

ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT

Térfogat számítási feladat elvégzése UAV felhasználásával

OE-AMK

2024

Hallgató neve: Rádi László

Hallgató törzskönyvi száma: T000161/FI12904/A



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Rádi László

Szakedolgozat száma: SZD2402050948281020

Törzskönyvi száma: T000161/FI12904/A

Neptun kódja:

Szak: pilóta nélküli légijármű üzemeltető szakmérnök

Specializáció:

A dolgozat címe: Térfogatszámítási feladat elvégzése UAV felhasználásával

A dolgozat címe angolul: Completing a Volume Calculation Task Using a UAV

A feladat részletezése:

1. Repülési terv készítése
2. Illesztőpontok telepítése és bemérése
3. Hulladékdepónia, illegálisan lerakott háztartási, építési hulladék stb. térfogatának meghatározása UAV felmérés alapján, fotogrammetriai módszerrel.
4. Műszaki leírás készítés, eredmények összegzése

Intézményi konzulens neve: László Gergely Tibor

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

Beadási határidő: 2024. 05. 15.

A szakedolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2024. 04. 08.



Intézetigazgató

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

belső konzulens

külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai/Mérnöki/
Természettudományi és Szoftvertchnológiai Intézet

HALLGATÓI NYILATKOZAT

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

Kelt: Kiskunfélegyháza, május 12.


.....
hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

1.	BEVEZETÉS	3
2.	UAV technológia	4
2.1	UAV fogalma	4
2.2	UAV előnyei	5
3.	HULLADÉKDEPÓNIA felmérése UAV-val.....	6
3.1	Regionális hulladéklerakó	6
3.2	Végtermékek specifikációja és pontossági követelmények meghatározása	7
3.3	Repülés helyszín meghatározása, vizsgálata, információk felkutatása	8
3.3.1	Repülési helyszín	8
3.3.2	Légtér vizsgálata	8
3.4	Képalkotó érzékelő kiválasztása, fontos paraméterei	9
3.4.1	Egyszerű repüléstervezés és intelligens kivitelezés.....	10
3.4.2	Jó minőségű és pontos képalkotó rendszer (lásd: 8.ábra).....	11
3.4.3	A precíz légi felvételek és 3D-s térképek érdekében (RTK)	12
3.4.4	Továbbfejlesztett többfunkciós vezérlőegység	13
3.4.5	Intelligens akkumulátor	14
4.	Repülési terv készítése	16
4.1.1	Repülési tervhez használt program	16
4.1.2	Repülési formáció kiválasztása.....	17
4.1.3	Repülési terv egyéb paraméterei	20
5.	Illesztőpontok.....	23
5.1	Illesztőpontok kiválasztása és elhelyezése	23
5.2	Illesztőpontok bemérése	24

6.	Repülés szimulációja, terepi végrehajtása	26
6.1	Ellenőrző lista (Checklist).....	26
6.2	UAS áttekintése és tesztüzem	27
6.3	Repülés végrehajtása.....	28
6.4	Minőség-ellenőrzés, előzetes adatfeldolgozás, képek archiválása.....	30
7.	Légifényképek feldolgozása	31
7.1	Agisoft Metashape	31
7.2	Rendszerkörnyezet testre szabása	32
7.3	Képek beolvasása	32
7.4	Koordináta transzformációk.....	33
7.5	Fotók összeillesztése, ritka pontfelhő előállítása (Align photos).....	36
7.6	Külső tájékozás, abszolút tájékozás (légiháromszögelés-tömbkiegyenlítés)...	37
7.7	Sűrű pontfelhő (dense point cloud).....	39
7.8	Felület modell előállítása (DEM).....	40
7.9	Ortofotó térkép (orthomosaic).....	42
8.	Térfogatszámítás.....	45
8.1	Global Mapper szoftver.....	45
8.2	Alapfelület létrehozása.....	45
9.	Konklúzió.....	49
10.	ÖSSZEFOGLALÓ	53
11.	SUMMARY	55
12.	IRODALOMJEGYZÉK	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
13.	ÁBRAJEGYZÉK.....	59
14.	TÁBLÁZATJEGYZÉK.....	61

1. BEVEZETÉS

A térképek csak annyira pontosak, mint amennyire az elkészítéséhez felhasznált adatok. Ma a modern földmérési gyakorlatok drónokat, LiDAR-t és más csúcstechnológiákat használnak a földméréshez és az eredmények pontosabbak, mint valaha.

Ahogy egyre nyilvánvalóbbá vált a pontosabb térképek iránti igény, szükségessé vált a valóság pontosabb ábrázolására használt technológia. A még fejlettebb eszközök, például a drónok és a LiDAR lehetővé teszik, hogy sokkal több területet fedjünk le rövid idő alatt, az eredmények pedig egyre pontosabbak.

Az új technológia lehetővé tette a földmérők számára, hogy kihasználják a rendelkezésükre álló ipari eszközöket, mert a modern technológiai áttörések gyorsabb és pontosabb eredményeket hoznak. Persze az előnyök nem korlátozódnak csak a felmérésre használt eszközökre, hanem a eredményül szolgáló pontosabb információk birtokában azok felhasználásával nagyobb és úttörő projektek valósíthatók meg (3 dimenziós város-térképek).

Az építőipar folyamatosan fejlődik a technológiai fejlesztésekkel, amelyek forradalmasítják a hagyományos folyamatokat, pontosabbá és költséghatékonyabbá téve azokat. Az egyik figyelemre méltó újítás ezen a területen a drónok használata. Jelenléte tetten érhető a mezőgazdaságban, az építőipari és ingatlanprojektek, mentési és katasztrófavédelmi, vagy akár a média és szórakoztató ipar területén is. A drónok technológiai térnyerése nem csupán egy egyszerű trend, hanem egy teljes iparágat átalakító esemény. [1]

A modern csúcstechnológiás drónok, szakmai nevén UAV-k, lehetővé teszik a háromdimenziós, felületi adatok digitálisan történő hatékony rögzítését. Drónjainkkal elérhetetlen terepen készült fotók segítségével a lehető legrövidebb idő alatt nagy pontosságú 3D térfogatmodelleket (3D hálókát), méréseket, terepmodelleket és ortomozaikos fotókat (ortofotókat) tudunk készíteni anélkül, hogy a folyamatban lévő műveleteket meg kellene szakítani. A drónokkal történő térfogatszámítás és mennyiségi felmérés már nem a jövő képzelete.

2. UAV TECHNOLÓGIA

A földmérő társadalom tagjai szeretik a kihívásokat, sokszor extrém időjárási körülmények között és extrém helyszíneken kell megoldást találni, hogy a mérési feladatot végrehajtsák (lásd: 1.ábra).



1. ábra Extreme Surveyors [2] [3]

Azonban fontos szempont, hogy a feladat végrehajtásához a megfelelő eszközt válasszuk meg, szem előtt tartva, hogy az adott technológia teljesíti-e azokat a követelményeket melyeket meghatároztunk. Gazdaságilag megéri-e, milyen beruházással jár, a végrehajtásához van-e alkalmas személyzet, mennyire gyorsan sajátítható el a használata, mennyi időt spórolhatunk vele és az elkészült termék a vizsgálat során teljesíti-e a minőségi követelményeket? A szakdolgozatban részletezett UAV felmérés teljes folyamatára vetítve arra keresek választ, hogy az új dróntechnológiával kapcsolatos, sokak által hirdetett előnyök számomra mennyire meggyőzőek és mennyire valósulnak meg

2.1 UAV fogalma

A drónok olyan pilóta nélküli légitjárművek (UAV), kisméretű repülőgépek, amelyek távirányítással vezérelhetők vagy önálló repülésre programozhatók. Gyakran találkozunk az UAS (pilóta nélküli légi jármű-rendszer) fogalmával is, amely a pilóta nélküli légi járműből (drónból), a földi irányítóállomásból (pl. GCS, RC, RPS), a légitjármű irányításához szükséges rádiókapcsolatból és magából az irányítást végző személyzetből. [4] A drónok számos érzékelővel felszerelhetők, beleértve a kamerákat, a LiDAR-t, a

GPS-t és egyéb szenzorokat. Ez a beállítás lehetővé teszi számukra, hogy a levegőből gyűjtsenek adatokat, ami számos előnnyel jár.

2.2 UAV előnyei

Meg kell vizsgálnunk, hogy a drón technológiával elvégzett felvételezés egy eddig hagyományos földmérési eszközökkel, például mérőállomással vagy GNSS-vevő használatával végzett mérésekkel összehasonlítva az eredmények tekintetében legalább annyira megbízhatóak-e és a végtermék előállítása mennyire könnyen sajátítható el.

Ahhoz, hogy választ kapjunk, meg kell ismernünk milyen előnyökre számíthatunk a dróntechnológiával egy konkrét geodéziai feladat esetében, melynek végterméke, outputja egy regionális hulladéklerakó térfogatának meghatározása.

Költséghatékony: A drónokkal végzett térfogatmérés költséghatékony megoldás a hagyományos felmérési módszerekhez képest. A drónok használata szükségtelenné teszi a földi berendezéseket és a munkaerőköltségeket, amelyekre esetenként több napon keresztül is szükség lehet, így csökken a projekt összköltsége.

Időmegtakarítás: A drónokkal végzett térfogatmérés gyorsabb folyamat mint a hagyományos földmérési módszerek, mert nagy területet tudnak gyorsan és hatékonyan lefedni, csökkentve a felmérés elvégzéséhez szükséges időt. Gyakran tapasztaljuk, hogy percek alatt felmérhetünk egy területet, ami hagyományos módszerekkel napokig tart.

Nagy pontosság: A nagy felbontású kamerák és a LiDAR technológiával felszerelt drónok rendkívül pontos és részletes adatokat képesek rögzíteni, még vegetatív takarással is. Míg a kamerák a fotogrammetria módszerével, a LiDAR szenzorok pedig lézersugarak segítségével 3D-s térképet készítenek a terepről, amivel pontosan kiszámítható a térfogat.

Fokozott biztonság: A drónokkal végzett térfogatmérés javítja a munkavégzés biztonságát. A földmérők biztonságos távolságból üzemeltethetik a drónokat, valamint jelentősen lecsökken a helyszínen töltött idő - ez a kombináció a sérülések kockázatának óriási csökkenéséhez vezet.

Sokoldalúság: A drónok különféle terepek felmérésére használhatók, beleértve a nehezen elérhető területeket is, mint például a meredek lejtők és sziklák. Ez a sokoldalúság lehetővé teszi a pontosabb térfogatszámításokat és a terep jobb megértését. [5]

3. HULLADÉKDEPÓNIA FELMÉRÉSE UAV-VAL

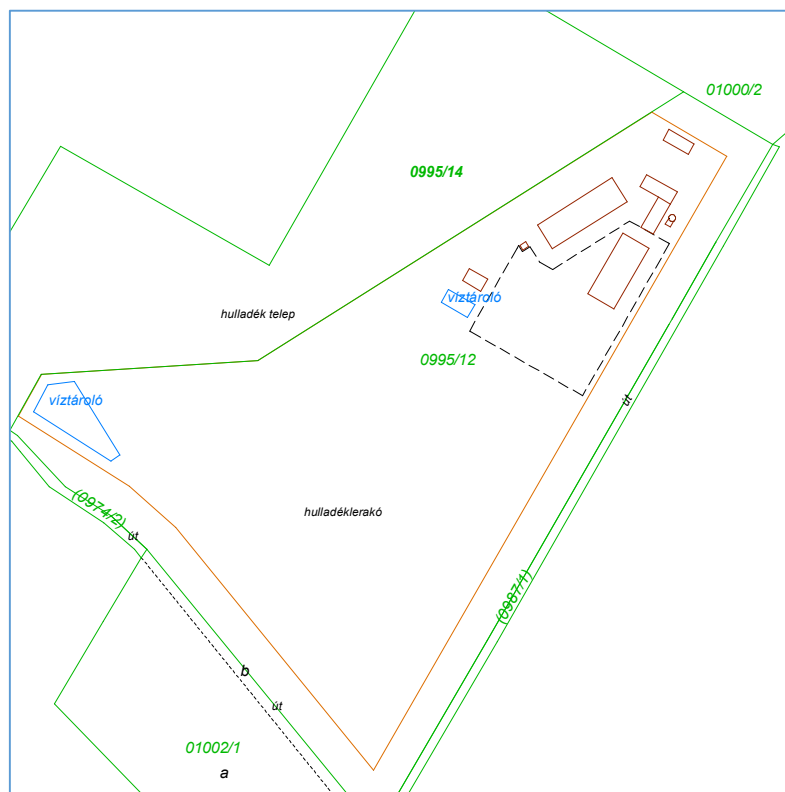
3.1 Regionális hulladéklerakó

A KUNSÁG-HALAS Hulladékgazdálkodási Nonprofit Kft. 2014. július 1-én kezdte meg működését. A Homokhátsági Regionális Települési Hulladékgazdálkodási Projekt keretén belül 17 település számára biztosítja a lakossági, közületi és közszolgáltatási hulladék ártalmatlanítását, hasznosítását és előkezelését. [5] A hulladékkezelő udvar összterülete 17.5 hektár, melyből a szilárdhulladék lerakó területe 5.4 hektáros területen helyezkedik el.

A Kunság-Halas Nonprofit Kft. megbízásából Kiskunhalas külterületén 0995/12 helyrajzi szám alatt felvett földrészleten kialakított regionális hulladéklerakó telephelyén (lásd: 2.ábra) a szilárdhulladék geodéziai felmérését a telep megnyitása óta évente el kell végezni. A felmérés célja, hogy a hulladékkezelő részére a felmérésből keletkező pontok ábrázolásával olyan szintvonalas térképet készítsünk, melyet papíralapon a mérést dokumentáló jegyzőkönyvvel együtt átadhatunk. A jegyzőkönyvnek tartalmaznia kell a digitális térhálómódból elvégzett térfogatszámítás eredményeit, melyet köbméterben kell számítani. A helyszín számomra tehát ismert, 2015-től ugyanis én végzem itt a térfogatszámításhoz szükséges geodéziai felméréseket.

A felméréseket közel azonos időszakban, leggyakrabban minden év novemberében, decemberében végeztem. A felméréshez kezdetek óta RTK GNSS vevőt használtam. Mivel a jelenlegi felmérési időpont nem esik a hulladékkezelő szerv által kiírt időszakra, ezért a 2023 decemberében végzett mérés alapján számított térfogatot fogom felhasználni az UAS segítségével elvégzett felvételezésből származtatott térfogat összehasonlítására, a térfogatváltozás elemzésére.

A térfogatszámításnál figyelembe kell venni azt az alapfelületet, melyet a Kunság-Halas Nonprofit Kft. a hulladéklerakó megnyitását követően egy geodéziai felmérésből előállított vektoros térkép (dxf) formában rendelkezésemre bocsátott.



2. ábra: Helyszínrajz (M:1:4000)[saját forrás]

3.2 Végtermékek specifikációja és pontossági követelmények meghatározása

Azt, hogy a feladatunk elvégzése során milyen végtermék előállítására van szükségünk az mindig a megrendelő határozza meg. A Kunság-Halas Nonprofit Kft. az alábbiak szerint jelölte meg, hogy milyen formátumban és milyen minőségben kéri a leadott dokumentumokat:

- A felmért hulladékdepó felszínéről készült szintvonalas térkép papíralapon és digitálisan, a felmért pontok és a referencia felület pontjainak magassági adatainak feltüntetésével.
- Felmérési jegyzőkönyv a térfogatszámítási eredmények feltüntetésével köbméterben (m^3).

3.3 Repülés helyszín meghatározása, vizsgálata, információk felkutatása

3.3.1 Repülési helyszín

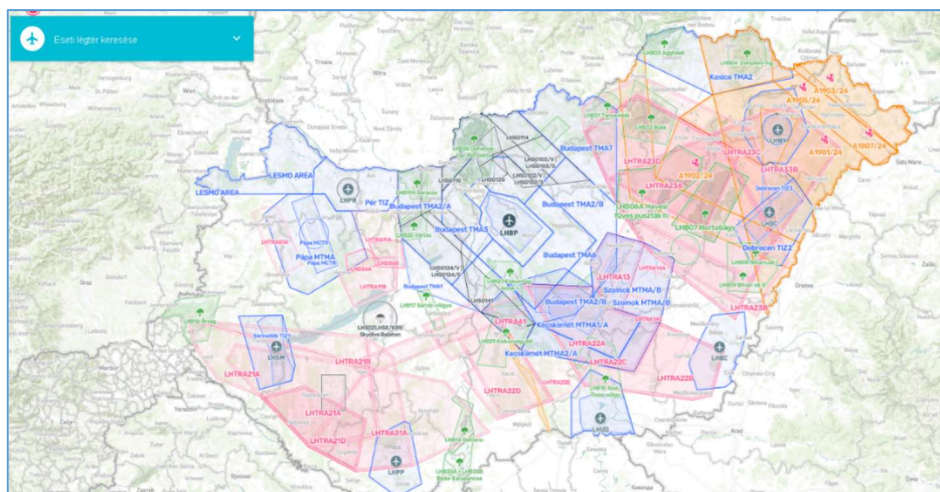
A mérendő terület kiválasztásához a „google maps” térkép alá betöltött műholdfelvételt használtam (a légtér.hu által használt műholdfelvétel elég régi). (lásd:4.ábra)



3. ábra Felmérendő depónia kijelölt poligonnal[saját forrás]

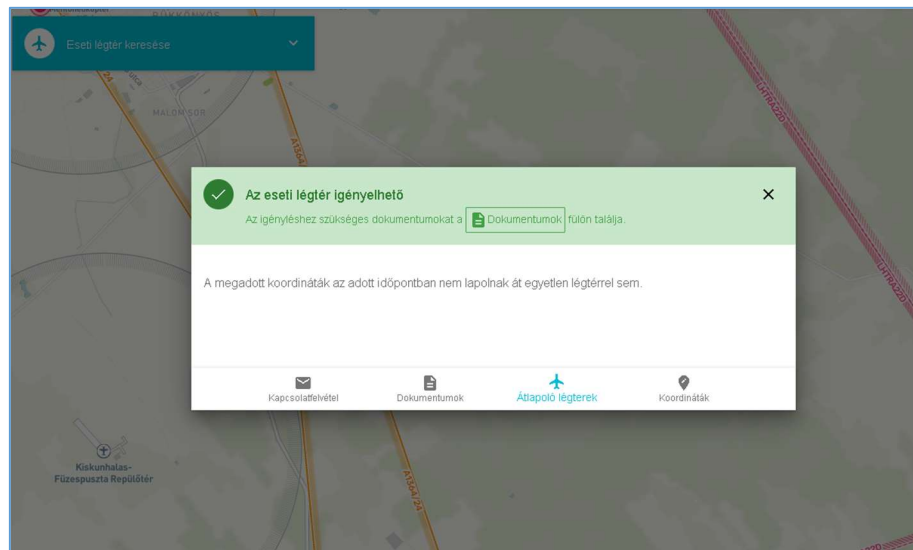
3.3.2 Légtér vizsgálata

A repülési helyszín kiválasztását követően utána kellett járnom, hogy az adott helyszínen milyen korlátozásokat kell figyelembe venni. Ehhez a legter.hu weboldal által nyújtott légtérkeresőt használtam (lásd:4.ábra), melynek célja, hogy a hazai légtér szerkezete és felosztása érthető és áttekinthető legyen mindenki számára [7]. A térkép segítségével az UAS műveletek is könnyebben tervezhetők.



4. ábra Légtérkereső térkép [7]

A kijelölt területen 60 méteres magasságban történő repülési korlátozás nincs.



5. ábra Eseti légtérhasználatra vonatkozó előírások [7]

A megadott koordináták az adott időpontban nem lapolnak át egyetlen légtérrel sem. (lásd: 5. ábra)

3.4 Képalkotó érzékelő kiválasztása, fontos paraméterei

A felméréshez használt eszköz a Phantom 4 RTK drón, mely repülésirányítót, kommunikációs rendszert, helymeghatározó rendszert, meghajtórendszert és intelligens akkumulátort tartalmaz. (lásd: 6.ábra)



6. ábra DJI Phantom 4 RTK drón és távirányító [8]

A Phantom 4-hez képest nagyobb szenzorral és pixelszámmal rendelkezik (1 inch/20 MP), így gyenge fénynél is jobb dinamika tartománnyal rendelkező képek készülhetnek valamint felmérésnél nagyobb magasságból történő felvételezés esetén is azonos felbontás érhető el az ortofotón, így gyorsabban mérhető fel egy adott nagyságú terület. A Phantom 4 RTK az első a DJI drón sorozatában amely mechanikus zárat használ, nagy fényerejű objektívvel kombinálva a még jobb eredmény elérése érdekében.

A Flight Autonomy-nak köszönhetően a drón 3D-ben feltérképezi a környezetét és folyamatosan döntéseket hoz az eszköz biztonságos üzemeltetése érdekében. Az új infra-érzékelőknek köszönhetően már 7 méteres távolságig, vízszintesen 70 és függőlegesen 20 fokig érzékeli a tárgyakat. [8]



7. ábra GSR beépített repülési terv készítő szoftver [8]

3.4.1 Egyszerű repüléstervezés és intelligens kivitelezés

- GS RTK applikáció, melyet kifejezetten a drónhoz terveztek (lásd: 7.ábra)
- Használata egyszerű, gyorsan megtanulható
- Kétféle tervezési mód: fotogrammetriai és a kijelölt útvonalon történő repülés
- Könnyen beállítható az átfedési arány, a magasság, a felvételi paraméterek és a sebesség
- KML/KMZ fájlok könnyen beilleszthetők az applikációba a felmérés hatékonyságának optimalizálásához

- DJI Mobile SDK nagy segítség a külső alkalmazásokhoz és a személyre szabott automatizált funkciók fejlesztésének lehetőségeihez [8]



8. ábra 1" CMOS 20 Megapixeles RGB kamera [8]

3.4.2 Jó minőségű és pontos képalkotó rendszer (lásd: 8.ábra)

- A CMOS-érzékelő szabványos 1 hüvelykes méretű.
- Az éles, tiszta elmosódásmentes fényképek készítés érdekében mechanikus zár
- A nagyobb pontosság érdekében az objektívek szigorú kalibrálási eljárásokon esnek át
- 100 méter repülési magasságon 2,74 cm / pixel pontosság
- A paraméterek menthetők a kép metaadatai közé a szoftver utófeldolgozásának megkönnyítése érdekében
- Részletes ISO-beállítási lehetőségek, videó: 100-3200 (automatikus), 100-6400 (kézi), Fotó: 100-3200 (automatikus), 100-12800 (kézi)
- Maximum képfelbontás: 4864×3648(4:3) / 5472×3648(3:2)

- Maximum videófelbontás: 4K 3840×2160 (30fps, H.264)



9. ábra Phantom DJI 4 beépített RTK modul [8]

3.4.3 A precíz légi felvételek és 3D-s térképek érdekében (RTK)

- Rendelkezik RTK modullal, közvetlenül a drónba integrálva (lásd: 9.ábra)
- A valós idejű pozicionálási adatok a képek metaadataiba kerülnek (1 cm + 1ppm vízszintesen és 1,5 cm + 1ppm függőlegesen)
- A GNSS modul fenntartja a repülési stabilitást gyenge jelerősség mellett (pl. sűrűn lakott városokban)
- Az RTK + GNSS együttese nagyobb repülésbiztonságot és pontosabb adatokat biztosít a komplex felmérési, térképezési és ellenőrzési munkafolyamatokhoz
- TimeSync rendszer – a repülésvezérlők, a kamerák és az RTK-modulok folyamatos szinkronizálása a nagyobb pontosság érdekében
- D-RTK 2 mobilállomás támogatás, mely használatával a valós idejű jelkorrekcióval pontosabbá teszi a méréseket



10. ábra Phantom 4 vezérlőegység [8]

3.4.4 Továbbfejlesztett többfunkciós vezérlőegység

- Továbbfejlesztett Phantom 4 sorozatú vezérlőegység 5,5 hüvelykes ultrafényes HD kijelzővel (lásd: 10.ábra)
- MicroSD kártya támogatása az utófeldolgozásra vonatkozó felmérési adatok tárolásához
- Hordozható 4G Dongle támogatása, így rögtön szinkronizálhatók az RTK pozícionálási adatai az interneten segítségével
- GS RTK alkalmazással egyszerű és intelligens vezérlés többféle tervezési móddal
- DJI OcuSync videójel továbbítása legfeljebb 7 km távolságban érhető el (a maximális távolság régióként változik)
- A vezérlő több drón repülési tervét képes vezérelni egyszerre (legfeljebb 5 drón)

3.4.5 Intelligens akkumulátor

- Az eszköz 15.2 V-os Phantom 4 Multispectral 5870mAh intelligens akkumulátorral felszerelt (lásd: 11.ábra)



11. ábra DJI Ph4 Pro intelligens akkumulátor (5870 mAh) [8]

- A LED kijelzők mutatják az érvényben lévő töltöttségi szintet
- Automatikus lemerítés funkcióval rendelkezik. A meghibásodás megakadályozása érdekében az akkumulátor automatikusan a maximális töltés 65%-a alá meríti le magát, ha több mint tíz napon át nincs használatban.
- Az akkumulátor töltése során kiegyensúlyozza minden egyes akkumulátorcella feszültségét a töltés alatt.
- Túltöltés elleni védelem: töltés leállítása az akkumulátor teljesen feltöltését követően
- Az akkumulátor csak bizonyos hőmérsékleten, 5°C (41°F) és 40°C (104°F) közötti töltődik.
- Az akkumulátor töltése leáll akkor ha nagy áramerősséget észlel (több mint 8A).
- Túlzott kisülés elleni védelem: A túlzott kisülés eredményezte kár megakadályozására automatikusan leáll a kisütés, ha a feszültsége eléri a 12V-ot.

- Rövidzárlat elleni védelem: Rövidzárlat észlelésekor automatikusan lecsatlakoztatja az áramellátást
- Akkumulátorcella károsodása elleni védelem: Sérült akkumulátorcella esetén a DJI GS RTK alkalmazásban figyelmeztető üzenetet jelenik meg.
- Alvó mód: Az akkumulátor alvó üzemmódba kerül 20 perc inaktivitás után az energiatakarékosság érdekében.
- Kommunikáció: A rendszer automatikusan továbbít információt az akkumulátor feszültségéről, kapacitásáról, áramerősségéről a drón távirányítójára. [8]

A rövid használat alatt az UAV pozitív benyomást tett rám a fentebb leírt paraméterek nagyban segítettek abban, hogy a felvételezést zavartalanul elvégezzem, a képeket a feldolgozáshoz előkészítsem. Nem vagyok gyakorlott felhasználó de talán érdemes megemlíteni, hogy a drón szállításakor a kamerát egy műanyag burkolat védi a sérülések elkerülésére. Ennek a kameravédőnek az eltávolítása-visszahelyezése egy kissé nehézkes volt, tartottam attól, hogy sérülést okozok az érzékeny gimbal rendszerben vagy a kamerában. A vezérlőhöz beépített kijelző tartozik melynek mérete talán lehetne nagyobb, tekintve, hogy a repülési tervet is ezen kellett előkészíteni. A vezérlő egységen van egy külön gomb arra, hogy repülés közben bármikor felvételeket készítsünk. Ez nagyon hasznos lehet akkor ha nem a repülési terv szerint végezzük a felvételezést, mert nem kell a kijelzőn keresnünk a rögzítés funkciót, megszakítás nélkül tudjuk a drónt „szemmel tartani”. A repülés végrehajtása közben azonban sikerült megnyomnom ezt a gombot -melyet a szoftver ilyenkor nem is engedni funkciójában használni- és közben sípoló hangot adott ki, ami elvonta a figyelmem arról, hogy vizuális kapcsolatot tartsak a drónnal.

Ezek a kisebb zavaró dolgok és hiányosságok ellenére a DJI Phantom 4 RTK meggyőzött arról, hogy a feladat végrehajtására alkalmas drónt választottam.

4. REPÜLÉSI TERV KÉSZÍTÉSE

4.1.1 Repülési tervhez használt program

A felvételezéshez többféle program közül volt lehetőség választani. A teljesség igénye nélkül az alábbi táblázatban rögzítettem néhányat, melyek közül többel is megismerkedtem az oktatás folyamán. Ezen programok mindegyike alkalmas a DJI Phantom 4 RTK drón által végzendő repülési terv készítésére. A táblázatban piros színnel jelöltem azt a tervezéshez használt szoftvert, melyet a feladat végrehajtásához használtam. A sárga színnel jelölt programok már korábban használtam repülési terv készítéséhez, asztali számítógépről történő használat során könnyen elsajátíthatók, a Pix4D Capture pedig ingyenesen letölthető és androidos alkalmazással is könnyen használható. (lásd: 1.táblázat)

Program	Operációs rendszer	Előny	Hátrány
DJI GS PRO	iOS (iPad) app	DJI támogatás	Csak iOS, DJI mini támogatás nincs
DJI Pilot	iOS, Android app	DJI támogatás	DJI mini sorozat és a Mavic Air2 nem támogatott
DJI FlightPlanner	Windows, iOS asztali program	Könnyű kezelés, 30 napig ingyenes, DJI mini támogatott.	Kell hozzá android app is (Litchi)
UgCS PRO	Windows, iOS, linux asztali program	Széles körű támogatás, oktatás ingyen	Kell hozzá android app is, DJI mini támogatás nincs
Pix4DCapture	iOS, Android	Könnyen használható	DJI mini támogatás nincs, feldolgozás fizetős

1. táblázat Repülési terv készítéséhez használt szoftverek (részlet) [9]

A repülési tervet a zöld színnel kiemelt (lásd: 1. táblázat), a drón távirányítójába integrált DJI GS PRO (DJI Ground Station Pro) program segítségével készítettem el. A szoftver automatizált repülési projektek végrehajtására, akár több drón repülési tervének vezénylésére is alkalmas.

Az előkészítést, a paraméterek beállítását irodai környezetben a tervezett repülés előtt többször is elvégeztem.

Első lépésben kijelöltem, hogy mekkora területről és milyen poligon mentén szeretnénk elvégezni a felmérést. A felvételezéshez a rendelkezésre álló adatok alapján (korábbi felmérési eredmények) megállapítottam, hogy az általam felmérésre kerülő szilárdhulladék lerakó területe 5.4 hektár. A felmérés során azonban szükségünk lesz arra, hogy ennél nagyobb területet jelöljünk ki, hogy a felmért területhez csatlakozó objektumok és közvetlen környezet is leképezésre kerüljenek. Ezt a tervezést a Google Maps műhold képeinek felhasználásával végeztem el. Amennyiben bonyolultabb több töréspontból álló vagy hosszan elnyúló poligont nem a Phantom 4 vezérlő egységéhez integrált kijelzőn akarom végrehajtani, akkor a szoftverben lehetőség van KML fájl betöltésére is. Az általam térképszerkesztésre használt ITR térképszerkesztő szoftverből könnyen exportálható a kijelölt tömbhatár KML-be. Mivel a terület határait képező poligon 4 pontból álló négyszög lett, ezért ennek egyszerűsége miatt a műholdkép alapján jelöltem ki a jó azonosítható felméréndő terület.

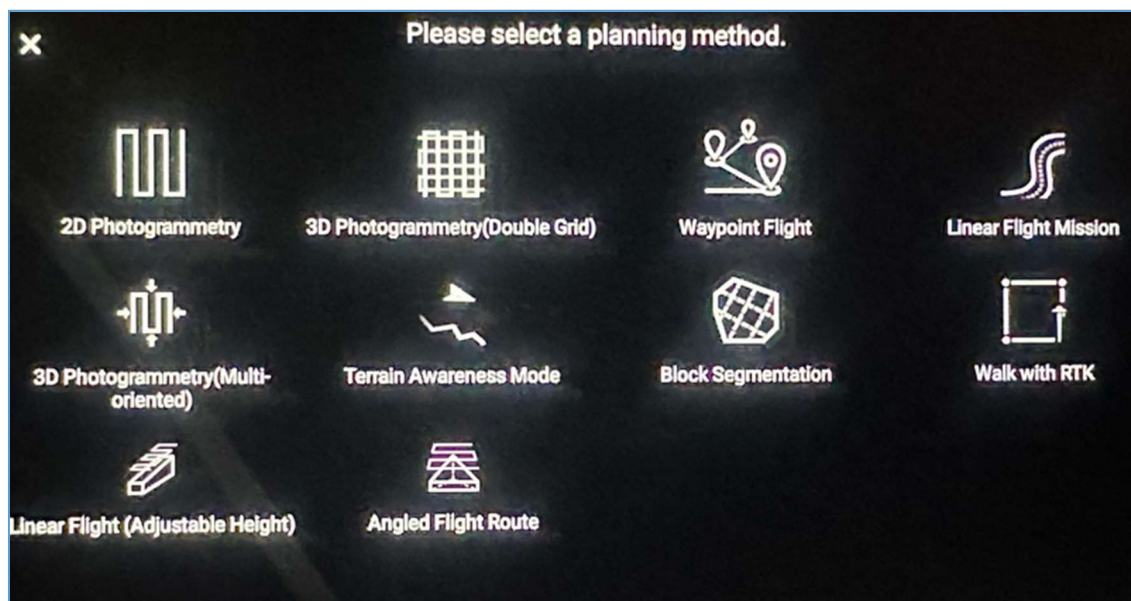
A felvételezés területe a kijelölt poligon alapján több mint 6.8 hektár (68080.9 m²) lett.

A poligon töréspontjainak megváltoztatására, elmozdítására és a többi paraméter módosítására a repülési terv készítésekor bármikor lehetőség van. Azonban bármilyen paraméter módosítása befolyásolhatja a repülés idejét az elkészült képek számát, a végterméket is.

4.1.2 Repülési formáció kiválasztása

A területet lefedő poligon kirajzolását követően rögzítenem kellett, hogy milyen formációban kívánom végrehajtani a repülést. A megfelelő repülési formáció kiválasztásával beprogramozhatjuk a drónt, hogy a rögzített útvonalon automatikusan repülést hajtson végre és meghatározott átfedések mellett készítsen fotókat. Az elkészült fényképeknek alkalmasnak kell lenni arra, hogy abból végtermékként ortofotó térképeket és modelleket hozzunk létre.

A repülési formációkat mindig a feladatunkhoz kell igazítani, előre meg kell tervezni, hogy a repülési útvonal a megfelelő paraméterek kiválasztása mellett optimális legyen a felvételezés szempontjából. A szoftverben több repülési misszió közül választhatunk. (lásd: 12.ábra)



12. ábra Repülési formációk [saját forrás]

DRÓN Fotogrammetriai felmérés útvonala I. – POLYGON MISSION (2D photogrammetry). Ebben a felvételezési módban lehetőségünk van arra, hogy magunk választjuk meg a felvételezés területének határát, akár egy bonyolultabb alakzatot is felvehetünk. Akkor érdemes ezt formációt választani, ha nagyobb, jellemzően sík területet (pl. szántót, partvonalat, építési terület, stb.) szeretnénk felmérni. A fényképek készítésekor ebben az esetben a függőleges kameratengely ajánlott, mert így lesz a leghatásosabb a felvételezés. Az eljárás során keletkezett végtermékek jó minőségű ortomozaikek és digitális felszínmodellek lesznek (repülési tervben én ezt a formációt választottam). 3D modell készítésére is alkalmas, viszont gyengébb minőségűek lesznek, mert nem készül részletes felvételezés a tárgya függőleges elhelyezkedésű oldalairól.

DRÓN Fotogrammetriai felmérés útvonala II. – GRID MISSION (2D photogrammetry). Ez a felvételezési mód szintén térképezési célokra alkalmas leginkább, mint ahogy a poligon mission, de a különbség az, hogy ebben a területünk határait csak egy szabályos téglalap alakzaton tudjuk megtervezni, nem lehetséges a határok szabálytalan poligon mentén történő kialakítása, amely így több felesleges területről is készít képet.

DRÓN Fotogrammetriai felmérés útvonala III. – DOUBLE GRID MISSION (3D photogrammetry). A „Double Grid” egy négyzethálós vonalain való többszöri oda-vissza

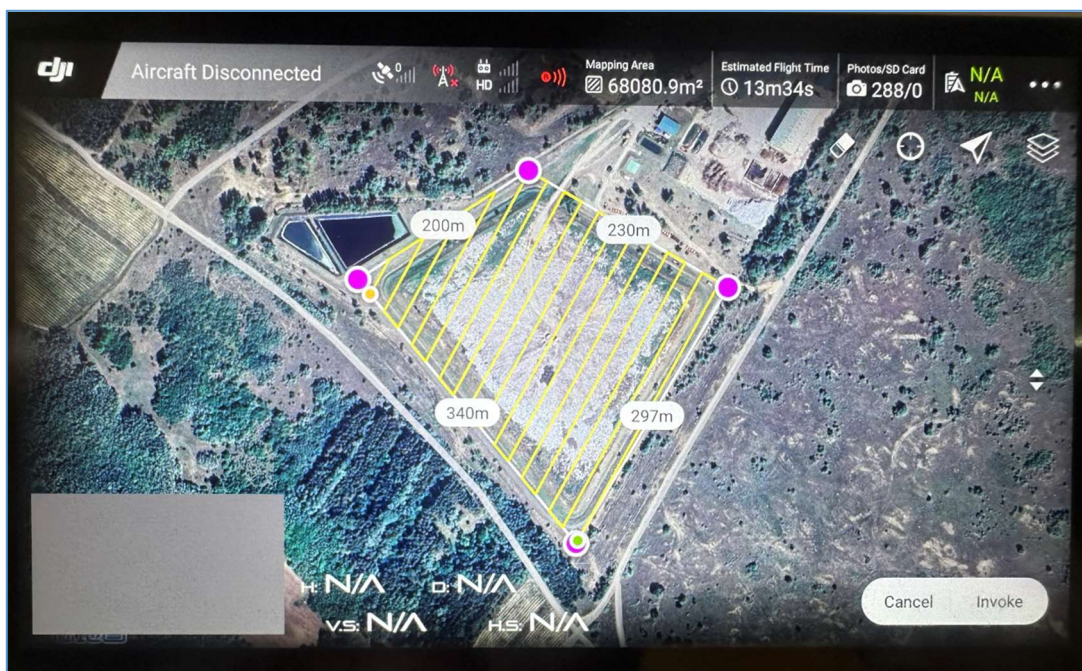
repülést jelent. Ez alkalmas arra, hogy az objektumot több oldalról is lefotózzuk. Az egyszerű „Grid” misszióhoz képest ezzel a móddal több függőleges és visszahajló részletet rögzíthetünk, ami kiemelten fontos egy 3D-s reprodukciónál. Ez esetben a ferdetengelyű kameraállás javasolt, ezen kívül ez elsődlegesen a 3D leképezésre alkalmas. Ez a felvételezési stílus abban az esetben ajánlott, ha kis, esetleg közepes területet szeretnénk fényképezni, mivel az egyszerű “Grid” misszióhoz viszonyítva a repülési idő megduplázódik, mert két rácsban, több szögből következik be a fotózás. Ezzel az eljárással fotózhatunk épület-együtteseket, de akár városrészleteket is felmérhetünk. Abban az esetben ajánlott, ha textúrázott 3D modellt, pontfelhőt szeretnénk előállítani.

DRÓN Fotogrammetriai felmérés útvonala IV. – CIRCULAR MISSION (3D photogrammetry). Ezzel a móddal jellemzően kis területen elhelyezkedő magas objektumokat, építményeket lehet felmérni. A felvételezési eljárás során a felmérendő objektum körül repül a drón és különböző magasságokból és irányokból készít fényképet. Az eljárás különösen jól alkalmazható magas épületek, tornyok felmérésére, ezért elsősorban 3D modelleket és pontfelhőket lehet létrehozni.

DRÓN Fotogrammetriai felmérés útvonala V. – FREE FLIGHT MISSION

Ezzel a repülési móddal manuálisan tudjuk végrehajtani a felvételezést, tehát mindenképp sok gyakorlást igényel. Beállítható, hogy a felvételezés során, hogy a drón függőlegesen és vízszintesen hány méterenként készítsen egy fényképet a repülés közben. A fényképezőgép zárja akkor old ki, ha a meghatározott távolságintervallumig elmozgatjuk a drónt. A legnagyobb gyakorlatot igénylő formáció, mely térképezési és 3D modellezési célokra is felhasználható [10].

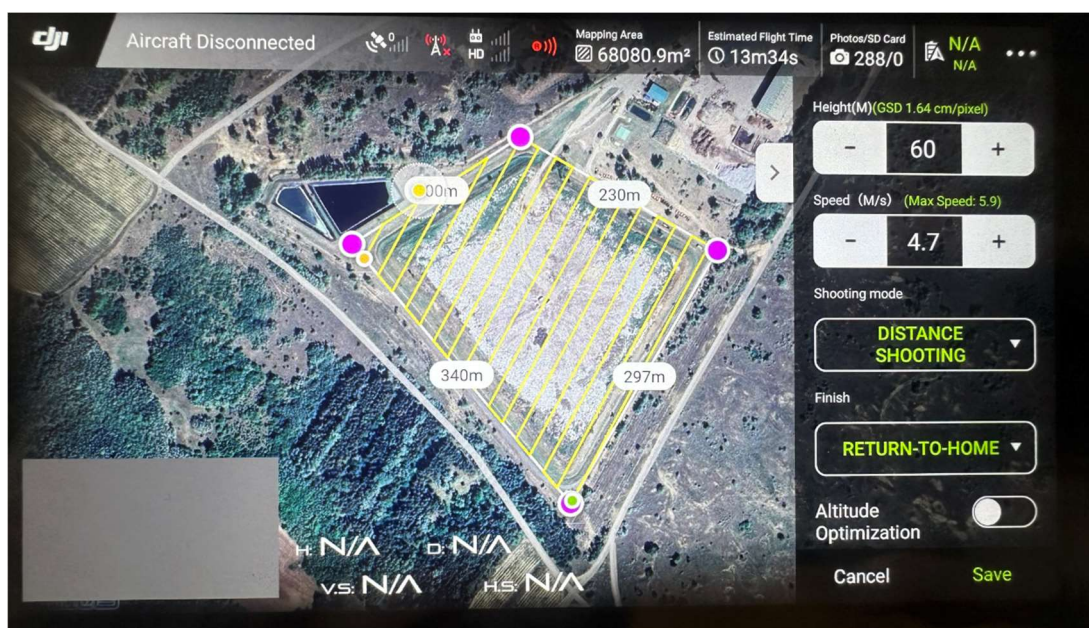
A repülési formációk közül a poligon mentén történő repülési útvonalat választottam. A később részletezett paraméterbeállítások, a repülési magasság, a felvételezésre kerülő felület tagoltsága és a korlátozott időtartam miatt ez tűnt legoptimálisabb megoldásnak. (lásd 13.ábra)



13. ábra Repülési terv (terület, formáció és repülési irány kijelölése) [saját forrás]

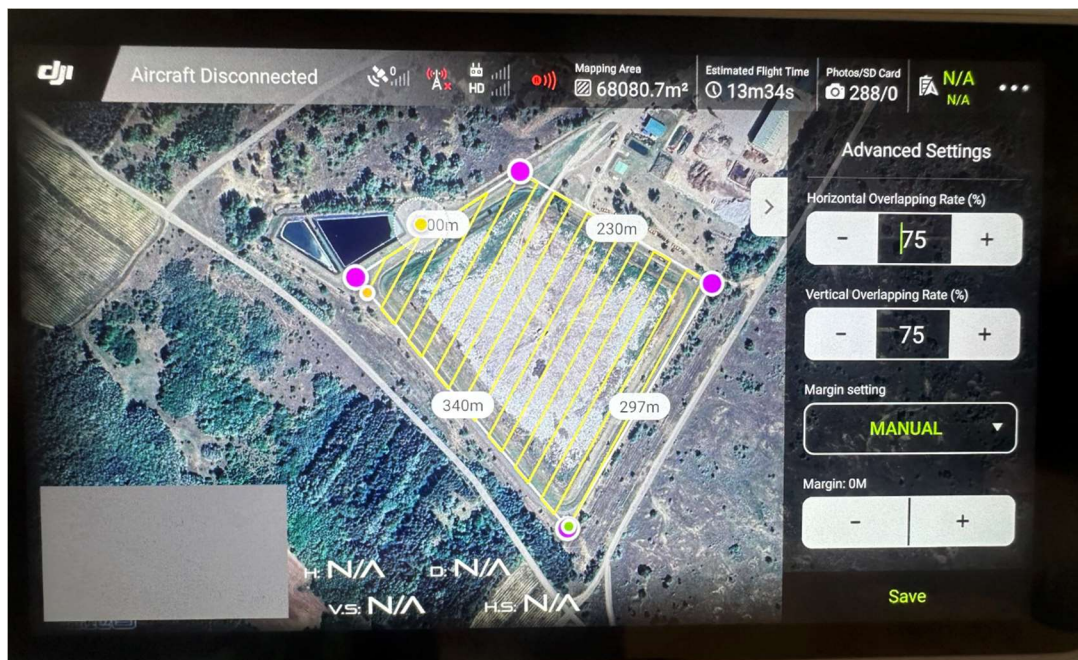
4.1.3 Repülési terv egyéb paramétereit

A repülés irányát a négyszögletű poligon egyik hosszoldalával párhuzamos jelöltem ki.



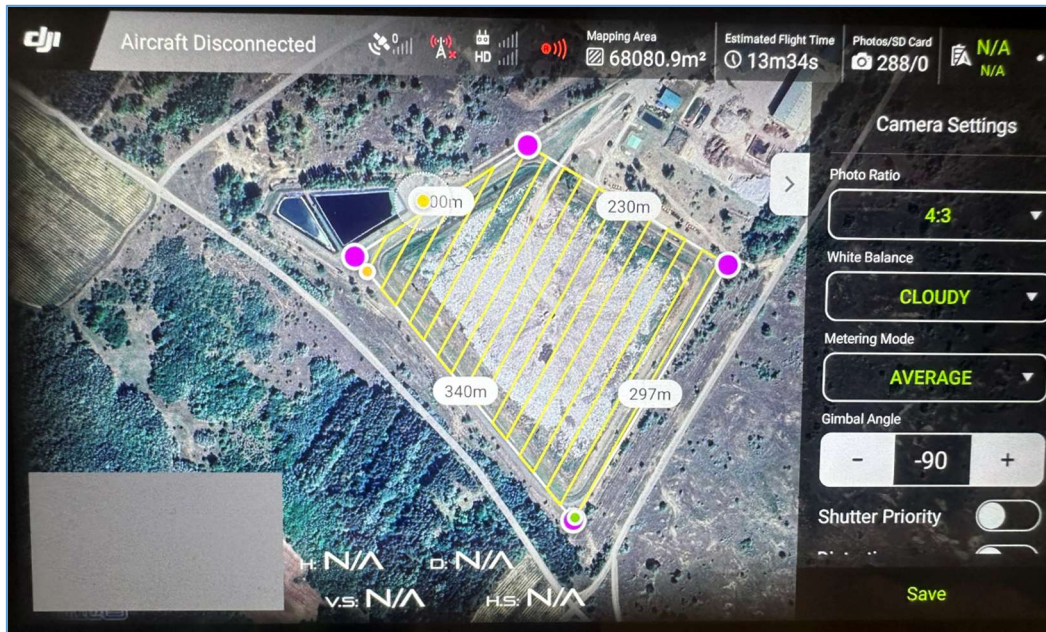
14. ábra Paraméterek beállítása [saját forrás]

A repülési tervben rögzítettem a repülési magasságot (60 m, mely 1.64cm/pixel felbontást eredményez), a repülés sebességét (4.7 m/s) és beállítottam, hogy a felvételek készítése közötti távolság legyen állandó (distance shooting) és a felvételezés befejezését követően pedig a megadott home pozícióra térjen vissza a drón. (lásd: 14.ábra)



15. ábra Paraméterek beállítása [saját forrás]

A sorok közötti átfedést 75%-ra és a soron belüli átfedést is 75%-ra állítottam be. Mivel a terület kijelölésénél már nagyobb területet jelöltem be, ezért a túlrepülés nem lesz, ennek a határvonalnak a rögzítését manuálisan végeztem. A magassági viszonyítás beállításánál az AGL -földfelszín feletti repülési paramétert választottam. (lásd: 15.ábra)



16. ábra Paraméterek beállítása [saját forrás]

A kamera beállításánál függőlegesen lefelé néző (-90) értéket választottam, a képméretarány értékére pedig 4:3 arányt állítottam be. A fehéregyensúly kiválasztása a digitális fényképezőgépek, videokamerák egy beállítási lehetősége, mely során módosíthatjuk az éppen adott fényforrásokhoz a színhőmérsékletet a színhelyes felvétel érdekében. A felhős (cloudy) értéket választottam. (lásd 16.ábra)

A drón és a kamera egyéb beállítására nincs szükség a paraméter adatokat a szoftver betölti.

A megadott paraméterek mellett a repülési várható ideje 13 perc 34 másodperc. Előre láthatólag a teljes felvételezés során 288 kép készül. A repülési tervből megállapítható, hogy a felmérés egy menetben megfelelő töltöttségű akkumulátorral csere nélkül végrehajtható.

5. ILLESZTŐPONTOK

A légifelvételek fotogrammetriai feldolgozásához a külső tájékozás elvégzéséhez illesztőpontok (GCP – Ground Control Point) alkalmazására van szükségünk.

5.1 Illesztőpontok kiválasztása és elhelyezése

Az illesztőpontok jelméretét (d) a képméretarány és terepi felbontás függvényében határozhatjuk meg. A jel minimális méretét úgy kell megállapítani, hogy a leképezés során az minimum 10 pixel méretű legyen. A repülési terv készítésekor a beállított paraméterek mellett terepi felbontás (GSD) értéke 1.64 cm.

$$d \geq 10 * \text{GSD}$$

Ebből a számításból azt kapjuk, hogy minimum 16.4 cm széles pontjeleket kell elhelyezni. Az illesztőpontként felhasznált pontjelek víztaszító 16 mm vastagságú fatáblából készültek. A jel mérete 50 x 50 centiméteres szélességű, fekete-fehér festésű. A pontjel készítés során már a tervezéskor tudtam, hogy jelen feladat végrehajtásához túlméretezettnek tűnik, de a pontjelek elkészítésénél arra törekedtem, hogy azok később elvégzendő légifelvételezések végrehajtásához is jól felhasználhatók legyenek. (lásd: 17.ábra)



17. ábra Illesztőpont(GCP) [saját forrás]

A hulladéklerakó területén 10 darab illesztőpontot helyeztem el. A pontjeleket megpróbáltam a depónia területén egyenletesen elhelyezni. A tömb sarkain és a depónia szélén elhelyezett 7 db pontjelet viszonylag sík, jól látható helyre sikerült tenni. A depónia közepén azonban a szilárdhulladék elhelyezkedése, labilitása miatt nehezebb volt a jó illesztőpont helyének kiválasztása. Mivel a felméréendő területen nagy szintkülönbségek is voltak, ezért a hulladékdepót körülvevő szervízúton is helyeztünk el festett pontjelet. (lásd: 18.ábra)



18. ábra Illesztőpont (festett) [saját forrás]

5.2 Illesztőpontok bemérése

Az illesztőpontok beméréséhez a FORGEO F90 típusú GNNS vevőjét használtam. A műszer III.generációs dőléskompenzátorral rendelkezik, ezért 60°-os dőlésszögig ott is képes megfelelő pontossággal a mérést végrehajtani, ahol nem tudjuk az árbócot függőleges tartani. A vevő megbízhatósága a gyártó szerint valós idejű kinematikus mérés esetén vízszintesen $10\text{mm} \pm \text{ppm}$, magasságilag $15\text{mm} \pm \text{ppm}$. A vevő a nagyobb pontosság elérése érdekében felhasználja az amerikai GPS, az orosz GLONASS, a kínai BeiDou és az európai Galileo műholdjainak a jeleit is. [11]

A földi helymeghatározás centiméter pontossággal végezhető műholdas rendszerek használatával, amennyiben azokhoz használunk korrekciós jeleket. A korrekciós jelet az illesztőpontok beméréséhez a CORRIGO hálózatos RTK korrekciós jelszolgáltatás biztosította, mely segítségével Magyarország teljes területén végezhető műholdas helymeghatározás. Az RTK-s vevővel 5 epocha értékkel végeztem mérést, így rövid idő alatt valós időben hozzájutottam az illesztőpontok EOVS koordinátaíhoz. Ezen koordináták

visszatűzésére később a pontjelek felkereséséhez szükség is volt mert a hulladéklerakó felszínén nehéz volt azonosítani pontjeleket.



19. ábra Illesztőpont mérés GNSS RTK vevővel [saját forrás]

A felmérést követően a meghatározott illesztőpontok koordinátáit EOVB-ben exportáltam ki egy txt fájlba, melynek beolvasását a képek feldolgozásához használt Agisoft programba egyszerűen be tudtam importálni.

6. REPÜLÉS SZIMULÁCIÓJA, TEREPI VÉGREHAJTÁSA

A biztonságos művelet végrehajtásához a tervezés részeként készítettem egy saját ellenőrző listát (checklist) [12], melynek összeállításában a Légtér.hu Kft. által ajánlott listát használtam. Ezt az általam végzett művelethez próbáltam személyre szabni. Az checklist pontjain a művelet megkezdése előtt ismételten végigmentem.

6.1 Ellenőrző lista (Checklist)

A művelet végrehajtásához szükséges tanúsítványokat és a műveleti területet áttekintettem. A tervezett repülés idejére a legter.hu használatával ellenőriztem a környező légteret, a terepviszonyokat korábbi mérésekből jól ismerem. Külső személy (olyan személy, akik nem vesznek részt az UAS-műveletben, vagy nem ismerik az UAS üzemben tartója által adott utasításokat és biztonsági figyelmeztetéseket [4]) jelenlétére számíthatnom kellett, hiszen a hulladék depónia területén folyamatos a szállítás és a gépi munka, ezért a Kunság-Halas Nonprofit Kft. képviselőjével egyeztetve a repülés idejére a munkálatokat felfüggesztették.

A repülés végrehajtását, a Nadaplan-Geodézia Kft. ügyvezetőjével Kovács Tibor Miklós mérnök úr segítségével hajtottam végre, aki a cég tulajdonában álló UAV rendszert, a Phantom 4 RTK drónt a felvételezéshez biztosította. A cég, valamint az UAV is rendelkezik a szükséges regisztrációkkal és engedélyekkel, a telefonra telepített MyDroneSpace applikáció működése megfelelő volt.

A tervezett időpontban az időjárás alkalmas volt UAS műveletek végrehajtására. Bár az égbolt az időjárás előrejelzés alapján erősen felhősnek ígérkezett, csapadékra, erős szélre nem kellett számítani.

A művelet végrehajtásához 3 intelligens akkumulátor állt rendelkezésre, de a számítások, repülési terv szerint, teljesen feltöltött energiahordozó esetén egyetlen akkumulátorral elvégezhető a művelet.

A helyszín ismeretében a fel és leszállás helyét úgy jelöltem ki, hogy a vizuális kapcsolat a drónnal (VLOS) biztosítható legyen. Ehhez segítségemre volt, hogy a korábbi mérésekből ismertem a szilárd hulladék depónia és környezetének magassági adatait, domborzati viszonyait, fedettségét és a növényzettel való borítottságát.

6.2 UAS áttekintése és tesztüzem

A felvételezéshez használt drónt a felszállás előtt átvizsgáltuk. Az UA törzsén, vezetékein, légcsonarjain törés, repedés, sérülésre utaló jel nem volt látható, minden szükséges alkatrész rendelkezésre állt, a propellerekből pedig pótalkatrészeket is tartalmazott a szállítást szolgáló hordtáska. Az adatrögzítésre szolgáló 64 GB microSD memória kártyát megvizsgáltuk, a szükséges felvételek tárolására alkalmas volt és elegendő szabad tárhellyel rendelkezett. Az ellenőrzést elvégeztük a távirányító eszközre is, a DJI GS RTK alkalmazás sikeresen csatlakozott a drónhoz.

Művelet előtt ellenőriztük, hogy az UAS bekapcsolódik-e, jelzőfényei megfelelően világítanak-e, reagál-e az irányítási parancsokra, a kiegészítők (gimbal és kamera) megfelelően működnek-e. (lásd: 20. ábra)



20. ábra Az UAS felszállás előtt a "Home point"-on [saját forrás]

Az irányítú kalibrálás nem minden esetben szükséges a művelet előtt, azonban indításkor a DJI GO alkalmazás ennek végrehajtására figyelmeztetett. Ennek folyamata 2 lépésből áll, mely során vízszintesen kézben tartva a drónt el kell fordítani 360 fokkal, mely során az állapotjelző fények zöld színnel világítanak. Ezt követően a drónt függőlegesen kell tartani, orral a föld felé és elfordítani 360 fokkal függőleges tengelye körül.

Amennyiben pirossal világítana a jelzőfény a kalibrációt újra kell kezdeni. Az irányító kalibrálás esetünkben elsőre sikerült.

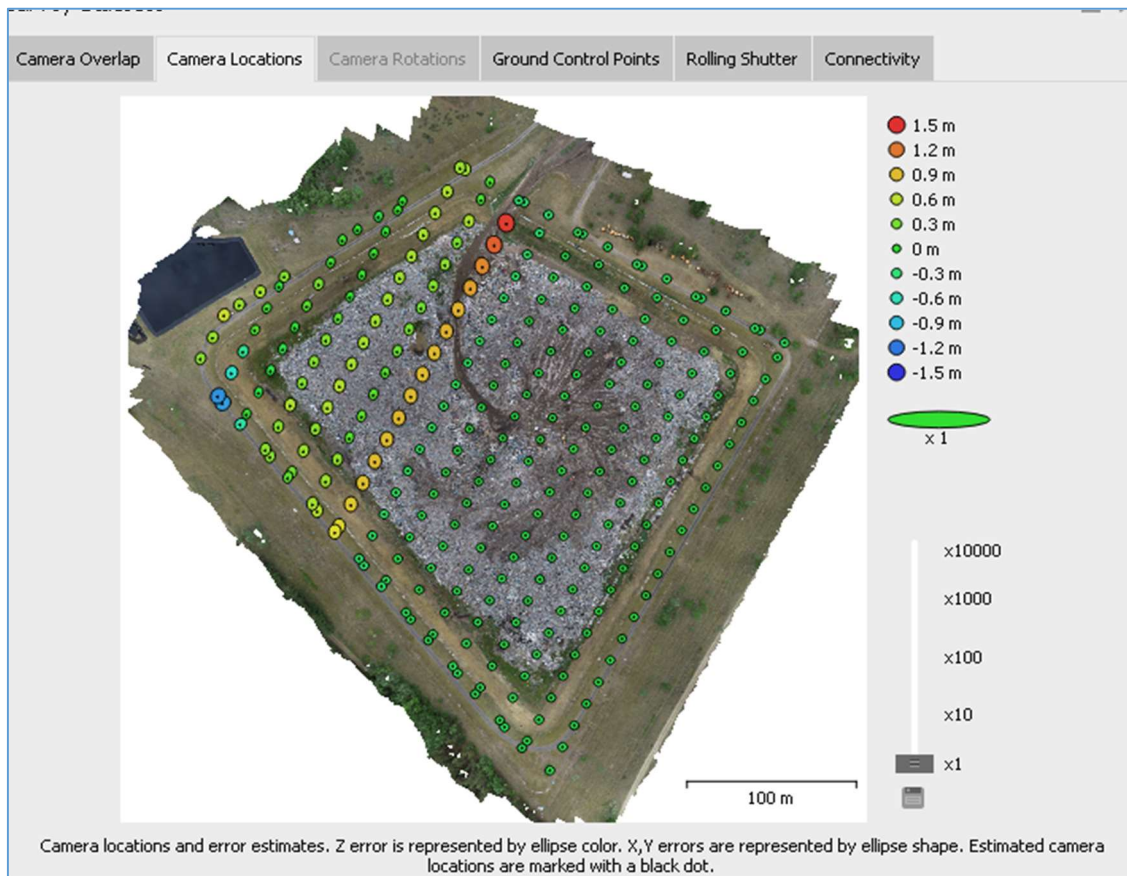
6.3 Repülés végrehajtása

Az illesztőpontok elhelyezését és bemérését követően a repülés végrehajtását a lehető legrövidebb időn belül végre kellett hajtani, ugyanis a hulladéklerakó területén munkagépek (tömörítőhengerek, kompaktorok) dolgoztak és csak rövid ideig tudták felfüggeszteni a munkát. A mérést a kisebb eső miatt kb. 1 órás várakozást követően kezdhettük meg, fél 10 körül. Miután a külső személyek elhagyták a munkaterületet elkezdhattuk az előre elkészített repülési tervnek megfelelően a repülés végrehajtását.

Az RTK-val rendelkező drónunk esetében a „Home point” a felszállás helye, így mivel a távirányító visszajelzése alapján a GNSS megfelelően működik, nagy biztonsággal kijelenthettük, hogy a drón a felvételezést követően a beállításoknak megfelelően visszatér a felszállás helyén kihelyezett táblára.

A felvételezés a repülési tervnek megfelelő ideig 14 perc alatt elkészült.

A repülés közben a képek valós idejű centiméteres pozicionálását elvesztettük, melyet valószínűleg az internetes elérhetőség megszakadása okozott, így a korrekciós adatok vétele megszűnt. A feldolgozást követően az Agisoft Metashape segítségével kimutatható, hogy a felvételezéskor a képek valós idejű pozicionálása hogyan alakult. (lásd:21.ábra)



21. ábra Kamera helyzetének megbízhatósága a felvételezés idején [saját forrás]

Jól látható, hogy az RTK-val szerelt drón helyzeti koordinátái 90%-ban valóban 0-30 cm közötti pontossággal bírnak (80%-ban néhány centiméteres). Könnyen leolvasható, hogy a 10. képsornál szűnt meg a korrekciók vétele, ahol már 1.5 m volt a pozícionálás hibája.

A felvételezés során a felméréendő terület (hulladéklerakó) sajátosságai miatt számítanunk kellett arra, hogy a depónia környezetében előfordulhatnak madarak. A felhős, hűvösebb idő ellenére sajnos jelentős madársereg volt jelen, jellemzően sirályok. A madarak viszonylag alacsonyan szálltak, így bízunk abban, hogy a repülési terv szerinti 70 méteres magasságban nem lesz szükség arra, hogy eltérjünk a tervezett útvonaltól. Aggodalomra adott azonban okot, hogy egy madár egészen megközelítette drónunkat, így felmerült a művelet megszakításának gondolata. A veszélyhelyzet néhány másodpercig tartott, így a tervszerű repülést nem kellett felfüggeszteni. (lásd: 22. ábra)



22. ábra Veszélyhelyzet [13]

6.4 **Minőség-ellenőrzés, előzetes adatfeldolgozás, képek archiválása**

A művelet végrehajtását követően átvizsgáltuk az UAS-t, sérülésmentes állapotban találtuk, áramtalanítást követően a microSD kártyáról az adatokat már a helyszínen egy laptop segítségével kiolvastuk, hogy el tudjuk végezni az elkészült képek ellenőrzését. A kiolvasást követően az illesztőpontokként elhelyezett pontjelek összegyűjtöttem. Ekkor szembesültem azzal, hogy az egyik pontjelet a munkájukat végző munkagépek tönkretették, annak ellenére, hogy a jelek helyét bejárással előre egyeztettem. Ennek az illesztőpontnak (A3) a koordinátáit a légifényképek feldolgozásánál nem tudtam felhasználni. Az elkészült ortofotomozaikon később sikerült beazonosítanom a pontjelet, mely a GNSS-el meghatározott A3 pont helyzetéhez képest 4.03 m-re helyezkedett el.

7. LÉGIFÉNYKÉPEK FELDOLGOZÁSA

A képek feldolgozásánál úgy határoztam meg a kimenő adatokat, hogy az alkalmasak legyen a végső cél, a térfogatszámítás elvégzésére, de emellett segít a valóságos környezet pontosabb megértésében és az esetleges tervezési folyamatok optimalizálásában.

Ennek az igénynek megfelelően előállítottam a

- ritka pontfelhőt
- sűrű pontfelhő (dense cloud)
- DEM (Digital Elevation Model) – digitális magasságmodellt
- ortofotó térképet

7.1 Agisoft Metashape

Az egyik legismertebb fotogrammetriai szoftver, melyet 2006-ban kezdtek fejleszteni Oroszországban. Forgalmazása 2010-ben indult, akkor még Agisoft Photoscan néven. Sok paraméterezési és beállítási lehetőséget sok lehetőséget biztosítanak a felhasználó számára, bár ezzel növekszik a hibalehetőség is. Ha gyengébb hardverrel rendelkezünk akkor használhatjuk az úgynevezett chunkokra bontást, mely segítségével kisebb egységekre bontjuk fel a munkaterület képeit és így dolgozzuk fel, majd a feldolgozást követően egyesítjük őket. A különböző folyamatokat egy feladatlistába is össze tudjuk fűzni. Ezzel a feldolgozás szinte összes lépése automatizálható, mellyel jelentős időt spórolhatunk meg, ill. ezalatt más munkafolyamatokat végezhetünk. Nagyobb projekteknél lehetőség van hálózaton történő feldolgozásra is. A szoftverben lehetőséget a különböző kamerakalibrációs adatok feltöltésére is, ideértve a redőnyzár kompenzációra vonatkozó adatokat is. A multispektrális felvételek feldolgozása úgy is történhet, hogy egy-egy csatornához egyedi szint rendelhetünk. A pontfelhő osztályozására vonatkozó algoritmus az egyik legfejlettebb a piacon. A szoftver segítségével létrehozhatunk sűrű pontfelhőket (dense cloud), textúrált modelleket, georeferált ortomozaikokat, digitális felszín és terep modelleket, egyszerű légifényképekből. A feldolgozás legtöbb esetben hosszú, időben elhúzódó folyamat ezért a programon belül a GPU gyorsító rendkívül hasznosnak bizonyulhat a gyorsabb feldolgozás érdekében. [14]

A feldolgozáshoz azért lehet optimális a szoftver, mert a jelenlegi piacon a legtöbb pilóta nélküli légi adatgyűjtővel kompatibilis. Frame, Fish-eye és szférikus kamerák képeiből is képes kiváló minőségű eredményeket előállítani, azokat széleskörűen támogatott formátumokba exportálni. Támogatja a legtöbb EPSG kóddal rendelkező koordináta rendszert köztük az EOVT is (23700).

A fenti előnyök és a szakmai csoportokban olvasott jó tapasztalatok alapján választottam a feldolgozáshoz az Agisoft képfeldolgozó szoftverét az Agisoft Metashape-t.

7.2 Rendszerkörnyezet testre szabása

Mielőtt a feldolgozást elkezdtem meg kellett győződnöm arról, hogy a rendelkezésre álló hardver alkalmas-e a feladat elvégzésére, ugyanis a képfeldolgozó szoftverek speciális hardverkövetelményeket is támaszthatnak. A processzorok (CPU) száma, illetve a processzorban található magok száma is meghatározó lehet a feldolgozás sebességében. A sűrű pontfelhő építésnél több magot ki tud használni a rendszer, de videokártya teljesítménye is erősen befolyásolja a számításokat. A háló és a textúra építés viszont csak a nagy órajelsebesség mellett hatékony. A grafikus processzor a GPU-t nem csak a megjelenítésre, hanem a számítások hatékony végrehajtására is használják. Könnyen belátható, hogy a folyamatok teljesítményét jelentősen befolyásolja videokártyák és magok száma. [15] Az általam használt eszközről sajnos nem mondható el, hogy a képfeldolgozáshoz ideális lenne ezért CPU és GPU paraméterezésénél a teljes használatot engedélyeztük a munkafolyamatoknál. (lásd 23.ábra)

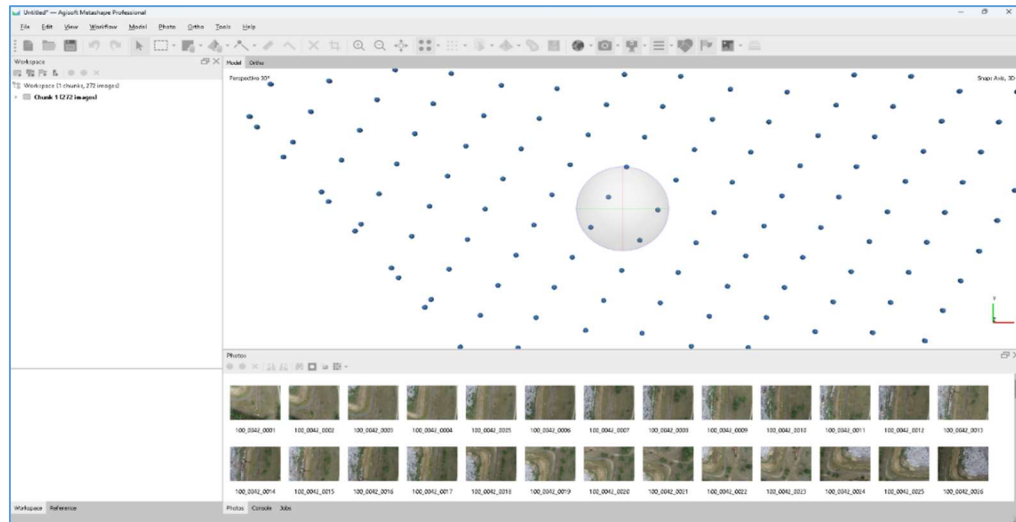
Processzor	11th Gen Intel(R) Core(TM) i5-11600 @ 2.80GHz 2.81 GHz
Memória mérete	16.0 GB (15.9 GB használható)
Eszköz azonosítója	0A060874-040F-4AA5-9FA1-B43ACC1EC1F5
Termékazonosító	00330-80000-00000-AA935
Rendszer típusa	64 bites operációs rendszer, x64-alapú processzor

23. ábra Számítógép specifikációk [saját forrás]

7.3 Képek beolvasása

A légifelvételezés során 272 képet készítettünk, amely az előzetes becslésnél néhány fotóval kevesebb (280). A képek betöltése a programba történhet a képek tárolt

helyének mappájából történő kiválasztással vagy csak egyszerűen a projektünkbe történő behúzással. (lásd: 24.ábra)



24. ábra Képek betöltése [saját forrás]

7.4 Koordináta transzformációk

A beolvasott képek tartalmazzák már metadatumokat, de a beolvasást követően a képek koordinátái WG84 rendszerben állnak rendelkezésre. Célunk az, hogy EOVS rendszerben készítsük el a végterméket, ezért a kamera helyzetét rögzítő adatokat (Longitude, Latitude, Altitude (m)) át kell transzformálni EOVS rendszerbe. (lásd: 24.ábra) Az eltárolt fényképről az EXIF adatokat, bármikor kinyerhetjük telepített programmal vagy akár online módon is. Ezen adatok széleskörű kiolvasására az ExifTool és az IrfanView ingyenesen állnak rendelkezésre.

Cameras	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Yaw (°)	Pitch (°)	Roll (°)	Accuracy
✓ 100_0042_0001	19.544368	46.391097	236.000000	10.000000		33.600	0.000	0.000	10.000
✓ 100_0042_0002	19.544467	46.391225	235.910000	10.000000		30.300	0.000	0.000	10.000
✓ 100_0042_0003	19.544557	46.391342	235.850000	10.000000		29.200	0.000	0.000	10.000
✓ 100_0042_0004	19.544651	46.391460	235.890000	10.000000		29.100	0.000	0.000	10.000
✓ 100_0042_0005	19.544745	46.391577	235.900000	10.000000		28.900	0.100	0.000	10.000
✓ 100_0042_0006	19.544837	46.391697	235.900000	10.000000		28.700	0.100	0.000	10.000
✓ 100_0042_0007	19.544928	46.391814	235.920000	10.000000		28.800	0.000	0.000	10.000
✓ 100_0042_0008	19.545021	46.391932	235.860000	10.000000		28.900	0.000	0.000	10.000
✓ 100_0042_0009	19.545114	46.392049	235.890000	10.000000		28.700	0.100	0.000	10.000
✓ 100_0042_0010	19.545206	46.392166	235.830000	10.000000		29.200	0.100	0.000	10.000
✓ 100_0042_0011	19.545299	46.392285	235.820000	10.000000		28.600	0.100	0.000	10.000
✓ 100_0042_0012	19.545392	46.392403	235.850000	10.000000		28.700	0.100	0.000	10.000
✓ 100_0042_0013	19.545484	46.392519	235.890000	10.000000		28.700	0.000	0.000	10.000
✓ 100_0042_0014	19.545578	46.392636	235.910000	10.000000		29.000	0.000	0.000	10.000
✓ 100_0042_0015	19.545671	46.392754	235.900000	10.000000		29.300	0.000	0.000	10.000
✓ 100_0042_0016	19.545763	46.392872	235.840000	10.000000		28.600	0.100	0.000	10.000
✓ 100_0042_0017	19.545856	46.392991	235.840000	10.000000		28.800	0.000	0.000	10.000
✓ 100_0042_0018	19.545948	46.393108	235.870000	10.000000		28.900	0.100	0.000	10.000
✓ 100_0042_0019	19.546042	46.393226	235.870000	10.000000		28.900	0.000	0.000	10.000
✓ 100_0042_0020	19.546135	46.393344	235.890000	10.000000		29.000	0.000	0.000	10.000
✓ 100_0042_0021	19.546190	46.393423	235.930000	10.000000		20.800	0.100	0.000	10.000
Markers	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)		

25. ábra Tárolt metaadatok (WGS84 koordináták) [saját forrás]

A WGS84-EOV transzformációhoz a Lechner Tudásközpont Nonprofit Kft. GNSS Szolgáltató Központja által biztosított utólagos transzformációt használtam (lásd: 26.ábra). Az Agisoft Metashape-ből a koordinátákat (export reference) egy csv fájlba exportáltam. Mivel a felvételezés során az UAS a GNSS RTK segítségével viszonylag pontosan tudta rögzíteni a pozícióját, ezért előzetes magassági korrekcióra nem volt szükségünk. Az RTK használata nélkül előfordulhat, hogy a magassági adatokat meg kell javítani, ezért az illesztőpontok elvégzett mérésekkel egyidőben érdemes a „Home point”-on is mérést végezni a magassági adatok rögzítése és a korrekció végrehajtása céljából.



26. ábra EHT2 transzformáció [15]

A kiexportált koordinátákat közvetlenül tölthetjük fel a megadott fájlból. Az EHT 2.0 automatikusan felismeri a pontszám és koordináta elválasztó karaktereket, használhatunk üres karaktereket (tabulátor vagy szóköz), vesszőt vagy pontosvesszőt, tizedesjel karakterként pedig pontot. [15]

Forrás-rendszer

ETRS89/
ETRF2000

EOV/EOMA

ETRS89/ETRF2000 → EOV transzformáció eredménye

Új transzformáció

Összesen 272 találat.

Pontszám	EOV y[m]	EOV x[m]	EOMA H[m]	Megjegyzés
100_0042_0001.JPG	688220.005	116412.697	192.301	
100_0042_0002.JPG	688227.530	116426.974	192.212	
100_0042_0003.JPG	688234.369	116440.024	192.152	
100_0042_0004.JPG	688241.516	116453.186	192.192	
100_0042_0005.JPG	688248.664	116466.238	192.203	
100_0042_0006.JPG	688255.655	116479.622	192.203	
100_0042_0007.JPG	688262.572	116492.672	192.223	
100_0042_0008.JPG	688269.641	116505.834	192.163	
100_0042_0009.JPG	688276.712	116518.885	192.194	
100_0042_0010.JPG	688283.705	116531.936	192.134	

←

1

2

3

4

5

6

→

Oldalszám 10 ▾

Koordinátajegyzék

.txt ↕

Jegyzőkönyv

27. ábra Képekhez tartozó EOV koordináták (transzformáció után) [saját forrás]

A transzformált koordinátákat (lásd: 27.ábra) tartalmazó txt fájlt közvetlenül beolvassuk a feldolgozó szoftverünkbe úgy, hogy a kiválasztott koordináta rendszerünk a HD72 / EOV, melynek EPSG kódja 23700. Ezen kód alapján a legtöbb képfeldolgozó szoftverben könnyen azonosítható koordináta rendszerünk. Ha a beolvasott koordináták nem megfelelően jelentek meg, vizsgálni kell, hogy a beolvasott állományban milyen elválasztó karakterek alkalmaztunk és ennek megfelelően kell elvégezni a beállításokat. Eredményképp a képazonosítók mellett már a koordináták helyes sorrendben EOV rendszerben jelentek meg. (lásd: 28.ábra)

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
Easting	2	8
Northing	3	8
Altitude	4	8

☒ Rotation ☐ Accuracy

Yaw: 5 9

Pitch: 6 9

Roll: 7 9

☐ Enabled flag: 10

Start import at row: 1

Items: All

First 20 lines preview:

	Label	Easting	Northing	Altitude	Yaw	Pitch	Roll
1	100_0042_0001.JPG	688220.005	116412.697	192.301			
2	100_0042_0002.JPG	688227.530	116426.974	192.212			
3	100_0042_0003.JPG	688234.369	116440.024	192.152			
4	100_0042_0004.JPG	688241.516	116453.186	192.192			
5	100_0042_0005.JPG	688248.664	116466.238	192.203			
6	100_0042_0006.JPG	688255.655	116479.622	192.203			
7	100_0042_0007.JPG	688262.572	116492.672	192.223			
8	100_0042_0008.JPG	688269.641	116505.834	192.163			
9	100_0042_0009.JPG	688276.712	116518.885	192.194			

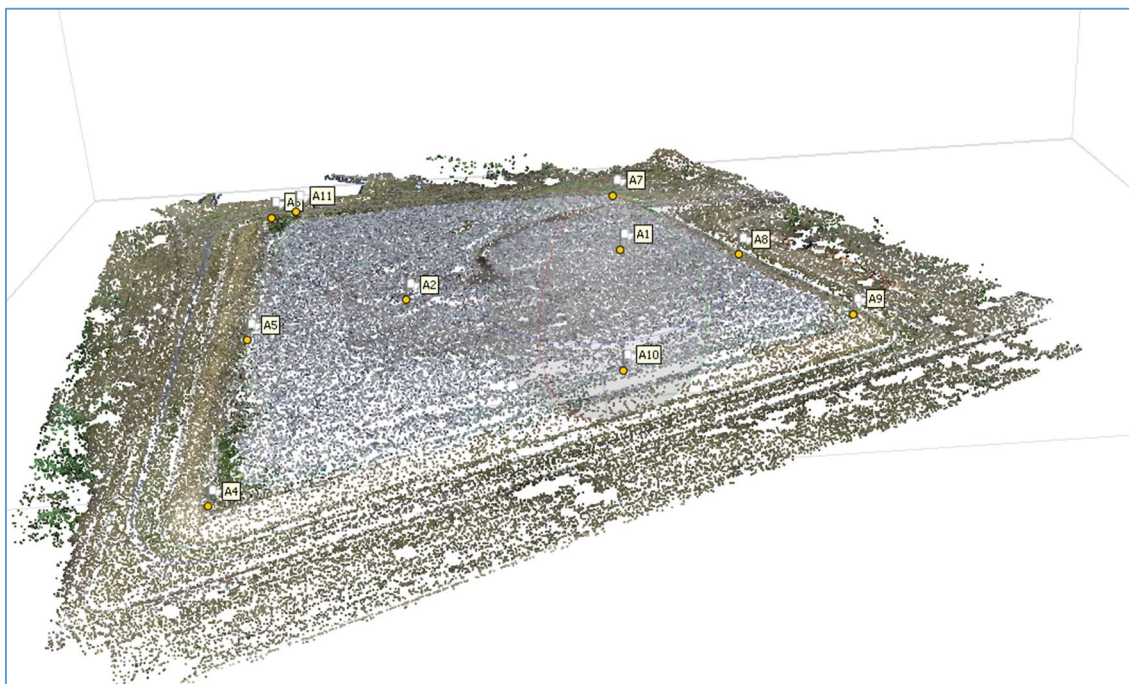
OK Cancel

28. ábra Képekhez tartozó EOVS koordináták (Agisoft Metashape-ben) [saját forrás]

7.5 Fotók összeillesztése, ritka pontfelhő előállítása (Align photos)

A fotogrammetriai szoftverek első lépéseként a ritka pontfelhő előállítását végzik el. Ehhez leggyakrabban az úgynevezett SfM (Structure from Motion) algoritmust alkalmazzák. Először az úgynevezett kulcspontok (azonosítható, egyedi jegyekkel bíró pontok) keresése történik meg. A kulcspontok a képek egymáshoz képesti relatív tájékozási adatainak meghatározásához szükségesek. A különböző képeken, az azonosnak tekinthető pontok alapján állítható elő a képek egymáshoz képest relatív helyzete vagy abszolút helyzete amennyiben georeferáláshoz szükséges adatokkal is rendelkezünk. Ezt a relatív, illetve az abszolút tájékozást is tartalmazó műveletet ún. háromszögelésnek nevezik, ahol az egyes kapcsolópontok és a két vetítési centrum által meghatározott háromszögek segítségével történik a magsíkok kijelölése. [15]

A képek tájékozása mellett előáll az ún. ritka pontfelhő, amely tulajdonképpen a legalább két képen sikeresen azonosított kapcsolópontok 3D-s pozíciói. (lásd:29.ábra)



29. ábra Ritka pontfelhő (relatív tájékozás) [saját forrás]

A ritka pontfelhőt (136901 pont) a feldolgozásban egy köztes állapot itt az az exportálásra nem került sor.

A légháromszögelés kifejezést leginkább légifelvételek, a tömbháromszögelés pedig inkább műholdképek földolgozásakor használjuk általában, A két eljárás nemcsak az elnevezésben, hanem az alkalmazott számítási módszer is kissé különbözik a felvételek fajtájától függően. [17]

7.6 Külső tájékozás, abszolút tájékozás (légháromszögelés-tömbkiegyenlítés)

A következő lépésekben elvégezzük a tömb külső tájékozási elemeinek pontosítását. Ehhez illesztőpontot vagy kapcsolópontot használunk. Célunk, hogy az illesztőpontokon és a kapcsolópontokon a kiegyenlítés után számított ellentmondások négyzetösszege minimális legyen.

A külső tájékozás pontosításához azokat az illesztőpontokat használtam, melyek koordinátáit a GNSS RTK vevő segítségével határoztam meg. (lásd:30.ábra)

Az eredményeket EOVR rendszerben egy csv fájlban készítettem elő, melyhez az Agisoft Metashape-be történő beolvasást követően hozzárendeltem a HD72/EOVR koordináta rendszert.

Import CSV

Coordinate System: HD72 / EOY (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	9
Northing	3	8	Pitch: 6	9
Altitude	4	8	Roll: 7	9
			Enabled flag: 10	

Start import at row: 1 Items: All

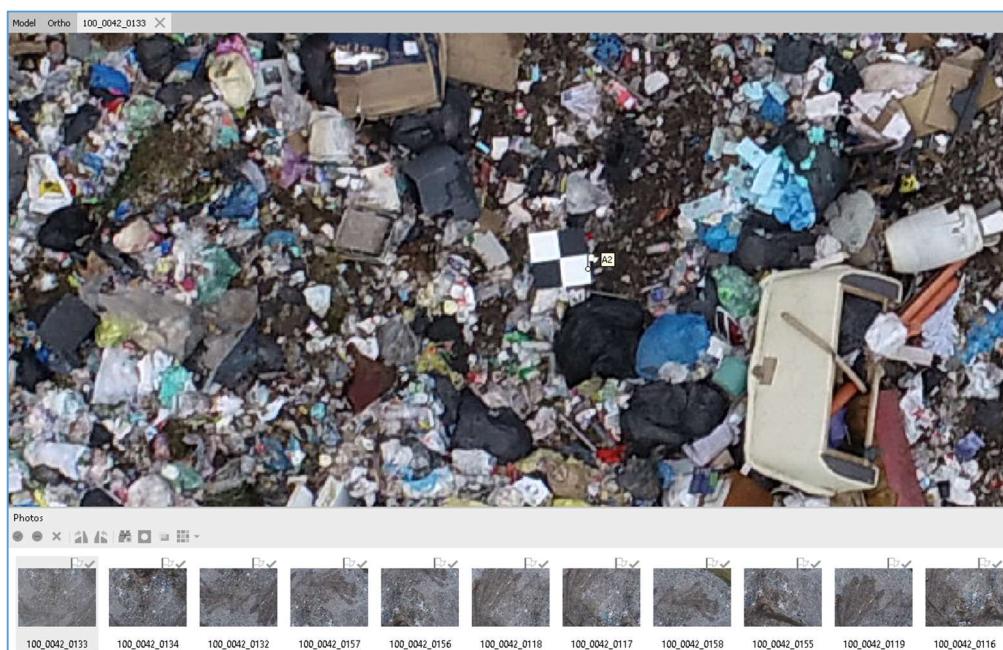
First 20 lines preview:

	Label	Easting	Northing	Altitude	Yaw	Pitch	Roll
1	A1	688222.431	116672.367	143.811			
2	A2	688176.168	116590.238	144.995			
3	A4	688210.086	116448.722	136.920			
4	A5	688132.195	116548.488	137.419			
5	A6	688039.523	116663.235	137.295			
6	A7	688174.460	116747.694	138.055			
7	A8	688264.026	116696.873	139.113			
8	A9	688222.431	116672.367	143.811			

OK Cancel

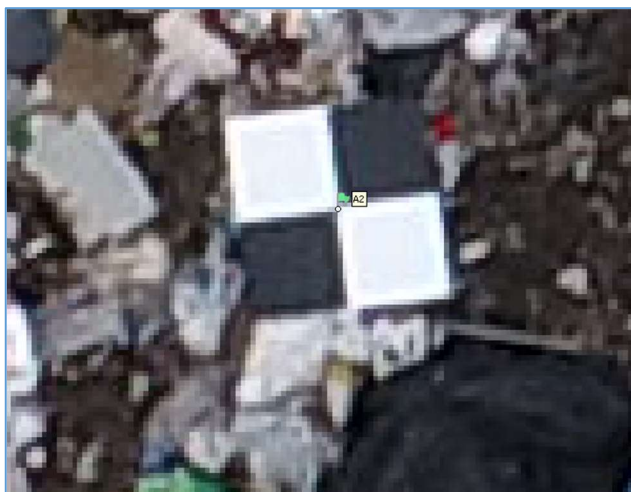
30. ábra Mért illesztőpont-koordináták (EOV) [saját forrás]

Az illesztőpontokra (marker) kattintva a program leszűri azokat a képeket melyeken az illesztőpont előfordul. A ritka pontfelhő alatt megjelenő képeken egyenként elvégeztem a pontjelekre való pontos irányzást úgy, hogy a mérőjelet megragadva bal egérgombot nyomva tartva tudtam a megirányozandó pontra helyezni. (lásd:31.ábra)



31. ábra Külső tájékozás pontosítása az illesztőpontokon [saját forrás]

A pontos mérést minden illesztőpont esetén minden képre elvégeztem. (lásd:32.ábra)



32. ábra Pontos irányzás végrehajtása az illesztőponton [saját forrás]

A program a centrális vetítés alapegyenlete alapján a legkisebb négyzetek módszerével pontosítja a képek külső tájékozási elemeit. A kiegyenlítés során a program arra törekszik, hogy az illesztőpontokon és a kapcsolópontokon jelentkező ellentmondások négyzetösszege minimális legyen. A kiegyenlítésbe a vetítési centrumok koordinátáit is bevonja a program.

7.7 Sűrű pontfelhő (dense point cloud)

A külső tájékozást és a georeferálást követően a workflow menüben már előállíthatjuk a sűrű pontfelhőt (sugárnyaláb kiegyenlítés), melyek ideális alapot nyújtanak a virtuális valóság (VR) és szimulációk létrehozásához.(lásd: 34.ábra) Ez lehetővé teszi a tervezők számára, hogy interaktív módon járják be és értékeljék a tervezett projekteket még azelőtt, hogy azok megvalósulnának. A tervezési és mérnöki területeken olyan hatékony eszköz, amely jelentősen hozzájárulhat a tervek pontosabb és jobb minőségű elkészítéséhez. A valóság digitális ábrázolása révén a pontfelhők forradalmasítják a tervezési folyamatokat és lehetővé teszik a szakemberek számára, hogy a tervezett projekteket a lehető legpontosabban és legjobban megtervezhessék. A sűrű pontfelhő a 3D modell alapja. [17]

A pontfelhő sűrítésére több algoritmus közül választhatunk, melyekhez eltérő paramétereket adhatunk meg. Az előállításához a magas minőség mellett közepes mélységi szűrést választottam.(lásd: 33.ábra)

Property	Value
Point Cloud	
Points	161,809,528
Point attributes	
Color	3 bands, uint8
Normal	
Point classes	
Created (never classified)	161,809,528
Depth maps generation parameters	
Quality	High
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	2 hours 50 minutes
Memory usage	3.93 GB
Point cloud generation parameters	
Processing time	17 minutes 42 seconds
Memory usage	7.61 GB
Date created	2024:05:03 19:57:02
Software version	2.0.2.16102
File size	2.07 GB

33. ábra Sűrű pontfelhő előállítás paraméterei [saját forrás]

A több mint 16 millió pontból álló pontfelhő előállítására a számítógépnek közel 3 órára volt szükség.



34. ábra Színezett sűrű pontfelhő [saját forrás]

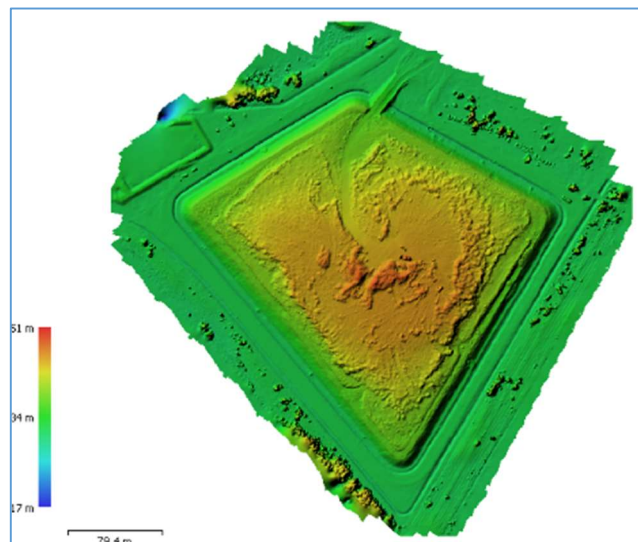
7.8 Felület modell előállítása (DEM)

A DEM (Digital Elevation Model) a szakirodalomban a legáltalánosabban használt angol kifejezés, amit magyarra szó szerint Digitális Magasságmodellnek fordíthatunk (ennek magyar rövidítése a DMM, ám ez a szakirodalomban ritkán szerepel). Az általam

előállított modell leginkább egy digitális felszínmodell (DFM) modell, (angolul DSM). Ez a modell lesz a térfogatszámítás elsődleges felülete. Előállításához a sűrű pontfelhő adatait használtam fel. A 2.9 cm pixelfelbontású felületmodell messze meghaladja az elvárásként megfogalmazott értéket. (lásd: 35-36.ábra)

Property	Value
DEM	
Size	14,886 x 15,189
Coordinate system	HD72 / EOVI (EPSG::23700)
Reconstruction parameters	
Source data	Point cloud
Interpolation	Enabled
Processing time	1 minutes 23 seconds
Memory usage	308.67 MB
Date created	2024:05:03 21:16:55
Software version	2.0.2.16102
File size	519.17 MB

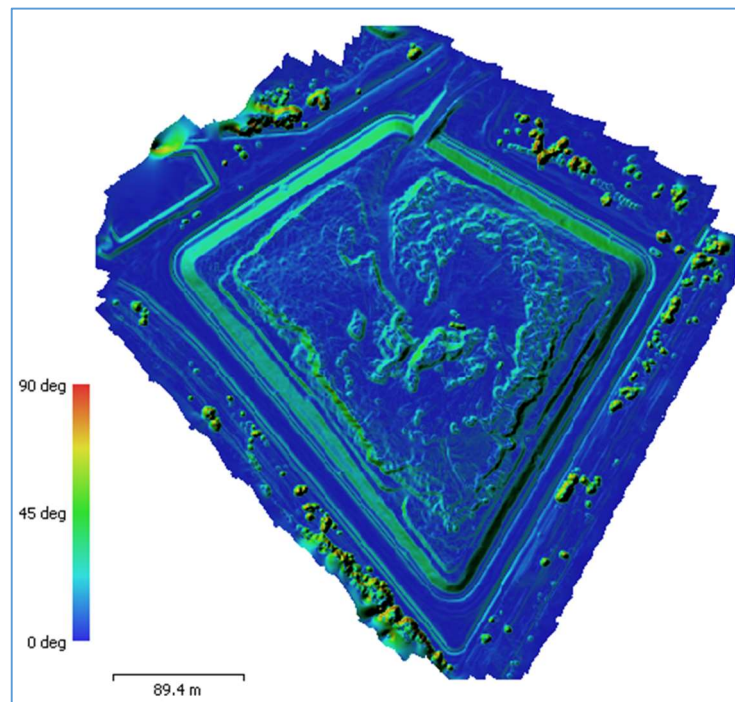
35. ábra DEM előállítás paraméterei [saját forrás]



36. ábra Színezett DEM modell [saját forrás]

A felületmodell már alkalmas térbeli adatok meghatározására. A DEM bármely pontjáról Egységes Országos Vetületi rendszerben olvashatjuk le a pixelhez tartozó koordinátákat és a magassági adatot. A színfokozatos ábrázolás segítségével plastikussá

tehetjük a felületmodellt. Néhány beállítás (pl. hillshading) a felületszínezéssel úgy is segítheti a modell kiértékelését, hogy nem csak a magasságra, hanem a felület meredekségére vonatkozólag is információt nyújt, mely fontos adat lehet állékonysági vizsgálatok elkészítésénél. .(lásd: 37.ábra)



37. ábra Dombárnyékolásos (hillshading) modell [saját forrás]

7.9 Ortofotó térkép (orthomosaic)

Az ortofotók többnyire mozaikolással előállított, ortogonális, térképi rendszerbe transzformált mérésre alkalmas légifényképek. Az ortokorrekció segítségével a légifelvétel mentesülnek a fényképezés sajátosságából fakadó torzulásoktól (pl. domborzat) és a légifelvétel a földrajzi térben a helyükre kerülnek. Az ortofotók kiválóan alkalmasak vektoros térképek készítésére, pontos mérések végrehajtására, elemzésre, tervezési folyamatok lebonyolítására és használatát legtöbb képkezelő támogatja. Az ortomozaik a sűrűpontfelhő előállítás idejéhez képest, viszonylag gyorsan alig 7 perc alatt készült el. .(lásd: 38-40.ábra)

Property	Value
Orthomosaic	
Size	29,771 x 30,377
Coordinate system	HD72 / EOVI (EPSG::23700)
Colors	3 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Blending mode	Mosaic
Surface	DEM
Enable hole filling	Yes
Enable ghosting filter	No
Processing time	7 minutes 3 seconds
Memory usage	1.44 GB
Date created	2024:05:03 21:26:22
Software version	2.0.2.16102
File size	8.72 GB

38. ábra Ortomozaik készítésére vonatkozó paraméterek [saját forrás]



39. ábra Ortomozaikos térkép [saját forrás]

A légifelvételek feldolgozását követően az alábbi kimeneti adatokat Tiff fájlformátumban hoztam létre mert veszteségmentes tömörítést használnak, ami miatt sajnos nagyobb a fájlméretük, mint a legtöbb formátumé, de nem veszítenek a képminőségből. Azért ezt a fájlformátumot használtam a DEM modell és az ortomozaik exportálása során, mert így veszteség nélkül tudom betölteni a Global Mapperbe a feldolgozáshoz.. Emellett elmentettem még a kamera adatokat tartalmazó xml fájlt és dxf formátum kiexportáltam a 3D modellt.



40. ábra Ortomozak (részlet) [saját forrás]

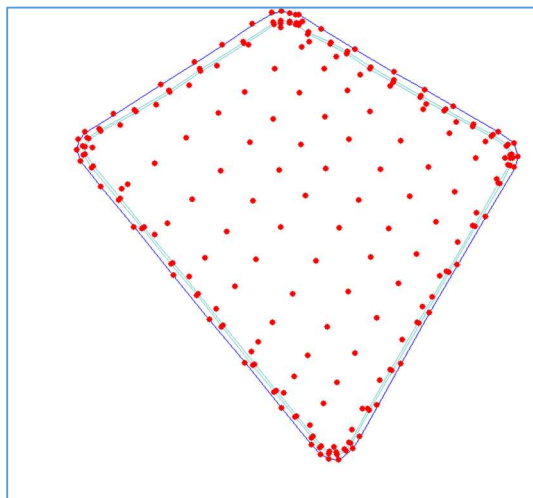
8. TÉRFOGATSZÁMÍTÁS

8.1 Global Mapper szoftver

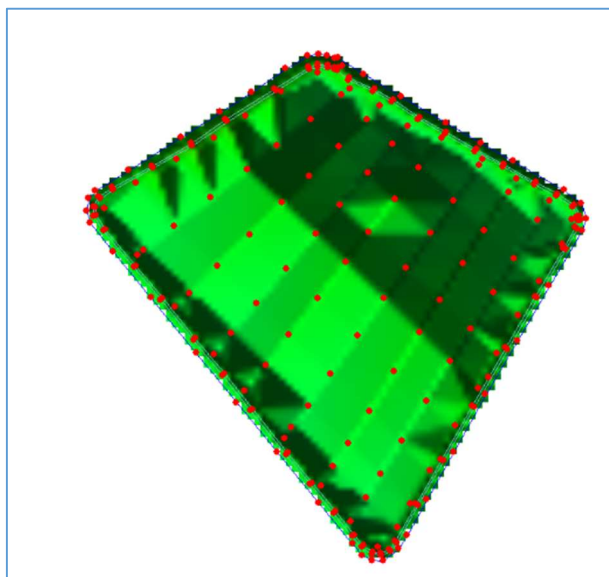
A Global Mapper egy élvonalbeli térinformatikai szoftver, amely mind a kezdő, mind a tapasztalt térinformatikai szakemberek számára a téradat-feldolgozó eszközök átfogó tárházát biztosítja és hozzáférést biztosít az adatformátumok páratlan (több mint 300 vektoros, raszteres, magassági és pontfelhő adattípus) sokaságához, az import és export oldalon egyaránt. Ezen kívül olyan online adatok is elérhetők a Global Mapperen keresztül, számos beépített közvetlen hivatkozással mint a légifelvételek, domborzatmodellek, topográfiai térképek, a Landsat műholdképek, repülési térképek stb. A Global Mapper felhasználói felülete intuitív és logikai elrendezése segíti a gyors megismerést és biztosítja, hogy a felhasználók pillanatok alatt elkezdjenek dolgozni. A hatékony adatfeldolgozás, a pontos térképkészítés és az optimalizált téradat-kezelés segíti feladataink hatékony elvégzését. [18]

8.2 Alapfelület létrehozása

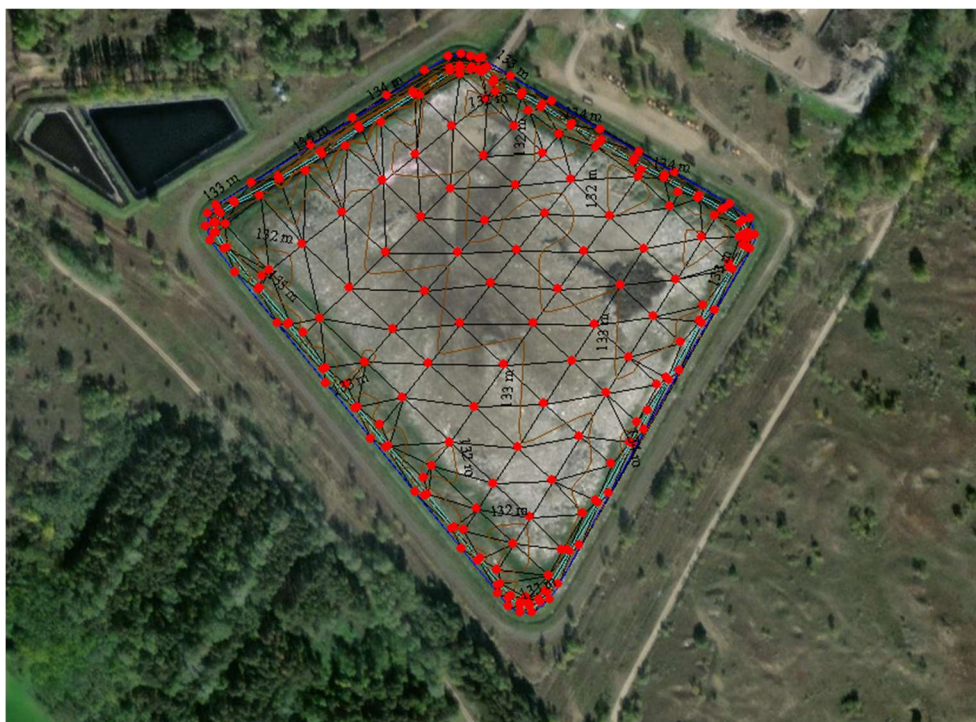
A hulladéklerakó térfogatának meghatározásához nem elég az előállított felszínmodellünk, hanem szükségünk van egy alapfelületre is egy „előtte” állapotra.. Ezen felület előállításához rendelkezésre állt, a hulladéklerakó megnyitásakor elkészült geodéziai felmérés vektoros alaptérkép formájában. A Global Mapper -ben lehetőség volt a dxf formátum betöltésére, melyből előállítottam a felszínmodellt és egy szintvonalas térképet.(lásd: 41-43. ábra)



41. ábra Referencia felület (vektoros) [saját forrás]

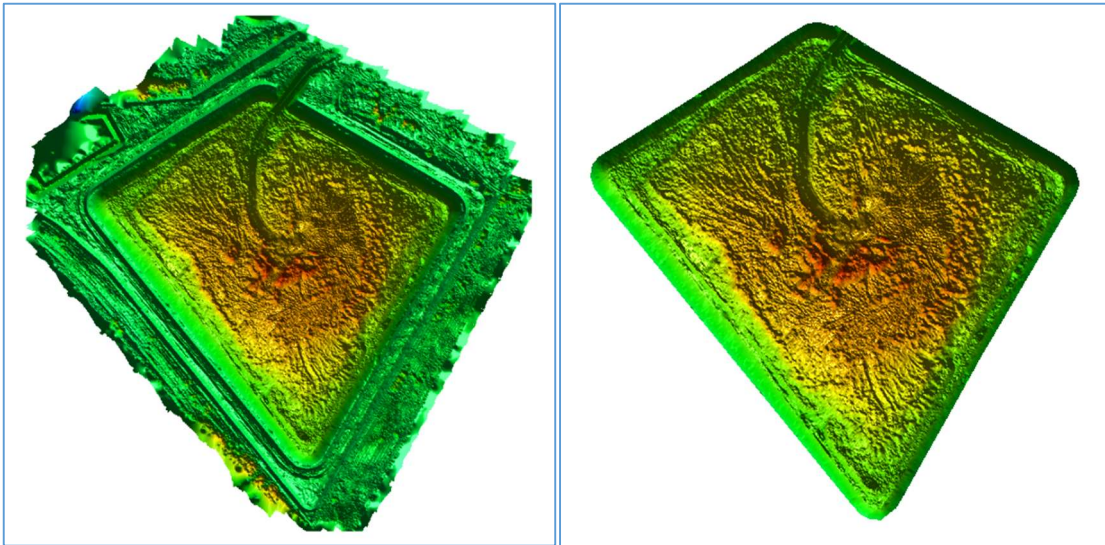


42. ábra Referencia felület (térmodell) [saját forrás]



43. ábra Alapfelület eredeti felmérésből származó adatokkal [saját forrás]

Ahhoz, hogy a térfogatkülönbséget tudjam számolni mindkét felületen azonos tömbhatárra van szükségem. Ehhez a felvételezésből készített felületmodellt az alapfelület kontúrvonalával keretre kellett vágni. (lásd: 44-45. ábra)

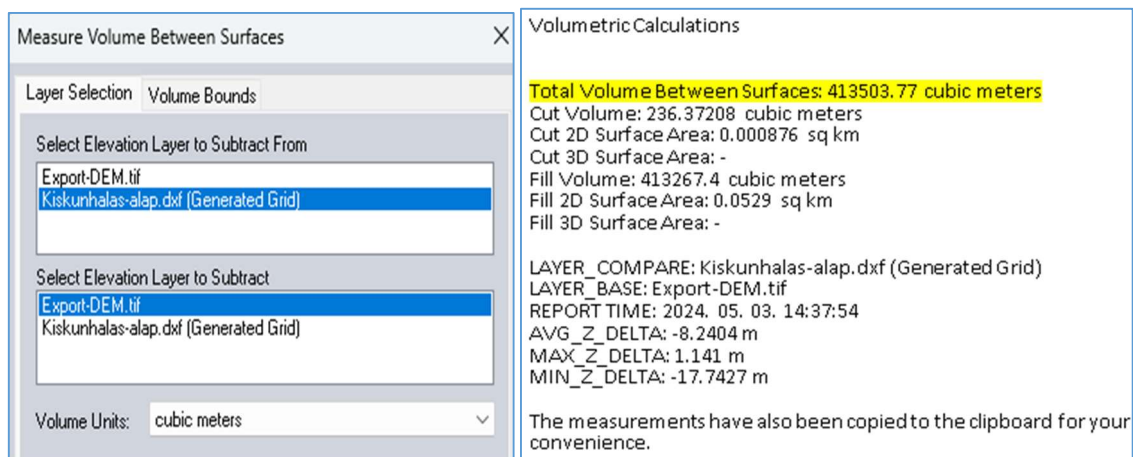


44. ábra Eredeti DEM modell [saját forrás]

45. ábra Keretre vágott DEM modell [saját forrás]

A térfogatszámításhoz már csak ki kell jelölnünk a referenciafelületet (Kiskunhalas-alap.dxf) valamint a mért adatokból előállított és keretre vágott felületet (Export-DEM).

A térfogat számításánál lehetőségünk van többféle kimeneti mértékegység választására, természetesen a köbmétert választottam, hiszen a feladat megfogalmazásakor már rögzítettem, hogy hulladéklerakó térfogatát köbméter élességgel szeretném előállítani.



46. ábra Felületek kiválasztása a térfogatszámításhoz [saját forrás]

47. ábra Térfogatszámítás [saját forrás]

A felületek közötti teljes térfogat 413.504 m³. A Kunság-Halas Nonprofit Kft. által szolgáltatott Hidrad-Geo Bt. által 2023 decemberében GNSS technológiával végzett felmérés alapján (472 db mért pont rácshálóban és jellemző pontokon) a depónia teljes térfogata 400.203 m³ volt. Az éves térfogatmennyiség növekedés a szilárdhulladék lerakó depónia területén a korábbi mérések szerint 25-30.000 m³. A jelenlegi felmérés által számított térfogat időarányosan számolva jól illeszkedik a korábbi évek változásaihoz, a fél éves időszakra eső térfogat változás kb. 13.000 m³.

A Kiskunhalasi Hulladéklerakó kezelőjétől sajnos nem sikerült adatot gyűjtenem arra vonatkozólag, hogy a depónia területén mennyi hulladék elhelyezésére van engedély, és milyen magasságig tölthető fel a depóniatér. Ezen adatok ismeretében lehetőség lett volna meghatározni, hogy mekkora térfogatú földtömeg befogadására képes még a hulladéklerakó. Továbbiakban becslést is tudtam volna végezni (a korábbi mérési eredmények felhasználásával), hogy hány év múlva kerül teljesen feltöltésre a hulladékdepónia.

[19]

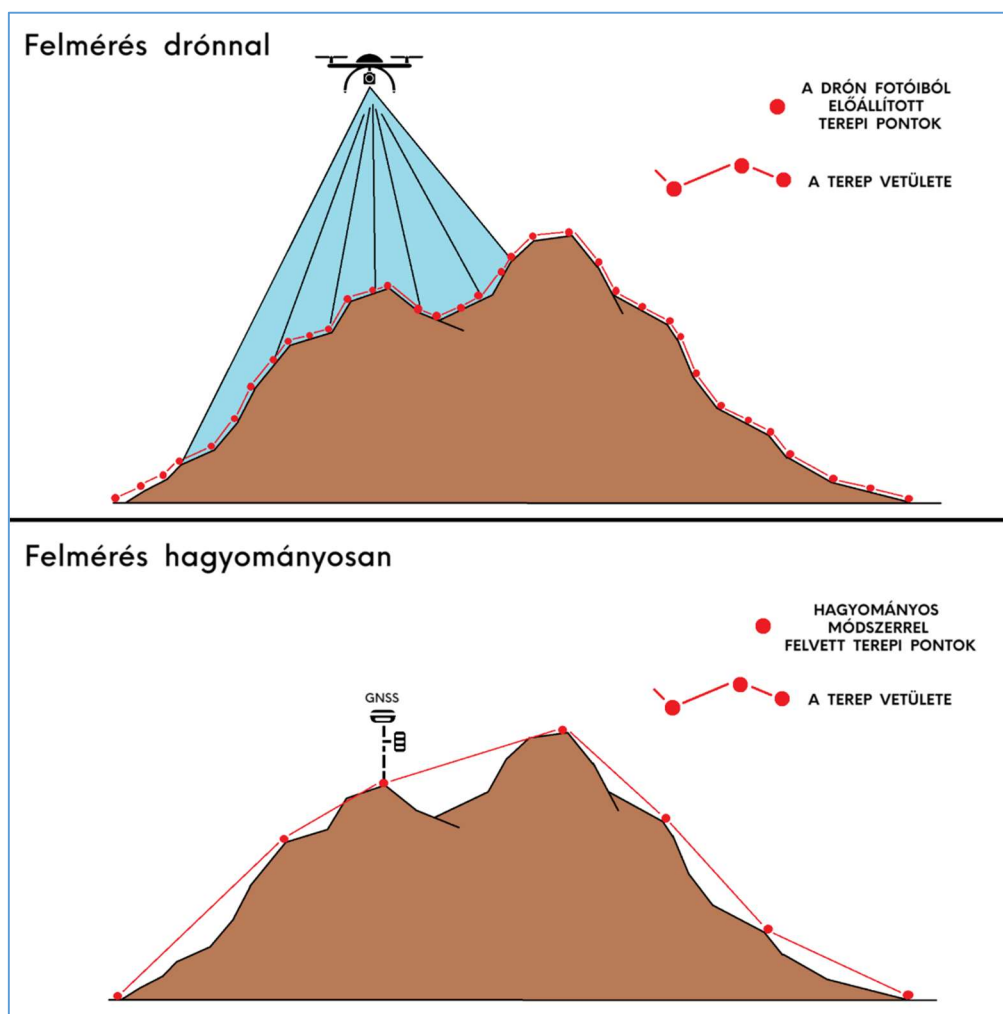
9. KONKLÚZIÓ

A térfogatszámítás eredményének, valamint az előállított termékek függvényében belátható, hogy az UAV felmérés alapján fotogrammetriai módszerrel végzett térfogat meghatározásnak igenis helye van a hagyományos geodéziai felmérésekkel (GNSS technológia, mérőállomás) végzett földtömegmérésnek, sőt legtöbb esetben az eljárás azok kiváltására is alkalmas. A drónnal történő felvételezés előnyeire a felületek modellelemzésen alapuló depóniák térfogatszámítására, ezen belül a szilárdhulladéklerakó felmérés teljes folyamatának vizsgálata tükrében az alábbiak szerint kaphatunk igazolást.

Költséghatékony? Igen, kisebb projektek esetén ez nem mindig igaz, hiszen egy komplex rendszer (drón, kamera, szoftver, erős PC) beruházása szükséges, de a nagyobb projektek elvégzéséhez növekvő munkaerőköltséggel kell számolnunk. Az adatgyűjtés hatékonysága és sebessége terepen töltött idő lerövidítésével költséghatékonyabbá tehetjük projektünket.

Időmegtakarítás? Igen, a drónnal végzett térfogatmérés gyorsabb folyamat volt, mint a hagyományos földmérési módszer. A felmérés ideje csakugyan nem volt hosszabb 15 percnél, de a helyszínen még számolnunk kell az illesztőpontok kihelyezésével, GNSS-szel történő bemérésével, csak a mérés idejére kihelyezett (nem fix) illesztőpont jelek begyűjtésével. A repüléssel együtt a teljes időtartam kb. 1.5 óra volt, ellenben a GNSS RTK-val történő felmérés 3-4 órát vett igénybe.

Nagy pontosság? Igen, de a felvételezés pontossága a GNSS-RTK-val is biztosítható. A hagyományos mérési módszer ugyan nagyon pontos, viszont nem elég részletes adatot szolgáltat. Ezt szemlélteti a következő ábra, melyből kiolvashatjuk, hogy a felmérés helyén nagyon pontos adatot kapunk. A földi eljárás során 472 pont került rögzítésre, melyből kiszámítható, hogy egy 10.5*10.5 méteres rácshálóban végeztem a felmérést. Ennek a 110 m² felületnek egyetlen pontján biztosítottam a néhány centiméteres pontosságot. Az elkészült ortofotomozaik (1.45cm/pix) viszont minden pontjában biztosítja az 5cm-es megbízhatóságot és annak értéke az ortofotóról közvetlenül leolvasható.(lásd: 48.ábra)



48. ábra Gnss és drónos felmérés összehasonlítása [19]

Fokozott biztonság? Igen, és ami az előzőek közül talán a legfontosabb. Sajnos a háztartási hulladékgyűjtőkből bekerülő anyagokat nem lehet ellenőrizni, így a szilárd-hulladék depónia területére mindenféle szemét bekerülhet. Ezek anyaga minősége szerint lehetnek beton, téglák, cserép, üveg, műanyag, fa, fém, azbeszt tartalmú anyagok természetes alapú szövetek, pamutruha, szennyezett anyagok, növényvédőszer, háztartási vegyszer, festék, hígító, elem, olajos hulladék stb. Formáját, szerkezetét és összetételét tekintve beláthatjuk, hogy ezen a területen történő „barangolás” nem épp veszélytelen feladat, különös tekintettel a depóniában jellemző hirtelen magasságkülönbségek, meredek lejtők, rézsűk, hulladék kupacok gyakori előfordulására.

Úgy érzem a technológiával kapcsolatos megismerkedésem nagy mértékben befolyásolta az a tény, hogy a drónok segítségével lehetővé válik a veszélyes területek, objektumok vizuális ellenőrzése, így a munkában részt vevőknek nem szükséges veszélyes helyekhez hozzáférniük. Az UAV által nagy mértékben csökkenthető a leesés, sérülés előfordulási esélye és egyéb potenciális biztonsági kockázatok. Az eszközök emellett valós időben képesek adatgyűjtésre akár vészhelyzetben vagy természeti katasztrófák esetén is, lehetővé téve a gyors reakcióidőt és döntéshozatalt. [1]

Sokoldalúság? Igen, a pilótanélküli légi járművek alkalmazási területei különböző iparágakban építészet, mérnökgeodézia, vonalas létesítmények felmérése, vízgazdálkodás, mezőgazdaság, erdészet, környezetvédelem, természetvédelem, geológia, geokartográfia, régészet, talajtan, talajtérképezés, közlekedés, bűnügyek felderítése már most jelen van, de az alkalmazási területek száma csak növekszik.

Az általam elvégzett felmérés és előállított végtermékek nem csak a térfogat kiszámítására és a hulladékkezelő által adatszolgáltatásra benyújtandó vektoros állomány vagy szintvonalas térkép előállítására alkalmas, hanem az elkészült sűrű pontfelhő, digitális felületmodell, 3D modell vagy ortomozaik elősegíti a jobb projekttervezést. Ezen adatok a pontos topográfiai információk révén olyan segítséget jelentenek, ami segíti a helyszíni adatgyűjtést, elemzést, tervezést és megvalósíthatósági döntéseket. A pontos adatokkal a beruházók, tervezők, mérnökök és projektmenedzserek tájékozott és megalapozott döntéseket hozhatnak, aminek következtében optimalizálhatják a tervezési-kivitelezési folyamatokat és erőforráselosztást.

Egyes munkafolyamatok hagyományos módon történő monitorozása, vizsgálata több idő és több hibalehetőség is. A drónok használatával lehetővé válik a madártávlatból történő megfigyelés, mely során egészében és részleteiben is vizsgálható a munkaterület. A projektmenedzserek részére biztosítja az előrehaladás nyomon követését, a problémák észlelését és a tervtől való eltérések azonosítását. Az előállított generált rendszeres légi felvételek, előállított végtermékek segítik a kommunikáció hatékonyság, a gyors információáramlást, a koordinációt a résztvevők között és biztosítják a projekt időben történő befejezését. [1]

További lehetőségként a drónunkon rögzíthetünk multispektrális kamerákat és szenzorokat, melyek segítségével információt gyűjthetünk a hulladéklerakó feletti levegő és a depónia környezetének szennyezettségéről. A drónra szerelt hőkamerák segítségével gyors információt kaphatunk az előforduló tüzeseteknél a gócpontok felderítésére, öngyulladás helyének beazonosítására, tűzoltási folyamatok támogatására.

„A drónok szépsége abban rejlik, hogy olyan látványokat képesek megragadni, amelyekről csak álmodni tudunk.” [20]

10.ÖSSZEFOGLALÓ

Szakdolgozatomban egy konkrét feladat során kerestem a választ arra, hogy egy hagyományos geodéziai módszerrel, GNSS RTK technológiával térfogatszámításhoz végrehajtott felmérés, hogyan helyettesíthető pilóta nélküli légitárművel történő felvételezéssel és az ahhoz kapcsolódó térinformatikai szoftverek használatával. Vizsgálandó kérdésként fogalmaztam meg a dróntechnológia előnyeinek igazolhatóságát.

A dolgozatban egy évente felmérésre kerülő hulladéklerakó depónia felmérését hajtottam végre UAV segítségével, úgy hogy az előállított végtermék felhasználásával elvégezhessem a térfogatszámítási feladatokat és előállítsam az előre megfogalmazott követelmények szerinti dokumentációt és digitális állományokat.

Részletesen bemutattam, hogy a kiválasztott Dji Phantom 4 RTK milyen specifikációval rendelkezik, milyen előnyökkel bír a repüléstervezés, repülés végrehajtás és az eszköz könnyű kezelhetősége terén. A feladat végrehajtásához választott beállítási lehetőségek elemzése mellett az elvégzendő ellenőrzési, előkészítési és konkrét vészhelyzetkezelési folyamatokra is kitértem.

A helyszínen elvégzendő feladatok nem csak a repülési terv alapján történő felvételezésre, hanem a képek abszolút tájékoztatásához szükséges illesztőpontok elhelyezésére és felmérésére is kiterjedtek.

Az elkészült fényképeket az Agisoft Metashape nevű szoftverrel végeztem, amelyet könnyű kezelhetősége, biztonságos, felhasználóbarát és átlátható felülete miatt rendkívül jól használható programnak ismeretem meg. A program segítségével elvégeztem a képek összeillesztését, tájékoztatását, pontfelhők generálását. Előállítottam 3D modellt, digitális magassági modellt (DEM) és ortomozaikos térképet. Különböző színfokozatos térképek előállításával pedig plasztikus 2D térképeket hoztam létre. Az előállított végtermékeket jellemzően Tiff formátumban exportáltam, amely számos képkezelő szoftver számára megnyitható és könnyen kezelhető formátum az információk vesztese nélkül, valamint a térinformatikai szoftverekkel is jól használható formátum.

A tér adatok feldolgozásához, térfogatszámításhoz a Global Mapper 25.1 programot, használtam, amelyben még a próbaverzióként is rendkívül sok elemzésre adott lehetőséget. A térfogatszámításhoz az Agisoftból kiexportált DEM-et és a Global Mapper segítségével a dxf állományból előállított felületmodellt használtam fel.

A meghatározott térfogat számszakilag jól illeszkedett a hulladéktároló térfogatváltozását folyamatosan nyomon követhető egyéb geodéziai mérésekhez.

Az eredmények elemzését tekintve jól igazolható az UAV használata térfogatszámítási feladatok elvégzéséhez akár még a kisebb projektek esetében is, különös tekintettel a biztonsági kockázatok jelentős csökkenésének függvényében.

11. SUMMARY

During a specific task in my thesis, I searched for the answer to how a survey carried out for volume calculation using a traditional geodetic method, GNSS RTK technology, can be replaced by surveying with an unmanned aerial vehicle and the use of related geospatial software. I formulated the verifiability of the advantages of drone technology as questions to be examined. In the thesis, I carried out a survey of a landfill site that is surveyed every year with the help of a UAV, so that I could use the produced final product to perform the volume calculation tasks and create documentation and digital files according to the pre-formulated requirements. I presented in detail the specifications of the selected Dji Phantom 4 RTK, what advantages it had in terms of flight planning, flight execution and ease of use of the device. In addition to the analysis of the setting options chosen for the execution of the task, I also discussed the control, preparation and specific emergency management processes to be carried out. The tasks to be carried out on site did not only cover the recording based on the flight plan, but also the placement and assessment of the alignment points necessary for the absolute orientation of the images. I took the photos with the software called Agisoft Metashape, which I know as an extremely easy-to-use program due to its easy handling, safe, user-friendly and transparent interface. With the help of the program, I joined the images, oriented them, and generated point clouds. I produced a 3D model, a digital elevation model (DEM) and an orthomosaic map. I created plastic 2D maps by producing different color gradation maps. I typically exported the produced final products in Tiff format, which is a format that can be opened and easily handled by many image management software without losing information, as well as a format that can be used well with geospatial software. I used the Global Mapper 25.1 program for spatial data processing and volume calculation, which, even as a trial version, provided an extremely large number of analysis opportunities. For the volume calculation, I used the DEM exported from Agisoft and the surface model created from the dxf file with the help of Global Mapper. Looking at the analysis of the results, the use of the UAV to perform volume calculation tasks can be well justified even in the case of smaller projects, especially in relation to the significant reduction of safety risks.

12. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] PlanRadar, 21 07 2023.07.21. [Online]. Available: <https://www.planradar.com/hu/dronok-az-epitoiparban/>. [Hozzáférés dátuma: 28 04 2024].
- [2] ConstructionChat, „<https://twitter.com/ConstructChat/status/466341635895611392>,” 14 05 2014. [Online]. [Hozzáférés dátuma: 28 04 2024].
- [3] G. S. Office, 31 08 2019. [Online]. Available: <https://www.facebook.com/gamiaosurveyingoffice/posts/even-in-the-midst-of-heavy-rain-surveyors-are-survivorsteamgso/2334121363570787/>. [Hozzáférés dátuma: 28 04 2024].
- [4] Légi Térképészeti és Távérzékelési Egyesület, „acrsa.org/hu,” [Online]. Available: <https://acrsa.org/hu/index.php/fogalomtar>.
- [5] DroneDeploy, „dronedeploy.com,” 11 2023. [Online]. Available: <https://help.dronedeploy.com/hc/en-us/articles/1500004963922-Volume-Measurement-with-Drones>. [Hozzáférés dátuma: 30 04 2024].
- [6] Kunság-Halas Nonprofit Kft., „www.kunsaghalas.hu,” 2014. [Online]. Available: <https://kunsaghalas.hu/?q=node/3>. [Hozzáférés dátuma: 12 04 2024].
- [7] Légtér.hu Kft., „legter.hu,” Légtér.hu Tanácsadó Korlátolt Felelősségű Társaság, 2021. [Online]. Available: <https://legter.hu/legterkereso-terkep>.
- [8] DJI, DJI Phantom 4 RTK -Felhasználói kézikönyv, Duplitec Kft, 2019.
- [9] D. h. J. Tamás, Szerző, *AUTUNÓM REPÜLÉSI TERV KÉSZÍTÉSE*. [Performance]. 2023.

- [10] SurveyTransfer Team, „surveytransfer.net,” 2019. [Online]. Available: <https://surveytransfer.net/3-lepes-egy-siker-es-dronos-fotogrammetriai-repulesi-utvonaltervezeshez/>. [Hozzáférés dátuma: 30 04 2024].
- [11] F. Zoltán, „GNSS-mérési módszerek megbízhatóságának vizsgálata,” *GEODÉZIA ÉS KARTOGRÁFIA*, pp. 24-28, 2023 / 1 (75. évf.).
- [12] Légtér.hu Kft., „legter.hu,” 2021. [Online]. Available: <https://legter.hu/blog/dron-checklist/>. [Hozzáférés dátuma: 30 04 2024].
- [13] L. U. DRONE, „www.letusdrone.com,” 01 01 20218. [Online]. Available: https://www.letusdrone.com/seagulls-attacked-my-drone/?utm_content=cmp-true. [Hozzáférés dátuma: 30 04 2024].
- [14] I. Kft., „www.photoscan.hu,” Agisoft, 2019. [Online]. [Hozzáférés dátuma: 04 2024].
- [15] LehoczkyM-SikiZ, „Fotogrammetriai feldolgozószoftverek1,” *GEODÉZIA ÉS KARTOGRÁFIA*, pp. 23-27, 2020/2.
- [16] Lechner Nonprofit Kft, „eht2.gnssnet.hu,” 2024. [Online]. [Hozzáférés dátuma: 28 04 2024].
- [17] D. M. László, „Digitális Fotogrammetria - Áttekintés (A geoinformatika fejlődésének szakaszai),” 2024 11 2011. [Online]. Available: <http://earth.geo.u-szeged.hu>. [Hozzáférés dátuma: 28 04].
- [18] D. J. Tamás, Szerző, *Fotogrammetria 10..* [Performance]. 2010.
- [19] G. M. 25.1, „www.bluemarblegeo.com,” Blue Marble Geographics, 20 03 2024. [Online]. [Hozzáférés dátuma: 30 04 2024].
- [20] S. Johanna, „Hulladékdepónia térfogatszámítása INSAR és,” 2022.
- [21] IDRONES, „idrones.hu,” 2023. [Online]. Available: <https://idrones.hu/anyagdepofelmeres-foldtomegyszamitas-fotogrammetriaval/>. [Hozzáférés dátuma: 30 04 2024].

[22] C. D. Academy, „www.chennaidroneacademy.com,” [Online]. Available: <https://chennaidroneacademy.com/>. [Hozzáférés dátuma: 30 04 2024].

[23] saját, *Helyszínrajz Kiskunhala 0995/12*, 2022.

13. ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra Extreme Surveyors [2] [3]	4
2. ábra: Helyszínrajz (M:1:4000)[saját forrás]	7
3. ábra Felmérendő depónia kijelölt poligonnal[saját forrás]	8
4. ábra Légtérkereső térkép [7]	8
5. ábra Eseti légtérhasználatra vonatkozó előírások [7]	9
6. ábra DJI Phantom 4 RTK drón és távirányító [8]	9
7. ábra GSR beépített repülési terv készítő szoftver [8]	10
8. ábra 1" CMOS 20 Megapixeles RGB kamera [8]	11
9. ábra Phantom DJI 4 beépített RTK modul [8]	12
10. ábra Phantom 4 vezérlőegység [8]	13
11. ábra DJI Ph4 Pro intelligens akkumulátor (5870 mAh) [8]	14
12. ábra Repülési formációk [saját forrás]	18
13. ábra Repülési terv (terület, formáció és repülési irány kijelölése) [saját forrás]	20
14. ábra Paraméterek beállítása [saját forrás]	20
15. ábra Paraméterek beállítása [saját forrás]	21
16. ábra Paraméterek beállítása [saját forrás]	22
17. ábra Illesztőpont(GCP) [saját forrás]	23
18. ábra Illesztőpont (festett) [saját forrás]	24
19. ábra Illesztőpont mérés GNSS RTK vevővel [saját forrás]	25
20. ábra Az UAS felszállás előtt a "Home point"-on [saját forrás]	27
21. ábra Kamera helyzetének megbízhatósága a felvételezés idején [saját forrás]	29
22. ábra Veszélyhelyzet [13]	30
23. ábra Számítógép specifikációk [saját forrás]	32
24. ábra Képek betöltése [saját forrás]	33
25. ábra Tárolt metaadatok (WGS84 koordináták) [saját forrás]	33
26. ábra EHT2 transzformáció [15]	34
27. ábra Képekhez tartozó EOVS koordináták (transzformáció után) [saját forrás]	35
28. ábra Képekhez tartozó EOVS koordináták (Agisoft Metashape-ben) [saját forrás]	36
29. ábra Ritka pontfelhő (relatív tájékozás) [saját forrás]	37
30. ábra Mért illesztőpont-koordináták (EOVS) [saját forrás]	38

31. ábra Külső tájékozás pontosítása az illesztőpontokon [saját forrás].....	38
32. ábra Pontos irányzás végrehajtása az illesztőponton [saját forrás].....	39
33. ábra Sűrű pontfelhő előállítás paraméterei [saját forrás]	40
34. ábra Színezett sűrű pontfelhő [saját forrás]	40
35. ábra DEM előállítás paraméterei [saját forrás]	41
36. ábra Színezett DEM modell [saját forrás].....	41
37. ábra Dombárnyékolásos (hillshading) modell [saját forrás].....	42
38. ábra Ortomozaik készítésére vonatkozó paraméterek [saját forrás]	43
39. ábra Ortomozaikos térkép [saját forrás].....	43
40. ábra Ortomozak (részlet) [saját forrás]	44
41. ábra Referencia felület (vektoros) [saját forrás]	45
42. ábra Referencia felület (térmodell) [saját forrás].....	46
43. ábra Alapfelület eredeti felmérésből származó adatokkal [saját forrás].....	46
44. ábra Eredeti DEM modell [saját forrás],	47
45. ábra Keretre vágott DEM modell [saját forrás]	47
46. ábra Felületek kiválasztása a térfogatszámításhoz [saját forrás]	47
47. ábra Térfogatszámítás [saját forrás]	47
48. ábra Gnss és drónos felmérés összehasonlítása [19]	50

14.TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. táblázat Repülési terv készítéséhez használt szoftverek (részlet) [9]	16
--	----