



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT

LIDAR TECHNOLÓGIA ALKALMAZÁSA PILÓTA NÉLKÜLI LÉGI JÁRMŰVEKKEL

OE-AMK
2024

Hallgató neve: Varga Tibor
Hallgató törzskönyvi száma: T000015/FI12904/A



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Varga Tibor

Szakdolgozat száma: SZD2402121026025358

Törzskönyvi száma: T000015/FI12904/A

Neptun kódja:

Szak: pilóta nélküli légi jármű üzemeltető szakmérnök

Specializáció:

A dolgozat címe: Lidar technológia alkalmazása pilóta nélküli légi járművekkel

A dolgozat címe angolul: Application of Lidar Technology with Unmanned Aerial Vehicles

A feladat részletezése:

1. Lidar technológia bemutatása.
2. Repülés tervezése és végrehajtása.
3. Feldolgozás, integrálás GIS-be.
4. Műszaki leírás készítése.

Intézményi konzulens neve: Dr. Jancsó Tamás

Külső konzulens neve: Lehoczky Máté

Munkahelye: LehoGeo Mérnökiroda Kft.

A kiadott téma elévülési határideje: 2026. 07. 10.

Beadási határidő: 2024. 05. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2024. 04. 08.



P.H.

Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom: 2024. 05. 15.

Dr. Jancsó Tamás

belső konzulens

külső konzulens

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott szigorló hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Egyéb jelentős segítséget nem vettem igénybe.

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

Kelt: Székesfehérvár, 2024. május 09.

Nargy Tibor
hallgató aláírása

TARTALOMJEGYZÉK

1.	Bevezetés	5
2.	Távérzékelés és LIDAR	6
2.1	A lézer fizikája.....	8
2.2	A LIDAR működési elvei.....	10
2.3	LIDAR rendszerek felépítése	11
2.4	Letapogató rendszerek.....	12
2.5	Mérések feldolgozása	15
2.6	Alkalmazási lehetőségek	17
3.	A feladat kijelölése	20
4.	A felmérés helyszíne, VELUX.....	21
5.	Adatgyűjtés – repülés tervezése és végrehajtása	22
5.1	DJI Matrice 210 V2	23
5.2	YellowScan Mapper	24
5.3	Trinity F90+.....	26
6.	Adatok feldolgozása, végtermékek előállítása, integrálás GIS-be.....	30
6.1	Felvételek tájékozása	31
6.2	Digitális felületmodell előállítása.....	36
6.3	Ortofotó készítése, vektorizálás.....	41
7.	Műszaki leírás.....	44
8.	Összegzés.....	47
9.	Summary	49
10.	Irodalomjegyzék.....	51
11.	Ábrajegyzék.....	51
12.	Táblázatok	53
13.	Mellékletek.....	53

1. BEVEZETÉS

Felgyorsult világunkban egyre nagyobb igény mutatkozik a mihamarabbi és hatékony adatszerzésre. A távérzékelési eljárások a terepi adatgyűjtés legeredményesebb módjai közé tartoznak. A gyors technikai fejlődésnek köszönhetően egyre jobb és újabb eszközök segítik az adatgyűjtést, végső soron pedig az információ létrejöttét. A geodézia területe különös jelentőséggel bír ebben a folyamatban. Elsődleges célja, hogy a legpontosabb adatokat a lehető leggyorsabb módon és gazdaságosan állítsa elő. Majd az adatok feldolgozásával sokrétű, minőségi információt szolgáltatson.

Dolgozatomban két – viszonylag rövid múltra visszatekintő – technológiát ötvöztem, amely a felmérési módszerek új formáit képviselik.

A pilóta nélküli légitjárművek gyakorlati célú geodéziai alkalmazása az utóbbi években egyre nagyobb teret hódít. Leginkább kisebb méretű területek fotogrammetriai célú felmérésénél alkalmazható hatékonyan. Az UAV-k relatív olcsó eszköznek számítanak, kis méretükből adódóan könnyen hordozhatók. A gépekre különböző érzékelők, kamerák és szenzorok helyezhetők el, melyek tetszés szerint variálhatók. Irányításuk megfelelő gyakorlatot és kompetenciát igényel.

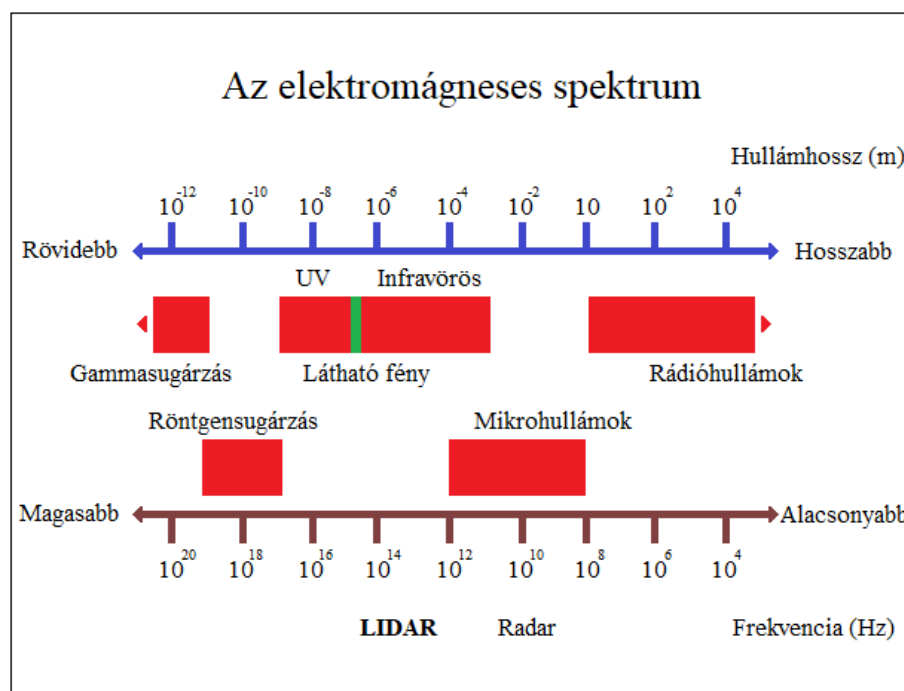
A LIDAR technológia szélesebb körű elterjedése a múlt század kilencvenes éveire tehető. A gyakorlatban történő széleskörű alkalmazásuknak korábban a műszerek, valamint a repülés magas költségei mellett a hordozóeszközök pontos helymeghatározása szabott gátat. A GNSS rendszerek ugrásszerű fejlődése nyomán a lokalizálás pontossága javult, ez tette lehetővé a precízebb méréseket továbbá a georeferált téradatok elérését.

Dolgozatomban egy nyílászárókat gyártó cég dunántúli telephelye került felmérésre. Az az adatgyűjtés pilóta nélküli légitjárművekkel valósult meg, hagyományos légifelvételéssel és LIDAR-ral. Ezek mellett földi kiegészítő méréseket is végeztem.

2. TÁVÉRZÉKELÉS ÉS LIDAR

Távérzékelés alatt az olyan adatgyűjtési és feldolgozási eljárásokat értjük, melyek során a különböző felületekről, tereptárgyakról, területekről és jelenségekről eltérő módszerekkel, más-más távolságokból közvetve gyűjtünk adatokat. A közvetett adatgyűjtés során a vizsgálat tárgyát képező dolgokról, eseményekről fizikai érintés nélkül rögzítünk adatokat. A távérzékelés magában foglalja az adatgyűjtés mellett a feldolgozás folyamatát is. Értelmezzük és elemezzük mérési eredményeinket, így állítva elő az adatokból a számunkra szükséges információkat. [1]

Távérzékelési adatainkat az elektromágneses spektrum különböző spektrális tartományaiban kibocsátott részecskék (fotonok) mérésével nyerjük. Az adatgyűjtésben használt berendezések elektromágneses sugárzást mérnek. Az érzékelőket érő energia meglehetősen összetett. Magában foglalja a Napból bejövő energiát, melyet a légkör részben megváltoztat, emellett tartalmazza a földfelszín által elnyelt, majd kisugárzott energiát továbbá a tereptárgyak saját kisugárzott energiáit. A szenzorok általában az összenergia egy bizonyos tartományára érzékenyek, egymástól elkülönülve a vizsgált feladatnak megfelelően érzékelik és rögzítik az adatokat. [1]



1. ábra: Az elektromágneses spektrum [2], saját szerkesztés

A távérzékelésre használt adatgyűjtő eszközök a vizsgálat tárgyát képező jelenségekhez, objektumokhoz vagy a földfelszínhez képest eltérő magasságokban helyezkedhetnek el. Így az energiaforrás szerint történő csoportosítás mellett, a felvételek készítésének helye alapján is megkülönböztethetjük a távérzékelést. [1]

A földi távérzékelésről maximum 200 méteres magasságig beszélhetünk. Az adatrögzítő eszköz a terepen vagy valamilyen tereptárgyon – állvány, daru, torony – foglal helyet. Ebbe a csoportba tartoznak a felszín alatt (bánya, üreg) készült felvételek is. További osztályozási lehetőség a felvételt készítő eszköz és a leképzett tárgy közötti távolság szerinti felosztás. Megkülönböztethetünk mikro-, makro- és közeli felvételezést. [1]

A légi távérzékelésnél az adatrögzítő berendezés valamilyen légi járműre rögzítve gyűjt adatot. Az érzékelési tartomány tág határok között mozog, 100 m -től 30 km-ig húzódik. Ez a nagy intervallum tovább osztható, 3 km-ig főként nagyméretarányú térképek készítésére, 10 km-ig térképezési feladatokra, 30 km-es magasságig felderítő célú adatgyűjtésre használják. A hordozóeszközök változatosak: meteorológiai ballon, hőlégballon, sárkányrepülő, helikopter, repülőgép stb. Ebbe a csoportba tartoznak a pilóta nélküli légi járművek is. [1]

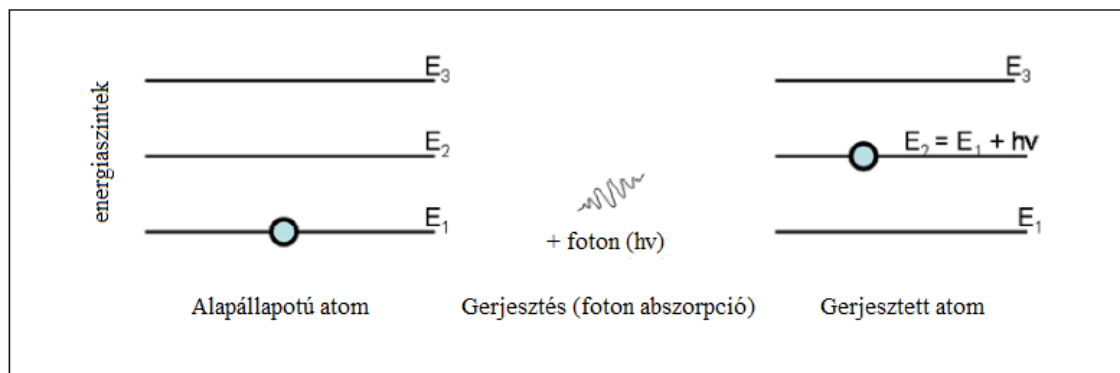
Az űrtávérzékelés a 160 km-t meghaladó magasságokban kezdődik, s felső határa egészen 1200 km-ig is húzódhat. A hordozóeszközök három típusa ismert: űrállomás, űrhajó és műhold. [1]

Az energia forrása alapján megkülönböztethetjük az aktív- és passzív távérzékelési rendszereket. Utóbbi esetében a szenzorok a visszavert napsugárzást és a földfelszín által kibocsátott sugárzást mérik. Az aktív távérzékelési rendszereknél valamilyen hordozó eszközön elhelyezett szerkezet által közvetített jel visszaverődése kerül rögzítésre. Ilyen mesterségesen előállított, gerjesztett elektromágneses hullám a lézersugár, melyet a szakdolgozati témámul szolgáló LIDAR technológia is alkalmaz. [1]

A LIDAR (Light Detection and Ranging) technológia – azaz a lézer alapú távérzékelés – gyors térnyerése szorosan kapcsolódik a lézer kifejlesztéséhez. Theodore H. Maiman fejlesztette ki az első ilyen elektromágneses energiaforrást a múlt század hatvanas éveiben. [2]

2.1 A lézer fizikája

Egyszerűen megfogalmazva a lézer olyan egybefüggő fénysugár, amit stimuláció útján állít elő az azt kibocsájtó eszköz. Elnevezése az angol Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – LASER mozaikszóából származik, magyarra fordítva „*fényerősítés kényszerített fénykibocsátás útján*”. Létrejöttéhez az atommagok körül keringő elektronok energiaváltozása szükséges. Ez történhet energiaelnyeléssel (abszorpció) vagy energiakibocsátással (emisszió).

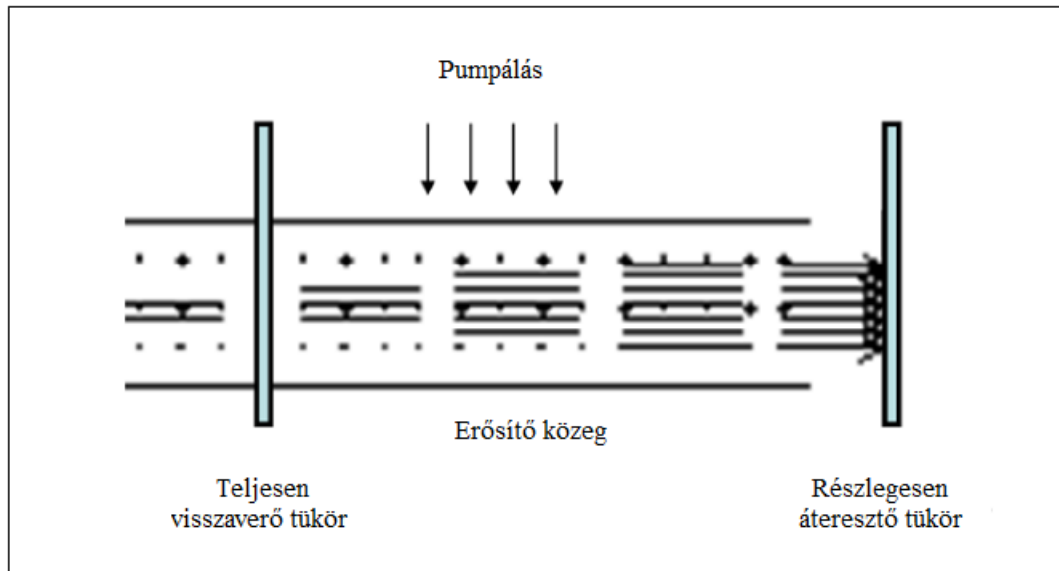


2. ábra: Az energiaszint változásai [2]

Ennek során az elektronok az atomok egyik energiaszintjéről a másikra váltanak. Abszorpció során egy foton teljes energiáját egy elektron veszi fel, amely így magasabb energiaszintre – gerjesztett – állapotba kerül. Mivel azonban az atomok alapvetően a legkisebb energiájú szintre törekszenek az előző folyamatnak a fordítottja is végbemehet. Ez a spontán emisszió, amikor a gerjesztett állapotban lévő elektronok, fotonok véletlenszerű felszabadulásával vagy hőleadással kerülnek alacsonyabb energiaszintre. [2]

Harmadik lehetőség a stimulált emisszió, ami az alapja a lézer működésének. Feltétele, hogy egymástól eltérő energiaszintű atomok vagy molekulák legyenek jelen egyszerre a közegben. Amennyiben a gerjesztett állapotban lévő atomhoz olyan foton érkezik, amelynek frekvenciája egyezik a gerjesztett és az alacsonyabb energiaszinten lévő atom energiakülönbségével, indukált fotonkibocsátás mehet végbe. Ekkor két foton hagyhatja el a közeg, az eredetileg beérkező és az újonnan kibocsátott. Ez utóbbinak a frekvenciája, energiája és iránya megegyezik az első fotonéval. Útjukat folytatva újabb

atomokat stimulálhatnak emisszióra, ugyanakkor alacsonyabb energiájú állapotban lévő atomok vagy molekulák elnyelhetik őket. [2]



3. ábra: Stimulált emisszió [2]

A lézer működéséhez éppen ezért szükséges, „*hogy a fénykibocsátó nagyobb energiájú állapot betöltöttsége nagyobb legyen, mint a fényelnyelő kisebb energiájú állapoté*” [3]. Az a hullámhossztartomány, melyben a fénykibocsátás mértéke meghaladja a fényelnyelést, a lézer erősítési sávjának nevezzük, ezen kívül a lézer veszteséges.

A fényerősítés hatásfoka növelhető azzal, ha ugyanazon foton többször is áthalad az erősítő közegen, ezzel kiváltva újabb és újabb fénykibocsátást. A lézerek működésében kulcsszerepet játszik a rezonátorüreg, melyet tükrök határolnak. A két visszaverő között elhelyezkedő erősítő közegben biztosítani kell, hogy a lézer működéséhez szükséges energiaszintek közül a magasabbak betöltöttsége meghaladja az alacsonyabbakét. Mivel az energia növekedésével exponenciálisan csökken az energiaszintek betöltöttsége, ezt pumpálással lehet biztosítani. A folyamatos pumpálással fenntartott, önmagát is gerjesztő folyamat során a rezonátorüreg tükrői között a fotonok ide-oda verődnek, újabb és újabb fotonok kisugárzását indukálva. Ezek egyező hullámhosszal, iránnyal és fázissal bírnak. A rezonátorüregben koncentrálódó energiát irányított módon lehet felszabadítani. Ehhez az kell, hogy a rezonátorüreg egyik végén lévő tükör félig áteresztő legyen, melyen keresztül a fotonok egy bizonyos hányada folyamatosan

távozhat. Ezek az egymással párhuzamos, monokromatikus és koherens sugarak alkotják a lézert. [2]

2.2 A LIDAR működési elvei

A LIDAR tehát az aktív távérzékelési rendszerek csoportjába tartozik, a berendezés saját energiaforrással bír, így az eszköz egyszerre érzékelő és kibocsátó. Működése hasonlít a radarhoz, azzal a különbséggel, hogy a LIDAR-nál a kibocsátott és a fogadott elektromágneses hullámok magasabb frekvenciájúak. A spektrum három sávjában, az ultraviola, a látható és az infravörös tartományokban képes érzékelni. Működési alapelve az elektromágneses energián nyugvó távolságmérés. A lézerből távozó energia-impulzus vagy hullám az útjába kerülő tárgyakkal érintkezik, majd visszaverődik róluk. A berendezés rögzíti a kibocsátások és visszaverődések között eltelt időt. Mivel a terjedési sebesség ismert, a tereptárgyak távolsága számítható az idő és a sebesség szorzatából. A mérési pontok precíz meghatározásához elengedhetetlen a szenzor helyének és mérés közbeni helyzetének ismerete. Továbbá szükséges a hordozóeszköz pontos helyismerete is, ez biztosítja a megbízható térbeli adatot. A LIDAR-os légi felmérések széleskörű elterjedéséhez a hordozó eszközökön elhelyezett navigációs rendszerek (GNSS és INS) pontosságnövekedése kellett. [4]

A módszer megszületése óta az alkalmazási területek közül kiemelt szereppel bír a földfelszín térképezése, mivel a LIDAR technológiával előállított adatok térbeli eloszlása kvázi homogén, sűrűsége kiemelkedően nagy. Előnye a fotogrammetriai úton nyert adatokhoz képest, hogy egy-egy pont koordinátája egy mérésből határozható meg, szemben az átfedésses képek mérésével. A lézer- és az arra építő szkennelési technológia kifejlesztését követően idővel az adatnyerési megoldások diverzifikáltabbakká, az egyes szakterületek által támasztott igényekhez alkalmazkodóvá váltak. A topográfiai LIDAR-ok a legszélesebb körben alkalmazott eszközök, ezek kielégítik a legtöbb felhasználó által támasztott mennyiségi és minőségi követelményeket. Szemben például a mélységmérésre specializált LIDAR-okkal, melyek a látható fény kék és zöld sávjában működnek. [2]

Sűrűn borított területek esetében, így erdőkben vagy városi környezetben a több visszaverődést regisztráló LIDAR-ok segíthetnek a hatékony adatgyűjtésben. A kibocsájtott jel, különböző magasságú felületekkel kerül kölcsönhatásba, a legközelebbi visszavert jel lesz a legerősebb. A fennmaradó energia útját tovább folytatva távolabbi objektumokról verődik vissza, míg a földfelszín elérve az utolsó visszaverődés is megtörténik. Az esetleges köztes visszaverődések kiszűrése érdekében az adatrögzítő egy küszöbértéket használ, mely intenzitás alatt nem rögzít adatot. [2]

Teljes jelalakos rögzítésnél a szkennerek a lézerimpulzus jelalakját teljes egészében rögzítik, ez nagysűrűségű adatok felvételezését teszi lehetővé. Segítségével az esetleges zavaró zajok különíthetők- és távolíthatók el a mért adatokból. Főleg digitális domborzat- és digitális felszínborítás modellek előállításánál használhatók az ilyen típusú LIDAR-ok. [2]

2.3 LIDAR rendszerek felépítése

A légi lézerszennékes rendszerek alapvetően két részből állnak: a fedélzeti és földfelszíni egységekből. Utóbbit a referencia mérésekhez szükséges felszíni állomás és az adatokat kezelő egység alkotja. A fedélzeti egységben található a lézeres távmérő, a navigációs és inerciális navigációs rendszer, opcionálisan kamera, adatrögzítő a műveltet tervező és lebonyolító egység. A lézeres távmérő a spektrális tartomány látható és infravörös tartományaiban működik. A frekvenciatartomány, melyben az eszköz által gerjesztett impulzusok keletkeznek, 300-15 000 Hz közé esnek. Ez teszi lehetővé, hogy másodpercenként több ezer pont távolságmérése történhessen meg. A mérendő terület felé irányított lézer a repülés irányára merőlegesen végzi a letapogatást. Eközben a hordozó eszköz meghatározott sebességgel halad a pályáján. Az, hogy mekkora a rendszer hatótávja több tényező függvénye. Számít a lézer kibocsátási energiájától, a mérendő tereptárgyak távolságától, a sugárnyaláb széttartásától, továbbá a felszín visszaverődési képességeitől. [2]

A felmérés terepi felbontását – azaz a rögzített pontok egymástól való távolságát szintén több paraméter befolyásolja. Függ a haladás sebességétől, a szkennelés frekvenciájától és a letapogatott terület kiterjedésétől. [2]

Pontok távolsága a repülés irányában: $(\frac{v}{sf})/2$ – v: szenzor sebessége, sf: szkennelés frekvenciája,

Pontok távolsága keresztirányban: $\frac{2*sf*sw}{fr}$; $sw = 2 * sh * \tan(\frac{sa}{2})$ – sw: szkennelés sávja, sh: szenzor magassága, sa: szkennelés szöge, rf: impulzus gyakorisága

Táv mérés pontossága: $D = c * \frac{t}{2}$ – D: távolság, c: fénysebesség, t: eltelt idő (kibocsátás és visszaverődés)

Felbontás: $\Delta D = v * \frac{\Delta t}{2}$

A lézermérések pontosságát a rendszer összetevőinek megbízhatósága határozza meg. Három faktort kell figyelembe venni:

1. a szenzor távmérési pontosságát,
2. a navigációs és inerciális rendszerek helymeghatározó pontossága,
3. az első két rendszer kalibrációja.

A lézerszkenner működése közben a GNSS rendszer folyamatosan rögzíti az UAV pozícióját, onnan, ahonnan a nyaláb kibocsátásra került. Eközben az inerciális rendszer méri a kibocsátás közben a szkennerek aktuális dőlésszögét. Ennek a három adatnak az együttese adja meg azt a pozíciót, ahonnan a mérés megvalósult. Ennek segítségével egy adott pont térbeli koordinátája meghatározható. [2]

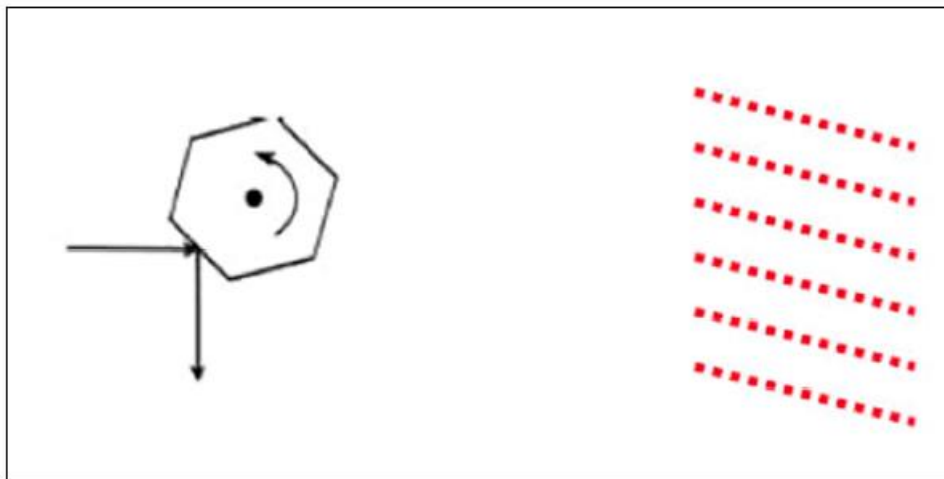
2.4 Letapogató rendszerek

A letapogatáshoz alapvetően négy különböző típusú szkennerek alakultak ki. Az oszcilláló tükrös műszerben egy periodikus mozgást végző tükör töri meg a lézerfény útját. A mozgás hatására a mért pontok cikk-cakk vonalban jelennek meg a felszínen. A pásztázott sáv szélei felé a mért pontok száma lecsökken, ennek oka, hogy a forgásirány megváltoztatásához és a tükör megállításhoz lassítás szükséges. Ez az egyik leggyakrabban használt letapogató rendszer, mivel a nyílásszöget könnyen lehet állítani. [2]



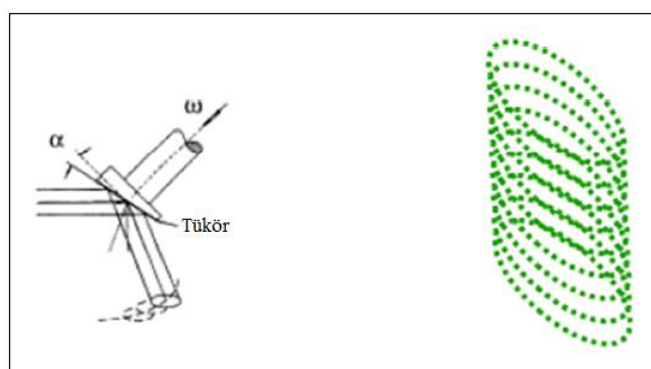
4. ábra: Oszcilláló tükrös szkennerek működési elve, a mért pontok elhelyezési sémája [2]

A forgó-poligon típusú szkennerekben a lézert valamilyen sokszög alakzatú és tükrös oldalú szerkezet téríti el. A forgás egyirányú, emiatt a pontok mérése egy irányban történik, megfelelő a tükrör forgásának. Ezzel a pásztázással kapható a leghomogénebb ponteloszlás. [2]



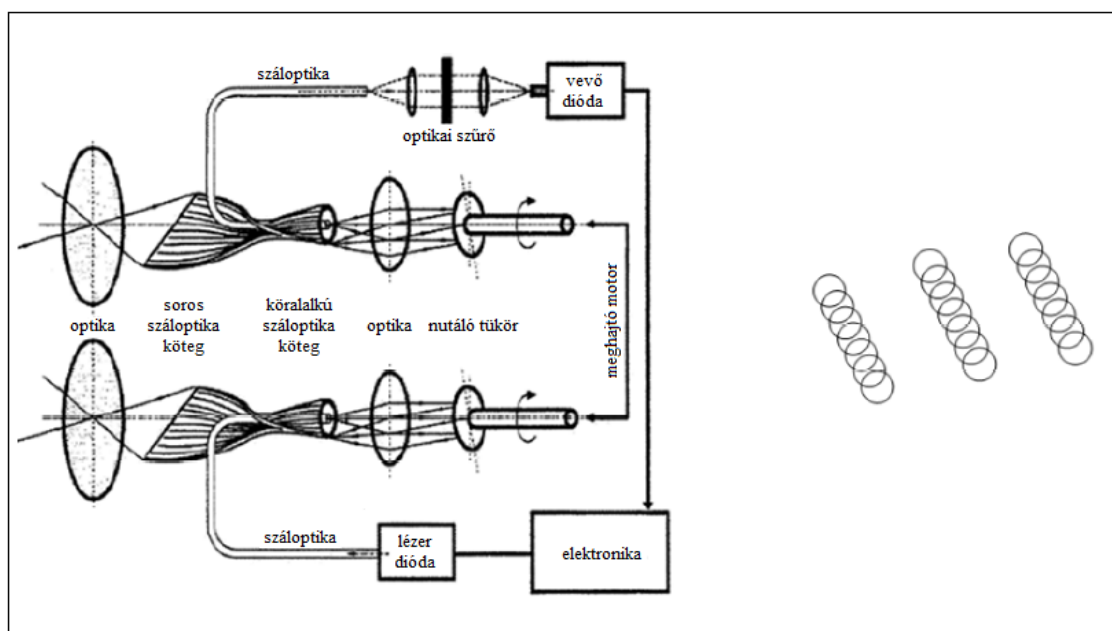
5. ábra: Forgó-poligon szkennerek működési elve, a mért pontok elhelyezési sémája [2]

A Palmer szkennert nevezik nutáló-tükros szkennereknek is, mely ellipszis alakban rögzíti a pontokat. Ebben a rendszerben a tükör forgórésze a forgástengelyre majdnem merőlegesen van telepítve, a tengely 45° -os szögben áll a lézerhez képest. A fény törésszöge növekszik azáltal, hogy a tükör és a forgástengelyre merőleges sík által bezárt szög szintén nő. A módszer egyik jellegzetessége, hogy bizonyos idő elteltével a pásztázás során egy-egy mért ponthoz közeli pont újból mérésre kerül. A nyaláb előbb az előrehaladó, majd a visszafele irányuló mozgása során halad végig a ponton. [2]



6. ábra: Palmer-szkennerek működési elve, a mért pontok elhelyezési sémája [2]

Az optikai szálak technológiával felszerelt berendezésekben az impulzusok egy optikai szálból érkeznek, és ezekbe térnek vissza. A szálak száma meghaladja a százat, ez a soronkénti pontmérés számát határozza meg. Az egyes szálakra – melyek kör alakban helyezkednek el – egy nutáló mozgást végző tükör továbbítja az impulzusokat, innen tovább vezetődnek a mérés irányába. A visszavert jelek észlelése hasonló rendben történik. A szálak ily módon történő elrendezése biztosítja, hogy a szkennelés vonalai egymással párhuzamosak legyenek, valamint egyenlő távolságra essenek egymástól. Ez a módszer biztosítja a leggyorsabb felvételezést. [2]



7. ábra: Az optikai szál asztázás működési elve, a mért pontok elhelyezési sémája [2]

2.5 Mérések feldolgozása

A LIDAR rendszerek működésük során köztes visszaverődési értékeket is rögzítenek, melyek a kiértékelés során zavaró hatással lehetnek az értelmezésre. A feldolgozás egyik első lépése a nyers adatok szelektálása, a felesleges adatok szűrése az adott feladat vagy szakterület igényei szerint. Általánosan megállapítható, hogy az adatrögzítő eszközök fejlődésének lassabb üteme miatt az előállított termékek minőségét elsődlegesen a feldolgozás határozza meg. Ennek kritikus és nélkülözhetetlen része, hogy mért pontjaink koordinátái megfelelő pontossággal bírjanak. Modellt GNSS/INS rendszer nélkül nem lehet előállítani. Ennek egyenes következménye, hogy a pontok koordinátáinak pontossága nem tudja meghaladni a szenzor helyzetének pontosságát. A pontosság meghatározásánál két tényezőt kell figyelembe venni:

- a rendszer kalibrációs adatai (lézerszenzor – INS és GNSS-INS relatív helyzete),
- a műszer felvételezési helyzetének szögei (ω , φ , κ)

A mérés után előállt pontfelhő térbeli elrendeződése – az alkalmazott mérési technikától függetlenül – meglehetősen szórt. Annak érdekében, hogy pontjaink valamilyen szabályos elrendeződésbe kerüljenek interpolálnunk kell őket. A leggyakrabban használt közelítő módszerek: [2]

- a legközelebbi szomszéd módszer,
- a lineáris interpoláció,
- a polinomális interpoláció.

A legközelebbi szomszéd módszernél a közelítésben alkalmazott rácspont magasságának értéke a legkisebb távolságra lévő szomszédos pont magassági értékét veszi fel. Lineáris interpolációnál a kérdéses rácspont magasságát szintén a szomszédos pontok segítségével egy sík közelítésével számíthatjuk ki. Polinomos interpolációnál egy polinomfelületet kell meghatározni, melyen már számítható a rácspontok magassága. [2]

A szkennelés során begyűjtött adatok a felszínre, az azon található természetes és mesterséges elemekre továbbá a borítottságra vonatkoznak. A feldolgozás egyik lépése, hogy a feladat céljának megfelelően az adatokat szelektáljuk egymástól. Az egyes elemek különböző módszerekkel egymástól jól elkülöníthetők, a gyakorlatban alkalmazott eljárások az alábbiak:

- hierarchikus robosztus módszer,
- lejtésen alapuló módszer,
- morfológiai. [2]

Az első módszert kezdetben erdők szűrésére alkalmazták, továbbfejlesztés után városok kiemelésére is használhatóvá vált. Először egy durva közelítéssel történik meg a terep kiszámítása, majd a mért pontok és a modell eltéréseiből a pontok súlyt kapnak. A későbbi számításoknál a felszíni- és a felszín alatti pontok nagyobb, a felszín felett lévő pontok kisebb jelentőséggel kerülnek figyelembevételre. Ezt követően ismétlődő eljárással, több lépésben történik a felszín újraszámítása, amíg a durva hibák el nem tűnnek. A lépésekben a kiugró értékek szűrésre kerülnek, ezek egy meghatározott érték felett lévő pontok, melyeket törlésre kerülnek az adathalmazból. [2]

A lejtésen alapuló módszer egymáshoz közelálló pontok magasságkülönbségét vizsgálja. Feltételezi, hogy a közeli pontok közötti nagyobb eltérés nem a terep meredekségéből fakad. További feltétel, hogy a pontok közötti távolság növekedésével annak a valószínűsége is nő, hogy mindkét pont tereppont. Ezért a terepet alkotó pontok összessége – figyelembe véve a terep adottságait – megadható egy függvénnyel. Legtöbbször a terepadottságokról nem áll rendelkezésre információ. Ebben az esetben egy tanulóterület kiválasztásával definiálható a függvény. Fontos, hogy ez a mintaterület csak tereppontokból állhat, és a fontosabb terepadottságokat magában kell hordoznia. [2]

A morfológiai szűrőnél egy különböző nagyságú, folyamatosan mozgó ablak fésüli végig a terepet. A lefedett terület pontjai közül legalacsonyabb fekvőket veszi tereppontnak a szűrő. Továbbá az adott magasságkülönbségen belül lévő pontokat is ide sorolja. A pontok súlya az ablak méretváltozásától függ, az osztályozás több lépésben, a legkisebb méretű ablaktól a legnagyobb felé haladva történik. A terepmodell generálása a kiválogatott pontok felhasználásával, a súlyok figyelembevételével zárul. [2]

Ezek az automatikusan végzett szűrési módszerek nem minden esetben állítanak elő olyan adatokat, melyeket közvetlenül lehet hasznosítani. Rendszerint utófeldolgozással tovább javíthatók, esetleg más jellegű adatokkal kiegészíthetők. Az objektumfelismerő eljárásokkal a szűrés hatásfoka tovább növelhető. [2]

2.6 Alkalmazási lehetőségek

A LIDAR-os felmérések az adatgyűjtés gyorsasága, a mért pontok sűrűsége továbbá a felmérés pontossága miatt olyan előnyben vannak más felmérési módszerekkel szemben, hogy egyre több területen tudják hatékonyan alkalmazni. Ez az eljárás szemben a hagyományos légifényképezéshez képest, kevésbé van kitéve az időjárás viszontagságainak. Nincs napszakhoz kötve, hiszen a rögzített adatok minősége nem függ a napállástól, mindamelllett az éjszakai körülmények még előnyösebbek is az adatgyűjtésre (aktív rendszer, saját energiaforrás). Az adatok mind vertikális, mind horizontális irányban nagy pontossággal bírnak. Természetesen nem csak előnyei, de

hátárnyai is vannak a LIDAR technológiának. A vízfelszínről a lézer nem képes visszaverődni, ez a partvonalak azonosítását megnehezíti. [2]

A LIDAR-os adatgyűjtés elsődleges célja a felszíni objektumokra és magára a felszínre vonatkozó háromdimenziós adatok gyűjtése. Ezekből állíthatók elő a digitális domborzat- (DDM) és digitális felszínmodellek (DFM). A domborzatmodell csupán a felszínre vonatkozó magassági adatokat tartalmazza, míg a felszínmodell kiegészül a tereptárgyak magasságával is. A két modell létrehozásához kulcsfontosságú a felszíni és nem felszíni pontok különválasztása. A felszíni adatok valamennyi esetben az utolsó-, míg a felületi adatok az első visszaverődésből származtathatók. Ezek a végtermékek segítségével szolgálhatnak a vonalas létesítmények (út, vasút, távvezeték) tervezésében, valamint az árvízvédelmi védekezésben. [2]

A lézeres felmérések különösen hatékonyan működnek urbanizált környezetben. A települések időben gyorsan változnak, képük folyamatosan formálódik. A meghatározott időközönként végrehajtott mérések lehetővé teszik a területen végbemenő változások monitorozását. Igény mutatkozik az építményekre, a tereptárgyakra, az infrastruktúrára vonatkozó naprakész és megbízható modellekre, melyek elősegíthetik a tervezést. Modellek létrehozásával szimulálható valamilyen anyag emissziójának térbeli terjedése, segítség lehet egy beruházási célterület optimális helyének megtalálásában. [2]

A folyóvízi tevékenység pusztító hatása nyomán a partvidékek képe állandóan változik. Az erózió során pusztuló szárazföld a mederben üledéket képez, emellett hatással van a víz nitrogén és foszfor tartalmára, ami a biológiai folyamatok változását eredményezheti. A LIDAR technológia segítségével az érintett területekről pontos kép kapható, mely elősegítheti az erózió elleni védekezést, támogathatja a folyamat mérséklését célzó beavatkozásokat. A mérésekből megalkotott digitális domborzatmodellek a partvonalak térbeli változásait tükrözik, megteremtve a lehetőséget az erózió valamint az üledékképződés mértékének meghatározására. Ezáltal a feltöltött területek azonosíthatóvá válnak, a mederváltozás nyomon követhető. Lézerrel a víz mélysége is meghatározható. Az erre a feladatra kifejlesztett eszközök az elektromágneses spektrum kisebb hullámhossztartományában működnek, leginkább a

kék és a zöld sávban. Ideális körülmények között 70 m-es mélységig képesek lejutni az impulzusok a vízben. [2] A vizek fényáteresztő képességét az olasz csillagász és fizikus, Pietro Angelo Secchi által megalkotott és róla elnevezett Secchi-koronggal mérik. Az eszköz az illesztőpontokhoz hasonló fekete-fehér mintázatú, 20 cm átmérőjű fémből készült korong. Ez egy mérőszalaghoz van rögzítve, melyről az észlelések során könnyen le lehet olvasni a mélység értékét. A mérést minden esetben a csónak árnyékos oldalán kell elvégezni, lehetőleg 10 és 14 óra közötti intervallumban. A vízbe eresztéskor figyelni kell, hogy a korong mikor tűnik el az észlelést végző szeme elől, ezt az értéket a szalagról leolvasva fel kell jegyezni. A korong felhúzásánál, amikor az ismételten láthatóvá válik az észlelő számára, az értékét szintén rögzíteni kell. A két mélységi értékből számított számtani közép adja a Secchi-mélységet, amelyet méterben szoktak kifejezni. A Secchi-átlátszóság évszakonként változik, értéke függ az algavirágzástól valamint a lebegő üledékek mennyiségétől.

A városi modellezés mellett a LIDAR másik tipikus felhasználási területe az erdőgazdálkodás. Főként az állomány nyilvántartása, az ellenőrzés, az erdős területek fajok szerinti elkülönítése valamint a mennyiségi és minőségi adatokra vonatkozó információk nyerhetők a felmérésekből. Ezek a passzív távérzékelési rendszerekből származó adatokból is származtathatók, az így nyert adatok azonban nem tartalmaznak magasságra vonatkozó információt. A lézeres felmérésnél a kibocsátott impulzus egy része a lombkoronáról verődik vissza, másik része a levelek között egészen a földfelszínig képes lejutni, innen visszaverődni. Ezzel a helyzeti adatok mellett magassági értékeket is kapunk, melynek segítségével az egyes lombkoronaszintek egymástól elkülöníthetővé válnak. Az erdős területekre készített felszín- és domborzatmodellek különbségéből számítható a fák magassága. Emellett a lézeres adatokból számítható a korona mérete és sűrűsége, becsülhetővé válik a biomassa, nyomon követhetővé válik az erdő növekedése vagy csökkenése.

3. A FELADAT KIJELÖLÉSE

Dolgozatomban nem egy meghatározott problémára szeretnék megoldást találni, célom az újfajta felmérési módok szemléltetése, kipróbálása egy gyakorlati példán keresztül.

Az alábbi pontokban határoztam meg az elvégzendő feladatokat:

- a felmérési terület lehatárolása,
- a méréshez használt eszközök és szoftverek ismertetése,
- a szkennelési és felvételezési folyamat bemutatása,
- előfeldolgozás – a nyers mérési adatok vizsgálata,
- utófeldolgozás – végtermékek előállítása (DFM, ortofotó, tervezési alaptérkép),
- konklúzió levonása és összefoglalás a tapasztaltakról.

4. A FELMÉRÉS HELYSZÍNE, VELUX

A vizsgált terület a Kisalföldön található, Fertőszentmiklós határában. A VELUX Magyarország Kft. első telephelye 1986-ban létesült, a szomszédos Fertőd és Fertőszéplak között. A VELUX elsődleges profilja a tetőtéri nyílászárók gyártása és értékesítése.

A dán tulajdonú vállalatot 1941-ben Villum Kann Rasmussen mérnök alapította. Elkötelezett volt amellett, hogy a magastető alatti kihasználatlan területen hasznos életteret lehet létrehozni, ő alkottam meg az első olyan tetőtéri ablakot, amelyet saját forgástengelye mentén rögzített. Ez a speciális zsanér biztosítja, hogy az ablak használata során a külső borítása ne sérüljön. A vállalat elnevezése fejlesztéseik lényegét tükrözi, az angol ventilation – szellőzés és a latin lux – fény szavak kombinálásával született meg a VELUX márkanev. Az elmúlt 83 évben ez a Dániából indult egyéni vállalkozás a világ vezető tetőtéri ablakgyártó és értékesítő vállalatává vált. Több, mint 40 országban értékesítik termékeiket, 17 országban pedig gyártási tevékenységet folytatnak. [5]

A Fertőd melletti részlegben 1987-ben indult meg a termelés. Ebben a gyártóegységben a faalkatrészek gyártása folyik, a fűrészáru beérkezésétől a teljes megmunkálás, így a ragasztás, a profilozás és a lakkozás továbbá az ablakok összeszerelése is ebben az üzemben történik. A telephelyen kaptak helyet a termelést támogató területek: az adminisztráció, a kontrolling, a minőségirányítás, az informatika és a humán erőforrás. Az alumíniumalkatrészek és a hőszigetelt üvegek előállítását valamint a kisszériás faalkatrészek gyártását és az ablakok szerelését a fertőszentmiklósi gyáregység feladatkörébe tartoznak. Ebben az egységben kapott helyet a beszerzés és a termelés tervezés. [6]

A két kisalföldi gyártóegység az egyetlen olyan üzemszervezés a cégcsoportnak, ahol a nyersanyagtól a késztermék előállításáig egyetlen helyszínen történik a teljes gyártási folyamat. A gyártóegységek egyben a VELUX legnagyobb közép-európai logisztikai- és elosztóközpontjai, a magyarországi részlegek felelnek a hazai márkakereskedések, valamint más európai országok késztermékkel és alkatrészekkel történő ellátásáért. [6]

5. ADATGYŰJTÉS – REPÜLÉS TERVEZÉSE ÉS VÉGREHAJTÁSA

A terület felmérésére 2024. március 13-án került sor a délelőtti órákban. A munka elsődleges célja egy tervezési térkép megalkotása volt, mely a korszerűsítési/tervezési feladatok elősegítését és későbbi kivitelezést támogatja. A felmért területről a tervezési alaptérkép vektorizálással készült, a geodéziai pontosság biztosítása érdekében és a későbbi felhasználhatóságot szem előtt tartva a feladat földi kiegészítő mérésekkel egészült ki.

Az adatgyűjtés két repülés során valósult meg, mindkét esetben előre kijelölt útvonalakat jártak be az eszközök, autonóm módon. Az útvonal ideális tervezéséhez a megbízó tervezőiroda által kijelölt területre készült lehatárolás. Az előkészületi munkákban további támpontot nyújtottak az e-közmű és a Google Street View adatbázisai, melyek jó támpontként szolgáltak abban, hogy mire érdemes még odafigyelni a felvételezés során.

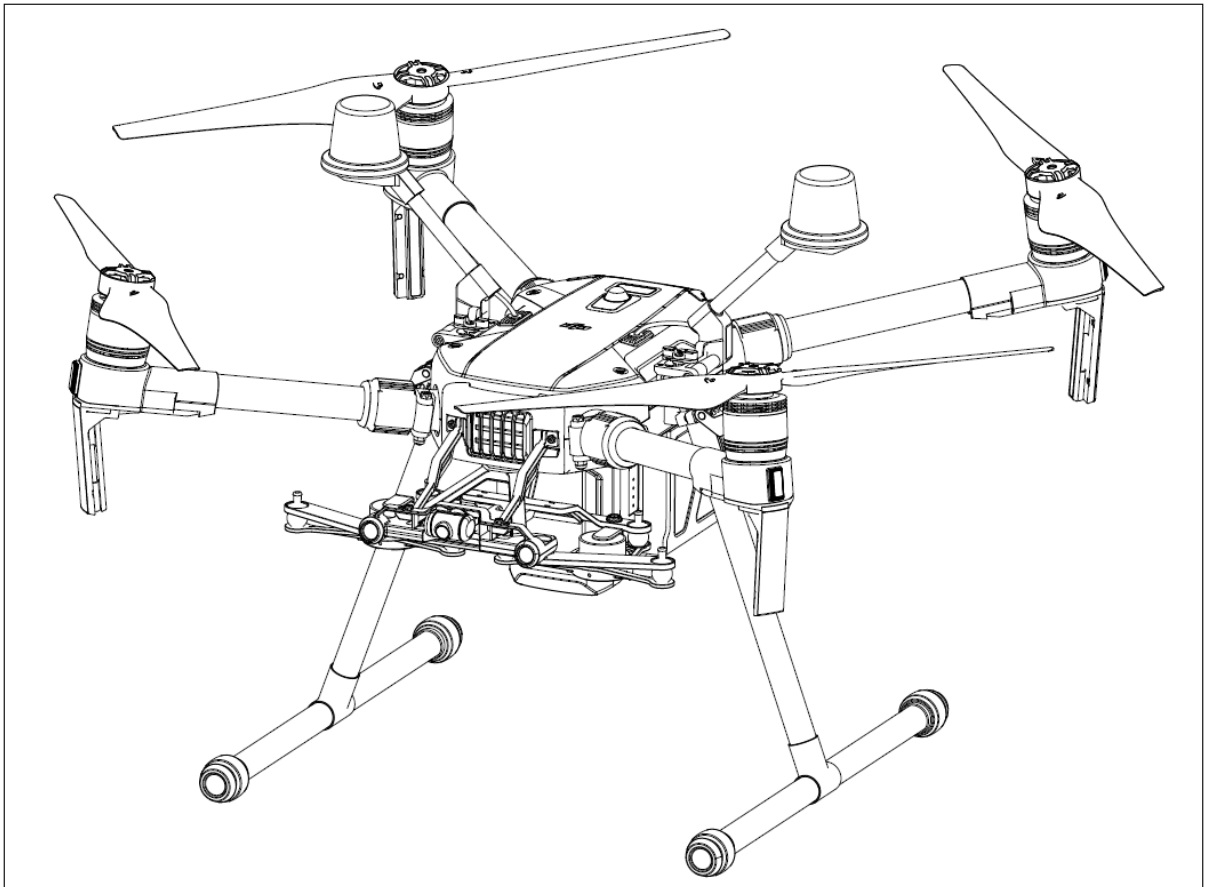
A pilóta nélküli légi járművel végzett munkák megkerülhetetlen tervezési lépéseinek egyike a mérendő terület feletti légtér ellenőrzése. Ezt legkönnyebben a legter.hu oldalon tehetjük meg a légtérkereső földre kattintva. Itt az egész országra vonatkozóan információt kaphatunk hazánk légtérének szerkezetéről, felosztásáról, könnyen érthetően és átlátható formában. A térkép segítségével az UAS műveletek egyszerűbben tervezhetők. Mivel a felvételezett terület a település lakott területén kívül található a művelet végrehajtásához eseti légtérengedély beszerzése nem volt szükséges.

5.1 DJI Matrice 210 V2

A LIDAR-os felmérés hordozóeszközeként egy DJI Matrice 210 V2 szolgált. A DJI vállalat Matrice termékcsaládja kifejezetten ipari célokra kifejlesztett UAV-i a gyártó leírása szerint a felmérési, felülvizsgálati/ellenőrzési, mentési és kutatási továbbá tűzoltási feladatok ellátására lett tervezve. Az eszköz robosztus felépítésű szemben az általam eddig megismert Mavic típusú gépekkel szemben, igaz ezek inkább hobbi célokat szolgálnak. A Matrice karjai a könnyebb szállítás érdekében összecsatolható, landolótálpak garantálják a biztonságos le- és felszállást, melyek gyors zárak segítségével rögzíthetők. Az energiaellátásért két darab TB55-ös intelligens akkumulátor felel, ezekkel együtt az eszköz tömege 4,8 kg. A maximális felszállótömeg 6,14 kg, amit a szenzor felhelyezésével a gép éppen elért. A gyártó által ígért repülési idő ezzel a maximális terheléssel 24 perc. A közel 3 hektár kiterjedésű felmérési területet ebből adódóan két felszállásból abszolválta a Matrice.

Műszaki adatok	
Méret	883*886*398 mm
Súly	4,8 kg (akkumulátorokkal)
Maximális felszálló súly	6,14 kg
Maximális hasznos teher	1,34 kg
Maximális repülési idő	34 perc (hasznos teher nélkül), 24 perc (maximális felszálló súllyal)
Maximális emelkedési sebesség	5 m/s
Maximális süllyedési sebesség (vertikálisan)	3 m/s
Maximális sebesség	73,8 km/h
Maximális tolerált szélsősebesség	12 m/s
Motor	DJI 3515
Propeller	1760S
GNSS	GPS+GLONASS

1. táblázat: DJI Matrice 210 V2 főbb paraméterei [7]



8. ábra: DJI Matrice 210 V2 [7]

5.2 YellowScan Mapper

2012-ben alapított YellowScan kifejezetten LIDAR rendszereket fejlesztő és gyártó cég Franciaország déli részén. A vállalat alapvető célkitűzése olyan teljes mértékben integrált, ultrakönnyű, könnyen használható és automatizált adatgyűjtő eszközök forgalmazása, melyet hatékonyan tud alkalmazni több szakterület is. Pl.: geodézia, erdőgazdálkodás, kutatás, régészet, bányászat, mélyépítés, ipari ellenőrzés. Eszközeik a legtöbb UAV-val kompatibilisek, beépített lézerszkennerral, INS-sel, és GNSS vevővel ellátva kerülnek a felhasználókhoz. A gépet fedélzeti számítógép vezérli, energiaellátását beépített akkumulátor biztosítja. A YellowScannál a hardver mellett az adatok feldolgozására és megjelenítésére is gondoltak. A cég saját fejlesztésű, pontfelhők létrehozására és megjelenítésére szolgáló feldolgozó szoftvere a

CloudStation. A felmérés során keletkezett nyers mérési adatokat ebben a programban dolgoztam fel, georeferálásukat is ekkor végeztem el. A LiveStation szintén saját fejlesztésű program, a YellowScan eszközök által gyűjtött adatok valós idejű megjelenítését ígéri. A felméréshez használt Mapper típusú eszköz a cég szerint a legjobb ár-érték arányú UAV LIDAR.

Műszaki adatok	
Méret	144*95*142 mm
Súly	1,5 kg (akkumulátorral)
Szkenner	Livox Horizon
Hullámhossz	905 nm
Pontosság	3 cm
Szórás	2 cm
Szkenner látószöge	81,7°
Tip. felmérési sebesség	10 m/s
AGL	70 m
Pontsűrűség (50 m AGL, 5 m/s)	400 pont/m ²

2. táblázat: YellowScan Mapper főbb paraméterei [8]



9. ábra: YellowScan Mapper [8]

5.3 Trinity F90+

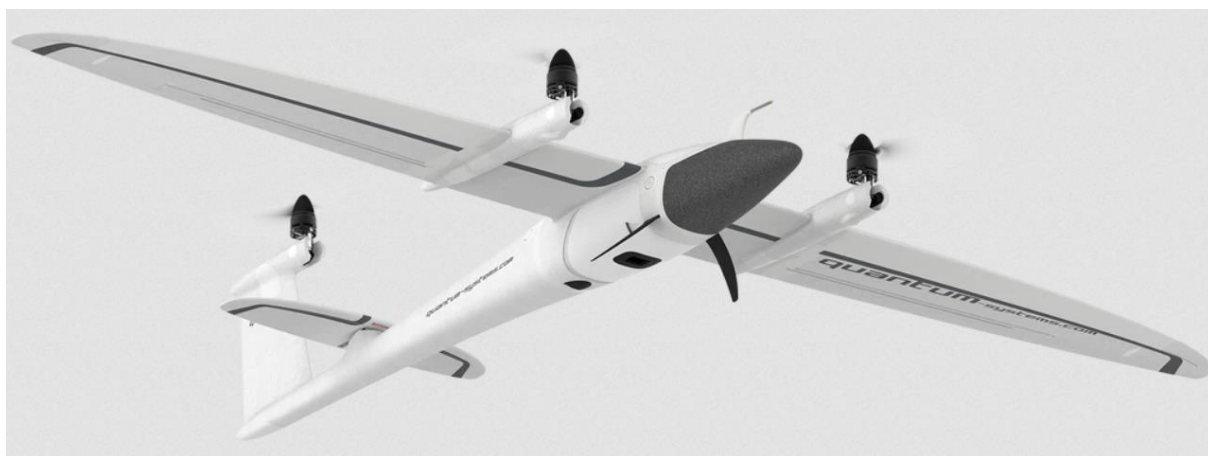
Az adatgyűjtés a LIDAR mellett hagyományos légifelméréssel is kiegészült. A Quantum-Systems GmbH pilóta nélküli légitárművek tervezésével, fejlesztésével és gyártásával foglalkozó vállalat. Trinity F90+ merevszárnyas gépe a vizsgált területet egy felszállásból lerepülte, nem véletlenül, a nevében szereplő 90-es szám a garantált repülési időre utal. Ez a teljesítmény a korábbi modellhez képest a megnövelt akkumulátorkapacitásnak és az új motoroknak köszönhető. A gép testén található rakományrekesz gyorsreteszelő mechanizmusa lehetővé teszi az érzékelők gyors cseréjét szerszám igénybevétele nélkül. A Trinity F90+ hat különböző integrált kamerával vásárolható meg, ezek között megtalálható az RGB, az oldalra néző (oblique), a multispektrális vagy a LIDAR. A felvételek a Sony RX1 RII 42 megapixeles felbontású kamerájával készültek.



10. ábra: Sony RX1 RII kamera, a Trinity F90+ rakományrekeszébe integrálva

Műszaki adatok	
Szárnyfeszítávolság	2,394 m
Hossz	1,48 m
Maximális felszálló súly	5,00 kg
Maximális hasznos teher	0,70 kg
Maximális repülési idő	akár 90 percet meghaladóan
Maximális megtett távolság v. terület (egy felszállásból)	100 km v. 700 ha
Optimális utazási sebesség	17 m/s
Maximális tolerált szélsősebesség	12 m/s
Akkumulátor kapacitása	12 Ah
Akkumulátor súlya	1,5 kg

3. táblázat: Trinity F90+ főbb paraméterei [9]



11. ábra: Trinity F90+ [9]

Természetesen minden UAS művelet része, a tényleges munkavégzés megkezdése előtt eszközeink alapos szemrevételezése és vizsgálata. Ennek során ellenőrizni kell az akkumulátorok megfelelő töltöttségi szintjét. Meg kell győződni az UAV, a távirányító és az ehhez kapcsolódó okos eszköz optimális energiaellátottságáról. Fontos az UAV kézbevétele, a karok, futóművek átnézése, nincs-e rajtuk repedés, törés, mely a későbbiek során, a fellépő vibráció hatására nagyobb bajt eredményezhetne. Ugyanez érvényes a tollakra és a motorokra is. Gondosan helyükre kell illeszteni a propellereket, ügyelve arra, hogy a megfelelő forgásirányú helyre az ahhoz illeszkedő alkatrész kerüljön. A motorok ellenőrzésének módja, hogy a felhelyezett tollaknál fogva megforgatjuk őket, annak érdekében, hogy tapasztalunk-e akadást, bármi rendellenességet. Szemügyre kell venni eszközünk érzékelőit, továbbá a csatlakoztatott szenzorokat, hogy nincs-e rajtuk szennyeződés, bármi oda nem illő anyag. Amennyiben ezeken végig értünk, következhet az indítás. Ezt minden esetben – a biztonságot szem előtt tartva – elsőként a távirányítóval tesszük meg. Ezzel kivédhető, hogy az UAV bizonyosan ne legyen kontrollálatlan állapotban. Csak ekkor következhet a pilóta nélküli légitármű bekapcsolása. Az eszköz rövid idő alatt tájolja magát, használatra kész, az okoseszközön futó alkalmazásban ellenőrizni kell, hogy a berendezések kommunikálnak-e, felvették-e egymással a kapcsolatot. Ha mindent rendben találtunk, kezdetét veheti a művelet.

Minden eszköz kézikönyve tartalmaz néhány betartandó szabályt, melyek a rendeltetésszerű és biztonságos használatot szolgálják. Ezek a repülési környezeti követelmények, be nem tartásuk, figyelmen kívül hagyásuk akár garanciavesztéssel járhat. Ezek az előírások az alábbiak:

1. Bizonyos időjárási körülmények között az eszközt nem lehet használni. Különösképpen a 12 m/s-ot meghaladó szélben, havazásban, esőben vagy ködben.
2. Nyílt területen végzett művelet közben a magas és nagy kiterjedésű fém tárgyak megzavarhatják a fedélzeti iránytűt és a GNSS rendszert.

3. Kerülni kell az akadályokat, embertömeget, magasfeszültségű vezetékeket, fákat és a vízfelületeket.
4. Minimalizálni kell az interferenciát a magas elektromágneses mezejű területek (pl. bázisállomások, rádiótornyok) kerülésével.
5. Az UAV és az akkumulátor teljesítménye függ a levegő hőmérsékletétől és páratartalmától. A nagyobb repülési magasság szintén befolyásolhatja az eszköz teljesítményét.
6. Sarkörökön az iránytű és a GNSS rendszer nem üzemel. A gép automatikus módban a magassága tartásához csak a barométert használja. A környezeti tényezők ekkor nagyobb kihatással vannak az UAV-re.

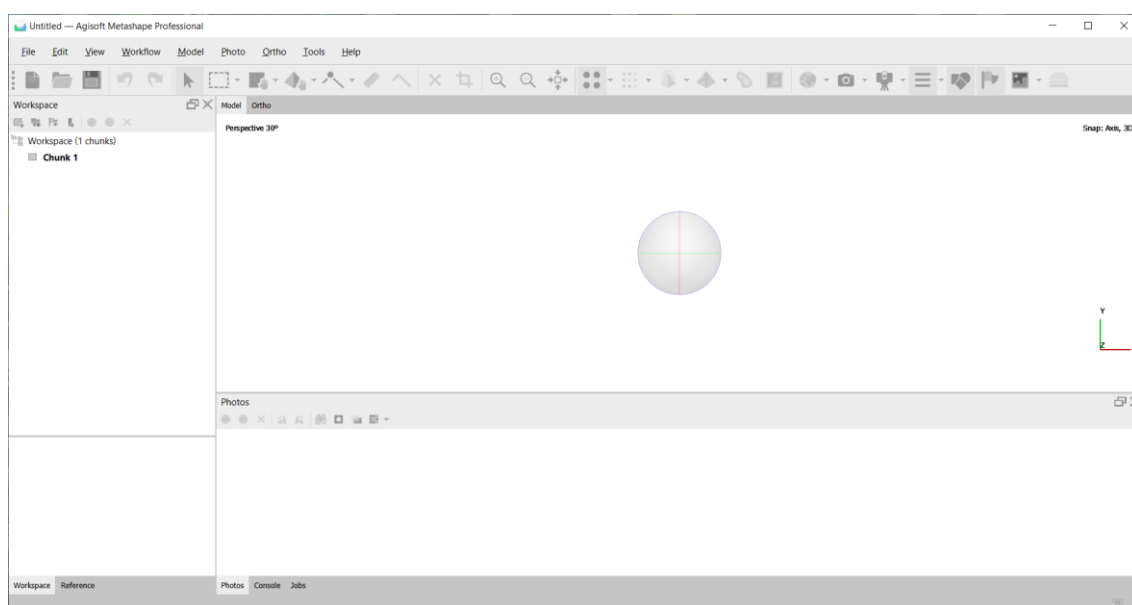
6. ADATOK FELDOLGOZÁSA, VÉGTERMÉKEK ELŐÁLLÍTÁSA, INTEGRÁLÁS GIS-BE

Az adatfeldolgozás teljes egészében az Agisoft Metashape programban történt. Az orosz fejlesztésű fotogrammetriai szoftvert régebben PhotoScan néven forgalmazták. A szakma megítélése szerint a sugárnyaláb kiegyenlítéssel végzett légi háromszögelési eljárást ez az alkalmazás végzi a legpontosabban. Alapvetően fotogrammetriai fényképfeldolgozásra, valamint ortofotó és háromdimenziós modellkészítésre lehet használni, de a vizuális effektusok létrehozására, tereptárgyak paraméterezésére, helyszínelési adatrögzítésre is alkalmazható. A Metashape pozitívuma az automatikus feldolgozórendszer, amely a munkavégzés idejét gyorsabbá és egyszerűbbé teszi. A modellalkotás egymást követő lépésekből áll, a folyamat teljesen automatizálható. Egymásba fűzhetők az egyes részfeladatok, oly módon, hogy a Workflow – Batch Process menüponton keresztül felvesszük az egyes lépéseket. Minden szakasz egyedileg paraméterezhető, érdemes minden ütemet külön-külön menteni, így ha valamit esetleg rosszul állítottunk be, vagy nem várt esemény következik be (pl. áramszünet), nem kell az egész folyamatot teljesen a legelejéről újrakezdenünk.

Első lépés a bementi adatok betöltése. A képek importálása után a paramétereket kell beállítani, ezt követően indulhat a számítási feladat. Ez a munkafolyamat beavatkozást nem igényel, elég a program futását felügyelni. A bonyolult matematikai műveletek végrehajtása rendkívül erőforrásigényes, mind a processzor, mind a memória, mind a grafikus feldolgozó egység számára. Az ajánlott beállítások ezt 6-32 magos, 3.0+ Ghz-es processzorban, 32-128 GB memóriában és 1920+ speciális számolóegységben határozzák meg. Esetemben csupán az alapkonzfigurációhoz szükséges erőforrások álltak rendelkezésre, ezért a feldolgozáshoz konzulensem nagyobb teljesítményű számítógépét vettem igénybe.

6.1 Felvételek tájékozása

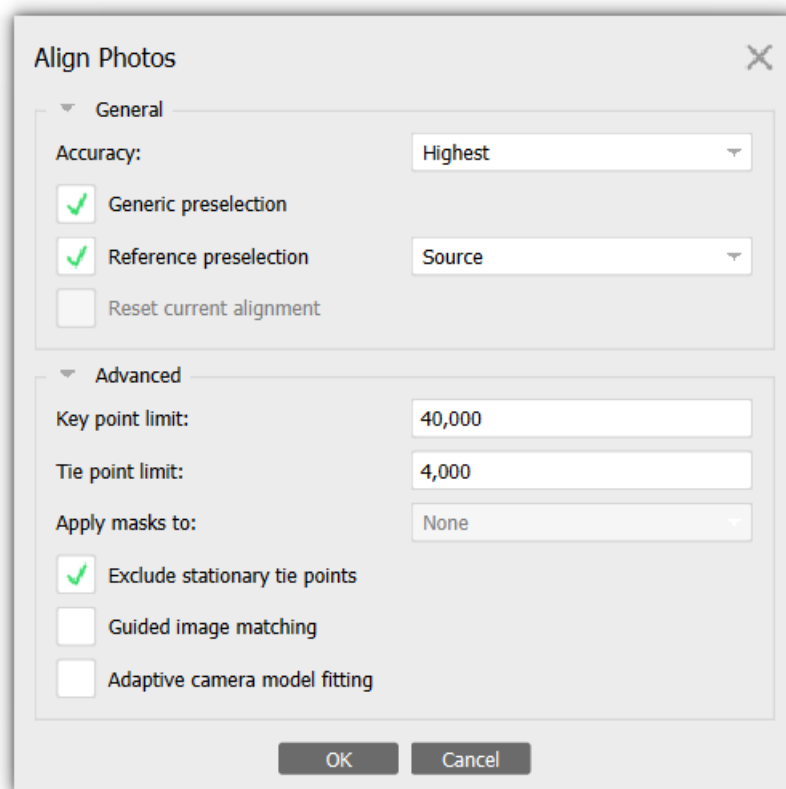
A program kezdőképernyője egy üres munkaterület. Ezt modelltérnek nevezi az Agisoft, közepén egy navigációs gömb található. A gömb mentén az aspektus három irányban forgatható, a tetszőleges nézet megtalálásához. Közvetlenül a modelltér alatt, egy elkülönülő navigációs ablak látható. Három füle a Photos, Console, Jobs menüpontok közötti váltást teszi lehetővé. A Console fülre kattintva a feldolgozást végző hardverről kapunk némi adatot (CPU, RAM, GPU, operációs rendszer). A konfiguráció a későbbi felhasználás végett exportálható egy .txt fájlba.



12. ábra: Az Agisoft kezdőképernyője a navigációs gömbbel

A programban történő munkavégzés megkezdése előtt ajánlott a képek áttekintése. Az előfeldolgozás ezen lépése azt a célt szolgálja, hogy szűrésre kerüljenek az elmosódott, homályos esetleg kiégett felvételek. Ezzel a lépéssel csökkenteni lehet az eszközünkre váró (felesleges) számítási idő hosszát és mennyiségét. A fotókat két módon tudjuk a programba behívni. Az egyik lehetőség a fenti menüsor Workflow – Add Photos parancsa, ekkor a megfelelő mappa tallózásával választhatjuk ki a kívánt felvételeket. A másik módszer a Photos fül alatt a Drag & Drop, azaz a Fájlkezelőben kijelölt képeket a Photos területére húzzuk és ledobjuk. Ha megtörtént az importálás, a következő feladat a tájékozás: Workflow – Align Photos. A felugró ablakban több tényező állítható, a

pontosságot a pixelhibák minimalizálása érdekében a legmagasabbnak választottam. Természetesen a legnagyobb érték egyenes arányban növeli a számítás mennyiségét és a munkaidőt is.



13. ábra: A tájékozási paraméterek meghatározása

Mivel a Metashape nem nyílt forráskódú szoftver, csupán feltételezni lehet, hogy egyéb más hasonló fotogrammetriai programmal megegyezően keresztkorrelációt használ a képek tájékozása közben a közös pontok megtalálásához. A keresztkorreláció lényege a közös képrészek azonosítása. Ehhez a program a referencia képen vesz egy rácpontot és annak meghatározott méretű szomszédságát. Ekkor azonosítja a kiválasztott pixelt, valamint vizsgálja a körülötte levő részlet pixeleit. A képrészlet minden esetben négyzet alakú, mérete 3 és 35 pixel között mozog, és csak páratlan számú lehet. Ez utóbbi biztosítja azt, hogy a középen álló pixel ellentmondás nélkül azonosítható legyen. A keresési terület kijelölését követően az Agisoft illesztéssel igyekszik egymáshoz rendelni a képeket. A képek egyezőségét a korrelációs együttható fejezi ki, ennek értéke -1 és 1 között változik. Ha a két végletet nézzük, -1-nél teljes eltérés, 1-nél tökéletes

egyezőség áll fent a vizsgált képrészletek között. Általában egy határszám – jellemzően 0,7 – felett a program elfogadja az illeszkedést, a két képrészletet hasonlónak veszi. A korrelációs együttható értéke az alábbi képlettel számítható: [10]

$$\rho = \frac{\sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (g_1(r, c) - \mu_1)(g_2(r, c) - \mu_2)}{\sqrt{\sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (g_1(r, c) - \mu_1)^2 \sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (g_2(r, c) - \mu_2)^2}}$$

A képletben g_1 a célterületi pixel szürkessége, g_2 a keresési terület pixelének szürkességi értéke. A sor. és oszlopindexek r és c betűvel jelöltek, μ_1 és μ_2 a szürkességi értékek középértékei, R és C a mintaterület sor- és oszlopszáma. Homogén területek (pl. fehér falfelület) a képillesztési folyamat során gyenge eredményeket adnak, mivel a felvételek több azonos intenzitású képkockát tartalmaznak nagy számban. Ezen maszkolással lehet segíteni. [10]

Az Agisoft a felvételek összeillesztése mellett külső és belső tájékozást is végrehajt. Így a folyamat lefutása után megkapjuk a képek készítésének helyét és a tájékozási elemeket. A külső tájékozás feladata, hogy meghatározzuk a kép- és tárgykoordináta-rendszerek egymáshoz viszonyítva mekkora fokban fordultak el. A külső tájékozás lehet relatív és abszolút.

Ebben a táblázatban a tájékozások kerültek összefoglalásra.

Tájékozás	Kapcsolat	Paraméterek	Matematikai modell	Mérendő közös pontok
Belső	$u, v \rightarrow \xi, \eta$	Képenként 6 db $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$	Affin transzformáció	Keretjelek $n \geq 4$
Relatív	$\xi_1, \eta_1, \xi_2, \eta_2 \rightarrow$ X_M, Y_M, Z_M	5 db $b_y, b_z, \varphi_2, \omega_2, \kappa_2$	Komplanár feltétel	Gruber pontok $n \geq 6$
Abszolút	$X_M, Y_M, Z_M \rightarrow$ X_G, Y_G, Z_G	7 db $X_{01}, Y_{01}, Z_{01},$ Φ, Ω, K, m	Térbeli hasonlósági transzformáció	Illesztő-pontok $n \geq 3$

Kettős képkapcsolás	$\xi_1, \eta_1, \xi_2, \eta_2$ X_G, Y_G, Z_G	12 db $X_{01}, Y_{01}, Z_{01}, \varphi_1, \omega_1, \kappa_1$ $X_{02}, Y_{02}, Z_{02}, \varphi_2, \omega_2, \kappa_2$	Kollineár egyenletek	Illesztő- pontok, képenként $n \geq 4$
------------------------	---	---	-------------------------	---

4. táblázat: Képek tájékozása [10]

A belső tájékozás célja a felvételezési pillanat rekonstrukciója, vagyis a vetítési sugarak, így a sugárnyaláb visszaállítása. Ehhez a mért pixelkoordináták szükségesek, melyek segítségével meghatározhatjuk a képkoordinátákat. A relatív tájékozással a képeken mért képkoordináták egy közös modell koordináta-rendszerbe kerülnek átszámításra, annak érdekében, hogy a későbbiekben valamilyen definiált geodéziai rendszerbe lehessen az abszolút tájékozás során transzformálni. [10]

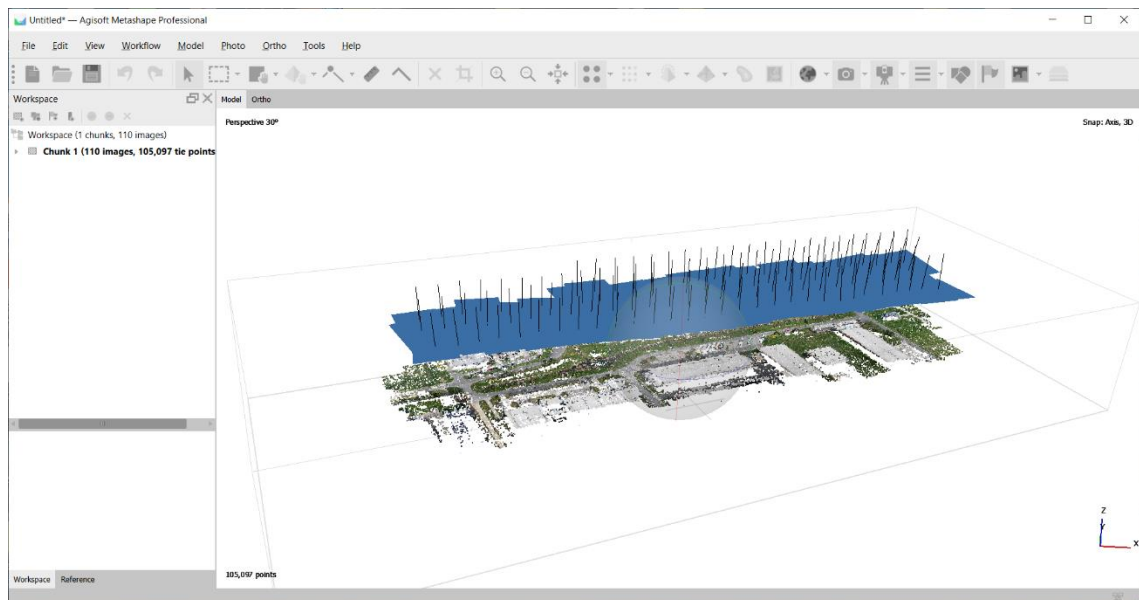
A kettős képkapcsolás végrehajtásakor a képkapcsolás legtöbb esetben sugárnyaláb kiegyenlítéssel megy végbe. A tájékozások elsődleges célja, a centrális vetítés alapegyenleteinek felírása: [10]

$$\xi = \xi_0 - c_k \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

$$\eta = \eta_0 - c_k \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

- ξ és η : a képfőpontra redukált képkoordináták,
- X_G, Y_G, Z_G : terepi koordináták,
- X_0, Y_0, Z_0 : vetítési centrum koordinátái,
- r_{ij} : irány koszinusz, ahol $r_{ij} = f(\varphi, \omega, \kappa)$,
- c_k : kameraállandó.

A tájékozás lefutása után eredményül egy ritka pontfelhőt kaptam. A pontfelhőt azok a pontok képezik, amelyek az egymással átfedésben lévő képeken a legjellemzőbbek. Távolról szemlélve az eredményt felsejlenek a vizsgált terület egyes részletei, tereptárgyai. A pontfelhő felett kis kék téglalapok a fotók, megjelenítve a felvételek készítésének helyét és helyzetét a kameratengelyekkel. A folyamat során olyan pontok is leképződhetnek, melyek a későbbi munka során nem relevánsak. Ezeket, az erőforrás kímélése valamint a számítási idő csökkentése miatt kijelölés után el lehet távolítani. A munkaterület ezzel átláthatóbbá és könnyebben kezelhetővé válik.



14. ábra: Ritka pontfelhő a kameratengelyekkel (részlet)

6.2 Digitális felületmodell előállítás

A képek tájékozását követően az abszolút tájékozáshoz importáltam az Egységes Országos Vetületbe átszámított koordinátákat és a kamera forgatási szögeit. A felvételezés során az UAV-hez rögzített kamera minden kép készítésének helyét rögzítette WGS84 vonatkoztatási rendszerben. Ezeket a földrajzi koordinátákat a képek EXIF adataiból lehet kinyerni, melyet egy átalakító program segítségével immár EOVS koordináták formájában mentettem el .txt. fájlba. A főképernyő bal oldali sávjában a Reference fülre váltva az Import Reference gombra kattintva hívtam be az adatokat.

Import CSV

Coordinate System: HD72 / EOVS (EPSG::23700)

Rotation angles: Yaw, Pitch, Roll

☐ Ignore labels

Threshold (m): 0.1

Delimiter: ☒ Tab, ☐ Semicolon, ☐ Comma, ☐ Space, ☐ Other:

☐ Combine consecutive delimiters

Columns:

Label	1	Accuracy	☒ Rotation	Accuracy
Easting	2	8	Yaw	5
Northing	3	8	Pitch	6
Altitude	4	8	Roll	7
			Enabled flag	10

Start import at row: 1

Items: All

First 20 lines preview:

	Label	Easting	Northing	Altitude	Yaw	Pitch
1	DSC00045.JPG	487843.523	251817.062	230.901	-0.01,N	-0.31,E
2	DSC00046.JPG	487823.411	251824.390	232.895	0.12,N	-0.29,E
3	DSC00047.JPG	487810.217	251840.616	233.569	0.22,N	-0.22,E
4	DSC00048.JPG	487805.685	251861.142	232.630	0.30,N	-0.08,E
5	DSC00049.JPG	487811.189	251881.906	231.698	0.29,N	0.09,E

OK Cancel

15. ábra: Transzformálás EOVS-be

További beállításokat eszközöltem a Reference Settingsben. A kamera pontosságot mindkét esetben 0.1-re állítottam, a felvételezési magassághoz 120 métert állítottam be.

The screenshot shows the 'Reference Settings' dialog box. It is organized into several sections:

- Coordinate System:** A dropdown menu is set to 'HD72 / EOVI (EPSG::23700)'. Below it are two checked checkboxes: 'Camera reference' and 'Marker reference', each followed by a dropdown menu also set to 'HD72 / EOVI (EPSG::23700)'.
- Rotation angles:** A dropdown menu is set to 'Yaw, Pitch, Roll'.
- Measurement Accuracy:** This section contains four input fields:
 - Camera accuracy (m): 0.1
 - Camera accuracy (deg): 0.1
 - Marker accuracy (m): 0.005
 - Scale bar accuracy (m): 0.001
- Image Coordinates Accuracy:** This section contains two input fields:
 - Marker accuracy (pix): 0.5
 - Tie point accuracy (pix): 1
- Miscellaneous:** This section contains one input field:
 - Capture distance (m): 120

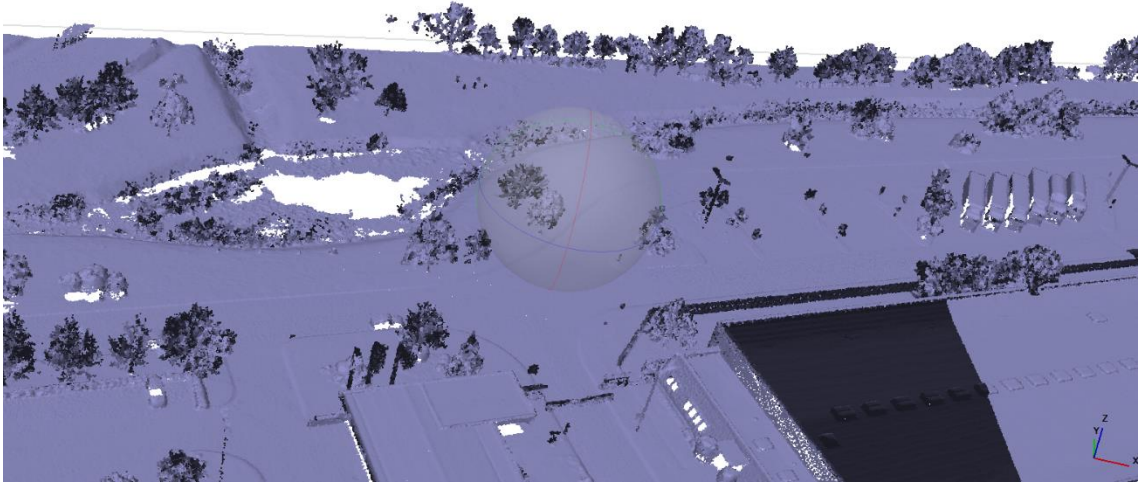
At the bottom of the dialog are two buttons: 'OK' and 'Cancel'.

16. ábra: Kamera pontosság és felvételezési magasság beállítása

A következő lépésben a LIDAR által rögzített adatokat importáltam az Agisoftba. Ez a File – Import – Import Point Cloud paranccsal hajtható végre. A program több fájlformátumot ismer, esetemben .e57 kiterjesztésben került beolvasásra a lézeres pontfelhő.

Feldolgozási céloknak megfelelően a szoftver több nézetben képes megjeleníteni a pontfelhőt. Igyekeztem ugyanazt a területet három különböző jellemzővel ábrázolni.

Ezek egyike a Solid View egyszerű térhatást keltő módon mutatja az adathalmazt.



17. ábra: Solid View

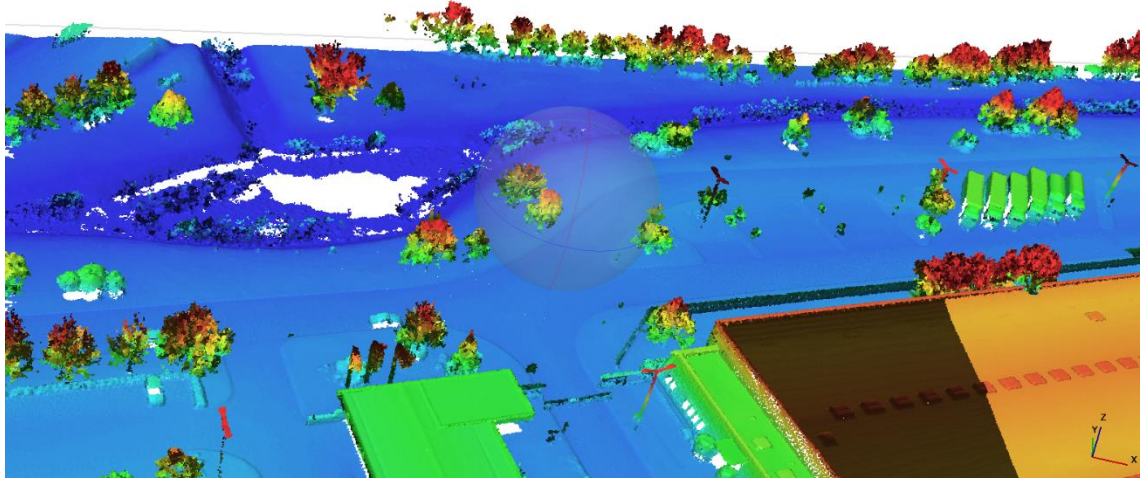
A lézeres mérések egyik fontos jellemzője a visszaverődés mértéke, vagyis az intenzitás. Ez a pontot létrehozó lézerimpulzus visszatérési erősségének mértéke, minden pontra összegyűjtve. Jól érzékelteti az eltérő felületek határát pl. aszfalt – füves terület. Értéke 0 és 255 között lehet. A sötét színű pontok a nagyobb, a világos színű pontok az alacsonyabb intenzitású értékek.

A modell bal oldalán látható fehér folt egy vízfelület, melynek visszaverő képessége a legrosszabb.



18. ábra: Intensity View

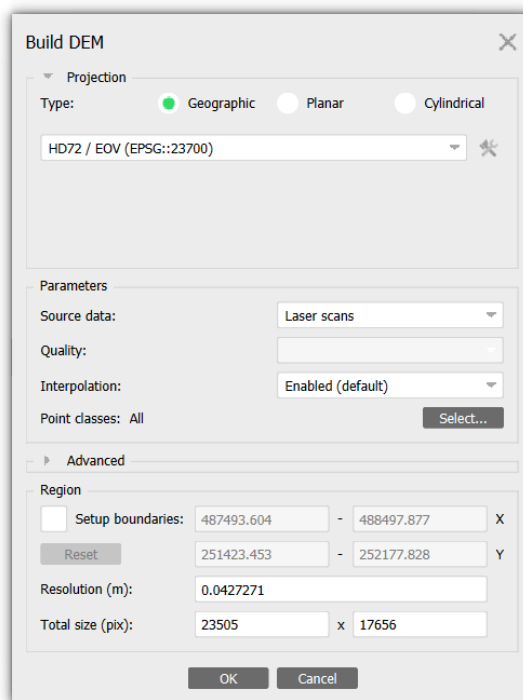
Az Elevation View a magasságkülönbségek érzékeltetésére szolgál.



19. ábra: Elevation View

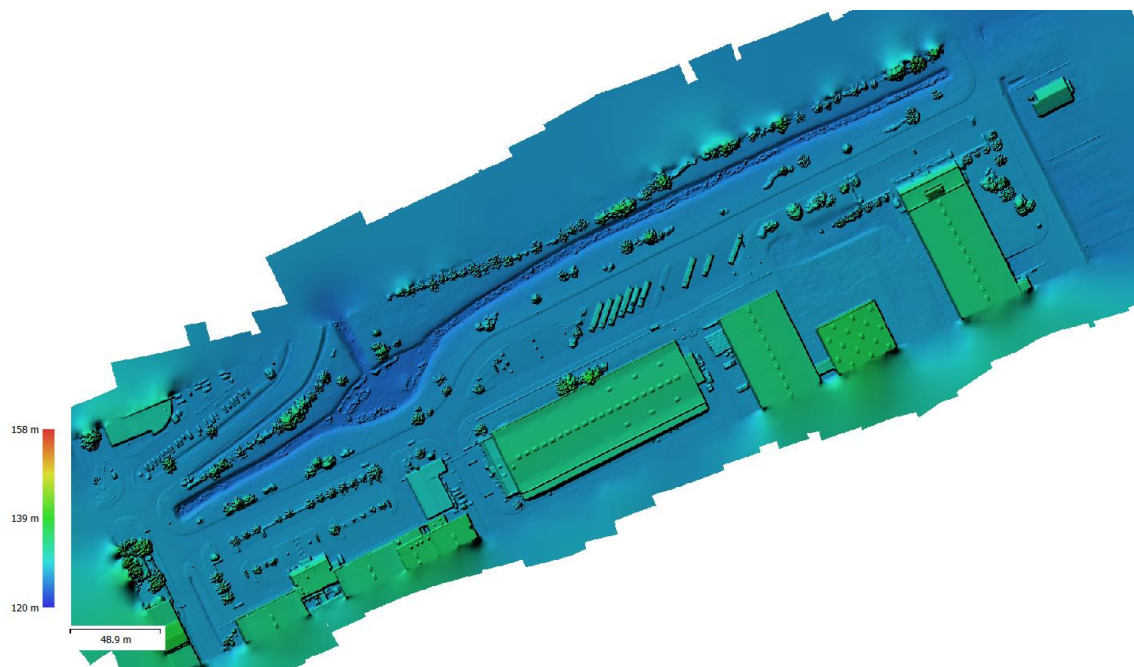
Ezekén kívül az Agisoftban lehetőség nyílik a LIDAR-os pontfelhő utólagos színezésére. A program ehhez bemeneti adatként az ortomozajokat vagy a légi felvételeket tudja hozzárendelni a felhasználó igényei szerint.

Ezt követően ezzel a betöltött pontfelhővel dolgoztam tovább, digitális felületmodellt hoztam létre. Ehhez a Workflow – Build DEM utasítást használtam. A felugró ablak beállításai között a vetülethez kiválasztottam az EOVT, a bemenő adatokhoz hozzárendeltem a lézerszkennelés adatait.



20. ábra: A felszínmodell beállítási paramétereit

Eredményül az alábbi modellt kaptam:



21. ábra: A generált felszínmodell egy részlete

A digitális felszínmodell a földfelszínt és a rajta található valamennyi természetes és mesterséges objektumot megjeleníti. Egyszerűbben fogalmazva azt tartalmazza, amit fentről látunk.

6.3 Ortofotó készítése, vektorizálás

Az ortofotó olyan átalakított kép, mely mentes a perspektív és magassági torzulásoktól. Az előállításához szükség van egymással megfelelő átfedésben készített felvételekre illetve a felvételek által lefedett terület magassági adataira. Ez utóbbi több forrásból származhat, esetemben a LIDAR mérései szolgáltatották azokat. A folyamat a Workflow – Build Orthomosaic parancs kiválasztásával indítható, a már szokásos beállítási ablak jelenik meg. Bemeneti adatnak az előző lépésben generált felszínmodellt adtam meg.

22. ábra: Az ortofotó generálásának paraméterei



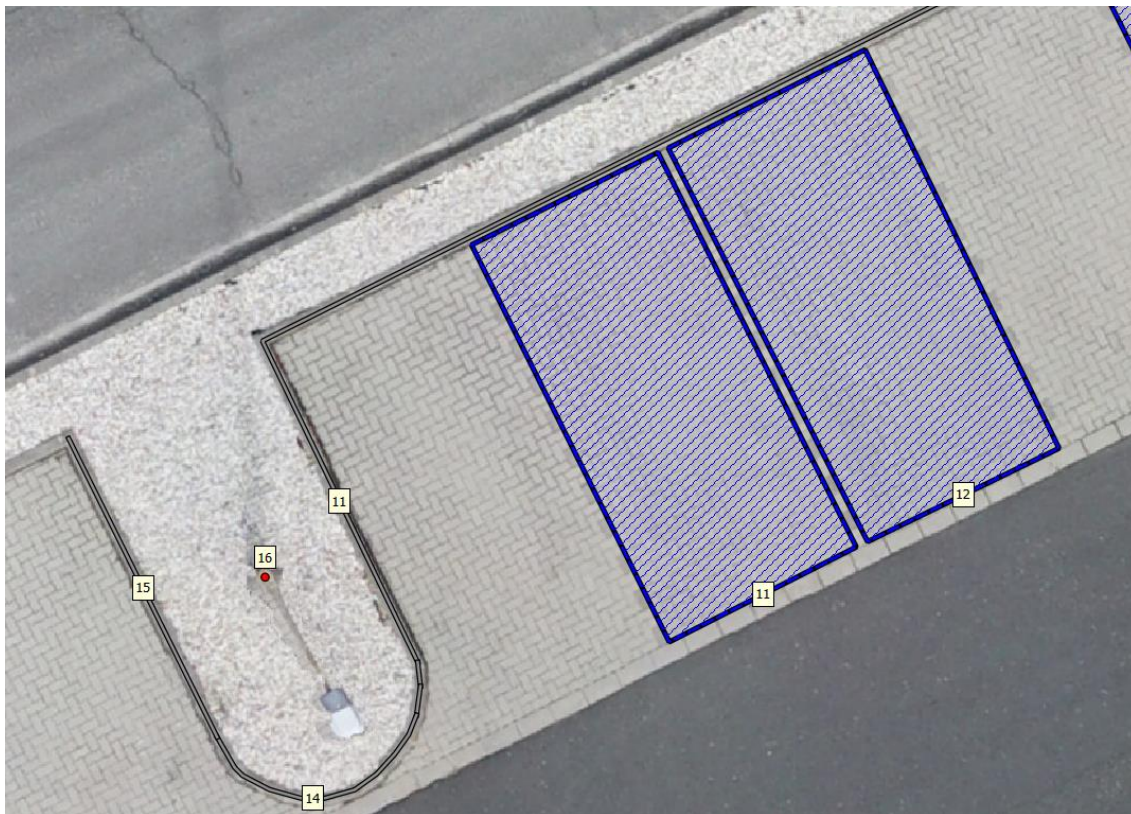
23. ábra: Az ortofotó egy részlete

A 23. ábra jobb alsó sarkában látható az EOY koordináta pár és a hozzá tartozó magasság. A kurzort mozgatva valós hely- és magassági adatokat olvashatunk le, az ortofotón ezáltal mérni lehet.

Ahhoz, hogy a modellt be lehessen illeszteni az országos rendszerbe georeferálni kell azt. Ennek érdekében illesztőpontok gyanánt, földi módszerrel, GNSS műszer segítségével négy alappont került meghatározásra és állandósításra. Emellett továbbá tizenkét ellenőrzőponton történt mérés a rendszer geodéziai megbízhatóságának garantálására. Ezeket a pontokat szintén egy .txt fájlból lehet a programba behívni. Az Agisoft Marker néven jelöli őket, Control point az alappontok, Check point az ellenőrzőpontok csoportja. Utóbbiak többnyire az üzem területén található csatornahálózat fedelei, egyéb más jól azonosítható tereptárgyak voltak.

A tervezési térképhez a parkolókra fókuszálva vektorizálást végeztem az ortofotón. A program három alakzattípust kezel: pont, vonal(lánc), sokszög. Az egyes elemek címkézhetők, leírással jellemezhetők, réteg szerint elkülöníthetők. A létrehozott vektoros állományok további felhasználás céljára exportálhatók a térinformatikai szoftverek által kezelt Shapefile-ba. A Shapefile igazából több fájl együttes gyűjtőneve. A mentés során négy különböző állomány keletkezik: egy a geometriai alakzatok

koordinátáit, egy az alakzatok tulajdonságait, egy az egyes rekordok közötti kapcsolatokat, egy pedig egyéb kiegészítő adatokat tartalmaz. Ezen adatok felhasználásával egyetlen rendszerbe integrálhatók a térbeli és leíró adatok.



24. ábra: Vektorizálás – piros: pont, szürke: vonal, kék: sokszög



25. ábra: A tervezési alaptérkép egy részlete

7. MŰSZAKI LEÍRÁS

A dolgozatom fő célkitűzése két újfajta felmérési eljárás ötvözése volt egy gyakorlati példában. A feladat egy tervezési alaptérkép megalkotása volt a korszerűsítési és tervezési feladatok későbbi elősegítéséhez, valamint a kivitelezési munkák megkönnyítéséhez. A munka során a VELUX gyár fertőszentmiklósi telephelye került felmérésre pilóta nélküli légitárművekkel, egy merevszárnyú UAV és egy kvadrokopter segítségével. A merevszárnyú eszközön egy integrált nagyfelbontású képeket készítő digitális kamera készítette a hagyományos légifelvételeket, a kopter a lézeres letapogató eszközt szállította.

A feladat végrehajtását az alábbi szakaszokra különítettem el:

1. a repülés megtervezése és végrehajtása, adatgyűjtés
2. adatfeldolgozás
3. végtermékek előállítása, felhasználása

Az adatgyűjtés egy terepi napot vett igénybe, 2024. március 16-án a délelőtti órákban. Az UAV-k mindkét művelet esetében autonóm üzemmódban hajtották végre a repülést. Ehhez szükségük volt egy kijelölt útvonalra, amelyet meg kellett terveznem. A tervezőirodától kapott lehatárolás alapján, továbbá a Google Street View valamint az e-közmű adatbázisai segítségével határoztam meg az eszközök, valamint az adatgyűjtés szempontjából legideálisabb útvonalakat. Minden légitárművel végzett művelet ellenőrizni kell a vizsgált terület feletti légtérrel, van-e bármilyen jellegű korlátozás. Ezt a terkep.legter.hu oldalon végeztem el. Az üzem lakott területen kívül fekszik, továbbá a fertőszentmiklósi repülőteret körbevevő légtérrel kívül esik, eseti légtérigénylést a művelet végrehajtásához nem igényeltem. Mivel ez a szolgáltatás egy magáncég kezdeményezése nem garantálható teljes mértékben az ott szereplő adatok hitelessége. Megbízható adatforrás az állami fenntartású HungaroControl, az itt megtalálható légtérfelhasználási terv az adott napra vonatkozóan 24 órás periódusban tartalmazza az időszakosan korlátozott légtérrel, a veszélyes légtérrel és az eseti légtérrel adatait. További segítség lehet a HungaroControl hivatalos applikációja, a mydronespace, amely az UAV-eket irányító pilóták részére a biztonságos és törvényes légtérhasználatot szavatolja.

Az adatfeldolgozás teljes egészében az orosz Agisoft Metashape nevű fotogrammetriai programban valósult meg. A tényleges feldolgozás megkezdése előtt, előfeldolgozás gyanánt a felvételeket átnéztem, hogy kiszűrjem az esetlegesen hibás, elmosódott vagy kiégett képeket. Az első lépés a képek tájékozása, mely a legidőigényesebb munkafolyamat. Ekkor a program egymással veti össze az egymással átfedésben lévő képeket, keresve az egyezőségeket. A bonyolult számítási feladatok a hardver erőforrásait is próbára teszik, a sugárnyalábkiegyenlítés eredményeképpen jön létre a ritka pontfelhő, amelynek egy részletét a 14. ábra mutatja. A kis kék téglalapok jelölik a felvételek készítésének helyét és pozícióját, a fekete vonalak a kameratengelyeket ábrázolják. Az abszolút értelemben vett tájékozásához szükség volt a felvételek pozíciójának EOY koordinátáira. Az EXIF adatokból kinyert földrajzi koordináták átalakításával kaptam meg ezeket, amit a felület modell generálása előtt importáltam a képekhez.

A következő lépésben a LIDAR által rögzített pontokat rendeltem hozzá a projekthez. A magassági adatokat hordozó pontfelhő .e57 kiterjesztésben került beolvasásra. Ennek felhasználásával felszínmodellt generáltattam a programmal, melyből egy kivágat a 21. ábrán jelenik meg. A pontfelhőből digitális felszínmodellt hoztam létre, a bemeneti adatokhoz a LIDAR felvételeket rendeltem hozzá.

Annak érdekében, hogy a modellt az országos rendszerbe lehessen illeszteni, négy alappont került meghatározásra. Ezekre illesztve került helyére a rendszer. Az modellalkotás utolsó lépése az ortomozaik generálása, amely a megfelelő átfedéssel összeszerkesztett ortofotók sokaságát jelenti. Az ortofotó előállításához szükséges magassági adatokat a LIDAR mérésből generált digitális felszínmodell adta.

Az egyik végtermék az ortofotó, a másik végtermék egy tervezési alaptérkép. A tervezési alaptérkép vektorizálással készült szintén az Agisoftban, alapját az ortofotó képezte és a parkolók területére koncentrálna valósult meg. Ábrázolásra kerültek az árkok és egyéb ehhez kapcsolódó műtárgyak, a burkolatok – minőségük, borítottságuk szerint osztályozva, a buszmegállók, a forgalomtechnikai tárgyak, a közművek – elkülönítve az elektromos közvilágítás oszlopai, hírközlés, vízellátás, szennyvízelvezetés, locsolóakna egyes elemeit. Megjelennek a parkolókat övező szegélyek – ezek esetében is elkülönülve a kiemelt és süllyesztett változatok. A

növényzet nagyobb kiterjedésű elemei – így a lombhullató fák, a tűlevelű fenyők valamint a bokrok külön-külön megjelenítésre kerültek.

8. ÖSSZEGZÉS

Dolgozatom alapvető célkitűzése két újfajta felmérési módszer szemléltetése volt egy gyakorlati példán keresztül bemutatva. A felmérés alkalmával a VELUX fertőszentmiklósi telephelyét repülték le a pilóta nélküli légi járművek LIDAR szkennelével, és hagyományos légifelvételezéssel. Az adatgyűjtés egy terepi napot vett igénybe, ennek során az eszközök autonóm repülési módban teljesítették feladatukat. A geodéziai pontosság biztosítása érdekében földi kiegészítő méréseket is eszközöltem.

A szakdolgozat első részében bemutatam a LIDAR-t, mint az aktív távérzékelési rendszerek egyik módszerét. Kitértem a technológia alapját képező elektromágneses hullám – lézer – keletkezésére, továbbá a LIDAR működési elveire. A lézer már az 1960-as évek eleje óta ismert, azonban a LIDAR széleskörű elterjedéséhez elengedhetetlen volt a hordozó eszközök helymeghatározó rendszereinek pontosságnövekedése. Ez az 1990-es évekre valósult meg, innentől ugrásszerű fejlődés vette kezdetét, népszerűsége a mai napig töretlen.

A feladat kijelölése, valamint a felmérési helyszín ismertetése után bemutatam a mérés során alkalmazott pilóta nélküli légi járműveket. Bár dolgozatomban külön részt nem szenteltem a pilóta nélküli légi járművek történetének és kialakulásának, itt szeretnék néhány gondolat erejéig erre kitérni. Mint sok más, a civil életben alkalmazott technológia, az UAV is kezdetben katonai célokat szolgált. Elsősorban a hadászati tevékenységek lendítették előre a távolról irányítható gépekkel kapcsolatos kutatásokat és fejlesztéseket (II. világháború, vietnámi háború). Kezdetben maga az eszköz képezte a fegyvert, később – békeidős kiképzési eszközként – mint célrepülőgép került hasznosításra. Végül adatgyűjtő szenzorok elhelyezésével a gépeket alkalmassá tették a békés célú, polgári felhasználásra, a levegőből történő adatszerzésre. A távirányítással vezérelt gépek megjelenése az 1960-as évek végére tehető.

Az adatgyűjtést követően méréseimet a fotogrammetriai célokra kifejlesztett Agisoft Metashape programban dolgoztam fel. Ehhez a légi felvételeket tájékoztam, majd a LIDAR pontfelhőből digitális felületmodellt alkottam. Végül a kettőt összekapcsolva előállt az egyik végtermék, az ortofotó. Ezt követően, az ortofotóval dolgoztam tovább, vektorizáltam azt, a tervezési alaptérképhez. A további hasznosíthatóság érdekében a

végeredményt exportáltam, így az a későbbiekben földrajzi információs rendszerekbe (GIS) illeszthető.

Az elvégzett munka kapcsán arra a megállapításra jutottam, hogy az alkalmazott technológiák az ilyen jellegű munkák elvégzéséhez remekül illenek. Mind a pilóta nélküli légitánc, mind a LIDAR nagymértékben csökkenthetik az adatgyűjtésre fordítandó időt. Az UAV-k irányítása megfelelő szaktudást és felkészültséget követel meg, az autonóm repülési módban is tudni kell reagálni a váratlan helyzetekre. Folyamatosan kontroll alatt kell tartani az eszközöket az esetleges beavatkozás érdekében. A pontok rögzítésével nagymennyiségű adathalmaz jön létre, ezek hagyományos geodéziai módon történő előállítása szinte elképzelhetetlen. A feldolgozás az általam alkalmazott szoftverrel teljes egészében automatizálható, amely szintén a technológia mellett szól.

Az előnyök mellett ugyanakkor meg kell említenem a hátrányokat is. Az adatgyűjtés gyorsaságával szemben a feldolgozás idő- és erőforrásigényes folyamat. A nagyméretű adathalmaz kezelése jól felszerelt, erős hardvert igényel. Az eszközök, szoftverek beszerzése jelentős anyagi ráfordítással járnak, bemeneti költségük nagy. A vektorizáláshoz szükség van földi kiegészítő mérésekre, mivel a légifelvételekből nem minden esetben azonosíthatók egyértelműen az egyes részletek, esetemben például a padkák vagy az avarral borított területek. Bár a szoftverfejlesztők nagy hangsúlyt fektetnek az egyes folyamatok minél nagyobb fokú automatizálására, nem szabad megfeledkezni az emberi tényezőről. Végző soron az adatokból előálló információt értelmezés útján az ember állítja elő.

9. SUMMARY

The main aspect of my thesis was to illustrate two new types of survey methods through a practical example. During the survey, the VELUX factory in Fertőszentmiklós was flown by unmanned aerial vehicles with a LIDAR scanner and traditional aerial photography. Data collection took one day in the field, during which the devices performed their task in autonomous flight mode. In order to ensure geodetic accuracy, I also carried out additional measurements on the ground.

In the first part of the thesis, I presented LIDAR as a method of active remote sensing systems. I covered the generation of the electromagnetic wave – laser – that forms the basis of the technology, as well as the operating principles of LIDAR. The laser has been known since the beginning of the 1960s, however, for the wide spread of LIDAR, an increase in the accuracy of the positioning systems of carrier devices was essential. This was realized in the 1990s, and from then on, rapid development began, and its popularity remains unbroken to this day.

After assigning the task and describing the survey location, I presented the unmanned aerial vehicles used during the measurement. Although I did not dedicate a separate part of my thesis to the history and development of unmanned aerial vehicles, I would like to touch on it here for a few thoughts. Like many other technologies used in civilian life, the UAV initially served military purposes. Research and development related to remotely controlled machines was primarily driven by military activities (World War II, Vietnam War). In the beginning, the device itself formed the weapon, later - as a peacetime training tool - it was used as a target aircraft. Finally, by placing data-gathering sensors, the machines were made suitable for peaceful, civilian use, for gathering data from the air. The appearance of machines controlled by remote control can be dated to the end of the 1960s.

After the data collection, I processed my measurements in the Agisoft Metashape program that developed for photogrammetry purposes. For this, I compassed the images, and then created a digital surface model from the LIDAR point cloud. In the end, one final product, the orthophoto, was created by connecting the two. After that, I continued working with the orthophoto and vectorized it for the design base map. For

further usability, I exported the final result, so it can be inserted into geographic information systems (GIS) later on.

In connection with the work carried out, I came to the conclusion that the technologies used are perfectly suited for this type of work. Both UAV and LIDAR can greatly reduce the time spent on data collection. Controlling UAVs requires appropriate expertise and preparation, and you must be able to react to unexpected situations even in autonomous flight mode. The devices must be constantly under control in order to prevent possible interference. By recording the points, a large amount of data is created, it is almost impossible to produce them using traditional geodesic methods. The processing can be fully automated with the software I use, which also speaks in favor of technology.

In addition to the advantages, I must also mention the disadvantages. Compared to the speed of data collection, processing is a time- and resource-consuming process. Managing large data sets requires well-equipped, powerful hardware. The purchase of tools and software involves a significant financial outlay, and their input costs are high. Vectorization requires additional measurements on the ground, as individual details cannot be clearly identified from aerial photographs, in my case, for example, benches or areas covered with debris. Although software developers put a lot of emphasis on automating individual processes as much as possible, the human factor must not be forgotten. Ultimately, the information generated from the data is produced by humans through interpretation.

10.IRODALOMJEGYZÉK

- [1] BALÁZSIK V. 2011: Fotogrammetria, 1. A távérzékelés fogalma, a fotogrammetria és a távérzékelés kapcsolata – Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar
- [2] VERŐNÉ WOJTASZEK M. 2011: Fotointerpretáció és távérzékelés, 3. A lézer alapú távérzékelés – Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar
- [3] <http://femto.chem.elte.hu/kinetika/Laser/Laser.htm>
- [4] BARSÍ, Á., DETREKŐI, Á., LOVAS, T., és TÓVÁRI, D. (2003) Adatgyűjtés légi lézerletpogatóssal. Geodézia és Kartográfia 55 (7), pp. 10-17.
- [5] <https://www.velux.hu/vallalatunk/gyartas>
- [6] <https://www.velux.hu/vallalatunk/karrier>
- [7] DJI MATRICE 210 V2 USER MANUAL V2.0
- [8] YELLOWSCAN MAPPER DATASHEET
- [9] TRINITY F90+ USAER MANUAL V2.3
- [10] DR. JANCsó T. 2017: Digitális fotogrammetria – Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Kar

11.ÁBRAJEGYZÉK

- 1. ábra: Az elektromágneses spektrum, saját szereksztés, VERŐNÉ WOJTASZEK M. 2011: Fotointerpretáció és távérzékelés, 3. A lézer alapú távérzékelés – Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar
- 2. ábra: Az energiaszint változásai, VERŐNÉ WOJTASZEK M. 2011: Fotointerpretáció és távérzékelés, 3. A lézer alapú távérzékelés – Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar

3. ábra: Stimulált emisszió, VERŐNÉ WOJTASZEK M. 2011: Fotointerpretáció és távérzékelés, 3. A lézer alapú távérzékelés – Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar

4. ábra: Oszcilláló tükrös szkennerek működési elve, a mért pontok elhelyezési sémája, VERŐNÉ WOJTASZEK M. 2011: Fotointerpretáció és távérzékelés, 3. A lézer alapú távérzékelés – Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar

5. ábra: Forgó-poligon szkennerek működési elve, a mért pontok elhelyezési sémája, VERŐNÉ WOJTASZEK M. 2011: Fotointerpretáció és távérzékelés, 3. A lézer alapú távérzékelés – Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar

6. ábra: Palmer-szkennerek működési elve, a mért pontok elhelyezési sémája, VERŐNÉ WOJTASZEK M. 2011: Fotointerpretáció és távérzékelés, 3. A lézer alapú távérzékelés – Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar

7. ábra: Az optikai szálak pásztázás működési elve, a mért pontok elhelyezési sémája, VERŐNÉ WOJTASZEK M. 2011: Fotointerpretáció és távérzékelés, 3. A lézer alapú távérzékelés – Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar

8. ábra: DJI Matrice 210 V2, DJI MATRICE 210 V2 USER MANUAL V2.0

9. ábra: YellowScan Mapper, YELLOWSCAN MAPPER DATASHEET

10. ábra: Sony RX1 RII kamera, a Trinity F90+ rakományrekeszébe integrálva

11. ábra: Trinity F90+, TRINITY F90+ USAER MANUAL V2.3

12. ábra: Az Agisoft kezdőképernyője a navigációs gömbbel

13. ábra: A tájékozási paraméterek meghatározása

14. ábra: Ritka pontfelhő a kameratengelyekkel (részlet)

15. ábra: Transzformálás EOVB-be

16. ábra: Kamera pontosság és felvételezési magasság beállítása

17. ábra: Solid View

18. ábra: Intensity View

19. ábra: Elevation View

20. ábra: A felszínmodell beállítási paraméterei

21. ábra: A generált felszínmodell egy részlete

22. ábra: Az ortofotó generálásának paraméterei

23. ábra: Az ortofotó egy részlete

24. ábra: Vektorizálás – piros: pont, szürke: vonal, kék: sokszög

25. ábra: A tervezési alaptérkép egy részlete

12.TÁBLÁZATOK

1. táblázat: DJI Matrice 210 V2 főbb paraméterei, DJI MATRICE 210 V2 USER MANUAL V2.0

2. táblázat: YellowScan Mapper főbb paraméterei, YELLOWSCAN MAPPER DATASHEET

3. táblázat: Trinity F90+ főbb paraméterei, TRINITY F90+ USER MANUAL V2.3

4. táblázat: Képek tájékozása, DR. JANCsó T. 2017: Digitális fotogrammetria – Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Kar

13.MELLÉKLETEK

1. Pontfelhő

2. Ortofotó

3. Tervezési alaptérkép