

SZAKDOLGOZAT

OE-AMK

2023

Hallgató neve: Somlai Donát

Hallgató törzskönyvi száma: T000606/FI12904/A-G



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar

Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT

Lézeres adatgyűjtési technológiák összehasonlító vizsgálata

OE-AMK

2023

Hallgató neve: Somlai Donát

Hallgató törzskönyvi száma: T000606/FI12904/A-G



ÓBUDA EGYETEM
OBUDA UNIVERSITY

Óbuda Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Somló Dorát

Szakedolgozat száma: [REDACTED]

Törzskönyvi száma: T000606/FI12904/A-G

Neptun kódja: [REDACTED]

Szak: földmérő és földrendező mérnök

Specializáció: Geoinformatika specializáció

A dolgozat címe: Lézeres adatgyűjtési technológiák összehasonlító vizsgálata

A dolgozat címe angolul: Comparative study of laser data acquisition technologies

A feladat részletezése:

Szakindulóim etapján ismertesse a lézeres adatgyűjtési és adatfeldolgozási technológiákat!

Végezzen adatgyűjtést a rendelkezésére álló eszközök és módszerek alkalmazásával!

Dolgozza fel a kapott adatokat, és hasonlítsa össze az adatgyűjtési és adatfeldolgozási eljárásokat!

Összgezze a munka során szerzett tapasztalait!

Intézményi konzulens neve: Barátsik Valéria

Külső konzulens neve: Lohoczky Máté

Munkahelye: LohGeo Mérnökiroda Kft.

A kiadott téma elévülési határideje: 2023. 02. 10.

Beadási határidő: 2023. 12. 15.

A szakedolgozat: Nem díkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2023. 10. 25.



[Signature]
Intézetigazgató

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

[Signature]
belső konzulens

[Signature]
külső konzulens



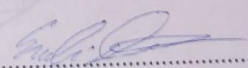
ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

HALLGATÓI NYILATKOZAT

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

Kelt: Baja, 2023.12.14.


.....
hallgató aláírása

Köszönetnyilvánítás

A szakdolgozatom elején szeretném kihasználni a lehetőséget, hogy megköszönjem Balázsik Valéria Tanárnőnek a végtelen türelmét és támogatását. Külön ki szeretném emelni Forgó Zoltánt és Szalai Gergelyt, akik nélkül ez a szakdolgozat nem születhetett volna meg ebben a formában. Szeretném ezen felül megköszönni minden szaktársamnak és oktatómnak, hogy végi kísérték ezen az úton. Családomnak meg azt a sok támogatást, hogy eljussak idáig.

Tartalom

1.	Bevezetés	1
2.	A KUTATÁS CÉLJA	2
2.1	Bevezetés.....	2
2.2	A távérzékelési technológia	2
2.2.1.	Az elektromágneses sugárzás	3
2.2.2.	Környezeti tényezők hatása a távérzékelésre	5
2.3	A lézer	7
2.3.1	A lézerfény főbb tulajdonságai:	7
2.3.2	A LiDAR rendszerek működési elve	9
2.3.3	Méréstechnikai szempontok	10
2.4	Lézeres adatgyűjtés	12
2.4.1	A lézeres adatgyűjtés csoportosítása.....	12
2.4.2	Földi lézerszkennelés	13
2.4.3	Mobil lézerszkennelés.....	13
2.4.4	SLAM	14
2.5	Az iPhone bemutatása	16
2.5.1	iPhone 14 Pro érzékelők	16
2.5.2	A LiDAR fő összetevői.....	18
2.5.3	Az Iphone 14 Pro kamerájának alkotóelemei	19
3.	MÉRÉSEK BEMUTATÁSA	21
3.1	A felhasznált műszerek bemutatása:	21
3.2	Mérés megtervezése	21
3.2.1	GNSS mérések.....	22

3.3	Leica TCR 360 lézerszkennő tulajdonságai.....	22
3.3.1	Első 2 álláspont.....	23
3.3.2	3.-4. műszerállás	24
3.3.3	5.-9. álláspont.....	24
3.3.4	10. állás	25
3.3.5	11.-13. műszerállás.	25
3.4	Mérés az iPhone 14 Pro-val	26
3.4.1	Sitescape	26
3.4.2	DOT3D	28
3.5	SLAM 100.....	34
4.	Feldolgozás.....	37
4.1	Cyclone 3D.....	37
4.2	SLAM GO POST Pro.....	39
4.3	Cloudcompare	40
4.3.1	iPhoneLiDAR állomány DOT3D	40
4.3.2	IphoneLidarSitiescene.....	41
4.3.3	STATIKUS ÉS SLAM GO FELHŐK.....	44
4.4	PCS-PointCloudScene.....	47
5.	Összegzés.....	49
6.	Summary.....	51
7.	Idézett forrásmunkák	52
8.	ÁBRAJEGYZÉK.....	57

1. BEVEZETÉS

Szakdolgozatomban a Baján található Torelli-kilátóról és kötélpályáról, illetve annak közeli környezetéről készült pontfelhők pontosságát hasonlítom össze, melyeket különböző távérzékelő eljárásokkal mértem. A kilátó gazdag tervezési sajátosságaiból adódóan többféle szempontból volt lehetőségem vizsgálni a pontfelhő leképződését az eltérő fotogrammetriai- és a hagyományos geodéziai módszerek segítségével. A dolgozatomban szemléltetem ezen mérések eredményességét, valamint a különböző eszközök előnyeit és hátrányait.

Az ötletet a telefonos 3D érzékelők gyors fejlődése és térnyerése adta. Azon belül kifejezetten az Iphone modellekben található LiDAR szkennert vizsgáltam. Igaz, hogy ez nem tudja felvenni mérnökgeodéziai feladatokban a versenyt a nála jóval drágább, erre a célra gyártott statikus lézerszkennerekkel, de a földmérésben számos másik feladat is előfordul, amelyek esetében az 1-5 cm-es pontosság teljes mértékben megfelel a térképi elvárásoknak. Emellett az iPhone felsőbb kategóriás modelljei LiDAR szkennerek használata a mérnöki területen nagy előnyökkel járhat: kiegészítheti a drágább műszerek méréseit. Nem biztos, hogy egy adott mérésnek minden részletében fontos a cm vagy az alatti pontosság, amit a mai modern statikus szkennerek nyújtanak.

Az Iphone 14 Pro- ban található kamera sok fejlesztésen esett át az előző évekhez képest, ráadásul 30 MP-es RAW fotókat is tudunk már vele készíteni.

A méréseket helyi rendszerben készítettem el, majd EOVB-be illesztettem. Ahhoz, hogy a pontfelhőkhöz legyen egy viszonyítási alapom, az épületen több fóliát helyeztem el, amelyeknek a koordinátáit mérőállomással és GNSS vevővel határoztam meg.

A dolgozat elkészítéséhez különböző szoftvereket használtam az eredmény kiértékeléséhez: LeicaCyclone, PointCloudScene, Autocad, ReCAP, Cloudcompare.

Az IphoneLiDAR pontfelhő geodéziai célból történő felhasználásáról kevés a releváns szakirodalom, ezért a szakdolgozat mérései feldolgozásának ezen része személyes tapasztalatokon és megfigyeléseken alapszik.

2. A KUTATÁS CÉLJA

2.1 Bevezetés

Szakedolgozatom célja, hogy egy kicsit átfogóbb képet adjon a lézeres adatgyűjtő eszközökkel elérhető pontosságról. A gyártók által szolgáltatott adatok, nem a tényleges használati körülmények között születtek. Ehhez viszonyítási alapnak egy statikus szkennertől készített pontfelhőt fogok használni.

A SLAM 100 al szemben 3 centiméteres hibahatár az elvárás míg az IPhonennál elegendőnek tartom az 50 centimétert is.

Ahhoz, hogy jobban megértsük az esetleges hibák forrását, fontos kitérni a távérzékelési technológiák alapjaira is.

2.2 A távérzékelési technológia

A távérzékelés egy olyan adatnyerési módszer, melynek használata során a földfelszínről, vagy az azon található objektumok különböző sajátosságairól szerzünk információt anélkül, hogy fizikai kapcsolatot létesítenénk velük.[1]

A távérzékelést passzív és aktív adatgyűjtő rendszerekre lehet bontani. A passzív rendszerek az egyes objektumok felületének természetes sugárzását, illetve a visszavert napsugárzást hasznosítják. Ilyenek a fotogrammetriai eszközök. Ha a rendszer maga állítja elő az elektromágneses sugárzást és annak visszaverődését érzékeli, akkor aktív rendszernek nevezzük. Ilyen például a radar és lézerszkennelés. Ezen kívül lehetőség van szeizmikus, akusztikai, gravitációs és mágneses módon távérzékelést végezni. A távérzékelésbe az adatok feldolgozását, kiértékelését is beleértjük

Néhány távérzékelési technológia a teljesség igénye nélkül:

- radar,
- fotogrammetria és azon belül:
 - légi fotogrammetria,
 - földi vagy közelfotogrammetria,
- műholdas távérzékelés,
- multispektrális rendszerek,

- lézerszkennelés:
 - földi lézerszkennelés,
 - légi lézerszkennelés,
 - mobil lézerszkennelés.[2][3]

Jelen tézis az optikai elven működő távérzékeléssel foglalkozik.[1] Az atmoszférán keresztül terjedő különböző hullámhosszú természetes vagy mesterséges –LiDAR, radar - forrásból induló elektromágneses energia a földfelszínre jutva kölcsönhatásba lép a felszíni objektumokkal. A módosult energiát a felvevő berendezés rögzíti, méri, és továbbítja a vevőállomásra.[4]

2.2.1. Az elektromágneses sugárzás

A távérzékelésben kétféle energiaforrást használunk; lehet mesterséges vagy természetes energiaforrás. A természetesek halmazában a Nap, a földfelszín és a rajta található tárgyak által kibocsátott sugárzás található. A mesterséges energiaforrások is többféleképpen lehetnek, például a radar vagy a lézer. Mind a természetes, mind a mesterséges energiaforrások elektromágneses energiát sugároznak ki, melynek tulajdonságai leírhatók a hullámelmélettel. (Lillesand T 2007)[5][6][7]

Az elektromágneses sugárzás két egymásra merőleges, periodikusan változó szinuszos transzverzális hullámként terjed. Vákuumban a fénysebességgel egyenlő a terjedési sebessége (c). Az elektromágneses sugárzás a hullámhossztól független és állandó $c = 299\,792\,458$ m/s a vákuumban. A vákuumon kívül ettől kisebb az érték, ami kiszámítható az alábbi összefüggés használatával:

$$C = \frac{1}{\epsilon \cdot \mu}$$

ϵ = a közeg dielektromosállandója

μ = a közeg mágneses permeabilitása

Felírható az az összekapcsoló összefüggés, hogy egy adott közegben kisebb hullámhosszhoz nagyobb frekvencia társul.

C = hullámhossz * frekvencia

A kvantumelmélet segítségével megállapíthatjuk, hogy minél nagyobb az elektromágneses sugárzás frekvenciája, annál nagyobb energiával rendelkezik az anyag sugárzása.

$$Q = h \cdot f$$

Q- egy kvantum energiája Jule-ban

f-frekvencia

h-Planck-állandó

Eszerint a kvantum energiája a Planck-állandó és a frekvencia szorzata.[7]

Ha a frekvenciát a fény sebessége és a hullámhossz segítségével határozzuk meg, akkor megkapjuk azt az összefüggést, hogy a frekvencia fordítottan arányos a hullámok hosszával.

$$Q = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

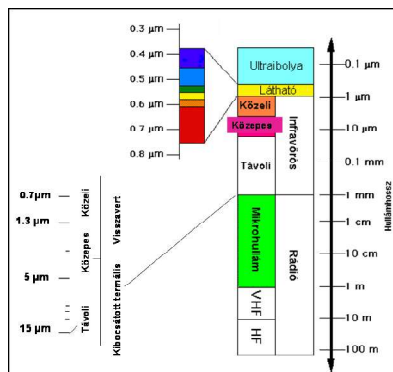
Ez az összefüggés fontos szereppel bír a távérzékelésben, mert a földfelszíni objektumok által kibocsátott nagyobb hullámhosszúságú sugarait nehezebb érzékelni, mint a magasabb energiájú sugárzást.[1]

Az elektromágneses energia mellett kapcsolatban van a hőmérséklettel is. Minden anyagnak, amelynek a hőmérséklete az abszolút nulla fok (0 Kelvin= 273 Celsius) fölött van, folyamatosan elektromágneses energiát sugároz, így a passzív távérzékelési technológiák alkalmazásával is érzékelhető.

„Távérzékelésre a teljes elektromágneses spektrumtartománynak csak egy részét használhatjuk, ezt tovább szűkítik egyes légköri jelenségek, mint például a légköri elnyelés. A különböző hullámhossz- tartományokban eltérő fizikai törvényszerűségek érvényesülnek, amit figyelembe kell venni az érzékelő műszerek technikai megoldásainál. Az elektromágneses spektrum egyes tartományait az 1-3. ábra mutatja. Az érzékelő rendszerek leggyakrabban a látható fény egy vagy több sávjával, az infravörös sávokkal vagy mikrohullámokkal dolgoznak. A távérzékelésre a leggyakrabban használt spektrális tartományok a következők (Ravi P. Gupta, 1991):[1]

- „A **látható fény tartománya (VIS)** ($\lambda = 0,4 - 0,7 \mu\text{m}$) az emberi szem által érzékelhető elektromágneses sugárzás, a kéktől, a zöldön át a vörös színig terjed.

- Az **infravörös** tartományt három részre szokás bontani.
 1. A **közeli infravörösben (NIR)** ($\lambda = 0,7 - 1,3 \mu\text{m}$) a látható fényhez hasonlóan a felszín által visszavert napsugárzás közvetíti az információt.
 2. A **közepes infravörös (MIR)** ($\lambda = 1,3 - 3,0 \mu\text{m}$) tartományban is a visszavert napsugárzás dominál, bár a kibocsátott energia a távoli infravörös rövidebb hullámhosszú részében is észlelhető. Azért a termovíziós felvételeket célszerű napkelte előtt vagy napnyugta után egy órával készíteni.
 3. A **távoli (termális) infravörösben (TIR)** ($\lambda = 3 - 15 \mu\text{m}$) jelentőssé válik a felszín által kibocsátott sugárzás, mellyel a felszín termális tulajdonságait tanulmányozhatjuk. A $3-5 \mu\text{m}$ -es tartományban a visszavert sugárzás is számottevő. A $7 - 15 \mu\text{m}$ -es intervallumban a reflektált sugárzás már lényegesen kisebb, mint a Föld és más objektumok termális kisugárzása. [3][1]”
- Külön kategóriának tekinthető a **mikrohullámú** tartomány ($1 \text{ mm} - 1 \text{ m}$). A légkörnek csekély hatása van ebben a tartományban, így a felvételezés gyakorlatilag független az időjárástól és a napszaktól. „[1]
- Irodalomjegyzék
- Mellékletek: a megértéhez szükséges dokumentumok, amelyek nem foglalnak sok helyet, illetve ki lesznek nyomtatva (tervlapok, forráskódok, fotódokumentáció, táblázatok, adatsorok, egyebek)

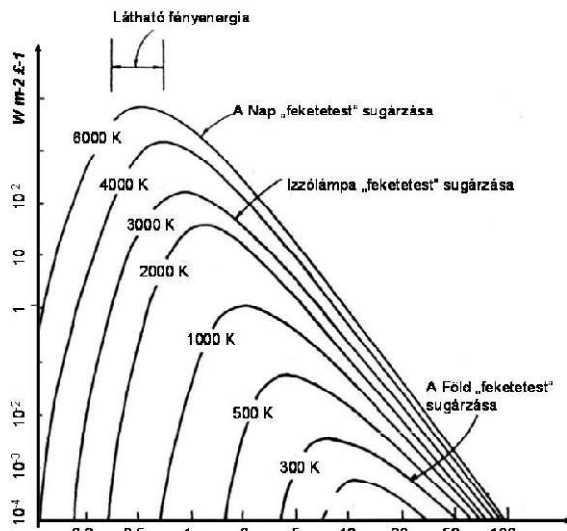


1. ábra : Az elektromágneses spektrum tartományai forrás: Sárközy F. 1991, Ravi P. Gupta, 1991 után2.2

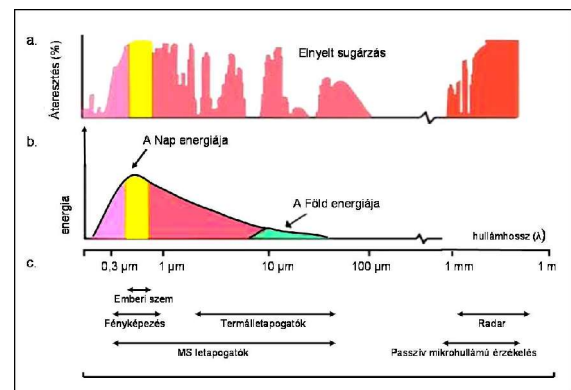
2.2.2. Környezeti tényezők hatása a távérzékelésre

A távérzékelésben az alapvető természetes energiaforrás a Nap, de mint fentebb említettem, minden tárgy bocsát ki energiát, ami a hőmérsékletétől függ. Ezt az összefüggést a

Stefan-Boltzmann-féle törvény fejezi ki. Ez a törvény az ideális fekete testre vonatkozik, ami egy olyan felületet jelent, ami teljes egészében abszorbeál, és a beérkező energiát teljes egészében kisugározza. A tárgyak a való világban csak megközelítik ezt az ideális állapotot.[1][3]



2. ábra Különböző hőmérsékletű fekete testek által kibocsátott energia eloszlási görbéje 1981[1]2.2.2



3. ábra 3. ábra: A Nap és a Föld sugárzásának energia eloszlása a különböző hullámhosszokon[1]32.2.2

A Nap által generált energia mennyisége eltérő a különböző hullámhosszokon. A látható tartományban tapasztalható a legnagyobb energiafluxus, mely erősen csökken a hullámhossz növekedésével. A légkörben megtalálható részecskék a hullámhossz szóródását eredményezik. Mészáros E. 2005 leírta, hogy a „hullámhossz és a levegőben lévő részecskék nagyságától függően három különböző féle szóródást különböztethetünk meg”:[1]

- Rayleigh- szóródás: ha a légkörben található részecskék mérete sokkal kisebb, mint a vele találkozó energia hullámhossza. A kamera lenszéje elé helyezett szűrőkkel ez kiküszöbölhető.
- Mie-szóródás: ha a részecske átmérője összemérhető a rá eső fény hullámhosszával. Ha a részecskék átmérője sokkal nagyobb, mint a vele kölcsönhatásba lévő sugárzás hullámhossza. Ezt az úgynevezett nem szelektív szóródásnak hívjuk. A vízcseppek okozhatnak ilyen hatást, mert a látható fényt - a kék, a zöldet és a vöröset- egyenlő mértékben szórják

A szóródás mellett az abszorpció légköri hatását is fontos megjegyezni. Az atmoszférában található széndioxidon, ózonon és vízgőzön áthaladó elektromágneses energia egyes tartományait teljesen abszorbeálja. Azokat a tartományokat, ahol az atmoszféra

teljesen vagy részlegesen átengedi az energiát, légköri ablakoknak nevezzük. Ez határozza meg, hogy a felvételek készítéséhez mely spektrális sávokat alkalmazzuk.[6]

A földfelszín tárgyaitak spektrális visszaverődése és elnyelése állapot- és tárgyspecifikus. Ez se nem tökéletes, se nem diffúz visszaverő. A reflexiót jelentős mértékben befolyásolja a kibocsátott energia beesési szöge és a visszaverő felület érdessége. A hatások formái:[1][5]

- visszaverődés,
- továbbvezetődés,
- elnyelődés,
- kibocsátódás,
- szétszóródás.[1]

2.3 A lézer

A LASER szó a Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) rövidítése. Az első működő lézert 1960 májusában mutatta be Theodore Maiman a Hughes Research Laboratories-ban.[8]

Olyan eszköz, amely a spektrum egy nagyon szűk sávját felhasználva képes fényhullámot generálni. Egy tipikus lézer keskeny, kis divergenciájú, jól meghatározott sugárban bocsát ki fényt (egy adott színnek felel meg, ha a lézer a látható spektrumban működik). Ez ellentétben áll egy fényforrással, amely nagy térszögben bocsát ki széles hullámhossz spektrumú energiát. Ezek a tulajdonságok a koherenciával foglalhatóak össze. A lézerek valójában hasonlóak a tranzisztorokhoz: fényt generálnak vagy erősítenek, míg a tranzisztorok elektronikus jeleket generálnak és erősítenek hang-, rádió- vagy mikrohullámú frekvencián. A lézereket a mindennapi életben sokoldalúan lehet felhasználni: optikai tárolóeszközökben, mint például a CD és DVD-lejátszók, melyekben az adatok előhívása érdekében lézerolvasó pásztázza a lemez felületét. Egyéb gyakori alkalmazásai a vonalkódolvasók és a lézermutatók. Az iparban lézereket használnak acél és más fémek vágásához, de a katonai és orvosi alkalmazásokban is igénybe veszik őket.[2][8]

2.3.1 A lézerfény főbb tulajdonságai:

A lézerfény lézersugár formájában jön létre. Az ilyen lézersugárnak magasfokú a térbeli koherenciája, ezért dominánsan terjed jól meghatározott irányban mérsékelt

nyalábdivergencia mellett. Ez a koherencia az oka annak, hogy a lézersugár nagy távolságokban, és nagyon kis pontokra fókuszálható. A lézerfény időbeli koherenciája is a legtöbb esetben nagy, ami egy hosszú koherenciahossznak felel meg. Ezzel a tulajdonsággal nagy távolságokat tudunk elérni.[4]

A nagy időbeli koherencia és a nagy koherencia idő- vagy koherenciahossz kombinálása szűk spektrális sáv szélességet eredményez. Ez azt jelenti, hogy látható lézersugaraknak bizonyos tiszta színük van; ezek lehetnek: piros, zöld vagy kék, de nem fehér vagy bíbor. A közeli és középtávú mérőeszközökben használt legtöbb lézer hullámhossza 1064 nm vagy 532 nm.

A legtöbb esetben a lézerfény lineárisan polarizált.

Az alkalmazástól függően a lézerfény más figyelemre méltó tulajdonságokkal is rendelkezhet: Lehet, hogy a lézerfény látható, de a legtöbb lézer valójában olyan spektrális tartományokban működik, amelyet az emberi szem nem érzékel.

A lézerfény nem mindig folyamatos, hanem rövid vagy ultrarövid formájában is pulzálhat.[3][5][9]

Ezeknek a koherenciáknak köszönhetően a lézersugár átmérője kicsi és nagy távolságokban is jelentős energiasűrűség érhető el. A fénycsugár más alapvető tulajdonsága a terjedési sebességük. Fény a csugár véges és állandó sebességgel haladnak egy bizonyos közegben. Ezen tulajdonságaik miatt a lézerfény kiválóan alkalmas tárgyak mérésére.

Mivel a lézerek sok különböző célra használhatóak fel és egészségkárosító hatással is rendelkeznek, ezért az amerikai (ANSI Z136.1-2000), a hazai (MSZ 1621) és az Európai Unió (EN 60825-1) szabvány is osztályozza őket a különböző tulajdonságai alapján. Az Európai Unió szétterjedt hét különböző csoportra bontja a lézereket.[2][8] A földmérésben használt lézerszenzorok a Class 1M, Class 2, Class 2M, Class 3R kategóriába tartoznak.[2][8]

LIDAR

A LIDAR működése megegyezik az elektromágneses alapú távolságmérés elvével. A lézer által kibocsátott energia-impulzus kilövése és a visszaverődése között eltelt idő

rögzítésre kerül. Az elektromágneses energia terjedési sebessége ismert, így a tereptárgy távolsága meghatározható a kibocsátási és a visszaérkezési idő különbségéből.[5]

Kétféle távolságmérést használhatunk a LiDAR-ral készült mérésekhez:[8]

- Folyamatos hullámmérés, melynek előnye, hogy nagyon magas pontosságú számításokat lehet belőle végezni. A folyamatos hullámkibocsátás magas energiával nehézkes, és korlátozza ezeknek az eszközöknek a működési tartományát.
- Pulzáló hullámmérés: ahol a kibocsátott pulzáló jelek élei közötti időt mérjük. A mérések pontossága a ToT (Time of Travel) pontos meghatározásának függvénye, mely az óra pontosságától függ a szenzoron. Leginkább ez a mérésfajta használatos.

A ToT mérésének módszerei:

- folyamatos tört módszer,
- impulzusok súlypontja szerinti módszer,
- az amplitudók arányával megegyező korrekció módszere,
- és a kalibrációs korrekció módszere.

A lézeres energiaforrás és az azon alapuló szkennelési technológia fejlődésének következményében különböző igényspecifikus műszaki megoldások születtek, melyek képesek voltak a különböző szakterületek számára sajátosan jellemző adatokkal szolgálni[5, 10].

A lézeres rendszerek típusai:

- topográfiai LiDAR
- mélységmérő LiDAR
- több visszaverődést regisztráló LiDAR,
- teljes jelalakos lézerszkennelés.

A teljes jelalakos lézerszkennelés a szakdolgozat témája miatt több szót érdemel: „Az adathordozók és a rögzítési technológia fejlődésének következményeként már lehetséges a visszavert lézerimpulzus teljes jelalakjának a rögzítése, ami lehetővé teszi nagysűrűségű adatok felvételezését. A rögzítésre kerülő pontok térhez vannak kötve, és szinte folytonosan mintavételezik a földfelszínt.”[8][3][5]

2.3.2 A LiDAR rendszerek működési elve

Az oszcilláló tükrös LiDAR rendszerben a lézerfényt egy mozgó tükör segítségével terelik a kívánt irányba. A tükör oszcillál, vagyis ingadozik, így a lézersugár különböző szögekben irányulhat a környezetbe. A visszaverődött fény alapján a rendszer képes térképezni a környezetet és meghatározni távolságokat. [8]

A forgó-poligonos szkennerek esetében egy forgó poligonális tükrre irányítják a lézersugarat. A tükör lapjai reflektálnak, és a forgásuk eredményeként a lézersugár különböző irányokba terelődik. A szétágazó irányokban kibocsátott és visszavert fény alapján a rendszer térképezi a környezetet és meghatározza a távolságokat. Ez a pásztázási mód szolgáltatja a legegységesebb pontelosztást.

A nutató tükrös LiDAR szkennerek egy olyan technológia, amely során a lézerfényt irányítását egy mozgó tükör végzi. Ez a rendszer gyakran "nutációval" vagy "nutálással" hivatkozik a tükör általi dinamikus mozgásra. A működés során a lézerfényt egy lézerforrásból bocsátják ki, és egy mozgó tükrön keresztül irányítják a környezet felé. A tükör gyors és precíz mozgását egy szervó- vagy más típusú motor vezérli. A nutáció - vagyis a tükör- szabályos ingadozása lehetővé teszi a lézersugár folyamatos irányítását a tér különböző irányába.

Az optikai szálak LiDAR szkennerek egy speciális technológia, ahol a lézerfényt optikai szálakon keresztül irányítják a környezetbe. Az impulzusokat az optikai szálakon keresztül egy forgó tükör segítségével bocsátja ki a térbe és a visszaverődött impulzusok gyűjtése is ugyan ezeken a szálakon keresztül történik. A lézersugár a környezeti objektumokról visszaverődik, és az érzékelők detektálják ezt a visszavert fényt. Mostanában ez a módszer az elterjedtebb a rendszer rugalmassága miatt. Egyéb előnyei:

- gyári beállítás után nincs szükség kalibrációra,
- nagyon sűrű és egységes szkennelési mintázat,
- a lézert előre és oldalra nézőpozícióban is el lehet helyezni.[5][3]

2.3.3 Méréstechnikai szempontok

A lézerszkennerek gyártói közzéteszik a lézerszkennerek pontosságát az előnyeik bemutatása érdekében. Ezek az adatok laboratóriumi körülmények között készülnek. A mindennapi használat azt mutatja, hogy különböző eszközök pontossága eszközönként változik, függ a kalibrációtól és az eszköz karbantartásától. Minden pontfelhő tartalmaz

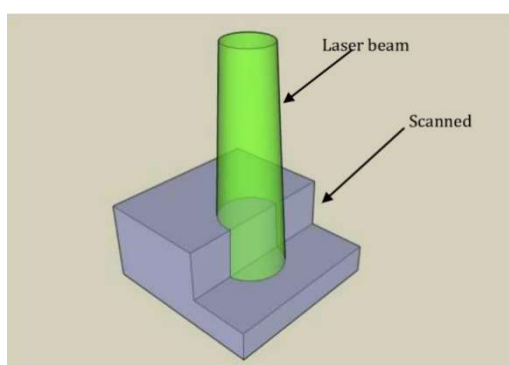
zajt, bruttó hibákkal terhelt, így a felmérések pontosságát nem lehet garantálni, mint a hagyományos geodéziai műszerekkel való méréseknél.[8] Általában a szkennereket az ISO standard légkör paramétereivel (15°C, 1013,25 hPa) előre beállítják. Ha más légköri feltételek mellett dolgozunk, mint a standard légkör, ezeket a paramétereket módosítani kell: például a 10°C-os hőmérsékletkülönbség vagy a 35 hPa-os légnyomáskülönbség 1 mm/100 m szkennelési távolsági hibát eredményez.

Földi esetekben ez az effektus nem befolyásolhatja komolyan az eredményeket rövid vagy középső távolságú szkennelési távolságoknál. Hosszú távolságú mérések vagy nagy pontosságú szkennelések esetén azonban elengedhetetlen a megfelelő légköri paraméterek alkalmazása.

A Maintzi és a Zürichi Szövetségi Műszaki Egyetem Geodézia és Fotogrammetria Intézete által publikált értekezés szerint négy kategóriába lehet osztani a lézerszkennerek hibáinak forrásait:[8]

- eszközbeli hibák,
- a felmért objektummal kapcsolatos hibák,
- a környezeti tényezők okozta hibák,
- és a felméréshez használt módszerből adódó hibák.

Ezek közül szeretném kiemelni a "mixed edge" problémát[8], ami megfigyelhető volt a méréseim közben is, sőt, a feldolgozás közben is szemmel láthatóak voltak a következményei. A nyalábdivergencia egyik legfontosabb következménye a kevert élprobléma. Amikor egy lézersugár egy tárgy széléhez ér, a sugár kettéválk. A sugár egyik része visszaverődik az ugrásél első részéről, míg a másik része továbbhaladva egy másik felületet ér el. Ennek az lesz az eredménye, hogy egy lézerimpulzusból származó információ, amelynek vissza kellene érkeznie a vevőhöz, két különböző helyről érkezik a térben. Egy ilyen pont koordinátáit a szkennер helyzetéhez viszonyítva a rendszer mindkét visszaadott jel átlaga alapján számítja ki, és ezért rossz helyre teszi a pontot.



4. ábra Mixed edgeprobléma[8]2.3.3

Ha nagy felbontású szkennelést alkalmazunk, megnő annak az esélye, hogy a sugár egy élt ér, és az eredményül kapott adatok zajt mutatnak közvetlenül az objektumszélei mögött. A kisebb sugárszélességű szkennerek segítenek megoldani ezt a problémát, de a hatótávolság korlátja megmarad, ahogy a sugár szélessége növekszik a távolsággal.[8][11]

2.4 Lézeres adatgyűjtés

A lézeres adatgyűjtési technológiák csoportosítására számos különböző mód áll rendelkezésre, például a műszerben található beépített lézerdióda, illetve a használt koordináta-meghatározási technológia alapján. Leggyakrabban azonban két különböző fő szempont szerint különböztetjük meg őket. [2][8][10]

A hordozó platform szerint beszélhetünk

- légi lézerszkennelésről,
- földi lézerszkennelésről,
- mobil lézerszkennelésről.

A mérések módja szerint megkülönböztetünk:

- dinamikus és
- statikus lézerszkennelést.

Ha a szkennerek a mérések közben háborítatlanul, adott fix helyen marad, akkor statikus lézerszkennelésről beszélünk. Előnye az élessége és a viszonylag magas pontsűrűség.

A dinamikus lézerszkennelés közben a műszer valamilyen mobil felületre van rögzítve. Ezekben a felvevőeszközökben megtalálható a munkafolyamat közben folyamatosan működő INS (Inerciális Navigációs Rendszer) és GPS műszeregyüttes is, mely komplexebbé, emellett költségessé is teheti ezeket a rendszereket. Magába foglalja például a légi lézerszkennelésekhez használt repülőgépek, mozgó autóról és különböző repülő eszközökről (UAV) való szkennelést

2.4.1 A lézeres adatgyűjtés csoportosítása

is teheti ezeket a rendszereket. Magába foglalja például a légi lézerszkennelésekhez használt repülőgépek, mozgó autóról és különböző repülő eszközökről (UAV) való szkennelést.

Légi lézerszkennelés

Ez a technológia terjedt el legelőször a 90-es évek környékén, és sokáig ezzel is azonosították a lézerszkennelést. Kezdeti problémái a műszer pozíciójának és helyének pontos meghatározása voltak. Az előrelépéshez szükség volt az INS és GPS rendszerek robbanásszerű fejlődésére.

2.4.2 Földi lézerszkennelés

A földi lézerszkennelésre a TerrestrialLaserScanning kifejezést használja a külföldi szakirodalom. Először megjelentek a hagyományos műszerlábakra elhelyezett szkennerek, majd a különböző ipari igények hatással voltak a hordozó platformok fejlődésére is. Ezeknek a fejlesztéseknek köszönhetően rendszerkomponensükként megjelentek a légi lézerszkennelésben használatos INS, GPS rendszerek.

A földi lézerszkennereket megkülönböztetjük a mért pont távolságának meghatározásának módszere alapján:

- időmérési műszereket (Time of Flight),
- fázismérési műszereket (Phasebased)[8][3]

2.4.3 Mobil lézerszkennelés

A mobil lézerszkennelés a jelenleg leggyorsabban fejlődő része a lézerszkennelésnek. Ezt a technológiát olyan rendszerek alkotják, amelyeket mozgó platformokra szerelnek, általában más műszerekkel kombinálva. A rendszerek komponensei nagyrészt hasonlóak lehetnek a légi lézerszkenneléshez, beleértve az inerciális navigációs rendszereket (INS) és a globális navigációs műholdrendszereket (GNSS). A technológia különlegessége abban rejlik, hogy a lézerszkennert egy mozgó platformra rögzítik, és így lehetővé teszi a gyors és hatékony méréseket a jármű mozgása közben. A mobil lézerszkennelés számos alkalmazási területen hasznos, például városi tervezésben, közlekedési tervezésben, építőipari projekteknél és környezetmodellezésben. Az alkalmazások sokféle-

sége és a rendszerek mobilitása teszik lehetővé a technológia széleskörű elterjedését és felhasználhatóságát.

2.4.4 SLAM

A SLAM, vagyis a "Simultaneous Localization and Mapping" (egyidejű helymeghatározás és térképezés) egy rendszer, amely lehetővé teszi egy adott eszköznek, például robotnak, drónnak vagy más mozgó platformnak, hogy egyidejűleg meghatározza a saját pozícióját, miközben térképet készít a környezetéről.[12][13][14][15]

A SLAM főbb tulajdonságai

1. Helymeghatározás: A SLAM rendszer lokalizálja az eszközt a térképen. Ezt szenzorok, lézerszkennerek, kamerák, GNSS és IMU rendszerek együttes kombinációjával éri el. Az eszköz feldolgozza az adatokat, és ebből különböző algoritmusok segítségével megállapítja a saját pozícióját a térképen.
2. Térképezés: A SLAM folyamatosan frissíti a környezet térképét az eszköz mozgása során. A szenzorok segítségével begyűjtött adatokat használja fel, hogy pontos és részletes térképet alkothasson a környezetéről.
3. Egyszerre történő működés: A SLAM rendszer az egyidejűség elvén alapul. Az eszköz nem csak mozog és rögzíti a környezetét, hanem közben folyamatosan frissíti a pozícióját a térképen. Ezáltal lehetőség van a dinamikus környezetek pontos térképezésére is.
4. Alkalmazási területek: A SLAM széles körben alkalmazható az autonóm járművek, robotok, drónok, valamint kiterjesztett valóság (AR) és virtuális valóság (VR) alkalmazások területén. Az olyan helyzetekben, ahol fontos a pontos térbeli információ és a helymeghatározás, a SLAM kulcsfontosságú szerepet játszik.
5. Szenzorok integrációja: A SLAM rendszerek hatékonyan integrálják a különféle szenzorokat, például lézerszkennereket, kamerákat, inerciális mérőegységeket és más érzékelőket. Az összekapcsolt szenzorok nagyobb pontosságot és megbízhatóságot biztosítanak a helymeghatározásban és térképezésben. A SLAM rendszerek komoly előrelépést jelentenek a mozgó eszközök térbeli tudatosságának és navigációjának területén, emellett számos alkalmazási területen játszanak fontos szerepet a technológiák fejlődésében.[12][13][14][15]

Az SLAM különböző algoritmusokat használ a térképezés és helymeghatározás egyidejű számítására. Ezek az algoritmusok széles skálán mozognak, és különböző megközelítéseket alkalmaznak a feladat megoldására. Néhány jellemző SLAM algoritmus:

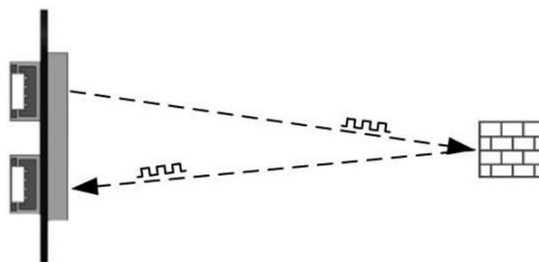
1. 1. EKF-SLAM (ExtendedKalman Filter SLAM): - Az EKF-SLAM olyan gyakran használt algoritmus, amely az EKF-t alkalmazza az objektumok helyzetének és a térkép építésének kölcsönös becslésére. Ez a megközelítés azon alapszik, hogy a rendszer állapotát egy Gauss-eloszlással modellezi, és az EKF alkalmazza az állapot frissítését. Optimalizáltan ötvözi a korábbi méréseket a legjobb állapotbecslésre, zaj kiszűrésére.
2. FastSLAM: - A FastSLAM valószínűségi megközelítést alkalmaz és részecske szűrést (particle filtering) használ. A részecskék segítségével modellezi a robot pozícióját és a környezetét. Alapvető előnye, hogy skálázható, jól kezeli a nagyobb méretű környezetet és rugalmasan alkalmazkodik a mérésekből származó zajokhoz is.
3. ORB-SLAM:- Az ORB-SLAM (Oriented FAST and Rotated BRIEF SLAM) egy viszonylag új algoritmus, amely részben a képfeldolgozási technikákra épül. Az ORB-SLAM jellemzője, hogy az ORB jellemzőket alkalmazza, ami gyors és megbízható detektálást tesz lehetővé. Az ORB-SLAM3 algoritmus egy jelentős előrelépést jelent, mert ez az első olyan algoritmus, ami a MAP (Maximum a posteriori) becslést használ, és ennek segítségével elérhető a két tizedesjegy centiméteres pontosság.
4. LSD-SLAM:- Az LSD-SLAM (Large-ScaleDirect SLAM) monokuláris SLAM algoritmus, amely képsorozatokkal való működésen alapul, közvetlenül dolgozik a képek intenzitásértékével, és nem csak a jellemzőpontokat, mint például ORB jellemzőket, használja a párosításhoz
5. Visual SLAM: - A Visual SLAM különféle vizuális információkat -például kameraképeket- vesz igénybe a térkép építéséhez és a helymeghatározáshoz. Olyan környezetben is tudja követni a kamera pozícióját, ahol nincs elérhető GPS jel.[12][13][14][15][15][16]

2.5 Az iPhone bemutatása

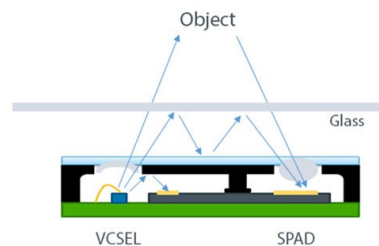
Az Apple eszközei saját operációs rendszerrel (iOS) rendelkeznek. Az iPhone-ok új szériái évente, ősszel jelennek meg, és az idei évben a 15-ös iPhone sorozatot mutatták be. Az iPhone 12 és Ipad 2020 sorozat 2020-ban debütált, és egy olyan újítással érkezett, amely alapjaiban változtatta meg az okostelefonok bővíthető funkcionalitását. Az iPhone 12 Pro, Pro Max és az Ipad Pro modellek LiDAR érzékelőt és egy további kamerát kaptak, és azóta minden új sorozattípus ugyanezen funkciókkal rendelkezik (eddig 6 iPhone típus: 12, 13, 14 Pro és Pro Max változataiban).

2.5.1 iPhone 14 Pro érzékelők

Az új telefonok kiválóan specifikált hardverrel rendelkeznek, amelyek jelentős számítási kapacitást biztosítanak egy nagyobb pontfelhő létrehozásához. Mivel a telefon a felmérés során folyamatosan mozgó eszköz, kizárólag az abban található érzékelők segítségével képes összekapcsolni a pontfelhőt. Ezeknek az érzékelőknek a legnagyobb hátránya a látótávolság. Az iPhone LiDAR szenzorja illetve az azt támogató SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) algoritmusok lehetővé teszik a telefonoknak, hogy valós időben térképezzenek és kövessék a mozgásukat. Az iPhone LiDARja Time-of-Flight (ToF) elven működik, ahol a lézerfény időzített visszaverődésével méri a távolságot, ezt pedig az SLAM algoritmusok használják fel a térbeli helyzet és mozgás meghatározásához.



5. ábra: ToF mérés elve



6. ábra: a VCSEL érzékelő működése egy telefonban

Ezen két technológia kombinációja lehetővé teszi az iPhone számára, hogy az eszköz környezetét érzékelje és rögzítse, miközben követi a saját mozgását. Így az SLAM algoritmusok segítségével a telefon valós időben létrehozhat és frissíthet egy térképet, és ezáltal pontosan lokalizálhatja magát a térben anélkül, hogy külső referenciapontokra lenne szüksége.[13]

Ez a funkcionalitás számos alkalmazásban hasznos lehet, például bővített valóság (AR) élményekben, navigációban, vagy térképezési alkalmazásokban. Az iPhone LiDAR-ja és SLAM algoritmusai együttesen kiterjesztették az eszközök képességeit, lehetővé téve számukra, hogy interaktívabban és pontosabban reagáljanak a környezeti változásokra.

Az Apple iPhone LiDAR rendszeréhez az Apple által fejlesztett és implementált SLAM algoritmusokat használják. Az Apple saját tervezésű és optimalizált szoftvereket alkalmaz, amelyek a LiDAR adatokat és egyéb érzékelők információit kombinálják a térképezéshez és a helymeghatározáshoz.

A pontos algoritmusok részletes leírása nem érhető el nyilvánosan, mivel az Apple szigorúan őrzi technológiai megoldásainak részleteit. Azonban az Apple rendszerint a CoreLocation és CoreMotion keretrendszereket alkalmazza a térbeli helymeghatározás és a mozgás követésének támogatására, amelyek részét képezik az iOS fejlesztői környezetnek. Ezen kívül a sajátfejlesztésű ARKit is lehet szereplő, amely az augmentedreality (AR) alkalmazásokhoz szükséges keretrendszert biztosítja, és támogatja a térbeli érzékelést.

[14]Összességében az Apple az iOS rendszerében saját, optimalizált SLAM megoldásokat alkalmaz a LiDAR rendszeréhez, hogy a felhasználóknak egyedi és pontos térbeli élményeket nyújtson.[17]

Az iPhone-ok többféle érzékelővel vannak felszerelve, amelyek segítik az eszköz működését és funkcióit. Az alábbiakban néhány olyan érzékelőt említek, amelyek szerepet játszhatnak a LiDAR mérésekhez kapcsolódó funkciókban[10]:

- LiDAR-érzékelő: Az iPhone 12 Pro és újabb modellek LiDAR-érzékelővel rendelkeznek. Ez egy speciális lézeres érzékelő, amely az időfényképezés (Time-of-Flight, ToF) elvét alkalmazza a távolságok mérésére a környezet objektumaihoz.

- RGB kamera: Az iPhone-ok beépített RGB kamerával rendelkeznek, amely színes képeket rögzít. Ez lehetővé teszi a környezet színeinek és textúráinak érzékelését.
- GPS, Galileo, Beidou, Glonass, QZSS műholdas rendszerekkel az Apple CoreLocation határozza meg a helyzetét, de a GNSS nyers adatai közvetlenül nem elérhetőek.
- Gyorsulásmérő és Giroszkóp: Ezek az érzékelők segítik az iPhone mozgásának és helyzetének követését. Fontosak a térben történő navigációhoz és az orientáció meghatározásához.
- Magnetométer: A mágneses érzékelő segíthet az iPhone térbeli orientációjának meghatározásában és az iránytű alkalmazás működésében.
- Közelségérzékelő és Környezeti fényérzékelő: Ezek az érzékelők segíthetik az iPhone-t a FaceID működésében és a kijelző fényerejének automatikus állításában. A LiDAR működését nem segíti.[10]

2.5.2 A LiDAR fő összetevői

Az iPhone ma már kisméretű, könnyű eszköz, amely számos funkciót kínál. Az eszköz működéséhez szükség van számos érzékelőre és szenzorra, amelyek esetében elsődlegesen a hely és az energiahatékonyság szempontjai vannak figyelembe véve, tekintettel arra, hogy az eszköz mérete és az akkumulátor kapacitása is egyaránt korlátozott. A LiDAR egyik alapvető összetevője a VCSEL [16][14](függőleges rezgésű felszíni sugárzó lézer), amely egy csúcstechnológiás érzékelő, kevés energiát igényel, és kis helyet foglal el. Az előnye az, hogy keskeny hullámhossz tartományban bocsát ki lézert, különösen a közeli infravörös tartományban. A látómezőben 8x8-as pontmátrixot alkot, és a VCSEL által kivetített 3x3-as négyzet alakú rétegben helyezkedik el (8. ábra). Ennek az 576 pontnak tulajdonságait határozzák meg a modell kialakítása során. A maximális hatótávolsága 5 méter, a pontrács sűrűsége 1 m²-enként 25 cm távolságban 7225 pont, és 1 m²-enként 250 cm távolságban 150 pont. A VCSEL (Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser) impulzusait, jeleit egy CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) alapú digitális érzékelő méri, amelyben egy SPAD (Single Photon Avalanche Photodiode) detektor található.

A VCSEL érzékelők használata egyedi megoldás az Apple-től, amit a telefon mérete és az akkumulátor kapacitása indokolt. A VCSEL-ek alacsony energiafelhasználású, rövid hatótávolságú alkalmazásokhoz vannak optimalizálva, amelyek számos előnnyel rendelkeznek a LiDAR rendszerekben általában használt EEL-ekkel (EdgeEmittingLaser) szemben. Ezek a következők:

- Magas megbízhatóság, mivel a VCSEL-tömb 50-től akár 10 000 egyedi emitterből áll, így jelentősen csökkenti egyetlen kibocsátóelem hibájának hatását.
- Javított jel-zaj viszony (SNR) a vevőnél hatékonyabb szűrés eredményeként, amelyet egy szűkebb hullámhossz sáv tesz lehetővé még hőmérsékletváltozások mellett is,
- mivel a VCSEL-ek függőleges hengeres sugarakat bocsátanak ki.
- A telefon kamerája RGB színeket is rendel a pontfelhő pontjaihoz. Az elkészült pontfelhő hátránya, hogy újrapaszttázás esetén a már bemért pontokat korrigálja, sok esetben el is rontja, szellemképessé teszi azokat.[16]

2.5.3 Az Iphone 14 Pro kamerájának alkotóelemei

- Tripla kamera rendszer: Az iPhone 14 Pro három kamerával rendelkezik, beleértve a 12 megapixeles széles látószögű kamerát, a 12 megapixeles ultra széles látószögű kamerát és a 48 megapixeles telefontó kamerát.[10]
- Éjjel mód: Az iPhone 14 Pro éjjel módja lehetővé teszi, hogy gyenge fényviszonyok között is kiváló minőségű képeket és videókat készítsen. Az éjjel mód automatikusan bekapcsolódik, amikor a környezeti fényviszonyok alacsonyak.
- Deep Fusion: Az iPhone 14 Pro Deep Fusion technológiával rendelkezik, amely összehangolja a hardvert és a szoftvert, hogy kiemelkedő részletességet és zajcsökkentést érjen el a képeken. Ez különösen előnyös részletekben gazdag jelenetek vagy alacsony fényviszonyok esetén.
- Telefontó kamera: Az iPhone 14 Pro telefontó kamerája optikai zoomolási képességeket kínál. Ez lehetővé teszi, hogy közelebb hozza a tárgyakat, anélkül, hogy elveszítené a képminőséget.

- Dolby Vision HDR videó: Az iPhone 14 Pro támogatja a Dolby Vision HDR videó rögzítést, ami élesebb kontrasztot és élénkebb színeket eredményez a videókban.
- ProRAW és ProRes formátumok: Az iPhone 14 Pro lehetőséget kínál a ProRAW és a ProRes formátumokban való képek és videók rögzítésére, amelyek további kreatív szabadságot és nagyobb rugalmasságot nyújtanak a képfeldolgozás és utómunka során ezen formátumnak köszönhetően geodéziai mérésekre is jobban használható.

3. MÉRÉSEK BEMUTATÁSA

3.1 A felhasznált műszerek bemutatása:

- Leica TCRP 1203 mérőállomás
- Leica RTC 360 nagyfelbontású automatizált 3D lézer szkennerek
- GNSS ROVER: FORGEO F90 GNSS vevő
- Oukitel RT3 Android-tablet, rajta a FORGEO KFT. MéRTéKszoftverével amely a ROVER kezelőfelületként szolgál.
- FeimaRobotics SLAM 100 kézi mobil LiDAR szkennerek
- Iphone 14 Pro telefon
- DJI GO Gimbal
- GNSS rover műszerbot (maximum 2.5 méteres antenna magasság)
- RTC360 hoz gyárilag mellékelt carbon műszerláb
- Leica műszerláb
- Prizma bot, Leica prizma
- mérőszallag
- 10 darab 2,5cmx2,5cm fólia
- 15 darab A4-es lapra nyomtatott célpont a scanneléshez

3.2 Mérés megtervezése

A mérést megelőző napon beszereztem a fóliákat és kinyomtattam azokat a célpontokat, amiket a szkenneléshez szerettem volna használni. A kilátó a szülővárosomban van, így a területet előzőleg már többször bejártam, ezért ismertek voltak a korlátai. Kihelyeztem a fóliákat. A kilátó déli oldaláról a Türr-átvágás által határolt, erősen rézsűs így onnan nem lehet megfelelő műszerállást létesíteni úgy, hogy ne legyen takarásban, vagy ne legyen túl éles a rálátási szög. Ebből kifolyólag a fóliák nagy részét az Északi oldalon helyeztem el. Erről az oldalról a töltés határolja, így majdnem minden pontját beláttam a felméréndő objektumnak. Kihelyeztem az A4-es lapokat is, amelyekre a célpontokat nyomtattam. A hagyományos fóliák, amelyeket a mérőállomással szokás használni, nem ideálisak szkennereknek. Egyrészt ha túl nagy távolságra akarunk vele

mérni, akkor akár kárt is tehet a műszerben, másrészt ezek a fóliák szétszórják a rájuk érkező lézereket, amit a szkennel pásztázás közben lő rájuk, emiatt zajként képződnek le. Szerettem volna ezt is tanulmányozni, hogy a különböző LiDAR mérőeszközök hogyan birkóznak meg ezzel. A szoftverek egy része állítólag[8] képes felismerni és algoritmusokkal korrigálni a pontfelhőt, de erre előzetesen nem volt rálátásom. Elhelyeztem 2 fóliát a toronyív aljára és a lépcső keleti oldalánál három lépcsőfokra. Ezekkel a különböző lézeres műszerek korlátaira voltam kíváncsi.

3.2.1 GNSS mérések

Szerettem volna a pontfelhőket végső ellenőrzésként az EOVB-ba illeszteni. Ehhez szükség volt több pont meghatározására, amit majd a mérőállomásos mérésnél alappontnak tudok felhasználni. Erre több lehetőség is rendelkezésemre állt a felméréndő terület adottságai szempontjából, például rálátás van több templomtoronyra is, de a szakdolgozat kereteit figyelembe véve elengedhetőnek ítéltam a GPS-es pontmeghatározást. A GNSS mérések alapvetően hibával terheltek. Ennek kiküszöbölése érdekében minden alapponton háromszor végeztem el a méréseket. A roverrel 60 másodperces intervallumon statikusan mértem. A mérések mind 5-6 mm-es intervallumon belül voltak, ezért vettem az eredmények számtani közepét és azt tekintettem az alappontjaim koordinátáinak. Az illesztőpontok meghatározásánál ügyeltem arra, hogy az ottan felállított műszerállásokból rálátásom nyíljon több fóliára is, így megfelelő számú ellenőrző mérésem lesz a különböző célpontokra. Erre az EOVB-ba illesztés miatt is szükség van, hogy megfelelően át lehessen transzformálni a kész pontfelhő állományokat. A felmért terület mérete miatt a hossztorzulást és a felületi redukciót nem vettem figyelembe. Az állandósításra szeget és jelölő filcet használtam. A fóliákat és a lapokat mérőállomással szabad állásból mértem meg.

3.3 Leica TCR 360 lézerszkennel tulajdonságai

A szakdolgozatomban szerettem volna referencia pontfelhőnek egy statikus lézerszkennel által létrehozott pontfelhőt használni. Ehhez ajánlott segítséget a Geodézia Kft. és Balogh Márk munkatársam, aki tanácsaival és felügyelete alatt zajlott a szkennelési folyamat. A Leica TCR 360 az egyik legmodernebb technikákat használó lézerszkennel, zászlós hajója a cég portfóliójának. Mondhatni átmenetet képez a stati-

kus szkennelés és a mobil szkennelés között, mert mérések közben követi a műszer pozícióját. ACycloneField 360 terepi szoftverrel lehetőségünk van a szkennelés közben nyomon követni a munkafolyamatokat. Előzetes betekintési lehetőségünk van egy „egyszerűsített” pontfelhőbe és korrigálhatjuk az esetleges kapcsolási hibákat, optimalizálhatjuk az álláspontok nyers állományait. A VIS-technológia lehetővé teszi az automatizált regisztrálást. A mérési idő 40 másodperctől több mint 4 percre is tarthat, a beállítástól és a végső igényektől függően. A szkennert könnyen szállítható felállított helyzetben is a karbonszálas műszerlábnak köszönhetően



7. ábra Leica CycloneField 360 3D

. [18]

3.3.1 Első 2 álláspont

A RTC360-nal először a kilátó Észak-Keleti oldalától kezdtük meg a méréseinket.

A szkenneren horizontális és vertikális módosítást nem végeztünk, az alapvetően beállított maximális szkennelési tartományt felhasználni. Ezen beállítással nem spóroltunk volna említésre méltó időt, mert mint feljebb említettem pár perc alatt elvégezhető egy szkennelés/állás. A méréshez a legkisebb lehetséges pontsűrűséget választottam ki, ami

körülbelül 1cm az 10 m felbontást jelent. Talán egyes részletek igényelték volna a nagyobb pontsűrűséget, de a felméréndő objektum és a műszer távolságát figyelembe véve elegendő ez az opció is. Ahhoz, hogy minden részlete megfelelően kirajzolódjon a kilátónak sok műszerállást terveztem, ami már így is rengeteg felesleges méréssel járt, de ezt az irodai feldolgozó szoftverrel terveztem végleg optimalizálni. A műszert nem szükséges a függőbe állítani, kompenzálja magát mérés közben. Azért, hogy ne zavarja a szemet, igyekeztem közel függőleges pozícióban felállítani minden állást. Először körbe forog a műszer és elvégzi a szkennelést, majd még egyszer körbe forog, és közben fényképeket készít amelyből utána RGB értékeket rendel a pontokhoz. Ez 1 perc 36 másodpercet vett igénybe. A mérés közben több ember is átsétált a műszer előtt, ami zajként fog jelentkezni. Ennek kiküszöbölésére lehetőség lett volna az oda-vissza szkennelés elvégzésével is. Ez a feldolgozásban van igazán segítségünkre, mert a mozgó célpontokat automatikusan leválogatja a szoftver, nekünk már csak a végső simításokat kell elvégezni. Az állások helye jól kivethető, mert adott körben nincsenek, vagy a többi területhez képest sokkal kevesebb. A mérések után optimalizáltam az adatokat és összekötöttem az előző állással. Ez is az irodai munkavégzés gyorsítását szolgálja.

3.3.2 3.-4. műszerállás

A harmadik álláspontot a kilátó alsó részének közepére állítottam fel, hogy minden részlete meglegyen a vendéglátórészként üzemelő csepp alaknak is, ezzel szemben található falra történtek a szalagos méréseim egy része is. A negyedik álláspontot is összekötöttem az előzővel, de itt lezártam a vonalláncot, különben az túl nagy lett volna az ugrás vissza a tervezett útvonalra összemosta volna a pontfelhőt azokkal a részekkel amiket már felmértünk.

3.3.3 5.-9. álláspont

Folytattam a kilátó körüli méréseket, hogy semmi se legyen takarásban. Az 5. állást összekötöttem a 2.-kal. A 7. álláspontot direkt a drótkötélpálya alatt állítottam fel, hogy látszódjon a kábel belógásának mértéke. A déli oldalon a 9. álláspontot levittem a folyó szélére, hogy maga a rézsű is leképződjön a végső pontfelhőben. Ezeknél az álláspontoknál már megpróbáltam a szkennelést ellentétes irányba menni, mert a

tableton azt figyeltem meg, hogy akkor nem kerülök bele zajként a pontfelhőbe.



8. ábra 9. állás

3.3.4 10. állás

A 10. műszerállással körbeértünk a kilátó körül. Itt magasabbra állítottam a pontsűrűséget, a középső opcióra, ami ~6 mm @ 10 m-en. Ez az állás szemben volt a fóliáimmal, melyeknek mérete és távolsága (több mint 10 méter) indokoltta ezt a változtatást. Ezen az opción már 2 perc 36 másodperc egy állás.

3.3.5 11.-13. műszerállás.

Ezekkel a kilátó lépcső és felső pihenő részét terveztem feltérképezni úgy, hogy a lehető legtöbb előre kihelyezett célpontra legyen rálátás. Az utolsó állás után még egyszer ellenőriztem a tableten az optimalizálást. Itt megjelöltem a különböző célpontokat a 'Geo tag' opciót használva. Ez az alappontokra illesztésben játszik szerepet. Mikor végeztem, kimentettem az USB porton keresztül egy pendrive-ra az állományt. A teljes állomány 4,77 GB a Leica saját formátumaiban. Minden egyes állás saját almappjával.

3.4 Mérés az iPhone 14 Pro val

Idén február óta rendelkezem egy iPhone 14 Proval és azóta folyamatosan ismerkedem a benne található LiDAR egységgel. Mondhatni, kipróbáltam eddig majdnem az összes ingyenesen használható szoftvert. Próbáltam már kisebb, nagyobb területeket modellezni épületen belül és kívül egyaránt. A legtöbb szabadon felhasználható alkalmazás csak nagyon kis területeket enged rögzíteni és majdnem mindegyik egy kicsit máshogy teljesít azonos környezetben is akár. Fontos megjegyezni, hogy az iPhone LiDAR szenzora nem geodézia feladatokra lett kitalálva, elsősorban a képek és a virtuális valóságot használó alkalmazások javításának érdekében került a készülékekbe. Ebből kifolyólag hivatalos, az Apple által készített szkennelő alkalmazás még nincsen, ha lenne, valószínűleg kevésbé lenne körülményes a telefonnal való szkennelés. Rami Tamim amerikai földmérő professzor, aki aktív a Youtube-on is, eléggé sokat foglalkozik a LiDAR szkennelés pontosságának vizsgálatával. Ő azt tapasztalta, hogy közel 30%-kal lehet javítani a pontfelhő pontosságán és az úgynevezett driftingen. Ebből kifolyólag beszereztem egy DJI Gimball GO-t. Ámbár itt is ütköztem akadályokba. A gimball nem stabilizálta önmagát. Hosszú internetes keresgélések után, egy fórumon találtam egy kommentet, miszerint a gimball egy frissítés után nem érzékeli a sötét színű telefonokat. Egy fehér színű telefonok megoldotta a problémát, de ahhoz, hogy a telefon álló helyzetben legyen benne nagyon kicsi a határ aközött, hogy stabilizál és hogy eldobja magát. Tapasztalattal elég gyorsan megint működésre tudom bírni, de azért előfordul, hogy ez eléggé károsítja a készülék felhőt. Rosszul korrigálja a már bemért területet, elmosódik, zajos lesz. A gimball néha belelóg a kamera látó terébe, ezzel fals RGB értékeket rendelve a pontokhoz. Ezt viszonylag gyorsan észre lehet venni mivel minden alkalmazásban nyomon lehet követni a kijelzőn a pontfelhő alakulását.

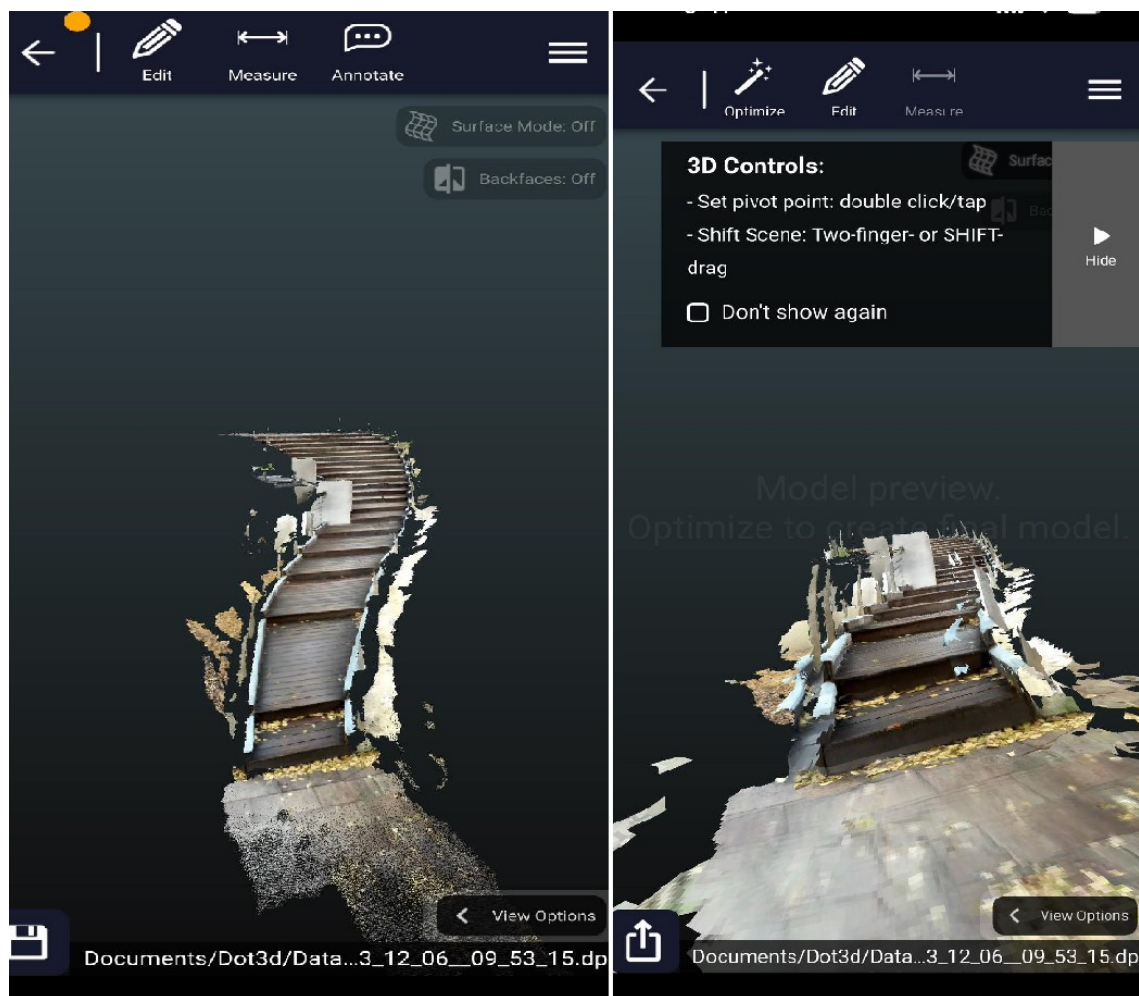
3.4.1 Sitescape

Én a Sitescape alkalmazást és a DOT3D alkalmazást választottam ki, hogy elkészítsem a méréseket vele. A Sitescape igaz, hogy nem igazán személyre szabható (3 féle sűrűség, pontméret és kétféle exportálási lehetőség .PLY; .E57) de a végtermék minőségét tekintve az alkalmazás kiemelkedik emellett a prémium verziójában lehetőség van arra, hogy 10 scanframe-et összefűzzünk. Ebből kifolyólag nagyobb területet tudunk körbeszkennelni. A teljes kilátót körbeszkennelni 14:09-től 14:3-ig tartott és 25 frame

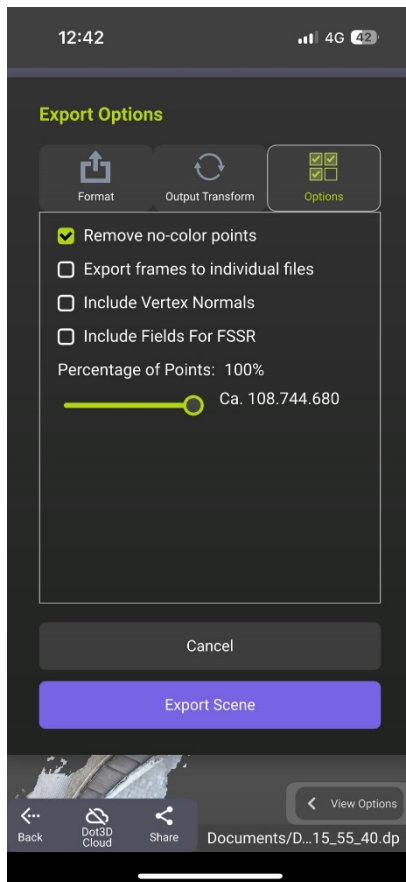
készült róla. A mérést elvégeztem még 2 alkalommal. 20perc és 25 perc volt az időtartama. Ezek közül van olyan, amelyik az újrapasztázás miatt lett használhatatlan. Legmagasabb pontsűrűségen a legalacsonyabb pont nagysággal mértem körbe. Ez a telefon akkumulátorát 83%-ról 18%-ra merítette le. Mire végig ellenőriztem a pontfelhőket, addigra 10% alatti volt, szóval el lehet mondani, hogy eléggé rövidíti az üzemidőt.

3.4.2 DOT3D

Ez a program az, amelyik az egyik legtöbb energiát fekteti a telefonnal való szkennelés javításába. Folyamatosan fejlesztés alatt áll és olyanegyedülálló lehetőségek vannak benne, amik kiemelik a többi szereplő közül. Lehetőség van targetokat elhelyezni, méreteket venni rögtön a pontfelhőből. Az elhelyezett célpontoknak be lehet hívni egy txt állományt, ami rögtön kiírja az esetleges elcsúszások mértékét. Számos különböző exportálási lehetőség, változtatható density, range, ptsbenCyclone kompatibilis formátumot is lehet vele íratni. Az itt történt méréseket ugyan úgy több formátumban van lehetőségünk kimenteni. Habár sajnos az egyik új funkciója, amire mérések elkészültekor nem volt lehetőség, ez pedig az úgynevezett „april tag”-ek elhelyezése. Ez a program által felismerhető célpontokat ajánl fel, amit internetről ki lehet nyomtatni. Ezeket a program azonosítja és a megfelelő ponthoz rendeli.txt alapján. A másik funkció, amit kiemelnék, az automatikus optimalizálása a nyers pontfelhőknek. Ez a funkció eléggé látványos eredményeket tud összehozni. Jelentős munkát képes megspórolni az embernek. 4 pontfelhőt készítettem a kilátóról. 18 perc időtartam alatt az egész kilátót egy munkában. 12 perc részletesen a fele. 5 perc kiegészítő pontfelhőkre, aztán 2x4 perc a lépcsőt szkennelve. A pontfelhők optimalizálására a 18 percesnél, 10 percet kellett várni. a 12 percesnél 8, aztán 1-1 perc a két lépcső felhőjére. A programon belül a navigálás nagyon egyszerű, távolságok levételére, kontrollpontok kiválasztására, behívására körülbelül negyed óra ment el.

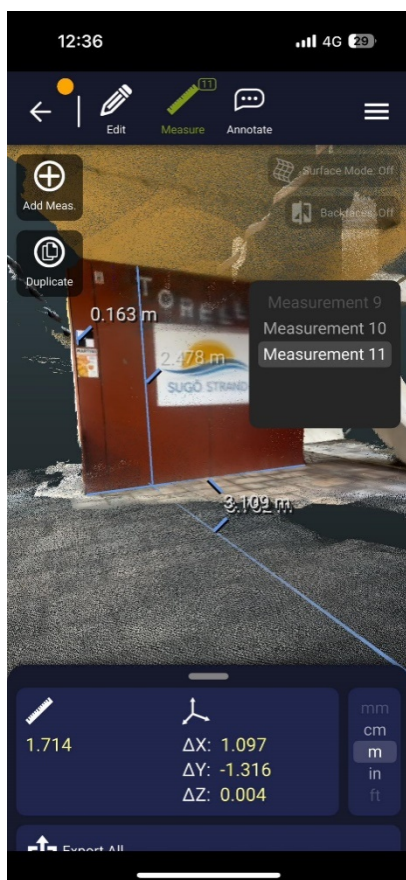


9. ábra Az optimalizálás utáni (balra) és az optimalizálás előtti (jobbra)



10. ábra exportáló felület

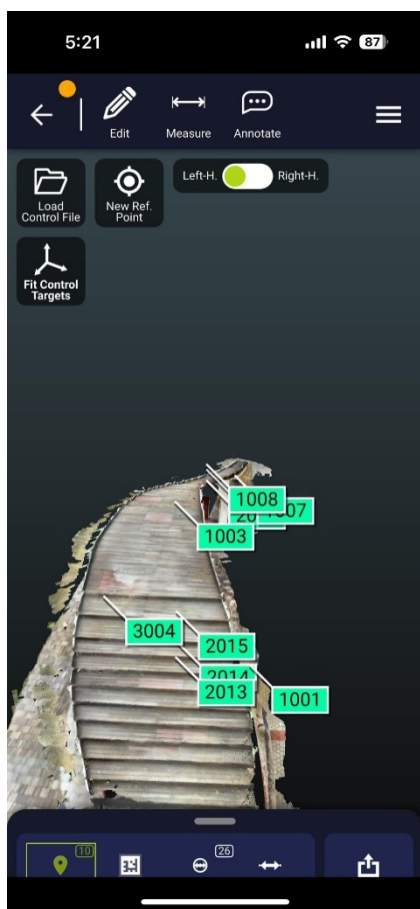
Ezen a felületen lehetőségünk van kevesebb százalékát is ki-
menteni a pontoknak. Sokat
számít az a 20% 5GB méretű
állományoknál



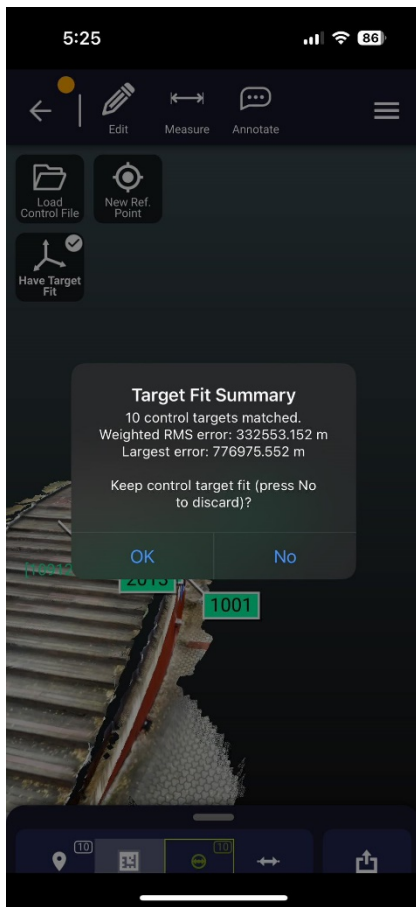
11. ábra Lehetőség van az appon belül méretek levételére



12. ábra a már emlegetett újra rámerés



13. ábra kontrol pontok kiválasztása



14. ábra hiába transzportáltam át UTM-be

3.5 SLAM 100

A kézi mobilszkennerek még eléggé újak számítanak az egész világon, de Magyarországon a műszerforgalmazók most kezdik el felvenni a saját verziójú és megoldású SLAM-jeiket. Lehetőségem volt kipróbálni a bajai Forgeo Kft. által forgalmazott SLAM 100-at. Ezzel a FeimaRobotics által gyártott műszerrel lehetőség van saját rendszerben való mérésre is, és forgalmaznak hozzá egy antennát is, melynek használatával lehetőség van RTK-val való mérésre is. Ilyenkor UTM-be készíti el a felhőt. Az androidos vagy iosos alkalmazáson keresztül üzemeljük a műszert. Ezen a felületen keresztül hozzuk létre a munkát, és munka közben nyomon követhetjük az útvonalunkat, hogy be tudjuk zárni a szkennelési "hurkot". Ezzel lehetőségünk van limitálni a driftinget, mivel az eszköz így generálja a térképi állományt. A már felmért objektumok alapján tájolja magát a térben. Először RTK kapcsolattal mértem körbe a kilátót. Az útvonalam közben ügyeltem arra, hogy a csepp alaknál is végig tudja pásztázni a mű-

szer a környezetemet, legyen minden részletéről adatom. Itt a takarás miatt értelemszerűen megszűnt ideiglenesen az RTK kapcsolat, de miután kiértem a szabad égbolt alá, körülbelül 10 másodperc alatt lett fix megoldása. Ilyenkor sípol egyet a gép a fix elvesztése és megoldása idején is. Ez a mérésemet és a végterméket egyáltalán nem befolyásolta. Miután visszaértem a kiindulási pontomra, lecsatlakoztattam az eszközt a hálózatról. Az eszközzel, annak érdekében, hogy megkönnyítse az esetleges koordináta transzformációkat, lehetőség van illesztő pontos mérésekre. Ilyenkor a már előre meghatározott pontoknál meg kell állni, letenni a műszert a földre. A tartó szerkezet talpán található perforált kereszttel megcélozni az alappontot és ott kell hagyni. Nagyjából 60 másodperc után fel lehet venni a műszert a földről és folytatni az útvonalat.

Mind a két mérésnél ügyeltem a kezem stabilitására, arra hogy ne legyenek túl éles fordulatok, ezek az algoritmust megzavarják és zajossá válhat a végtermék.

Szkennelési idő kb. 5 és 12 perc volt.



15. ábra SLAM 100 inicializálás közben



16. ábra a telefonos kezelőfelületen nyomonkövethető az inicializálás

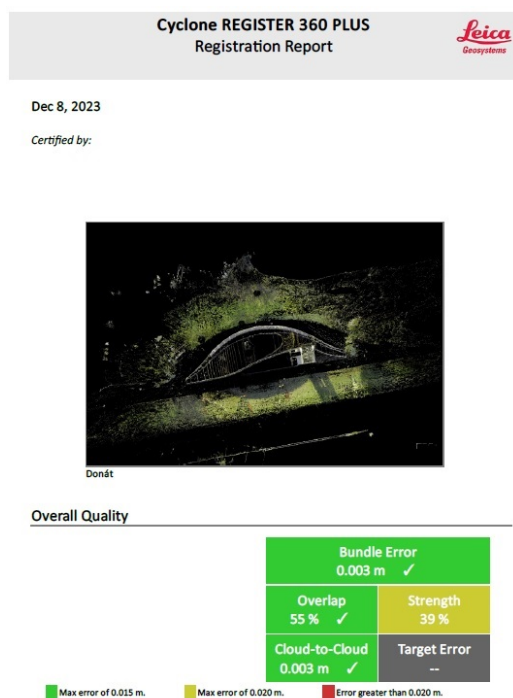
4. FELDOLGOZÁS

A szakdolgozat előtt találkoztam már néhányszor pontfelhőkkel, de leginkább hobbiból és a Laserscanning tantárgy keretein belül. A pontfelhőkben rengeteg lehetőség rejlik, de fontos kiemelni a megfelelő szoftverek használatát. Én a szakdolgozatomhoz a Leica fejlesztésű Cyclone 3D Pointcloud –ot, a DigiCart által fejlesztett PCS-t (PointCloudScene), Cloudcompare-t, Recapet és Autocad Civil3D használtam. Ezúton is szeretném megköszönni Forgó Zoltánnak és Szalai Gergelynek, akik végig segítették a szakdolgozatom elkészültét, többek között szoftverhasználattal is.

4.1 Cyclone 3D

Sajnos a statikus szkennelvel való mérés és a másnap történő illesztőpontok mérése között megszűnt a hozzáférésem a Cyclone 3D-hez és magához a scannerhez is. Annyi időm volt, hogy kimentsem az állományt valamilyen másik formátumba, amit később fogok tudni kezelni más szoftverekkel is. A projekt létrehozása után importáltam a file-okat, azaz behúztam őket az erre megfelelő Dragfiles here részre. Az előnézet után, az importra nyomva az egész adatbázist behívja. Betöltés után látunk egy összesítést az átfedésekre és az illesztési hibákra. Nincs szükség további optimalizálásra, a terepen elvégeztük a dolog nagyját, tovább léphetünk a FINALIZE fülre. Itt kapunk egy nyomtatási képet a projektről és ki lehet menteni az általunk rokonszenves formátumba. Itt vétettem egy hibát, mert az egyszerű kezelhetőség érdekében, e57 formátumban mentettem le, viszont így lemaradtak az alapvető intenzitás értékek. Viszont lett egy használha-

tó referencia állományom, amihez nyugodtan lehet viszonyítani a többi pontfelhőt.



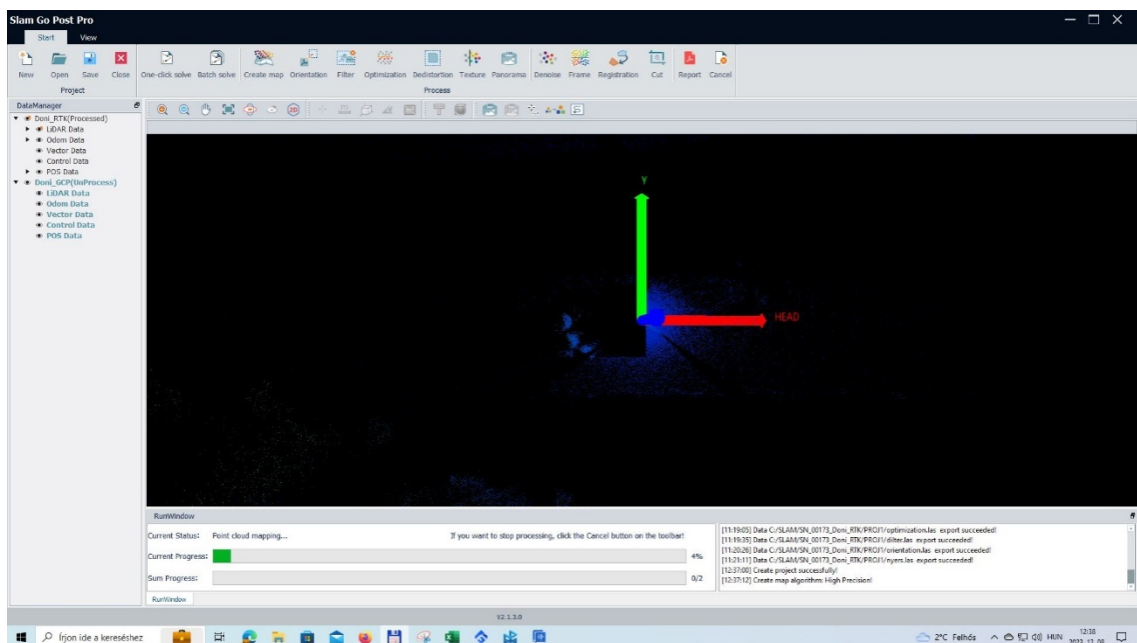
17. ábra Cyclonereport

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 2	Donát- 002	Donát- 003	72 %	0.003 m
		Cloud to Cloud Target		0.003 m
		Mean Target Error:		--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 3	Donát- 003	Donát- 004	83 %	0.003 m
		Cloud to Cloud Target		0.003 m
		Mean Target Error:		--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 4	Donát- 003	Donát- 007	71 %	0.003 m
		Cloud to Cloud Target		0.003 m
		Mean Target Error:		--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 5	Donát- 004	Donát- 005	67 %	0.002 m
		Cloud to Cloud Target		0.002 m
		Mean Target Error:		--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 6	Donát- 005	Donát- 006	56 %	0.002 m
		Cloud to Cloud Target		0.002 m
		Mean Target Error:		--

18. ábra Screenshot a cyclone jegyzőkönyvéből

4.2 SLAM GO POST Pro

Ez a program a SLAM 100 saját feldolgozó szoftvere. A projekt létrehozása után behívjuk az adathordozóról az állományt. A projekt behívása után beállítjuk a paramétereket, itt lehetőség van nagy precíziójú vagy gyors feldolgozásra. Én az előbbi választottam mind a kettő pontfelhő esetében, mivel helyt kellett állnia mind a kettő állománynak. Miután végigfutott a feldolgozás, visszalépünk a start fülre, és itt több félelehetőségünk van. Amennyiben jó, a nyers verziót rögtön kimenthetjük vagy lehetőségünk van további feldolgozási opciókra. Én lefuttattam a szűrőket meg az optimalizálást is. Az orientation fülnél az RTK-s állomány esetén non-rigid beállítással elfogadom, mért pont és a GCP esetén itt van lehetőség megadni az illesztőpontokat és georeferálni, ellenőrizni, hogy jól van minden paraméter megadva. Ha nem fagy le a rendszer feldolgozás közben akkor exportálhatjuk. Végeredményként egy.las állományt kapunk. A GCP esetén a geo referálás után EOVB-be illesztett lesz az állományunk. Az RTK-s méréseket viszont UTM vetületből még át kell transzformálni. A PCS-nek ugyan ilyen kézi szkennerek van, az általuk készített program segítségével egy kattintással áttanszformálta a pontokat EOVB-be.



19. ábra Slam GO PRO működés közben

4.3 Cloudcompare

A munka nagy részét CC-vel végeztem. Több dolog is szólt mellette: egyrészt szabad felhasználású, másrészt angol nyelvű videót lehet találni hozzá, hogyha az ember elakad. Mindegyik munkarészt ezzel a szoftverrel alakítottam tisztítottam és hasonlítottam őket össze.[19]

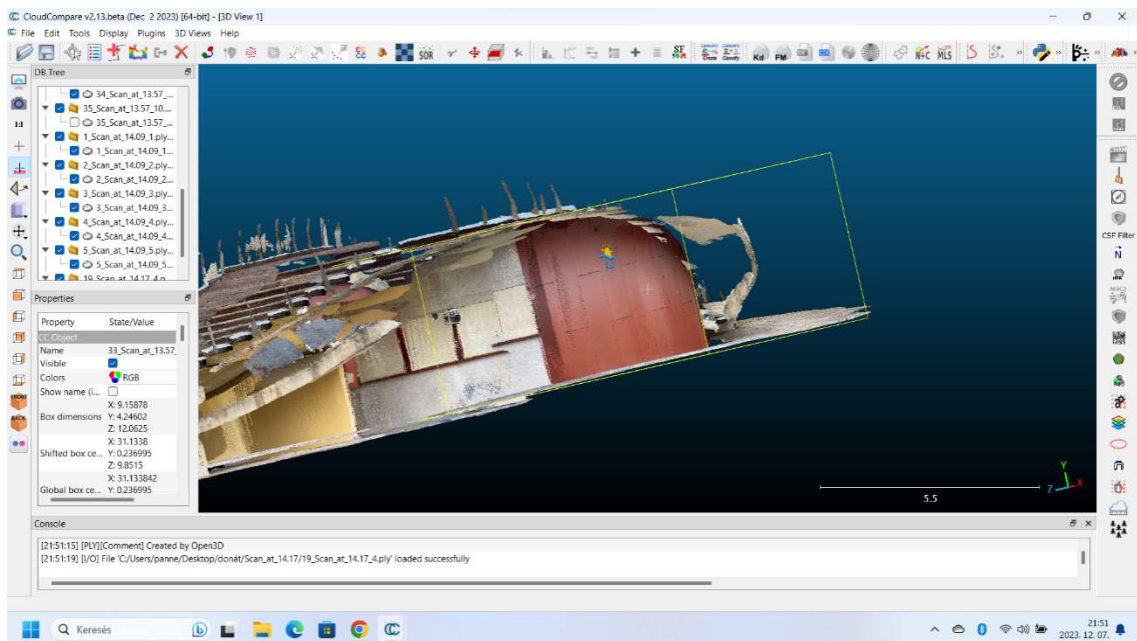
4.3.1 iPhoneLiDAR állomány DOT3D

Több különböző formátumban lementettem a munkákat és egyesével átnéztem őket. Mivel lehetőséget ad a program arra, hogy külön framenként exportáljam ki az állományokat így megpróbálkoztam azzal is. PTS formátumban 5.6 gigabyte volt az egész kilátó terjedelme és 703 frame-et tartalmazott. A számítógép kapacitását az összes egyszerre való megjelenítése teljesen leterhelte, a CC meg ilyenkor néha teljesen leáll. Ezeket minden 25. frame-től a 30. ig duplán klónoztam. Azért duplán, mert szerettem volna, ha minden pontfelhőben van átfedésem a következő részre. Igaz, nem 40% de akkor túl nagyok lettek volna az állományok. Miután minden 30. frame-t összevontam a meshpoinclouds opcióval és megcsináltam a tervezett illesztő pontokkal ugyanezt megpróbáltam kiegyengetni az állományt. Ahhoz, hogy rendesen lássam a formáját a csepp alaknak legalább 5 állományra szükségem volt, de ezzel sem birkózott meg a számítógép.

Más formátumokban sem sokkal kevesebb az adat mennyiség. Ugyanez a felhő .las-ban 5.2 GB. Végül a .ply formátumra esett a választás, mert így még kezelhetőek voltak a fájlok méretei. Viszont akkora mennyiségű adatot tartalmaztak, külön-külön, kis szegmensekkel (286 a teljes kilátó körül), hogy beláthatatlan időnek tűnt CC-vel az összeillesztése. Ebből kifolyólag elfogadtam azt az optimalizált pontfelhőt, amit kimentettem a telefonból. Behívtam a statikus szkennert letisztított verzióját, és az aligncloudtocloud-t választva kiválogattam azokat a természetes és nem természetes célpontokat, amik alapján egymáshoz referáltam a felhőket. A statikus felhőjéről levágtam a torony azon részét, melyet nem látott a telefon, hiszen túl nagy mennyiségű pontból állt az a rész, és megzavarná a finealign parancsot és a cloudtocloud distancetoolt is, hiszen azok hibás

távolságként

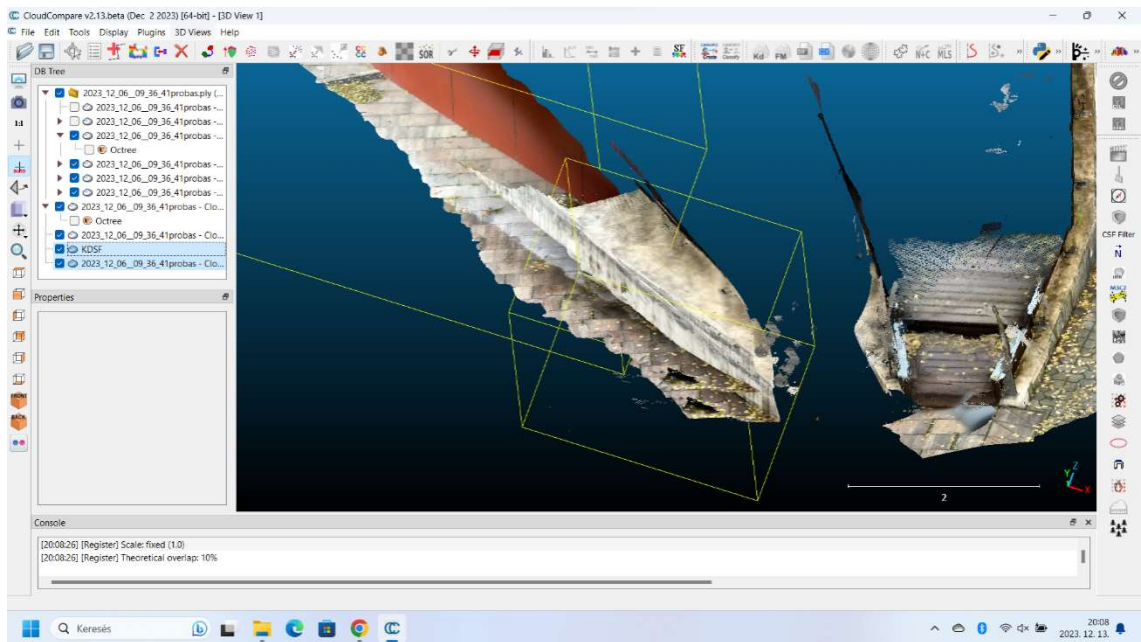
szerepelnének.[19]



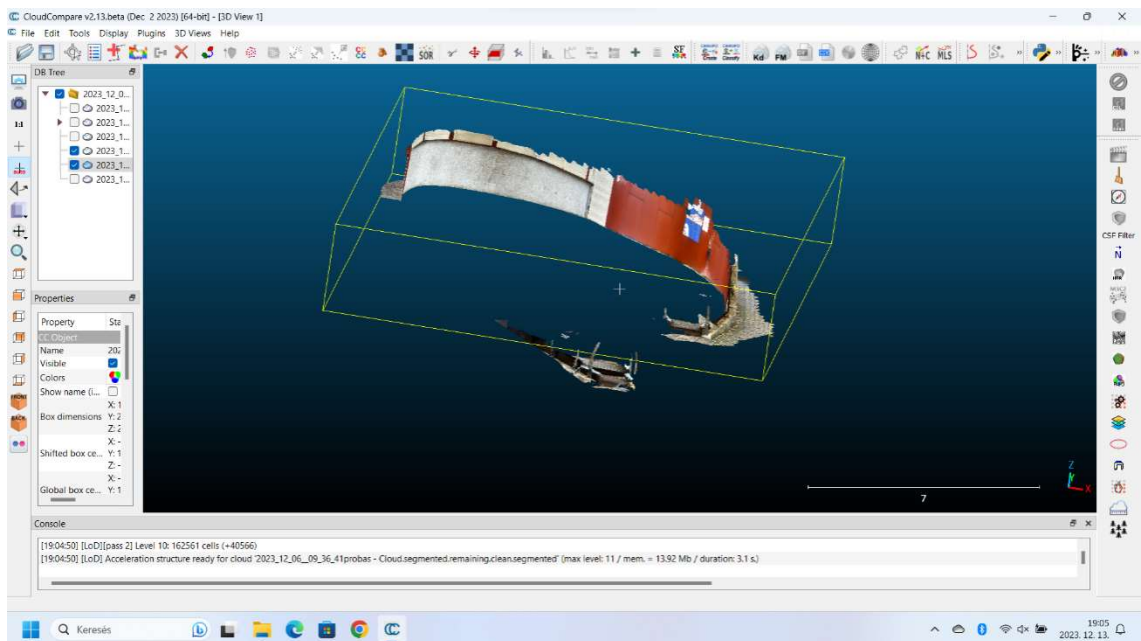
20. ábra Ez még egy viszonylag kezelhető DOT3D-s állomány

4.3.2 IphoneLidarSitedscene

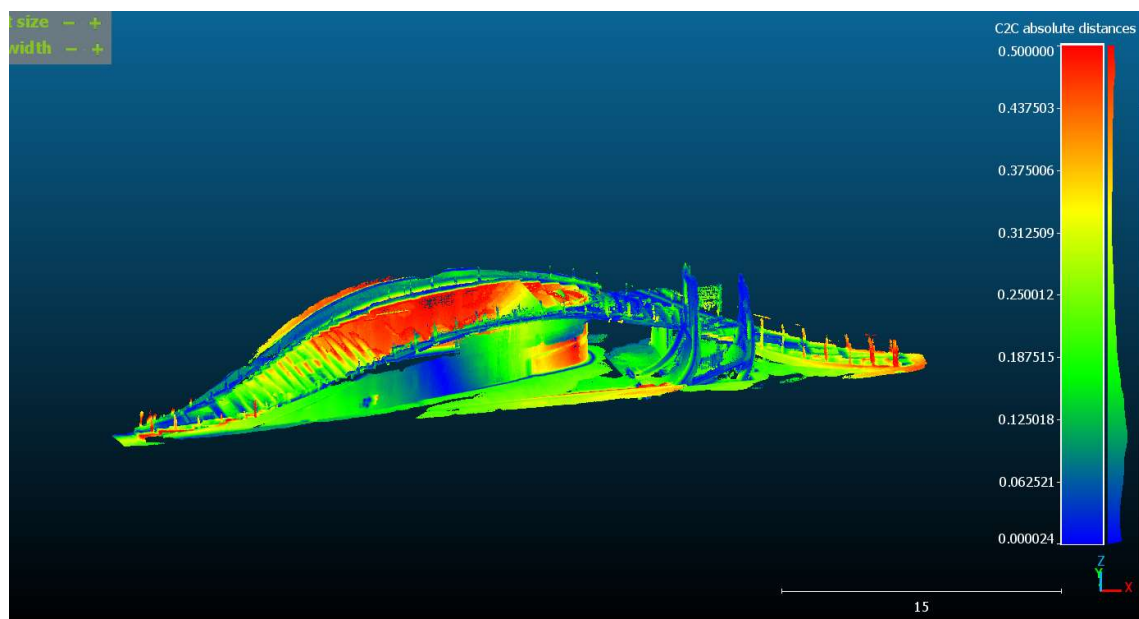
Rami Tamimi Professzor egyik kedvelt programjából származó pontfelhők sokkal könnyebben kezelhetők. A végső verzió a kilátóról 25 különálló pontfelhőből csak a lépcsőről-melyek átlag 140mb mérettel rendelkeztek, és egy külön a cseppalakról és a kilátó körvonairól készült, drifttel terhelt állományból van, melynek mérete 389.72MB. A kihelyezett lapok közül volt, ami elcsúszott és kétszer rögzítette. Ez jól szemlélteti, hogy mekkora differenciákat képes bele vinni a felhőbe. Point picking tool -lal point to point distance opcióval mérve 25centiméter elcsúszás volt a kettő között. Először lefutattam rajta 2 SOR szűrőt ahol a szomszédos pontok indexét 2.5-del ritkítotam, majd a segmentationnel levágtam azokat a zajos részeket az éleknél, ami a mixed edgeprobléma miatt - amit említettem korábban. A fölösleges tartalmi részeket kitöröltem, majd elkezdtem szétarabolni a szétcusúzott lépcsőt és a cseppalakot. A telefon igazából először szinte mindig jól rögzíti a mélységet, viszont ha elkezdünk vele fel-le és körbe pásztázni, akkor felülírja, de igazából oda szkennel egy új falsíkot. A végső állomány kb. 8 óra alatt készült el. A pontok száman 68,255,604 több SOR filter lefutása után is. 33,54% 10.9 centiméter differencia a statikus szkennel felhőjétől a végső állománnyal.[19]



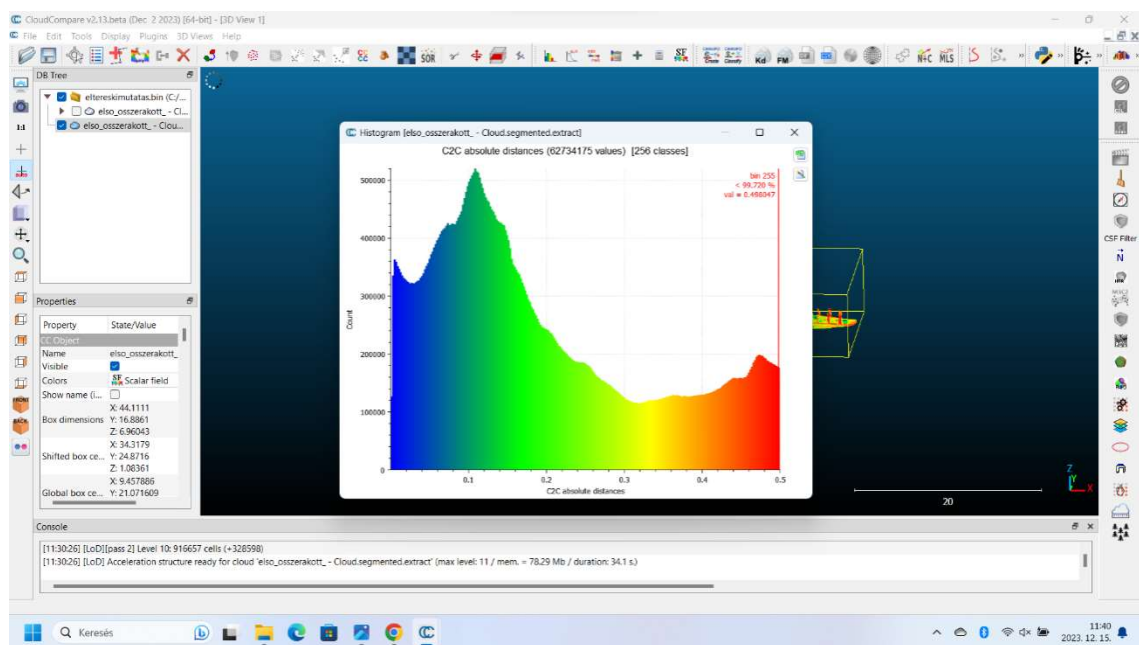
21. ábra Az említett drifting javítása



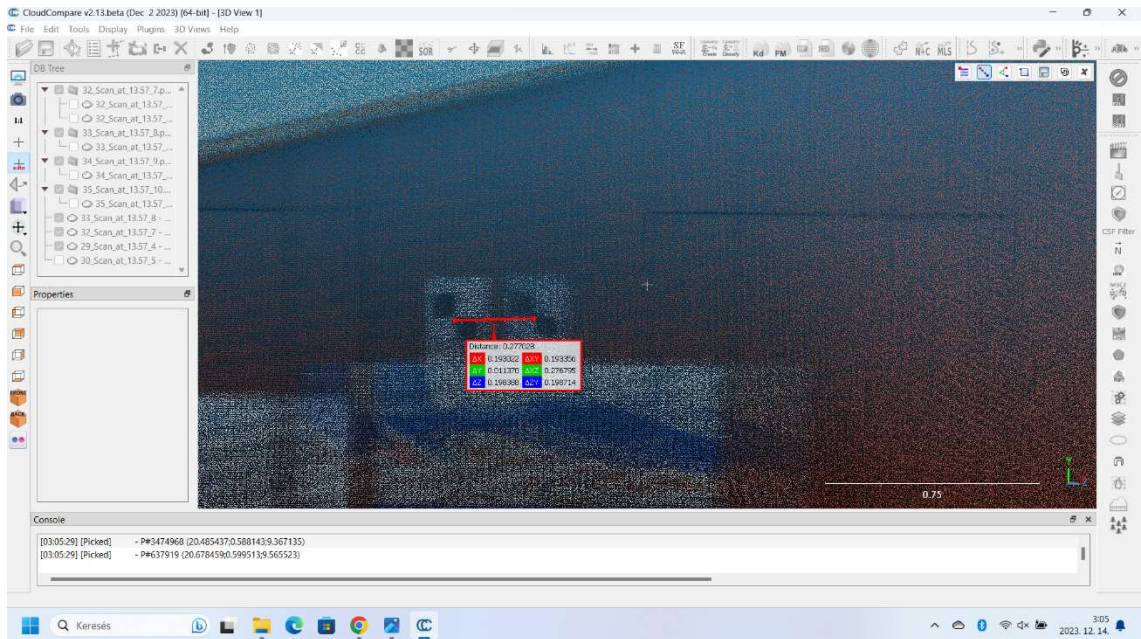
22. ábra Segmentation



23. ábra Az iPhone pontfelhő eltérése a statikus felhőjétől



24. ábra 23. ábra máshogy szemléltetve



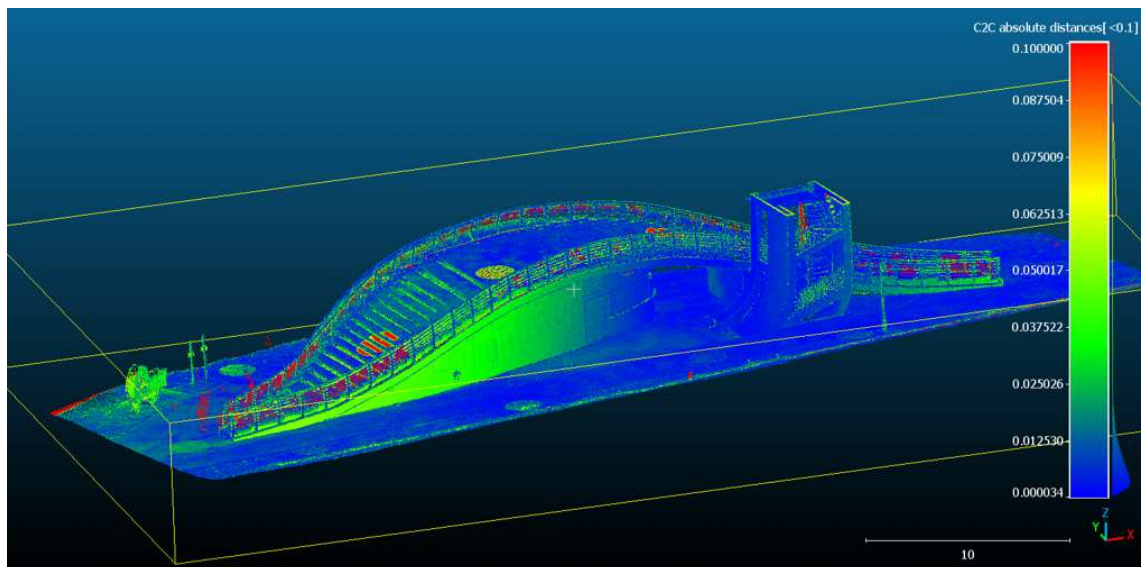
25. ábra akár ilyenek is megeshetnek. A burkolatok vonalai eléggé kontúrosak, jó viszonyítási alap volt

4.3.3 STATIKUS ÉS SLAM GO FELHŐK

Az RTK SLAM GO felhőt csak egy összehasonlítás idejére hívtam be CC-be

Statikus szkennert 93,684,944 pont

SLAM RTK 3,554,587 pont



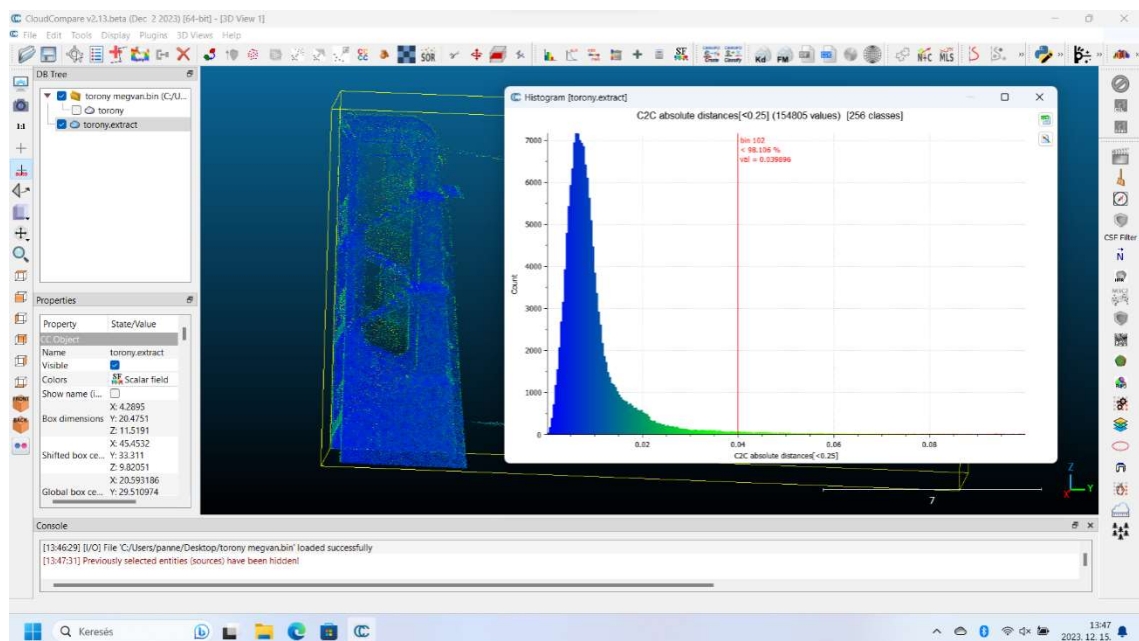
26. ábra Eltérés a pontokban

A GCP és tcr360 nyers állományait az elejétől a végéig a CC-ben csináltam.

PCS-nélszembesültem azzal a problémával, hogy nem látszódtak se a főlíák (a kézi szkennerek határain túl van a 2.5cmx2.5cm), se a papírlapok. A fehér részek elvesztek a kilátó fehér betonján, és a fekete részek sem adtak vissza akkoraintenzitás értéket, hogy bátran, ne teljesen becslés alapon is hibaszázalékkal válasszuk ki a pontot.

Cloudcompare-ben viszont ha skalárisra teszem a felhőt és az intenzitási értékeit szemlélem akkor ahogy, próbálgattam különböző színezési lehetőségeket egyszer csak szemt szűrtak a főlíák intenzitás skála: R->G->Y->B. Ugyanezen az intenzitás értéken veri vissza a SLAM által kibocsátott lézert, mint a kilátó korlátja. A filter by value-ra kattintva és az intenzitást 255-re állítva leválogatja csak a korlát pontjait, meg a főlíákat. Ugyan ezt el lehet érni, ha Grey->Orangeintenzitás színezésnél.. Ez a színezés nagyjából szerepel a PCS-ben is habár kevésbé változtatható.

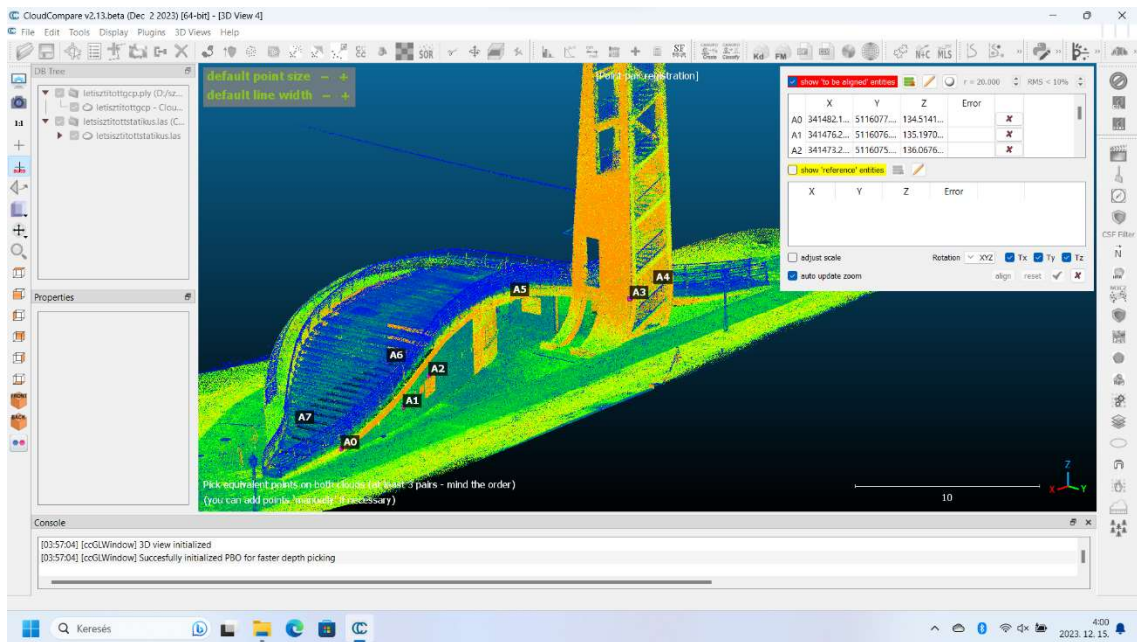
Azon kívül, hogy az alapterületét összehasonlítottam a felhőknek kíváncsi voltam arra, hogy a kilátó kötélpályájának drótkötélben mekkora különbséget mért a két nagypon-tosságú mérőeszköz. Itt a következő eredményeket kaptam:[19]



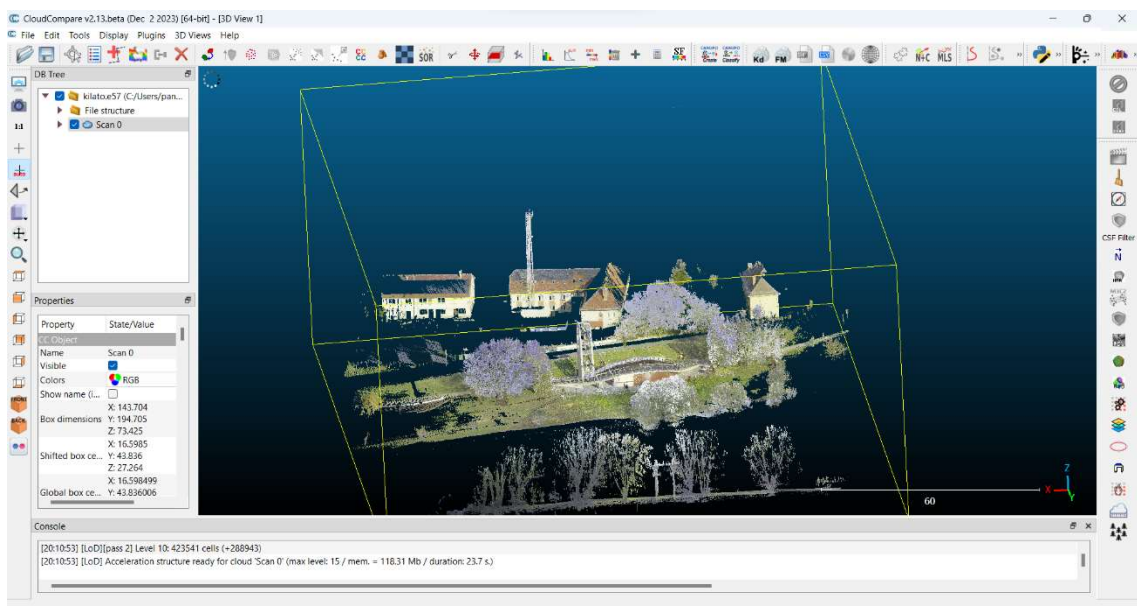
27. ábra Eltérés a torony pontjai között

A torony pontjai a 2,564,793

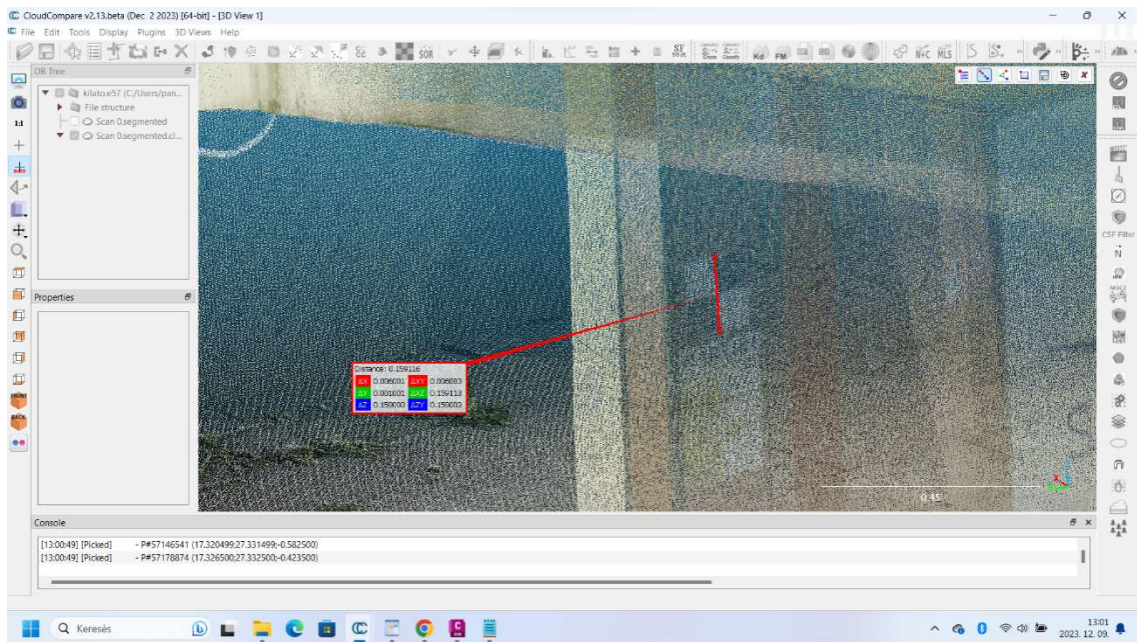
SLAM el 155,391



28. ábra A két pontfelhőt az illesztőpontok segítségével transzformáltam össze



29. ábra A nyers Leica állomány



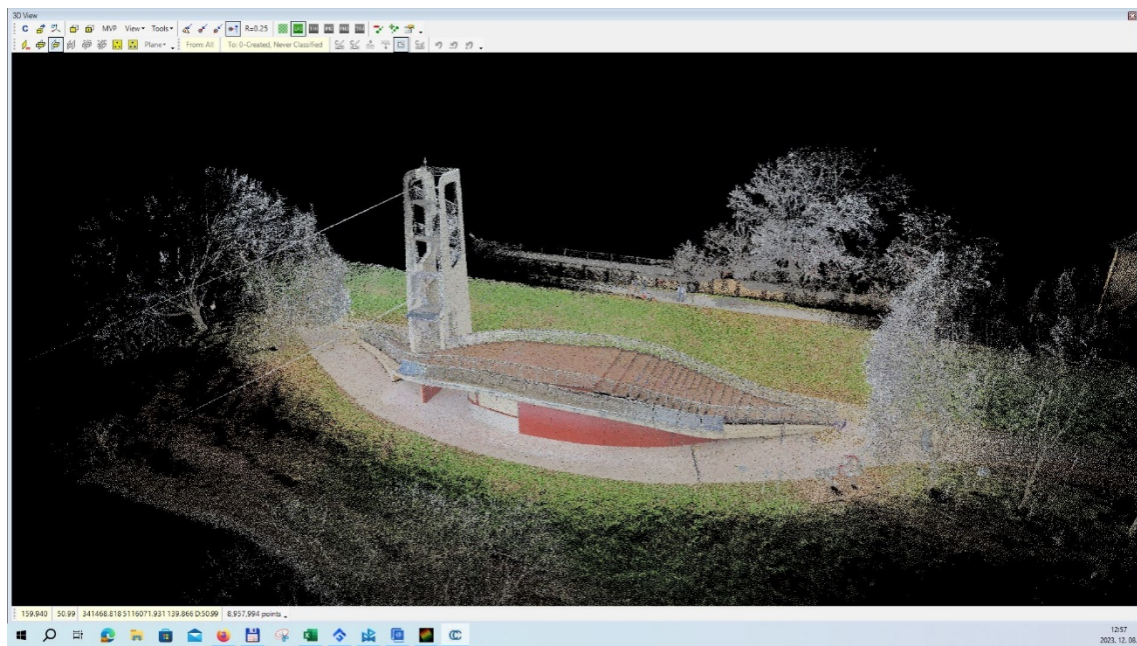
30. ábra Mérések

4.4 PCS-PointCloudScene

A PCS a dupla ablakolásával emelkedik ki igazán a többi szoftver közül, amit használtam. Oda-vissza működik, az, hogy amit a 2D-s ablakban csinálók, azt közben 3D-s nézetben is látom. Így lehetőség van bárhol elvágni a pontfelhőt és térben a pontokat, polyline-okat, polygon-okat shapefile-ként létrehozni, így könnyebb a pontok kiválasztása is, persze ha látszanak.

GCP	2010gcp	642175.2	92811.08	90.187	2010	642175.398	92811.07190.202	2010mk	642175.2	92811.082	90.186	RTK
	2004gcp	642170.476	92810.024	91.519	2004	642170.490	92810.02191.537	2004mk	642170.467	92810.024	91.515	
	2019gcp	642167.66	92809.036	92.593	2019	642167.666	92809.04092.594	2019mk	642167.66	92809.100	92.589	
	220gcp	642163.318	92806.906	93.368	2020	642163.318	92806.90793.371	2020mk	642163.312	92806.911	93.363	
	2018gcp	642159.358	92805.283	93.517	2018	642159.371	92805.28193.530	2018mk	642159.331	92805.280	93.517	
GCP	2017gcp	642147.559	92802.112	91.090	2017	642147.426	92802.10192.216	2017mk	62147.555	92802.110	91.091	RTK
	2016gcp	642147.464	92802.064	92.176	2016	642147.545	92802.13191.081	2016mk	642147.459	92802.061	92.174	
	1001gcp	642166.545	92808.345	91.704	1001	642166.554	92808.35191.726	1001gcp	642166.545	92808.36	91.70	
	1003gcp	642150.339	92806.667	91.981	1003	642150.351	92806.64192.015	1003gcp	642150.339	92806.677	91.98	
	1008gcp	642147.685	92802.117	92.758	1008	642147.618	92802.11492.845	1008gcp	642147.685	92802.120	92.752	
GCP	1003gcp	642151.974	92798.81	90.828	1003	642151.986	92798.79590.869	1003gcp	642151.974	92798.80	90.83	RTK
	1004gcp	642150.862	92802.884	93.665	1004	642150.883	92802.84593.755	1004gcp	642150.862	92802.855	93.668	
	2010mk	642175.398	92811.07190.202		2004mk	642170.490	92810.02191.537					
	2019mk	642167.666	92809.04092.594		2020mk	642163.318	92806.90793.371					
	2018mk	642159.371	92805.28193.530		2017mk	642147.426	92802.10192.216					
GCP	1001mk	642166.544	92808.35191.727		1003mk	642150.351	92806.64192.015					RTK
	1008mk	642147.618	92802.11492.845		1003mk	642151.986	92798.79590.869					
	1004mk	642150.883	92802.84593.751		2010mk	642175.398	92811.07190.202					
	2004mk	642170.490	92810.02191.537		2019mk	642167.666	92809.04092.594					
	2020mk	642163.318	92806.90793.371		2018mk	642159.371	92805.28193.530					

31. ábra EOY helyes koordináták



32. ábra PCS

5. ÖSSZEGZÉS

A szakdolgozatom célja a különböző lézeres adatgyűjtő technikák összehasonlítása volt, amit a lehetőségekhez mérten elvégeztem. Habár maga a terület nem volt nagy, felületben és adatban annál inkább gazdag. Különböző célokat tűztem ki a különböző technikákkal szemben lehetőségeikhez mérten. Míg a telefonnál a pontossági követelményem 50-60 centiméter volt addig, a SLAM-hez 3 centiméteres. Az Egységes Országos Vetületi rendszerbe egy extra ellenőrzés miatt helyeztem át mindegyik pontfelhőmet

A SLAM túlszárnyalta teljes mértékben az elvárásaimat. A statikus szkennerek képest kimondható, hogy a pontok (XYZ értékeinek) 95%-a teljesítette az előre kiírt elvárást, a 89%-a 2 centiméteres pontosságot is elérte. 24.149%-a a 3.9 mm-en belül volt.

Ebből megállapítható, hogy a SLAM megállja a helyét az egyre modernebb LiDAR érzékelők között, és algoritmusoknak köszönhetően a nála akár jóval drágább, nagyobb hírnévvel rendelkező társaival szemben is. Habár szeretném kiemelni, hogy a mérések eredményei ugyanúgy nem reprezentatívak a szkennerek pontosságával kapcsolatban, mint ahogyan a gyártók, sem vésnek semmit köbe. Hátránya a technikának, hogy nem képes ugyanannyi ideig aktívan dolgozni, kisebb akkumulátor kapacitással rendelkezik, mint a statikus társai. Habár azt megjegyezném, minél magasabbra mentünk a pontfelhőben annál kisebb volt a differencia két felhő között.

Az iPhone LiDAR szkennere megmutatta, hogy van helye a többi között, abszolút van benne potenciál. Kiegészítő mérések elvégzésére tökéletes társ lehet egy álló szkennerek mellett. Szerintem azzal, hogy a statikus szkennerek képest el lehet érni azt, hogy a pontok 34.55%-ánál 10.9 cm pontos, és a pontok 99.720%-a belül van az előzőleg kitűzött 50 centiméteres határon, teljes mértékben kielégítette az elvárásaimat. Hátránya, hogy míg a másik két műszerrel előzetes gyakorlás nélkül is lehet minőségi pontfelhőt gyártani, addig az iPhone-nal csak kis hatótávolságban és sok tapasztalattal, utófeldolgozással lehet elfogadható végterméket készíteni. Geodéziai szempontból még nem állja meg teljesen a helyét, de annál komplexebb feladatok elvégzését is meg lehet valósítani vele, mint egy 3D-s nyomtatás alaprajzának az elkészítése. Tehát az

előzetes elvárásaimat mind a kettő eszköz teljesítette.

6. SUMMARY

In my final thesis, I compared various laser-based data-collecting technologies to develop an understanding of how these different instruments work. Their limitations, and possibilities. To gain this knowledge, I started with the beginning of laser beam measuring systems, specifically remote sensing. After developing a basic understanding, we explored the different hazards that can contaminate our measurements. I learned about different softwares, and I tried my best to complete the task which I set for myself.

I set a goal of 3 centimeters for the SLAM 100 and 50 centimeters for the iPhone's LiDAR capabilities. Surprisingly, the SLAM handled this task exceptionally well. I believe it has the possibilities to develop and even achieve the precision of engineering geodesy. It surpassed my expectations with less than 5 mm differences in the final coordinates for around 25% of the total points.

The end product from the iPhone directly obtained from the device is laden with various errors. Nothing that is unfixable, but it requires many hours of labor to produce something useful in the end. However, it has its merits - the satisfaction achieved through correcting these point clouds is incredibly rewarding. In the end, 35% of the points had a maximum difference of 11 cms.

7. IDÉZETT FORRÁSMUNKÁK

- [V. W. Malgorzata, „FOI1, FOTOINTERPRETÁCIÓ ÉS TÁVÉRZÉKELES,”
1 [Online]. Available: https://cdn.fsbx.com/v/t59.2708-21/11654146_852130454841621_2012036873_n.pdf/FOI1.pdf?_nc_cat=101&ccb=1-7&_nc_sid=2b0e22&_nc_ohc=kIu0cr5dySIAx9YBh6n&_nc_ht=cdn.fsbx.com&oh=03_AdSVycKKr_4n_b86ToK7dNgXw2ZVwcAVYyIrcr5kZwNXw&oe=657E3D13&dl=1.
- [B. Attila, „Földi lézerszkennelés,” [Online]. Available:
2 <https://repozitorium.omikk.bme.hu/server/api/core/bitstreams/0e931e03-82f0-4602-3a124af4c259/content?fbclid=IwAR3hM18Ciu3HDGhaXQ2kay30RdjznwpaX7KkwMdYqzA3FBgeiW1LHYcK90>.
- [D. J. Tamás, „FOTOGRAMMETRIA FOT-12,” [Online]. Available:
3 https://cdn.fsbx.com/v/t59.2708-21/12600468_1087146604662927_1798398755_n.pdf/FOT12.pdf?_nc_cat=101&ccb=1-7&_nc_sid=2b0e22&_nc_ohc=2ykQJrRgtHwAX9xF3mU&_nc_ht=cdn.fsbx.com&oh=03_AdQpK2darKefhuuF4JZFADnDgXfZD5Ov0jGWnwC6yXPAlg&oe=657E2DF2&dl=1.
- [N. Antal, „Távérzékelés,” [Online]. Available: <https://www.arcanum.com/hu/online-kiadvanyok/pannon-pannon-enciklopedia-1/magyarorszag-foldje-1D58/uj-modszerek-a-hazai-foldtudomanyokban-2E40/taverzekeles-nemerkenyi-antal-2F6A/?fbclid=IwAR0Llr0zTECorgvimC5kFqN-K-nBfh-aihieHoovA-NYeSJ84hTgtaLFPqg>.
- [V. W. Malgorzata, „FOTOINTERPRETÁCIÓ ÉS TÁVÉRZÉKELES,” [Online].
5 Available: https://cdn.fsbx.com/v/t59.2708-21/11654146_852130454841621_2012036873_n.pdf/FOI1.pdf?_nc_cat=101&ccb=1-7&_nc_sid=2b0e22&_nc_ohc=kIu0cr5dySIAx9YBh6n&_nc_ht=cdn.fsbx.com&oh=03_AdSVycKKr_4n_b86ToK7dNgXw2ZVwcAVYyIrcr5kZwNXw&oe=657E3D13&dl=1.

] 21/12712014_1079131492138140_1136194621_n.pdf/FOI3.pdf?_nc_cat=105&ccb=1-

7&_nc_sid=2b0e22&_nc_ohc=FynlnyMJzxQAX_J86DE&_nc_ht=cdn.fbsbx.com&oh=03_AdTG6Y7KWHhKFGiYbF73JUDOQLBrgCfAnor-knhldCZnIg&oe=657E4088&dl=1.

[„Types Of Remote Sensing: Technology Changing The World,” [Online]. Available: 6 <https://eos.com/blog/types-of-remote->

] sensing/?fbclid=IwAR3s7_0qJ8vUqbETRQbGkEdnspKTC2LMHNqKiIzhIsUfTVbRkStFP2ltJ5E.

[S. Tudományegyetem, „Elektromágneses hullámok,” 2020. [Online]. Available: 7 <https://eta.bibl.u->

] szeged.hu/2173/2/elektromgneses_hullmok.html?fbclid=IwAR2pDCDwTuEoItCMXVHpzlHN4zPf-zyXQJ6c5mAW_dEYfyhkb21FDbqWbTw.

[<https://elearning.uni->

8 obuda.hu/main/pluginfile.php/1105226/mod_resource/content/1/Leonardo_Tutorial_Final_vers5_ENGLISH.pdf.

[V. W. Malgorzata, „Objektum-alapú képelemzés,” [Online]. Available: 9 <https://elearning.uni->

] obuda.hu%2Fmain%2Fpluginfile.php%2F889956%2Fmod_folder%2Fcontent%2F0%2F0BIA_VWojtaszekMalgorzata.pdf%3Fforcedownload%3D1%26fbclid%3DIwAR0HlqS1ahQUAxsrpLcgN8wEjnDfoYNRrZaV6hu8EviiCqE10zR6kUS0NW0&h=.

[H. Krisztián, *Mobiltelefonos „LiDAR-szkenner” pontosságvizsgálata*, OE-AMK , 1 2023.

0

]

[D. D. D. E. H. S. J. K. M. L. W. S. T. S. O. B. T. David Briers 1, „Laser speckle 1 contrast imaging: theoretical and practical limitations,” [Online]. Available:

1 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23807512/>.

]

[J.-P. V. P. R. A. K. T. R. M. T. V. Aino Keitaabbiemi, „The Combined Use of SLAM
1 Laser Scanning and TLS for the 3D Indoor Mapping,” [Online]. Available:
2 [https://www.mdpi.com/2075-5309/11/9/386?fbclid=IwAR2n82s4POZhqLbbEM-](https://www.mdpi.com/2075-5309/11/9/386?fbclid=IwAR2n82s4POZhqLbbEM-KYo2ozElkw9POKNMMFaMd4B9Ilbw7UidYaeivxyY)
] KYo2ozElkw9POKNMMFaMd4B9Ilbw7UidYaeivxyY.

[P. R. A. K. M. T. V. Aino Keitaaniemi, „Drift analysis and sectional post-processing
1 of indoor simultaneous localization and mapping (SLAM)-based laser scanning data,”
3 [Online]. Available:
] [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580522005702?fbclid=IwAR](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580522005702?fbclid=IwAR3mUKzH7zMIFOGMNSzCq8I6mBtsFFUXueU3SjNy265_6Z3Obvfj3upItaA)
3mUKzH7zMIFOGMNSzCq8I6mBtsFFUXueU3SjNy265_6Z3Obvfj3upItaA.

[V. V. V. D. F. N. Charalambos Theodorolu, „Visual SLAM algorithms and their
1 application for AR, mapping, localization and wayfinding,” [Online]. Available:
4 [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590005622000637?fbclid=IwAR](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590005622000637?fbclid=IwAR0HlqS1ahQUAxsrpLcgN8wEjnDfoYNRrZaV6hu8EviiCqE10zR6kUS0NW0)
] 0HlqS1ahQUAxsrpLcgN8wEjnDfoYNRrZaV6hu8EviiCqE10zR6kUS0NW0.

[„SLAM100 Industrial Handheld 3D LiDAR Mobile Laser Mapping Scanner System,”
1 [Online]. Available: [https://www.foxtechrobot.com/slam100-industrial-handheld-3d-](https://www.foxtechrobot.com/slam100-industrial-handheld-3d-lidar-mobile-laser-mapping-scanner-system.html?fbclid=IwAR0w05Xx8KfFuM48nEd7EqEUZ4kyRt_xNo1DIEJJhxYe47x3Y1euDV2BpSU)
5 lidar-mobile-laser-mapping-scanner-
] system.html?fbclid=IwAR0w05Xx8KfFuM48nEd7EqEUZ4kyRt_xNo1DIEJJhxYe47
x3Y1euDV2BpSU.

[J. Shepard, „VCSELS Put LiDAR into Apple iPhones: What Can You Do?,” [Online].
1 Available: [https://www.digikey.com/en/blog/vcsels-put-lidar-into-apple-iphones-](https://www.digikey.com/en/blog/vcsels-put-lidar-into-apple-iphones-what-can-you-do?fbclid=IwAR2l-r-x3i9geUX94Uz9nKrGcetmvQzAhoEDinV2XotNRdzhZsAvzSkI0F0)
6 what-can-you-do?fbclid=IwAR2l-r-
] x3i9geUX94Uz9nKrGcetmvQzAhoEDinV2XotNRdzhZsAvzSkI0F0.

[R. Allian, „What an iPhone Lidar Can Show About the Speed of Light,” [Online].
1 Available: [https://www.wired.com/story/what-an-iphone-lidar-can-show-about-the-](https://www.wired.com/story/what-an-iphone-lidar-can-show-about-the-speed-of-light/?fbclid=IwAR2Lxs9eEHvGfZ27PIsF1S9HQXpXpTkrH3KRWvHGyTVFJJZsxSmQwGLxN14)
7 speed-of-
] light/?fbclid=IwAR2Lxs9eEHvGfZ27PIsF1S9HQXpXpTkrH3KRWvHGyTVFJJZsx
SmQwGLxN14.

[Leica, „Leica RTC360 3D Reality,” [Online]. Available: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/leica-rtc360>.

8

]

[„CloudCompare,” [Online]. Available: https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php/Main_Page?fbclid=IwAR3vf8m01Wk9kwj7MOWLCGWBzzkgp_N0ozCkrnVAKjrKO61drBBRWL21reYU.

]

[G.-M. Hector, D. U. Jeffrey és W. Jennifer, Adatbázisrendszerek megvalósítása, Budapest: Panem, 2001.

0

]

[F. Tamás, „Adatbáziskezelés alapjai 1. rész,” [Online]. Available: <https://tferi.hu/adatbaziskezeles-1>. [Hozzáférés dátuma: 25. február 2022].

1

]

[C.-C. Y. Tee-Ann Teo, „Evaluating the accuracy and quality of an iPad Pro's built-in lidar for 3D indoor mapping,” [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666165923000510?fbclid=IwAR2ZQpqJkBEvDZ7J5_SPAZg-ENbyEgRzJ05HD3wNlMYw8iic4Rq9sEd2gn0.

[M. J. T. D. G. Sören Kottner, „Using the iPhone's LiDAR technology to capture 3D forensic data at crime and crash scenes,” [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666225623000040?fbclid=IwAR2n82s4POZhqLbbEM-KYo2ozElkw9POKNMMFaMd4B9Ilbw7UIdYaeivxyY>.

[G. Luetzenburg, „Recording, exporting and analyzing iPhone LiDAR data,” [Online]. Available: <https://www.protocols.io/view/iphone-lidar-tutorial-yxmvm21w9g3p/v3?fbclid=IwAR2Lxs9eEHvGfZ27PIsF1S9HQXpXpTkrH3KRWvHGyTVFJJZsxSmQwGLxN14>.

[I. MAGICPLAN, „Why Apple’s LiDAR Scanner Opens Up a Brave New World of Indoor Mapping,” [Online]. Available: https://blog.magicplan.app/why-apples-lidar-scanner-opens-up-a-brave-new-world-of-indoor-mapping?fbclid=IwAR3iKYkZ_77ADnD1ImO9o8A_MLklhRvzlPPZcy9qoyLlsVeH MJsElPr74a0.

[F. KFT, „FEIMA ROBOTICS SLAM100 kézi 3D szkennel,” [Online]. Available: <https://forgeo.hu/slam100.html?fbclid=IwAR2Ky5h1sbEwr837ALFpbVUIVurYCBc6a4IHnhACHwIOoy9pPkioB0JpzPIU>.

[D. B. Lohani, „Airborne Altimetric LiDAR: Principle, Data Collection, Processing and Applications,” [Online]. Available: https://home.iitk.ac.in/~blohani/LiDAR_Tutorial/Airborne_AltimetricLidar_Tutorial.htm?fbclid=IwAR1h95S9iCh3XvBY7Qd5QmCxQ_8MZEHvnpAmvtXz51DkL2opSURyLNI6L3c.

[H. N. J. A. Barsi Árpád, „LiDAR-alapú felszínborítottság-vizsgálat,” [Online]. Available: https://www.academia.edu/17301259/LiDAR_alap%C3%BA_felsz%C3%ADnbor%C3%ADtotts%C3%A1g_vizsg%C3%A1lat?fbclid=IwAR1QtEHEyIC5ziNkYxS2cQN ZXkx9WwoI97m1Pb-6iGKbp2f0LSUEaa6b0CQ.

[G. Hajdu, „RASZTERES ADATFORRÁSOK A távérzékelés alapjai,” [Online]. Available: <https://slideplayer.hu/slide/15233134/?fbclid=IwAR2l-r-x3i9geUX94Uz9nKrGcetmvQzAhoEDinV2XotNRdzhZsAvzSk10F0>.

[B. Kornélia, „A Rezi vár és környékének háromdimenziós modellezése és annak felhasználása a turizmusban,” [Online]. Available: http://lazarus.elte.hu/hun/digkonyv/szakdolg/2016-bsc/busznyak_kornelia.pdf?fbclid=IwAR30DutGch9-MWxn0rORont8aXA6yXkDgG_M1yxik6D_9yuhjcvDXXeeeB8.

[author, „Automatic registration of partially overlapping terrestrial laser scanner point clouds,” [Online]. Available: https://prs.igp.ethz.ch/research/completed_projects/automatic_registration_of_point_clouds.html?fbclid=IwAR3nExOcHe0G4kzg4-kLXaY-XVt9DftOUFSJWu7t-tCDf1ZebiwxnI-x-tU.

8. ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra : Az elektromágneses spektrum tartományai forrás: Sárközy F. 1991, Ravi P. Gupta, 1991 után.....	5
2. ábra Különböző hőmérsékletű fekete testek által kibocsátott energia eloszlási görbéje 1981 [1].....	6
3. ábra 3. ábra: A Nap és a Föld sugárzásának energia eloszlása a különböző hullámhosszokon [1].....	6
4. ábra Mixed edge probléma [8].....	11
5. ábra: ToF mérés elve.....	16
6. ábra: a VCSEL érzékelő működése egy telefonban	16
7. ábra Leica Cyclone Field 360 3D	23
8. ábra 9. állás	25
9. ábra Az optimalizálás utáni (balra) és az optimalizálás előtti (jobbra).....	29
10. ábra exportáló felület	30
11. ábra Lehetőség van az appon belül méretek levételére.....	31
12. ábra a már emlegetett újra rámérés	32
13. ábra kontrol pontok kiválasztása.....	33
14. ábra hiába transzportáltam át UTM be	34
15. ábra SLAM 100 inicializálás közben.....	35
16. ábra a telefonos kezelőfelületen nyomonkövethető az inicializálás	36
17. ábra Cyclone report.....	38
18. ábra Screenshot a cyclone jegyzőkönyvéből	38
19. ábra Slam GO PRO működés közben.....	39

20. ábra Ez még egy viszonylag kezelhető DOT3D-s állomány	41
21. ábra Az említett drifting javítása	42
22. ábra Segmentation.....	42
23. ábra Az iPhone pontfelhő eltérése a statikus felhőjétől.....	43
24. ábra 23.ábra máshogy szemléltetve	43
25. ábra akár ilyenek is megeshetnek. A burkolatok vonalai eléggé kontúrosak, jó viszonyítási alap volt	44
26. ábra Eltérés a pontokban.....	44
27. ábra Eltérés a torony pontjai között	45
28. ábra A két pontfelhőt az illesztőpontok segítségével transzformáltam össze.....	46
29. ábra A nyers Leica állomány	46
30. ábra Mérések.....	47
31. ábra EOV helyes koordináták	47
32. ábra PCS	48