



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT

Mobiltelefonos LiDAR-szkenner

OE-AMK
2021.

Hallgató neve:
Hallgató törzskönyvi száma:

Kis Gergő
T000423/FI12904/A-G

ÓBUDAI EGYETEM ALBA REGIA MŰSZAKI KAR
Geoinformatikai Intézet

„Mobiltelefonos LiDAR-szkenner”
(LiDAR in smartphone)

S Z A K D O L G O Z A T
Földmérő és földrendező mérnök alapszak

Készítette:
Kis Gergő
földmérő és földrendező mérnök szakos hallgató

Székesfehérvár, 2021.



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Kis Gergő

Szakedolgozat száma: SZD21051213522657

Törzskönyvi száma: T000423/FI12904/A-G

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: Duális képzés BSc
földmérő és földrendező mérnök

Specializáció: Geoinformatika specializáció

A dolgozat címe: Mobiltelefonos LiDAR-szkenner

A dolgozat címe angolul: LiDAR in smartphone

A feladat részletezése:

Tanulmányozza a mobiltelefonba épített LiDAR eszközöket azok dokumentációja és személyesen végzett tesztmérések segítségével. A vizsgálat az eszköz mellett az azt kezelő alkalmazásra is térjen ki.

Vizsgálja meg a mobiltelefonba épített lézerszkenner pontosságát földi lézerszkenneres mérésekkel összehasonlítva.

Elemesse a mobiltelefonba épített lézerszkenner és a földi lézerszkenner együttes használatának lehetőségét egy gyakorlati példán keresztül.

Intézményi konzulens neve: Nagy Gábor József

A kiadott téma elévülési határideje: 2023. december 15.

Beadási határidő: 2021. 12. 15.

A szakedolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2021. 10. 28.



[Handwritten signature]

Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

[Handwritten signature]

belső konzulens

külső konzulens



HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott szigorló hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat/diplomamunka saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem.

Egyéb jelentős segítséget nem vettem igénybe.

Az elkészült szakdolgozatban/diplomamunkában található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Kelt: 2021.12.09.



.....
hallgató aláírása

1 TARTALOMJEGYZÉK

1	Tartalomjegyzék.....	5
2	Bevezetés	7
3	Elméleti háttér	8
3.1	Távérzékelés.....	8
3.2	Lézer alapú távérzékelés(LiDAR).....	10
3.3	A lézerszkennerek típusai	11
4	Mobiltelefonos távérzékelés.....	14
4.1	Iphone 12 Pro Max (LiDAR-képes mobiltelefon)	14
4.2	Fontosabb specifikációi:.....	14
4.3	LiDAR a mobiltelefonokban.....	15
4.4	Működése:	18
4.5	Funkciói a mobiltelefonokban:	19
5	3d Scanner App.....	22
6	Leica ScanStation C10	24
6.1	Cégtörténet	24
6.2	Technikai adatok:	24
7	Mérés a Leica C10-essel	28
7.1	Első álláspont	28
7.2	Második álláspont	30
7.3	Harmadik álláspont	31
8	Mérés a telefonnal	33
9	Adatok kiolvasása	36
10	CloudCompare	38
10.1	Scalar Field - Skáláris mező/érték.....	41
10.2	Ambient Occlusion.....	42

10.3	Measurements and Point Picking.....	42
10.4	Editing Tools- segmentation, deleting, merging, scaling.....	43
10.5	Registration- Transformation tools, Point picking.....	43
11	Feldolgozás	44
11.1	Összehasonlítás: folyosó - mosdók ajtajai	46
11.2	Összehasonlítás: folyosó - teljes keresztmetszet.....	48
11.3	Összehasonlítás: tanácsterem	49
11.4	Összehasonlítás: folyosó - konyhába vezető ajtó fala	52
11.5	Összesítés:	53
11.6	Különbségek az 5, illetve 10 miliméteres felbontással készült modellek között	54
11.7	Szkennelési sebesség összehasonlítása (Pont bemérés + fényképezés együttevén)....	54
12	Földi lézerszkenneres mérés kiegészítése mobiltelefonos lézerszkennerral	55
12.1	Ipari pontosságú pontfelhő kiegészítése mobiltelefonos lézerszkennerral (helyiségek) 55	
12.2	Ipari pontosságú pontfelhő kiegészítése mobiltelefonos lézerszkennerral (kisebb modellek).....	58
12.2.1	Tanácsterem	58
12.2.2	Műszerláda	59
12.2.3	LIDAR3D PTE. LTD.....	60
13	Összegzés, konklúzió	62
14	Abstract	64
15	Végző.....	65
16	Köszönetnyilvánítás	66
17	Irodalomjegyzék.....	67

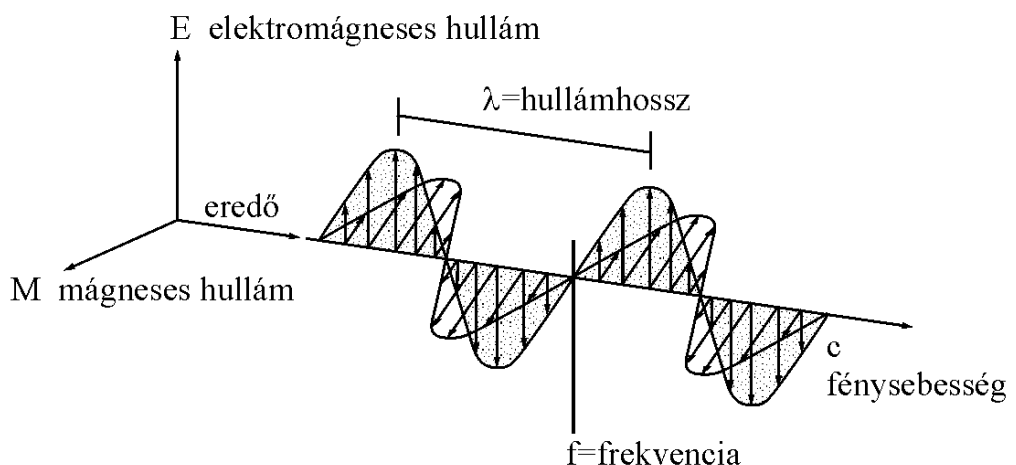
2 BEVEZETÉS

Dolgozatomban a robbanásszerűen fejlődő mobiltelefonokban elérhetővé vált távérzékelési lehetőségeket ismertetem, melyek közül az Iphone által használt LiDAR-szkenner képességeit összevetem egy geodéziai lézerszkennerrével. Ezen kívül alternatív használati lehetőségének módjai után kutatok, mint földmérő. Az összehasonlításhoz egy Iphone 12 Pro Max készüléket használtam. A referencia állományokat pedig egy földi lézerszkennerrrel készítettem, amely egy Leica C10 ScanStation volt. A mintaterület az Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Karának Geoinformatikai Intézetének földszinti folyosója, valamint néhány ezzel szomszédos helyiség(tanácsterem; lejáró a konyhához; belső udvarra vezető kijárat; lépcső által kitakart folyosó vége).

3 ELMÉLETI HÁTTÉR

3.1 Távérzékelés

A távérzékelés az a tudományág, amely segítségével információt nyerünk egy tárgyról, vagy objektumról a kibocsátott és/vagy visszavert sugárzás mérésével. A távérzékelésnek két fő típusát különböztetjük meg: **aktív** és **passzív**. Aktív távérzékelésről beszélünk abban az esetben, amikor az érzékelt (reflektált) sugárzást mi magunk bocsátjuk ki (ilyen a lézer alapú távérzékelés), és passzívnak amikor kizárólag észleljük és feldolgozzuk a műszerbe érkező sugarakat (például a visszavert napsugárzást). Ezek a sugarak lehetnek természetes, vagy pedig **mesterséges** energiaforrások. Mesterséges energiaforrásos megoldás például a lézersugárzást használó LiDAR-technológia, valamint a rádióhullámokat alkalmazó RADAR-technológia. Első számú természetes energiaforrásunk a Nap, ezen kívül képesek vagyunk érzékelni a földfelszín által kibocsátott sugárzást is. Ezek az elektromágneses energiák, akár a természetes, vagy mesterséges sugárzást vesszük figyelembe, három összetevőből állnak: a hullámhossz, a sebesség, valamint a frekvencia.

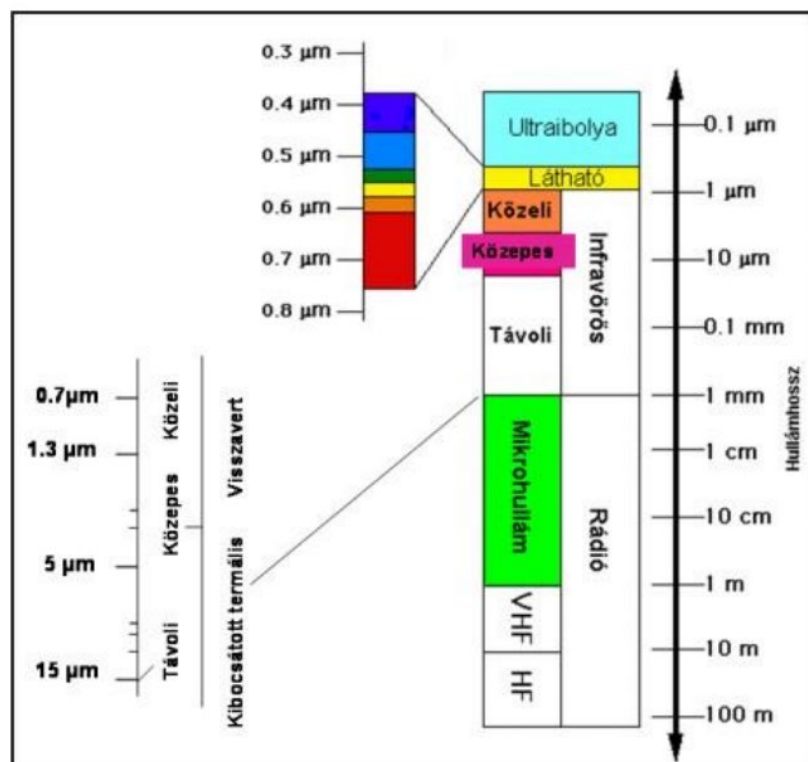


1. ábra: Az elektromágneses hullám összetevői

Forrás: <http://www.geo.u-szeged.hu/~laci/ab-RS-jegyzet/ch01s02.html>

Az elektromágneses sugárzásokat általában a hullámhosszaik alapján szokás kategorizálni. A távérzékeléshez használt spektrális tartományok közé tartozik a látható fény tartománya (VIS - Visible), mely hullámhossza 0,4-0,7 mikron közötti, ide tartoznak az emberi szemmel érzékelhető színek, a vörös, a zöld és a kék. Használhatjuk még az infravörös tartományt (IR - Infrared), melynek három alkategóriája van: a közeli (NIR – Near-Infrared), közepes (MIR – Mid-Infrared), távoli infravörös (FIR – Far-Infrared) sugárzás. A közeli infravörös tartományban érzékelhető a felszín által reflektált napsugárzás, a 0,7-1,3-ig (mikron) tartó hullámhossz spektrumában. A közepes infravörösben szintén a napsugárzás van előtérben, viszont a napmentes órákban, már érzékelhető a felszín sugárzása, ez a tartomány 1,3 és 3 mikron közé esik. A harmadik kategória a távoli infravörös, melynél a 3-5 mikron közötti tartományban még jelentős a visszavert sugárzás is, viszont ez megváltozik a 7 és 15 közötti mikron hullámhossznál, ahol a kisugárzás kerül előtérbe a reflektált sugárzással szemben.

A mikrohullámú tartomány rendelkezik az említettek közül a legnagyobb hullámhosszal, mely 1 mm és 1 m között alakul. Itt már jelentéktelen a légkör hatása a mérésre.



2. ábra: Az elektromágneses spektrum tartományai
 Forrás: Sárközy F. 1991, Ravi P. Gupta, 1991 után

3.2 Lézer alapú távérzékelés(LiDAR)

Lézeres távérzékelés esetében a fentebb említett adatközlő sugárzás nem más, mint a lézersugár. Az aktív távérzékelő rendszerek csoportjába tartozik, mivel a sugárzást maga a műszer állítja elő, valamint érzékeli is azt. A LiDAR mozaikszó a „Light Detection and Ranging” kifejezésből ered. Hasonlóképp működik, mint a RADAR(it az adatközlés rádióhullámokon keresztül zajlik), a különbség csupán a használt frekvenciatartományban van. A LiDAR által használt sugárzás frekvenciája magasabb a RADAR-éhoz képest.

A LASER mozaikszó a „light amplification by stimulated emission of radiation” kifejezésből ered, amely magyarul fényerősítést jelent, kényszerített fénykibocsátással. Az egybefüggő fénysugár, vagyis lézersugár, stimulált emisszió által jön létre. A stimulált emisszió egy olyan folyamat, mely során a gerjesztett atomból felszabaduló foton kölcsönhatásba lép egy másik, szintén gerjesztett atommal és azt legerjeszti, így abból egy újabb foton szabadul fel és így tovább. A szkennerek által használt lézerek általánosságban a kis energiájú lézer-fényforrások közé sorolhatóak. Normál körülmények között ártalmatlan a szemre nézve, viszont nem ajánlott szándékosan belenézni a közvetlen sugárba. Ezáltal lézeres védőszemüveg nem szükséges a használatához. Nem képes bőr, vagy anyag égést okozni.

A lézeres távmérésen alapuló műszerek között létezik fázisméréses, valamint időméréses elven működő műszer. Általánosságban elmondható, hogy a fázisméréses műszerek kisebb hatótávolsággal bírnak, viszont nagyobb felbontással és pontossággal képesek dolgozni.

A **fázisméréses** módszer esetében a mérőjel sugárzása állandó. A kibocsátott mérőjelet a műszer a vivőjel amplitúdó modulációjával hozza létre, a visszatérő jelről pedig ezt demodulációval különíti el a távolság meghatározásához. A mért távolságon [N darab egész mérőjel ciklus + egy darab ciklus] fog eredményként létrejönni. Az N darab egész mérőjelek ismeretéhez a vivőjelre a moduláció során több eltérő hullámhosszú mérőjelet kapcsol, így különbséget képes tenni a „darabtávolság”, valamint az egész távolság egységek között. A darabtávolságokhoz rövid hullámhosszú mérőjelet kapcsol, melyből

a darab ciklust a visszatért mérőjel fázishelyzetének a mérésével tudja kalkulálni a számítógép. Az egész távolságokat pedig a nagyobb hullámhosszú mérőjelekből képes meghatározni.

Az **időmérési** módszer esetében nincs folyamatos jel sugárzás. Ebben az esetben egyetlen rövid, de nagy energiájú lézerimpulzus, esetenként impulzussorozat hagyja el a műszert, amely az objektumról reflektálva beérkezik a vevőbe, ahol a jel futási idejéből számítható a mért távolság, a terjedési sebesség ismeretével. Ez a gyakorlatban nyilván nem ilyen egyszerű. Ahhoz, hogy a jel futási idejét pontosan megtudja határozni, ismernie kell a kibocsátott és visszatért jel azonos referenciapontját, ami viszont az energiavesztés végett impulzus alakváltozáson esik át. Az imént említett folyamat miatt a jelazonosítás sebességének a rovására írható, hogy minden egyes új mérőjel csak akkor kerülhet kibocsátásra, amikor az előző már visszaérkezett és annak azonosítva van a referenciapontja. A módszer jelentős előnye, hogy igen nagy a mérhető hatótávolság.

3.3 A lézerszkennerek típusai

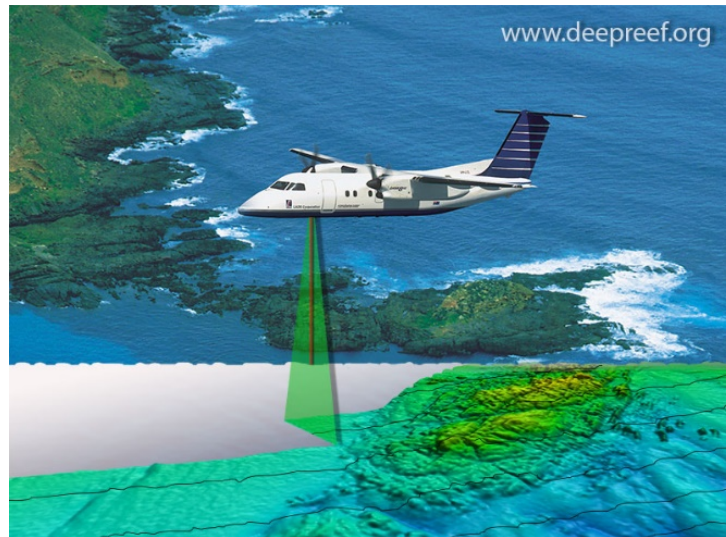
A földmérésben jelenleg három típusát különböztetjük meg a lézerszkennelésnek:

- I. Földi lézerszkennerek: ezek a földmérők által leggyakrabban alkalmazott szkennerek. Az általam is használt Leica C10-es is egy ilyen geodéziai lézerskenner. Itt lényegében egy mérőállomáshoz hasonló műszerről van szó, amely műszerállvány segítségével pontra állítható, rendelkezik saját limbuszkörrel, beépített kompenzátorral és ipari pontossággal képes adatot rögzíteni, az általában pár száz méteres hatótávon.



3. ábra: Leica C10 ScanStation, földi lézerszkennér
(saját kép)

- II. Légi lézerszkennerek: a légi lézerszkennelő egység egy igen komplex rendszeregyüttes összehangolt működésével jön létre. Az egység egy repülő hordozó járműre van erősítve, amely legtöbbször fix szárnyú kisgép, esetleg drón(UAV - Unmanned Aerial Vehicle), de számos más hordozóval is megvalósítható a mérés. A hordozó gép pozíciójának folytonos precíz ismerete szükséges a felmérés során, ehhez kell a navigációs rendszer(GNSS – Global Navigational Satellite System), valamint az inerciális rendszerek(INS – Inertial Navigation System) összehangolt munkája. Hatótávolságuk a pár száz méterestől a pár ezer méteresig terjed.



4. ábra: Tengerfenék szkennelése repülőről

Forrás: www.deeppreef.org

- III. Mobil lézerszkennerek: a mobil lézerszkennelés a legújabbban megjelent ága a szkennereknek. Talán az is kijelenthető, hogy a két fenti kategória kereszteződésével jöhetett létre, ugyanis olyan földi, mozgásban levő egységekről van szó, amelyeknek hasonlóképp szükségeltetik a pozíció meghatározásához a folyamatos helyzetmeghatározás, csupán másabb eszközökkel, mint légi társaik esetében. Itt a hordozást autók, esetleg hajók, vonatok végezhetik. Hatótávolságuk általában legfeljebb pár száz méterig terjed.



5. ábra: Személyautóra erősített LiDAR-szkennerek

Forrás: Google

4 MOBILTELEFONOS TÁVÉRZÉKELEÉS

4.1 Iphone 12 Pro Max (LiDAR-képes mobiltelefon)



6. ábra: Iphone 12 Pro Max

Forrás: https://www.gsmarena.com/apple_iphone_12_pro_max-10237.php

Az Iphone márka az Apple informatikai vállalat által fejlesztett és forgalmazott mobiltelefon márka, melynek első generációját 2007-ben mutatták be. Már a kezdetektől fogva érintőképernyős megoldást használt a cég, valamint eszközeiken saját fejlesztésű operációs rendszert alkalmaznak az Apple IOS-t, melynek alapját a Mach kernel adja. A saját operációs rendszerből kifolyólag saját alkalmazás áruházzal rendelkezik (App Store). A cég alapvetően a prémium irányzatra koncentrálódott, így termékeikben mindig iránymutató, forradalmi megoldásokat használtak, melyet kiváló minőségű anyaghasználat kísér.

4.2 Fontosabb specifikációi:

- A készülék 2020 novemberében jelent meg
- Kijelzője 6,7 colos, melynek felbontása 1284 x 2778 pixel
- IP68 szabvánnyal ellátott, por és vízálló, egészen 6 méteres mélységig, legfeljebb 30 percig
- Az Apple saját fejlesztésű lapkakészlete található benne, az A14 Bionic
- Processzora Hexa-core (2x3.1 GHz Firestorm + 4x1.8 GHz Icestorm)
- A grafikus feldolgozó egység az Apple GPU, mely 4-magos

- A háttértár mérete 128GB-os, RAM-ból pedig 6GB áll a rendelkezésünkre
- 12 MP-es Pro kamerarendszer, amely magába foglal 4 egységet, ezek a következők:
 - Ultraszéles látószögű kamera: $f/2,4$ -es fényrekesz, 120° -os látószög
 - Széles látószögű kamera: $f/1,6$ -os fényrekesz
 - Telefotó kamera: 2,5x optikai zoommal
 - LiDAR-szkenner
- Az objektívek védelméért a zafírkristály objektívvédő felel
- Az előlapon található egy széles látószögű 12MP-es, $f/2,2$ -es fényrekesssel rendelkező kamera, melyet kiegészít az SL 3D egység, amely egy mélység/biometria érzékelő
- Adatátvitel:
 - Kommunikációs technológiák: 2G/3G/4G/5G
 - Bluetooth: 5.0 képes (A2DP, LE, AAC)
 - WiFi: 802.11a/b/g/n/ac/ax szabvány, dual band, hotspot
 - Támogatott műholdas rendszerek: A-GPS, GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou
 - Vezetékes kapcsolat: USB 2.0
- Az energiaellátásról egy 3687 mAh kapacitású lítium-ion akkumulátor gondoskodik, melyet lehetőség van tölteni:
 - Vezeték nélküli töltővel: 7,5W (Qi) vagy 15W (MagSafe)
 - Vezetékes töltővel: akár 20W teljesíténnyel is
- Érzékelők:
 - Face ID (lézeres mélység/biometria érzékelő)
 - LiDAR-szkenner (Solid-state LiDAR)
 - Barométer
 - Háromtengelyes giroszkóp
 - Gyorsulásmérő
 - Közelítésérzékelő
 - Intelligens fényérzékelő

4.3 LiDAR a mobiltelefonokban

A technológiát egyre több és több iparág használja fel, ezáltal felgyorsult a fejlődése és egyre inkább kezd megfizethetőbb lenni. Ennek köszönhetően elérhetővé vált a hétköznapi emberek számára is. A mobiltelefonnal végzett lézerszkennelés nem rögzített álláspontból zajlik alapvetően, és pontossága sem kiemelkedően magas. A lézerszkenneléshez fontos a nagy számítókapacitás, mely a mai mobiltelefonokban igen magas. A mobiltelefonos szkennerek pontosságának a határait legnagyobb mértékben az inerciális mérőegység (IMU - Inertial Measurement Unit) jelenlegi tudása jelenti. Sajnos ez az a tényező, ami miatt a nagyobb felületen mért eredmények sokszor, ráadásul a távolság növelésével egyre pontatlanabbak. Az ez által létrejövő hibajelenség neve: távolsági elsodródás (range drift). Ez amiatt történik, mivel a telefon a térbeli pozícióját amelyhez viszonyítja a bemért pontok rögzítését, azt a beépített giroszkóp, valamint gyorsulásmérő segítségével határozza meg. A jövőben, valószínűsíthetőleg nagyobb hangsúlyt fektetnek majd a mobilgyártók -e szenzorok fejlesztésére. Ezzel szemben az összehasonlításához használt geodéziai lézerszkennerek rögzített állásponton helyezkedik el mérés közben, ipari kompenzátorral és limbuszkörrel ellátva, valamint magas pontosságú távmérővel.

Egy amerikai földmérő kolléga végzett egy kísérletet, melyben azt vizsgálta, hogy 200 láb (60,96 méter) távolságon mekkora pontosságot képes a telefon (Iphone 12 Pro) produkálni, valamint mekkora a távolsági elsodródás (range drift) a képződött állományon. Mivel a készülék szkennelési hatótávolsága körülbelül 5 méterig terjed, ezért a földet szkennelve, a kifeszített mérőszalag és leütött karók mellett haladva készítette a pontfelhőt. A pontosság ellenőrzésére 10 lábonként helyezte el az egy-egy karót (összesen 20 darabot), melyeket mérőállomással is egyesével bemért. Ezután Autocad-bbe pontokat helyezett el a pontfelhőből kiválasztva minden egyes karóra és a kapott pontokat összehasonlította. A távolságokat excelben vizsgálta. A felmérésből az a tendencia látszódott beigazolódni, hogy az inerciális rendszer „pontatlansága” miatt az Iphone-nal kapott eredmények 100 lábonként (30,48m) 0,5 lábnyi (15,24cm) hibát eredményeznek, amely 200 lábon (60,96m) már 1 lábnyi (30,48cm) eltérést jelentett.

Surveying Total Station				iPhone 12 Pro LiDAR				Difference in Northing	Difference in Easting	Difference in Elevation
1 4800.05 5000 97.96 2+00				1 4801.05 5000 97.97 2+00				-0.997		
2 5000 5000 100 0+00				2 5000 5000 100 0+00						
3 4989.96 5000.26 100.241 0+10				3 4990.09 5000.35 100.29 0+10				-0.1291	-0.0909	-0.0486
4 4979.95 5000.56 100.41 0+20				4 4980.11 5000.7 100.5 0+20				-0.163	-0.1344	-0.0898
5 4969.96 5000.8 100.426 0+30				5 4970.1 5001.03 100.59 0+30				-0.1406	-0.2316	-0.1636
6 4960.01 5001.01 100.573 0+40				6 4960.06 5001.3 100.72 0+40				-0.0548	-0.2895	-0.1472
7 4949.98 5001.13 100.419 0+50				7 4950.04 5001.49 100.51 0+50				-0.0644	-0.3601	-0.0909
8 4940 5001.12 100.307 0+60				8 4940.19 5001.42 100.52 0+60				-0.1893	-0.2989	-0.2128
9 4930.01 5001.05 100.188 0+70				9 4930.19 5001.42 100.51 0+70				-0.1839	-0.3642	-0.3224
10 4920.02 5001.02 99.9388 0+80				10 4920.33 5001.5 100.19 0+80				-0.313	-0.4856	-0.2512
11 4910.05 5000.98 99.8558 0+90				11 4910.45 5001.5 100.06 0+90				-0.3927	-0.5213	-0.2042
12 4900.06 5000.87 99.7604 1+00				12 4900.47 5001.37 99.96 1+00				-0.404	-0.504	-0.1996
13 4890.07 5000.87 99.6839 1+10				13 4890.5 5001.4 99.94 1+10				-0.4261	-0.5342	-0.2561
14 4880.08 5000.82 99.5455 1+20				14 4880.69 5001.4 99.71 1+20				-0.6071	-0.5768	-0.1645
15 4870.09 5000.7 99.3661 1+30				15 4870.73 5001.34 99.5 1+30				-0.6442	-0.6412	-0.1339
16 4860.06 5000.68 99.1592 1+40				16 4860.78 5001.27 99.25 1+40				-0.7236	-0.5901	-0.0908
17 4850.09 5000.51 99.0338 1+50				17 4850.85 5001.04 99.14 1+50				-0.7594	-0.5341	-0.1062
18 4840.08 5000.48 98.8247 1+60				18 4840.8 5000.87 98.92 1+60				-0.7231	-0.3913	-0.0953
19 4830.01 5000.4 98.6797 1+70				19 4830.83 5000.67 98.78 1+70				-0.8214	-0.2679	-0.1003
20 4820.08 5000.24 98.5315 1+80				20 4820.91 5000.4 98.56 1+80				-0.8341	-0.1586	-0.0285
21 4810.05 5000.17 98.2606 1+90				21 4810.95 5000.17 98.28 1+90				-0.8995	0.0022	-0.0194

7. ábra: Távolsági elsodródás mérés eredmények (Iphone 12 Pro)

Forrás: Professor Rami Tamimi, link: <https://www.youtube.com/watch?v=UYZgCWhN5C8>

A manapság elérhető telefonokban jelenleg három fajta technológiát használnak a tér, valamint távolságok érzékelésére, ezek mind mozgó alkatrész nélküli megoldások:

- Optikai követés
- Time of Flight (ToF)
- LiDAR

Optikai követés esetében a készülék valós idejű video-stream elemzést használ a térbeli helyzetének a nyomon követésére, mely a giroszkóp, valamint a gyorsulásmérő adatainak segítségével egy algoritmussal megbecsüli a kamera által érzékelt objektumok távolságát.

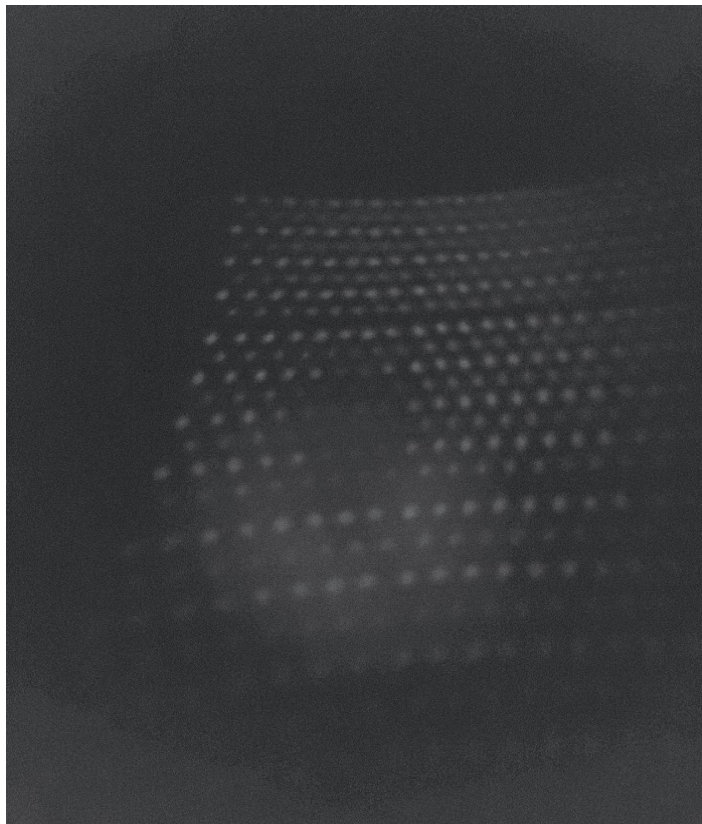
A ToF(Time of Flight) hasonló elven működik, mint a LiDAR. A szenzor fényimpulzusokat bocsát ki, amely egyszerre nagyobb területet is képes lefedni. Az egység által „megvilágított” területen belül több felületről is visszaverődik az infravörös fény, amit a szenzor érzékel. Hátránya a LiDAR-ral szemben, hogy mivel nem egy ponttrácsot alkalmaz, hanem szórt fényt, így a szenzorra visszaérkező lézerefény sokkal több zajjal szennyezett, mivel sok a közvetett visszaverődés, valamint a különböző (fényes) felületekről a LiDAR-hoz képest hatványozottan zavaró lesz a visszaérkező fény.

Az általam használt Iphone készülék LiDAR-szkennerje alapvetően két fő egységből áll: egy úgynevezett VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser) jel kibocsátó egységből, amelyet a Lumentum biztosít az Apple számára, valamint ennek a jelnek az

érzékelésére alkalmas közeli infravörös tartományú CMOS szenzorból, amit a Sony fejlesztett ki. Ezek a típusú szkennerek a mobil-lézerszkennerek csoportjába tartoznak, ezen belül is az úgynevezett solid-state LiDAR-ok kategóriájának felel meg. Még pedig azért, mert nem tartalmaznak mozgó alkatrészt, ellenben például a Leica C10 forgó-oszcilláló mozgással végzi a szkennelést.

4.4 Működése:

A LiDAR egység a lézer segítségével egy pontrácsot hoz létre és a kivetített pontok távolságát külön-külön mérve határozza meg azok helyzetét. Pásztázás közben mindig új felület kerül a kivetített lézer-pontok mögé, így azok a felületek is rögzítésre kerülnek. Eközben a kamera számos fényképet készít, melyekből az előfeldolgozás során RGB színértékeket rendel a felvételezett pontokhoz. Hatótávja körülbelül 5 méter. Felvételezés közben az adatnyerés állandó és nem pedig egyszeri, amennyiben visszatérünk egy már szkennelt objektumra, azt újraméri, pontosítja, sajnos esetenként el is ronthatja.



8. ábra: Kép a kivetített pontrácsról (teljes sötétségben másik telefonnal készült a kép, szemmel nem látható)
Saját kép

4.5 Funkciói a mobiltelefonokban:

A mobiltelefonokban alapvetően a fényképező működését hivatott javítani, többek között gyorsabbá téve az autofókusz működését.

A „TrueDepht” kamera egy olyan rendszer, amely a telefon biztonságos feloldását szolgálja LiDAR technológiával. Ez úgy működik, hogy az egység egy több mint 30.000 pontból álló pontrácsot vetít ki, jelen esetben a felhasználó arcára és a rácsmintázat deformációja alapján előállít egy háromdimenziós „arclenyomatot”. A készülék így képes sötétben is felismerni a használó arcát, majd a tárolt arc adataival összevetve ellenőrizni a különböző pontok egyezését. Hatótávolsága ezáltal kisebb, mint a telefon hátulján található szenzorénak, körülbelül 60 centiméterig képes érzékelni, viszont a hátlapi egységgel szemben sokkal nagyobb felbontással dolgozik.



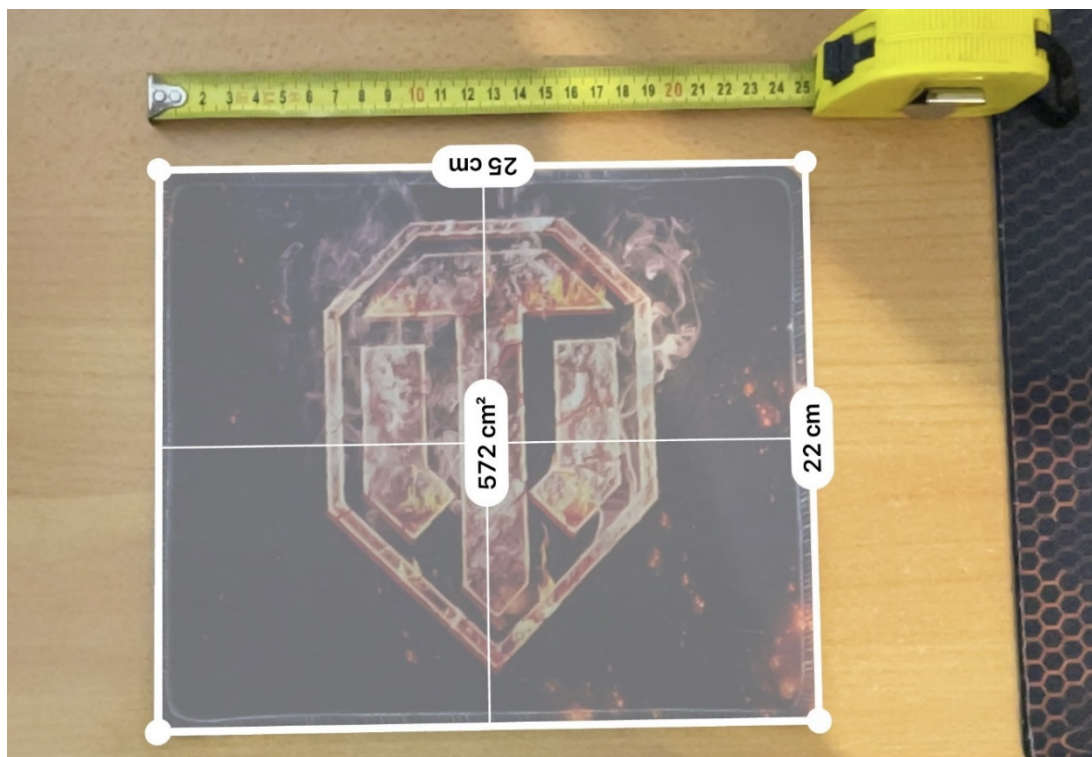
9. ábra: TrueDepht kamera működés közben
Saját kép

A másik applikáció, amely használja a szenzort a „Mérés” nevű alkalmazás, mely a LiDAR segítségével (és egy kevés gyakorlással) távolság mérést tesz lehetővé virtuális valóságban, mely sokszor jól jöhet, amikor nincsen nálunk mérőszalag. Manuálisan is lehet vele mérni, a kezdő és végpont megadásával, ilyenkor ad segítségnek függőlegest,

vagy épp vízszintest, attól függően merre indítjuk a mérést. Ezen kívül automatikusan felismeri a téglalapokat és megjeleníti az oldalai hosszát, melyek alapján kiszámolja azok felületét.

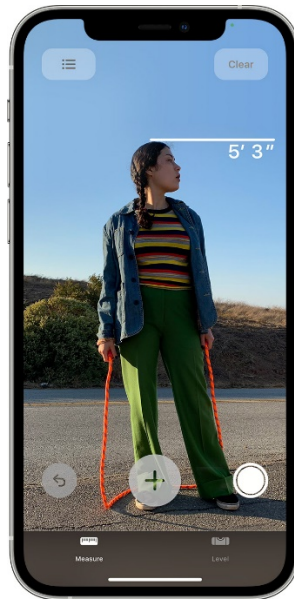


10. ábra: Mérőszalagon végzett próbamérés
Saját kép



11. ábra: Automatikus felületszámítás
Saját kép

Amikor a „Mérés” alkalmazás egy személyt érzékel a látómezőben, automatikusan megméri az illető magasságát és megjeleníti a kiterjesztett valóságban. Jőmagam magasságát is centiméter pontosan meghatározta.



12. ábra: Magasság mérés

Forrás: <https://support.apple.com/en-afri/HT208924>

A fent említetteken kívül találhatók harmadik féltől származó alkalmazások, egy ilyen applikáció segítségével végeztem el én is a méréseket. Számtalan lehetőség tárulkozik a telefont használó elé. Példaként említeném az „Ikea Place” nevű alkalmazást, mellyel az áruház bútorait jeleníthetjük meg valós méretben otthonunkban, így meggyőződhetünk arról, hogy biztosan elfér -e, valamint kipróbálhatjuk, hogyan mutatna az adott bútor a jövőendőbeli helyén. Ugyanezt manuálisan is meg lehet valósítani, az általam is használt „3d Scanner App” nevű alkalmazással, itt lehetőség van beszkenneelni is az adott objektumot, tárgyat és azt a kiterjesztett valóság (AR – Augmented Reality) funkcióban megjeleníteni valós méretben. Példaként a Leica lézerszkenner műszer-dobozát jelenítettem meg a saját szobámban.

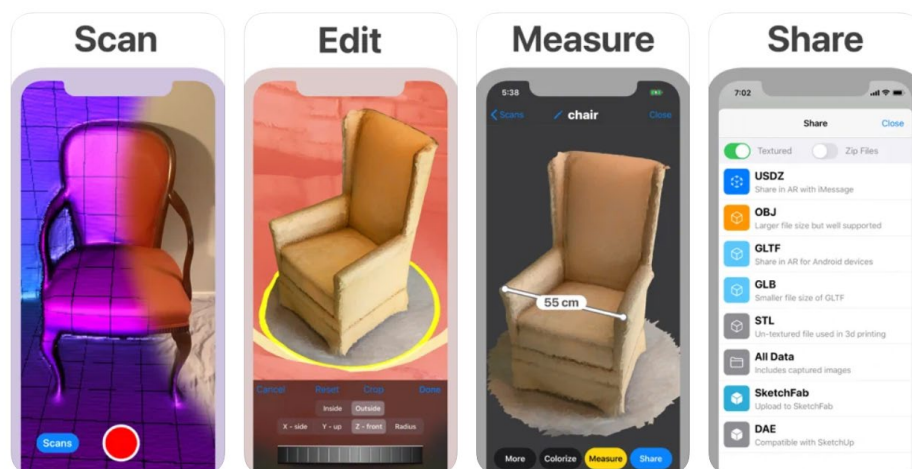


13. ábra: Kiterjesztett valóság: beszkenneelt műszerdoboz megjelenítése méretarány
Saját képek

5 3D SCANNER APP

Több alkalmazás is kínált lehetőséget a lézer-szkennelésre, de végül a választás erre esett, mert ebben az applikációban találtam a legtöbb állítható paramétert, valamint számos fájlkiterjesztésben képes exportálni. És nem utolsósorban ingyenesen használható.

A programban lehetőség van elvégezni a szkennelést, elkészíteni a színhelyes pontfelhőt, szerkeszteni azt, méréseket végezni, valamint exportálni több ismert formátumban.



14. ábra: Az applikáció által kínált szolgáltatások: szkennelés, szerkesztés, mérés, exportálás
 Forrás: <https://apps.apple.com/us/app/3d-scanner-app/id1419913995>

A szoftver a LiDAR egység, a kamera és az inerciális rendszer együttes használatával építi a felvételezett környezetről a 3D-s TIN (Triangulated Irregular Network) hálót. [TIN: olyan háromdimenziós felületmodell, amely szabálytalan távolságra levő pontokból és az ezeket összekötő törésvonalakból áll.] A hálóból képes pontfelhőt készíteni, melynek pontjait színértékekkel is ellátja a felmérés közben készített fényképekből számítva, így könnyebb azokat azonosítani, valamint a pontfelhőből képes ezáltal 3 dimenziós képet, virtuális valóságot létrehozni.



*15. ábra: TIN háló
Saját képek*

Támogatott fájlformátumok:

iMessage és AR Quicklook képes: **USDZ**

Népszerű formátumok: **OBJ, GLTF, GLB, DAE, STL**

Nyers pontfelhő formátumok: **PTS, PCD, PLY, XYZ**

6 LEICA SCANSTATION C10

A kísérlet elvégzéséhez az Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Kar, Geoinformatikai Intézete biztosította számomra a geodéziai lézerszkennert, melynek ismertetéséről pár szót ejtenék.

6.1 Cégtörténet

A Leica név bizonyosan minden kollégának ismerősen cseng, nem véletlenül. A földméréssel foglalkozó, akkor még csak vállalat több mint, 200 évvel ezelőtt, 1819-ben alapult, Kern and Co. néven a svájci Aarau-ban. Mire elnyerte a Leica Geosystems nevet, számos átalakuláson, egyesülésen, valamint felvásárláson ment keresztül, jelentős szerepet foglalva a geodéziai műszerek piacán.



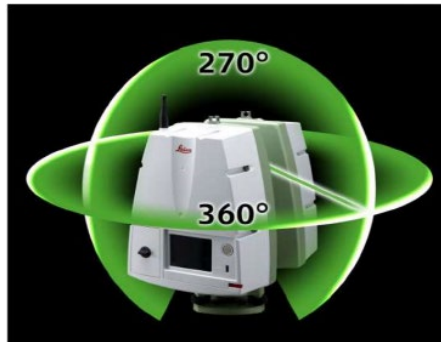
16. ábra: A Leica ScanStation C10
Saját kép

A Leica ScanStation C10 egy komplex földi lézerszkennert, működése időméréses távmérésen alapul. Jelenleg már kissé elavultnak számít a 2009-ben megjelent lézerszkennert, viszont akkor a piacon lévő típusokhoz képest jelentős újítások voltak benne találhatóak. (például: SmartX-mirror, érintőképernyő)

6.2 Technikai adatok:

- A látómezeje $360^{\circ} \times 270^{\circ}$ azonos módon mint a mérőállomásoknál. Az új „Smart X-mirror TM” technológiának köszönhetően a tükör választ a forgó, illetve

oszcilláló mozgás között, így nem szükséges 360°-ban szkennelni, elegendő 180°-ban, ezáltal időt és energiát spórol meg.



17. ábra: Látómező

Forrás: Leica ScanStation C10; A „Minden az egyben” lézerszkennер bármilyen feladatra, GIS Open, 2010 Leica Geosystems Hungary Kft. Váradi Attila

- **Mérési sebessége** 50.000 pont másodpercenként (az új, 2021-es modell akár 2 millió pontot is képes másodpercenként rögzíteni)
- **Szkennelési felbontás:** <1mm a teljes tartományban
- **Pontossága** távolságra nézve +/-4mm, az iránymérése pedig +/-60 μ rad (12"). A háromdimenziós pozícióba pedig +/-6mm hiba lehetséges.
- **Hatótávolsága** legfeljebb 300 méterig terjed, minimum távolság 10 centiméter.
- A szkennер **súlya** 13 kilogramm.
- Ami a **kamerát** illeti, a szenzor 5 megapixeles (2592x1944 pixel), a mérés közben készült képek mérete ezáltal körülbelül 1,8 megabyte méretűek. Az optika látószöge mindösszesen 17° x 17°, amely nem kiemelkedően nagy, mondhatni szűk látószögű, így sajnos a fényképezési folyamat tovább tart. A kamera és a lézer egy közös forgó tükröt használnak, aminek a teljes felvételezési tartományának az eléréséhez el kell távolítani a foggantyút a szkennер tetejéről, így szabad kilátás nyílik a műszer fölött helyezkedő objektumokra is.



18. ábra: Az új Smart X-mirrorTM

forrás: Leica ScanStation C10; A „Minden az egyben” lézerszkennер bármilyen feladatra, GIS Open, 2010 Leica Geosystems Hungary Kft. Váradi Attila

- A **lézertáv mérő** egység által kibocsátott sugár hullámhossza 532nm, mely a szemmel látható tartományba tartozik. Színe zöld.



19. ábra: Sikerült lencsevégre kapni a lézersugarat
Saját kép

- Rendelkezik **kéttengelyű kompenzátorral**, melynek a pontossága 1,5”.
- Két **Lítium-ion akkumulátorral** működik, melyek egyenként 4800 mAh kapacitásúak, feszültségük 14,8 volt. Körülbelül 3,5 óra üzemet biztosít a két feltöltött akku. Üzem közben csak az egyik egységet használja, és amint lemerült, átvált a másikra, így lehetőség van működés közben, a gép leállítása nélkül kicserélni az üres akkut, ezáltal folyamatos munkát végezni külső akkumulátor nélkül is.

- Az **interfész** színes érintőképernyő, melyhez tartozék az érintő toll, felbontása 320x240 pixel.
- 80 gigabyte **belső adattárolóval** rendelkezik (SSD – Solid State Drive), amely tovább bővíthető usb interfészen keresztül



20. ábra: A tartozékok listája, balról-jobbra haladva: 1. a lézerszkennер; 2. műszer láda; 3. műszerláb; 4. jeltárcsák; 5. akkumulátorok hálózati töltővel; 6. mágneses jeltárcsa talpak.
Forrás: Leica C10 User Manual



21. ábra: A kijelzőn láthatjuk (a felső sávban, balról-jobbra haladva) az aktuális időt,  a kiválasztott jel fajtát,  a kéttengelyű kompenzátor visszajelzőjét,  a belső tárhely foglaltságát,  valamint a két akkumulátor töltöttségi szintjét.
Saját kép

7 MÉRÉS A LEICA C10-ESSEL

A méréseket az egyszerűbb kivitelezhetőség érdekében az Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Karának Geoinformatikai Intézetében hajtottuk végre, konzulens tanárommal, Dr. Nagy Gáborral. Többek között azért is választottuk az egyetem épületét a felméréshez, mert így nem voltunk kitéve az időjárás viszontagságainak, valamint így nem kellett a szkennerek szállításával vesződni, hisz az, az iskola raktárában van tárolva. A méréseket a magasföldszint folyosóján, valamint a környező helyiségekben végeztük, a tanácsteremben, a folyosó végén található kis helyiségben, valamint az udvarra vezető üvegajtók közötti térben.

7.1 Első álláspont

A C10-et először a tanácsterem ajtaja előtt a folyosó közepén állítottuk fel. A műszerlábakat egy erre a célra kialakított fém tartóra állítottuk, így stabil állásunk volt a burkolt folyosón is.

A szkennelést horizontális 360 fokban, valamint vertikális 270 fokban hajtottuk végre, ez a műszer maximális szkennelési tartománya. Alapvetően a teljes folyosóról szerettünk volna adatot nyerni, azért is a teljes tartományt használtuk. Valamint azzal, hogy csak egy bizonyos vertikális szöveget kértünk volna a műszertől időben nem takarítottunk volna meg jelentős mennyiséget, mert szkenneléskor teljes körbe forog a tükrös lézervetítő, az pedig nem befolyásolja az az oldali fordulat sebességét, hogy rögzít-e épp adatot. A műszer tápellátása redundáns, amit azt jelenti, a szkennelést nem kell megszakítani abban az esetben, ha lemerül az egyik akkumulátor, azt ki lehet cserélni egy feltöltöttre. A csere közben pedig a második akkuról üzemel a szkennerek. A műszerlábak felállítását követően ráhelyeztük magát a műszert, és a talpcsavarokkal, illetve szelencés libella segítségével beállítottuk durván függőlegesbe a műszer vertikális tengelyét. Miután ez megvolt, a készüléket bekapcsoltuk. Érződik a bootolási idő, hogy már nem mai technika. A szkenneren Windows XP operációs rendszer fut ennek szüksége volt pár percre, hogy a felhasználói felület elérhetővé váljon. Az interfész amin keresztül vezérelni lehet, az egy kis érintőképernyő 320x240 pixelfelbontású.



22. ábra: Az interfész
Saját kép

Amint betöltött az operációs rendszer, elsőként a digitális libellák finom beállítása volt a feladat. Létre kellett hozni egy új projektet, aminek a `kisg_szakdoga` nevet adtuk. A beállított mérési módszer a „Target all” ami a fent említett 360*270 fokos tartományt jelenti. Ebben a módban 260 darab fényképet készít a pontok mérése után a műszer. Azért szükséges ekkora mennyiségű kép készítése, mert még nem alkalmaztak nagy látószögű kamerát ebben a modellben. Amilyen szögben éppen van indításkor a műszer, onnan fogja kezdeni a szkennelést, valamint esetünkben ott is fejezi be a műveletet. Mivel a mérés nem kiemelkedően nagy területe fed le, ezáltal viszonylag kisebb a várható állomány mérete, emiatt a tömörítés nélküli adatrögzítést választottuk. A felmérés felbontását is beállítottuk. Ehhez mértünk a folyosó falára egy távolságot (13,17 méter), amelyhez beállítottuk a 7 milliméteres ponttávolságot. A mobiltelefon elviekben 5-10 milliméteres felbontással képes dolgozni legfeljebb, így várhatóan hasonló pontsűrűséget kapunk. Az exponálás idejét automatikus módon hagytuk. Amint megvoltunk ezekkel a beállításokkal el is indítottuk az első állásponttól a szkennelést az „SC+IMG” ikonnal, mely először szkennelést hajt végre, azután pedig lefényképezi a teret. A műszer először egy kalibrációt hajt végre. Amint végzett a kalibrációval, visszaáll a kezdő pozícióba és elkezd forgatni a tükrét, ezzel megkezdve a tényleges pontörögzítési folyamatot. A mérés közben pár alkalommal elsétált a lézer előtt egy-két ember, ami azt eredményezte, hogy egy-egy pontszelet ottmaradt belőlük a folyosón, ez a kisebbik jelentőségű probléma ami ez által okozódik, mert ezt könnyedén lehet a feldolgozáskor törölni. A nagyobb problémát az jelenti az ilyen kitakarásos esetekben, hogy az elhaladó személy mögötti pontok így nem kerülnek rögzítésre, azaz ez a csík, ami a személyből megjelenik, ez a

falon, amit eltakart egy rést fog képezni. A rés pedig negatív hatással lesz a pontfelhők összehasonlításakor. Amennyiben fényképezéskor sétál valaki a műszer látómezejébe, akkor pedig az illető lenyomata a mögötte található pontokra fog felkerülni, mivel a pontok felmérésekor nem volt ott a személy így nem oda rakja a színezetet. Tulajdonképpen eredményként egy fal esetében például egy lenyomatot ábrázolna az elhaladó személyről. Mérés közben többször is sor került az akkumulátor cseréjére, ami a több darab csereakku miatt nem jelentett problémát. A pontok felmérése 23 percet vett igénybe, ezután még 11 percig készítette a fényképeket a szkennel. Ebben az álláspontban végeztünk is a teendővel.



23. ábra: A földszinti folyosó
Saját képek

7.2 Második álláspont

A következő álláspontot a tanácsterem közepére helyeztük. Az átköltözés idejére nem volt szükséges kikapcsolni a szkennert, így viszonylag gyorsan fel is álltunk vele a következő felméréshez. A tanácsterem ajtaját a folyosón végzett mérés és a tanácsteremben végzett mérés idejére is zárva tartottuk, így mind a két mérésen szerepel az ajtó mindkét felülete, oldala. Mivel ez egy kisebb légtér, itt módosítottuk a szkennelés felbontását. A legtávolabbi fal 8 méterre volt mérhető, így ehhez a 8 méteres távolsághoz

adtuk meg az 5 milliméteres felbontást. 26 percet vett igénybe a tanácsterem felmérése a képek készítésével együtt.



*24. ábra: Tanácsterem
Saját kép*

7.3 Harmadik álláspont

Kiegészítésképpen egy harmadik álláspontot is kijelöltünk a tanácsterem sarkában. Ezzel azt szeretnénk volna imitálni, hogy abban az esetben, hogyha az egész teremről szeretnénk adatot nyerni, azzal hogy csupán középen felállunk egyszer az asztal miatt takarásban lesz a padló közel fele. Ennek nagyrészenek a felméréséhez még legalább 2, de inkább négy műszerállásból kellett volna szkennelést végezni a példa esetben. Ezzel szemben egy mobil szkennerral pár perc alatt körbehaladva gyorsan kaphatunk adatokat. Ezen az állásponton is az előző beállításokkal mértünk (8 méteren - 5 milliméter). Ehhez az egy állásponthoz sajnos nem tudtam mérési időt feljegyezni, mert a mérés végére lefagyott az operációs rendszer, így újra kellett indítani. Szerencsére az adatokat még épp rögzítette, mielőtt összeomlott, így nem történt adatvesztés.



*25. ábra: Tanácsterem második álláspont
Saját kép*

8 MÉRÉS A TELEFONNAL

A telefonos mérés lényegesen egyszerűbb folyamat, legalábbis a felhasználó számára. Ameddig a C10-es szkennelte a folyosót, közben az épp kieső részeket rögzítettem az Iphone-nal. Az alkalmazáson belül kiválasztottam a kívánt felbontást, ami a mérések során 5 és 10 milliméter között volt beállítva. Ezután a kiválasztott objektumokat, falakat, folyosó részeket szkenneltem. A szkennelés kézből történt, sétálva, pásztázó mozdulatokkal. A telefon kijelzőjén élőben nyomon lehetett követni a 3D-s modell alakulását, így ahol feltűnően rosszul sikerült lemodellezni a felületet, oda vissza lehetett térni és automatikus újraméréssel (odafordítva a készülék kameráját) kijavítani azt. Egy-egy kisebb részlet felvételezése, amelyek az összehasonlításba láthatóak szinte kivétel nélkül maximum pár percig tartott. Amiután leállítottam az adatgyűjtést, az alkalmazással mindösszesen 1-2 perc alatt létre is lehet hozni a színhelyes pontfelhőt a képek felhasználásával.



26. ábra: Iphone szkennelés közben
Saját kép

Készítettem egy mérést a folyosó teljes keresztmetszetéről egy pár méter széles sávban. Az adatgyűjtés sokszori próbálkozásra sikerült csak használhatóan és még ez az állomány

is eléggé pontatlan lett. Ez valószínűleg annak volt köszönhető, hogy a mennyezeten található lámpatestek foncsora kiemelkedően jól reflektálja a lézersugarat, nem feltétlenül abba az irányba, mint amerre kellene és ez összezavarja a telefont. Illetve ehhez még hozzáadódhatott az a jelenség okozta zavar is, hogy amikor a telefont vízszintesen tartva szkennelek, vagyis kamerával felfelé, akkor sokszor összeomlik a modell felső része. Valószínűleg a giroszenzor okozza valamiképp ezt a jelenséget. Mindenesetre ez a két tényező együtt fokozottan megnehezíti a felfelé irányított szkennelést.

A geodéziai felmérés kiegészítéséhez felmértem még a folyosó túlsó, lépcső mögötti végét is. A felmérés folyamán azt tapasztaltam, hogy a pontok bemérése igen gyors, majd hogy nem sétálva lehet a szkennelést folytatni, viszont a bonyolultabb objektumok, jelen esetben a lépcső, mely fokai között, korlátának résein átment a lézersugár, és ez is valószínűsíthetőleg az inerciális rendszer képessége miatt, hamis pontokat eredményezett, valamint a valós felületet sem sikerült mindenhol rögzíteni. A lépcső körül sétálva végeztem a felmérést, véleményem szerint ezért, és nyilván az IMU miatt képződhetett le duplán a fal, a korlát.

A tanácsteremben először a középre felállított műszer alatti részt szkenneltem be a telefonnal, ugyanis ez a rész kimarad a szkennerek fizikai határai miatt. Innentől kezdve átállítottam felbontást 10 milliméteresre, mert az volt megfigyelhető, hogy szebb 3D-s háló jön ezáltal létre, mint a kisebb felbontáson. Ennek a vizsgálatára a mérések feldolgozásánál bővebben kitérek majd. Kisebb nehézséget, zavart okozott a műszerláb, mivel eléggé keskeny, így nehézkesen, többé-kevésbé sikerült „megfognia” a mobilnak. Inkább az utóbbi az igaz, így előfordul, hogy azok a pontok amiket mégis bemért, azok a levegőben „lebegnek” magukban.

Ameddig a tanácsterem sarkában dolgozott a C10, addig a telefonnal beszkennelem a folyosó végén található lejáratot az étkező irányába. Ez lesz az egyik illesztéses-kiegészítéses példa a kísérletem során, ezért nem csak a lefelé vezető helyiséget rögzítettem, hanem a folyosó-oldali falat is, melyről majd a feldolgozás során illesztőpontokat tudok venni.

Rögzítettem még pontfelhőt az udvarra vezető kijáratról is, melynek térelválasztó falai üvegből vannak, ami kissé izgalmassá tette a szkennelést. Ez a mérés is többedik

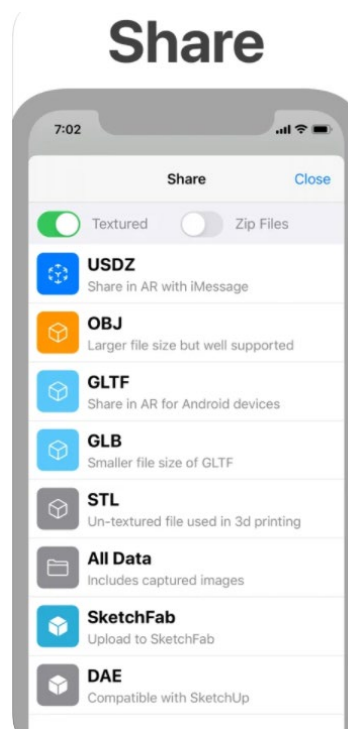
próbálkozásra sikerült elfogadhatóan. Úgy látszott, a határozott, gyors pásztázás a bonyolultabb helyeken értelmesebb pontfelhőt eredményez. Így mindösszesen egy perc alatt mértem fel a helyiséget és a folyosó végi falat az illesztéshez. Ez az 1 perces mérés 685.544 darab pontból álló modellt eredményezett.

Ameddig a műszer másolta a pendrivra a méréseket, rögzítettem telefonnal a tanácsterem többi részét is. Először a C10 kiegészítéséhez szánt ovál-asztal által takart részt mértem körbe, majd a helyiség egyik falát mértem be, a pontosság összehasonlításához.

A telefon a felmérés folyamán mindössze 26%-ot használt fel az akkumulátorának kapacitásából, ami megközelítőlegesen ~960mAh.

9 ADATOK KIOLVASÁSA

A telefon esetében egyszerű dolgom volt. A „3D Scanner App” megosztás funkciójának segítségével kiválasztottam a program által „CloudCompare”-hoz ajánlott formátumot és az applikáció közvetlen a megosztáskor el is végezte a konvertálást a nyers fájlokból. WiFi hálózaton keresztül feltöltöttem a méréseket a felhőbe, melyeket könnyedén elértem a későbbiekben a saját számítógépemről. A mobiltelefon által exportált mérések fájl kiterjesztése „.xyz”, melyek szöveges fájlok, vesszőkkel elválasztva, amiben az első oszlop az X tengely, a második az Y, a harmadik pedig a Z tengely koordinátáit tartalmazza. Ezen kívül található még három oszlop a színhelyes(RGB – Red Green Blue) pontfelhő megjelenítéséhez, a negyedik oszlop a vörös szín, az ötödik a zöld, és a hatodik a kék intenzitását tartalmazza. Egy példa szemléltetésképp az egyik fájlból: **-1.8687,-0.8177,-1.2203,214,196,182**



27. ábra: Exportálás a „3D Scanner App”-ból

Forrás: <https://apps.apple.com/us/app/3d-scanner-app/id1419913995>

A C10-es esetében kissé bonyolultabb a helyzet. Sajnos az iskolának nem volt lehetősége előfizetni a szoftvertámogatást, mely nélkül nem él a gyári szoftverhez a licenz. Emiatt egyéb megoldással lehet hozzáférni a mérésekhez. A szkennelés befejeztével a műszerről a project állományt, melynek mérete 5 gigabyte lett, egy pendrive-ra másoltuk, majd

onnan asztali gépre. Itt konvertálásra volt szükség a kompatibilisság miatt. A kiolvasott fájlok „.bin” kiterjesztésűek, ezek a Tanár Úr által készített programmal lettek „.csv” típusú szöveges fájlakká alakítva, mely tartalmazza az XYZ koordinátákat, valamint az intenzitás értékeket.[Intenzitás ez esetben: a szkennerbe a környezetről visszaérkező (lézer)sugár (fény)erőssége.] Ezek nagyon hasonlóak a telefonból exportált „.xyz” fájlhoz, annyi csupán a különbség, hogy négy oszlop található benne, nem pedig hat, valamint a tagolás nem vesszővel, hanem szóközzel megoldott. A „Cyclone” szoftver licensz hiányában az RGB értékeket nem volt lehetőség előállítani. Az alábbi módon néz ki a struktúrája: 1.357 -7.021 -1.775 0.214



28. ábra: Mérések exportálása pendrive-ra
Saját kép

10 CLOUDCOMPARE



29. ábra: CloudCompare logó

Forrás: <https://www.danielgm.net/cc/>

A „CloudCompare” egy nyílt forráskódú, ingyenesen használható program, melyet Daniel Girardeau-Monteau hozott létre. Elérhető Windows, macOS és Linux operációs rendszerhez is. Alapvetően 3D pontfelhő, valamint háromszög háló feldolgozásra készült, melyben összehasonlításokat lehet végezni állományok között, de több egyéb funkcióval is bővült, melyek közül számosat a felhasználók készítettek.

Ismertetőlegesen ejtenék pár szót a program főbb funkcióiról, melyek nagy részét én is használtam:

Nyilvánvalóan első dolgunk megnyitni a pontfelhőnk, erre lehetőség van az „open” menüpontban, illetve a fájlkezelő segítségével egyszerűen a munka ablakra húzva azt. Méréseket importálni számos fájlformátumban lehetséges, melyek az alábbi táblázatban láthatóak. A „.bin” kiterjesztés a CloudCompare saját formátuma, mely valójában egy projektfájl.

Type	Extension(s)	Description	Read	Write	Binary/ASCII	Point Cloud(s)	Mesh(es)	Other	Features
BIN	.bin	CloudCompare own format	X	X	binary	>1	>1	>1	Normals Colors (RGB) Scalar fields (>1) + Labels, viewports, display options, etc.
ASCII	.asc .txt .xyz .neu .pts	ASCII point cloud file (X,Y,Z,etc.)	X	X	ASCII	1			Normals Colors (RGB) Scalar fields (>1)
LAS	.las	ASPRS ⁷ lidar point clouds	X	X	binary	1			Colors (RGB) Various scalar fields (see LAS 1.4 specifications)
E57	.e57	ASTM E57 ⁸ file format	X	X	mixed	>1		Calibrated picture(s)	Normals Colors (RGB or I) Scalar field (<i>intensity</i>)
PTX	.ptx	LEICA point cloud export format	X		ascii	>1		Sensor(s)	<i>Robust normals can be computed at loading time</i>
FARO	.fls .fws	FARO formats	X		binary	>1		Sensor(s)	Scalar field (reflection value)
DP	.dp	DotProduct DPI-7 format	X		binary	>1		Sensor(s)	Colors (RGB) <i>Robust normals can be computed at loading time</i>
PCD	.pcd	Point Cloud Library format	X	X	binary	>1			Colors (RGB) Normals Scalar fields (>1)
PLY	.ply	Stanford 3D geometry format ⁹ (cloud or mesh)	X	X	both	1	1		Normals Colors (RGB or I) Scalar fields (all) Single texture
OBJ	.obj	Wavefront ¹⁰ mesh	X	X	ASCII	1	>1	Polyline(s)	Normals Materials and textures
VTK	.vtk	VTK file format (triangular mesh or cloud only)	X	X	ASCII	1	1		Normals Colors (RGB) Scalar fields (>1)
STL	.stl	STereoLithography ¹¹ file format (mesh)	X	X	ASCII		1		Normals
OFF	.off	Object File Format ¹² (mesh)	X	X	ASCII		1		

30. ábra: „CloudCompare” által támogatott fájlkiterjesztések

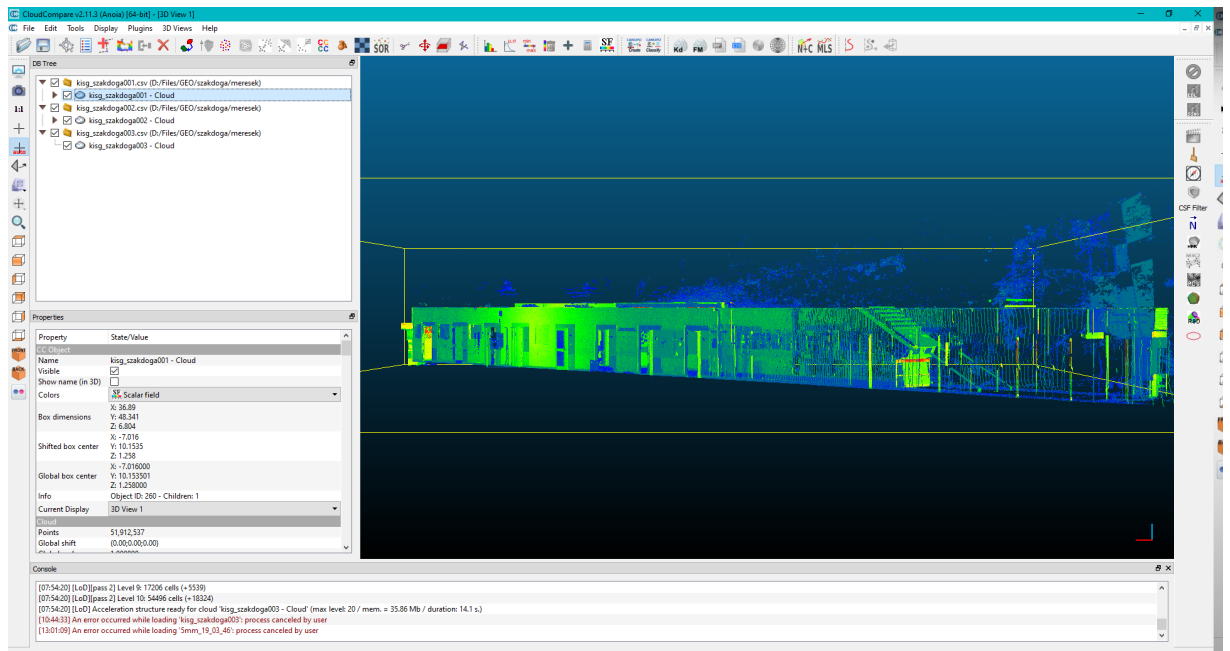
Forrás: CloudCompare v2.6.1 - User manual.pdf / <http://www.cloudcompare.org/>

FBX	.fbx	Autodesk (Filmbox) File format ¹³	X	X	ASCII or binary	>1	>1		Normals Colors (RGB) Materials and texture
DXF	.dxf	Autocad DXF format ¹⁴	X	X	ASCII	>1	>1	Polyline(s)	Normals Colors (RGB)
SHP	.shp	ESRI Shape file format ¹⁵	X	X	binary	>1		Polyline(s) polygon(s) Contour plot(s) etc.	Scalar fields (1 per entity)
PDMS	.pdms .pdmsmac .mac	PDMS macros	X		ASCII		>1	Primitive(s)	
RASTER	.geotiff, etc.	Common raster formats (GDAL) ¹⁶	X	X ¹⁷	binary	1			Layers (as scalar fields)
OUT (Bundler)	.out	Bundler SfM output file ¹⁸	X		ASCII	(1)		Calibrated picture(s) 3D keypoints	
2D images	.jpg *.png *.bmp etc.	Standard images			binary				
PV	.pv	Point cloud + scalar field	X	X	binary	1			Scalar field (1)
PN	.pn	Point cloud + normals	X	X	binary	1			Normals
SOI	.soi	Mensi/Trimble Soisic laser scanner	X		ASCII	>1			Colors (I)
POV	.pov	Multiple stations (meta file)	X		ASCII + both	>1			All + sensor poses
ICM	.icm	Cloud + calibrated pictures	X		ASCII + both	1		Picture(s)	All + camera poses
Geo-Mascaret	.georef	Mascaret profiles ¹⁹	X		ASCII			Profiles (polylines)	
Sinux	.sx	Sinux curves	X	X	ASCII			Polylines	
CSV matrix	.csv	Cloud as 2D1/2 matrix	X		ASCII	1			

31. ábra: „CloudCompare” által támogatott fájlkiterjesztések

Forrás: CloudCompare v2.6.1 - User manual.pdf / <http://www.cloudcompare.org/>

A programablakban „hagyományos” elrendezés látható:

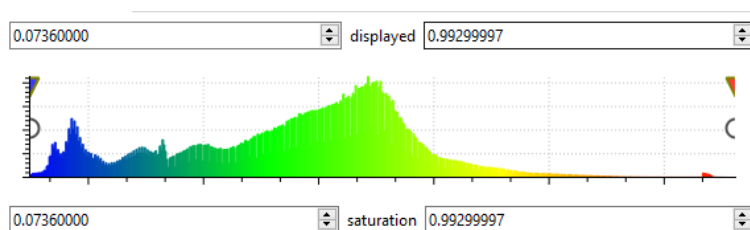


32. ábra: „CloudCompare” felhasználói környezet
Saját kép

Bal felül a menüsor, alatta az eszköztár fontosabb elemei, a bal szélén a navigációt segítő beállítások találhatóak meg. A bal oldali felső rögzített ablakban található a fájl böngésző, ahol lehetőség van aktívvá tenni a szerkeszteni kívánt állományt/állományokat. A böngésző alatt a tulajdonságok ablak van, melyben számos információt megtalálni az aktívvá tett állományokról. Alul pedig a konzol helyezkedik el. Az ablak jobb szélén különböző bővítmények műveleteihez férhetünk hozzá.

10.1 Scalar Field - Skaláris mező/érték

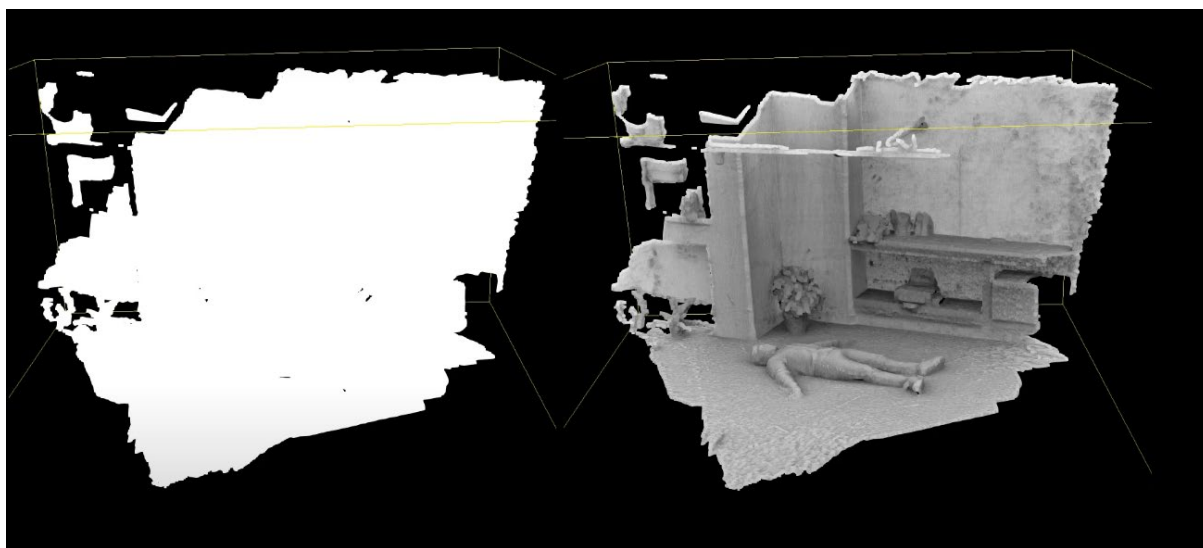
Intenzitás érték, lehet például hőkamera által érzékelt hőmérséklet, lézerszkennerral mért intenzitás. Jelen esetben az alacsonyabb intenzitású részek sötét kékkel jelennek meg, a zöldön át vezető piros színbe, ami a legintenzívebb visszavert sugárzást jellemzi. Ez hasznos, mivel amikor nincs RGB adat a pontokhoz, így mégis átláthatóbb a pontfelhő. Esetünkben sajnos szoftver hiány miatt nem volt lehetőség színhelyes pontfelhő előállítására a C10 állományaiból, így a mellékelt képeken az intenzitás szerint színezett pontok láthatóak. Lehetőség van módosítani az intenzitás terjedelmét, valamint a szaturációt is.



33. ábra: Megjeleníteni kívánt terjedelem, szaturáció
Saját kép

10.2 Ambient Occlusion

Segítségével lehetőség van egy mesterséges skálár mezőt létrehozni, és ezáltal átláthatóbbá tenni azokat az állományokat, amelyek nem rendelkeznek sem intenzitással, sem RGB adatokkal. Működési elve a sugárkövetésen alapul, azt vizsgálja, hogy melyik pont, melyik pontot fogja takarni, és ez alapján a takart pontnak az intenzitását alacsonyabbra állítja, ami sötétebb részt eredményez. Leegyszerűsítve: mesterséges árnyékolás.



34. ábra: Ambient Occlusion
Forrás: CloudCompare Basics I / <https://youtu.be/4DtyL7xmBl0>

10.3 Measurements and Point Picking

- A „Point picking” eszközzel lehetőség van kiválasztani egy tetszőleges pontot, amelynek az információit meg lehet jeleníteni, mérést lehet végrehajtani, kettő, vagy akár három pont között is, amelyek rögzíthetők, így később is látható a mért távolság.

- A „Point list picking” eszközzel pedig a grafikusán kijelölt pontok listája gyűjthető le és exportálható, akár szöveges dokumentumként is.

10.4 Editing Tools- segmentation, deleting, merging, scaling

- Segmentation: segítségével kivágásokat készíthetünk pontfelhőnkben
- Deleting: a kivágott, szegmentált részek közül törölhetők a már szükségtelen pontfelhők
- Merging: a szétarabolt állományok újraegyesíthetők a merge eszközzel
- Scaling: lehetőség van módosítani a méretarányt, ugyanis előfordulhat, hogy bizonyos fotogrammetriai állományok nem rendelkeznek méretarányal

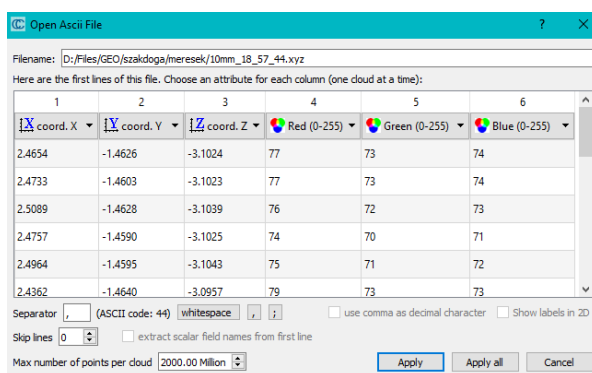
10.5 Registration- Transformation tools, Point picking

- Translate/Rotate: ezzel az eszközzel manuálisan lehet mozgatni a pontfelhőket, durva illesztésre alkalmas csupán
- Aligning two point clouds by point picking: használatához aktívvá kell tenni két pontfelhőt, azután ki kell választani melyik legyen a referencia állomány és melyik a mozgatott. Ki kell választani lehetőleg egyenletesen elosztva legalább három közös pontot, ami alapján az egyesítés végrehajtható lesz.
- Finely registering: finom igazítást hajt végre, már összeillesztett pontfelhők között

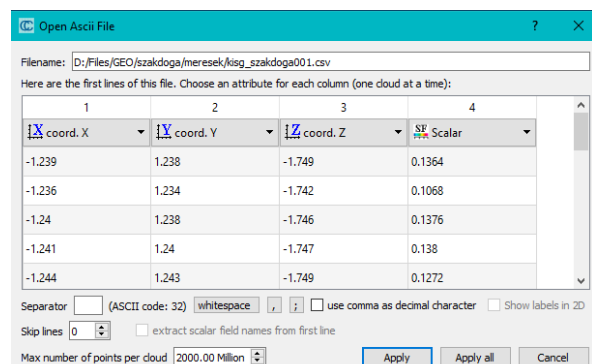
11 FELDOLGOZÁS

A feldolgozást két részben végzem. Az első felében a két műszer által előállított pontfelhők összehasonlítása, a másodikban pedig az iskola magasföldszinti folyosójának és tanácstermének pontfelhője a C10 által felvételezve, valamint egy-egy hiányzó, kitakart rész hozzáillesztve a telefonnal készített állományokból.

Az első lépés az állományok behívása a programba. A mellékelt képeken látható, hogy a telefonnal készített pontfelhő tartalmaz színadatokat, még a C10-esé csak intenzitást.



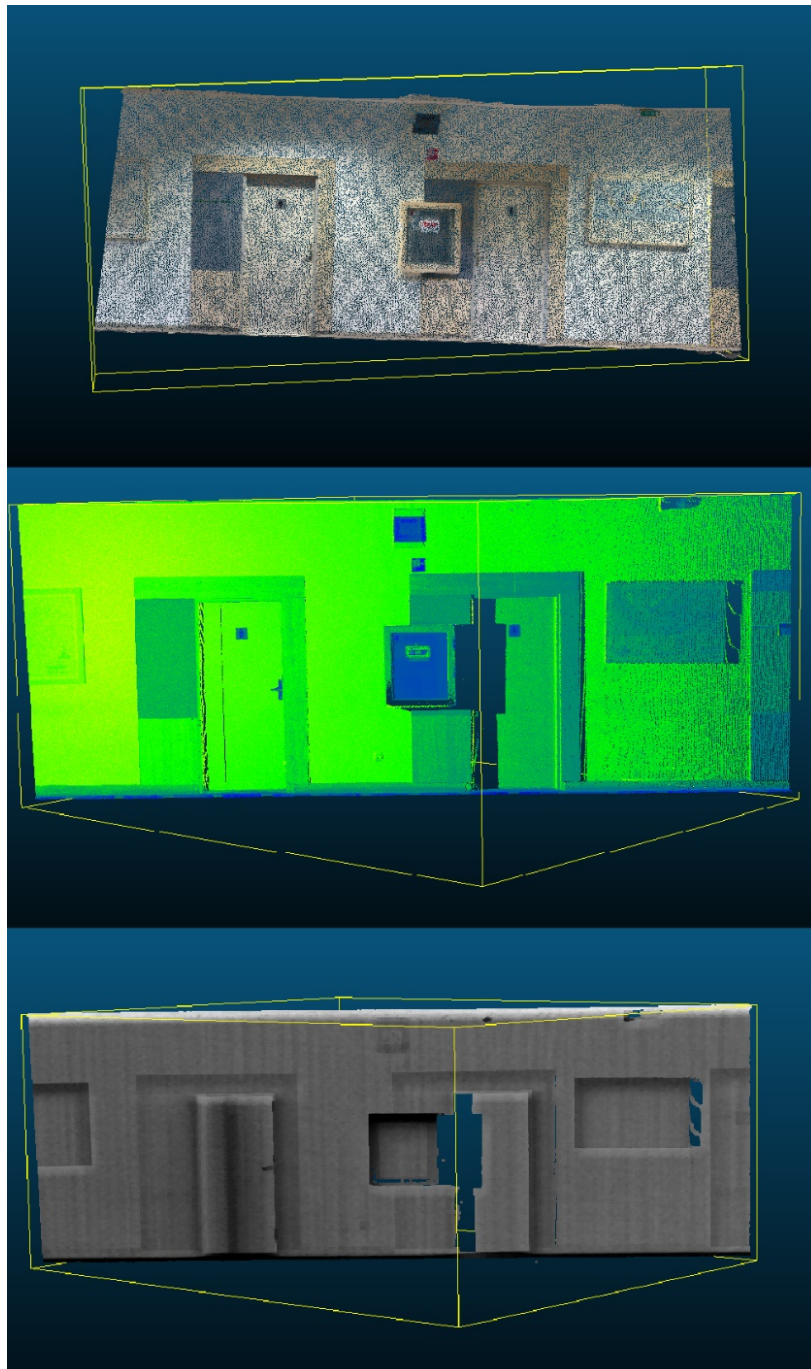
35. ábra: CloudCompare állomány importálás, Iphone
Saját kép



36. ábra: CloudCompare állomány importálás, C10
Saját kép

Ezután, hogy a két pontfelhő átlátható legyen, a telefonnal felvételezettet a „Translate/Rotate” eszközzel a másik mellé mozgattam. A több perspektívából való megtekinthetőség jegyében alkalmaztam a „ShadeVis” eszközt a színhelyesség nélküli pontfelhőre, de mivel kevés a kiemelkedő, egymást takaró pont, így ez a megoldás nem nyújt elegendő átláthatóságot. Ebben az esetben a színes intenzitás értékekkel átláthatóbb az eredmény, ezért az eredeti skalár megjelenítést használtam. Nekiláttam a vizsgálni

kívánt részek kimetszéséhez. A kivágatok készítéséhez a „Segmentation” olló ikonú beépített funkciót használtam, mellyel egyúttal elvégeztem a fölös pontok eltávolítását is. A felmérés ideje alatt a folyosón többen is elsétáltak, ami miatt a mérés szempontjából káros/felesleges pontok kerültek az állományba. Ezek a pontok gyakorlatilag egy-egy szeletet ábrázoltak az elhaladó személyből.



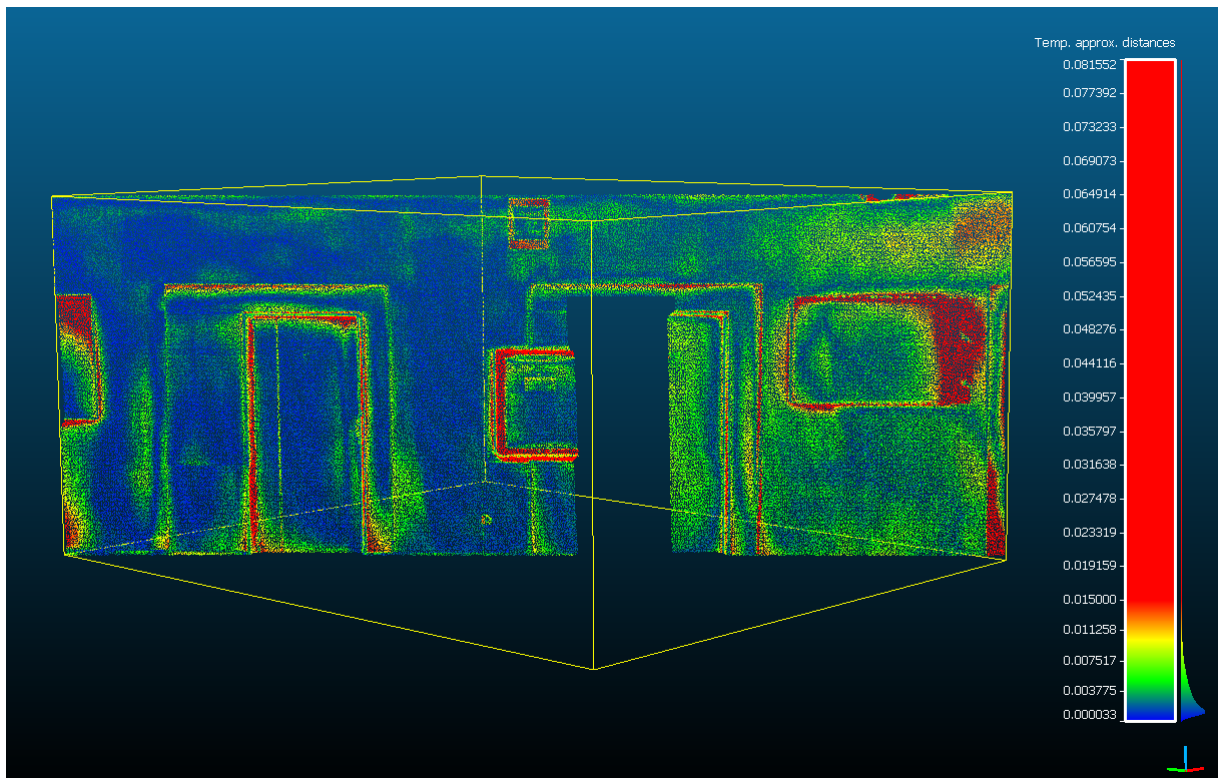
37. ábra: 1. Iphone színhelyes; 2. Leica skalár; 3. Leica ambient occlusion
Saját kép

A következő lépés a két pontfelhő egymáshoz illesztése, melyet az „Align two clouds by picking equivalent point pairs” funkcióval hajtottam végre. Ehhez először meg kellett adni, hogy melyik pontfelhőt szeretnénk mozgatni és, hogy melyik legyen a referencia(fix) állomány. Referencia állománynak a Leica C10-es által bemért pontokat állítottam be, az Iphone telefon által készített pontfelhőt pedig igazítandó bemenetnek. Jelen esetben ennek különösebb jelentősége nincsen, mivel egyik mérés sincs semmilyen vonatkoztatási rendszerbe felvéve, mivel a pontosság összehasonlításához ez szükségtelen, legalábbis esetünkben. A megnyíló ablakban két üres mező található, ahol majd a pontpárok fognak megjelenni. Lehetőség van elrejteni és megjeleníteni a pontfelhőket, az áttekinthetőség érdekében. Keresni kell legalább három, mindkét állományban jól felismerhető (közel) azonos pontot és felvenni azokat a listára. Személy szerint úgy döntöttem, inkább legyen egyel több közös pont, mint a minimum, így én négy pontpárt rögzítettem. A felvett pontokat igyekeztem egyenlően elosztani a felületen a sikeresebb illesztés érdekében. Érdemes felületek, tárgyak széleit, sarkait, találkozásait használni -e célra, ezek könnyebben felismerhetőek. Ezután alkalmaztam egy úgynevezett „finom igazítást”, ami nem más, mint a „Fine registration” algoritmus, ami segítségével még precízebb illesztés hajtható végre. A mérés közben sajnos a jobb oldali ajtót kinyitották, így más állásban lett felvételezve, mint a telefonos rögzítés közben, ezért a jobb oldali ajtó pontjait eltávolítottam mindkét állományból az összehasonlításhoz. A következő lépés a pontfelhők közötti távolságok számítása volt. Ezt a „Cloud to cloud distance” eszközzel végeztem el, melynek eredményeként megkaptam a következő ábrákat, hisztogramokat.

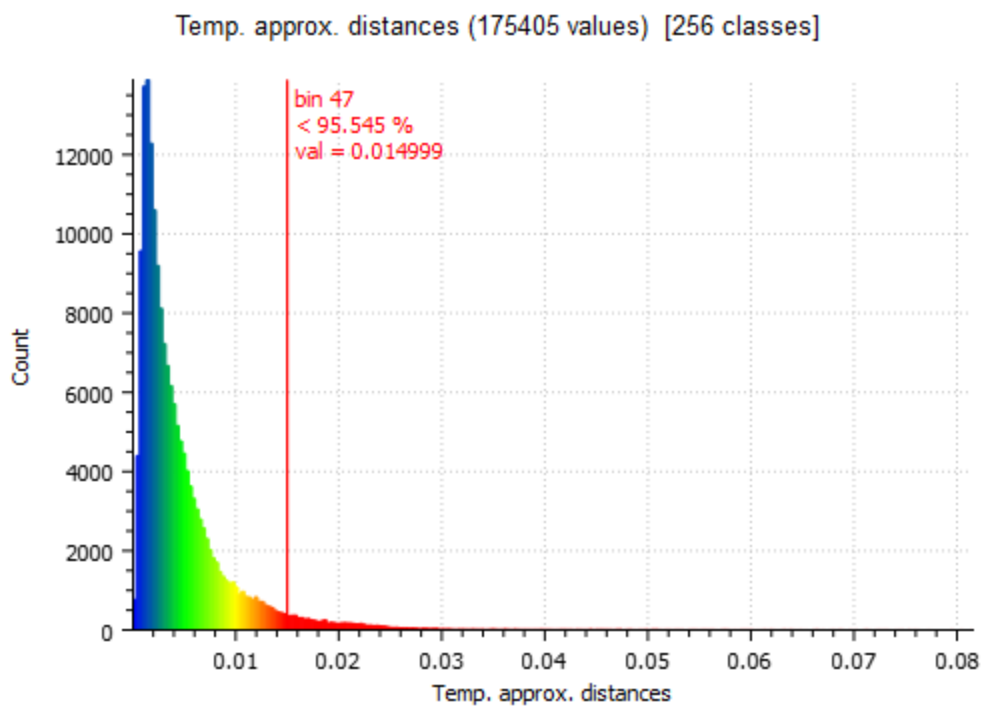
11.1 Összehasonlítás: folyosó - mosdók ajtajai

Összesen: 175.405 pont

A vizsgált pontok 99%-ában az eltérés 2,5 centiméter alatti, ami tekintve a telefonos felvételezés felbontását (10mm) elfogadható eredmény. Számomra 15 milliméter volt a kitűzött hibahatár cél, amit a pontok 95%-ának sikerült teljesítenie. Az figyelhető meg, hogy a két állomány a sík felületeken eléggé egybevág, eltérések inkább a törések, ajtók eleinél tűnik fel. Ezek a különbségek részben az eltérő szögből való szkennelés miatt is jöhetnek ki.



38. ábra: 1. Összehasonlítás: folyosó - mosdók ajtajai (pontfelhő-pontfelhő távolság)
Saját kép



39. ábra: 1. Összehasonlítás: folyosó - mosdók ajtajai hisztogram (pontfelhő-pontfelhő távolság)
Saját kép

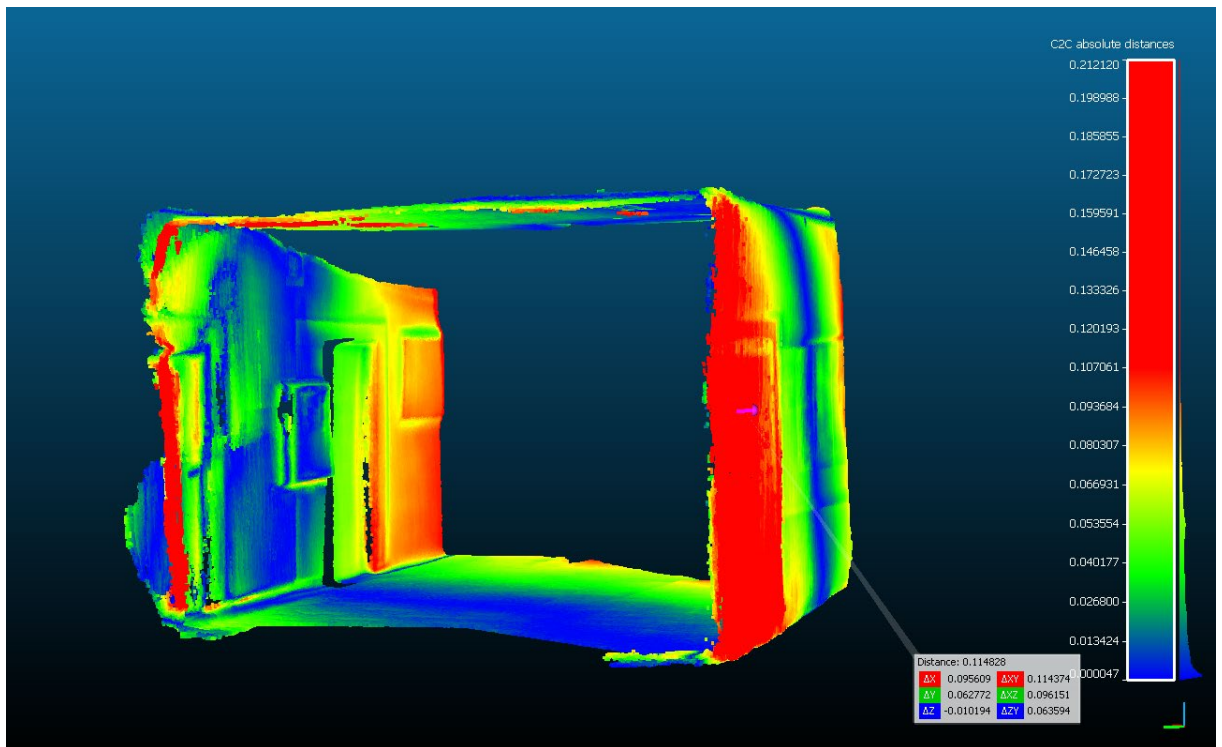
11.2 Összehasonlítás: folyosó - teljes keresztmetszet

Összesen: 429.273 pont

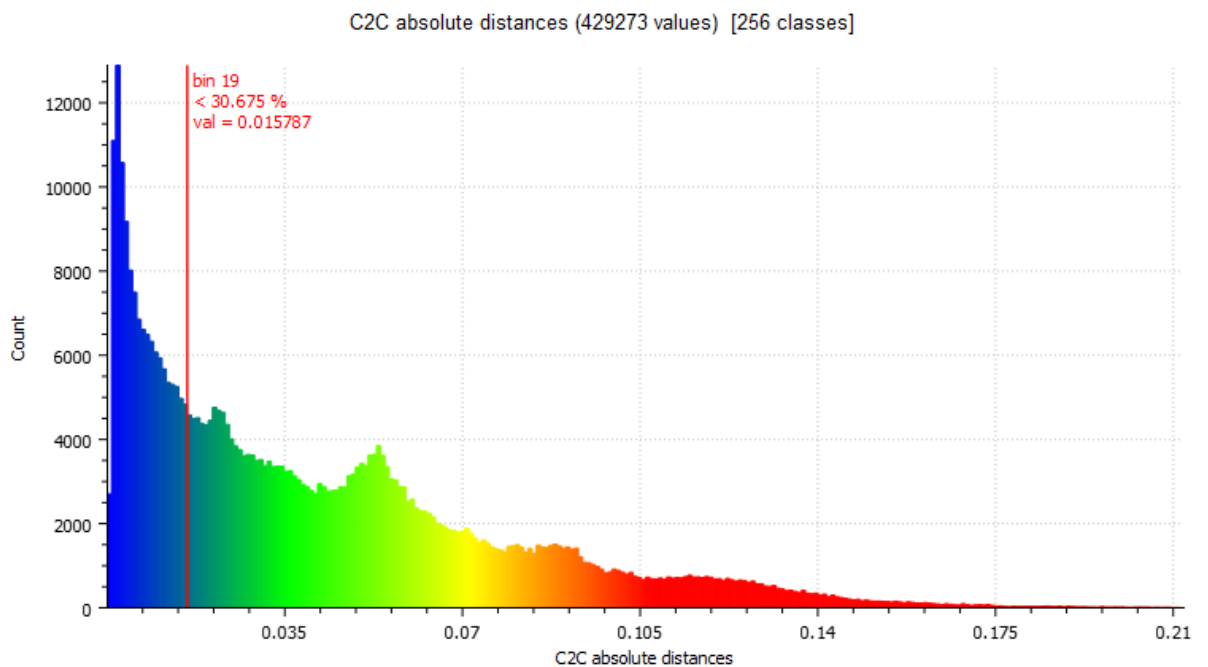
Az előbbi összehasonlításnál egy ideális esetet szemléltettem, viszonylag aprólékos felvételezéssel. A következő összehasonlításnál a folyosóból egy „teljes szeletet” vizsgállok, amely a falakat, a mennyezetet és a padlót is tartalmazza, itt már bonyolultabb a telefon számára a négy sík illesztése, ami nem is sikerült tökéletesen. Ez egy „gyorsabb” mérés a többihez képest, ami csupán pár másodpercig tartott a telefonnal. Erre azért is került sor, mert amikor részletesen és lassan próbáltam végrehajtani a mérést, a telefont összezavarta valószínűsíthetőleg a mennyezet és nem tudta helyesen leképezni azt. Úgy gondolom, a mennyezeti lámpatestek belsejében található fényvisszaverő réteg és a giroszenzor okozhatta a zavart. Gyors és határozott pásztázó mozdulatokkal viszont sikerült rögzíteni egy szeletet a folyosóból.

Itt már nem olyan szép eredmények jöttek ki sajnos. Csupán a pontok 30%-a fért bele a 15 milliméteres intervallumba. És az előző méréshez hasonlítva csak kevesebb mint fele pont, számszerűen 42%-nyi pont távolság különbsége kisebb 25 milliméternél. A 90%-os pontarányt nézve már 9 centiméterre emelkedett az átlagos eltérés mértéke.

Az figyelhető meg az intenzitással ellátott pontfelhőn, hogy a középső területeken kisebbek az eltérések, még a felmérés „szélei” felé haladva egyre pontatlanabb a pontfelhő, ami arra utalhat, hogy a mérés széleinél még nem sikerült elegendő korrekciós számítás/mérést végeznie a telefonnak.



40. ábra: 2. Összehasonlítás: folyosó - teljes keresztmetszet (pontfelhő-pontfelhő távolság)
Saját kép

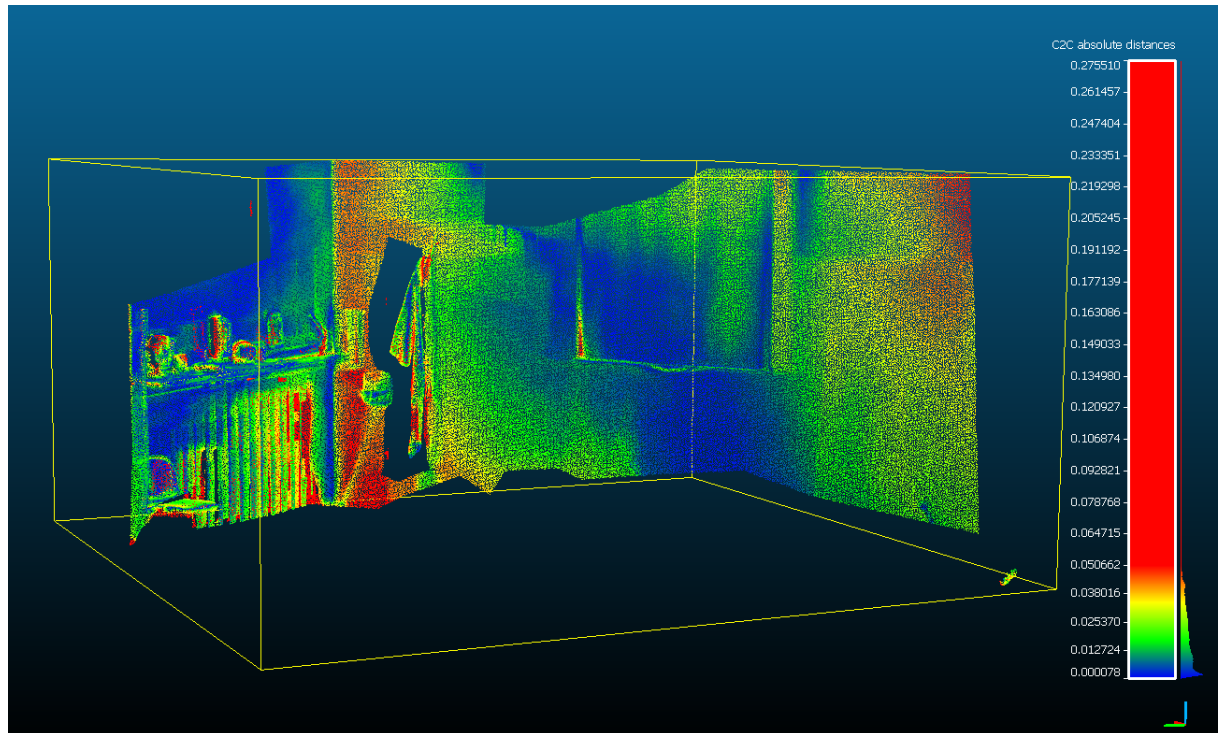


41. ábra: 2. Összehasonlítás: folyosó - teljes keresztmetszet hisztogram (pontfelhő-pontfelhő távolság)
Saját kép

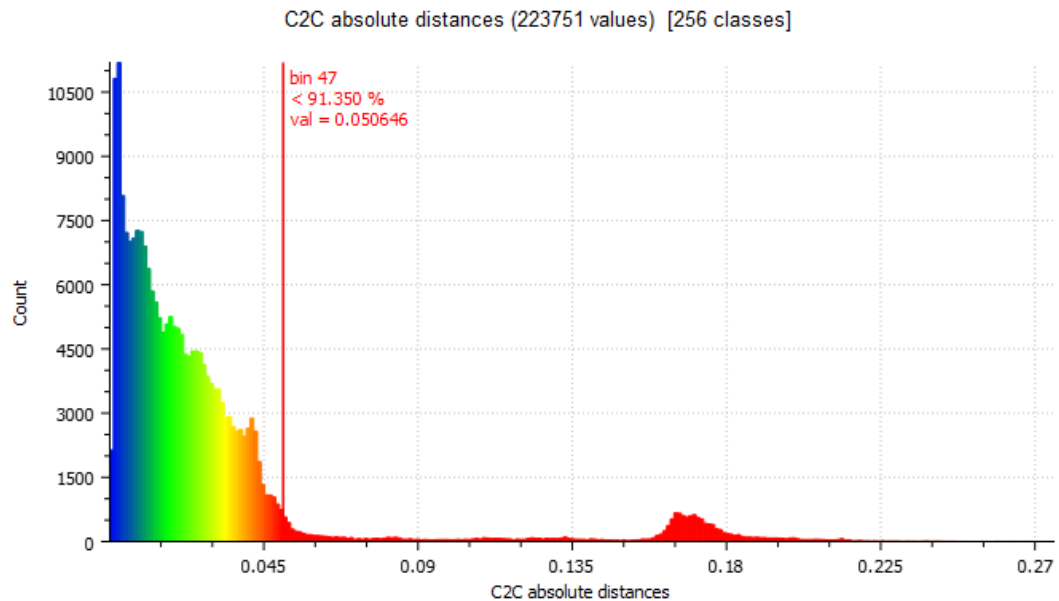
11.3 Összehasonlítás: tanácsterem

Összesen: 223.751 pont

A következő mintaterület a tanácsterem volt, ahol a következő eredmények születtek:
15 milliméternél a pontfelhő 44 százaléka mutatott kisebb eltérést.
A pontok jelentős része (90%) kisebb eltéréssel rendelkezik, mint 5 centiméter.



42. ábra: 3. Összehasonlítás: tanácsterem (pontfelhő-pontfelhő távolság)
Saját kép



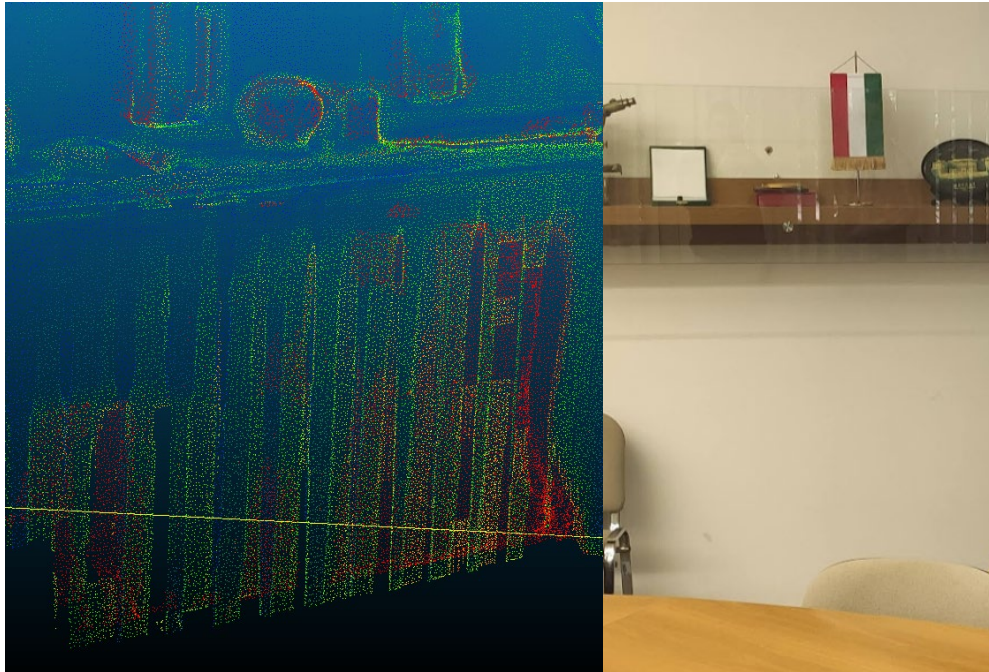
43. ábra:3. Összehasonlítás: tanácsterem (pontfelhő-pontfelhő távolság)
Saját kép

A mellékelt képen is látszódik, hogy sajnos sokat kellett kivágni a pontfelhőkből. Ez több okból is szükségessé vált. Az első indok, hogy a C10-es pontfelhője az egész helyiséget tartalmazza, a telefonnal csak bizonyos részek kerültek rögzítésre. A második ok, hogy a c10-es egy, illetve a tanácsterem esetében kettő álláspontból rögzítette a pontokat, melyek így nem ábrázolják a különböző objektumok, falak takarásában levő tárgyakat. Az Iphone esetében nem megoldható az egy álláspontból történő rögzítés, mivel a hatótávolsága körülbelül öt méter. Így a rögzítés kézből zajlott, sétálva, ami miatt a tárgyak mögötti pontokat is bemérte a telefon. Azért, hogy a pontfelhők összehasonlítását minél kevesebb ilyen fals pont terhelje, ezeket a területeket, ahol csak lehetett kitöröltem csak úgy, mint az előző méréseknél például a mosdó ajtajánál.

Az ábrán azt lehet megfigyelni, hogy a pontosság csökken a sarkoknál, ahol a bal oldal esetében egy zászló található, a jobb oldalon pedig egy függöny volt, amit a túl magas pontkülönbség miatt már kivágtam. A függöny esetében minden függöny „hullám” másik oldala fals pontokat tartalmazott.

Érdekesség még, hogy a konferencia teremben volt egy polc, aminek egy üveglap volt az elejére erősítve és az alatta levő fal hasábokban került rögzítésre. A hasábok mögött a „falban” pedig egy hamis falat is ábrázol a pontfelhő. Ez másik méréseknél is megfigyelhető volt, hogy az üveg, illetve a tükröződésre különösen alkalmas anyagok

hamarabb megzavarták a mobiltelefont, mint a geodéziai szkennert. A C10-es esetében is képződtek le tökrözőtt pontok, de ott nem vált használhatatlanná az a rész sem, nem úgy mint az Iphonnál sajnos.



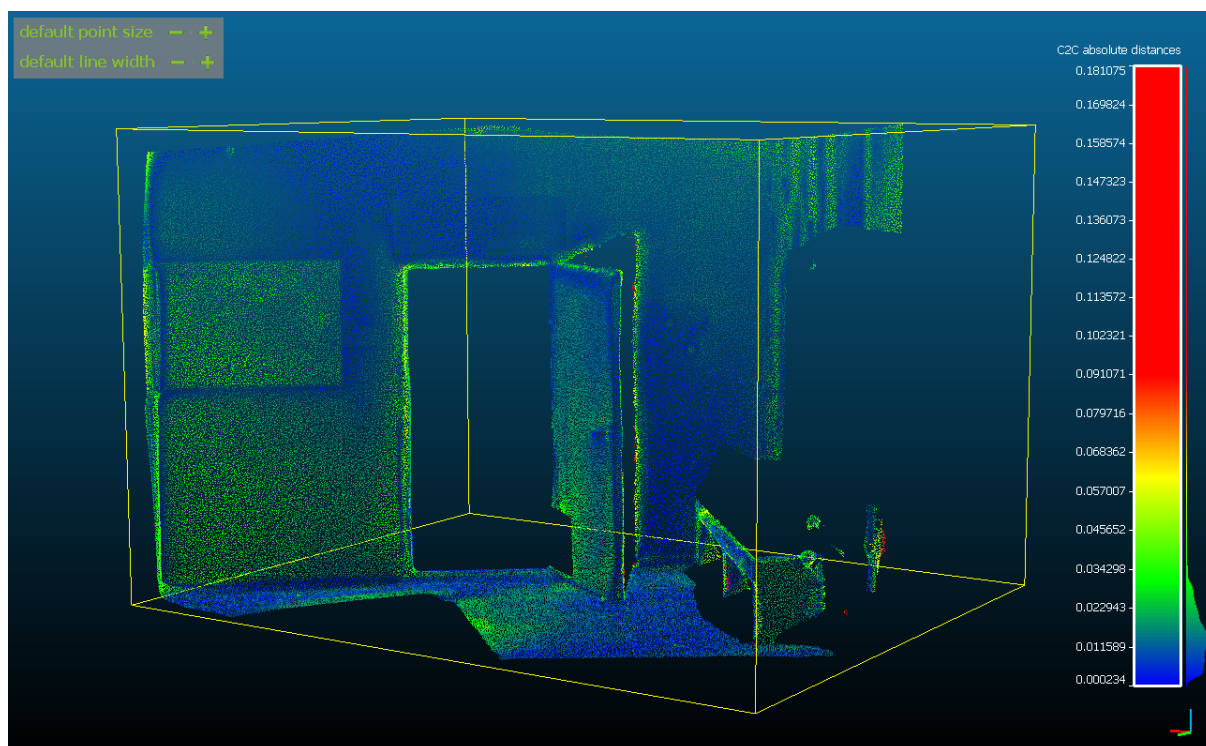
44. ábra: Üveglap alatti fal hibás leképződése
Saját képek

11.4 Összehasonlítás: folyosó - konyhába vezető ajtó fala

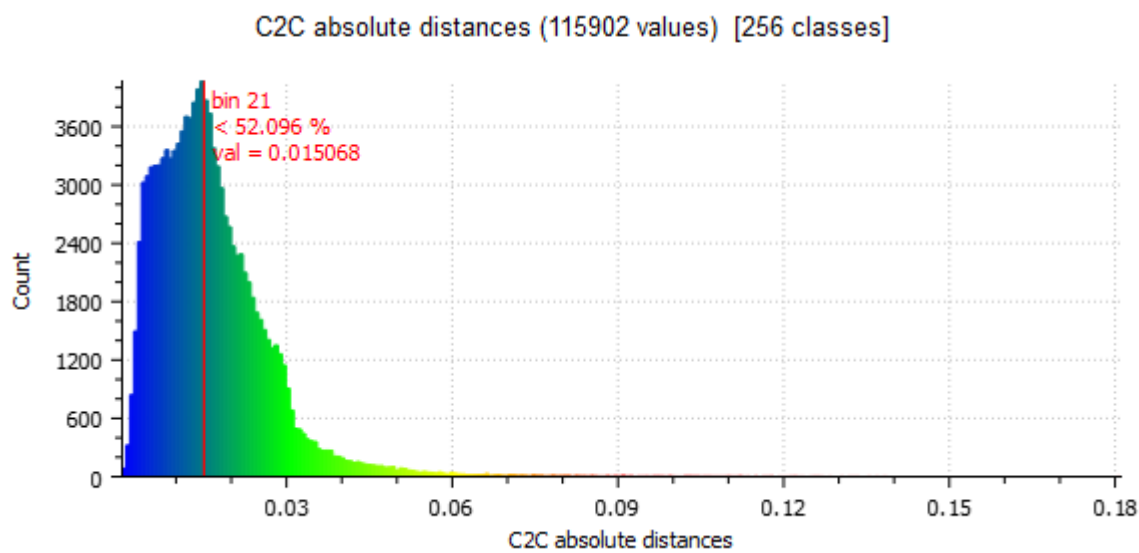
Összesen: 115.902 pont

A pontossági modell-összehasonlítást a folyosó végén található fal és környezete felvételezésével zárom. Igyekeztem a C10-eséhez hasonló szögéből végrehajtani a mérést, de így is születtek olyan pontok, amelyek csak a telefonos pontfelhőben szerepeltek, ezek eltávolítása után egész szép eredményt mutatott a program. A képen már nem szerepelnek a növények amelyeket kivágtam az állományból. Viszont összehasonlítva az a különbség látszódott, hogy az Iphone ezeket az apró levelű, vékony szárú növényeket képtelen rögzíteni, nem elég sűrű a kivetített pontrács ehhez.

A pontok 52%-a 15 milliméternél nem nagyobb mértékben tér el. És 90%-a az állománynak 28 miliméternél kisebb eltéréssel rendelkezik.



45. ábra: 4. Összehasonlítás: folyosó - konyhába vezető ajtó fala (pontfelhő-pontfelhő távolság)
Saját kép



46. ábra: 4. Összehasonlítás: folyosó - konyhába vezető ajtó fala hisztogram (pontfelhő-pontfelhő távolság)
Saját kép

11.5 Összesítés:

Összesen 944.331 mobiltelefonnal rögzített pontot vizsgáltam, ebből 454.134 pont felelt meg a kitűzött 15 milliméteres hibahatárnak, amely a pontok 48 százaléka. Ez az arány

sajnos alul maradt a vártakhoz képest, viszont az eredmények tudatában bizonyos műveletekre ezzel a megbízhatósággal is alkalmas lehet a telefonkészülék.

11.6 Különbségek az 5, illetve 10 milliméteres felbontással készült modellek között

Arra a következtetésre jutottam a szkennelések során, hogy a felmért pontok eloszlása egyenletesebb, valamint, hogy szebb modellt készíthet 10 milliméteres beállítással a telefon. Nem utolsó sorban stabilabban üzemel 10 milliméteres beállítással, illetve nagyobb a maximális bemérhető állomány mérete ezzel a beállítással. A kisebb felbontással néhány négyzetméter után leállította a szkennelést.

A kisebb, 5 milliméteres modelleken, igaz a pontok jó része közelebb helyezkedett el egymáshoz (0,4-0,8mm), viszont a 10 milliméteres beállítással egy sokkal egyenletesebb eloszlású pontfelhőt kaptunk (a pontok nagy része 1 milliméteres közökkel látható), melyben előfordultak közelebb eső pontok is.

11.7 Szkennelési sebesség összehasonlítása (Pont bemérés + fényképezés együttléve)

Az Iphone szkennelési sebessége, saját tapasztalatokra épülő számítások alapján:

1. Vizsgált mérésnél: ~700.000 pont / perc; ~12.000 pont / másodperc.

A C10 sebessége, szintén saját számítások alapján:

1. Vizsgált mérésnél: ~1.500.000 pont / perc; ~25.000 pont / másodperc.
2. Vizsgált mérésnél: ~1.450.000 pont / perc; ~24.000 pont / másodperc.

12 FÖLDI LÉZERSZKENNERES MÉRÉS KIEGÉSZÍTÉSE MOBILTELEFONOS LÉZERSZKENNERREL

Dolgozatomban a két eszköz által előállított pontfelhők összehasonlításán kívül, alternatív felhasználási lehetőségeket szeretnék bemutatni, mint földmérő.

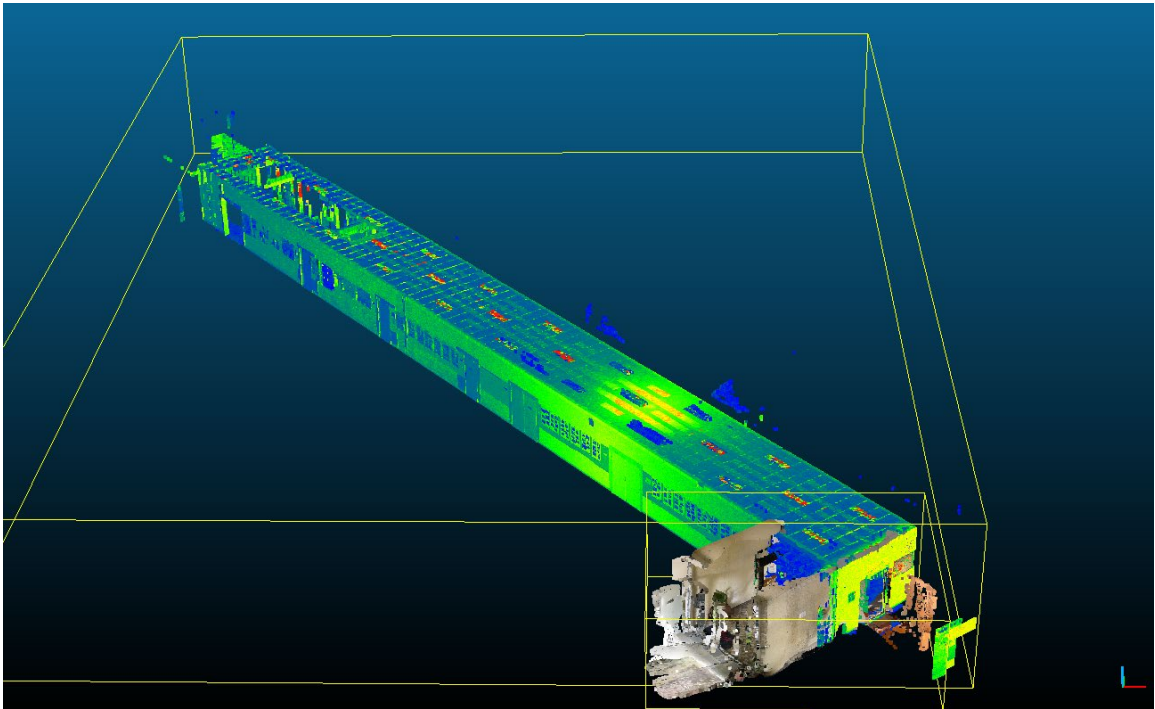
A pontossági vizsgálatok azt mutatták, hogy a telefonos pontfelhők nem feltétlenül elegendőek geodéziai mérésekhez. Ezáltal az az ötletem támadt, hogy esetleg egy földi lézerszkennerral felmért épület azon részeiről, helyiségeiről lehetne gyors, 3D-s állományokat készíteni a telefonnal, amit egyébként nem lenne szükséges bemérni, vagy túl sok energiát, időt venne igénybe a felmérése. Viszont az elkészült pontfelhőt a telefonos állományok segítségével átláthatóbbá lehetne vele tenni, relatív kevesebb befektetett munkával. Egyszóval ezeket a pontfelhőket a földi lézerszkennerréhez igazítva egy kiegészítő opcióként lehetne felhasználni. Ezt az elméletet mutatom be a következő részekben.

12.1 Ipari pontosságú pontfelhő kiegészítése mobiltelefonos lézerszkennerral (helyiségek)

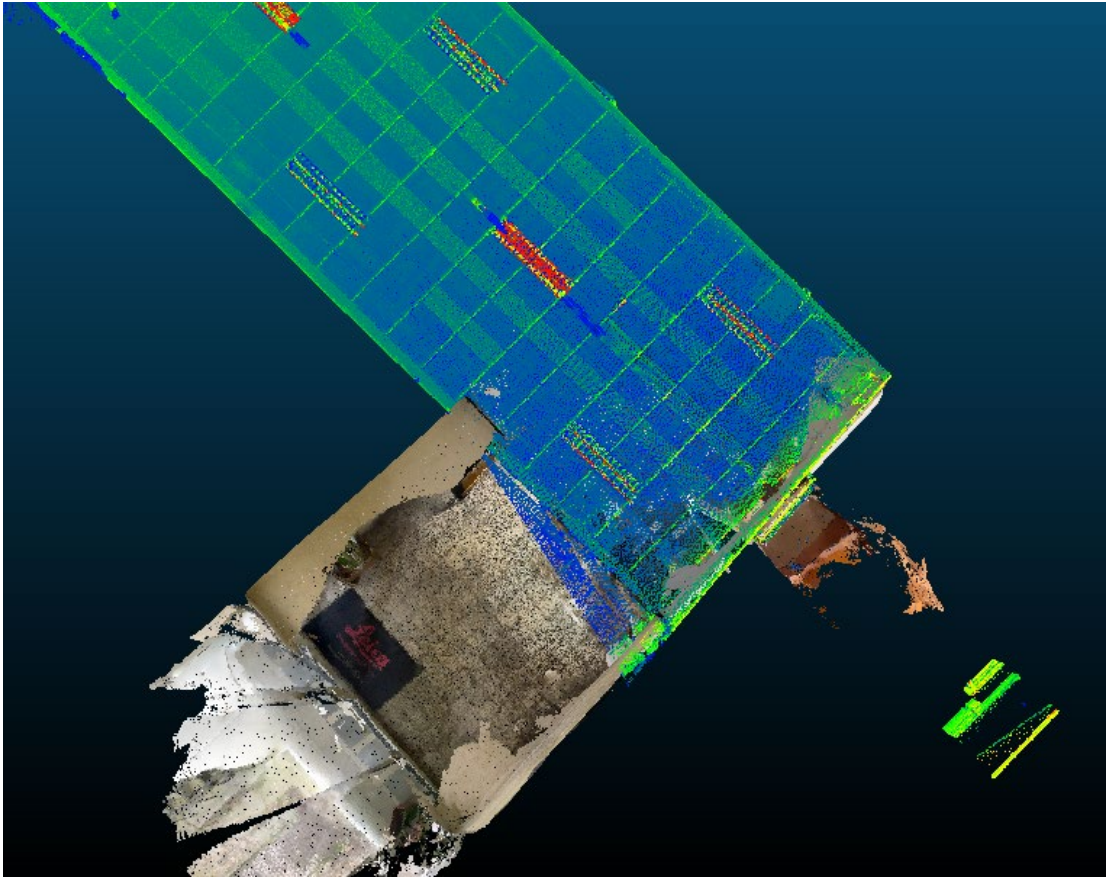
A folyosón, a C10-el egy álláspontból végzett mérés pontfelhőjét terveztem kiegészíteni a telefonnal bemért, folyosóhoz kapcsolódó helyiségek modelljeivel. Ezeket a modelleket az „align” funkcióval mozgattam a helyükre. A folyosó végi, konyhába vezető helyiséghez valami hiba miatt sajnos nem sikerült legenerálni az RGB értékeket, így a „ShadeVis” eszközzel készítettem ehhez egy ábrázolásmódot, de mivel kevés volt a kiugró él, felület, így nem sikerült elég közös pontot találni az illesztéshez, így ezt a helyiséget kihagytam. A lépcsőnél készített pontfelhőn pedig annyira sok, téves objektumleképezés történt, hogy a felvétel szinte használhatatlan lett, így ezt az állományt sem használtam végül fel. A belső udvarra vezető kijárat viszont elfogadhatóan sikerült, így ezen mutatom be az ötletem.



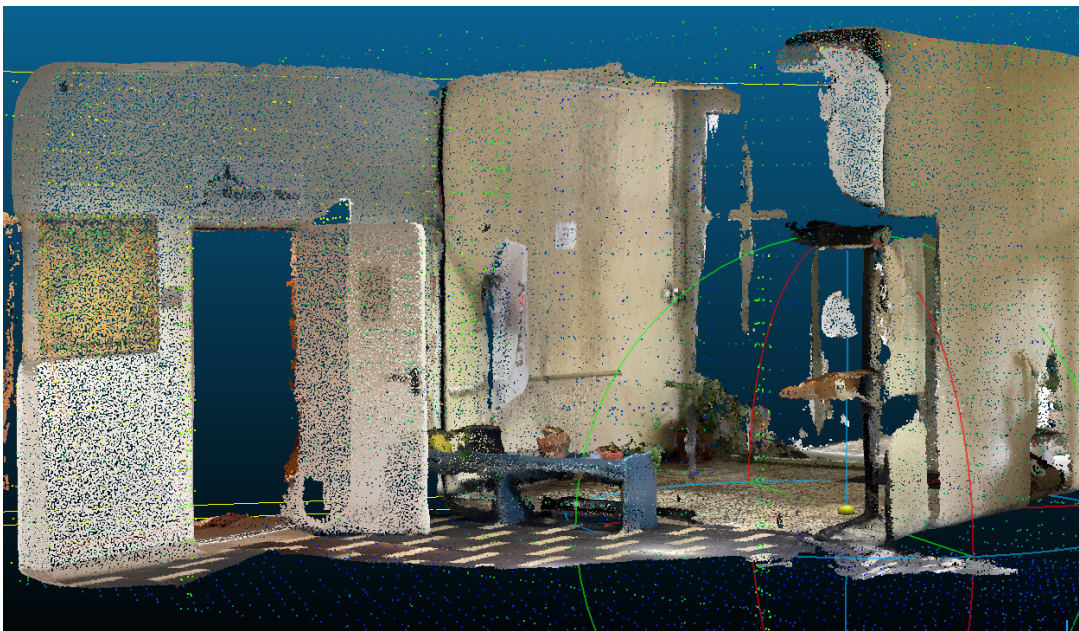
47. ábra: A kihagyásra került felvétel.
Kétszeresen képződött le a folyosó fala, valamint a lépcső is igen zavarosan jelent meg.
Saját kép



48. ábra: A folyosó kiegészítése az udvarra vezető kijáráttal (áttekintő nézet)
Saját kép



49. ábra: A folyosó kiegészítése az udvarra vezető kijárattal (felül nézet)
Saját kép



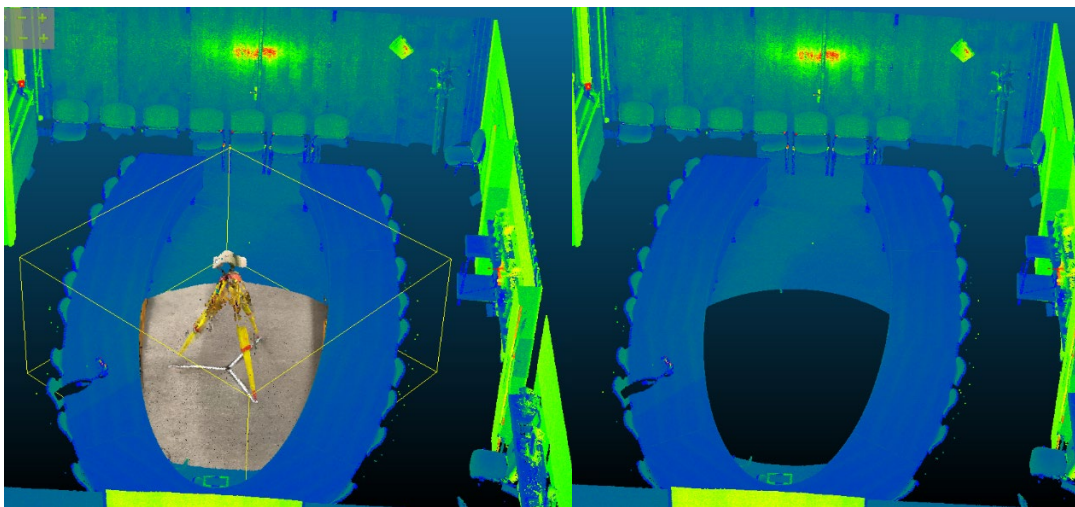
50. ábra: A folyosó kiegészítése az udvarra vezető kijárattal (mobiltelefonos állomány)
Saját kép

12.2 Ipari pontosságú pontfelhő kiegészítése mobiltelefonos lézerszkennerral (kisebb modellek)

12.2.1 Tanácsterem

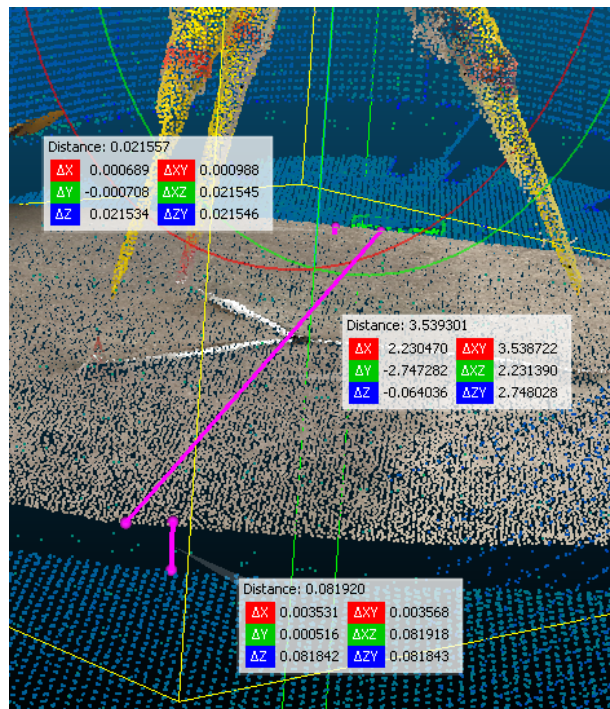
Az inerciális rendszer alacsonyabb mértékű pontosságából kiindulva adódott az ötlet, hogy érdemes lehet inkább csak kisebb modelleket készíteni telefonnal.

Az első példán a tanácsterem közepe látható, a geodézia műszer „vakfoltját” fedtem be a telefonnal készített állománnyal.



51. ábra: Tanácsterem, C10 vakfoltjának pótlása
Saját kép

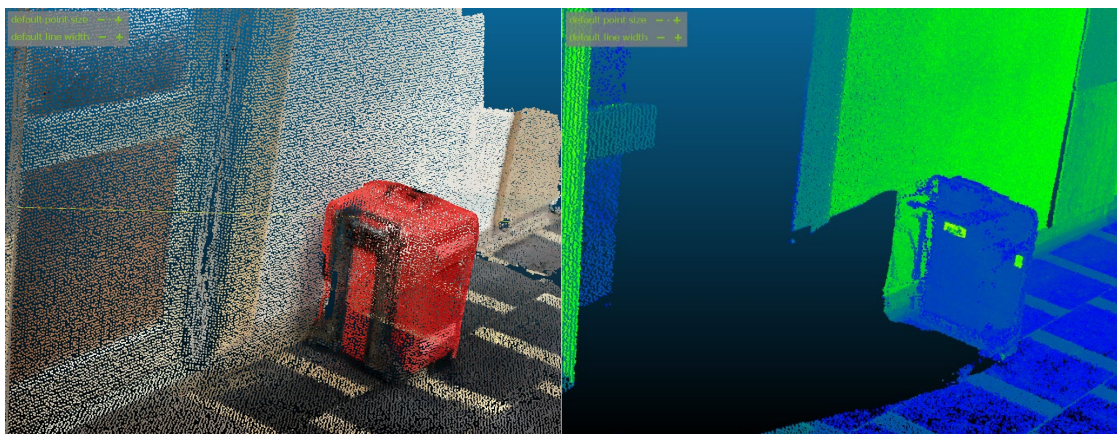
A modell messziről nézve jónak tűnhet, viszont alaposabb szemlélés során sajnos itt sem lenyűgözőek az eredmények. Itt csupán pár métert szkenneltem be az Iphone-nal. A kitöltött folt hosszirányban 3,5 méter hosszú síkfelület, a két legtávolabbi pontján mértem magasságkülönbségeket a C10-es állományaéhoz viszonyítva. Az egyik oldalon ~2 cm volt a távolság különbség, még a másikon ~8 cm volt mérhető. Ez ~6 cm magasságbeli eltérésnek felel meg (~3,5 méteren), amit valószínűleg a távolsági elsodródás okozott.



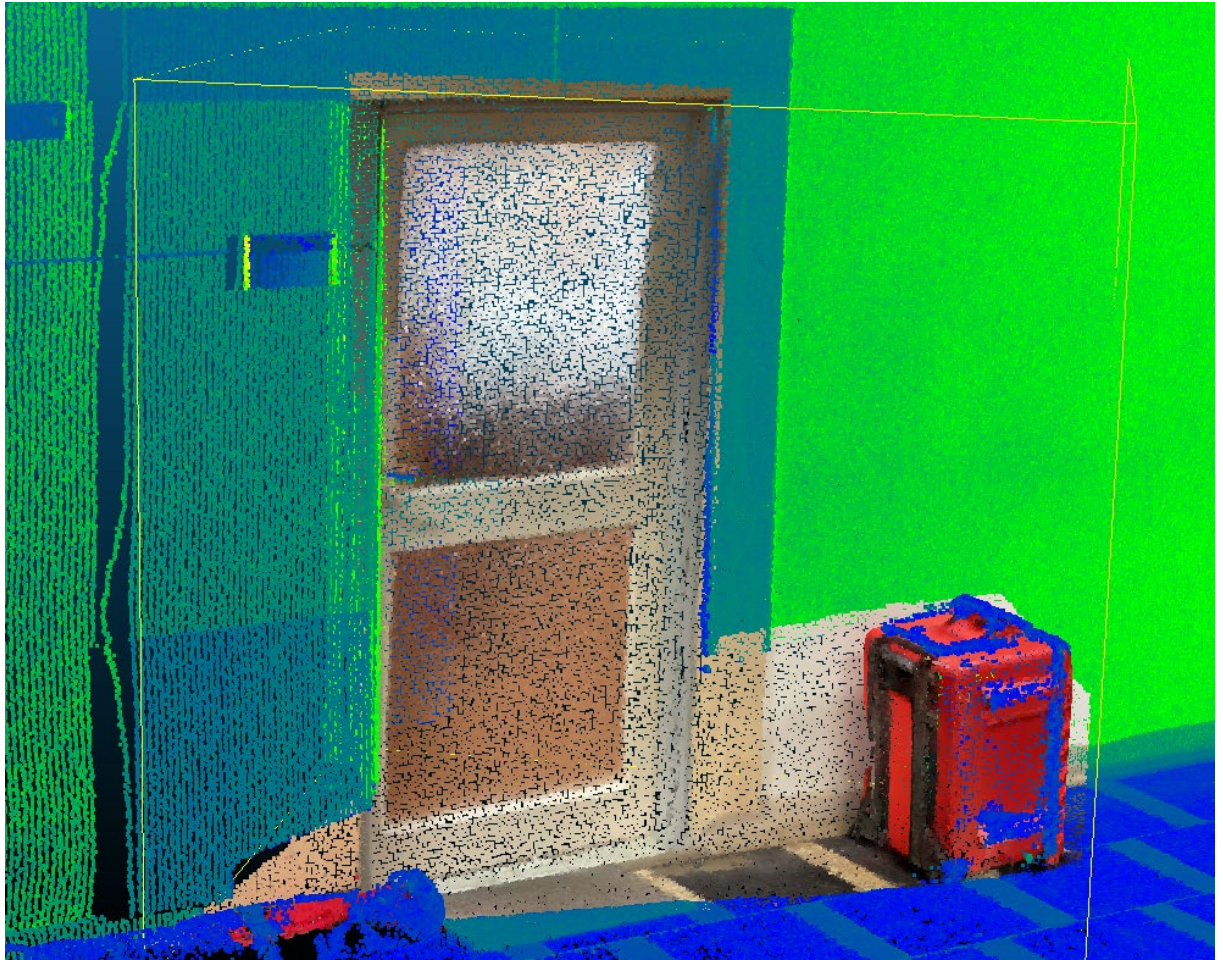
52. ábra: Tanácsterem, C10 vakfoltjának pótlása (pontatlanságok)
Saját kép

12.2.2 Műszerláda

A folyosó C10-el való szkennelése során a műszerláda mögötti néhány négyzetméter, valamint a műszerláda oldalai az elejét kivéve nem látszódtak. Ezt a hiányosságot pótolom a következő képeken. Az illesztés után a legnagyobb eltérést a láda elején lehetett mérni, amely nagyságrendileg 20 milliméter volt.



53. ábra: Bal kép: mobiltelefonos pontfelhő a műszerláda környezetéről
Jobb kép: kivágat a C10 folyosót tartalmazó állományából
Saját képek



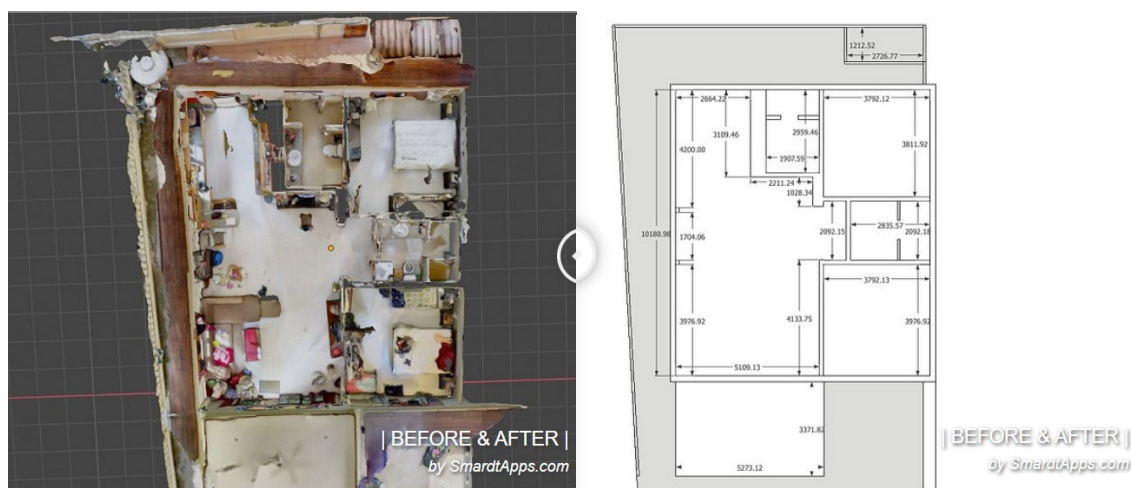
54. ábra: Egyesített pontfelhő a műszerláda környezetéről
Saját kép

12.2.3 LIDAR3D PTE. LTD.

Érdekességgéppen megemlítenék egy szingapúri székhelyű céget, amelyre a téma böngészése során találtam rá. Üzleti modelljük lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy LiDAR-kompatibilis Apple-eszközökkel modelleket készítsenek a kívánt ingatlanokról, amelyeket továbbítanak a vállalat felé, ahol szakemberek CAD 3D-modelleket hoznak ezekből létre. Az elkészült 3D-s állományokat fel lehet használni különböző szimulációkhoz, esetleg eladó ingatlanok virtuális bejárásához, valamint alternatív jövőbeli felújítási lehetőségekhez.



55. ábra: Első példa: eladó ingatlan 3D bejárására alkalmas fájlok készítése
 Forrás: <https://www.lidar3d.io/>



56. ábra: Második példa: tervrajz készítése akár eladáshoz, akár felhíjtáshoz
 Forrás: <https://www.lidar3d.io/>

13 ÖSSZEGZÉS, KONKLÚZIÓ

Dolgozatomban a gyorsan fejlődő mobiltelefonokban elérhetővé vált távérzékelési lehetőségeket ismertettem, melyek közül az Iphone által használt LiDAR-szkennert összehasonlítottam egy geodéziai lézerszkennerral, valamint alternatív használati lehetőségek után kutattam, mint földmérő. Az összehasonlításhoz használt telefon egy Iphone 12 Pro Max készülék volt, a földi geodéziai lézerszkennert pedig egy Leica C10 ScanStation. A mintaterület az Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Karának Geoinformatikai Intézetének földszinti folyosója volt, valamint néhány ezzel szomszédos helyiség(tanácterem; lejáró a konyhához; belső udvarra vezető kijárat; lépcső által kitakart folyosó vége). A C10-essel összesen három álláspontból történt szkennelés, a folyosón, a tanácterem közepén, valamint a tanácterem sarkában. Az Iphone-nal párhuzamosan lehetett dolgozni, miközben a C10-es végezte a szkennelést. A telefonnal számos felvételt készítettem, szükség is volt rá, mert sajnos több állományt is ki kellett hagyni a feldolgozásból különböző okokból. A feldolgozás során fény derült a technológia hatáira, előnyeire, valamint hátrányaira. Nyilvánvalóan nem várható el egy pár százezer forintos telefontól, hogy felérjen egy még használtan is több millió forintos ipari műszerrel, viszont a rohamos fejlődésnek köszönhetően nem kizárható, hogy pár év múlva akár rendelkezni fognak ezen műszerekhez megközelítő pontossággal a mobil eszközök is.

Születtek szebb és kevésbé szép eredmények is a telefonos felmérés során. Maga a szkennert elég korrekten reprodukálta a beállított 5-10 miliméteres felbontást, viszont a bemért felületeket sokszor nem megfelelően helyezte el a térben. Ez az inerciális rendszer által számított pozíció nem kellően precíz meghatározása miatt történik. A szakdolgozatomban vizsgáltam az Iphone által létrehozott pontfelhők pontosságát, ehhez a Leica Scanstation-nel készített pontfelhőket vettem referenciaként. A vizsgálatok során kiderült, hogy általánosságban az mondható el az Iphone-nal készített pontfelhőkről(a pontok >90%-áról), hogy pontossága változó, nem képes állandó minőségben rögzíteni(több mérés is használhatatlanul rossz lett), így az általam rögzített, elfogadhatónak minősített elemeket figyelembe véve a távolság eltérések 20-90 mm között voltak mérhetőek. Az összes felvételezett pontot figyelembe véve pedig a pontok

48%-a kisebb eltéréssel rendelkezik, mint 15mm, a Leicával felvételezett pontokhoz képest.

A végső konklúzió nem más, mint hogy ez az eredmény egyáltalán nem rossz, ismerve a működésének elvét és ennek határait, viszont geodéziai szempontból sajnos kevésnek bizonyul. Az alapvető ötlet a telefon felhasználását illetőleg az volt, hogy ki lehessen vele váltani egy épület belső terének több álláspontból való felvételezését, a takarásban lévő felület szkennelésével, ezzel időt spórolva a felhasználónak. A feldolgozás második felében bemutattam néhány példát erre az ötletre alapozva. Kiegészítettem a műszerládát, amelynek csak a frontja látszódott, valamint a mögötte levő pont nélküli foltot. Kiegészítésre került még a tanácsterem közepén az állvány alatti rész, a műszer vakfoltja is.

Viszont, mivel ez a pontosság sajnos nem elegendő az ipari műszeres mérések kiegészítéséhez, véleményem szerint inkább vizuális szemléltetésre lehetne használni földmérőként. A földi lézerszkennerral bemért, a mérés szempontjából már nem releváns, viszont a megrendelők részére az átláthatóság miatt hasznosnak vélhető kiegészítések elkészítésére tökéletesen megfelelne. Ezt mutattam be a folyosóról a belső udvarra vezető üveg-átjáró telefonos gyors-szkennelésével, valamint hozzáillesztésével a Leica állományához. Így a folyosóról rendelkeztem méretpontos felvétellel, feltételezve, hogy a mérés szempontjából ez a terület volt prioritásban és ennek kiegészítéseként a belső udvarra vezető kijáratot is tartalmazza az egyesített pontfelhő. A mérés szempontjából a kijárat nem érdekelt, viszont a feltételezett megrendelő, felhasználó számára hasznos kiegészítő információforrás lehet a pontossági tényezőket figyelembe véve természetesen.

14 ABSTRACT

In my dissertation, I described the remote sensing options available in rapidly evolving mobile phones, of which I compared the LiDAR scanner used by Iphone with a terrestrial laser scanner and researched alternative uses as a surveyor. The phone used for comparison was an Iphone 12 Pro Max, and the terrestrial laser scanner was a Leica C10 ScanStation. The location of the surveying was the ground floor corridor of the Institute of Geoinformatics of Alba Regia Technical Faculty of Óbuda University, as well as some adjoining rooms. During the processing, the limits and disadvantages of the technology were revealed. We can not expect that a phone worth a few hundred thousand forints to come up with an industrial laserscanner that is already costs about 3-4 million forints used. But due to the rapid development, it cannot be ruled out that in a few years mobile devices will have an accuracy close to these instruments.

There were also nicer and less nice results in the mobilephone survey. The scanner itself reproduced the set resolution of 5-10 millimetres fairly correctly, but often placed the measured surfaces in space incorrectly. This is due to the inaccurate definition of the position calculated by the inertial system. In my dissertation, I examined the accuracy of the point clouds created by Iphone, using the point clouds created with the Leica Scanstation as a reference. The tests revealed that in general, the point clouds taken with the Iphone (> 90% of the points) can be said to be variable, unable to record in constant quality (several measurements have become unusable). Taking into account the measures considered acceptable, distance differences were measurable between 20 and 90 millimetres. Considering all the recorded points, 48% of the points have a difference of less than 15 milimetres compared to the points recorded with Leica.

The final conclusion is that this result is not bad at all, knowing the principle of its operation and its limits. But unfortunately it proves to be not enough from a geodetic point of view. The basic idea was to use the phone to patch the blind spots that the terrastial laser scanner does not see from a single position, saving time for the user. In the second half of the processing, I presented some examples based on this idea.

Unfortunately, this accuracy is not enough to supplement industrial measurements, in my opinion it could only be used as a surveyor for visual illustration at present.

15 VÉGSZÓ

A kísérlet elvégzése után azt gondolom, talán még nem jött el az ideje, ezen eszközök geodéziai alkalmazásának, talán sosem fog ez megtörténni. Esélyes, hogy az ipari távérzékelés mindig is egy magasabb szint marad, de ne legyünk ennyire pesszimisták, sok meglepetést okoztak már a mérnökök. Például harminc évvel ezelőtt ki gondolta volna, hogy a mobiltelefonok alapvető funkciójává válik a műholdas helymeghatározás, navigálás. Egy bizonyos, a felgyorsult technológiai fejlődés folyamatos tanulásra készíti a jövőbeli földmérőket is, ezzel egyre nagyobb szakterületek érhetnek össze, az adatnyerés folyamata pedig egyre csak fokozódhat, gyorsabbá válhat.

16 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnék köszönetet nyilvánítani Dr. Nagy Gábor József Tanár Úrnak, akinek a segítségével nem jöhetett volna létre ez a dolgozat. Valamint szeretném megköszönni az Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Karának Geoinformatikai Intézetének, hogy biztosította számomra az iskola lézerszkennert.

17 IRODALOMJEGYZÉK

Távérzékelés:

Verőné Wojtaszek Malgorzata - Fotointerpretáció és távérzékelés 1.

Lézeres távérzékelés:

Verőné Wojtaszek Malgorzata - Fotointerpretáció és távérzékelés 3.

Tarsoly Péter, Tóth Zoltán - Geodézia 15.: Automatizáció a terepi adatgyűjtésben

Berényi Attila: Földi lézerszkennelés mérnökgeodéziai célú alkalmazása, PhD értekezés

Iphone 12 Pro Max:

<https://hu.wikipedia.org/wiki/IPhone>

https://istyle.hu/apple-iphone-12-pro-max.html?config_model=1322&color=514

https://www.gsmarena.com/apple_iphone_12_pro_max-10237.php

https://mobilarena.hu/teszt/apple_iphone_12_pro_max_genkezelt_alma/specifikacio.html

Távolsági elsodródás mérése: Professor Rami Tamimi, link:

<https://www.youtube.com/watch?v=UYZgCWhN5C8>

Mobiltelefonos távérzékelés:

<https://www.eetasia.com/look-inside-ipad-pro-11s-lidar-scanner/>

<https://www.vgis.io/2020/12/02/lidar-in-iphone-and-ipad-spatial-tracking-capabilities-test-take-2/>

Leica ScanStation C10:

<https://leica-geosystems.com/>

Leica ScanStation C10; A „Minden az egyben” lézerszkennér bármilyen feladatra, GIS Open, 2010 Leica Geosystems Hungary Kft. Váradi Attila

3D Scanner App:

<https://3dscannerapp.com/>

<https://apps.apple.com/us/app/3d-scanner-app/id1419913995#?platform=iphone>

CloudCompare:

<https://www.danielgm.net/cc/>

https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=Main_Page

<http://www.cloudcompare.org/>

Az „FSM Business Office” által készített videó sokat segített a program használatának megismerésében. Hivatkozás a videóhoz: CloudCompare Basics 1. /

<https://youtu.be/4DtyL7xmBl0>

LIDAR3D PTE. LTD.:

<https://www.lidar3d.io/>