

ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar

Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT

Földi lézerszkennér alkalmazása a mérnökgeodéziában

OE-AMK

2023

Hallgató neve: Erdősy Gabriella

Hallgató törzskönyvi száma: T000621/FI12904/A-G



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: 2023. 12. 12.

.....
Ginlöy Gabella

hallgató aláírása



ÓBUDAI EGYETEM
OBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Erdősy Gabriella

Szakedolgozat száma: [REDACTED]

Törzskönyvi száma: T000621/FI12904/A-G

Neptun kódja: [REDACTED]

Szak: földmérő és földrendező mérnök

Specializáció: Geoinformatika specializáció

A dolgozat címe: Földi lézerszkennerek alkalmazása a mérnökgeodéziában

A dolgozat címe angolul: Application of Terrestrial Laser Scanner in Engineering Surveying

A feladat részletezése:

Mutassa be a földi lézerszkennerek alkalmazási lehetőségeit a mérnökgeodéziában. Konkért esettanulmányok kapcsán foglalja össze gyakorlati tapasztalatait.

Intézményi konzulens neve: Dr. Tóth Zoltán

Külső konzulens neve: Kövér Bence

Munkahelye: Equiscorp Kft.

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

Beadási határidő: 2023. 12. 15.

A szakedolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2023. 10. 24.



[Signature]

Intézetigazgató

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

[Signature]

belső konzulens

[Signature]

külső konzulens

Tartalom

1.	BEVEZETÉS	1
2.	Lézerszkennelés	2
2.1	A lézerszkennelés, mint távérzékelési technológia	2
2.2	A lézerszkennelés fizikai alapjai	2
2.3	Lézerszkennelési módszerek csoportosítása	4
3.	Földi lézerszkennelés	5
3.1	Alkalmazási területek	5
3.2	Alkalmazás az építőiparban	5
4.	Földi lézerszkenneres felmérések általános menete	7
4.1	Méréstervezés	7
4.2	Mérés végrehajtása	7
4.3	Utófeldolgozás	8
4.4	A mérést befolyásoló tényezők	9
4.4.1	Technikai paraméterek	9
4.4.2	Mérés környezete	10
4.4.3	Mért objektum hatásai	10
4.5	Data Fusion	10
4.6	Földi lézerszkennelés és közelfotogrammetria összehasonlítása	11
5.	Parkolóház felmérése	13
5.1	A parkolóház felmérésének célja	13
5.2	A mérés során használt eszközök	13
5.3	Mérés végrehajtása	15
5.4	Környezet hatása a mérésre	16
5.5	Irodai feldolgozás	17

5.5.1	Cyclone Register.....	17
5.5.2	Saját mérés utófeldolgozása a Cyclone Registerben	20
5.5.3	Cyclone 3DR.....	22
5.5.4	Parkolóház mérési eredményeinek tisztítása és elemzése Cyclone 3DR-ban 28	
6.	Egyéb munkafolyamatok	32
6.1	Homlokzatelemzés	32
6.2	Liftakna Clash analízise	33
6.3	Foghíjbeépítés	34
6.4	Digitális terepmodell, földtömegszámítás.....	35
6.5	Többletbeton számítás.....	36
6.6	Vakolatszámítás	37
7.	Összefoglalás	39
8.	Summary.....	40
9.	Irodalomjegyzék	41
10.	Ábrajegyzék.....	42

1. BEVEZETÉS

A tíz hetes nyári gyakorlatomat az Equiscorp Kft.-nél töltöttem. A cég fő profilja iroda-épületek, hidak, lakóparkok, egyéb épületek szerkezetépítéséhez kapcsolódó zsaluzási, betonozási, betonacél szerelési tevékenységek. Az elmúlt néhány évben a cég növekedésével egyre több geodéziai feladatuk is lett, ezért 2020-tól teljes munkaidőben dolgozó földmérőket vettek fel, hogy a lehető legjobban tudják gyorsítani a projektek kivitelezését.

A földmérők mellett gyakornokként lehetőségem volt részt venni különböző mérnökgeodéziai munkafolyamatokban, mint például a szerkezetépítéshez szükséges kitűzések, a megvalósult állapotok bemérése, ellenőrzése és mozgásvizsgálatok elvégzése. A földmérők elsődleges feladata a szerkezetépítéshez kapcsolódó kitűzések és a szerkezetépítés teljes körű támogatása, amihez robot mérőállomás szükséges. Az egyre nagyobb számú és méretű projektek támogatásához azonban szükségessé vált a gyorsabb és hatékonyabb ellenőrzés, emiatt a cégvezetés egy lézerszkennert beruházása mellett döntött. A lézerszkennerral történő felméréseket fokozatosan beépítették a kivitelezés munkafolyamataiba.

Szakdolgozatomban szeretném bemutatni, hogy az Equiscorp Kft. projektjeiben hogyan használtuk fel ezt a viszonylag új technológiát a különböző mérnökgeodéziai feladatok végrehajtására. A lézerszkennert a robot mérőállomással végzett munka mellett teljesen új munkafolyamattá vált. Lézerszkennelés jelentősen gyorsította a hibák feltárását és azok javítását annak ellenére, hogy az eredményként kapott pontfelhők feldolgozása jóval több időt vesz igénybe, mint a hagyományos mérőállomással rögzített adatok.

A mérőállomások és a lézerszkennert közötti egyik legnagyobb különbség a terepen és az irodában töltött idő aránya. A lézerszkennert a terepi adatrögzítést gyorsítja, de a rövidebb mérési idő alatt is hatalmas adatmennyiséget generál. Mivel a pontfelhő sokkal nagyobb adathalmaz, ezért a mérés során kapott nyers pontfelhőből a megrendelő számára lényeges információk kinyerés hosszabb, több lépésből álló folyamat, specifikus szoftver- és hardver-igényekkel. Ebből kifolyólag szakdolgozatomban a feldolgozáshoz szükséges

programok ismertetését és a különböző eredmények előállításának lépéseit tekintettem hangsúlyosabb feladatnak.

2. LÉZERSZKENNELÉS

2.1 A lézerszkennelés, mint távérzékelési technológia

A lézerszkennelés egyike a napjainkban legelterjedtebb és legtöbbet kutatott távérzékelési eljárásoknak. Ilyen technológiák használata során a vizsgált területről vagy objektumról közvetlen fizikai kapcsolat teremtése nélkül tudunk információt gyűjteni elektromágneses hullámok észlelésével. [1] [2]

Az elektromágneses sugárzás forrása szerint megkülönböztetünk aktív és passzív távérzékelési rendszereket. Passzív rendszerekről akkor beszélhetünk, ha a szenzor a felszín által reflektált napsugárzást vagy az adott tárgyak saját emittált sugárzását rögzíti (pl. fotogrammetriai mérőkamera, video felvevő), aktív rendszerekről pedig akkor, ha a szenzor valamilyen elektromágneses hullámot képes kibocsátani, és annak visszaverődését érzékeli. Utóbbi csoportba tartozik a radar mellett a lézerszkennelés is. [1] [2]

2.2 A lézerszkennelés fizikai alapjai

A lézer szó az angol LASER rövidítésből származik, ami a Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation kifejezésből jött létre, melynek jelentése: sugárzás stimulált emissziója általi fényerősítés. [3] [4]

Az atomokban az elektronok az atommag körül különböző energiaszinteken helyezkednek el. Az atom alapállapotban az elektronok a lehető legalacsonyabb energiaszinteken vannak. Az elektronok átléphetnek más energiaszintekre is az energia (foton) elnyelésével (abszorpció) vagy kibocsátásával (emisszió). Ha egy elektron elnyel egy fotont, az atom magasabb energiaszintű, azaz gerjesztett állapotba kerül. A gerjesztett állapot instabil, az atom törekszik arra, hogy minél kisebb energiaszintre jusson vissza. Ehhez az atomnak energiát kell leadni hő formájában, vagy foton kibocsátásával (spontán emisszió). [3] [4]

Einstein 1917-ben megállapította, hogy az energiaátmeneteknek az abszorpció és a spontán emisszió mellett létezik egy harmadik fajtája, a spontán emisszió, melyen a lézer működési elve alapul. Spontán emisszió akkor következhet be, „ha a gerjesztett állapotban lévő atomhoz egy olyan foton érkezik, amelynek a frekvenciája megfelel a gerjesztett és az alacsonyabb energiaszintű atom energiakülönbségének” [3]. Ekkor a gerjesztés során az atom által felvett többletenergiát az atom egy foton formájában bocsátja ki. „A folyamat eredményeként tehát két foton hagyja el a közeget, az eredeti beérkező foton, s az emittált újabb foton.” [3] A kibocsátott foton energiája, iránya és frekvenciája azonos az atomhoz érkező fotonéval. A két foton az elsőhöz hasonlóan képes további atomokat emisszióra készíteni. [3] [4]

Ahhoz, hogy spontán emisszióval láncreakciót hozzunk létre, a közegben több atomnak kell gerjesztett állapotban lennie, mint amennyi alapállapotban van. A gerjesztés történhet például fénnnyel, ezt pumpálásnak nevezzük. Tükrökből álló rendszerrel és a folyamatos pumpálás biztosításával létrehozható a monokromatikus és koherens lézersugárzás. [3] [4]

A lézersugárzás számos olyan tulajdonsággal rendelkezik, melyeknek köszönhetően a mérés technikában jól alkalmazható:

- párhuzamos fénysugarakból áll
- monokromatikus – egyetlen frekvenciájú összetevője van
- időben és térben koherens
- polarizált [5]

A lézersugárzás felhasználása a távérzékelésben hasonló a radar működési elvéhez. A lézerfény energia-impulzusai más elektromágneses sugárzásokhoz hasonlóan kölcsönhatásba léphetnek a sugár útjában lévő objektumokkal. Az energia egy része a földfelszínről vagy a tereptárgyakról visszaverődik, ezáltal meghatározható egy adott pont és a műszer távolsága. [1] [3]

A távolság számításának módja szerint megkülönböztetünk időmérési és fázismérési műszereket:

- Időmérési (Time of Flight, ToF) műszerek: ha a szenzor helye és az elektromágneses sugárzás terjedési sebessége ismert, az energia kibocsátás és a visszaverődés

között eltelt idő mérésével kiszámolható egy adott objektum távolsága a szenzortól.

- Fázisméréses (Phase Based, PB) műszerek: a kibocsátott és a visszavert sugár fázisaiból számolható a távolság. [1]

2.3 Lézerszkennelési módszerek csoportosítása

A szenzor elhelyezése szerint a lézerszkennelési technológiák két csoportba sorolhatóak:

Légi lézerszkennelés (Air-borne Laser Scanning, ALS): A repülőgépen vagy drónon elhelyezett szkennер lézersugárral pásztázva rögzíti az információkat, főként felszín és domborzatmodellek előállításához. Ez a módszer, bár már korábban létezett, az 1990-es évektől terjedt el, köszönhetően a technológia és a helymeghatározás fejlődésének. [1]

Földi lézerszkennelés (Terrestrial Laser Scanning, TLS): A szenzort rögzíthetjük műszerállványra, valamilyen járműre, vagy tarthatjuk kézben is. Elsősorban objektumok geometriai jellemzőinek mérése és meghatározása a cél. [1]

3. FÖLDI LÉZERSZKENNELÉS

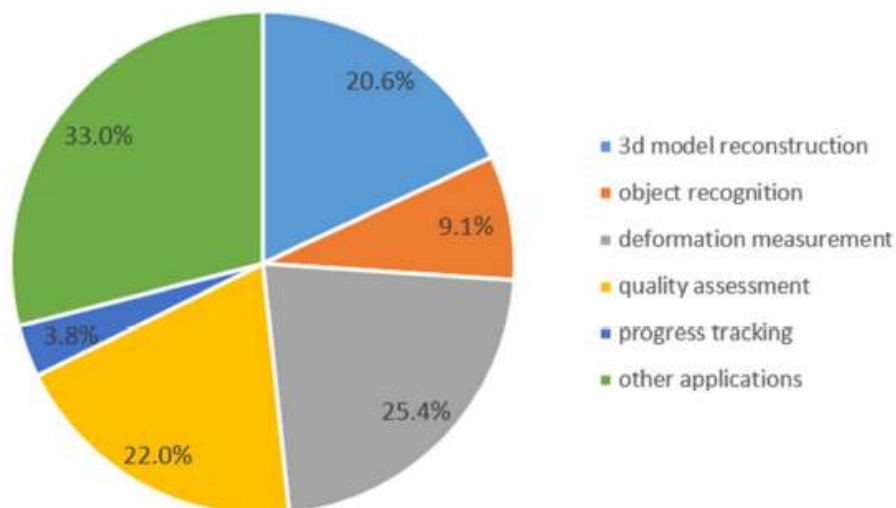
3.1 Alkalmazási területek

A földi lézerszkennelést leggyakoribb alkalmazási területei a következők:

- topográfiai és építészeti felmérések
- régészeti felmérések
- barlangok felmérése
- bányászati felmérések
- városmodellezés
- állapotfelmérés [1]

3.2 Alkalmazás az építőiparban

Az földi lézerszkennelést az építkezések több szakaszában is rendszeresen alkalmazzák. A Sensors folyóirat 2022-es felmérése szerint a lézerszkennerek használata az építőiparban a következőképpen oszlik meg:



1. ábra - Alkalmazási területek az építőiparban [6]

- **3D Model Reconstruction** - 3D modell rekonstrukció: A lézerszkennelés segítségével kiszámíthatóak és megjeleníthetőek a 2D CAD-fájlok alapján létrehozott BIM állomány és a valóság közötti eltérések.
- **Object recognition** - Objektumfelismerés: Különféle algoritmusok segítségével a pontfelhőben rögzített objektumok osztályozhatóak (pl. hidak különféle szerkezeti elemei, fák törzse és lombkoronája stb.) Így a geometria információkon kívül topológia adatok is nyerhetők a szkennelés eredményeként.
- **Deformation Measurement** – Alakváltozás mérése: Szerkezeti eltérések kimutatása azonos pontokon történő többszöri mérésekkel.
- **Quality Assessment** – Minőségértékelés: Előre gyártott, a helyszínen beépítésre kerülő szerkezetek méretének ellenőrzése (például pillérek), előrecedés vagy környezeti tényezők által okozott károk felmérése, felszínek egyenletességének vizsgálata.
- **Progress Tracking** – Előrehaladás mérése: Az építkezés különböző szakaszaiban készült pontfelhők használatával nyomon követhető a projekt megvalósulása. [6]

4. FÖLDI LÉZERSZKENNERES FELMÉRÉSEK ÁLTALÁNOS MENETE

4.1 Méréstervezés

A lézerszkenneres mérés végrehajtása előtt a felmérni kívánt terület terve vagy térképe alapján megtervezhető a leendő álláspontok helye és száma, valamint a mérésre fordítandó idő is megbecsülhető. A tervezés során többek között tekintettel kell lenni a választott objektum vagy terület nagyságára, az elvárt részletességre és a mérésre rendelkezésre álló időre és eszközökre. Szintén figyelembe kell venni a mérés környezetének különböző hatásait, mint például az időjárás vagy a területen folyó egyéb munkálatok ütemezése vagy városi felmérések alkalmával például a forgalom sűrűsége. [1]

Az álláspontok helyének és számának megválasztásakor a fentiek mellett fontos figyelni arra is, hogy pontfelhő különböző részeinek pontos illesztéséhez az álláspontok megfelelő sűrűségben, egyenletesen helyezkedjenek el. Ugyanakkor túl sok álláspont létesítésével a mérés állománya túl nagy lehet, ami megnövelheti az utófeldolgozás idejét, ezért érdemes egy nagyobb területen több külön munkafolyamatot is indítani.

4.2 Mérés végrehajtása

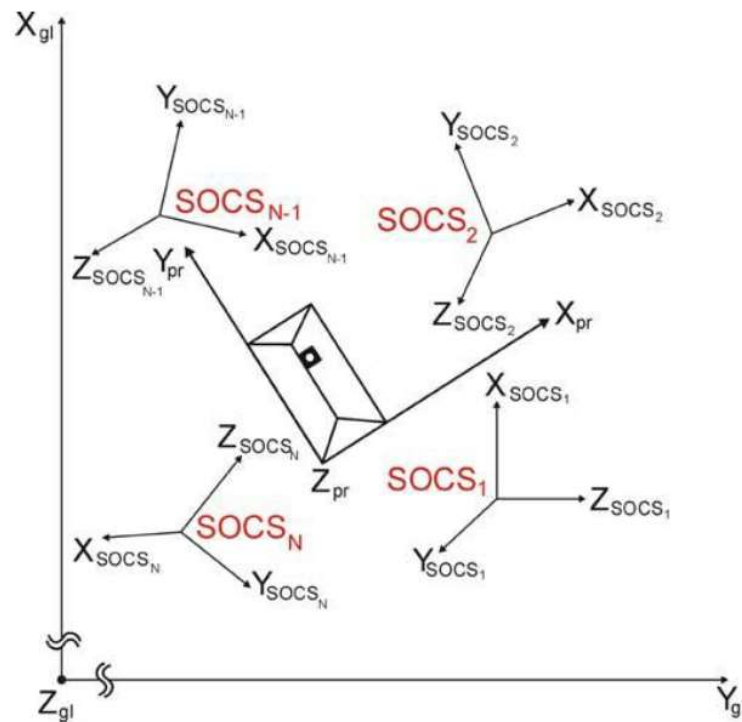
A földi lézerszkenneres felmérések terepi része egyszerűbb hagyományos mérőállomásos mérésekhez képest. Itt a felmért pontfelhők illesztés után ugyanabba a koordináta-rendszerbe kerülnek, így nincs szükség a pontos mérésekhez az állótengely függőlegessé tételére a libellák beállításával. A legtöbb lézerszkenneres mérésnél azonban szükség van az eredmények valamilyen adott koordináta-rendszerbe (ittthon leggyakrabban EOVS) történő transzformálására (abszolút illesztés). Ezt illesztőpontok segítségével lehet végrehajtani. Az illesztőpont lehet bármilyen pontosan azonosítható, nem állandósított pontjel, például prizma, jeltárcsa vagy fólia. Az illesztőpontok elhelyezése után kezdődik a felmérés.

A mérés részeként az illesztőpontokat hagyományos mérőállomással is be kell mérni a transzformációkhoz.

4.3 Utófeldolgozás

A felmérés eredménye a nyers pontfelhő, ami tulajdonképpen háromdimenziós pontok halmaza. Ahhoz, hogy ebből értelmezhető eredmény legyen, szükség van szűrésre, tisztításra, valamint egyéb szoftveres utófeldolgozási lépésekre. [1]

A nyers pontfelhőben az egyes állaspontokról szkennelt pontok mind külön koordináta-rendszerben helyezkednek el. A földi lézerszkennelésben háromféle koordináta-rendszert lehet megkülönböztetni.



2. ábra – A földi lézerszkennelés koordináta-rendszerei [1]

- SOCS: A szkennер saját koordináta-rendszere (Scanner's Own Coordinate System), ami állaspontonként különböző
- pr: az aktuális projekt koordináta-rendszere (Project's Coordinate System)
- gl: országos, vagy nagy területű munkálatok esetén az építkezés helyi rendszere (Global Coordinate System) [1]

Ahhoz, hogy használható információkat lehessen kinyerni a pontfelhőből, szükség van a részletek egymáshoz illesztésére. Ez a relatív illesztés, melynek során a SOCS koordinátákat transzformáljuk a projekt koordináta-rendszerébe.

Az újabb lézerszkennerek már képesek arra, hogy az egyes álláspontokról mért pontokat már a helyszínen egymáshoz illesszék. Így a relatív illesztés már a mérés közben elvégezhető, ilyenkor ezt előfeldolgozásnak nevezik.

Az abszolút illesztés során a pontfelhőt valamilyen adott koordináta-rendszerbe transzformálják, például EOVRendszerbe Magyarországon, vagy az építkezés helyi alappont-hálózatába.

4.4 A mérést befolyásoló tényezők

A földi lézerszkennerekkel történő méréseket különböző tényezők befolyásolják. Ezeket a mérésre gyakorolt hatásuk eredete szerint három csoportba sorolhatjuk:

- a műszer technikai paramétereinek hatása,
- a mérés környezetének befolyásoló hatása,
- a mért objektum hatása a felmérésre. [1]

4.4.1 Technikai paraméterek

A technikai paraméterek közül a műszer pontossága, a szkennelési tartomány és mért pontok sűrűsége vannak hatással leginkább a mérési eredményekre.

A legtöbb lézerszkennerek esetében a gyártó megad egy, a távmérés pontosságát jellemző értéket, ami csak adott távolságon belül érvényes. A szkennelési tartomány, vagy látószög jellemzésére a gyártók külön magassági és vízszintes tartományra vonatkozó értékeket adnak meg. A legtöbb műszer 360°-os vízszintes látószöget képes biztosítani, míg a magassági szögtartomány kisebb, általában a 80° és 300° közé esik. [1]

A szkennelt pontok sűrűségét a mérés gyakoriság mutatja meg. Egyes műszereknél többféle érték közül választhatunk. Ha részletesebb felmérésre van szükség, akkor az a hatótávolság csökkenésével és a felmérési időtartam növekedésével jár, ha azonban a mérést

minél gyorsabban szükséges végrehajtani, akkor ajánlott nagyobb hatótávolságon belül kisebb sűrűségben szkennelni.

4.4.2 Mérés környezete

A mérési körülmények között a legfontosabb befolyásoló tényezők a szálló por és a csapadék. A nagyobb porszemcsékről és a folyadékcseppekről a lézersugár visszaverődik, ami pontatlan mérést eredményez, valamint az így keletkező hibák szűrése sok időt igényel az utófeldolgozás során. [1]

Főként szélsőséges esetekben a hőmérséklet is hatással lehet a lézerszkenneres felmérésekre. A legtöbb szkennert működését a hőmérséklet 0°C és 40°C között nem befolyásolja, illetve sokszor a műszerek szoftvere valamilyen szinten képes korrigálni ezt a hatást. [1]

4.4.3 Mért objektum hatásai

A legjobb visszaverődés akkor tapasztalható, ha a beeső lézersugarak merőlegesek az objektum felületére. Időmérési műszereknél 10° a legkisebb beesési szög, amellyel még használható a mérés, fázismérési műszereknél pedig jóval nagyobb. [1]

A szkennelt felületek színe és anyaga is meghatározza a lézersugarak visszaverődési jellemzőit. A korai lézerszkenneres példák nem tudtak fekete objektumokat mérni, mivel ezek a látható fény nagy részét elnyelik. Ma már a fekete tárgyak is nagy pontossággal beszkennelezhetők. Üveg, fólia, és más átlátszó felületek tükröződnek, és emiatt torzítják a mérést.

4.5 Data Fusion

A lézerszkenneres felmérések során keletkező fényképek alkalmazhatóak interpretációra és mérésre is. A képek olyan információkkal egészítik a szkennelt pontfelhőt, mint pél-

dául a mérhető objektumok azonosítása és az alkalmazható felbontás nagysága. A szkennelés eredményeinek interpretációját úgy segítik, hogy a képek alapján színinformációkat lehet a pontokhoz rendelni. [1]

A fényképek és a pontfelhő egyesítésére háromféle módszert alkalmaztak a lézerszkennelés történetében:

- Független fényképezéskor a képek készítése és a szkennelés ugyanabban az időpontban, de különböző műszerekkel történik, tehát nem áll fenn fizikai kapcsolat a két felvevőrendszer között.
- Rátét fényképezés során a szkennelhez adapterrel rögzített fényképezőgépet használnak. Ilyenkor figyelni kell arra, hogy a két műszer között stabil mechanikai kapcsolat legyen a mérés idejére. A mérés feltétele az is, hogy a szkennert és a fényképezőgépet is lehessen külön-külön használni, illetve alkatrészeik cserélhetőek legyenek.
- Ma már az összes földi lézerszkennel beépített fényképezőgépet használ. Ez a módszer előnyös, mert a két rendszer egy műszerben foglal helyet és ugyanazon felhasználói felületről irányítható, valamint az adatforgalom a szenzorok között egyszerűbben biztosítható. A beépített fényképezőgép hátránya, hogy a képalkotó rendszerek technológiai fejlődése jóval gyorsabb, mint a szkennereké, ezért a fényképezőgépek közül nincs lehetőség mindig a legújabbat használni. [1]

4.6 Földi lézerszkennelés és közelfotogrammetria összehasonlítása

A földi lézerszkennelés és a közelfotogrammetria a földi távérzékelés leggyakrabban alkalmazott eljárásai közé tartoznak. A fotogrammetria passzív, a lézerszkennelés pedig aktív távérzékelési technológia. Ebből adódóan a két módszer felhasználhatóságában jelentős különbség, hogy a fotogrammetriához szükséges a jól megvilágított környezet, míg a lézerszkennelés, mivel saját maga állítja elő a méréshez használt elektromágneses sugárzást, alkalmazható sötét környezetben is. Ilyen felhasználási lehetőségek például bányák, forgalmas utak vagy hidak felmérésekor, vagy akkor, ha hőhatások csökkentése szükséges a mérés megfelelő pontosságához. [1]

A két módszer közötti másik lényeges különbség a felmért tárgy koordinátáinak számítása. Lézerszkenneléskor egy álláspontból történő méréskor már létrejön a szkennelt objektum térbeli pontfelhője, ahol mindent pont rendelkezik koordinátákkal. Ezzel szemben fotogrammetriai módszerek alkalmazásakor egy adott objektum pontjainak koordinátáit csak a külső és a belső tájékozási adatok ismeretében, indirekt módon tudjuk kiszámítani. Továbbá a közelfotogrammetriában egy kép használatával nem lehet rekonstruálni a mért objektumot, ehhez további adatokra van szükség, ami lehet egy másik kép, vagy a pontokhoz tartozó magassági értékek. [1]

5. PARKOLÓHÁZ FELMÉRÉSE

5.1 A parkolóház felmérésének célja

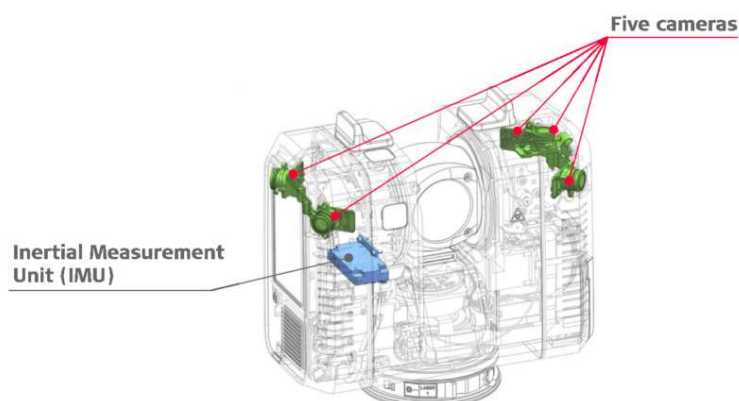
Mérésem célja ebben a projektben egy épülő parkolóház megvalósulásának ellenőrzése az elkészült szerkezet és a 3D modell összehasonlításával. A mérés időpontjában a parkolóház második emeletének szkennelése volt a soron következő feladat. Szakdolgozatomban többféle módszert szeretnék bemutatni a lézerszkenneléssel előállított adatok felhasználására, ezek azonban jelentősen csak az irodai feldolgozás lépéseiben térnek el. A felmérések végrehajtása a projektek különböző munkafolyamatainál hasonló azonos elvek alapján történ, ezért a többi alkalmazási lehetőség leírásánál ennek részletezésétől eltekintettem. A nyers pontfelhő utófeldolgozásának azonos lépéseit szintén csak a parkolóház munkálatainál fejtem ki.

5.2 A mérés során használt eszközök

- Leica RTC 360 lézerszkennel, állvány, 4 db akkumulátor, pendrive
- tablet
- Leica TS16 robot mérőállomás, állvány
- B&W 4.5" targetek (7 db)

A felméréseket Leica RTC 360 lézerszkennelrel végeztem. A műszer 2018-as megjelenésekor egyedinek számító VIS-szel (Visual Inertial System, vagyis vizuális inerciarendszer) rendelkezik. A VIS a szkennel két egymás utáni álláspontja közötti relatív pozíciót és tájolást határozza meg közvetlenül az adatok rögzítése után. Így az első állásponton mért pontokhoz a második állásponton felvett pontfelhő automatikusan illeszkedik. A VIS használata lényegesen meggyorsítja az irodai feldolgozás folyamatát, valamint már a terepen, mérés közben információt szolgáltat az addig szkennelt, összeillesztett pontfelhőről. [7]

A VIS 5 kamerából és egy Inerciális Mérési Egységből (IMU, Inertial Measurement Unit) áll. 4 kamera a lézerszkennerek sarkaiban, egy pedig a tetején helyezkedik el, együttesen lefedve a szkennerek teljes környezetét.



3. ábra – A VIS részeinek helyzete a szkennerekben [7]

A rendszer az első mérés után a képeken nagy kontraszttal rendelkező, környezetüktől könnyen elkülöníthető 3D pontokat választ ki. Ezek helyzete a következő képeken objektum követéssel meghatározható. A szkennerek elmozdulásakor a 3D pontok és a műszer hat szabadsági foka alapján folyamatosan, hátrametszésekkel határozza meg az új pozíciót manuális beavatkozás nélkül. [7]

A VIS technológiát a legtöbb műszergyártó már alkalmazza az elmúlt öt évben forgalomba került lézerszkennerekben.

Az RTC360 szkennerekhez tartozó táblagép és azon futó Cyclone FIELD 360 mobil alkalmazás használatával az eredmények azonnal, még a mérés közben megjeleníthetők. A Cyclone FIELD programban ezen kívül további információk tárolhatóak a mérések kiegészítésére (pl.: szöveg, fénykép), valamint kiegyenlítő számítások is végezhetők, ha már rendelkezésre áll megfelelő számú állásponton (minimum 3) mért pontfelhő. [7]

A méréseket az utófeldolgozás során EOVR rendszerbe kellett transzformálni (abszolút illesztés). Ehhez illesztőpontokként A4-es lapra nyomtatott, laminált B&W 4.5" targeteket használtam.

5.3 Mérés végrehajtása

A mérést a targetek kihelyezésével kezdtem. A targeteknek a területen egyenlően elosztva kell elhelyezkedniük. A transzformációhoz minimum három illesztőpontot szükséges használni, de a gyakorlatban a terület nagyságától függően 4 vagy annál több targetet szokás kihelyezni a minél pontosabb kiegyenlítéshez. A targetek pozícióját Leica TS16 robot mérőállomással határoztam meg a korábban GNSS mérésekre támaszkodva létrehozott vízszintes alapponthálózatban.

Az álláspontok megválasztásakor a következő szempontokat kellett figyelembe venni:

- a területen található objektumok minden oldala szerepeljen a felmérésen
- egy-egy objektum több álláspontból is látszon
- a műszer mm-es pontossága 10 m-es távolságig garantált
- a legoptimálisabb elhelyezkedés, ha az álláspontokból szabályos oldalú háromszögekből álló hálózatot lehet kialakítani
- a target és a műszer között körülbelül 1-3 m távolság legyen
- a target síkja és az álláspont a lehető legpontosabb mérés érdekében 90° -tól eltérő szöget zárjon be

A szkennel indítása után frissíteni kell a GNSS- pozícióját, mert a műszer az előző mérés helyét tárolja. Ezt nevezzük inicializálásának.

Az olyan álláspontokon, ahol a szkennel targetet is bemér, a tablet segítségével kijelöltem a target középpontját, ezzel csatoltam az illesztőpontot a pontfelhőhöz, ezután elneveztem őket (LS01-LS07). A targeteknek ugyanazt a nevet kellett adnom, mint amit korábban a mérőállomással történő bemérésüknél. Ez alapján lehetett később az utófeldolgozás során közös pontként kijelölni őket a transzformációhoz.

A Cyclone Fieldben a mérési eredmények egy, a felhasználó által létrehozott Job-ban álláspontonként (Setup-ok) Bundle-ökbe rendeződve rögzülnek. Ha egy Setup-ot nem kapcsolunk az előzőhöz a mérés közben, automatikusan új Bundle jön létre, de a Setup-ok számozása folytonos marad. Az egyes Bundle-ök tartalmát külön kiegyenlíthetjük, il-

letve exportálhatjuk. A gyakorlatban ez a lehetőség akkor hasznos, ha például egy épületnek egyszerre több emeletét szkenneljük be, de emeletenként külön számításokat szeretnénk végezni.

A Cyclone Field a mérés eredményeit háromféle nézetben jeleníti meg.

- **Map:** Itt a pontfelhő, az álláspontok és a köztük lévő kapcsolatok (linkek) láthatóak felülnézetben.
- **360:** Az egyes álláspontokról bemért pontokat lehet külön megnézni fényképekkel együtt, tetszőleges szögben forgatva.
- **3D:** Ebben a nézetben az egész pontfelhő látható fényképek nélkül. A pontfelhőhöz különféle intenzitásokat lehet hozzárendelni, valamint egy adott terület kijelölésével már itt is törölhetők a fölösleges mérések. A gyakorlatban ritkán érdemes itt nagyobb pontmennyiséget törölni, mivel az irodai utófeldolgozás során használt programok precízebb és gyorsabb lehetőségeket kínálnak erre.

Egymást követő álláspontokon a szkennelés után a Cyclone Field program felkínálja a Quick Link opciót, amivel az aktuális álláspontból mért pontfelhőt automatikusan illesztjük az előző ponton mérthez (relatív illesztés). Később bármelyik két álláspontot kijelölve a tableten további kapcsolatokat lehet létrehozni, így biztosítva, hogy a program kiegyenlítést végezhesen.

Miután több állásponton is elvégeztem a szkennelést, az álláspontok között további linkeket hoztam létre úgy, hogy ezek geometriája a lehető legjobban közelítsen egyenlő oldalú háromszöghez.

Az RTC360 szkennerral háromféle pontsűrűséggel lehet mérni, ezek időigénye különböző. A legnagyobb pontosság eléréséhez a legsűrűbb felbontást használtam, ami 2:42 időtartamú. Ezalatt a műszer először elvégzi a szkennelést, majd a fényképezést háromfajta intenzitású (hagyományos, túlexponált és alulexponált) felvételt készítve.

5.4 Környezet hatása a mérésre

Méréskor számos környezeti tényezőt figyelembe kellett vennem. Többek között az építkezésen folyó munkálatok megnövelték a pontfelhőben keletkező zaj mennyiségét, és így

az utófeldolgozás idejét. Ennek kiküszöbölésére használható az az opció, amikor a szkener kétszer végez el minden mérést (Double Scan), és a csak az egyik alkalommal jelen lévő pontok automatikusan törlésre kerülnek. Így azonban a mérés ideje is megduplázódik, ezért célszerűbb volt a fölösleges ponthalmazokat az utófeldolgozás során törölni.

A munkaterület egy részén állt a víz, így itt nem vettem fel álláspontot. Az utófeldolgozás során látszott, hogy a vizes területen a mérések pontatlanabbak lettek, valamint a vízfelület tükröződése miatt zaj keletkezett a pontfelhőben, amit később töröltem.

A földem mozgás szintén befolyásolhatná a mérési eredmények pontosságát, de hatása mérés közbeni folyamatos relatív illesztések miatt kiesik.

5.5 Irodai feldolgozás

A mérések utófeldolgozását a Cyclone Register 360 és a Cyclone 3DR programokkal végeztem el.

5.5.1 Cyclone Register

A Leica Cyclone Register 360 programja lehetőséget biztosít a nyers mérési állományok utófeldolgozására, és az elvégzendő további műveletekhez megfelelő formátumú exportjára. A szoftver úgy épül fel, hogy egy négy lépésből álló folyamattal juthatunk el egy report (jegyzőkönyv) készítéséhez, ami a megrendelő számára készült, a pontfelhő elemzésével kinyert információkat tartalmazó pdf állomány. A négy lépés az Import, a Review and Optimize, a Finalize és a Report.

Adatok importálása

A lézerszkennerek a terepen mért adatokat, valamint a Cyclone Field által elvégzett számításokat egy pendrive-on tárolja. A nyers mérési állományokat új projekt létrehozása után az Import menüből lehet megnyitni. Az importálás során több lehetőség közül választhatunk:

Auto Cloud beállítással a program összeilleszti az egyes álláspontokról beszkenelt pontfelhőket. Ha a Smart Align funkció is aktív, akkor linkek is létrejönnek az álláspontok között. Ezt akkor érdemes választani, ha a terepen nem hoztunk létre kapcsolatokat, mivel

ezeket a program felülírja. A Smart Align választásoknál a terepen használt Quick Link funkcióhoz hasonlóan hibaforrás lehet hasonló részletek téves egymáshoz illesztése.

Az Auto Sphere és az Auto B&W Target lehetőségekkel a kiválasztott target fajtát a program automatikusan felismeri és párosítja forma alapján. Ezeknél a beállításoknál figyelni kell arra, hogy gyakran a targetekhez hasonló alakú objektumrészleteket is kijelöl a program, mint például gerendák élei, daruállvány stb.

Ha a Cyclone Field-del terepen már végeztünk előfeldolgozást, akkor az adatok importálásakor egyedül a Pre-Registered opciót érdemes aktívra állítani. Amennyiben a fenti összes lehetőségeket kikapcsoljuk, a nyers pontfelhő kerül behívásra, ha használtunk a terepen akkor a Cyclone Fieldben létrehozott illesztésekkel.

A Review and Optimize menü lehetőségei

A Review and Optimize lépés során van lehetőség a pontfelhő szűrésére, tisztítására, valamint a mérések ellenőrzésére. Utóbbit segíti, hogy a program számos megjelenítési módot kínál a pontfelhő vizsgálatára. Az álláspontok egy listába rendezve találhatóak meg a képernyő bal oldalán. Itt tetszőleges számú álláspontot és/vagy linket ki lehet jelölni. A mérések pontosságát jellemző értékek a jobb oldali Properties fül alatt láthatóak. A három fő nézet a programban a következő:

- **SiteMap** - itt az egész pontfelhő látható, kizárólag felülnézetben
- **Bundle Cloud** - Ebben a nézetben az egész pontfelhő 3D-ben jelenik meg, szabadon mozgatható, forgatható.
- **TruSlicer** - Az egyes álláspontokból látszó területeket mutatja meg mindegyikhez különböző színeket hozzárendelve. Így a pontfelhők átfedését és egymáshoz viszonyított helyzetét lehet ellenőrizni. Az eredményeket itt felül- és oldalnézetből is vizsgálhatjuk. Ebben a nézetben a pontfelhőből metszetet készíthetünk az általunk kiválasztott magasságban. A metszés egy szabadon beállítható dőlésszögű síkkal történik. A megjelenített metszet „vastagságát” is lehet változtatni. Alul- és felülnézetből lehet a relatív illesztések pontosságát vizuálisan ellenőrizni, illetve szükség esetén javítani a Visual Alignment funkció használatával. Így ma-

nuálisan igazíthatóak egymáshoz a kiválasztott pontfelhők, és az esetleges összeillesztési hibák is könnyen észrevehetőek (például egymás fölött elhelyezkedő emeletek egymásba csúszása).

Attól függően, hogy linket vagy álláspontot jelölünk ki, két további nézetet tudunk választani. Link Cloud esetén a kijelölt linket vagy linkeket létrehozó álláspontokból szkennelt pontfelhő részleteket lehet külön megjeleníteni. Ha legalább egy álláspont van kijelölve, akkor pedig a Setup Cloud nézetben látszanak a kiválasztott álláspontokról mért részletek.

A menüben a linkek két álláspontot kiválasztva hozhatóak létre vagy kijelöléssel törölhetőek. Az egyes linkekre pontossági értékeket a Cloud Registration Results felugró ablakban egy hisztogramon ábrázolva is meg lehet jeleníteni. A linkeket jellemző értékek az Absolute Mean és az Overlap Percentage. Az Overlap Percentage az adott álláspontokból szkennelt részek közötti átfedést jellemzi. Egy link akkor mondható erősnek, ha az Overlap Percentage értéke 50-60% körüli, de legalább a 25%-ot el kell érnie, ahhoz, hogy érdemes legyen létrehozni a kapcsolást. Az abszolút középhiba megengedett maximális értéke a projekttől függ.

Azoknál a kapcsolatoknál, ahol a középhiba értéke a többitől kiugróan eltér, érdemes megvizsgálni a pontatlanság okait. Lehetséges, hogy az álláspontok környezetében lévő fölösleges mérések (pl. ideiglenesen elhelyezett objektumok, árnyékok) befolyásolják a mérést. Ilyenkor ezek törlése után újbóli kiegyenlítéssel a kapcsolat középhibája javítható, ha más hatás nem torzította a mérést. Ha magában a szkennelésben van hiba, amit az utófeldolgozáskor már nem lehet javítani, akkor az adott kapcsolatot törölni kell, majd ismét kiegyenlítést végezni.

A Review and Optimize további hasznos funkciói az Apply Cloud és a Limit Box.

Az Apply Control funkcióval van lehetőség az abszolút illesztés végrehajtására (térbeli transzformáció), valamint a control pontok illesztési hibáinak és az illesztések pontosságának ellenőrzésére.

A Limit Box eszközzel készíthető egy térbeli kijelölő mező, amit tetszőleges helyen kezdetünk el megrajzolni, és mindhárom dimenzióját szabadon lehet változtatni. Így a pontfelhő egyes részei könnyen és nagy pontossággal kijelölhetőek. Lehetőség van különböző

Limit Boxok létrehozására és az általuk elhatárolt pontok külön exportjára, ha a felmért állomány csak egy meghatározott részére van szükség az utófeldolgozáshoz (például lépcsőház). Így hatékonyan csökkenthető a fájl mérete és a különböző műveletekhez szükséges időtartam. A Limit Box Manager ablakban egyszerre láthatóak a létrehozott Limit Boxok adatai. A Quick Limit Box opcióval egy választott álláspontról lehet a kijelölést indítani, így gyorsítva kijelölő mező paramétereinek beállítását.

A képernyő bal oldali menőjének Properties fülén ellenőrizhetőek az egész pontfelhőre vonatkozó középhiba, a Bundle Error, az Overlap (pontfelhők átfedése), a Strength (a pontfelhők illesztésének erősségét mutató érték), a Cloud-to-Cloud (relatív illesztés középhibája) és a Target Error (abszolút illesztés hibája) értékei.

Finalize

A Finalize menüben kiválaszthatjuk és véglegesíthetjük a reportban megjelenítendő képet. Ha mindent elfogadhatónak találunk, ekkor az Accept paranccsal a program a Report menüre ugrik. Itt láthatjuk a kész report előnézetét, és kiválaszthatjuk, milyen formátumba szeretnénk exportálni a pontfelhőt.

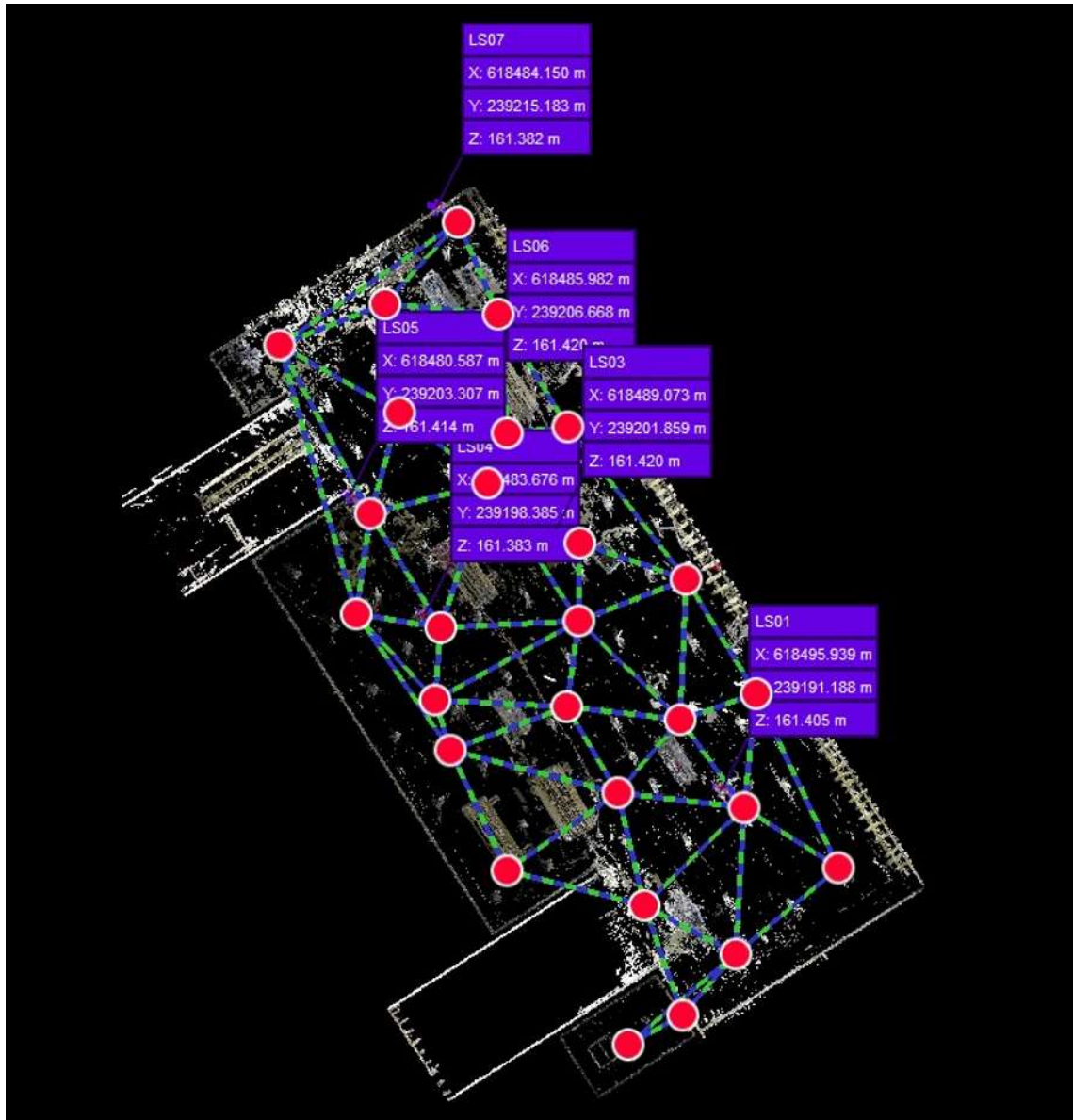
5.5.2 Saját mérés utófeldolgozása a Cyclone Registerben

Az eredmények importálása során a Register által felkínált lehetőségek közül az Auto B&W Target és az Auto Cloud lehetőséget választottam. A Smart Align funkcióra nem volt szükség, mert a terepen már kapcsoltam az álláspontokat.

Az adatok behívása után ellenőriztem a linkek középhiba értékeit. Az egyik helyen 4-5 mm-es elcsúszás volt. Ennek a gyakorlatban több oka lehet, elsőként azt kellett megvizsgálni, hogy találhatóak-e nagy számban fölösleges mérések a kapcsolatot alkotó álláspontokról. Ezen a részen a műszer több olyan objektumot is bemért, ami a mérés szempontjából zajnak volt vehető, mint például a földön található szerszámok vagy gerendák, ezeket letöröltem. Újbóli illesztés után a hibák az elfogadható értéken belül maradtak.

A mérések EOV rendszerbe transzformálásához a mérőállomáson bemért targetek koordinátáit behívtam a Review and Optimize menüben, majd az Apply Control lehetőséggel

egy térbeli transzformációval a mérés összes pontja EOVS koordinátákat kapott. A helyes EOVS értékekhez az importáláskor a koordinátpár x és y értékeit meg kellett cserélnem. A transzformáció után a LS02 illesztőponton 4 mm-es középhiba volt. Az illesztőpontot kikapcsolva újratranszformáltam a pontfelhőt. Ezután az összes középhiba érték megfelelően kicsi volt.



4. ábra – Illesztőpontok helyzete a pontfelhőben

A pontfelhőben nagy mennyiségű fölöslegesen rögzített pont keletkezett, ezek egy részét kijelöléssel töröltem. Ilyen részek voltak például azok, ahol a műszer „kilátott” az ablakon, és az épületen kívül eső részeket is beszkenelte. Ahol kisebb részeket kellett törölni a pontfelhőből, ott ezt a feldolgozás során később, a Cyclone 3DR programmal végeztem el.

5.5.3 Cyclone 3DR

A szintén a Leica cég által fejlesztett Cyclone 3DR program számos eszközzel teszi lehetővé a pontfelhő feldolgozását, elemzését, valamint a mért adatokból történő modellkészítést és mesh-szerkesztést.

A Cyclone 3DR saját kiterjesztése a .3dr, de .lgs állományokkal is dolgozik. .lgs kiterjesztésű fájlokat kétféleképpen, konvertálással vagy anélkül lehet behívni. Ha a konvertálás nélküli behívást választjuk, akkor a pontfelhőt a program egy objektumként kezeli, nem lehet pontonként szerkeszteni, távolságokat számítani vagy bármilyen más pontok közötti műveleteket végrehajtani. Ha behíváskor konvertáljuk az .lgs fájlt, akkor a pontokat a pontfelhő különálló elemeiként kezelhetjük.

Az adatok behívásakor a Registerhez hasonlóan itt is van lehetőség a pontfelhő sűrűségének csökkentésére. Az import menüben kiválasztható az is, hogy milyen koordinátarendszerben jelenjenek meg a behívott pontok. Ez lehet az adott ország vetületi rendszere vagy az a koordinátarendszer is, amibe az illesztőpontokat felhasználva transzformáltuk a mérésünket. A fájlok importálása a 3DR programba időigényes folyamat, hossza függ a használt számítógép teljesítményétől is. A 3DR-ban végrehajtható műveletek közül néhányat szeretnék menünként részletesebben bemutatni.

Coord Sys

Ebben a menőben lehet koordináta-tengelyeket illeszteni a mérés egyes pontjaihoz. Az objektumok itt szabadon mozgathatóak és átméretezhetőek. A Translation paranccsal a koordinátatengelyeket el is lehet tolni. Erre például akkor lehet szükség, ha a beszkenelt épület koordinátái EOVRendszerben vannak, de az építészek által készített tervek, amiből a 3D modell készült AutoCAD-ben, nem rendelkeznek EOVRkoordinátákkal. Ilyenkor két

irányban kell a 3D modellt eltolni, hogy a pontfelhővel össze tudjuk hasonlítani: az X és Y tengelyek mentén kell az AutoCAD 0,0 koordinátájú kezdőpontját az EOVS rendszer helyes kezdőpontjára állítani (200000, 650000).

Nemcsak a koordináta-rendszer tengelyeit, hanem akár az egész IFC modellt el lehet tolni. Például, ha egy tervezett ház a lézerszkenneres mérések alapján nem fér el a tervrajzon megjelölt helyen, akkor a modellt eltolhatjuk a tervhez képest annyival, hogy ne érintkezzen semmivel. Az így szerkesztett tervvel visszajelzést lehet küldeni az építésznek a terv és a szkennelt környezet eltéréséről.

Az **N Points Registration** használatával is lehet két pontfelhőt vagy pontfelhőt és egy modellt egymáshoz igazítani, ha a pontfelhőkből megfelelő számú közös pontot ki tudunk jelölni. Ilyen közös pontok lehetnek például a targetek középpontjai, adott objektumok geometriai középpontjai vagy bármilyen, mindkét állományban jól azonosítható pont (például épület sarokpontja).

A parancs használatakor automatikus két külön ablakos nézetre ugrik a program, ahol külön láthatjuk az illeszteni kívánt pontfelhőket vagy modelleket. A bal oldali pontfelhőt mozditjuk el a jobboldalihoz képest. Először a bal, majd a jobb oldalon, ugyanabban a sorrendben kell kijelölni a közös pontokat, amikből legalább három pár szükséges a pontos illesztéshez. Ezután előnézetben láthatóak a pontpárok illesztéséhez tartozó eltérések. Ha valamelyik pontpárhoz tartozó érték kiugróan magas, ki kell venni őket az illesztőpontok közül és újakat választani helyettük vagy nélkülük kell elvégezni az illesztést. Célszerű először háromnál több pár közös pontot kiválasztani, hogy folytathassuk a munkát akkor is, ha az egyiknél túl nagy eltérést kapunk. [8]

Clean

A Clean menüben van lehetőség a pontfelhő tisztítására. A tisztításhoz többféle manuális vagy automatikus eszköz használható.

Automatikus tisztítási lehetőségek:

A Noise funkcióval törölhetőek a választott értéknél kevesebb pontból álló csoportok.

Az Automatic Segmentation Distance parancsával az állományunkat kisebb pontfelhőkre bonthatjuk a pontok közötti maximum távolságok alapján. Ezután a Segmentation Distance értéket állítva lehet kiválasztani, hogy melyik kisebb pontfelhők kerüljenek törlésre. Itt is törölhetjük a 10 pontnál kisebb csoportokat is a Filter small sub-clouds lehetőség kiválasztásával.

Manuális tisztítási lehetőségek:

A Clean/Separate lehetőséggel többféle alakzat (poligon, négyzet, kör vagy szabadkézi) rajzolható a kijelöléshez. Kiválaszthatjuk azt is, hogy a létrehozott alakzaton belüli pontokat hozzáadni szeretnénk a már kijelölt részekhez, vagy elvenni közülük. A kijelölt pontokat nem csak törölni lehet, hanem új, különálló fájlként is elmenthetjük őket, így ez az opció a pontfelhő részekre bontását is lehetővé teszi.

A részekre bontást végezhetjük egy tetszőleges objektummal is. Ezt megszerkeszthetjük a programban, vagy behívhatunk egy már létező objektumot is.

A Separate With menüben beállítható, hogy a szegmentáláskor a kijelöléshez képest hogyan történjen a pontfelhő részeinek elkülönítése. Az alábbiak közül lehet választani:

- Separate Visible Points – A kijelölés irányából látható pontokat különíti el, például, ha egy épület falán kívülről jelölünk ki pontokat, akkor az épületben lévő pilléreket a program nem választja külön a többi ponttól.
- Separate on Both Sides – A kijelölés két oldalát a program két külön pontfelhővé választja szét.
- Separate According Distance – A pontfelhőből ilyenkor a kijelölés mentén, attól általunk választott távolságon belül lévő pontokat tudjuk elkülöníteni. Ezt a módszert használhatjuk például, ha út vagy vízfolyás nyomvonalán szeretnénk kijelölni pontokat.
- Separate According Orientation – A kijelölő mezőtől a kiválasztott irányba eső pontokat választjuk el a pontfelhő többi részétől.

A pontfelhő sűrűségét is a Clean menüben, a Cloud Sampling eszköztár Resample és Reduce parancsaival lehet csökkenteni. A Reduce opciót választva meghatározhatjuk, hogy hány pontból álljon a pontfelhő, és a nagy sűrűségű helyeken kerülnek csak törlésre a pontok, így biztosítva, hogy a szkennelt objektumokról a lehető legtöbb információt meg

lehesen tartani. A Resample használatával a program a pontok közötti távolságok átlagából létrehozott hálót vetíti a pontfelhőre, és háló egyes rácsain belül eső terület összes pontja helyett egy, az előzőek helyzetéhez leginkább illeszkedő pontot rak (best point). [8]

A pontokat osztályok szerint is szét lehet válogatni. Az osztályozás történhet automatikusan vagy manuálisan.

Az automatikus osztályozáshoz az Auto Classification oldalsó menüt megnyitva ki kell választani egy modellt, amiben már találhatóak különböző kategóriák. Többféle modellt lehet megnyitni, ezekben a lézerszkenneres adatgyűjtés módja és helyszíne szerint jellemző osztályok vannak kialakítva. (Például Heavy Construction UAV vagy Indoor Construction Site 1.0)

A manuális osztályozást a Clean/Separate menüből ismert kijelölési módszerekkel lehet végezni. Ha olyan objektumot találunk, ami a létező osztályok egyikébe sem tartozna, létrehozhatunk új osztályt is. Az egyes osztályokat ki lehet kapcsolni, hogy a pontfelhő átláthatóbb legyen, valamint be is lehet fagyasztani azokat, hogy elkerüljük a véletlen átosztályozást. Az osztályozott pontfelhőt az Explode by Class paranccsal lehet külön pontfelhőkre bontani. Később ezek újra egyesíthetők. [8]

Extract

Az Extract menüben lehet a pontfelhőből különböző adatokat kinyerni más programban megnyitható vagy szerkeszthető formátumban. A kinyert adatok lehetnek geometriai alakzatok (vonal, kör, sík, henger, kúp stb.), különféle CAD elemek (görbe, felület, drótváz), vagy mesh is. Innen lehet a Draw Plane (sík rajzolása) funkcióval egy síkot kimenteni a pontfelhőből, ami később a homlokzatelemzéshez használható, ha nem áll rendelkezésre 3D modell. A Polyline paranccsal körberajzolhatjuk és AutoCAD-ben jeleníthetjük meg a választott objektumokat. Egy beszkenelt épületekről meghatározott helyeken metszeteket készíthetünk.

Surface Modeling

A Surface Modeling menüben lehet a mérésekből mesh-t (térhálós modell) létrehozni a Scan to Mesh opcióval. A program az erre a parancsra felugró ablakban a különböző szkennertípusaihoz tartozó, a mesh részletességének szintjei szerint előre beállított paramétereket (átlagos távolság, háromszögek minimális mérete, pixelméret) kínál fel.

Az elkészült modell gyakran tartalmaz hibákat, például lyukakat azokon a helyeken, ahol a pontfelhő ritkább. Minél nagyobb területű háromszögekből áll a rácsháló, annál kevesebb hibát tartalmaz, viszont annál nagyobb a torzulás a beszkennt objektum eredeti alakjához képest. Ezzel szemben a kisebb elemű rácsozás több lyuk képződéséhez vezet, de a modell pontosabb lesz. A lehető legkevesebb hiba melletti legnagyobb pontosság eléréséhez a gyakorlatban két lépcsős mesh-készítést alkalmaznak. Először készül egy nagyobb rácsozású mesh, ami az objektum alakját hibák vagy lyukak nélkül lefedi, ezután pedig egy sűrűbb háló, amivel a részletek is megjelennek. A mesh-t új pontok interpolálásával lehet tovább finomítani. A mesh tovább javítható automatikus élsimítással (Local és Global Smoothing) és lyuk kitöltéssel (Fill hole). Utóbbi kijelöli azokat a helyeket, ahol automatikusan nem lehetett kitölteni a lyukat, ezt manuálisan pótolhatjuk.

Analysis

Az Analysis menüben elemezhetjük a mérés eredményeket. Az egyszerű mérésektől (különböző elemek közötti távolságok, szögek, felszín, térfogat stb.) kezdve a különböző állományok összehasonlításáig számos lehetőség található itt. A 3DR-ban összehasonlítást el lehet végezni:

- pontfelhő és mesh, felület vagy geometriai alakzat,
- két pontfelhő,
- két mesh, felület vagy geometriai alakzat,
- két poligon,
- valamint poligonok különböző csoportjai között. [8]

A mérési lehetőségek közül a Cut and Fill parancsot gyakran használják földtömegszámításra, a Volume-ot pedig szobák vagy más helyiségek térfogatának kiszámítására.

A felületek elemzésére a Surface Analysis menü parancsaival van lehetőség. Ezekkel mérni lehet a kijelölt területen a felszín egyenletességét (Surface Levelness), homogenitását (Surface Flatness) és meredekségét (Slope Analysis). A felület elemzésével lehet például egy parkoló építésénél elkerülni, hogy bizonyos helyeken esővíz gyűlhessen fel az aljzat egyenetlensége miatt.

Az összehasonlításokat legjobban színskálás ábrázolással lehet szemléltetni. A színskálákat többféle a szempont alapján hozhatjuk létre. Ábrázolhatunk például intenzitásértékeket, összehasonlításokból mért eltéréseket, vagy színezhetjük a pontfelhőt egy adott irány mentén változó színekkel. Utóbbi a pontfelhő tisztításának és szegmentálásának egyik eszköze. A színskálán az egyes intervallumok száma, határértékeik, színeik és az interpoláció típusa szabadon állíthatóak. [8]

A felmért objektum és a pontfelhől ütközésének vizsgálatára ad lehetőséget a **Clash**. Ezzel az elemzési móddal megnézhetjük, hogy egy objektum a tervezettnak megfelelően a helyére illeszthető-e a valóságban. Ilyen kimutatásra szükség lehet például egy liftakna méretének ellenőrzésekor, házhely beépítésekor vagy kisebb alkatrészek utólagos beszerelésénél. A Clash felugró ablakban állíthatóak a Tolerance (tolerancia – egy objektumhoz nagyon közel eső, de még nem érintkező pontok minimális távolsága) és a Cluster distance (csoportosítás távolsága – az egymásba érő pontokat a program csoportosítja, az ezek közötti távolság minimumát mutatja ez a paraméter) értékek. [8]

Reverse Engineering

A reverse engineering az a folyamat, amikor egy kész objektum felmérésével elemezzük annak felépítését vagy működését. A lézerszkennelésben ez azt jelenti, hogy a feldolgozószoftverek által létrehozott diszkrét adatok halmazát (pontfelhő vagy mesh) folyamatos modellé alakítják, hogy azzal a CAD programok is dolgozhassanak. A „reverse” elnevezés itt arra utal, hogy nem a CAD-ben szerkesztett tervek alapján hozzák létre egy objektum szerkezetét, hanem a meglévő objektumból kiindulva, eredményként kapható meg a tervrajz. [8]

Report

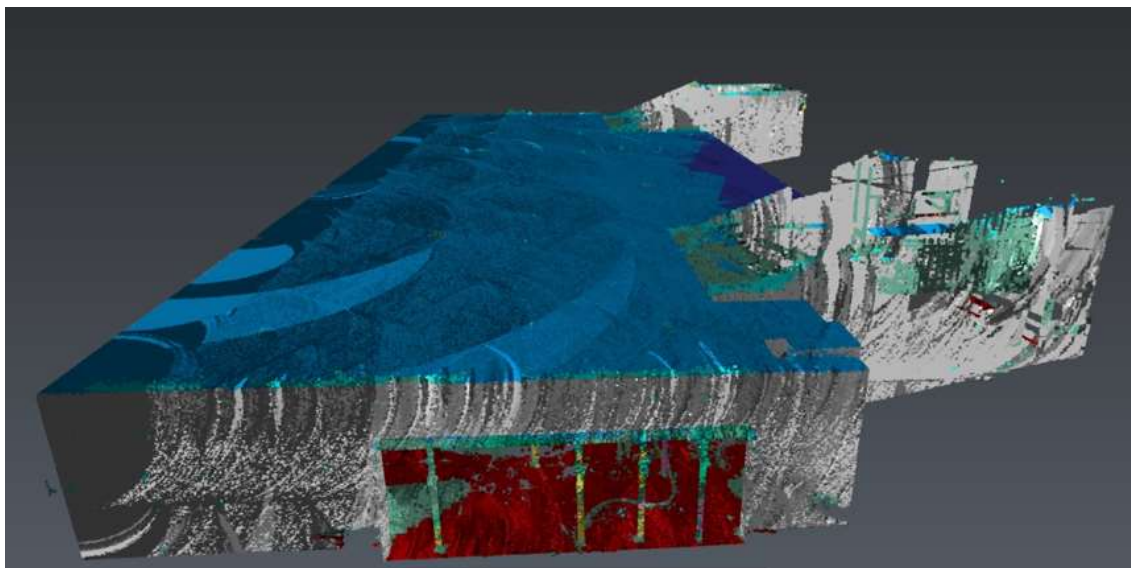
A pontfelhő feldolgozásának utolsó lépése egy report (jegyzőkönyv) készítése a megrendelő számára. A report egy pdf állomány, ami a projekt szempontjából jelentős információkat tartalmazza. A reporthoz az Analysis menü Create Custom Chapter parancsával az ott megjelenő pontfelhő részleteket és elvégzett elemzéseket lehet csatolni. A View menüből szintén többféle nézet adható a reporthoz, többek között háromdimenziós képként is. Az eredményről videót is lehet készíteni a Camera opcióval.

Az eredmények részletes bemutatását könnyíti, hogy a Leica ingyen elérhetővé tette a Cyclone 3DR Viewer programot, melyben megtekinthetők a végrehajtott elemzések eredményei. Ezen kívül a Viewerben lehetőség van távolságok mérésére és az elemzések színskáláinak állítására.

5.5.4 Parkolóház mérési eredményeinek tisztítása és elemzése Cyclone 3DR-ban

A bicskei parkolóház pontfelhőjét a Registerből LGS kiterjesztésűként exportáltam, ezért a 3DR-ban nem volt szükség újra konvertálni. A mérést korábban már EOVB-be transzformáltam, ezért az importáláskor a koordináta-rendszerét a jelenlegi (current) beállításon hagytam. A megvalósulás ellenőrzéséhez a korábban AutoCAD-ben elkészített 3D modellt is behívtam a programba.

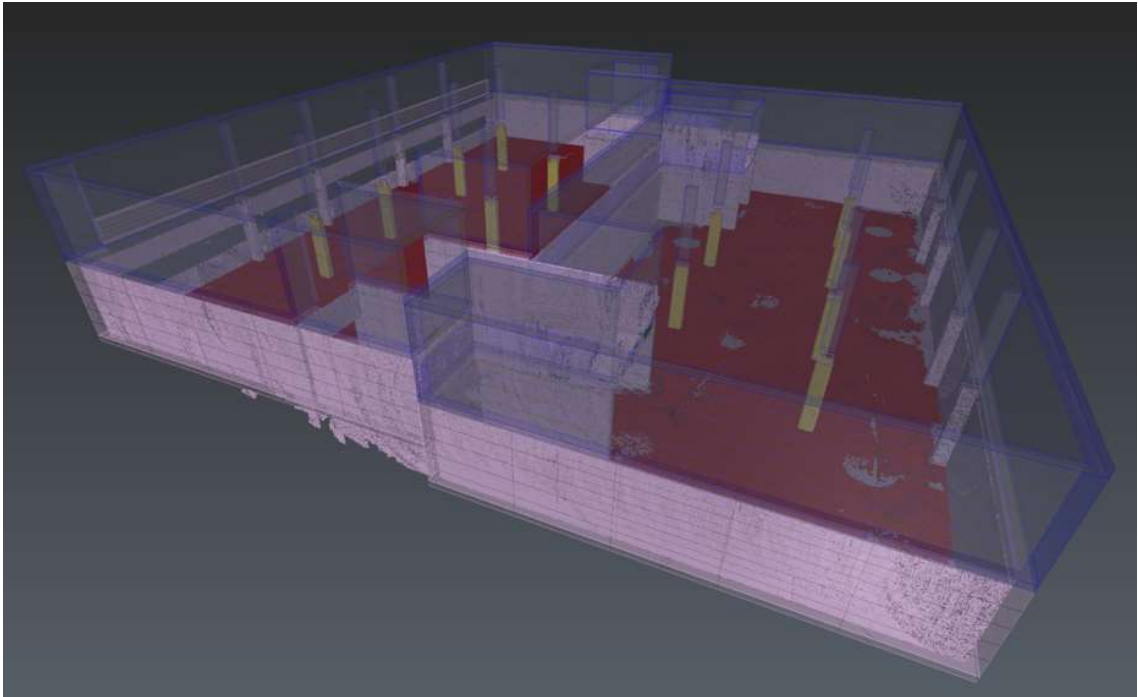
A pontfelhőt a Clean menüben először az Auto Classification paranccsal osztályoztam, az Indoor Construction Site 1.0 beállítás kategóriái szerint. Ahhoz, hogy a pontok a megfelelő osztályokba kerüljenek, a mérésnek legalább milliméter pontosságúnak kellett lennie. Ez a feltétel teljesült, de az automatikus osztályozás néhány helyen így is pontatlan lett, ezen a kézi osztályozással (Manual Classification) javítottam. A rosszul osztályozott pontok jellemzően hasonló tulajdonságú objektumok osztályaiba kerültek, például a csőlábakat vagy a keskenyebb falrészleteket a program oszlopnak érzékelt.



5. ábra – Az automatikus osztályozás eredménye

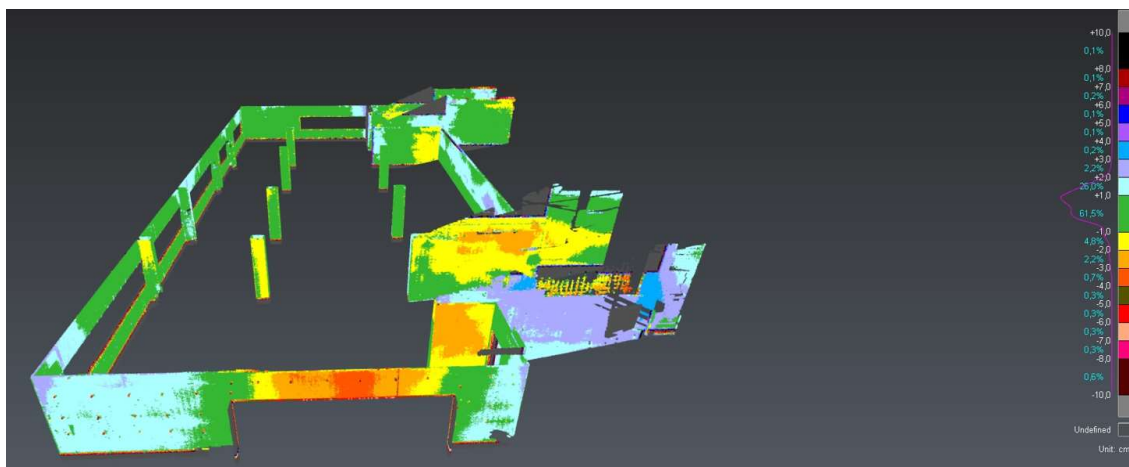
Az átosztályozás után a pontfelhőt szétbontottam az Explode by Class opcióval. Az épület vizsgálata szempontjából jelentéktelen osztályokat töröltem, így az állomány mérete csökkent.

Az eddig rejtett 3D modellt bekapcsoltam, és az Analysis menü Inspect Cloud vs. CAD funkcióval hasonlítottam össze a pontfelhővel. Referenciának a 3D modellt állítottam be, így ahhoz képest mutatta a program a pontfelhő eltéréseit.



6. ábra – a 3D modell és a pontfelhő együttes megjelenítése

Az összehasonlítás azt mutatta ki, hogy a felmért terület 61,5 százalékában a pontfelhő eltérése a 3D modelltől ± 1 centiméter alatti volt. Az 1,5-2 centiméteres eltérések is még elfogadhatónak számítanak. Ha a szerkezet valamelyik részén a modellhez képest 2 centiméternél nagyobb eltérést találunk az analízis során, akkor tájékoztatni kell a projekt építésvezetőjét, aki eldönti, hogy a javítani kell-e a hibát. A javítás például falak esetében történhet véséssel vagy hozzáépítéssel, de az is előfordulhat, hogy egy-egy területet le kell bontani és újra kell építeni. Nagyobb részek javítása előtt sokszor a geodéták kitűzik az átépítés pontos helyét. A pontfelhő és a modell közötti különbség meghaladja a 6-7 centimétert, akkor érdemes az eltérés okát is megvizsgálni és kideríteni, hogy a hiba a tervezési vagy a kivitelezési folyamat során keletkezett-e.



7. ábra – A pontfelhő és a 3D modell közötti eltérések

A parkolóház felmérésekor az egyik lépcsőház falai 2-3 centiméterrel tértek el a modelltől. Ugyanezen a területen a tisztítás során kimaradt néhány felfelé nyúló vascső, ezeket nem tekintettük hibának. A parkolóház bejárata fölötti részen is nagy, 3-4 centiméteres eltérések mutatkoztak, a beton hasas lett. A kimutatott eltérésekről tájékoztattuk az építésvezetőt.

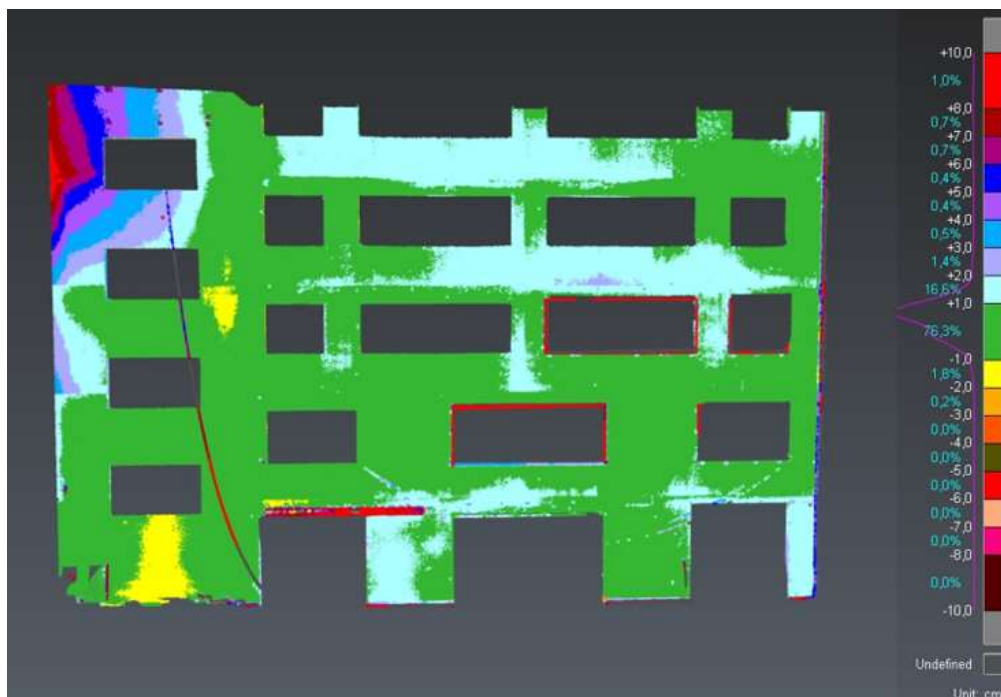
6. EGYÉB MUNKAFOLYAMATOK

A parkolóház felmérésén kívül több más projektben is részt vehettem az Equiscorp Kft-nél. Szakdolgozatomat ezek leírásával szeretném folytatni.

6.1 Homlokzatelemzés

A homlokzat függőlegességének vizsgálatához az EOVS koordináta-rendszerben behívott pontfelhő vizsgálandó részét elkülönítettem a Clean menü Clean/Separate parancsával. Azokat a részeket, amik nem tartoztak a homlokzathoz, töröltem, mivel ennél a munkánál szempont volt a megrendelőnek továbbított állományok kis mérete is.

A homlokzat pontfelhőjét az épület AutoCAD-ben szerkesztett 3D modelljével hasonlítottam össze az Analysis menü Inspect Cloud vs. CAD opciójával.



8. ábra - Homlokzatelemzés

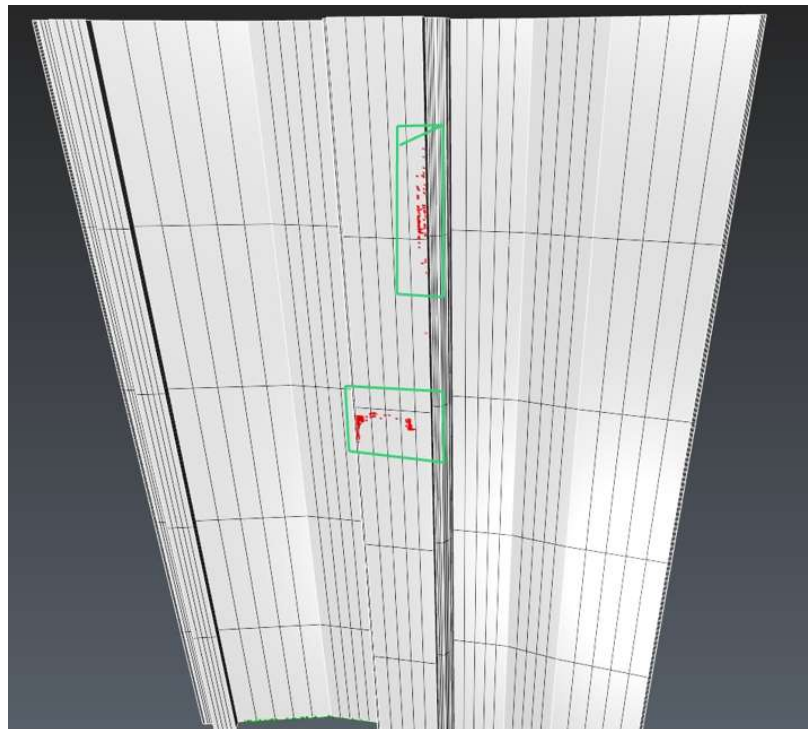
Az eredményül kapott színskálás elemzés kimutatta, hogy a homlokzat dőlése az egyik oldalon kifelé eléri a 8-10 centimétert is. Ennek oka az volt, hogy a műanyag zsalutáblák

az építkezés során nem megfelelően lettek rögzítve. Az ablakok körül szintén nagy eltérések látszanak, ezek azonban a már felszerelt ablakkeretek pontjai, így figyelmen kívül hagyhattam.

Ha a homlokzatelemzéshez nem áll rendelkezésre valamilyen 3D modell, akkor a függőlegeséget úgy is lehet vizsgálni, hogy kiválasztunk két biztosan jó helyen lévő pontot a pontfelhőből, és ezekre egy síkot állítok, amin a z tengely függőleges lesz. A síkot és a pontfelhőt az Inspect Cloud vs Geometry paranccsal lehet összehasonlítani.

6.2 Liftakna Clash analízise

Az autólift felmérésekor azt kellett vizsgálni, hogy a beszerelendő acél tartószerkezetek ütközésmentesen elférnek-e a liftaknában. A gépésztől kapott kétdimenziós alaprajzot először EOVB-be kellett transzformálni, majd ebből létrehoztam egy 3D modellt AutoCAD-ben, amit később behívtam a 3DR programba. Az épület pontfelhőjéből a Clean/Separate parancsokkal elkülönítettem a lift pontjait, ezután ezekkel és a 3D modellel futtatam le a Clash analízist 0,001 m-es Tolerance, és 0,25 m-es Cluster distance értékekkel.

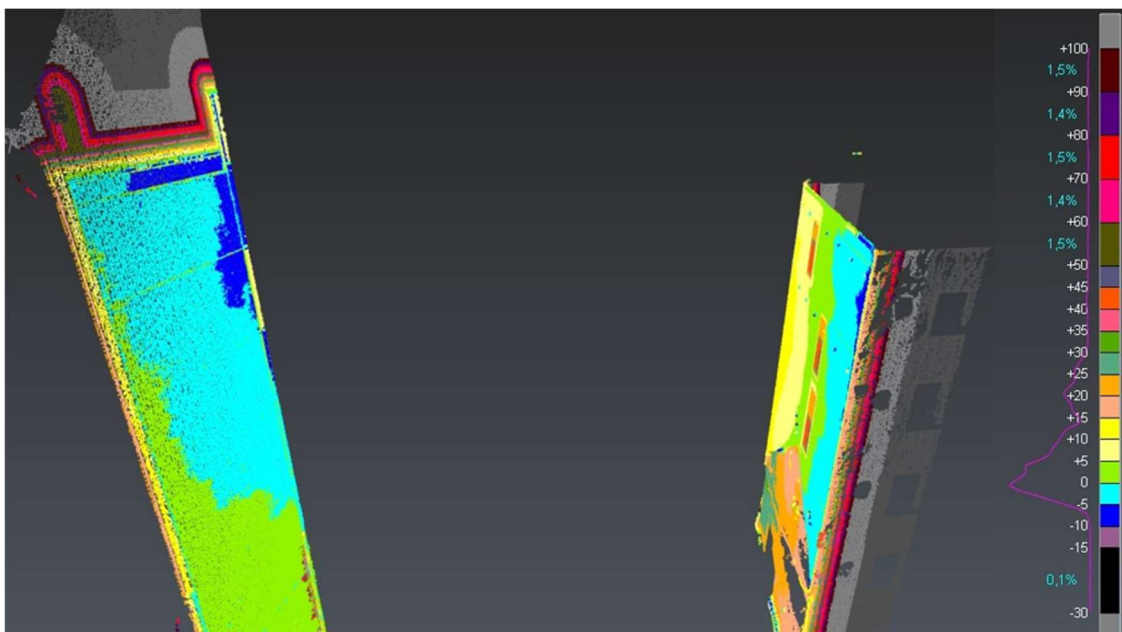


9. ábra – Clash analízis

A Clash menüben kilistázott csoportoknál el kellett dönteni, hogy valóban ütközik-e ott a modell és a pontfelhő, vagy a tisztításkor kimaradt pontokat jelöli a program. Utóbbiakat a lista Status oszlopában No Clash-re állítottam. Néhány helyen ténylegesen belelógott a modell a pontfelhőbe. Ezeket az Extract menüből a Polyline eszközzel körülhatároltam és DXF állományként kimentettem. A DXF fájl segítségével a terepen mérőállomással kitűztem a liftakna falán a javítandó részeket.

6.3 Foghíjbeépítés

Ennél a projektnél azt kellett megvizsgálni, hogy a tervezett épület a valóságban is befér-e a két szomszédja közötti helyre. Az építészeti tervezések során sokszor csak a föld szintjén mérik ki az épületnek szánt helyet, de ha a szomszéd épületek fala nem teljesen függőleges, akkor a tervekhez képest elcsúszásokkal kell számolni a megvalósításkor. Először az épület 3D modelljét behívtam a programba, majd Clash analízissel megnéztem, hogy a szomszédos épületek valamelyike belelóg-e a tervezett épület helyére, de nem találtam ütközést. Ezután összehasonlítottam a szomszéd épületekből készült pontfelhőt és a 3D modellt.



10. ábra – A pontfelhő és a 3D modell összehasonlítása

A modell és pontfelhő közötti eltérésekből látszott, hogy a két épület alsó részén a modellhez képest akár 30 centiméterrel is kevesebb a hely, míg fölfelé a két épület egyre távolabb helyezkedik el egymástól. Legfelül már 5-10 centiméteres rés található a meglévő falak és a modell között. A kimutatott eltérések alapján az új épület szigetelését a tervezett 15 cm-es vastagságról az alsó részeken 5 cm-re, a felül pedig 25 cm-re módosították.

6.4 Digitális terepmodell, földtömegszámítás

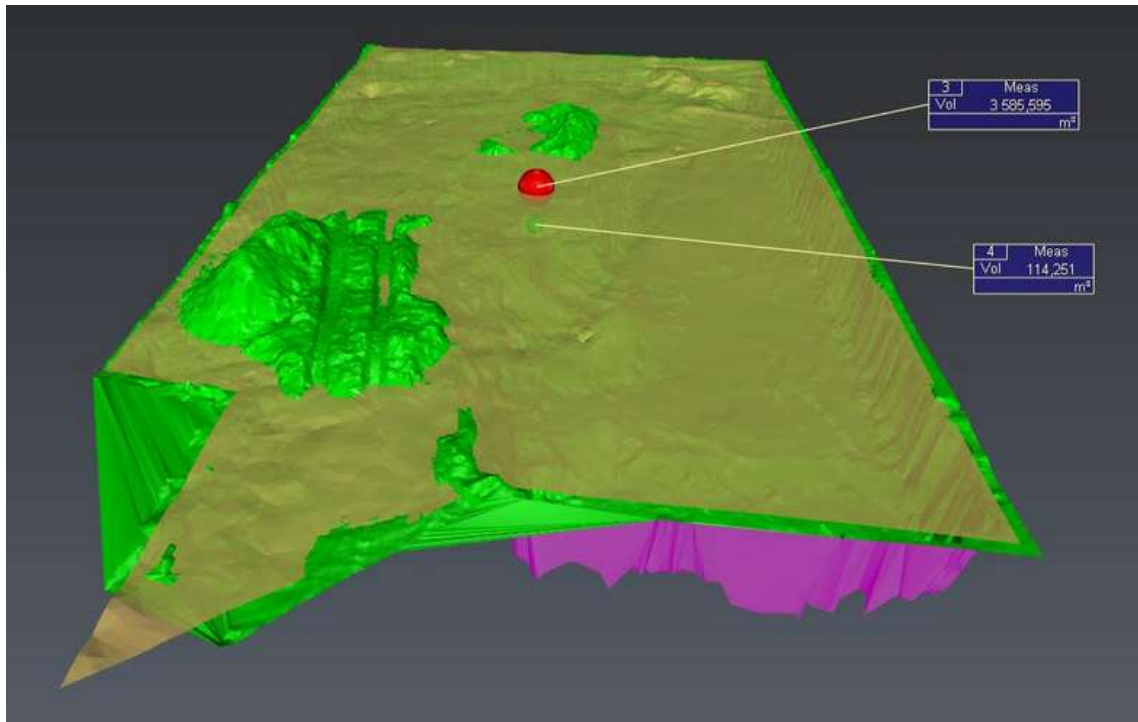
A földtömeg számításhoz az első, még a munkálatok megkezdése előtt készült pontfelhőt hasonlítottam össze azzal, amelyik az eddig kiemelt földtömeget tartalmazta.



11. ábra – A munkálatok megkezdése előtti terepviszonyok és az eddig kiemelt földtömeg pontfelhői

A két pontfelhő letisztítása után digitális terepmodellt hoztam létre a Surface Modeling menü DTM parancsával. A DTM oldalsó menüjében be kellett állítani a terület lejtésének maximális szögét és a mesh-készítés paramétereit. Terepmodell készítésekor a program először elválasztja a földfelszínt a rajta lévő objektumoktól (például autók, növényzet), és új pontfelhőt hoz létre ezekből. A terep eredeti állapotát ábrázoló új pontfelhő neve Ground Cloud before, a munka megkezdése utánié pedig a Ground cloud after.

A két pontfelhőből ezután egy-egy mesh-t hozott létre a program automatikusan, ezeket Before-nak és Afternek neveztem el. A Cut and Fill-lel ezekből számítottam ki, hogy a mekkora földtömeget kell még mozgatni az építkezésen.



12. ábra – A két domborzatmodell és a földtömeg számítás eredménye

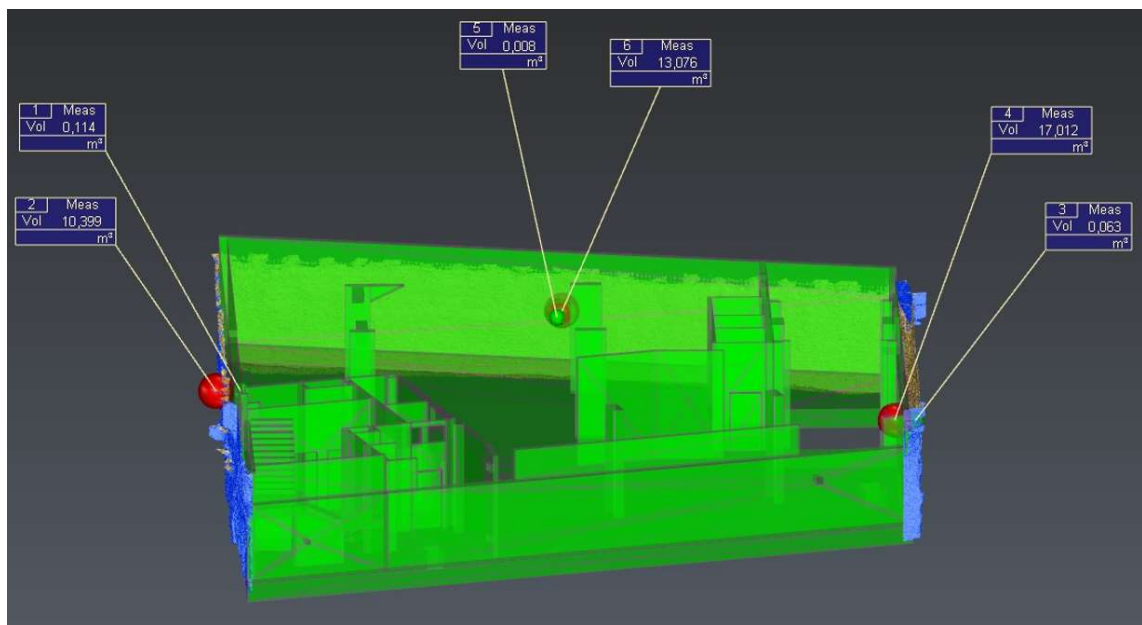
A megrendelőnek készített Reportban szerepel a Cut and Fill eredményeként kapott 3D modell, valamint a földtömegszámítás eredménye. A program nem tesz különbséget között, hogy a Before és After mesh-ek közül melyikhez viszonyítunk, ezért a számításokat mindkét esetre vonatkozóan elvégezte.

6.5 Többletbeton számítás

Egy kórház pinceszintjéhez a földmunkák elvégzésekor túl nagy területről lett elszállítva a föld, és így a tervezett 20 centiméteres falvastagság helyett 40 centiméternyi hely maradt a fal számára. Ez azt eredményezte volna, hogy a szomszédos épületek alapzatára kifejtett nyomás jóval nagyobb lenne a tervezettnél. A felmérések alapján ki kellett számolni, hogy hány köbméter plusz betonra van még szükség, amit így ki kell majd számolni a megrendelőnek. A többletbeton tömegének ismeretében a statikus is ki tudja számítani, hogy a megnövekedett terhelést bírják-e az érintett épületek alapzatai.

A pinceszint tervezett mérete és a kiásott rész közötti eltéréseket a földmunkához hasonlóan tudtam kiszámítani. A tervből készített 3D modellből és a pontfelhőből is egy-egy

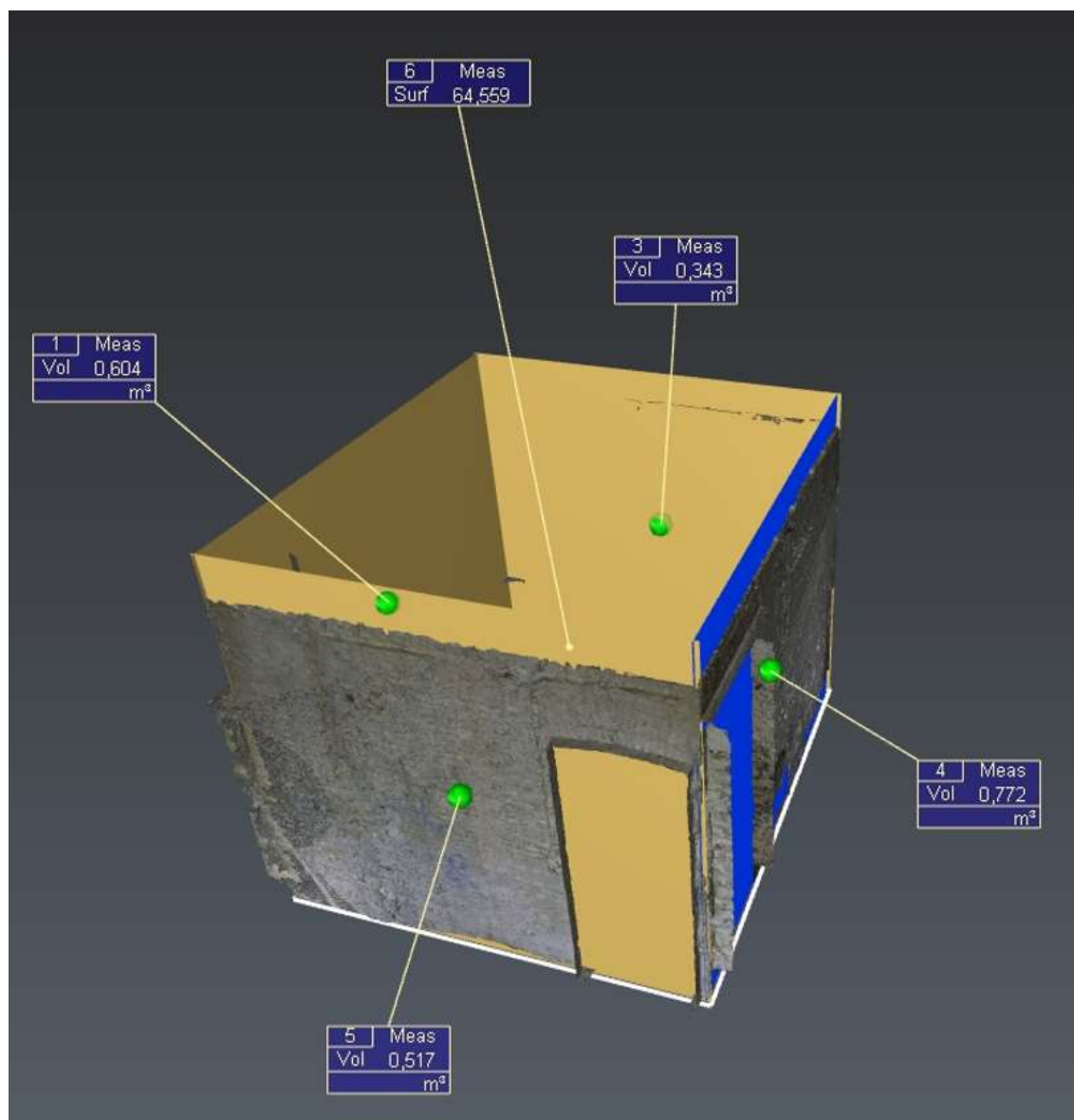
mesh-t készítettem. Mindkét mesh-t oldalanként szétválasztottam és végrehajtottam rajtuk a Cut and Fill utasítást. Az így kapott eredményeket falanként címkézve jelenítettem meg. A falakhoz szükséges többletbeton mennyiségének számításához a nagyobb térfogatértékekből kivontam a kisebbeket, majd ezeket a különbségeket összegeztem a végső betonmennyiség térfogatának számításához.



13. ábra – Többletbeton számítás

6.6 Vakolatszámítás

A vakolatszámítás során egy szoba falainak függőlegessé tételéhez szükséges vakolat mennyiségét kellett a megrendelőnek kiszámítani. Első lépésként a szobát elkülönítettem a pontfelhő többi részétől, majd a többletbeton számításhoz hasonlóan itt is falanként külön mesh-t készítettem. Mivel nem állt rendelkezésre 3D modell, minden, a pontfelhőből készült mesh-t egy, az adott falra legjobban illeszkedő síkhoz viszonyítottam. Mindegyik síkot szemrevételezéssel eltoltam a fal legkívül eső pontjáig. A sík és a mesh falankénti Cut and Fill számításából kaptam meg a szükséges vakolat mennyiségét. A megrendelő kérésére szintén feltüntettük a szoba teljes felületének méretét. A sík megrajzolásakor figyelni kellett arra is, hogy a falak belső oldala mellett ne maradjanak le nem tisztított pontok.



14. ábra - Vakolatszámítás

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A lézerszkennelés számos tudományterületen felhasználható modern távérzékelési eljárás. Külföldön az elmúlt évtizedekben, hazánkban pedig az utóbbi néhány évben az építőipari geodéziai munkák során is beépült a felmérésekhez rendszeresen használt eszközök közé.

Szakdolgozatomban a földi lézerszkennelés lehetséges felhasználási területeit vizsgáltam az építőipari mérnökgeodéziai munkálatok során az Equiscorp Kft. különböző projektjein keresztül. A cég földmérő részlegének feladata a szerkezetépítés kivitelezési munkáinak geodéziai támogatása és ezek vizsgálata és elemzése lézerszkenner használatával.

Dolgozatomban bemutattam az Equiscorp Kft. által használt Leica RTC360 lézerszkenner és a Leica cég pontfelhő rögzítésre és feldolgozására készített Cyclon Field, Cyclone Register360 és Cyclone 3DR programokat egy parkolóház építésével kapcsolatos geodéziai tevékenységeken keresztül. Ezután más projektekhez készült elemzések és számítások segítségével további példákat mutattam be a lézerszkenneres mérések felhasználására.

Tapasztalataim szerint a lézerszkennelés nagy mértékben segíti a földmérők munkáját az építkezéseken, a robot mérőállomásoknál részletesebb elemzési és ellenőrzési lehetőségeket nyújtva. Az adatfeldolgozás kezdeti szakasza ugyan több időt vesz igénybe a lézerszkenneres mérések során, de sokkal több adatot is tudunk kinyerni a mérési eredményekből. A lézerszkennelés hátrányaként azt lehet megemlíteni, hogy a műszer használata túl egyszerű a mérőállomásokéhoz képest, nem igényel szaktudást az egyes mérések végrehajtása. Ezzel szemben a pontfelhő feldolgozásához és az eredmény értelmezéséhez viszont már szükségesek a geodéziai háttérismeretek. A szaktudás hiányában a kinyert adatok elemzése hibás vagy félrevezető lehet.

8. SUMMARY

Laser scanning is a modern remote sensing technology which can be used in many areas of science. In the past decade worldwide as well as in the last few years in Hungary it has become a frequently used method for data collection in engineering surveying tasks of the construction industry.

In my thesis I studied the possibilities of using terrestrial laser scanning in the engineering surveying works through various projects of Equiscorp Kft. The main task of the company's surveying branch is geodesic assistance, analysis and monitoring of the structure work using terrestrial laser scanning.

In my thesis I would like to introduce the Leica RTC360 laser scanner used by the company as well as Leica softwares Cyclon Field, Cyclone Register360 and Cyclone 3DR used for point cloud registration and inspection. First I would like to showcase the scanner and the software through the surveying task of a multi-storey car park. Afterwards I would like to present further examples for the application of laser scanning and point cloud processing in some of the company's other projects.

According to my experience laser scanning greatly supports the work of surveyors in the construction industry providing more detailed options for analysis and supervision than using total stations. Though the early phase of data processing takes more time, laser scanning provides bigger amount of data to extract and analyze. The relatively easy usage of the scanning instruments can be the disadvantage of laser scanning technology. Even though measuring with a laser scanner can be executed without having any background knowledge in geodesy or architecture, analysing point clouds without any insight in these fields can produce false or misleading results.

9. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] L. Tamás és B. Attila, Távérzékelés Msc., Budapest: Budapesti Műszaki Egyetem, 2011.
- [2] V. W. Malgorzata, Fotointerpretáció és távérzékelés, Székesfehérvár: Nyugat-Magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar, 2010.
- [3] M. Verőné Wojtaszek, Fotointerpretáció és távérzékelés 3., Székesfehérvár: Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar, 2010.
- [4] N. Gergely, „A lézerek működése,” [Online]. Available: <https://levex.fedorapeople.org/laser/mukodes.html>. [Hozzáférés dátuma: 23 10 2023].
- [5] M. Dr. Ágfalvi, Mérnökgeodázia 6. A lézertechnika és mérnökgeodéziai alkalmazása, Székesfehérvár: Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar, 2010.
- [6] Y. Y. Y. T. B. T. Chao Wu, „Application of Terrestrial Laser Scanning (TLS) in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) Industry,” *Sensors*, 2022.
- [7] leiCON, „leicon.hu,” [Online]. Available: <https://leicon.hu/slam-a-foldi-lezerszkennelesben/>. [Hozzáférés dátuma: 26 10 2023].
- [8] L. Geosystems, „<https://leica-geosystems.com>,” 2022.. [Online]. Available: <https://cyclone3dr.leica-geosystems.com/download/Cyclone3DRVersion2023.0/BeginnersGuide.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 08. 12. 2023.].
- [9] M. M. Kamara, *M.2. Mérnökgeodéziai Tervezési Segédlet*, Budapest, 2011..
- [10] J. E. P. K. Alojz Kopáčík, *Engineering Surveys for Industry*, Springer, 2020.

10. ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra – Alkalmazási területek az építőiparban	5
2. ábra – A földi lézerszkennelés koordináta-rendszerei	8
3. ábra – A VIS részeinek helyzete a szkennnerben	14
4. ábra – Illesztőpontok helyzete a pontfelhőben	21
5. ábra – Az automatikus osztályozás eredménye	29
6. ábra – a 3D modell és a pontfelhő együttes megjelenítése	30
7. ábra – A pontfelhő és a 3D modell közötti eltérések	31
8. ábra – Homlokzatelemzés	32
9. ábra – Clash analízis	33
10. ábra – A pontfelhő és a 3D modell összehasonlítása	34
11. ábra – A munkálatok megkezdése előtti terepviszonyok és az eddig kiemelt földtömeg pontfelhői	35
12. ábra – A két domborzatmodell és a földtömeg számítás eredménye	36
13. ábra – Többletbeton számítás	37
14. ábra – Vakolatszámítás	38