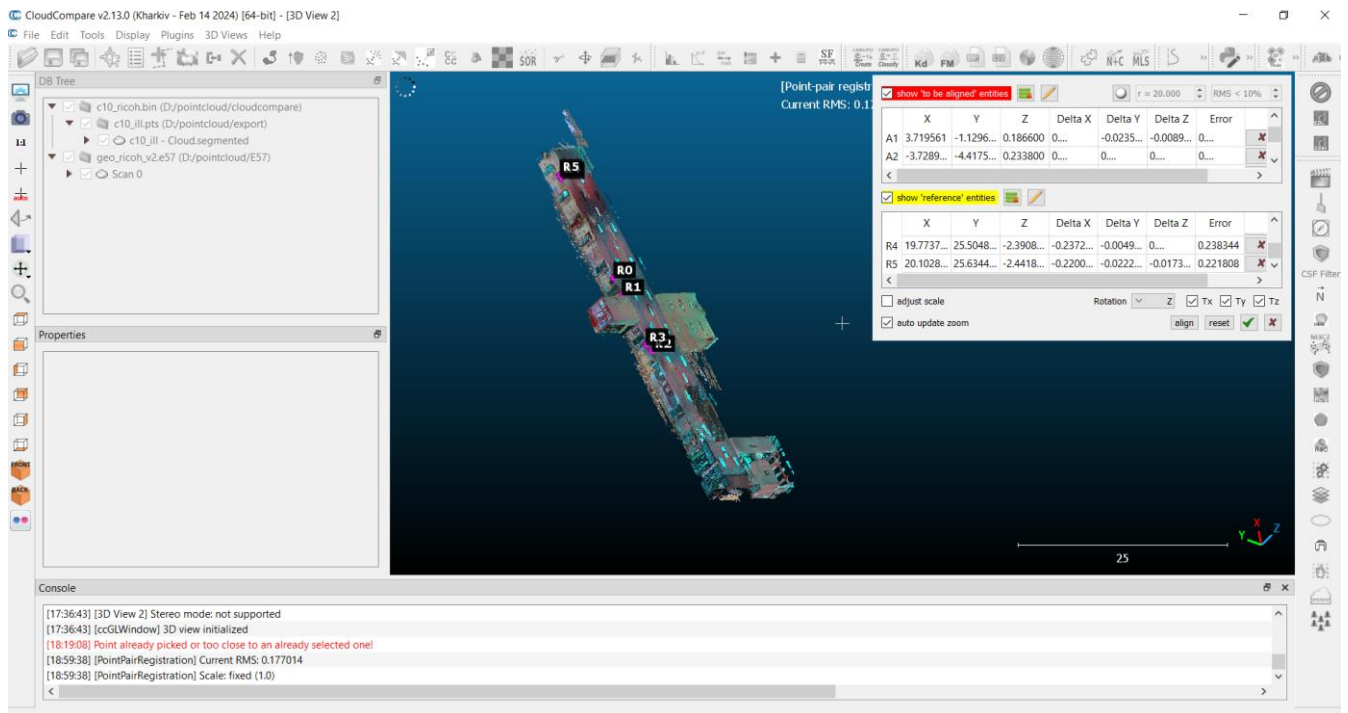
43. ábra - A transzformáció eredménye



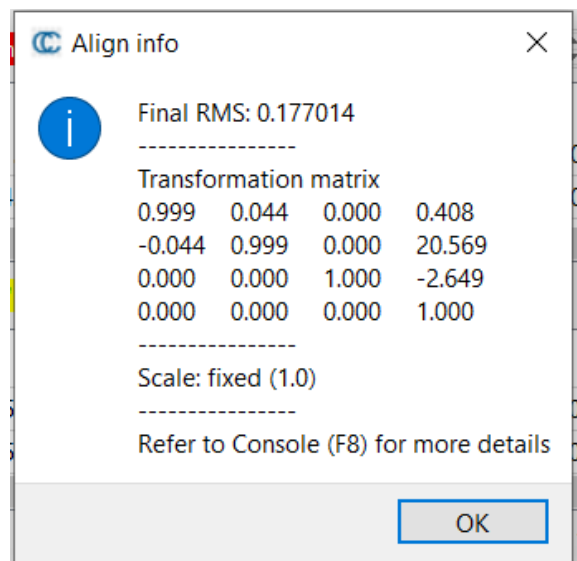
44. ábra - Transzformációs paraméterek



45. ábra - 360°-os kamera és C10-es pontfelhő egymásra transzformálása CloudCompare-ben



46. ábra - A transzformáció eredménye



47. ábra - Transzformációs mátrix

9. EREDMÉNYEK

A hetedik fejezetben ismertetett lépésekkel és beállításokkal elkészítettük a pontfelhőt.

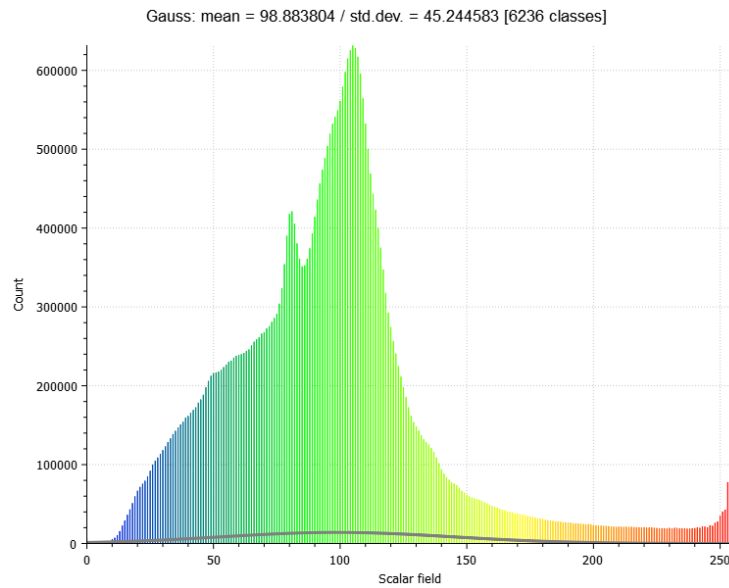
Mindenképpen pozitívum, hogy a szoftver probléma nélkül kezeli a nagy torzulású, dupla halszemoptikával felszerelt 360°-os kamerákat, illetve nem igényel az összeillesztéshez sem pontjeleket, nem manuális illesztőpontokat, sem előzetes kamera pozíciókat, így a felmérés és a feldolgozás is termelékenyen folyhat.

Az eredményekből kimutatható, hogy a mérési és a feldolgozási módszernek is akadnak hiányosságai. Elsőként az, hogy a vizuálisan homogén területekről nem lehet fotogrammetriailag pontos térbeli információkat előállítani. Az egybefüggő, egyhangú területekről, mint például a mennyezet, és a padló, sok esetben a textúra nélküli falak is a szoftver és az általa használt eljárás nem tud térbeli metszéspontokat számítani, így ezen területeken, csak akkor alakulhat ki pont, ha síkot interpolálunk ezekre a helyekre manuálisan, ám ez negatív hatást fejt ki így a pontfelhő pontosságára.

Egy további probléma még, hogy „felesleges” pontok keletkeznek olyan helyeken, ahol nem kellene létrejönniük. Ezeket a plusz visszaverődés forrásokat valószínűleg kameratorzulások okozhatják. Javításuk kalibrálással vagy kézi tisztítással orvosolható.

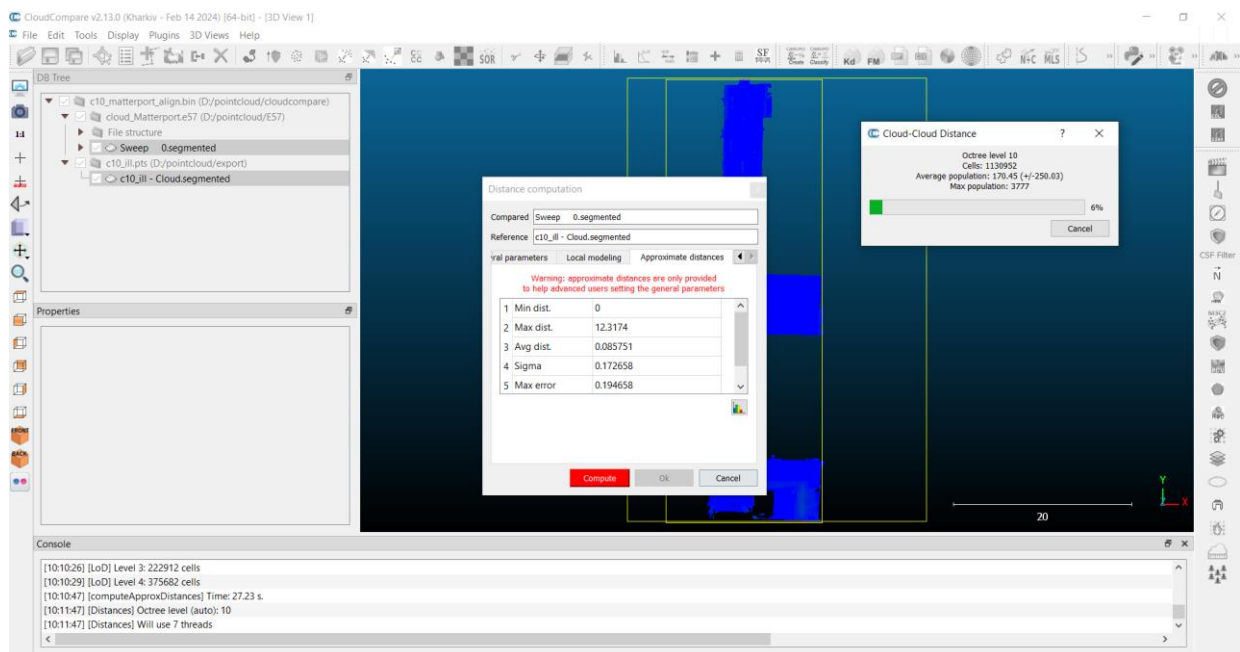


48. ábra - A padlószint alatt megjelenő zaj



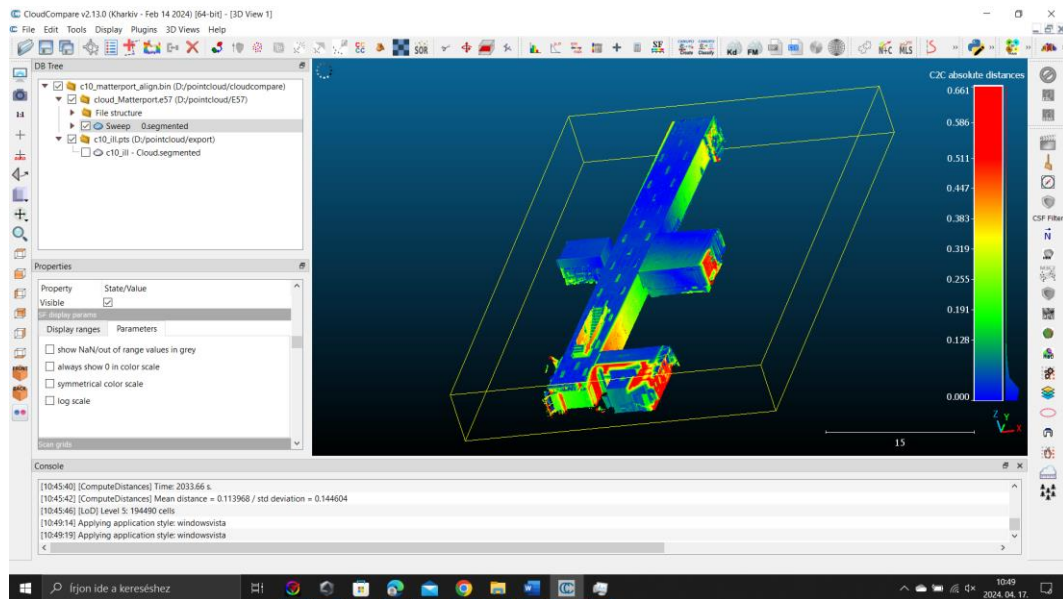
49. ábra - Matterport és C10-es pontfelhő traszformáció hibaeloszlása

A következő képek szemléltetik a két pontfelhő távolságát és eltéréseit CloudCompare szoftverkörnyezetben modellezve.



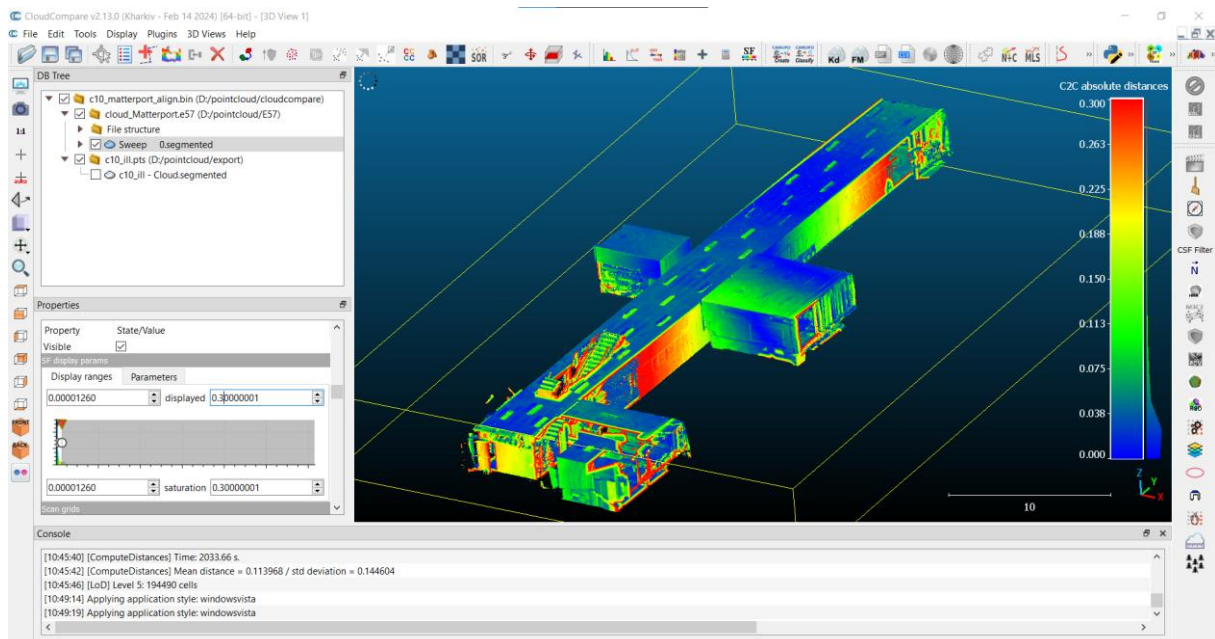
50. ábra - Cloud-Cloud távolság számítása

A következő kép mutatja be, hogy korlátozások nélkül van olyan távolság, amely elérheti a hat decimétert is, amely elég sok. Látható, hogy ezek az eltérések az üvegfelületek és a lépcső közelében hatnak a legjobban.

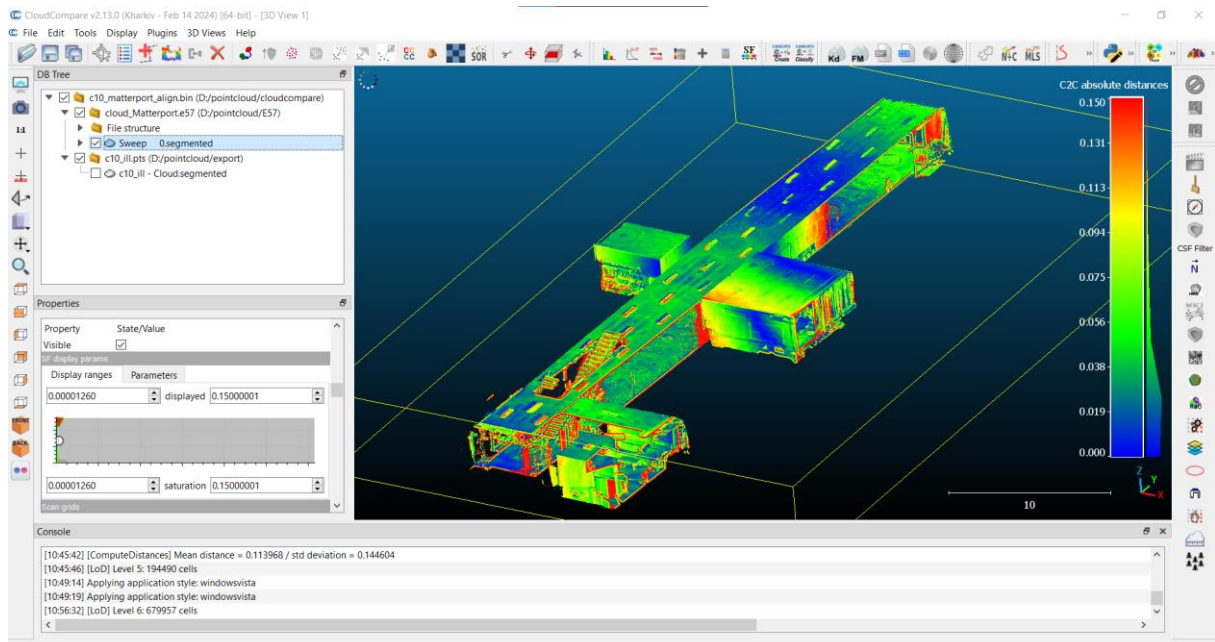


51. ábra - Pontfelhő eltérések szemléltetése

A kapott eredményt látva leszűkítettem a pontfelhő elemzését egy maximum 30 centiméteres, majd egy 15 centiméteres intervallumra.

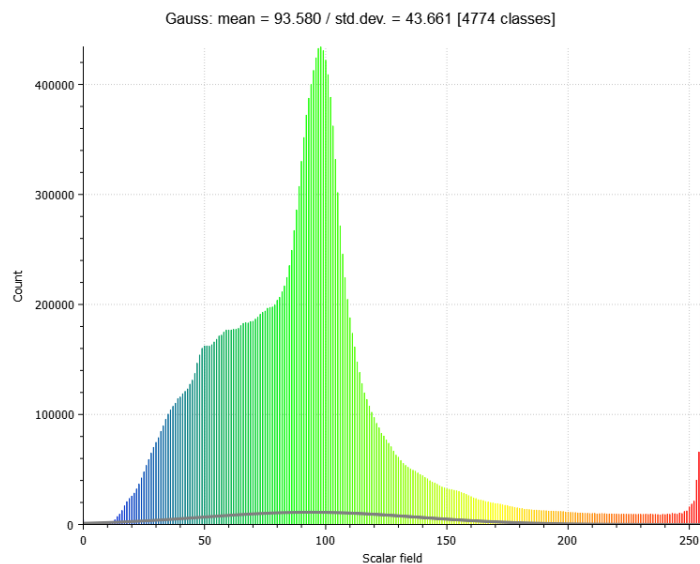


52. ábra - Maximum 30 centiméteresre szűkített szűrési eredmény

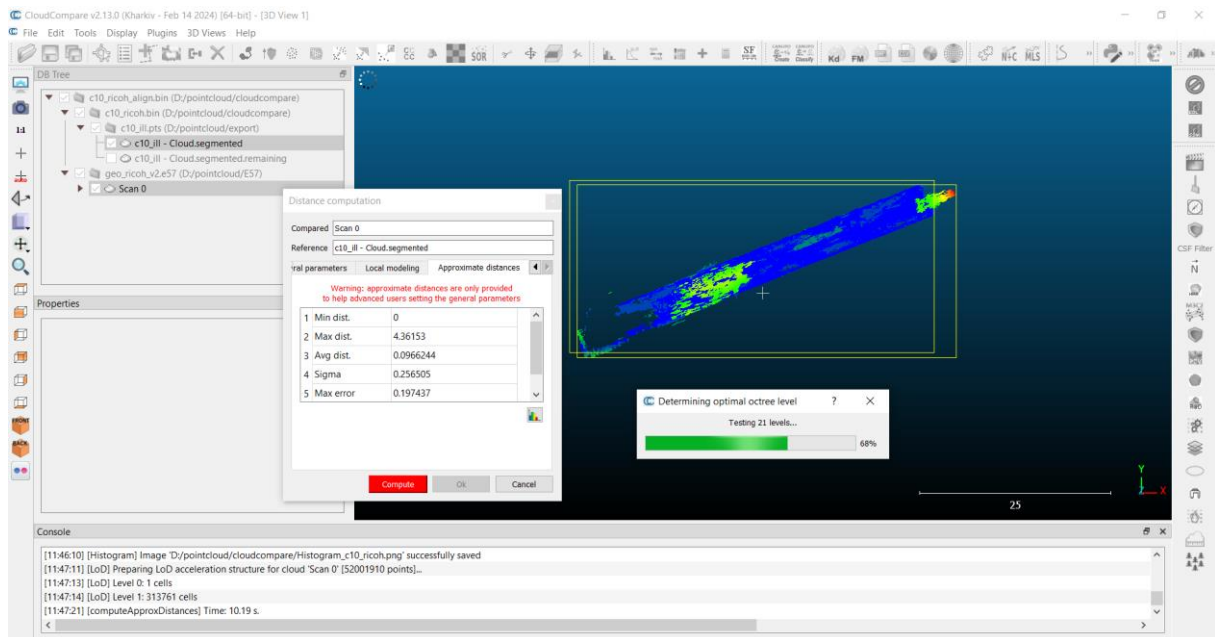


53. ábra - Maximum 15 centiméteresre szűkített szűrési eredmény

Az eredményekből jól látható, hogy a legnagyobb problémát továbbra is az üveg és a tükröződésre alkalmas felületek nyújtják a hibák eloszlásában. Ezen kívül látható az is, hogy a pontfelhők takarítása ellenére is a C10-es lézerszkennerek felhőjéhez képest a Matterport jóval több zajt generált az üvegfelületek közelébe.



54. ábra - Ricoh és C10-es pontfelhő traszformáció hibaeloszlása

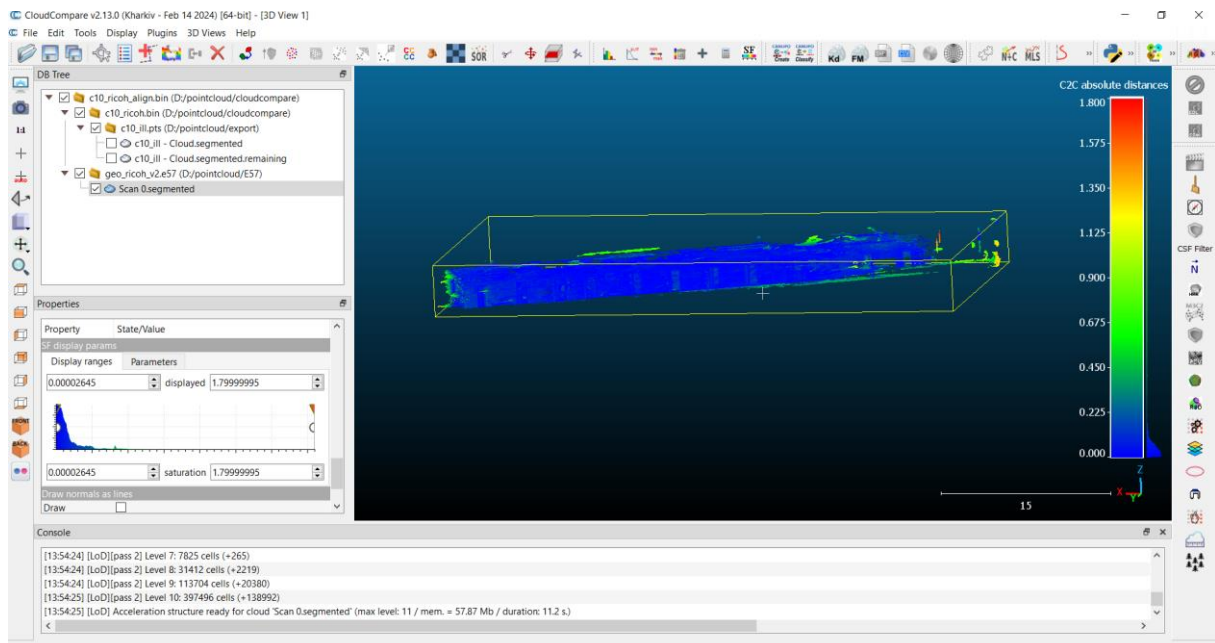


55. ábra - Cloud-Cloud távolság számítása a Ricoh és C10 felhők között

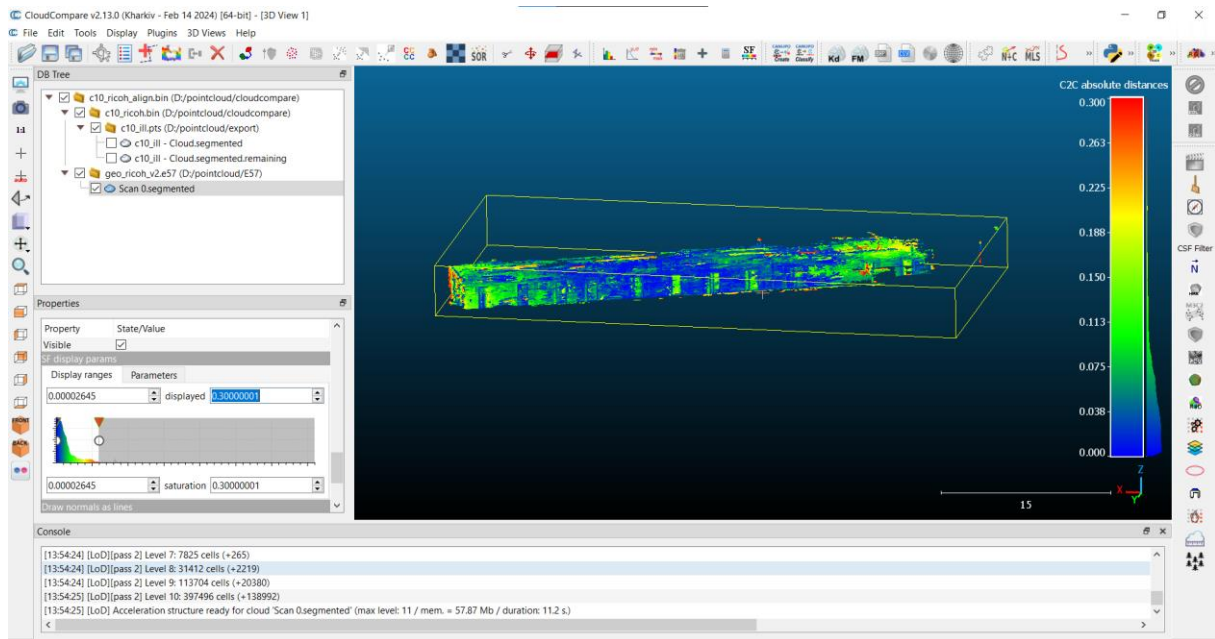
A számítás végrehajtása jelentősen gyorsabban végbement, a másik pontfelhőhöz képest, mert a 360°-os kamerából nyert pontfelhő a kevés átfedés miatt ritkább volt, mint a másik kettő.

Referenciapontfelhő ebben az esetben is a C10-es lézerszkennerek pontfelhője volt.

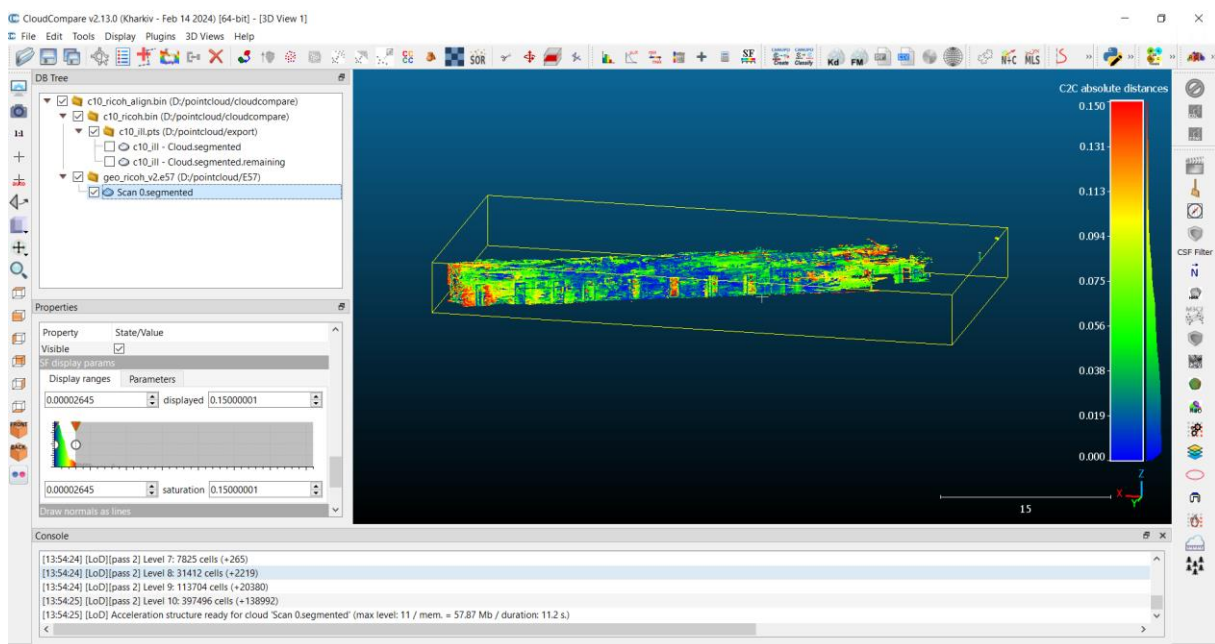
Az eredmény szűkítését ebben az esetben is elvégeztem 30 és 15 centiméterre is.



56. ábra - Eltérések szemléltetése



57. ábra - Maximum 30 centiméteresre szűkített szűrési eredmény



58. ábra - Maximum 15 centiméteresre szűkített szűrési eredmény

Az eredményből látható, hogy a pontfelhő eltérései a legritkább részek felé a legnagyobbak, amely oka lehet a nem kellő mértékű átfedés. Több képpel történő lefedés esetén valószínűleg sokkal szebb eredmény válna elérhetőbbé a nagyobb átfedés miatt.

10.ÖSSZEGZÉS

A kutatás végrehajtásának végeztével levonnék pár következtetést a projekttel kapcsolatban. Egyenetlen, inhomogén felületekről készített fényképek esetén az egész területet lefedő megfelelő sűrűségű és minőségű pontfelhőt lehet megalkotni, de átlagos környezet esetén számolni kell a kutatási területen is látható hiányzó részekkel, melyek pótlása csak manuálisan valósítható meg és a kapott végeredmény minőségén ront.

A kamera kalibrálásának végrehajtása után a kamera szélein lévő pontok pontossága javulna. Ezzel kapcsolatban az előzetes tapogatódzások alapján azt tapasztaltuk, hogy a szoftver az ilyen összetett kameráknál nem teszi lehetővé a kameraparaméterek beállítását, változtatását és a kalibrációs modulja sem támogatja az ilyen képrögzítőket. Sajnos jelentős pontosságjavulás ezen funkciók nélkül ebben a szoftverben (amelyik az egyik leginkább funkciógazdag és leginkább paraméterevezhető, ami választásunkat is erősen befolyásolta) erre nincs lehetőség.

A továbbiakban a geometriai pontosság meghatározásához szükség lenne más mérési módszerekkel való összehasonlításra. Ez jelenthet más (hagyományos, esetleg mérő-) kamerát, illetve földi lézerszkennert is. Esetleg, ha módunk lesz rá egy a kettő kombinációját adó eszközt is.

Ezen eredmények ismeretében választ kapnánk arra is, hogy milyen pontosságú a vizsgált technológia, milyen területeken alkalmazható ebben a formában, illetve gazdaságossági számítások is készülhetnének felhasználásával kapcsolatban.

A 360°-os képekből előállított pontfelhőt összehasonlítva a Matterport mobilszkenneréből és a C10-es Leica szkennerével nyerttel elmondható, hogy egyik technológia sem nyújt rossz eredményt a megfelelő átfedést biztosítva.

Az eszköz kiválasztásához legfontosabb szempontként a várt felhasználási pontosságot emelném ki, hisz más pontosságot igényel egy pontfelhő amennyiben csak egy épület bejárhatósága a szempont, ellenben egy mozgásvizsgálathoz felhasználándóéval szemben.

11.ÖSSZEFOGLALÁS

Szeretném összefoglalni röviden a kutatási témámat, és annak a menetét. A projekt ötletét egy valós megkeresés adta, melyben egy ipari területet kellett felmérni és feldolgozni háromdimenziós bemutatás céljából. Az éles munka előtt készült kutatási tesztmintaként egy próbaverzió a kapható végtermékekről, amelynek helyszíne a Geoinformatikai Intézet fölszíni folyosója volt.

A felméréshez a Ricoh Theta Z1 360°-os kamera került alkalmazásra, mely képes a panorámaképek elkészítésére, a feldolgozáshoz pedig nem a saját szoftverje, hanem az Agisoft Metashape fotogrammetriai feldolgozóprogram lett használva.

Az elméleti háttér áttekintése után a felmérés folyamata következett. A képek felvételezéséhez a kamera saját ajánlott állványa került felhasználásra. A felmérés során 23 állaspontról készültek el a panorámaképek a folyosón törekedve a megfelelő mértékű képek közötti átfedésre. A tesztjellegből adódóan az illesztésekhez jeltárcsák és pontjelek nem kerültek alkalmazásra.

A feldolgozás a már korábban említett szoftverkörnyezetben történt, ahova az elkészült panorámaképek .JPEG formátumban kerültek behívásra.

Az eredmények kettős képet adtak. Egyrészt meglepően problémamentesen sikerült feldolgozni az igen extrém, nagy torzítású, két kamera képének automatikus összefűzésével létrejött képeket, mindenféle segéd eljárás vagy terepi mérés nélkül. Másrészt viszont kamera kalibráció lehetősége nélkül a végeredményben jelentkező pontatlanságokat sem előre kiküszöbölni, sem automatizált módon kiszűrni nem tudtuk.

A kutatás folytatásaként a kapott eredmény összehasonlításra került egy C10-es lézerszkenneres felméréssel, és egy Matterport Pro 3-assal. A pontfelhők feldolgozása után az eredmények összehasonlítása is megtörtént, felhőkön történő mérés és valós világ összehasonlításával, ezen felül pedig pontfelhők illesztésével és eltéréseik kimutatásával.

Az eredmények elemzését elvégezve elmondható, hogy egyik technológia sem nyújt rossz eredményt, mindegyik rendelkezik előnyökkel és hátrányokkal egyaránt. A „megfelelő” eszköz kiválasztásához lezárásként is kiemelném, hogy mi a projekt célja, és az elvárt pontossága, mert az nagyban befolyásolja, hogy melyik a legoptimálisabb.

12.SUMMARY

I would like to briefly summarize my research topic and its progress. The idea of the project was given by a real request, in which an industrial area had to be surveyed and processed for a three-dimensional presentation. A trial version of the available final products was created as a research test sample before the live work, the location of which was the upstairs corridor of the Geoinformatics Institute.

For the survey, the Ricoh Theta Z1 360° camera was used, which is capable of creating panoramic images, and the Agisoft Metashape photogrammetry processing program was not used for the processing.

After reviewing the theoretical background, the survey process followed. The camera's own recommended tripod was used to record the images. During the survey, panoramic images were taken from 23 positions in the corridor, aiming for an adequate amount of overlap between the images. Due to the nature of the test, dials and dot marks were not used for the joints.

The processing took place in the previously mentioned software environment, where the completed panoramic images were imported in .JPEG format.

The results gave a double picture. On the one hand, it was possible to process the very extreme, highly distorted images created by automatically concatenating the images of two cameras surprisingly without any problems, without any auxiliary procedures or field measurements. On the other hand, without the possibility of camera calibration, we could neither eliminate the inaccuracies in the final result in advance nor filter them out in an automated way.

As a continuation of the research, the obtained results were compared with a C10 laser scanner survey and a Matterport Pro 3. After processing the point clouds, the results were also compared, by comparing measurements on clouds and the real world, and in addition by matching point clouds and showing their differences.

After analyzing the results, it can be said that none of the technologies provide bad results, all of them have both advantages and disadvantages. In order to choose the "right" tool, I would like to conclude by highlighting the purpose of the project and the expected accuracy, because it greatly influences which one is the most optimal.

13. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás az Új Nemzeti Kiválóság Program 2023 (ÚNKP 2023) támogatásával valósult meg. Emellett külön köszönetet szeretnék kifejezni a Pozsonyi Szlovák Műszaki Egyetem felé a felméréshez nélkülözhetetlen RICOH THETA Z1 360°-os kamera kölcsönzéséért.

A segítségért, a szakmai alapok gyors elsajátításáért pedig külön hálámat fejezném ki Erdélyi János és Honti Richárd felé.



NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL



KULTURÁLIS ÉS INNOVÁCIÓS
MINISZTERIUM

14.IRODALOMJEGYZÉK

- [1] <https://www.agisoft.com/>
- [2] <https://ricohtheta.eu/products/ricoh-theta-z1>
- [3] B. Triggs; P. McLauchlan; R. Hartley; A. Fitzgibbon (1999). "Bundle Adjustment — A Modern Synthesis" (PDF). ICCV '99: Proceedings of the International Workshop on Vision Algorithms. Springer-Verlag. pp. 298–372. doi:10.1007/3-540-44480-7_21. ISBN 3-540-67973-1.
- [4] Image and depth from a conventional camera with a coded aperture Anat Levin, Rob Fergus, Fredo Durand, William T. Freeman, MIT
- [5] Martinello, Manuel; Favaro, Paolo (2012). "Depth estimation from a video sequence with moving and deformable objects". IET Conference on Image Processing (IPR 2012) (PDF). p. 131. doi:10.1049/cp.2012.0425. ISBN 978-1-84919-632-1.
- [6] https://www.nive.hu/Downloads/Szakkepzesi_dokumentumok/Bemeneti_kompetenciak_mere_si_ertekelesi_eszkozrendszerenek_kialakitasa/20_2241_004_100915.pdf
- [7] B. Triggs; P. McLauchlan; R. Hartley; A. Fitzgibbon (1999). "Bundle Adjustment — A Modern Synthesis" (PDF). ICCV '99: Proceedings of the International Workshop on Vision Algorithms.
- [8] M.I.A. Lourakis and A.A. Argyros (2009). "SBA: A Software Package for Generic Sparse Bundle Adjustment" (PDF). ACM Transactions on Mathematical Software.
- [9] R.I. Hartley and A. Zisserman (2004). Multiple View Geometry in computer vision (2nd ed.). Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-54051-3.
- [10] <https://www.autodesk.com/products/recap/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=RECAP>
- [11] <https://www.laserscanning-europe.com/en/hardware/terrestrial-laser-scanners/leica/leica-laser-scanner>
- [12] <https://matterport.com/de/pro3>
- [13] <https://www.cloudcompare.org/presentation.html>
- [14] Balaton Regina Hanna : Fotópontfelhő előállítás 360°-os panoráma fényképek alapján
- [15] Balaton Regina Hanna; László Gergely; Tóth Zoltán : Processing 3D panoramic photos into point cloud modell

15.ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra - A felmért terület	6
2. ábra - A tanterem	7
3. ábra - Az iroda.....	7
4. ábra - Az epipoláris geometria ideális esete: Egy x 3D-s pontot két kameraképre vetítenek (zöld) vonalakon keresztül, amelyek metszik az egyes fényképezőgépek fókuszpontját (O1 és O2). Az eredményül kapott képpontok y1 és y2. A zöld vonalak x pontban metszik egymást.	12
5. ábra - A gyakorlatban az y1 és y2 képpontok nem mérhetők tetszőleges pontossággal. Ehelyett az y'1 és y'2 pontokat észleli és használja a háromszögeléshez. A megfelelő vetületi vonalak (kék) általában nem metszik egymást a 3D-s térben	12
6. ábra - RICOH THETA Z1 360° camera [2]	13
7. ábra - Leica ScanStation C10 lézerszkennner	14
8. ábra - Matterport PRO 3 [12]	15
9. ábra - Átnézet a műszerállás és a prizma elhelyezkedéséről	19
10. ábra - Felmérés folyamata egy folyosói állásponton	20
11. ábra - A tantermi álláspontok egyike.....	21
12. ábra - A kiválasztott iroda felmérése.....	21
13. ábra - A Matterport PRO 3 felmérés közben.....	22
14. ábra - Felmérés folyamata, álláspontok elhelyezkedése a folyamat során	23
15. ábra - A képek felvételező pontjainak elhelyezkedése	24
16. ábra - A felmért terület pontfelhője	25
17. ábra - A felmért terület mesh modellje.....	25
18. ábra - Tiled Modell.....	25
19. ábra - Az Align Photos beállításai	26
20. ábra - A Build Mesh beállításai	26
21. ábra - A Build Texture beállításai	27
22. ábra - A Build Point Cloud beállításai.....	27
23. ábra - A Build Tiled Model beállításai	27
24. ábra - Projekt paraméterek beállításai	28
25. ábra - Ritkítási és egyéb beállítások	28
26. ábra - Álláspontok betöltése a C10-es E57 fájlból	29
27. ábra - Az automata regisztráció végeredménye.....	29
28. ábra - Álláspontok megjelenése az új projekt létrehozásánál	30
29. ábra - Állások előzetes elhelyezkedése az illesztés előtt.....	30
30. ábra - Kézi illesztés folyamata a C10-es szkennelésen	31
31. ábra - A deformálódott végeredmény a hiba következtében	31
32. ábra - A projekt optimalizálása ablak szűrési lehetőségei	32
33. ábra - Az eredmény pontfelhő	32
34. ábra - A tesztterület alaprajza	34
35. ábra - 360-as kép	34
36. ábra - Matterport felület	35
37. ábra - Exportálási lehetőségek.....	35
38. ábra - Mérés Recapben a C10-es pontfelhőn.....	36
39. ábra - Mérés a Matterport felületen	37
40. ábra - A folyosó szélessége a Matterport VR felületén méréskor	37
41. ábra - A Matterport és a lézerszkennner pontfelhőinek illesztése	39

42. ábra - Közös pontok elhelyezkedése a pontfelhőkön	39
43. ábra - A transzformáció eredménye	40
44. ábra - Transzformációs paraméterek	40
45. ábra - 360°-os kamera és C10-es pontfelhő egymásra transzformálása CloudCompare-ben.....	40
46. ábra - A transzformáció eredménye	41
47. ábra - Transzformációs mátrix.....	41
48. ábra - A padlószint alatt megjelenő zaj	42
49. ábra - Matterport és C10-es pontfelhő transzformáció hibaeloszlása.....	43
50. ábra - Cloud-Cloud távolság számítása	43
51. ábra - Pontfelhő eltérések szemléltetése	44
52. ábra - Maximum 30 centiméteresre szűkített szűrési eredmény.....	44
53. ábra - Maximum 15 centiméteresre szűkített szűrési eredmény.....	45
54. ábra - Ricoh és C10-es pontfelhő transzformáció hibaeloszlása	45
55. ábra - Cloud-Cloud távolság számítása a Ricoh és C10 felhők között.....	46
56. ábra - Eltérések szemléltetése.....	46
57. ábra - Maximum 30 centiméteresre szűkített szűrési eredmény.....	47
58. ábra - Maximum 15 centiméteresre szűkített szűrési eredmény.....	47