



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar

Geoinformatikai intézet

SZAKDOLGOZAT

Digitális domborzatmodell előállítása fotogram- metriai technológiával

OE-AMK

2023

Hallgató neve: Karsai István

Hallgató törzskönyvi száma: T000591/F112904/A-G



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Karsai István

Szakedolgozat száma: [REDACTED]

Törzskönyvi száma: T000591/FI12904/A-G

Neptun kódja: [REDACTED]

Szak: földmérő és földrendező mérnök

Specializáció: Geoinformatika specializáció

A dolgozat címe: Digitális domborzatmodell előállítás fotogrammetriai technológiával

A dolgozat címe angolul: Production of a digital terrain model using photogrammetric technology

A feladat részletezése:

1. Szakirodalom és Internetes források alapján ismertesse a domborzatmodellezés lehetséges megoldásait és alkalmazási területeit. Külön érjen ki az UAV technológiára.
2. Készítse el a kijelölt területről a felvételeket UAV-on rögzített digitális kamerával.
3. Végezze el a kijelölt felvételek tájékozását és kiértékelését a rendelkezésre álló modellező szoftver segítségével.
4. Készítse el a terület domborzatmodelljét és pontossági szempontból hasonlítsa össze az elkészült modellt egy korábban készült LIDAR pontfelhővel.
5. Az elvégzett munkát műszaki leírásban összegezza.

Intézményi konzulens neve: Dr. Jancsó Tamás

A kiadott téma elévülési határideje: 2025. 07. 10.

Beadási határidő: 2023. 05. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2023. 03. 27*



[Signature] Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom: 2023. 05. 15.

[Signature] Dr. Jancsó Tamás
belső konzulens

.....
külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai intézet

HALLGATÓI NYILATKOZAT

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

Kelt: Nyíregyháza, 2023. május 11.

.....
hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

1.	BEVEZETÉS	1
2.	DOMBORZATMODELLEZÉS	3
2.1	Fotogrammetria	5
2.1.1	Belső tájékozási elemek	6
2.1.2	Külső tájékozási elemek	7
2.2	Háromdimenziós lézeres mérés (LiDAR)	7
3.	DOMBORZATMODELLEK ALKALMAZÁSA KÜLÖNBÖZŐ SZAKTERÜLETEKEN.....	9
3.1	Digitális felszínmodell	9
3.2	Háromdimenziós városmodellezés.....	9
3.3	Bányafelmérések	10
3.4	Régészeti feltárások	11
3.5	Mezőgazdaság	12
4.	KÖZVETLEN GEOREFERENCIA.....	13
5.	A FELMÉRT TERÜLET BEMUTATÁSA	14
5.1	Környezeti viszonyok szemrevétele.....	14
6.	A TEREPI MÉRÉSEK ELVÉGZÉSE.....	15
6.1	Az alkalmazott eszközök bemutatása.....	16
6.2	A repülési terv elkészítése.....	18
6.3	A tájékozáshoz használt illesztőpontok telepítése	23
6.4	A repülés végrehajtása	24
7.	A KINYERT ADATOK FELDOLGOZÁSA.....	27
7.1	Nyers adatok előkészítése a 3DSurveyben való felhasználásra	27

7.2	A 3D Survey szoftver alapvető funkciói	29
7.3	A pontfelhő előállítása	30
7.4	A kiértékeléshez használandó adatok előállítása	39
8.	KIÉRTÉKELÉS	43
8.1	A telemetriával előállított és a LiDAR felmérés eltérései	44
8.2	Az illesztőpontokkal előállított és a LiDAR felmérés eltérései	49
8.3	Az illesztőpontokkal és a telemetriával előállított felmérések eltérései	54
9.	MŰSZAKI LEÍRÁS	59
10.	ÖSSZEGZÉS	64
11.	SUMMARY	65
12.	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	66
13.	IRODALOMJEGYZÉK	67
14.	ÁBRAJEGYZÉK.....	70

1. BEVEZETÉS

Az elmúlt évek során a korábbiakhoz képest nagymértékben felgyorsultak a folyamatok az életünk számos területén, így a mérnöki ágazatokban is. A technológiai fejlődés egyenes következménye a munkavégzés könnyebbé és gyorsabbá válása, amely befolyással van többek között a megrendelők igényeire. Az ezekhez a megnövekedett igényekhez alkalmazkodó mérnököknek fontos a különböző, a modern technika által nyújtott lehetőségek ismerete, és az alkalmazásukhoz szükséges tudás birtoklása.

Ezek közé a modern megoldások közé tartozik a jelen szakdolgozat témája, a pilóta nélküli légi járművekkel végzett terepfelmérések elvégzése a földmérő szakmán belül. Fontosnak tartom a folyamatos fejlődést a munkámban, így igyekszem a legmodernebb eszközökkel magam is megismerkedni, és ezt a megszerzett tudást tovább adni mindazok számára, akik hozzám hasonlóan vélekednek. Az UAV (Unmanned Aerial Vehicle) felmérések számos területen alkalmazhatóak, rendkívül gyorsan elvégezhetőek, igen pontosak és megbízhatóak.

Témámat a fentebb is említett indokok mellett a saját preferenciám okán is választottam. Számomra ezek az úgynevezett drónnal végzett felmérések mindamellet, hogy rendkívül hatékonyak és gazdaságosak, szórakoztatóak is. Egy-egy ilyen fajta munka közben a kvadrokopter irányításával játszva dolgozik a geodéta.

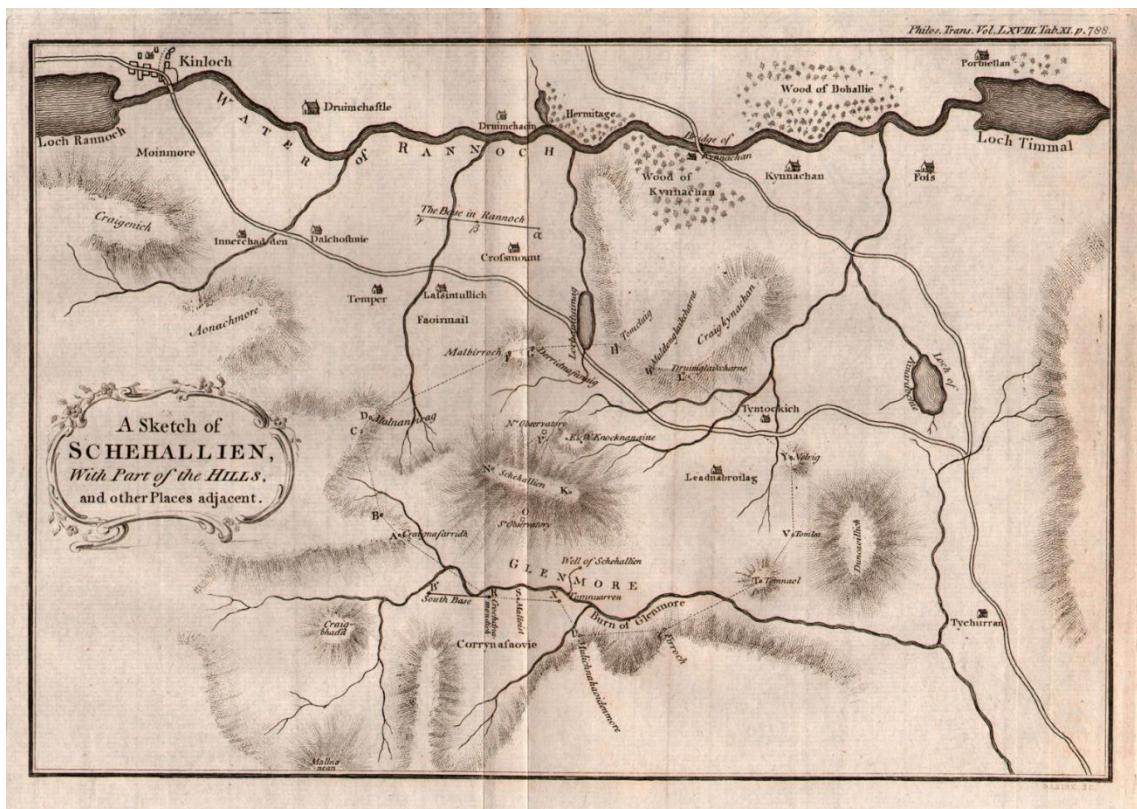
Ugyanakkor az utóbbi években a jogi környezetben történt változások jelentősen megnehezítik a kamerával ellátott UAV-k használatát a földmérő mérnökök, vagy akár csak a fotózással foglalkozó vállalkozók számára. A rendkívül körülményes procedúrának köszönhetően a jogilag tiszta felmérések érdekében nem árt körültekintően tájékozódni a témában. Ennek ellenére, reményeim szerint, ez nem fogja elvenni a különböző szakágak mérnökeinek kedvét a technológiával való megismerkedéstől- és annak korrekt, felelősségteljes használatától.

A dolgozatom célja a földmérő munkatársak és a szakma iránt érdeklődők megismertetése a pilóta nélküli légi járművekkel végzett felmérések módszertanával, a kapott nyers adatok feldolgozásával, végül pedig egy adott területről, pontosabban a Székesfehérvártól

nem messze fekvő Iszka-hegy egy megadott területéről készített digitális domborzatmodell létrehozásával, valamint ennek a kapott modellnek és egy már ismert felületnek az összehasonlításával.

2. DOMBORZATMODELLEZÉS

A terepi viszonyok térbeli változásának ábrázolása (egyszóval a domborzatmodellezés) régóta jelen lévő igény a kartográfiában. 1778-ban készült el az első, a skóciai Schiehallion-hegyet és azt körbe vevő terepviszonyokat is ábrázoló térkép, amelyet az 2.1. ábrán látható módon Charles Hutton rajzolt meg.



2.1. ábra Charles Hutton a skóciai Schiehallion (akkori Schehallien) hegyet is ábrázoló vázlata

[22]

Az ehhez hasonló térképeket tekinthetjük a domborzatmodellezés kiinduló állapotának. Ezek nagy általánosságban a terep jellemző pontjainak magassági adatait, szintvonalait, völgyvonalait tartalmazzák [1].

Az elmúlt évtizedekben a kézzel történő rajzolást apránként felváltották a számítógépes ábrázolási módszerek. Ezeket a digitális állományokat eleinte a klasszikus térképek digitalizálásával hozták létre, ami történhetett állványra szerelt digitalizáló táblán kézi átrajzolással vagy kartográfiai szkennerekkel (2.2. és 2.3. ábra).



2.2. ábra: Állványra szerelt digitalizáló tábla

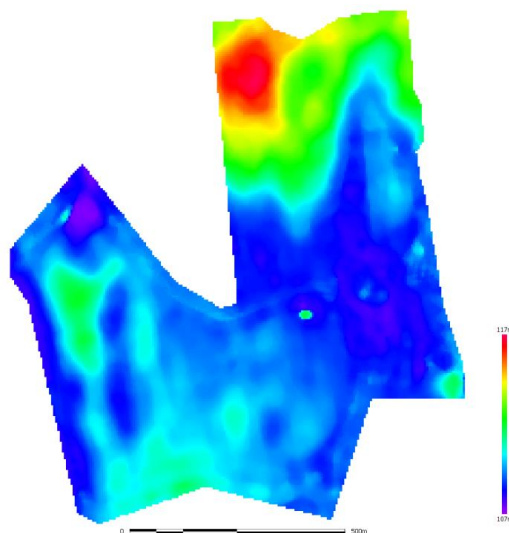


2.3. ábra: Cruse szkennер

[23]

[24]

Napjainkban azonban egyre elterjedtebb a légifényképek alapján történő (légi vagy űr fotogrammetriai) adatnyerés (2.4. ábra), a háromdimenziós lézeres letapogatás (LIDAR), illetve a radaros magasságmérés (pl. Sentinel-6 [2]). Ezek közül jelen dolgozatban a fotogrammetriai módszerrel fogok részletesen foglalkozni, a többi lehetőséget csak említés szintjén tárgyalom.



2.4. ábra: Fotogrammetriai digitális magasság modell

2.1 Fotogrammetria

A fotogrammetria jelentése: fényképmérés. A fotogrammetria a művészet és a mérnöki szakma határmezsgyéjén mozgó eljárás, amelyet elsősorban az egyes, a fényképen vagy fényképeken ábrázolt területek, épületek vagy tárgyak alakjának, elhelyezkedésének és méreteinek megállapítására használjuk. Magában foglalja a képkészítést, az ezeken történő mérést és a kapott adatok feldolgozását, elemzését [3].

Fotogrammetria alapjául a sztereoszkópia vagy sztereo képalkotás szolgál, amely lehetővé teszi az adott tárgyról a több különböző helyről készített képek szerinti háromdimenziós modell megalkotását. Ez ugyan csak az agyunkban létrejövő illúzió eredménye volt, de már azzal a technikával is képesek vagyunk méreteket (a sztenderdeknek megfelelő pontossággal) megállapítani (2.5. ábra).



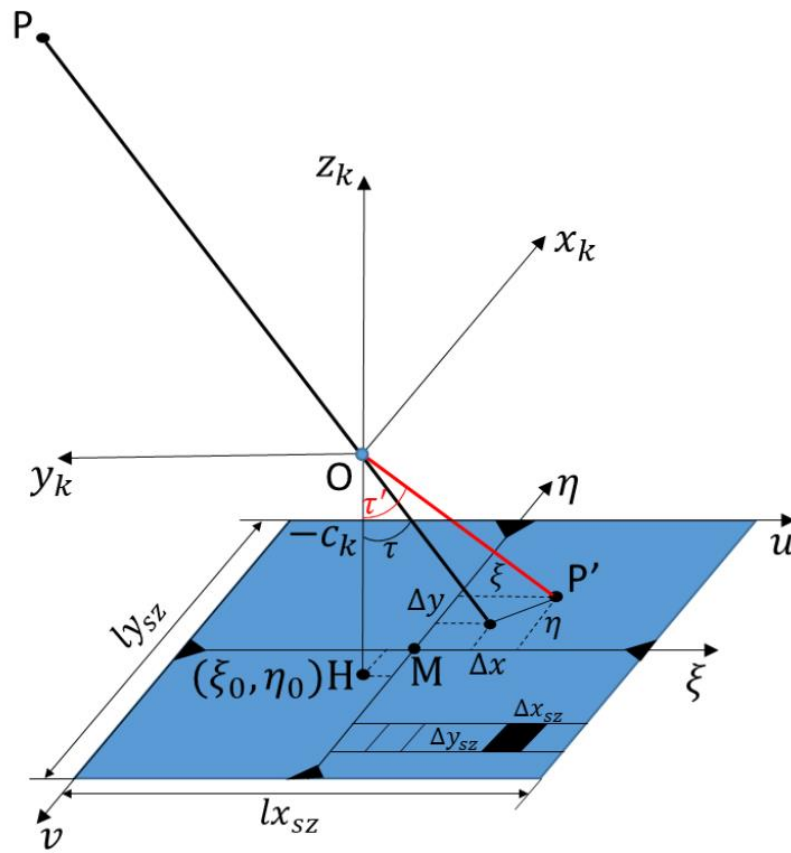
2.5. ábra: Manuális adatfeldolgozás sztereoszkóppal

Manapság, mint oly sok más területen, így a fotogrammetriában is a számítógépes szoftverek fejlődésére kerül a hangsúly.

A mai napig igaz azonban, hogy a fényképeken történő mérésekhez és az ábrázolt tereptárgyak valamilyen vonatkoztatási rendszerben való elhelyezéséhez szükségünk van nemcsak a felvételt készítő kamera adataira, hanem annak a térbeli pozíciójára is. Ezeket az információkat egységesen tájékozási elemeknek nevezzük. A kamera geometriai és optikai modelljét leíró paramétereit belső, míg a vetítési centrum térbeli helyét és a kamera elhelyezkedését leíró forgatási szögeket külső tájékozási elemeknek nevezzük.

2.1.1 Belső tájékozási elemek

A belső tájékozás feladata a kamera geometriai paramétereinek meghatározása, és ennek felhasználásával a pixel koordináta-rendszer és a kép koordináta-rendszer között felírható transzformációs egyenletek megoldása. Magában foglalja a képfőpont koordinátáit (ξ_0, η_0), a kameraállandót (c_k), a keretjelek helyét és a különböző (radiális, tangenciális és affín) elrajzolási vagy torzulási értékeket ($\Delta x, \Delta y$) (2.6. ábra) [25] [13].

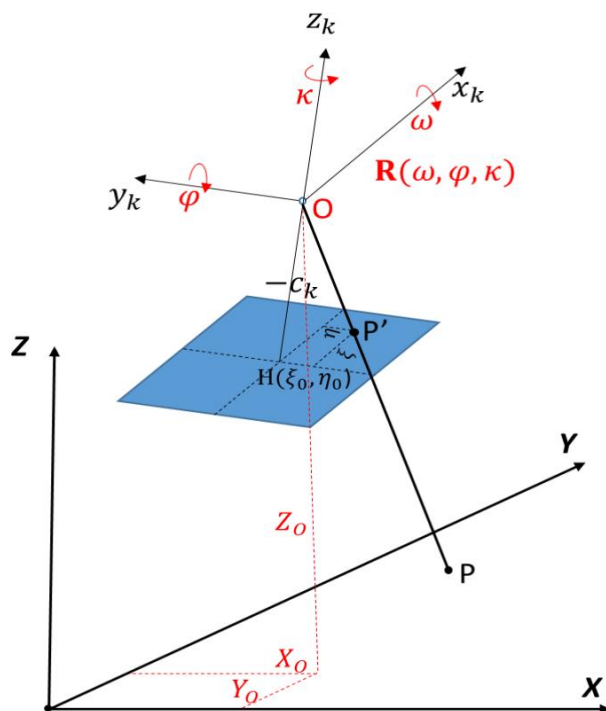


2.6. ábra: Belső tájékozási elemek

[13]

2.1.2 Külső tájékozási elemek

A külső tájékozási elemek feladata a szükséges térbeli paraméterek meghatározása. Ezek teszik lehetővé az abszolút tájékozást, azaz ezek segítségével tudjuk korrektül elhelyezni a készített képet egy előre meghatározott vetületi rendszerben (2.7. ábra). Idetartoznak a vetítési középpont adott vetületi koordinátái (XO , YO , ZO , ahol XO és YO jellemzően az Egységes Országos Vetületi rendszerbeli, azaz az EOVS koordinátákat jelöli, ZO pedig a Balti tengerszint feletti magasságot) és a kép- és tárgykoordináta-rendszer egymáshoz viszonyított elfordulása a három egymásra merőleges tengely körül (φ , ω , κ) [25] [13].



2.7. ábra: Külső tájékozási elemek

[13]

2.2 Háromdimenziós lézeres mérés (LiDAR)

A LiDAR, vagyis a Light Detection and Ranging elv egy távérzékelési módszerrel utal [4]. Lényegében egy lézervénnyel kibocsátó test a fény terjedési sebessége alapján méri a megtett utat egy bizonyos kibocsátási irányban, majd a visszaérkező fénycsóva alapján

számítja az adott visszaverő felület távolságát. Ezt több kibocsátási irányban elvégezve (akár teljes kupolaalakban), és a visszatérő sugarakból kinyert adatokat feldolgozva (távolságok és irányok) pontfelhőt kaphatunk, amelyet akár georeferálhatunk is (térben elhelyezhetünk). A georeferencia legegyszerűbb módja, ha az úgynevezett szkennert maga is tartalmaz egy IMU-t (Inertial Measurement Unit, azaz egy úgynevezett giroszkópot, a szögek mérésére használt elfordulásmérőt, egy gyorsulásmérőt, a különböző irányokba ható erők nagyságát mérő, és olykor egy mágneses mezőket monitorozó magnetométert tartalmazó rendszer [5]) és egy akár kiegészítő rendszerekkel is megtámogatott GNSS (Global Navigation Satellite System, vagy Globális Navigációs Műhold Rendszer) vevőt (2.8. ábra).

Használatuk nagyban gyorsítja a felméréseket, ellenben gyakran fölöslegesen nagy mennyiségű adatot kapunk. Ideálisak domborzatmodellezésre, mindenféle tereptárgyak külső-belső felmérésére.



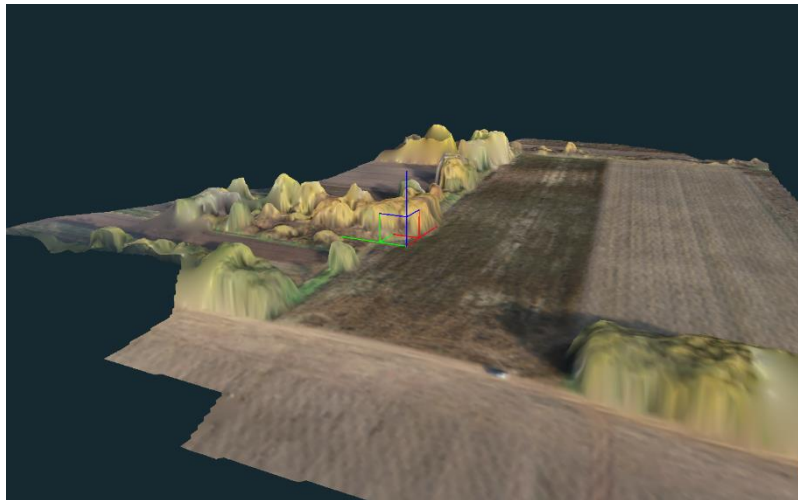
2.8. ábra: Drónra szerelt LiDAR szenzor

3. DOMBORZATMODELLEK ALKALMAZÁSA KÜLÖNBÖZŐ SZAKTERÜLETEKEN

A különféle felszíni adatok megismerése nem csak a földmérők vagy egyáltalán a mérnöki szakma számára lehet hasznos. Több ágazat is behatóan foglalkozik mind a domborzi viszonyokkal, mind a felszínmodellekkel.

3.1 Digitális felszínmodell

A digitális felszínmodell, röviden DFM vagy angolul DTM (Digital Terrain Model) illetve DSM (Digital Surface Model) egy komplexebb területfedési képet ad, mint a digitális domborzat modell (DDM vagy DEM, Digital Elevation Model [1]), ugyanis ez a terület lejtési viszonyain felül tartalmazza a tereptárgyakat úgy, mint épületeket, fákat, különböző létesítményeket. Jól használható például erdők határvonalának kijelölésére, a lombkorona talajra való levetítésével (3.1. ábra).



3.1. ábra: Digitális felszínmodell

3.2 Háromdimenziós városmodellezés

A DFM-ek egy különleges fajtái a 3D városmodellek. Ezek belterületen készült magas felbontású felületmodellek. Esetükben csupán a légi felvételek nem minden esetben

kielégítő, olykor helyszíni felméréssel, akár LiDAR technológiával, akár fotogrammetriai módszerekkel kiegészítve érdemes elkészíteni őket, a minden irányból jól mutató végeredmény érdekében. Például a Google Térképen elérhető nagyobb városok híresebb terein, de a jobb minőségű komplett városmodellek még váratnak magukra, mivel időigényes az elkészítésük és rengeteg tárhelyet igényelnek (3.2. ábra).

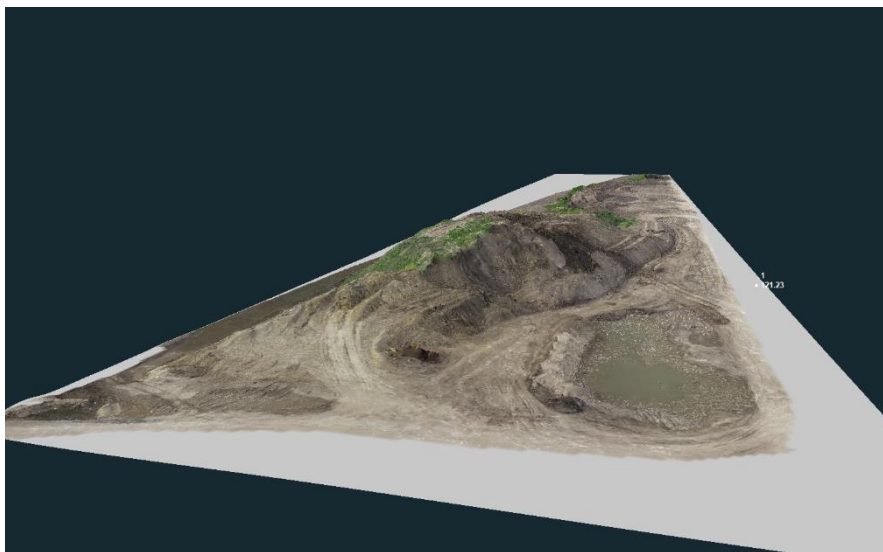


3.2. ábra: 3D városmodell

[17]

3.3 Bányafelmérések

A bányászati munkafolyamatok során a keletkezett meddőtalaj vagy humuszos felső talajréteg mennyisége fontos lehet a bányauzemeltető számára, amennyiben el szeretné szállíttatni, esetleg nyilvántartásba venni. Ekkor nagy szükség lehet az adott domb térfogatának kiszámítására, amit a területről készített domborzatmodell előállítás után másodpercek alatt ki tudunk értékelni különböző programok segítségével (3.3. ábra).



3.3. ábra: Bányamérés, földtömegszámítás

3.4 Régészeti feltárások

Építkezések előtt régészeti feltárásokat kell végezni az érintett területen belül, nehogy az alapozás során értékes leletek rongálódjanak meg. Az archeológusok a helyszínen úgy nevezett szondákat helyeznek el. Ezeket a kutatógödröket korábban GNSS vevő eszközzel pontosan felmérték, majd elvégezték rajtuk a földtömegszámítást. Manapság egyre elterjedtebbé válnak a drónokkal végzett felmérések, aminek következtében az eddig órák hosszát az ásatást járó geodéta percek alatt megtervez egy repülést a kérdéses szondák fölött, majd az adatok feldolgozása után néhány kattintással kinyeri a szükséges információkat (3.4. ábra).

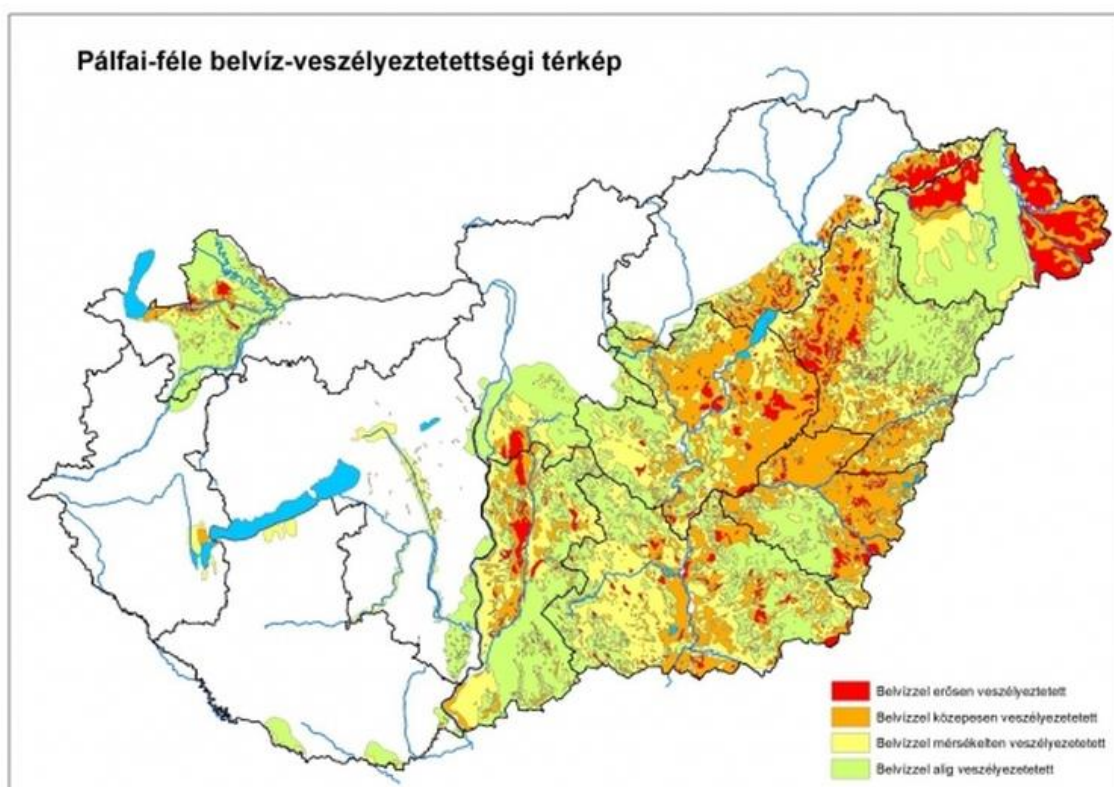


3.4. ábra: Régészeti feltárás Miskolcon

[18]

3.5 Mezőgazdaság

A mezőgazdasággal kapcsolatos tervezési munkálatokban is fontos szerepe van a domborzatnak (3.5. ábra). Előnyös tudni a potenciálisan kialakuló vízállások helyét, hogy a gazdák innen el tudják vezetni az állóvizet, ezáltal újabb jó minőségű termőföldekhez jutva [14]. (Ma már jól látható, hogy ennek a műveletnek nem csak pozitív hatásai lettek. A termőterületek ugyan megnöttek, de ezek idővel egyre rosszabb minőségűvé válnak, szikesednek.) A napsugarak beesési szöge pedig meghatározhatja a kialakítandó terményt (pl. déli lejtésű domboldalak).



3.5. ábra: Pálfi-féle belvíz-veszélyeztetettségi térkép

4. KÖZVETLEN GEOREFERENCIA

A közvetlen (másnéven direkt) georeferencia egy olyan eljárás, ami jelentős mértékben igyekszik csökkenteni a terepi előkészületek mértékét. Légiháromszögelésnél az UAV-val végzett fotogrammetriai méréseknél a földre elhelyezett néhány, pontos koordinátákkal meghatározott pont (Ground Control Point, röviden GCP) helyettesítheti a képenként kihelyezendő 4 illesztőpontot [6]. Azonban illesztőpontok nélkül is meghatározhatók nagy pontossággal a képek külső tájékozási elemei, ám ez a módszer speciális mérőműszerek elhelyezését igényli a drónunkon (ilyenek a 2.2-es pontban már említett GNSS vevő és inerciális egység). A GNSS vevőnk fontos, hogy tudjon több frekvencián is fogadni a műholdakról sugárzott rádióhullámokat, illetve képes legyen úgynevezett multikonstellációs (több műholdas hálózat egyidejű) érzékelésre. Ezeken felül szükséges a megfelelő szoftveres környezet, aminek a segítségével képesek vagyunk valós időbeni adatfeldolgozásra [7]. Mindezek azonban mit sem érnek a megfelelő vonatkoztatási rendszer nélkül (hazánkban ilyen az EOVS, Egységes Országos Vetületi rendszer), hiszen ez alapján tudjuk elhelyezni a (fotogrammetriában) képek pixeleit a minket körülvevő térben.

Ezek segítségével pillanatok alatt visszaállíthatjuk a kép készítésének pillanatában a kamera térbeli pozícióját, mivel a hálózati GNSS koordináta mérés minden fotó készítésekor megtörténik, így pontos koordinátákat kapunk az UAV helyéről, a helyzeti adatokat (különböző tengelyű elfordulások mértéke, yaw, pitch és roll értékek) pedig az IMU szolgáltatja.

Általánosságban elmondható, hogy a közvetlen georeferencia módszere minden képalkotó szenzorral használható, viszont LiDAR, SAR és egyéb szkennertípusú érzékelőkkel való alkalmazása elkerülhetetlen [7].

A fentebb ismertetett módszerrel és természetesen a megfelelő feldolgozószoftverrel (ilyen lesz a majd későbbiekben említett 3DSurvey) geodéziai pontosságú felméréseket

lehet elérni. Esetemben a DJI Phantom 4 RTK készülékével az elérhető vertikális koordináta pontosság ± 2 cm, a horizontális pontosságban pedig akár ± 1.2 cm (33m magasan repülve, GCP-k nélkül) [8].

5. A FELMÉRT TERÜLET BEMUTATÁSA

A területet, amelyen a méréseket végeztem, az Iszka-hegyen megtartott ötödik féléves terepi gyakorlati helyszínek közül az egyes számú terület biztosította számomra. Itt a terepviszonyok aránylag változóak, a lejtés a délkeleti rész irányában figyelhető meg, a délnyugati és északkeleti oldalak magasabban helyezkednek el, így onnan középre gyűlik össze az esővíz, és egy kisebb lejtéssel északnyugat-délkelet irányban egy természetes csatornán keresztül távozik a csapadék. Ez a középső, mélyebben fekvő sáv ugyanakkor éppen a jobb minőségű talajának köszönhetően (mivel a környező dombok termőrétege belemosódott az idők során) kisebb fákkal és bokrokkal tarkított.

5.1 Környezeti viszonyok szemrevétele

Hegytető lévén a nagyobb szélhőkésések előfordulásával is számolni kell, illetve a drónnal végzett mérések előtt mindig érdemes tájékozódni a megfelelő időjárásról. Az általam előszeretettel használt applikáció erre a célra az UAV Forecast, mivel itt gyakorlatilag minden érdeemi idekapcsolódó információt megtalálhatunk a következő 24 órára levetítve, legyen szó akár szélsébség, hőmérséklet vagy csapadék adatokról. Beállíthatjuk az általunk előnyben részesített határértékeket, és az alkalmazás piros színnel jelzi, ha valamelyik előfeltételünknek nem megfelelőek a körülmények (5.1. ábra).



5.1. ábra: UAV Forecast (a kép nem a felmérés napján készült)

A mérés napján nagy megkönnyebbülésre minden feltétel adott volt, késő délelőtt végeztem el a repülést, napsütöses időben, kiváló fényviszonyok között, maximálisan 25 km/h-ás széllökések kíséretében.

6. A TEREPI MÉRÉSEK ELVÉGZÉSE

A feladatom elvégzésére 2022. szeptember 12-én, egy hétfői napon került sor a már említett iskolai keretek között. A méréseket saját, illetve a Karsai Geodézia kft. tulajdonát képező műszerekkel végeztem el. A terepi adatgyűjtést megelőzően ellenőriztem a várható időjárást, szemügyre vettem a még addig nem ismert terepi viszonyokat (a Google térképszolgáltatásának segítségével) és repülési tervet készítettem a későbbiekben bemutatott módon.

6.1 Az alkalmazott eszközök bemutatása

Az általam használt eszközpalletta korántsem volt csúcskategóriás, ellenben a célnak tökéletesen megfelelt.

A GNSS RTK vevő céljára egy HI-TARGET V100 típusú kínai gyártmányú fejegység és egy szintén kínai gyártmányú iHand30-as Android OS-t (operációs rendszert) futtató kézivezérlő szolgált. Ez a rover képes a multikonstellációs- illetve a többfrekvenciás jelvételezésre és feldolgozásra. A forgalmazó oldalán található leírás [9] alapján támogatja a GPS (L1 C/A, L2E, L2C, L5), GALILEO (L1 BOC, E5A, E5B,), GLONASS (L1 C/A, L1, SAIF, L2C, L5), BEIDOU (B1, B2), SBAS illetve a minket nem érintő QZSS rendszereket. RTK üzemmódbeli pontossága horizontálisan 8mm + 1 ppm, vertikálisan 15mm + 1 ppm, amennyiben utófeldolgozással mérünk, úgy az értékek rendre 2.5 mm + 1 ppm-re, valamint 5 mm + 1 ppm-re redukálódnak. Az RTK inicializálása általában 8 másodpercen belül megtörténik, megbízhatósága pedig 99.9 %-os.

Az iHand30-as vezérlő egy 3.7 colos érintőképernyővel van felszerelve, mérsékelt ütésálló, IP67-es tanúsítvány szerint víz- és porálló, valamint rendelkezik WI-FI, Bluetooth és 4G kapcsolattal, így az RTK pozícióhoz szükséges SIM kártyát is ezzel az eszközzel érdemes kezelni (6.1. ábra).



6.1. ábra: Hi-Target V100 és iHand30

A pilóta nélküli légi jármű szerepére egy DJI Phantom 4 RTK típusú, négy rotorral rendelkező drónt vettem igénybe, ami szintén kínai gyártmányú, RTK modullal is ellátott és 1 colos CMOS szenzort használó fotogrammetriai műszer. Támogatja a multispektrális kamerákat is, de az általam használt eszközön csak a látható fény tartományában dolgozó 20 megapixeles f2.8-f11-es rekeszértékekkel rendelkező autofókuszos, 84 fokos látószögű, 100 méter magasságban 2.74 cm-es terepi felbontásra (Ground Sample Distance, azaz GSD) képes érzékelő volt megtalálható. Az itt megtalálható GNSS RTK modul kielégíti a 4. fejezetben említett közvetlen georeferenciához szükséges elvárásokat, valamint a Phantom tartalmaz IMU-t is. Találhatóak rajta közelségérzékelők, az esetleges ütközések elkerülésére, illetve gimbal (a kamera stabilizálásáért felelős eszköz) is a képek elmosódása ellen. Egy repülés alkalmával 25-30 percig is képes a levegőben maradni és aktívan dolgozni (tapasztalataim alapján az így felmérhető terület akár 30-40 hektár is lehet).

A kézivezérlő (kontroller) 2.4 GHz-es jelátvitellel kommunikál a drónnal, ennek segítségével az akár 7 km-es távolságból is irányítható (bár a hazai jogszabályok az OPEN kategóriában ezt a távolságot már nem engedélyezik). Található benne egy 4G képes USB-n keresztül csatlakoztatott internetkapcsolatot biztosító stick. A kijelzője 5.5 colos, kapacitív érintőkijelző. A DJI saját fejlesztésű szoftverét, a GS RTK applikációt használja a repülés előkészítésére és lebonyolítására (6.2. ábra) [10].

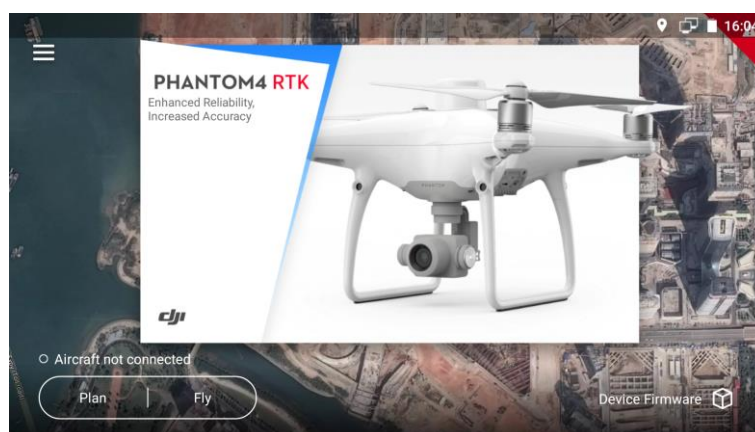


6.2. ábra: DJI Phantom 4 RTK és kontrollere

6.2 A repülési terv elkészítése

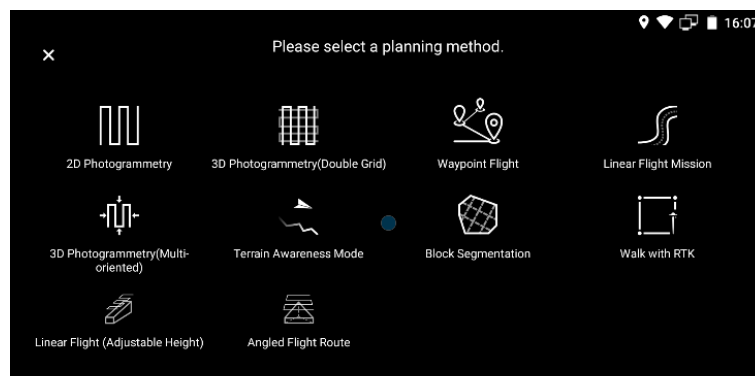
A repülési tervet a kézivezérlő gyári szoftverével, a DJI GS RTK-val akár a terepen is percek alatt el lehet készíteni, de tapasztalataim alapján érdemes már meglévő projekt-tel megérkezni a helyszínre, mert a felülethez tartozó térképszolgáltatók által biztosított háttértartalmak (például a Mapbox kisméretarányú ortofotói) időnként nem töltődnek be megfelelően, ezáltal a térképezni kívánt területet szinte lehetetlen megfelelően lehatárolni.

Első lépésként a „Power” gomb egy rövid és egy hosszú egymás utáni lenyomásával elindítjuk a kontrollert (a DJI termékek nagytöbbsége ezzel a módszerrel bírható működésre). Ezután 30-40 másodpercen belül az üdvözlőképernyőn találjuk magunkat, ahol bejelentkezhetünk a DJI fiókunkba a felhasználónevünkkel és jelszavunkkal, amiket a licenz megvásárlásakor adtunk meg (6.3. ábra).



6.3. ábra: DJI GS RTK kezdőlap

Ezután a kijelző bal alján található „Plan” gombra mutattva juthatunk el arra az oldalra, ahol kiválaszthatjuk a kívánt térképezési módszert (6.4. ábra).



6.4. ábra: Térképezési módszer kiválasztása

Itt tíz lehetőség közül választhatunk, melyek közül elmondható, hogy nagy általánosságban legfeljebb háromra lesz szükségünk. Ezek a 2D fotogrammetria, a 3D fotogrammetria, valamint a vonalban való felmérés.

A 2 dimenziós opciót akkor javasolt választani, ha nem különböző, akár kisebb kiterjedésű, a terepszintből jócskán kiemelkedő objektumok térképezését tartjuk elsősorban fontosnak, hanem inkább a terep általánosabb jellemzőire vagyunk kíváncsiak. Ezt érdemes használni terepmodellezésre, a felszínborítottság vagy (multispektrális kamerával való munka során) a vegetáció vizsgálatára.

A 3 dimenziós (kettős rácsos) repülési módot akkor érdemes választani, ha valamely általunk vizsgált tereptárgy oldalai is fontosak számunkra, illetve a magassági paramétereit is minél pontosabban szeretnénk megismerni. Ekkora a program a repülést úgy fogja megtervezni, hogy négy egymásra merőleges irányból is készít képet az adott objektumról (legyen az épület, földkupac vagy ipari létesítmény), valamint a kamera ilyenkor nem tökéletesen lefelé fordul, hanem bizonyos szögben (általában 60 fokban) előre tekint.

A vonalas felmérést értelemszerűen vonalas létesítmények monitorozására javasolt használni. Ilyen például az útépitések különböző fázisainak nyomon követése, a töltések földtömegszámítása, de akár elektromos hálózatokhoz kapcsolódó koordináta és kábel belógás mérésekhez is használható (habár ezutóbbihoz a duplarácsos az igazán pontos mérést eredményező megoldás).

Az én munkámhoz a szimplarácsos (2 dimenziós felmérés) opciót elegendőnek ítéltam, ekkor az UAV oda-vissza haladva, egymással párhuzamos sorokban készít képeket a területről (illetve a fordulóknál ettől eltérő irány is lehet), a kamera pedig pontosan lefelé (nadír irányba) tekint. Miután megtaláltam az opciók közül a legmegfelelőbbet az adott feladatra, rámutatással kiválasztottam és bekerültem a tervező felületre. Először is a háttérben látható térképen meg kell keresnünk a helyszínt, ahol

mérést akarunk végezni (ezt, ha a helyszínen vagyunk egy kék pont jelzi, ami a tartózkodási helyünk jele). Ezután rábökéssel kijelölhetjük a terület sarokpontjait, amiket ezután a szoftver lila pontokkal fog jelölni. A helyszín körvonalának kézzel történő körül jelölése elkerülhető, ha előzőleg például a Google Earth felületén készítünk egy KML típusú fájlt, ami tartalmazza a fő töréspontokat, mivel a GS RTK képes az ilyen kiterjesztésű állományokat kezelni. Ha így teszünk, az applikáció a szerinte optimális irányban meg is tervezi a repülést és a továbbiakban nekünk már csak a finomhangolás a teendőnk.

Azonban én az első verziót választottam, így a térképezni kívánt területnél jóval nagyobbat jelöltem körül (mindig célszerű a nagyobb terület kijelölésére törekedni, így legrosszabb esetben is több adatunk lesz, mint amennyire szükségünk van, ezeket pedig a későbbiekben redukálhatjuk a nekünk megfelelő méretre). Miután ezzel a lépéssel végeztünk (6.5. ábra), a jobboldali sávon kell fentről lefelé haladva beállítani a méréshez megfelelőnek ítélt értékeket.



6.5. ábra: 2 D fotogrammetria tervezése

Figyelni kell a repülési magassági korlátozás betartására (a programon belül egyébként is lehetőségünk van beállítani a legnagyobb felszínhez viszonyított repülési magasságot), ami az általam használt OPEN kategóriában 120 méterben van meghatározva [11]. Ezután ki tudjuk választani a drónunk sebességét, itt a rövidebb repülési idő érdekében célszerű a legmagasabbat választani, amennyiben rendelkezésünkre áll elegendő fény, hogy a záródó minél alacsonyabbra állításával sem kapjunk

sötét és ezért használhatatlan képeket. Borultabb időben illetve naplemente környékén amúgy sem jó döntés ez a mérési módszer, de ha elkerülhetetlen az alkalmazása, akkor ügyelni kell a lassabb sebességre és a hosszabb záridőre.

Lejebb megtaláljuk, hogy a kioldó időzítője mihez legyen kötve, távolsághoz vagy időhöz (distance vagy timed shooting). Itt a távolságot érdemes választani, mert ha az UAV-nak lassítani vagy gyorsítani kell idő közben (vagy hirtelen széllelés éri), a képek bázistávolsága akkor is megegyező lesz (RTK használatával ez nagyon pontosan mérhető).

Kiválaszthatjuk továbbá, hogy mit csináljon a mérést befejezve a drónunk, térjen-e haza vagy maradjon egyhelyben (Return-To-Home vagy Hover), esetleg szálljon le a végponton (Land).

Az „Altitude optimization” kapcsolót érdemes bekapcsolva hagyni, ekkora az eszköz a fotók készítésének végeztével még egy plusz utat megtesz a terület közepe felé 60 fokos kameraszöggel, ezen képek alapján a feldolgozás során pontosabb magassági modellt képes készíteni a program [12].



6.6. ábra: Kamera beállítások

Ha legörgetünk a jobb oldal aljára, két almenü található: kamerabeállítások (Camera settings, 6.6. ábra) és haladó beállítások (Advanced settings, 6.7. ábra).

Először a kamera beállításokkal kell foglalkozni, itt kiválaszthatjuk a fehéregyensúlyt, a fénymérés módját (ez határozza meg az expozíciót), a kamerát tartó gimbal

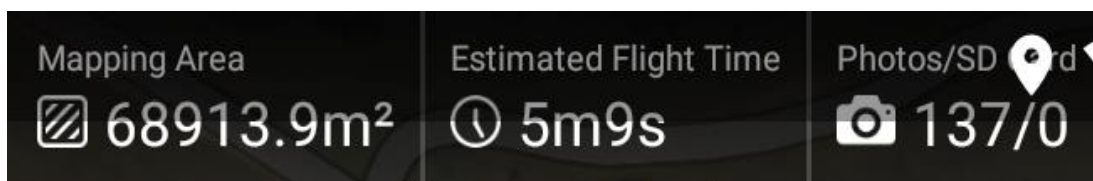
szögét (a 0 fok a talajjal párhuzamos, ha szeretnénk ortofotót is készíteni a helyszínről, akkor a -90 fok a javasolt), be tudjuk állítani a preferált záridőt (1/500-as záridő alatt már van esély a képek elmosódására) valamint a torzítás javítását.

A haladó beállítások között megtaláljuk a sorok közötti és a soron belüli átfedések beállítási lehetőségeit (százalékosan). Itt arra kell figyelni, hogy mindig több mint 50 százalékos legyen a képek közötti átfedés [13], mert az illesztési folyamatban így nem csak a szomszédos, de az eggyel távolabb készített képeken is van 10-20 százalékos úgynevezett „overlap”. Megtalálható még továbbá a „Margin” beállítása, ahol azt állíthatjuk, hogy a lehatárolás szélétől még mennyivel menjen tovább az UAV, hogy biztosan minden fontos elem szerepeljen a képeken. Ezt célszerű magunknak beállítani, mert az automatikus opcióval jócskán megnöveljük a repülési időt (a túlméretezett biztonsági ráhagyás miatt), és ha megfelelően van körül jelölve a terület, akkor csak haszontalan adatot nyerünk vele (6.7. ábra).



6.7. ábra: Haladó beállítások

Ha minden beállítással végeztünk, a felső sávon láthatjuk a repülésünk végső paramétereit (6.8. ábra). Itt láthatjuk a feltérképezni kívánt terület méretét, a becsült repülési időt és a készítendő fényképek számát.



6.8. ábra: A mérés paramétereit

6.3 A tájékozáshoz használt illesztőpontok telepítése

A külső tájékozási elemeket és ezzel együtt a digitális terepmodellt légiháromszögléssel pontosítottam, így ahhoz szükségem volt előre telepített illesztőpontokra. A terület négy sarkára így kihelyeztem kettő előre gyártott (6.9. ábra), illetve kettő általam, a helyszínen létesített GCP-t (ezeket lapos köveken megfestéssel jelöltem). A gyári illesztőpontok elhelyezése igazán nem nagy munka, lehetőleg sík területre kell lefektetni őket. Fontos továbbá megjegyezni, hogy jól láthatónak és elhatárolhatónak kell lenniük, hogy később a képeken könnyen azonosíthatók legyenek.



6.9. ábra: Előre gyártott illesztőpont

Ezeknek a tárcsáknak, illetve a festékfoltoknak a közepét 15 epochán keresztül mértem EOVB-ben és balti magassággal a 6.1 fejezetben említett GNSS RTK vevővel. A 15 időpillanatban elvégzett mérések átlagát vettem a végleges koordinátáknak (mintegy független méréseknek tekintettem őket), amelyek az 1. táblázat alapján alakultak:

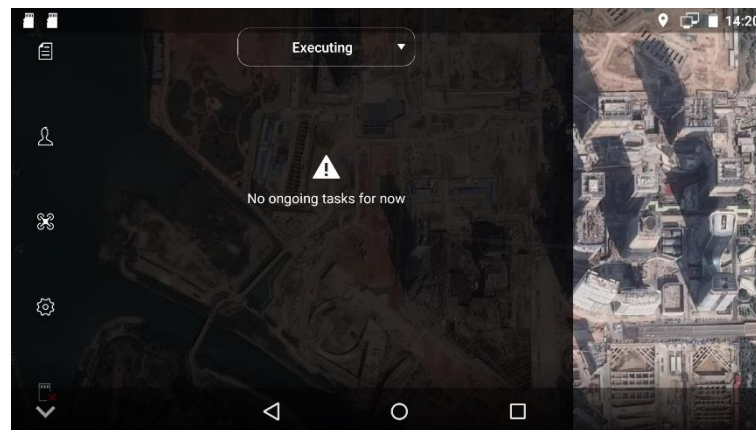
1	590214.417	209593.567	269.422
2	590386.692	209832.248	265.492
3	590199.495	209805.895	271.446
4	590407.091	209596.733	255.801

1. táblázat Illesztőpontok koordinátái

6.4 A repülés végrehajtása

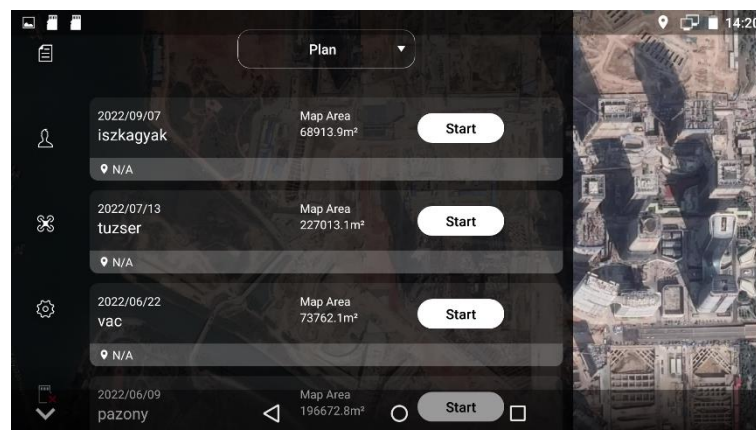
A drón összeszerelésével kezdődik a mérési folyamat. Először is a kamera kibiztosító műanyag és szivacs védőit kell lepattintani. Ezt követően a rotorokat kell ellenőrizni, nincs-e rajtuk bármilyen rendellenes elváltozás, repedés, majd megfelelőek ráillesztjük őket a villanymotorokra. Ezután lefektetjük a leszállópályát, rátesszük az eszközt és bekapcsoljuk a 6.2 fejezetben ismertetett módon, a vezérlővel együtt. A kontroller kijelzőjén ismét a 6.3. ábrán látható kép fogad minket, ám ezúttal a bal felső sarokban látható három vízszintes vonalra kell ráböknünk.

Ezután balról megnyílik egy menü, itt az „Executing” feliratú legördíthető sávot választjuk (6.10. ábra) és a „Plan” gombra mutatunk.



6.10. ábra: Baloldali menüsor

Ekkor megjelennek az eddig összeállított repülési terveink (amennyiben nem törlöttük előzőleg ki őket), így innen ki tudjuk választani azt, amelyiket le szeretnénk futtatni (6.11. ábra).



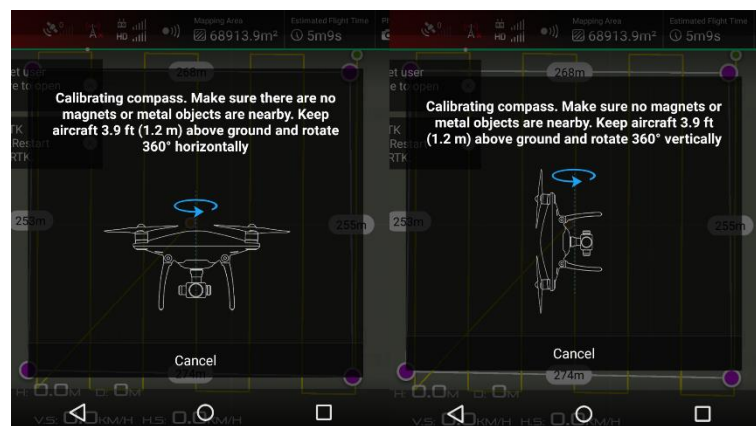
6.11. ábra: Repülési tervek listája

A „Start” gombra pöccintve átkerülünk a munkaterület oldalára (6.12. ábra). Itt a felső sávra pillantva láthatjuk az RTK pozíció állapotát, hogy van-e szükség iránytű kalibrálásra, van-e mágneses interferencia, ami összezavarja az IMU-t, hány műholdat észlel a vevő, milyen a hálózat állapota, milyen erős a jelátvitel a kezelő és a drón között. Ez a sáv alaphelyzetben csak akkor változik zöldre, hogyha RTK FIX pozíciónk van, stabil a hálózati kapcsolatunk és nincsen az UAV közvetlen közelében semmilyen akadály. Jobboldalt felül megtaláljuk a repülési terv már korábban említett adatait, középen pedig magát a repülési tervet (a képek csak illusztratív célt szolgálnak, nem a helyszínen készültek).



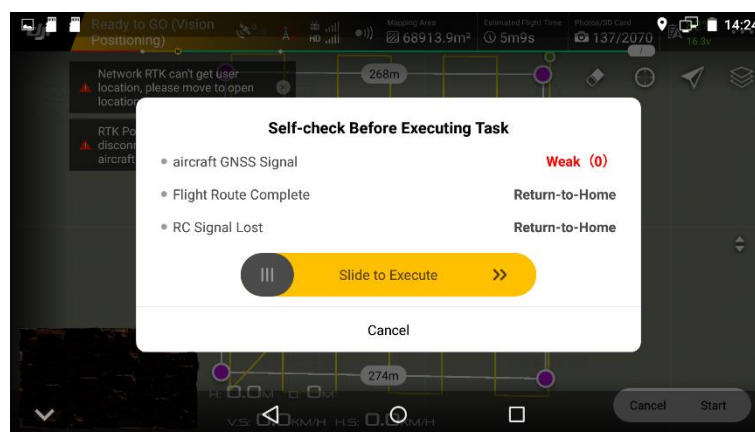
6.12. ábra: Munkaterület

Amennyiben szükséges az iránytűt kalibrálni, úgy a jobb felső sarokban található három ponttal jelölt beállítások között a légi jármű beállításainál a haladó beállításokat kell választanunk, majd az iránytű kalibrálási opciót kell megnyomnunk (Aircraft Settings>Advanced Settings>Calibrate Compass). Ekkor a program képekkel és szöveges instrukciókkal segít minket a folyamat gondtalan elvégzéséhez (6.13. ábra).



6.13. ábra: Iránytű kalibrációs segéd

Amint ezzel végeztünk már nincs más hátra, mint elindítani a repülést. Ezt a jobb alsó sarokban található „Start” gombbal tehetjük meg, ami kettő egymás utáni megnyomásra „Invoke” avagy hívás gombbá változik. Ezt újból megpöccintve egy figyelmeztető üzenetet látunk, amelyet az „OK” megnyomásával egy csúszka vált fel (6.14. ábra). Itt látjuk a GNSS jel állapotát, valamint az előre beállított protokolljainkat, azaz mit tegyen a drón a munka befejeztével vagy a kézzivezérővel kapcsolatos elvesztés esetén.



6.14. ábra: A mérés megkezdése

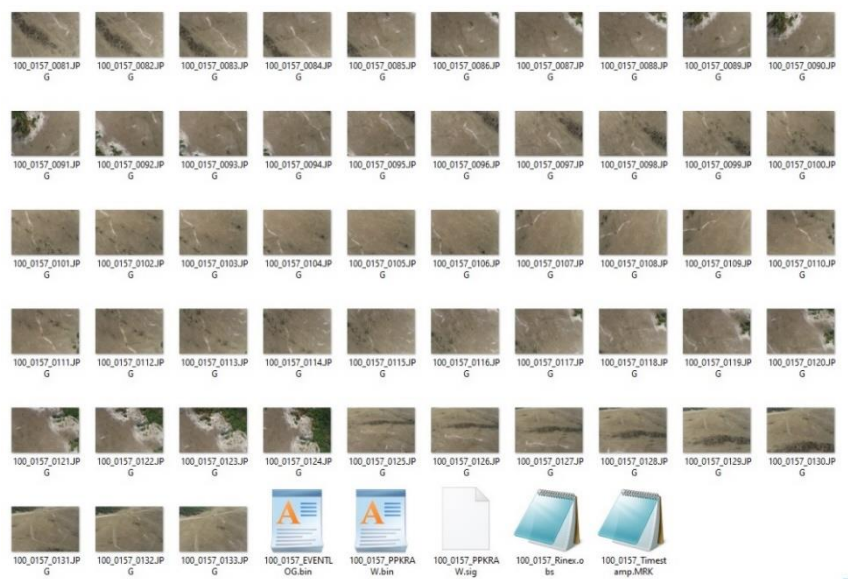
A megjelenő csúszka jobbra húzásával a vezérlő feltölti a repülési tervet az UAV-ra, aminek az utasítás hatására felpörögnek a rotorjai és megkezdí a légi felmérést a repülési terv paramétereit alapján. Ha előzőleg a 6.14. ábrán is látható „Return-to-Home” opciót választottuk, akkor a kopter, amint végzett, teljesen automatikusan visszatér a le szállópályára (habár esetenként igényli az operátor beavatkozását, többségében megbízhatóan megtalálja a kiindulópontot).

A drón visszatértével a készített képeket a benne lévő SD kártyán találjuk meg a „Survey” mappában. Ezeket a képeket érdemes archiválni, ha netalán adatvesztés történne a számítógépen, amire lementjük őket, mivel ezek adataiból bármikor regenerálhatók a végleges térképeink.

7. A KINYERT ADATOK FELDOLGOZÁSA

7.1 Nyers adatok előkészítése a 3DSurveyben való felhasználásra

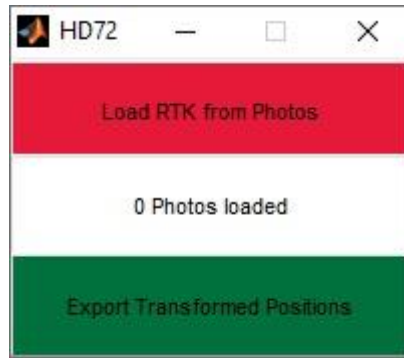
A repülés végeztével az SD kártyán levő adatokat kimentjük a számítógépünkre egy tetszőleges mappába. A nyers adataink mellett (7.1. ábra, képek, log, időbélyeg illetve rinex fájlok) szükségünk lesz az illesztőpontokat tartalmazó txt kiterjesztésű fájlra is, amelyek koordinátáit az 1. táblázatban már megneveztem.



7.1. ábra Nyers adatokat tartalmazó mappa

Mint látható, esetemben 133 darab kép készült a repülés során (ez nagyjából 3.5 gigabájt helyet foglalt el), ezekből szeretnénk kinyerni a minden egyes kép készítésénél mért pozíciókat. Ezek között a fájlok között ugyan találunk olyat, amelyekben megtaláljuk a minden egyes képhez rendelt WGS84-hez viszonyított koordinátákat, de nekünk a hazai rendszerbe való áttéréshez szükségünk van egy HD72 nevű Matlab alapú szoftverre, ami elvégzi a koordináta transzformációkat, és a kapott EOV koordinátákat egy excelben összesíti.

A program megnyitása után a 7.2 ábrán látható kép fogad bennünket. Ezután nincs más dolgunk, mint értelemszerűen a felső gomb megnyomása után kiválasztani a képeinket tartalmazó mappát, majd a „megnyit” gombbal betölteni őket. Ezt követően a szoftver a tudatja velünk az exportálni kívánt koordináták mennyiségét (ez a 133 kép révén esetben egy 133 soros táblázatot eredményezett).



7.2. ábra HD72 program kezelőfelülete

A fájlba történő kiíráshoz már csak az „Export Transformed Position” rádiógombra kell rákattintanunk, és a felugró ablakban kiválasztani a menteni kívánt „fixedRTK.csv” nevű állományt, amelyet megnyitva a 7.3. ábrán látható kép fogad bennünket:

	A	B	C	D
1	100_0157_0001.JPG	590423.0968	209867.2173	364.42659
2	100_0157_0002.JPG	590422.872	209844.497	364.462859
3	100_0157_0003.JPG	590422.4216	209824.6386	364.416087
4	100_0157_0004.JPG	590422.2198	209804.8271	364.476321
5	100_0157_0005.JPG	590421.8868	209785.3412	364.434548
6	100_0157_0006.JPG	590421.5891	209765.4102	364.453781
7	100_0157_0007.JPG	590421.2925	209745.5719	364.467013
8	100_0157_0008.JPG	590421.0541	209725.6743	364.506248
9	100_0157_0009.JPG	590420.7352	209705.9258	364.511478
10	100_0157_0010.JPG	590420.4522	209685.7754	364.543714
11	100_0157_0011.JPG	590420.1622	209665.9802	364.520946
12	100_0157_0012.JPG	590419.7857	209645.9389	364.521179
13	100_0157_0013.JPG	590419.5476	209626.0722	364.542413
14	100_0157_0014.JPG	590419.2096	209606.5184	364.508641

7.3. ábra A fixedRTK.csv fájl tartalma

Ebben megtalálhatjuk az összes kép nevét, valamint az EOVS koordinátáit a drón helyének a képkészítés pillanatában Keleti hosszúság/Északi szélesség/Balti magasság

bontásban. Erre a feldolgozás második lépésében lesz szükségünk, így célszerű a mérést is tartalmazó mappába menteni, ami miatt könnyebben megtaláljuk majd a későbbiekben.

7.2 A 3D Survey szoftver alapvető funkciói

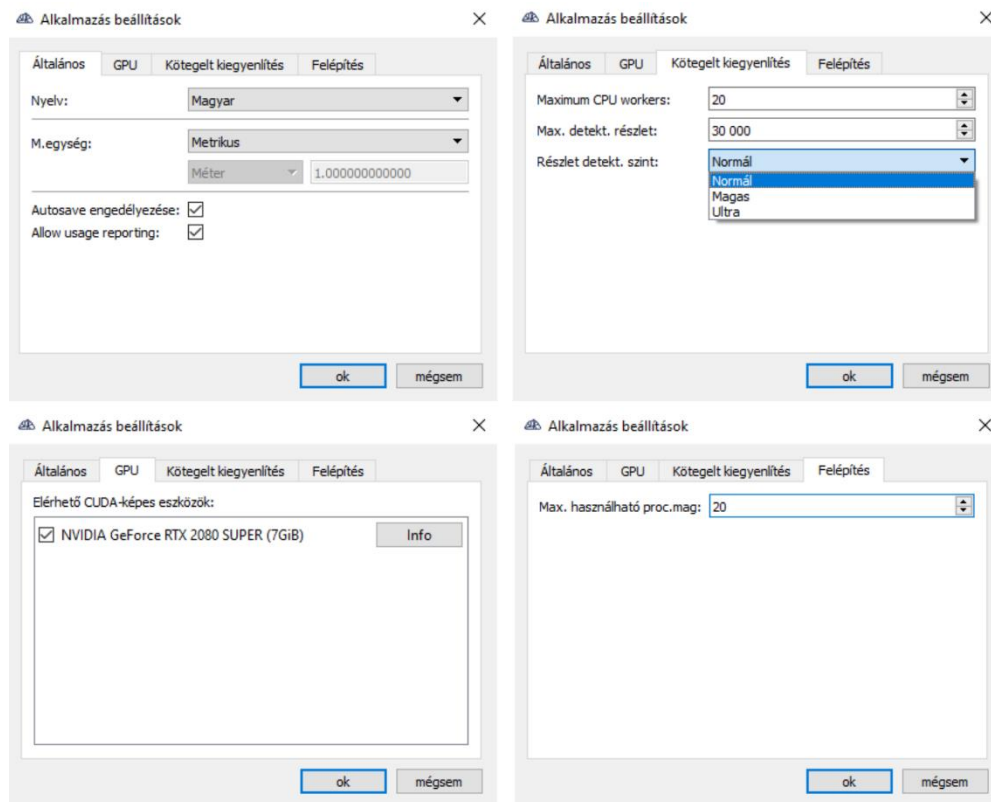
A feldolgozáshoz számomra a 3D Survey nevű program volt biztosítva, így a mérés kiértékelésének további lépéseit is azzal végeztem el. A szoftver alapfunkciói közé tartozik a fotogrammetriai használatra alkalmas kamerákkal, drónokkal végzett munka folyamán kapott képek illesztőpontokkal, vagy telemetria adatok alapján történő tájékozása, és ebből légiháromszögeléssel pontosított pontfelhők generálása. Ezek alapján különféle háromdimenziós felület- illetve domborzatmodellek előállítása válik lehetővé számunkra, majd ezekre a hálókra ortofotót számíthatunk ki tetszőleges felbontással. Térfigurat is számíthatunk két különböző rácsháló vagy egy rácsháló és egy adott szint között is, ez nagyon hasznos például bányafelméréseknél, útépitéseknél (a kitermelt humuszos talaj mennyiségét nagy pontossággal képesek vagyunk számítani). Képezhetünk keresztmetszeti ábrákat, de akár CAD kompatibilis DXF kiterjesztésű állományokat is készíthetünk, létrehozhatunk rétegeket, vonalakat és pontokat is digitalizálhatunk a pontfelhőnk-ből (kvázi a pontfelhőnk is digitalizált valóságnak minősül).

Beolvashatunk akár közvetlenül is sokféle kiterjesztésű pontfelhőt a programba, hasznos lehet ez akkor, ha például LiDAR szkennelrel mérünk fel egy belső teret, majd a lézerszkennel szoftverével ugyan képesek vagyunk georeferálni a pontfelhőnket, de jellemző pontok levételére már nem minden verzió alkalmas. Ekkor, ha mentjük az említett tájékozott pontfelhőt LAS/E57/XYZ/TXT/CSV stb. formátumban, azt egy gombnyomással be tudjuk olvasni, majd a feldolgozást folytathatjuk itt.

Figyelni kell azonban arra, ha ezt a szoftvert szeretnénk használni, úgy érdemes nVidia típusú grafikus kártyával rendelkezünk (ajánlott az RTX 3060-as kategóriát minimumnak tekintenünk), különben nem képes használni a program a videokártyát az adatok feldolgozása közben. Érdemes továbbá legalább 32 gigabájt DDR4-es RAM-mal, valamint egy minimum Intel core I7-es, vagy annak megfelelő erősségű Ryzen 7-es pro-

cesszorral rendelkeznie a gépünknek (itt fontos a többmagos teljesítmény, ezért nem jöhetnek szóba az I3 illetve I5-ös processzorok, ha viszonylag hamar szeretnénk megkapni a feldolgozás eredményét) [14] [15].

A program beállításai között a 7.4. ábrán látható opcióink vannak, itt tudjuk beállítani a hardveres erőforrásaink kezelését, a nyelvet, az alapértelmezett mértékegységeket és az automatikus mentést.

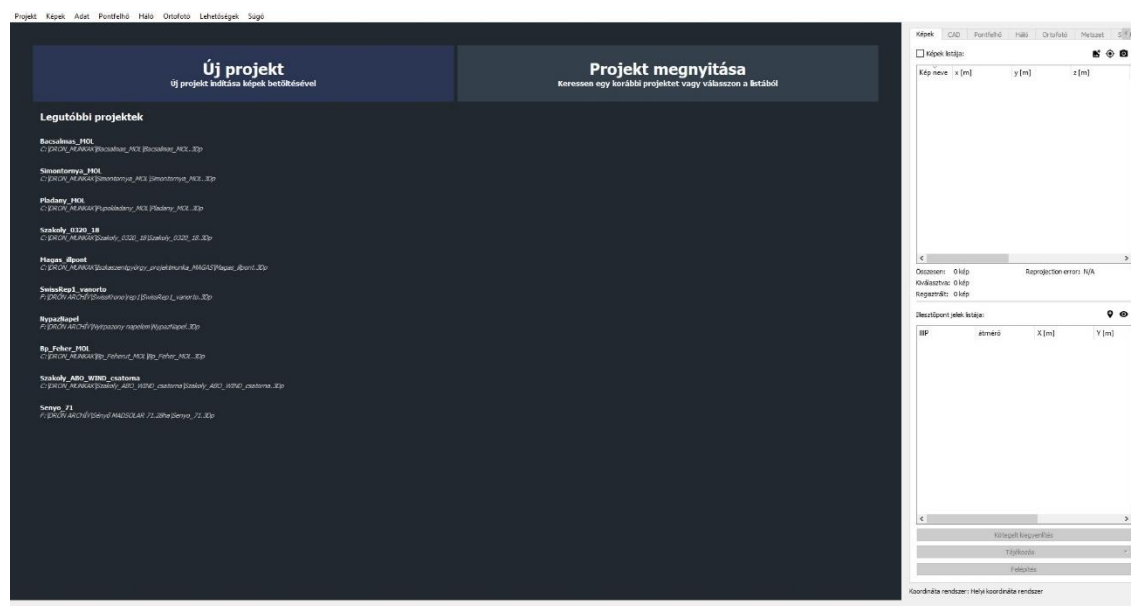


7.4. ábra 3D Survey beállítási lehetőségek

7.3 A pontfelhő előállítása

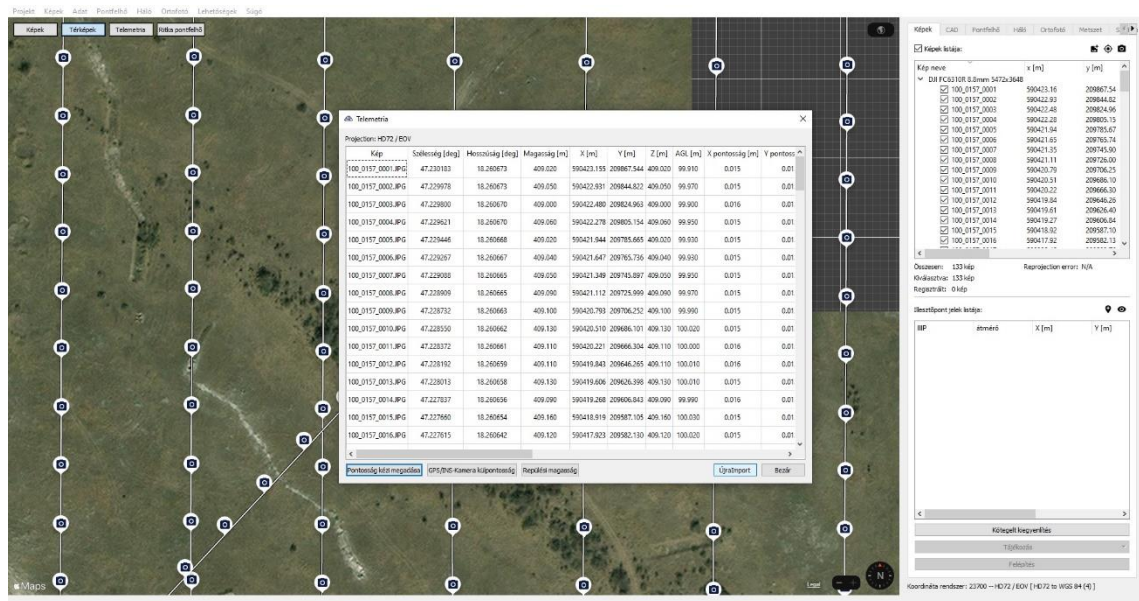
A program elindítását követően a kezdőképernyő fogad bennünket. Itt lehetőségünk nyílik a fentebb említett beállításokat megtekinteni és személyre szabni, illetve új projekt létrehozni vagy egy már meglévőt folytatni, megnyitni. Én az új projekt létrehozását választottam, ennél a pontnál figyelni kell rá, hogy mindenképpen mentsük el az álló-

mányt egy tetszőleges helyre (célszerű a mért adatok mappájába) és nevezzük is el értelemszerűen, így könnyen megtalálhatjuk a munkafájlt egy esetleges összeomlás esetén is (szerencsére erre a szoftverre nem jellemzőek az ilyesfajta hibák, ám jobb elővigyázatosnak lenni, 7.5. ábra).



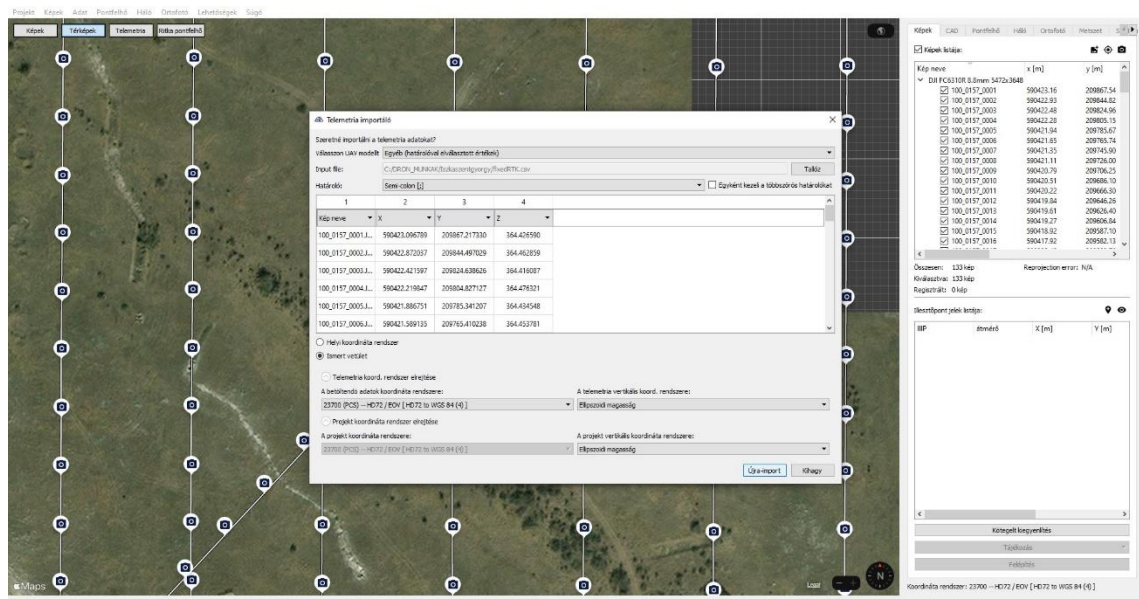
7.5. ábra 3D Survey kezdőlap

A gomb megnyomása után a felugró ablakban ki kell választanunk a munkaállományba betölteni kívánt fotókat. Ügyelni kell rá, hogy minden képet kiválasszunk a mappában, mert a program csak így fogja tudni megfelelően (és kellő megbízhatósággal) összerakni őket. A „megnyitás” opciót választva az importálás ablaka jelenik meg. Itt ki kell választani a betöltendő képekre vonatkozó adatokat, mint hogy milyen kamerával készítettük őket (a program automatikusan felismeri a DJI drónokkal készített képeket, így ezt hagyhatjuk az alapértéken), valamint a betöltendő adatok koordináta rendszerét, illetve a projektünk koordináta rendszerét. A magassági beállítást mindkét esetben érdemes ellipszoidi magasságon hagyni. Az adatok importálása után a 7.6. ábrán látható kép fogad bennünket.



7.6. ábra Képek importálása után

Ezt követően az „Újrimport” gombra kattintva a felugró ablakban ki kell választani a betölteni kívánt fájlt, ami esetünkben a fixedRTK.csv nevű állomány. Ekkor a fájl-típusnál az „Egyéb (határolóval elválasztott értékek)” nevűt választva, majd az állományt betöltve meg kell adnunk, hogy a táblázat oszlopaiban levő értékek milyen adatokat jelelnek. Nálunk ez „Kép neve/X/Y/Z” sorrendben található (mivel a szoftver matematikai koordináta rendszert használ, ellenben az EOVS-s adatok Y/X/Z sorrendjével), majd az „Ismert vetület” opciót választva a rádiógombok közül megadjuk, hogy a betöltendő adataink HD72/EOVS rendszerűek. Továbbá itt is kiválasztjuk, hogy ellipszoidi magasságon legyen a betöltendő és a projekt vertikális koordináta rendszere is (ezek egyébként Balti feletti magasságok lesznek, de fontos, hogy ugyanazt az opciót jelöljük ki, nehogy bármiféle transzformációt eszközöljön a program a drónból kinyert magassági értékeken, 7.7. ábra).



7.7. ábra Újraimport

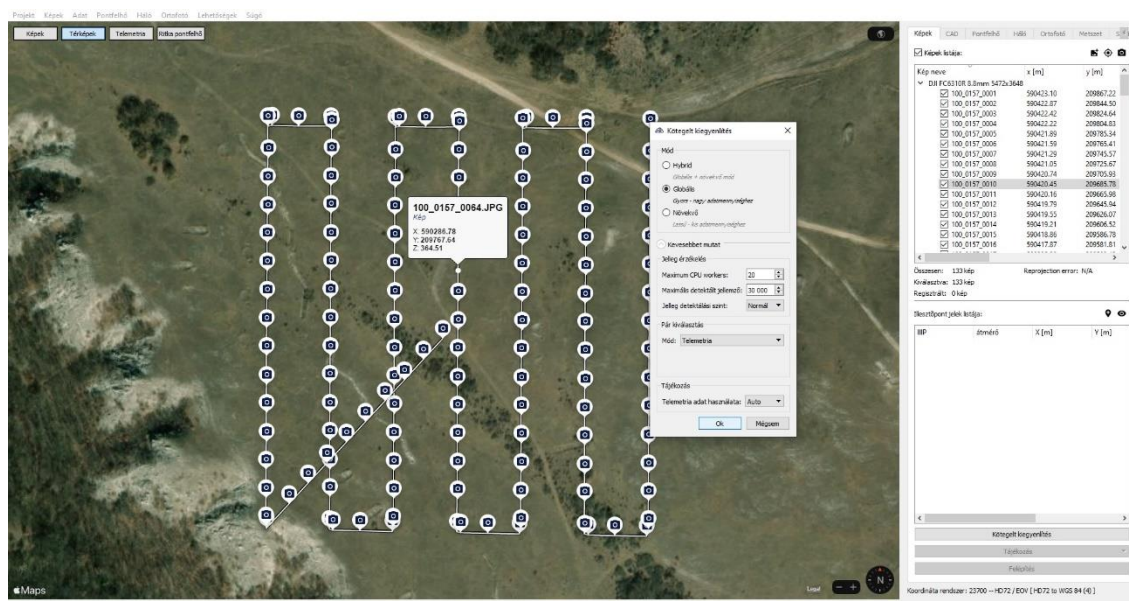
Az „Újraimport” gombra ismét rákattintva már a végleges telemetria adatok jelennek meg a képernyőn, a fotók készítésének koordinátái, illetve azok becslött hibái a 7.8. ábrán látható módon:

Telemetria															
Projection: HD72 / EOVI															
Kép	Szélesség [deg]	Hosszúság [deg]	Magasság [m]	X [m]	Y [m]	Z [m]	AGL [m]	X pontosság [m]	Y pontosság [m]	Z pontosság [m]	Fordulás [deg]	Bírlás [deg]	Dőlés [deg]	X sebesség [m/s]	Y sebesség [m/s]
100_0157_0001.JPG	47.230180	18.260672	364.427	590423.097	209867.217	364.427	99.910	0.015	0.037	0.037	175.100	-90.000	0.000	0.0	0.0
100_0157_0002.JPG	47.229975	18.260672	364.463	590422.872	209844.497	364.463	99.970	0.015	0.012	0.038	179.400	-90.000	0.000	0.0	0.0
100_0157_0003.JPG	47.229797	18.260669	364.416	590422.422	209824.639	364.416	99.900	0.016	0.012	0.039	-179.300	-89.900	0.000	0.0	0.0
100_0157_0004.JPG	47.229619	18.260669	364.476	590422.220	209804.827	364.476	99.950	0.015	0.012	0.039	179.700	-90.000	0.000	0.0	0.0
100_0157_0005.JPG	47.229443	18.260667	364.435	590421.887	209785.341	364.435	99.930	0.015	0.012	0.039	-179.500	-89.900	0.000	0.0	0.0
100_0157_0006.JPG	47.229264	18.260666	364.454	590421.589	209765.410	364.454	99.930	0.015	0.012	0.037	179.800	-90.000	0.000	0.0	0.0
100_0157_0007.JPG	47.229085	18.260665	364.467	590421.292	209745.572	364.467	99.950	0.015	0.012	0.039	179.800	-89.900	0.000	0.0	0.0
100_0157_0008.JPG	47.228906	18.260664	364.506	590421.054	209725.674	364.506	99.970	0.015	0.012	0.038	-179.800	-89.900	0.000	0.0	0.0
100_0157_0009.JPG	47.228729	18.260662	364.511	590420.735	209705.926	364.511	99.990	0.015	0.012	0.038	-179.500	-89.900	0.000	0.0	0.0
100_0157_0010.JPG	47.228548	18.260661	364.544	590420.452	209685.775	364.544	100.020	0.015	0.012	0.039	-179.800	-89.900	0.000	0.0	0.0
100_0157_0011.JPG	47.228369	18.260660	364.521	590420.162	209665.980	364.521	100.000	0.016	0.012	0.039	-179.500	-89.900	0.000	0.0	0.0
100_0157_0012.JPG	47.228189	18.260658	364.521	590419.786	209645.939	364.521	100.010	0.016	0.012	0.039	-179.800	-89.900	0.000	0.0	0.0
100_0157_0013.JPG	47.228010	18.260657	364.542	590419.548	209626.072	364.542	100.010	0.015	0.012	0.039	179.800	-89.900	0.000	0.0	0.0
100_0157_0014.JPG	47.227834	18.260656	364.509	590419.210	209606.518	364.509	99.990	0.016	0.013	0.039	-179.700	-89.900	0.000	0.0	0.0
100_0157_0015.JPG	47.227657	18.260654	364.578	590418.861	209586.782	364.578	100.030	0.015	0.012	0.039	-179.600	-89.900	0.000	0.0	0.0
100_0157_0016.JPG	47.227481	18.260641	364.539	590418.667	209567.805	364.539	100.020	0.015	0.012	0.038	-188.200	-89.900	0.000	0.0	0.0
100_0157_0017.JPG	47.227306	18.260344	364.526	590395.394	209548.433	364.526	100.020	0.015	0.012	0.037	-90.400	-89.900	0.000	0.0	0.0

7.8. ábra Telemetria adatok

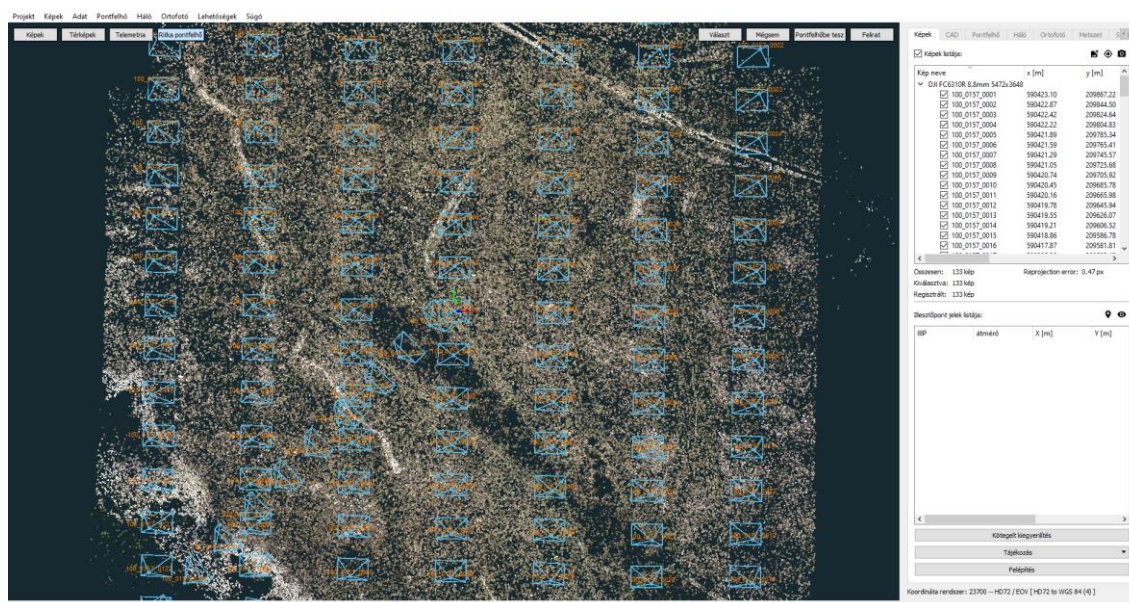
Ezután ráterhetünk a fotók sugáryaláb-kiegyenlítésére. A szoftver ekkor fűzi őket össze kapcsolópontokat keresve az átfedésben lévő képeken. Mivel a repüléskor

minimum 60%-os átfedést állítottunk be, a programnak viszonylag könnyű dolga van, így ennél a munkafázisnál elegendő a leggyorsabb „Globális” kiegyenlítési opciót választani, a számítógép ilyenkor végez a feladattal a leggyorsabban (ennél a 133 darab képnél az említett konfigurációval olyan 4-6 percet vesz igénybe a folyamat). Amennyiben rosszabbak a fényviszonyok, kisebb az átfedés, esetleg vannak képeink, amik valamilyen okból kifolyólag nem sikerültek (elmosódtak, sötétek lettek), úgy érdemes finomhangolni a beállításokat ebben a menüpontban. Érdemes lehet kipróbálni először „Hybrid” kiegyenlítési módot, majd ha ez sem segít, a jellegdetektálási szintet állítani először magas, majd végső esetben extrém módra (ezt már csak akkor érdemes alkalmazni, ha végképp nincs lehetőségünk a mérést újból elvégezni). Természetesen ekkor az igénybe vett idő jelentősen megnőhet, akár egy óra hosszúságúra is. Továbbá hasznos lehet, ha a számítógépen a feladat végrehajtása közben más programokat nem futtatunk, nem multitaszkolunk, mivel a processzort nagymértékben leterheli a feladat (érdemes a beállításokban beírni a maximálisan használható processzormagok számához a legmagasabb beállítható értéket, így fogja a folyamat a lehető legkevesebb időt igénybe venni). Fontos a PC hőmérsékletére is figyelemmel lenni, mivel a közel 100%-ban igénybe vett processzor rengeteg hőt termel viszonylagosan hosszú ideig, tehát lehetőség szerint gondoskodni kell a megfelelő hűtésről (több hűtőventillátoros vízűtés javasolt).



7.9. ábra Sugárnyaláb-kiegyenlítés

Mint a 7.9. ábrán is látható, a munkaterületben találunk „Képek”, „Térképek”, „Telemetry” és „Ritka pontfelhő” gombokat. A képekre kattintva az egyes fotókat tudjuk megtekinteni a nevük szerint, valamint nagyítani, kicsinyíteni tudjuk őket. A térképeket megjelenítve a program az általa használt háttérben futó térképállományra helyezi rá a fotók jelkulcsait koordináta helyesen a 37. ábrán is megjelenített módon. Itt kattintással tudjuk lekérni az egyes felvételek adatait (a nevét és a készítés helyének koordinátáit). A ritka pontfelhő fül alatt egy kevés pontból álló pontthalmazt jelenít meg a program, azt a képek alapján beszínezve (7.10. ábra).

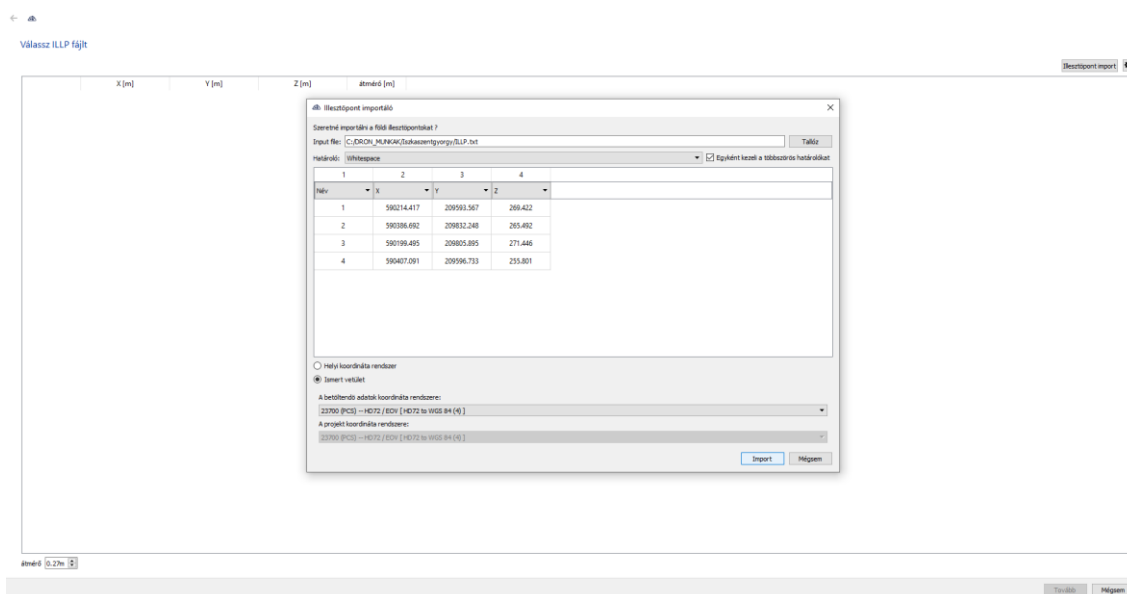


7.10. ábra Ritka pontfelhő kötegelt kiegyenlítés után

A sugárnyaláb-kiegyenlítés végeztével a jobboldalon megjelennek az eredmény paraméterei, hány képet volt képes regisztrálni és ezt mekkora „reprojekciós” hibával, azaz mekkora ellentmondásokkal terhelt a kiegyenlítés (ez utóbbi érték, ha 1 pixel alatti, akkor már megfelelőnek tekinthető, de minél kisebb, annál jobb).

A felépítéshez már csak egy fontos teendő maradt hátra, mégpedig a pontfelhőnk abszolút tájékozása. Ez történhet a telemetriai adatok alapján (ez a kevésbé precíz eredményhez vezető út), illetve illesztőpontok segítségével. Én ez utóbbit alkalmaztam a feldolgozás során a már korábban említett illesztőpontokat felhasználva. A végrehajtáshoz

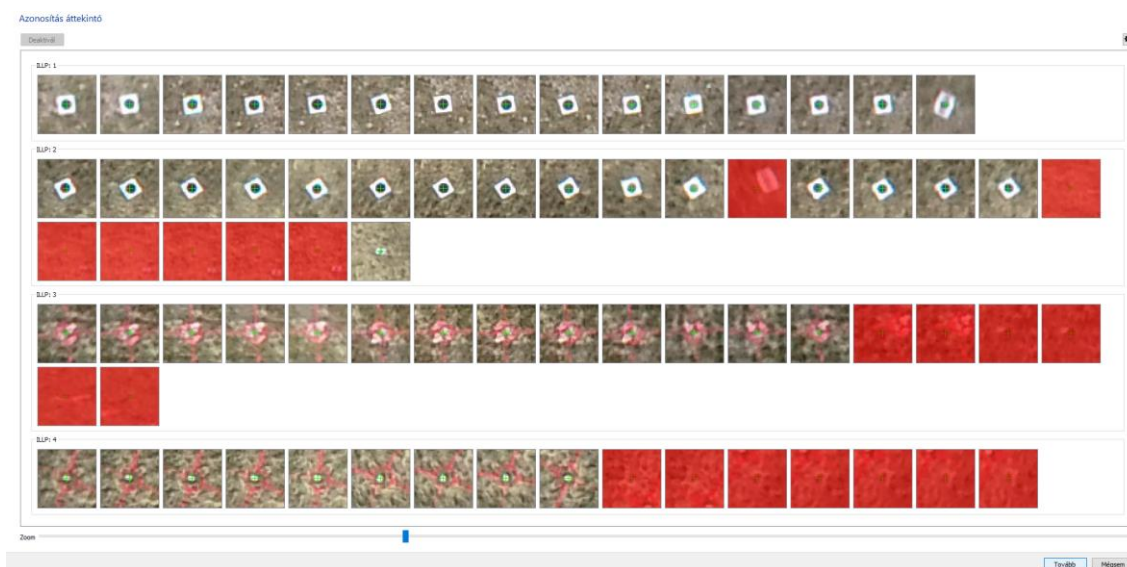
már csak rá kell kattintanunk a „Tájékoztatás” földre, majd a legördülő menüből kiválasztani az illesztőponttal való eljárást. Ekkor a felugró ablakban megjelenik egy, a már korábban is használt koordináta fájlokat megnyitni képes beolvasó fül. Itt ki kell választanunk az illesztőpontokat tartalmazó TXT kiterjesztésű állományunkat, majd a már korábban is ismertetett módon megadni annak elválasztóit, oszlopainak típusát (Név/X/Y/Z), valamint az ismert vetületi rendszert, amelyben azok értelmezhetők (mint a 7.11. ábra is mutatja, ez nálam a HD72/EOV).



7.11. ábra Illesztőpontok koordináta jegyzékének beolvasása

Az „Import”, majd a „Tovább” gombokra kattintva elérkezünk a tájékoztató emberi beavatkozást is igénybe vevő részéhez, mégpedig az illesztőpontok fotókon való megkezeléséhez. Ennél az állomásnál a program előre megkeresi a 133 fotónk közül azokat, amelyeken látszanak a kihelyezett pontjeleink, és ezeket, a munkánkat megkönnyítve, előre megpróbálja az itt használt mérőjellel (szálkereszttel) megirányozni. Nagy általánosságban ez jól működik, nekünk csak finom hangolnunk kell a kiválasztást, néhány pixelen jellemzően belül esnek a megjelölések. Ugyanakkor előfordulnak hibák is, illetve ha az adott képen az alkalmazás tudja is, hogy szerepel a keresett pont, ám nem tudja egyértelműen beazonosítani azt, akkor piros színnel megjelöli az adott felvételt és kiveszi

azt a feldolgozásból. Esetenként nekünk is érdemes dupla kattintással kivenni az adott fotókat a tájékozásból, de alapjába véve minél több képen jelöljük meg a pontunkat, annál megbízhatóbb lesz a tájékozás (7.12. ábra).



7.12. ábra Illesztőpontok terepi azonosítása

A lépés végeztével a „Tovább” gombra nyomva egy rövid számítást követően a program megadja a végleges tájékozás paramétereit, az egyes illesztőpontok koordináta hibáival együtt (7.13. ábra).

IIIP	átmérő	X [m]	Y [m]	Z [m]	Hiba
> 1 (14 vetítés...	0.27	590214.42	209593.57	269.42	0.007m
> 2 (15 vetítés...	0.27	590386.69	209832.25	265.49	0.007m
> 3 (17 vetítés...	0.27	590199.50	209805.90	271.45	0.013m
> 4 (16 vetítés...	0.27	590407.09	209596.73	255.80	0.016m

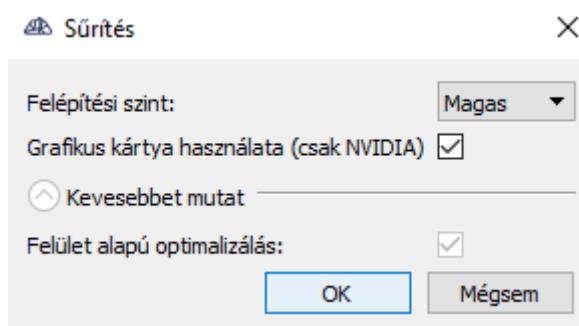
7.13. ábra Tájékozáshoz használt illesztőpontok hibái

A kapott értékeket elfogadhatjuk, vagy újra elvégezhetjük a folyamatot, esetleg illesztőpontokat teljesen kihagyhatunk a feldolgozásból, ha azok rendkívül rosszul azonosíthatók, ám az én esetemben ezek a hibák tűréshatáron belül esnek (a legnagyobb hiba 16 mm, ami a pixelméret körülbelül felének felel meg).

Ezután megkezdhetjük a már tájékozott pontfelhőnk sűrítését. A jobb alsó sarokban található „Felépítés” nevű funkcióra kattintva a felugró ablakban kiválaszthatjuk a

pontsűrítéshez használt hardver erőforrásokat, illetve a kívánt pontfelhő felbontását. Cél-szerű a terület méretétől függően állítani a felbontás értékeit, mivel teszem azt egy 100 hektár nagyságú földrészlet magas feldolgozási paraméterekkel több tíz gigabájtos állományt fog eredményezni, míg ha egy 1 hektár területű földrészleten kellene megkeresnünk az összes aknafedelet, és mindezt egy alacsony felbontású pontfelhőn próbálnánk meg megoldani, az pontok elhelyezkedésének ritkaságából eredően rendkívül nagy hibával tudnánk csak megjelölni a koordinátájukat.

A feladatom feldolgozáshoz tehát a „Magas” opciót választottam, illetve bejelöltem, hogy a grafikus kártyát használja a program a feldolgozáshoz, így jelentős mennyiségű időt tudunk megspórolni (7.14. ábra). Ezekkel a paraméterekkel a pontsűrítés 45 perc-1 óra alatt futott le.



7.14. ábra Pontfelhő sűrítés

A folyamat befejeztével a 7.15. ábrán látható kép fogad minket:

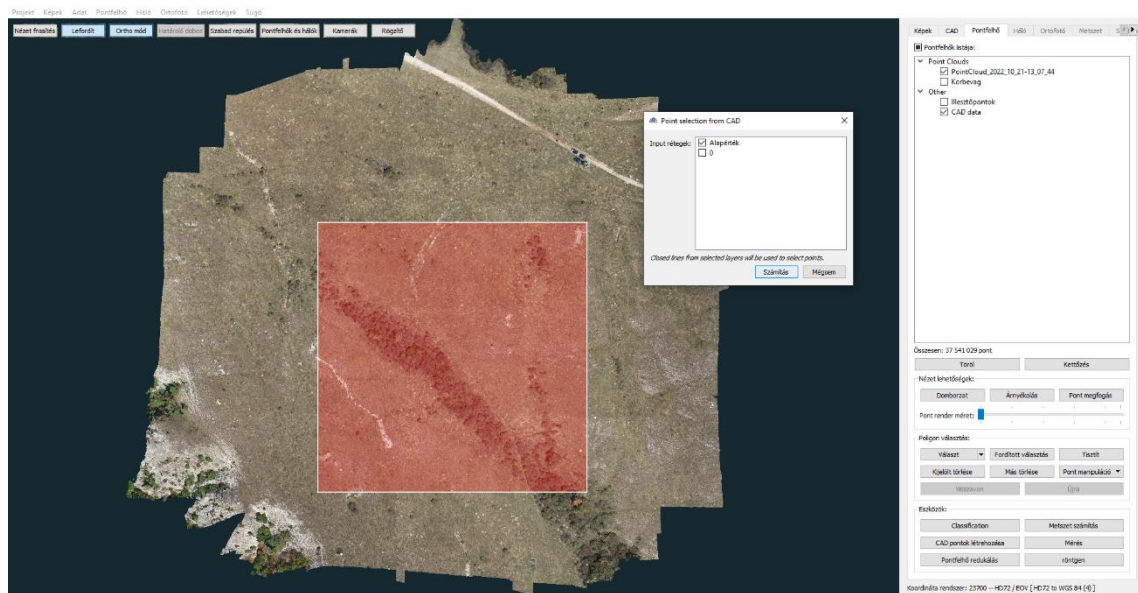


7.15. ábra Az elkészült pontfelhő

7.4 A kiértékeléshez használandó adatok előállítása

A fentebb leírt folyamatot megismételttem, azzal a különbséggel, hogy a tájékozást csupán telemetria adatokra támaszkodva végeztem el, a feldolgozást azonban a már ismertetett paraméterekkel indítottam el. A következőkben leírt műveleteket is mind a két pontfelhőre külön-külön hajtottam végre, és ügyeltem rá, hogy a manuálisan végzett feladatoknál is ugyanúgy járjak el.

Először is, mint az látható a 7.16-as ábrán is, a területünk nincsen kellő módon lehatárolva, azaz nagyobb tájat repültünk le, mint amekkora az iskola által biztosított LiDAR állományban szerepel. Ezért az említett LiDAR-ral készített pontfelhőt kell behívni a munkaterületre. Ezt a felső sávban található „Pontfelhő” fül megnyitása után a „Betölt” opciót választva tehetjük meg, ezután a felugró ablakban ki kell választanunk az iskolai LAS kiterjesztésű fájlt, majd meg is jelenik a jobboldalon található „Pontfelhő” fül alatti listában. Ezután az ugyanitt található „CAD” fül alatt egy tetszőleges rétegben összeköttem a LiDAR állomány négy sarokpontját. Erre azért volt szükség, mert a kapott illesztőpontokkal, illetve telemetria adatok alapján tájékozott pontfelhőinket ez alapján a CAD-es keret alapján tudom csak megfelelően körül vágni.



7.16. ábra Pontok kiválasztása CAD alapján

A vágáshoz vissza kell lépünk a „Pontfelhő” fül alá, aktívvá kell tennünk a szerkeszteni kívánt pontfelhőket (a telemetria és az illesztőpontokkal tájékozottakat), majd a „Választ” sort lenyitva a „From CAD” lehetőséget kell választani (7.16. ábra). Az ekkor megjelenő ablakban meg kell adnunk a réteg nevét, amelyben a LiDAR mérés keretét elmentettük, ezt „OK” gombbal jóváhagyva a program kijelöli a kereten belül eső pontok halmazát mindkét pontfelhőben. Ezután nincs már dolgunk, mint a „Más törlése” gombra kattintani, és a nem használható pontok törlődnek az állományokból. Amennyiben véletlenül rossz volt a kijelölés a CTRL + Z billentyűkombinációval visszahozhatjuk a kitörölt pontokat, és módosíthatjuk a kijelölést.

A következő lépésben ezúttal a „Classification”, magyarul „osztályozás” funkciót kell lefuttatnunk, ezáltal fogja a szoftver elkülöníteni a különféle tereptárgyakat a felszíntől. Általában az alapbeállításokkal is megfelelően sikerül az osztályozás, azonban esetenként néhány bokrot vagy kisebb fát a domborzat részeként érzékeli a program, így azokat utólag, manuálisan kell kiválasztanunk a feldolgozás során. Először is a már említett „Classification” gombra kattintva a felugró ablakban beállíthatjuk az elhatárolás paramétereit, mint a pontfelhőt, amelyen az osztályozást el szeretnénk végezni, és a 7.17. ábrán látható további tényezőket.

Terep magasság:	0.05m
Terep lejtés:	18.00°
Legkisebb magasság	0.50m
Szokásos rácsháló cella méret:	0.50m
Simítási tényező:	☒
	1
Smoothing max distance:	0.05m

7.17. ábra Osztályozás beállításai

Ezután a „Tovább” gombra kattintva egy újabb ablak jelenik meg, ahol ki kell választanunk a terep egy alapsíkjában fekvő pontját, amihez viszonyítva az osztályozást el fogja kezdeni a szoftver. Ennek koordinátáit felírtam magamnak és mind a két külön-

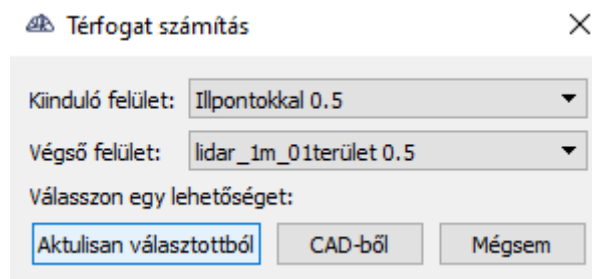
böző módon előállított pontfelhőn ezt a pontot választottam alapul. A „Befejez”-re klikkelve lefut az osztályozás, és a pontfelhőnkét két külön kapcsolható rétegre bontja az alkalmazás.

Megkaptuk tehát a terepszinthez tartozó pontjainkat a két pontfelhőnkéből, ám érdemes leellenőrizni, hogy valóban nem számított bele a kijelölésbe fákat, bokrokat a gép. Ezt úgy a legegyszerűbb megvizsgálni, hogy a két újdonsült „Ground” név alatt elmentett pontfelhőket egyszerre megjelenítjük, majd közről vizsgálva a felszínt, ahol megmaradt növényzet pontjait látjuk, azokat a „Választ” és a „Kijelölt törlése” gombok értelem szerű egymás utáni használatával eltávolítjuk, párhuzamosan, mind a kettő állományból szigorúan ugyanarra a területre esőket, ezzel megőrizve az összehasonlítás során elvárt korrektséget. A tisztogatás után megkaptuk a végleges pontfelhőinket, átnevezhetjük őket „Telemetria” és „Illesztőpont” névre, így megkönnyítve az összehasonlítás során való felismerhetőséget.

Az összevetést megelőzően már csak egy lépés van hátra, mivel a 3D Survey nem képes pontfelhőket közvetlenül egybevetni, így a kapott felhők alapján rácshálót kell számítani a szoftver segítségével mind a kettő állományból. Ezt a felső sorban található „Háló” fül lenyitása után a „Szokásos rácsháló számítás” funkcióval képezhetjük.

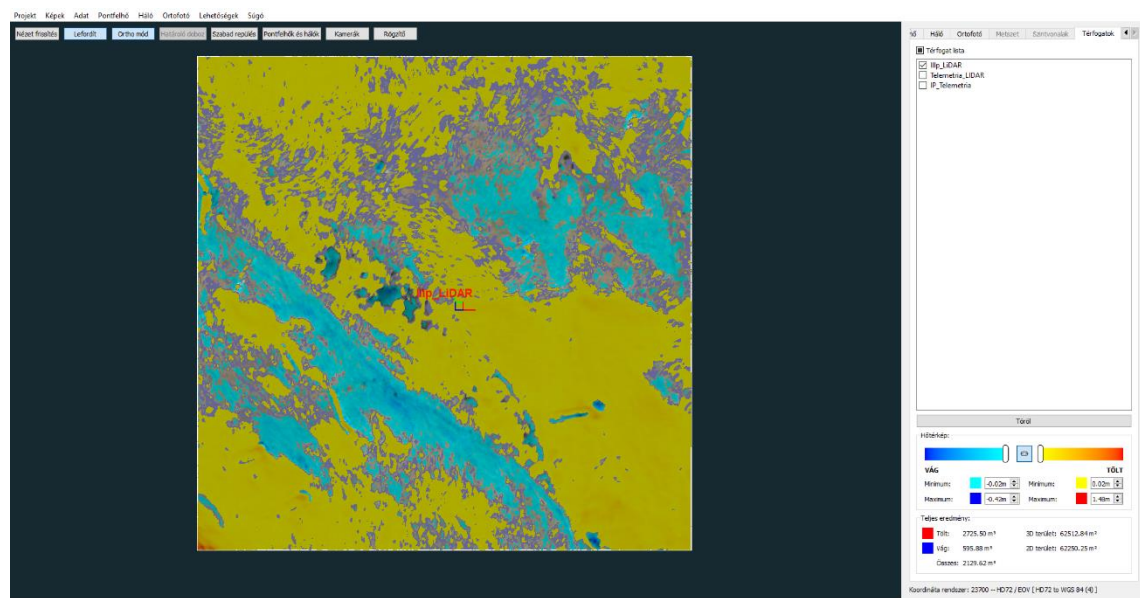
7.18. ábra Rácsháló számítása

A LiDAR szenzorral mért, a telemetriával és az illesztőpontokkal tájékozott pontfelhő esetében is a 7.18. ábrán is látható beállításokkal végeztem el a számítást. Az elkészült modelleket a jobboldalon található „Háló” fül alatt érjük el, a szokott módon listázva. Itt a jobb alsó sorban már láthatjuk is a térfogatszámítási eszközünket. Ennek használatához két összehasonlítani kívánt hálót ki kell jelölnünk a „Választ” gomb segítségével rajzolt poligonnal, majd a „Térfogat számítás” gombra kattintva a felugró ablakban ki kell jelölni a kiinduló és a végső felületet. Ha ezzel végeztünk, nincs más hátra, mint megnyomni az „Aktuálisan választottból”-t, és meg is kapjuk a kívánt térfogatértékeket (7.19. ábra).



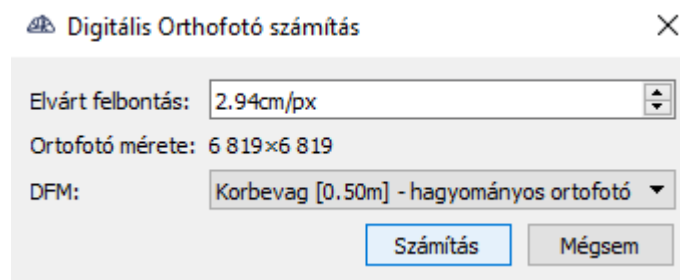
7.19. ábra Térfogatszámítás

Az eredményeket tartalmazó jobboldali „Térfogatok” fül alatt a különböző számított értékek találhatók (töltés, bevágás, ezek összesítése, 2D és 3D területek, 7.20. ábra), illetve a későbbiekben használt eltérési küszöbérték állító csúszka.



7.20. ábra Térfogatok fül

A kiértékelési lépés előtt célszerű egy ortofotót is létrehozni, hogy azt háttérként tudjuk megjeleníteni a térfogatszámítási eredmények mögött, így könnyítve a megismerését annak, hogy milyen okai lehetnek az esetleges magasságbeli eltéréseknek. Ezt a felső sávban található „Ortofotó”-t lenyitva, a „Új számítás (fent-lent)” opciót választva nyílik lehetőségünk (7.21. ábra).



Digitális Orthofotó számítás

Elvárt felbontás: 2.94cm/px

Ortofotó mérete: 6 819×6 819

DFM: Korbevág [0.50m] - hagyományos ortofotó

Számítás Mégsem

7.21. ábra Digitális ortofotó számítása

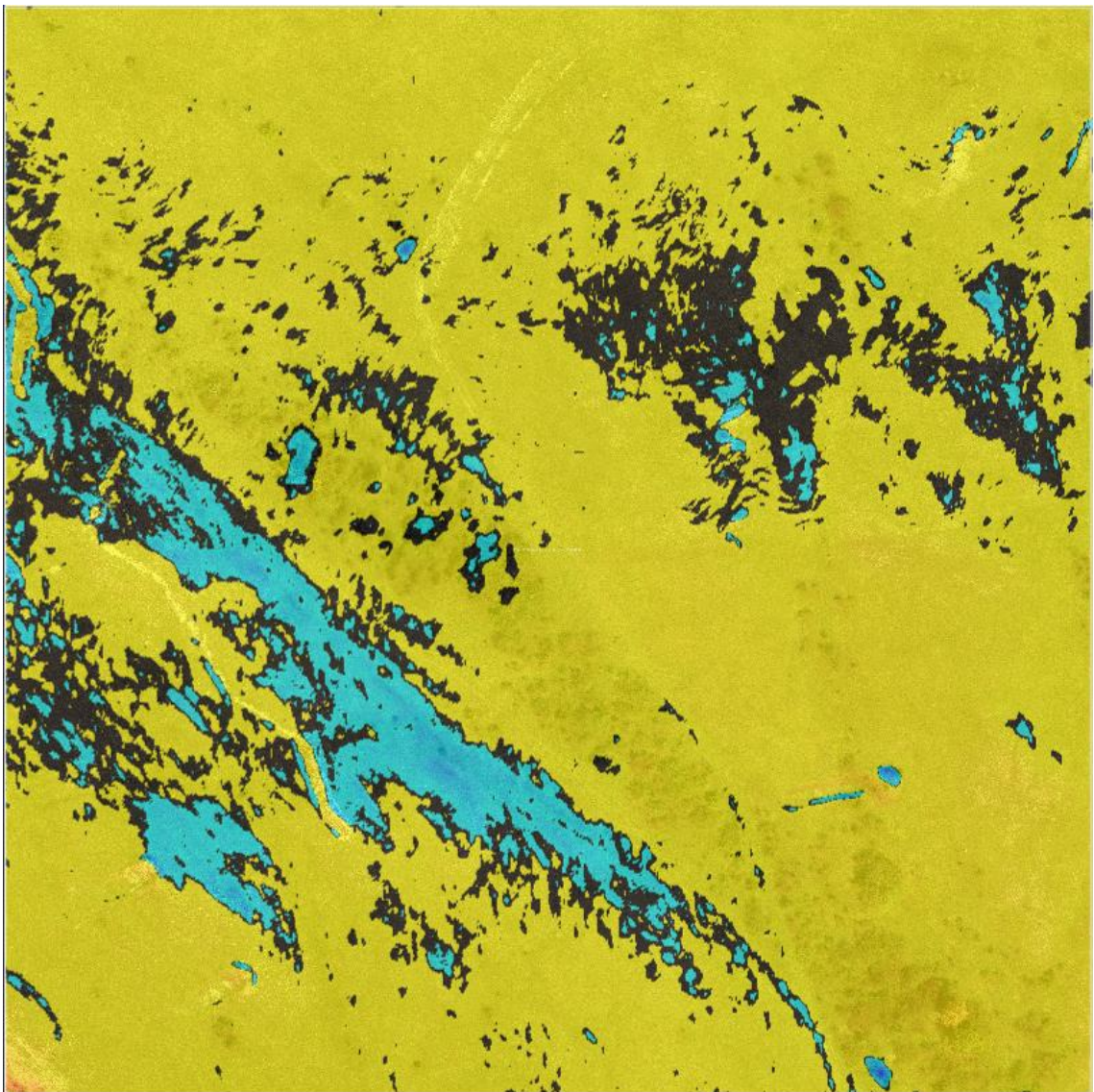
Itt az elvárt felbontáson kívül be kell állítanunk azt a hálót, amelyet alapul szeretnénk szolgáltatni a számításhoz. Az elvárt felbontás beállításánál figyeljünk, hogy az értéket minél kisebbre vesszük, annál nagyobb állományt kapunk (akár több száz megabájtot foglaló képeket is generálhatunk), ellenben a terepi felbontásnál kisebb cm/px értéket felesleges megkövetelni. A „Számítás” gombra kattintva el is készül az ortofotónk.

8. KIÉRTÉKELÉS

Elérkeztünk az utolsó fázishoz, a kapott adatok kiértékeléséhez. Ehhez a 7.20. ábrán jobb oldalt található magasságkülönbség csúszkát használtam, amely mint egy hőterkép-szerűen ábrázolja az adott területen mért eltéréseket, így elég érzékletesen meg tudom mutatni az egyes mérési és a feldolgozási formák közötti eltéréseket. Három különböző térfogatot számoltam, név szerint a Telemetry-LiDAR, Illesztőpont-LiDAR és Illesztőpont-Telemetry párokat. Ezeknél különböző lépcsőkben vizsgáltam meg az eltéréseket, először a 0, majd 5, 10, 25 és 50 cm-es eltéréseket vizsgáltam, illetve ezek közül a kiugróan magasak elhelyezkedésének okait firtattam.

8.1 A telemetriával előállított és a LiDAR felmérés eltérései

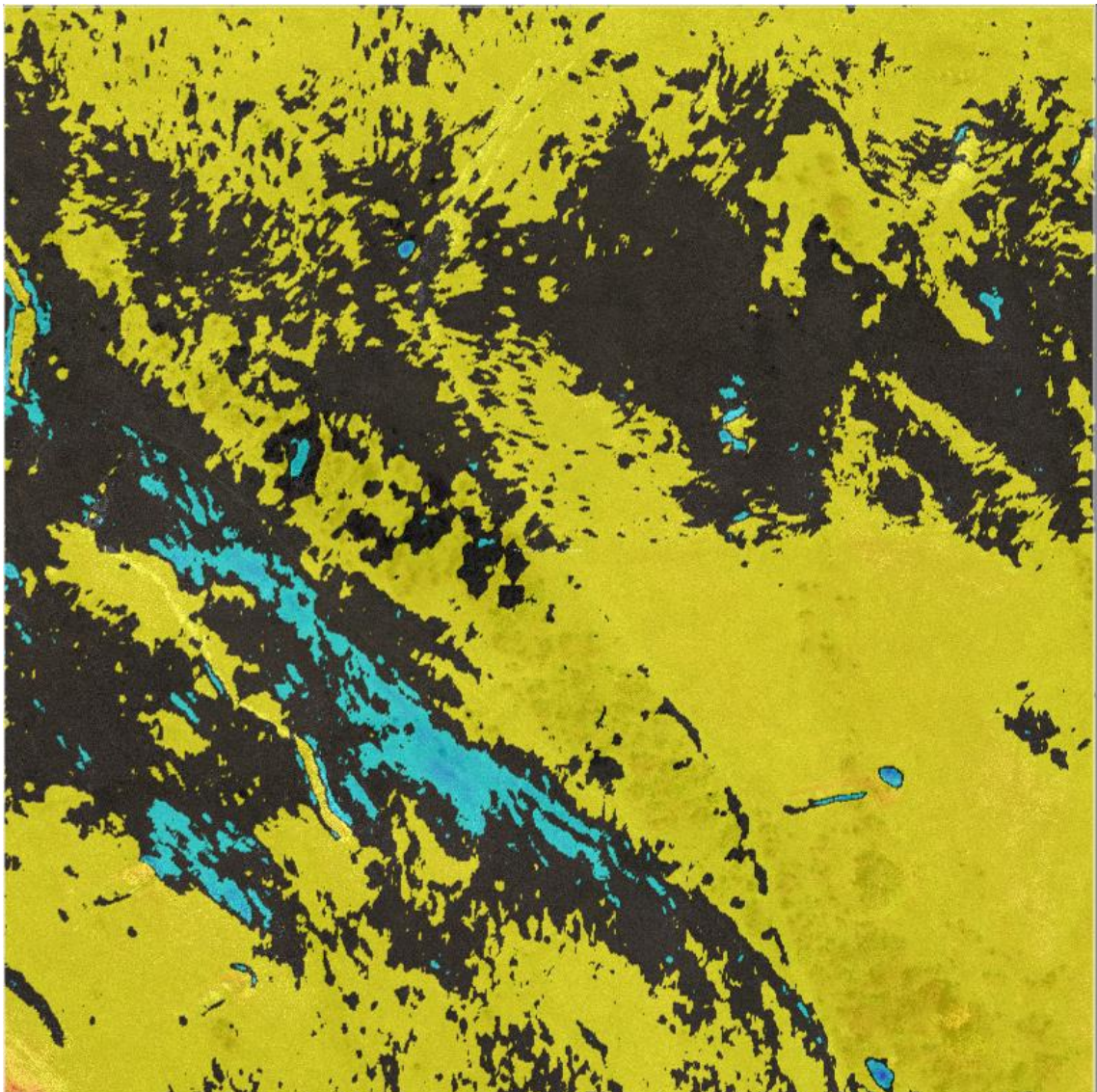
Első lépésként a 0 cm-es eltérést vizsgáltam, hogy egyáltalán talállok-e olyan helyszínt, ahol megegyeznek a magassági koordináták a mérések között. Várakozásomat felülmúlva, a csupán telemetriai adatokra támaszkodó tájékozással meglepően magas aránya volt a 0 cm közeli megegyezőségnek a LiDAR méréshez viszonyítva (8.1. ábra).



8.1. ábra Telemetria-LiDAR 0 cm

Mint látható a fotogrammetriai mérés a LiDAR fölött helyezkedik el a legnagyobb területen (ez a sárga színnel jelölt), jellemzően a füves-fás területeket foglalja magában, míg a sziklás szakaszokon vagy megegyeznek, vagy kék színnel jelölve alacsonyabb magasságot számított nekik a szoftver.

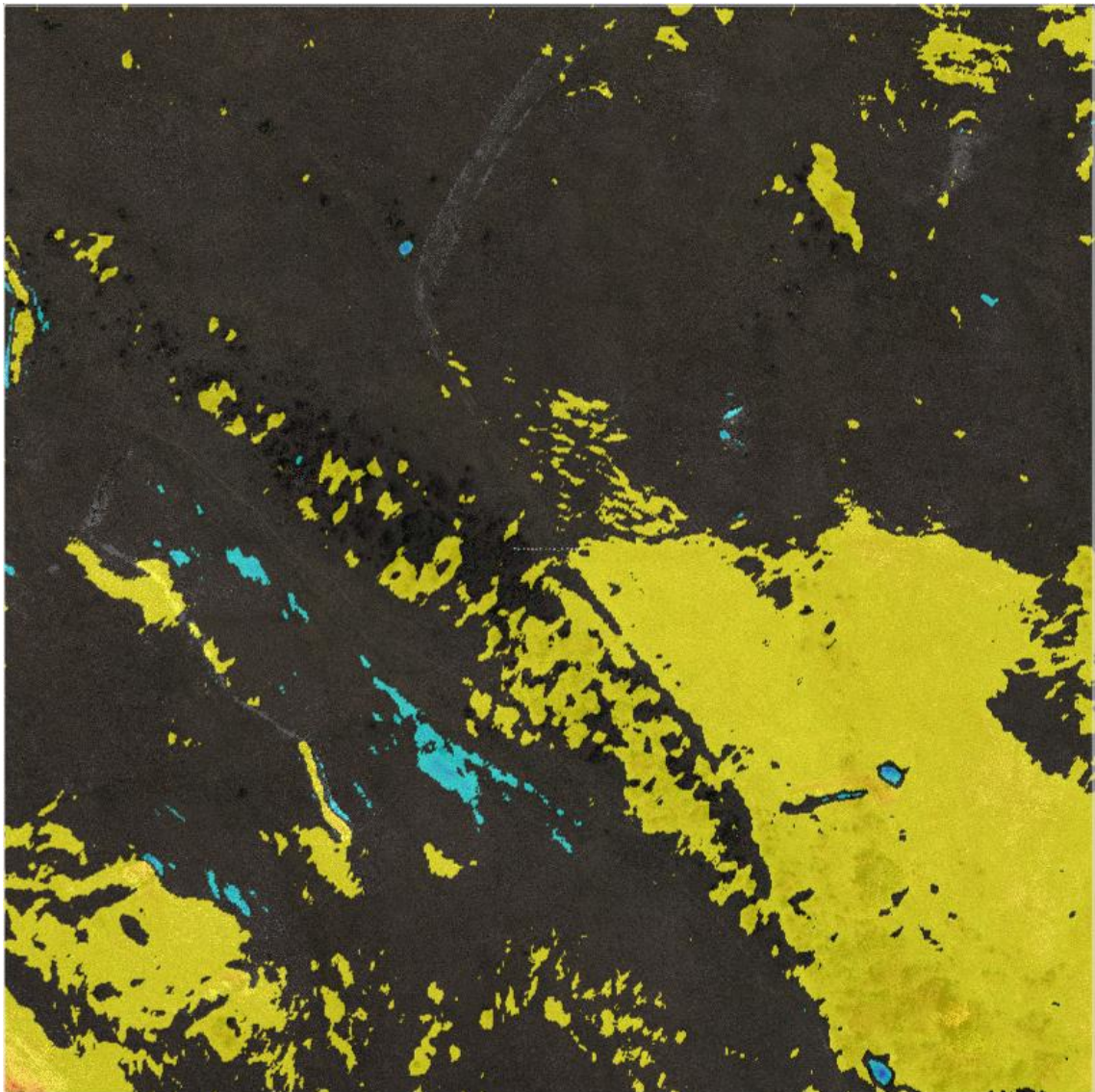
A következő képen (8.2. ábra) az 5 cm-es eltérés mutatkozik:



8.2. ábra Telemetry-LiDAR 5 cm

Láthatóan nőtt a küszöbön belül eső terület nagysága, jórészt az imént említett inkább alacsony füves-sziklás területeken, ám nem jelentősen. A fehér sziklákon megfigyelhetően egészen nagy eltérések jelentkeztek, ez betudható annak, hogy a nem tökéletesen beállított, túl hosszú záridő miatt a kép ezen részei kiégtek.

Az 8.3. ábrán a 10 cm-es küszöb került beállításra, az eredménye a következő:

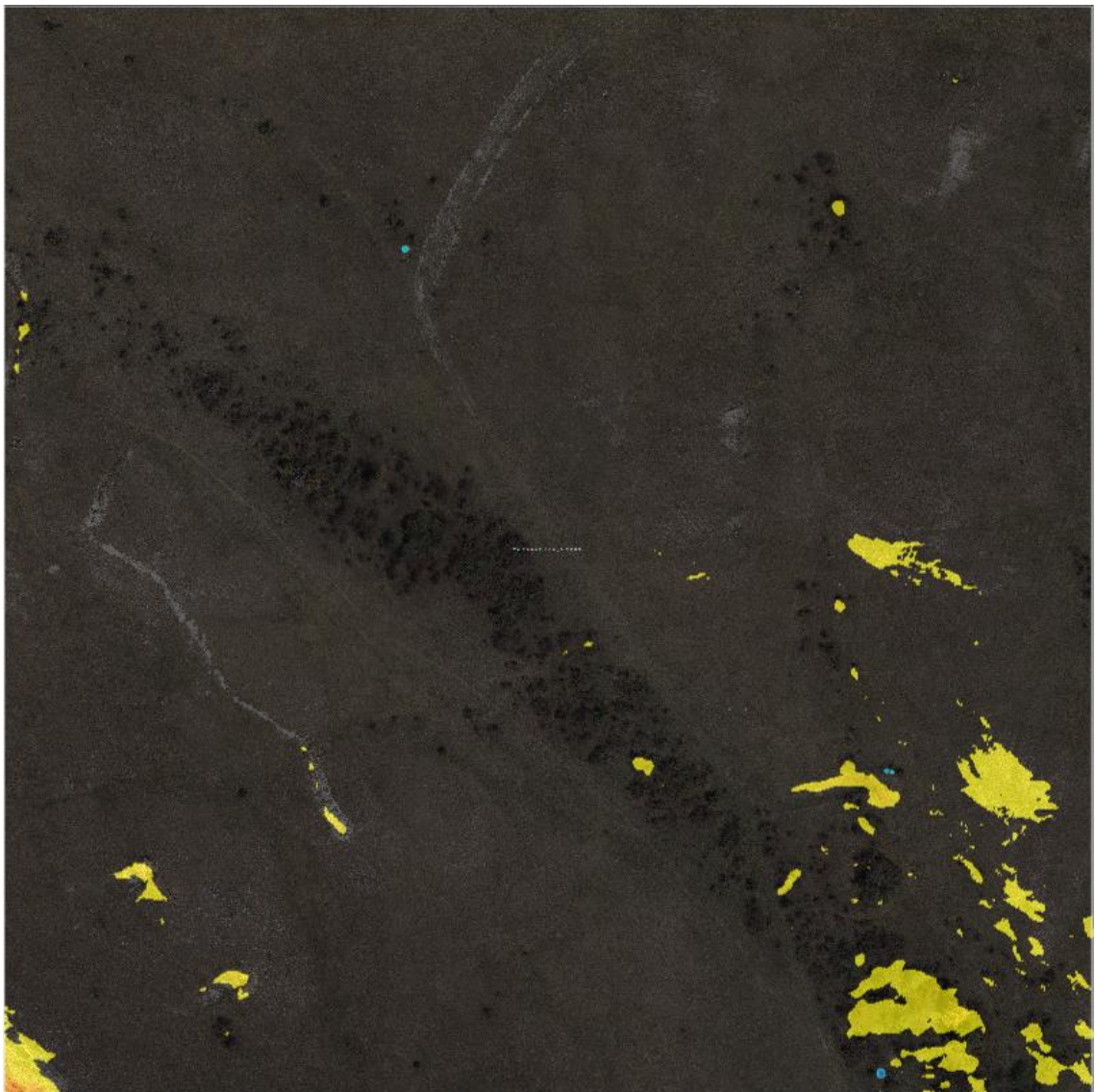


8.3. ábra Telemetria-LiDAR 10 cm

Jól láthatóan ismételten csökkentek a színes területek, ezúttal már jelentősen, az átlagos eltérés valahol 10 cm alatt lehet a két mérési típus között. A kézzel jelölt területek

csaknem eltűntek, ellenben a magasabb fűvel, illetve bokrokkal borított terepen még mindig jelentős különbségek mutatkoznak. A kép bal alsó részén a különösen nagy differenciát a helyenként hirtelen változó terep adja, itt kiugrások, illetve a bal alsó sarokban egy hirtelen, meredeken lejtő terület található.

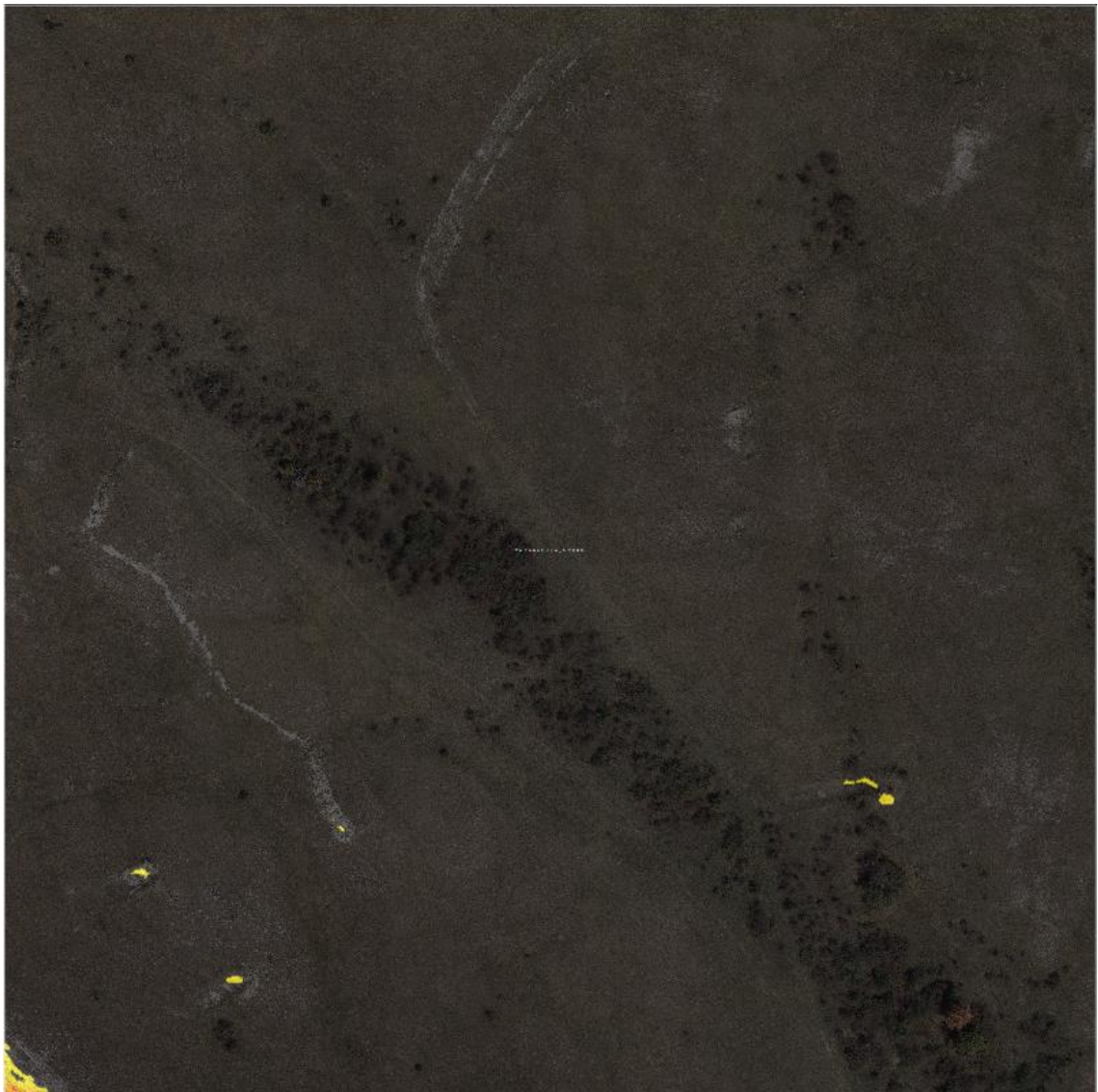
A 25 cm-es eltérés gyakorlatilag hatalmasnak minősül (8.4. ábra). Ennél a lépcsőfoknál már nem számítottam komoly kiterjedésű színes területekre, és ez a várakozásom be is igazolódott.



8.4. ábra Telemetry-LiDAR 25 cm

Az eltérések itt már tényleg csak a magas fűvel, bokrokkal tarkított, illetve hirtelen lejtésű tájakon mutatkoztak, ahol úgy néz ki az osztályozási feladattal nem birkózott meg sem a gép, sem én megfelelően. A háló pontjainak fás terep alá való interpolációjakor a gép feltehetően a kép jobb alsó sarkánál található területen a növényzet bizonyos pontjait vette a kezdőszint elemeinek, így az azokból levezetett pontok magassága igen csak eltolódott felfelé.

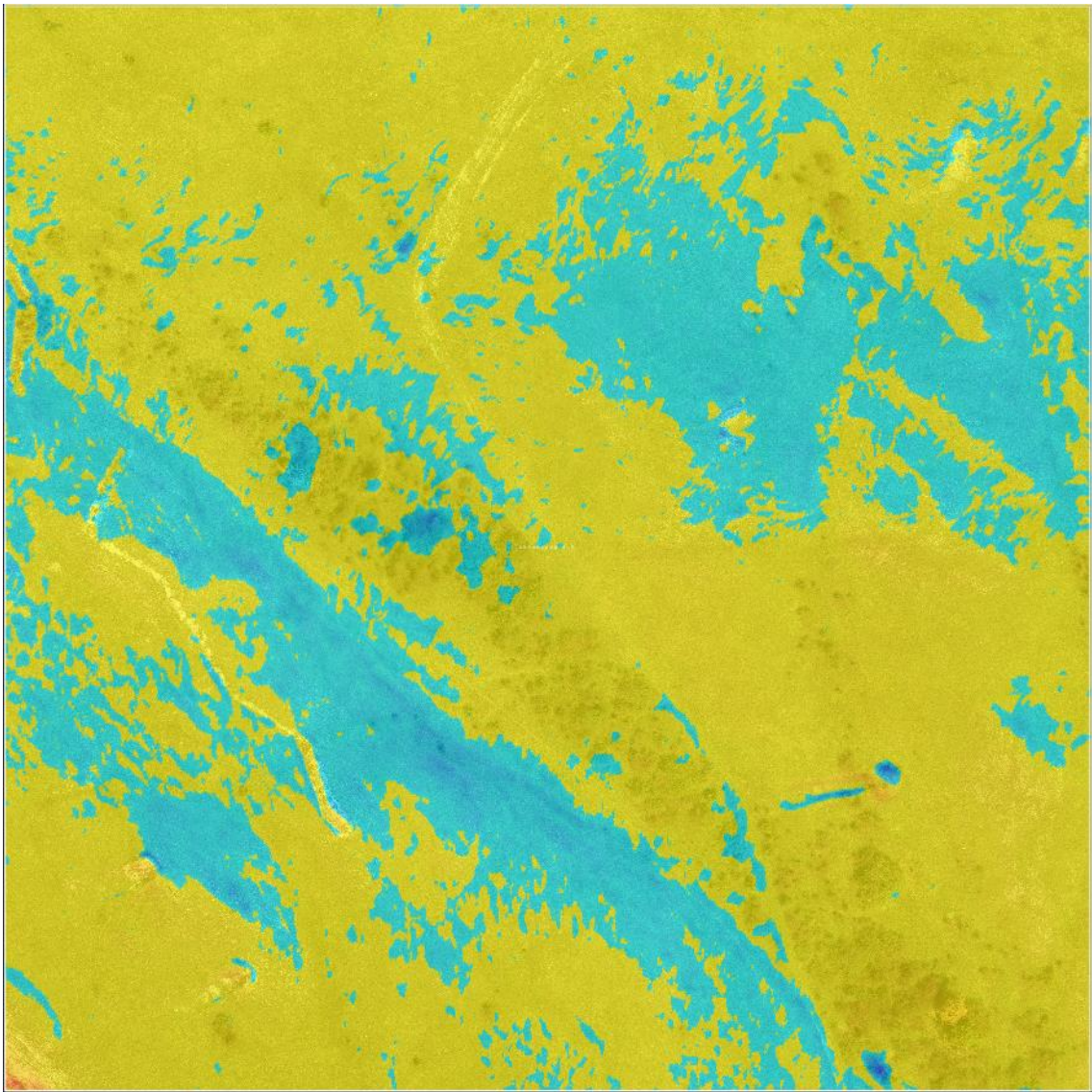
Az 50 cm-es lépcső gyakorlatilag a hatalmas eltérések kimutatására szolgál. Erről már csak a ténylegesen extrém különbségek olvashatók le, amikből jó esetben egyáltalán nincsen a térképünkön, esetemben azonban van, de szerencsére csak igen kicsi kiterjedésben (8.5. ábra).



8.5. ábra Telemetry-LiDAR 50 cm

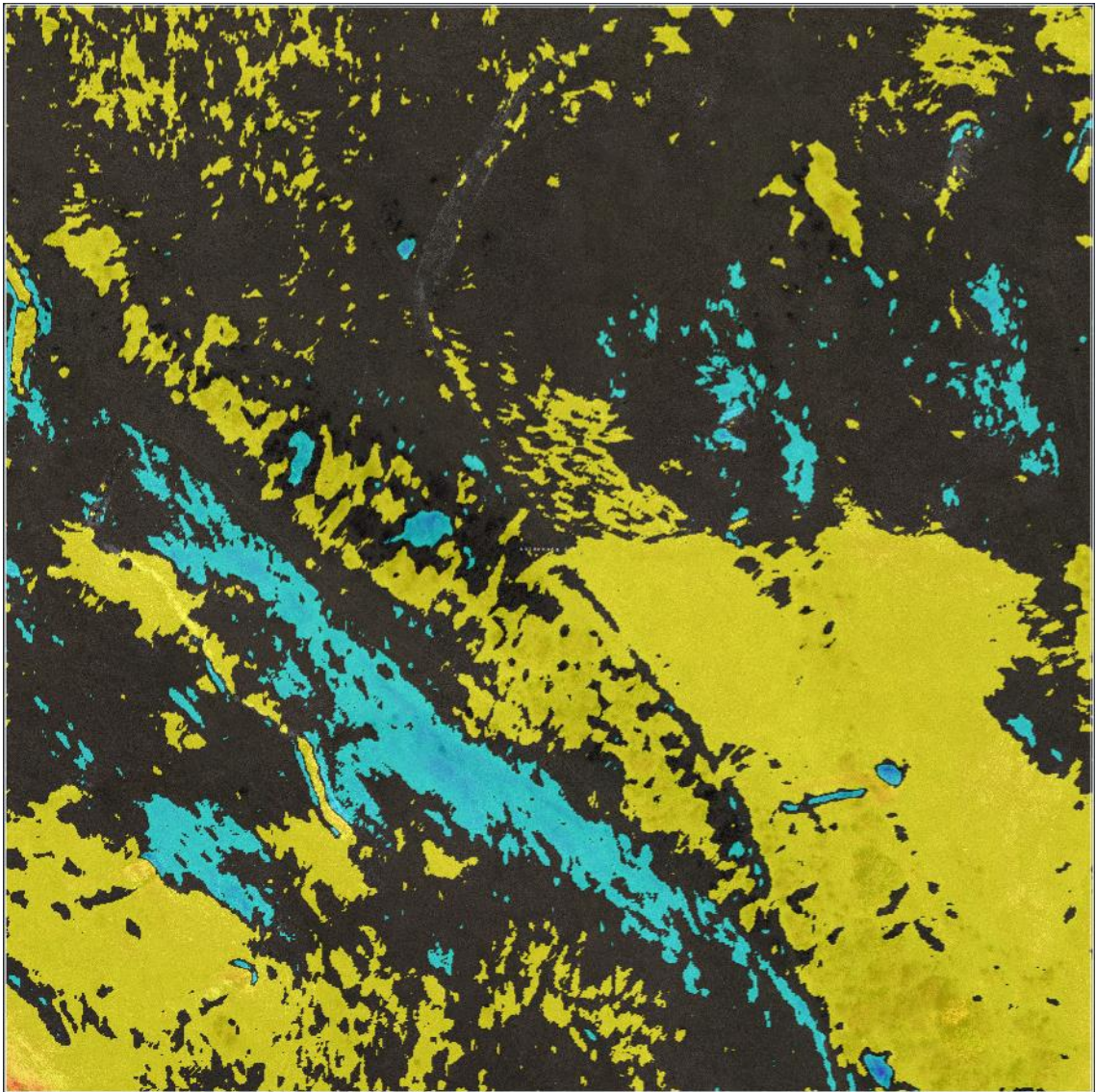
Mint az látható a kék teljesen eltűnt, a sárga és erőteljes narancsszín a kép bal alsó sarkában 50-től több mint 100 cm-es eltérésig skálazza a magasságkülönbségeket. Ezek már csak a sarki nagyon meredek lejtő, illetve a kiégett, sziklás területek. Itt megjegyzem, a fotogrammetriai mérés pontosságán sokat segített volna, ha négy irányból fényképezem a tájat úgy, hogy a kamera nem tökéletesen lefelé fordul, hanem kb. 60-70 fokos szögben megdöntve fotózza a terepet. Ezzel a módszerrel jól megfoghatók a hirtelen terepszint változások.

8.2 Az illesztőpontokkal előállított és a LiDAR felmérés eltérései



8.6. ábra Illesztőpont-LiDAR 0 cm

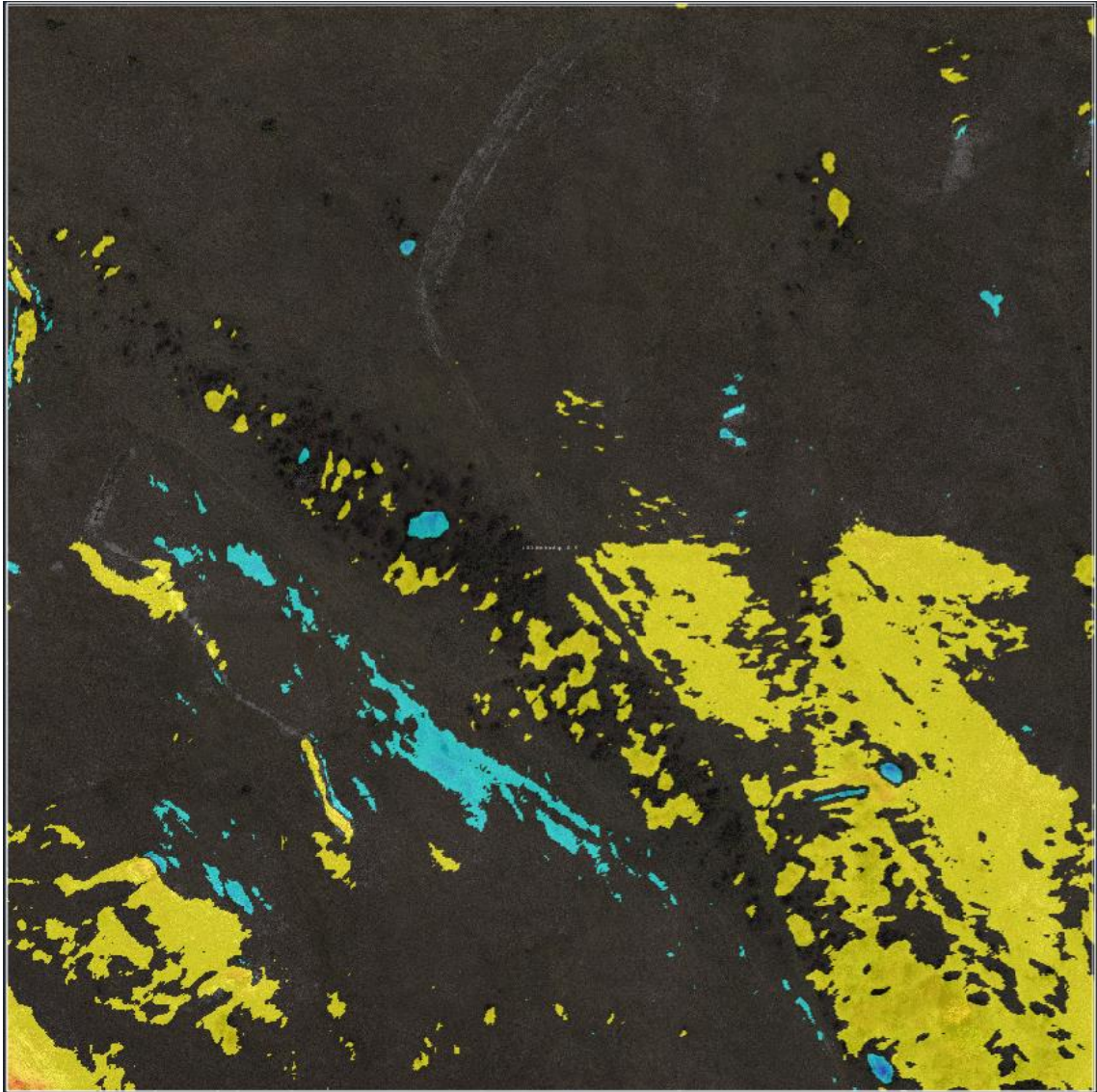
Az 8.6. ábrán is látható első lépcsőben nem várt eredményt kaptam. Várakozásaim ellenére a közel 0 cm-es eltérési rátára a telemetria alapján feldolgozott pontfelhő került közelebb a referenciának tekintett LiDAR méréshez viszonyítva. A színek elrendezése azonban nagyon hasonlít a 8.1-es ábrán látottakhoz.



8.7. ábra Illesztőpont-LiDAR 5 cm

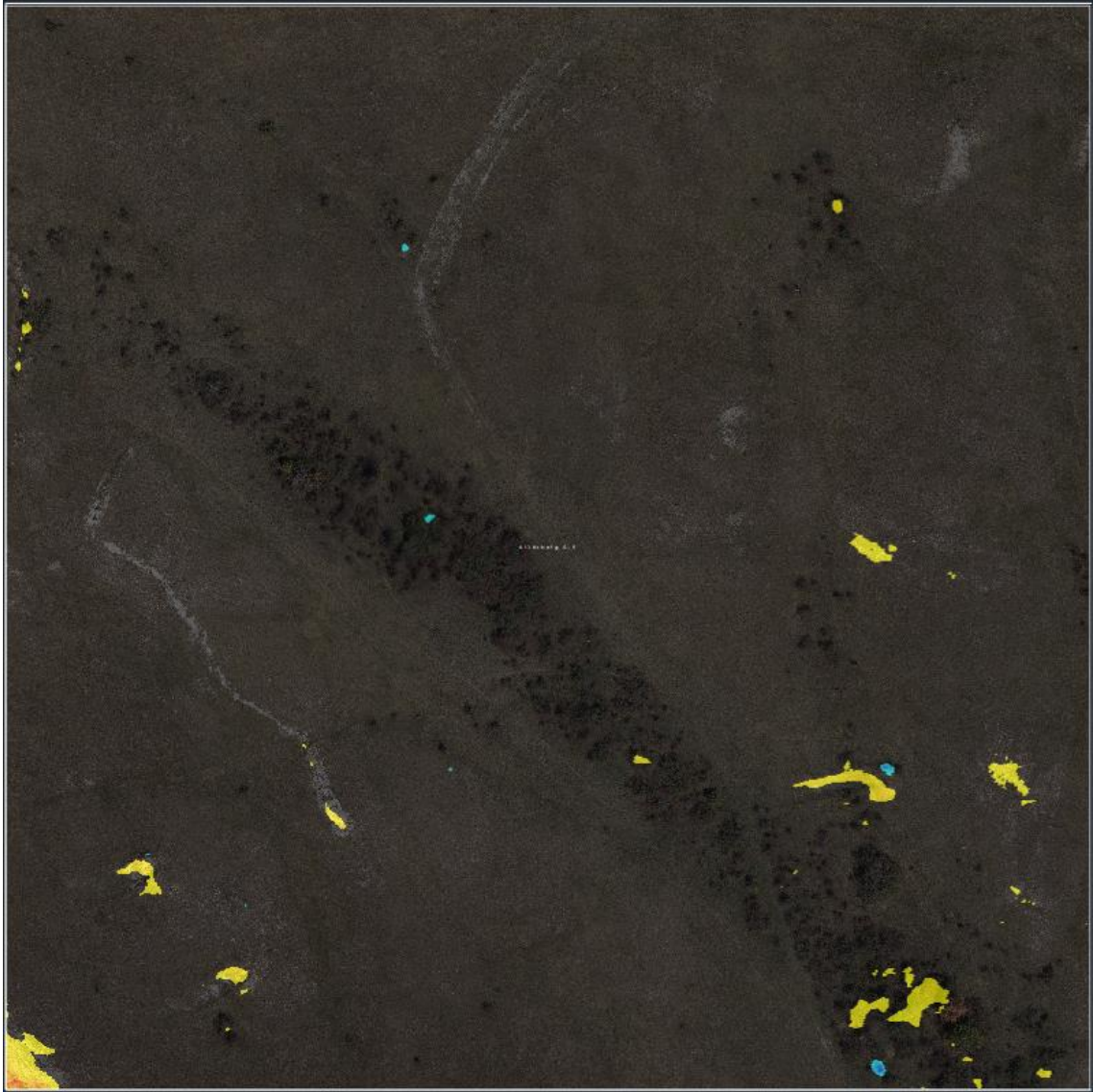
Jelentősen kevesebb eltérés mutatkozik a LiDAR méréshez képest az 8.7. ábrán az 8.2-es ábrához képest. A kékkel jelölt területek ugyan megnöttek, de az 5 cm alatti

eltérés aránya sokkalta jobb, mint a telemetriai feldolgozással készült állományé. Ugyanakkor jellemzően ugyanazok a részek térnek el magassági értelemben nagymértékben a lézeres méréstől, mint a másik fotogrammetriai feldolgozásnál.



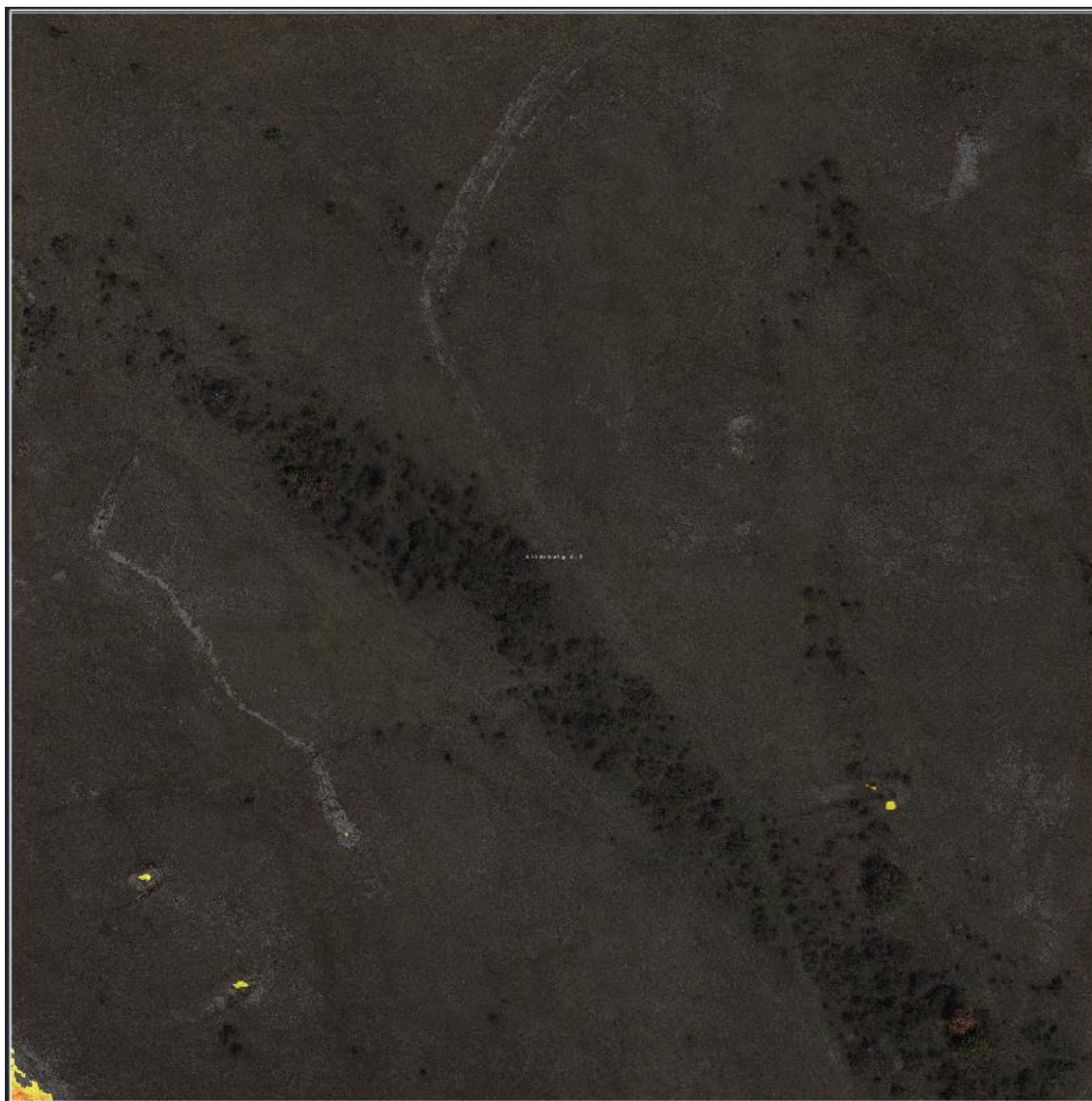
8.8. ábra Illesztőpont-LiDAR 10 cm

Az 8.8. ábrán jelölt 10 cm-es különbség ugyanakkor már nem tér el akkora mértékben az 8.3. ábrán látottaktól. Hasonlóak a színek megoszlásai, hasonlóak az eltérések szélsőértékei. A kékszínű terepből még mindig nagyobb mennyiségű található meg itt.



8.9. ábra Illesztőpont-LiDAR 25 cm

A 25 cm-es határ (8.9. ábra) itt meglehetősen jobb eredményt hozott a korábbinál. A kép jobb alsó részén sokkal kevesebb differencia mutatkozik, feltehetően az ott elhelyezett illesztőpontnak köszönhetően, ugyanakkor látszik, hogy a szoftver a baloldalt található durva hibákkal ennél a módszernél sem volt képes megbirkózni. Hiába az illesztőpontok, ha valamit fentről merőlegesen fényképezve nem képes érzékelni a kamera, akkor csupán azokkal nem érünk el ilyen terepen kimagasló eredményeket.

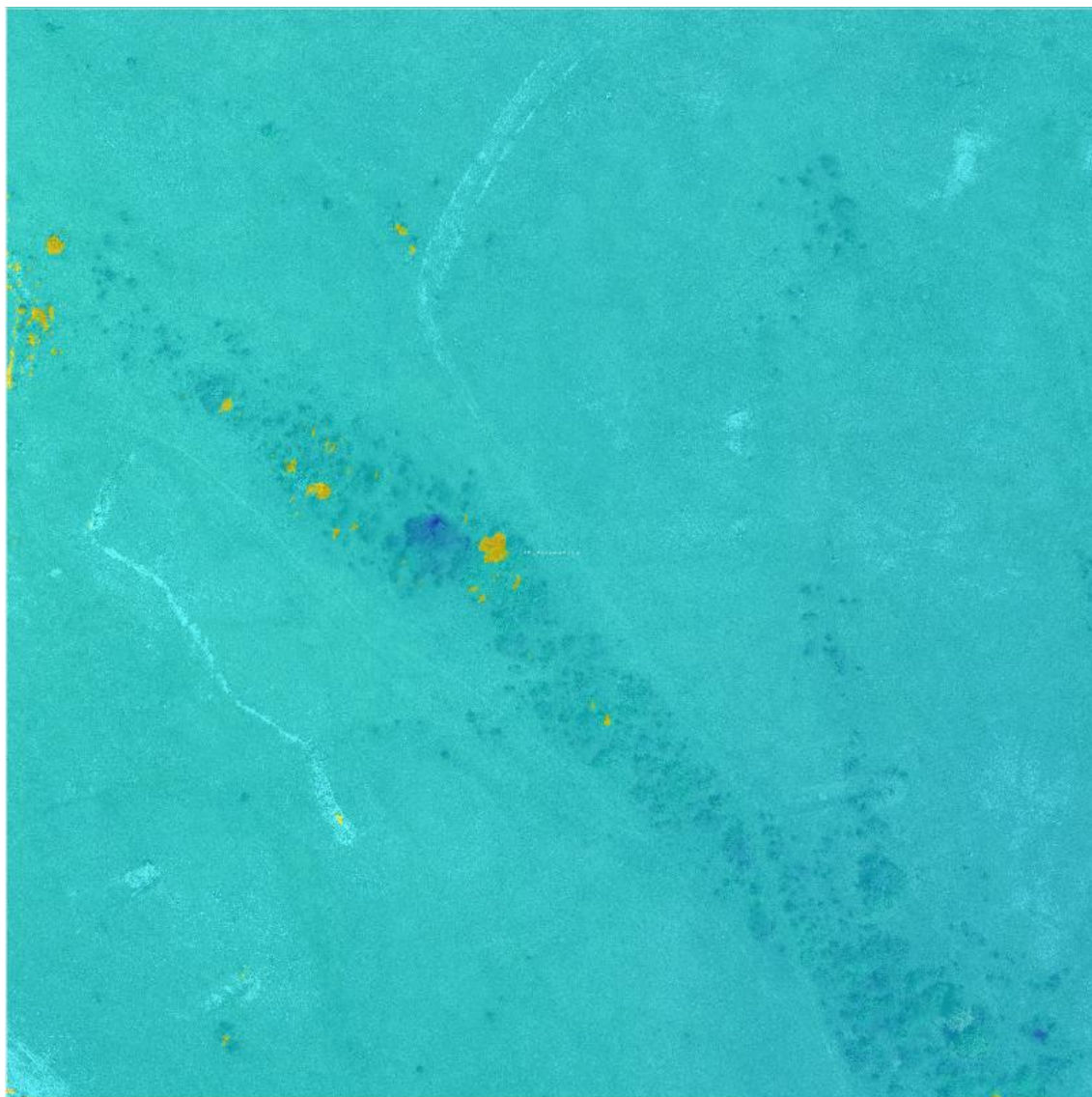


8.10. ábra Illesztőpont-LiDAR 50 cm

Az 50 cm-es eltérés (8.10. ábra) nem tartogatott váratlan fordulatokat. Konkrétan ugyanazokon a helyeken mutatkozott eltérés a LiDAR állománnyal, mint a telemetriai módszernél, ugyanakkor annál kisebb területen.

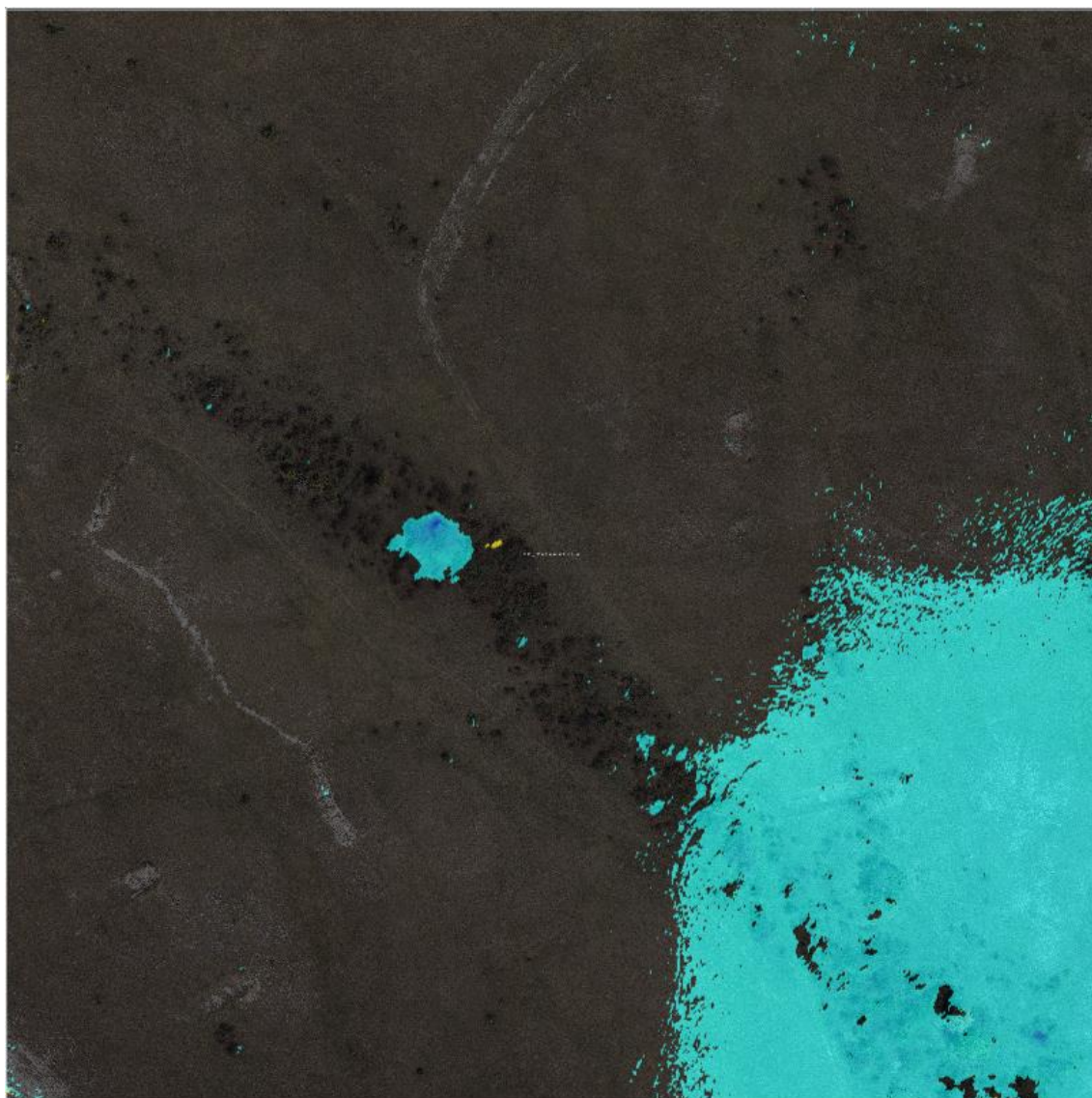
8.3 Az illesztőpontokkal és a telemetriával előállított felmérések eltérései

Az előzőekben feltárt eredmények nyomán kíváncsi lettem a két feldolgozási módszer között keletkező magasságkülönbségekre. A korábbiakhoz hasonlóan elemeztem ki tehát az ezek között kimutatható differenciákat.



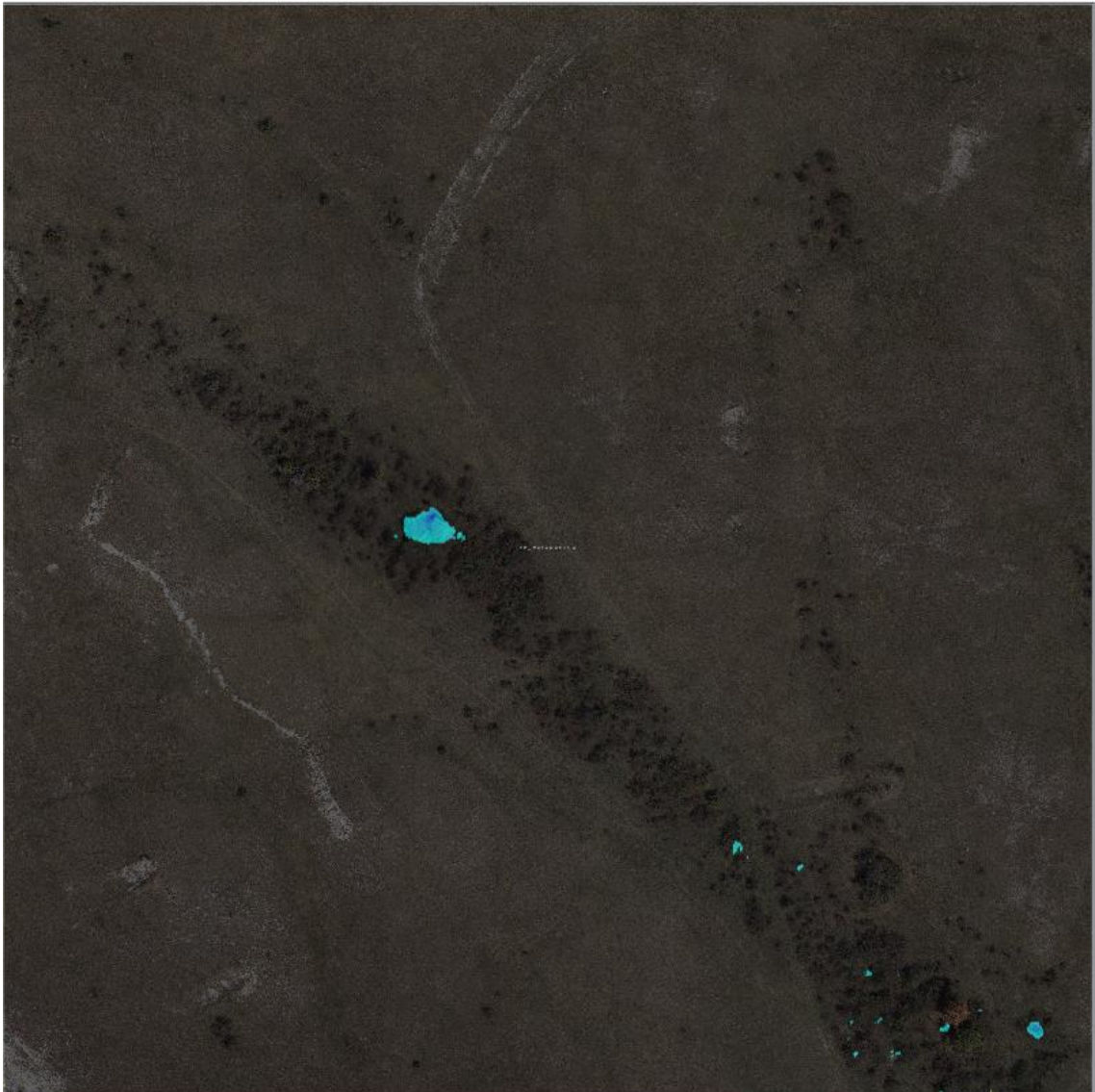
8.11. ábra Illesztőpont-Telemetria 0 cm

0 cm-es eltérés (8.11. ábra) nem meglepő módon nem volt tapasztalható, ellenben a színek alapján megállapítható, hogy a terület szinte teljes egészén a telemetriaival való feldolgozással előállított pontfelhő helyezkedik el magasabban, még hozzá átlagban kevesebb, mint 5 cm-rel.



8.12. ábra Illesztőpont-Telemetria 5 cm

Az 5 cm-es eltérést ábrázoló képen (8.12. ábra) a küszöbértéket már csak a jobb alsó sarokban, illetve egy meglehetősen lombokkal borított területen éri el a magasságkülönbség. Feltehetően itt is a korábban említett növényzeten mért pontok befolyásolják a telemetria tájékozással készült pontok Z koordinátáit.



8.13. ábra Illesztőpont-Telemetria 10 cm

10 cm-nél nagyobb különbség (8.13. ábra) viszont már csak elenyésző területen mutatkozott (még a legnagyobb lejtőn sem, a bal alsó sarokban), ezek is betudhatók a növényzet nem megfelelő szelekciójának az osztályozási fázisban.

Az utolsó kategória ebben az összehasonlításban a 25 cm-es lett, mivel a legnagyobb mért eltérés kevesebb, mint 50 cm volt a középen lévő fás területen (8.14. ábra), ami egy egészen nagynak mondható érték, habár nem meglepő, hogy az alkalmazott kameradőlési szögekkel nem sikerült olyan pontosan a telemetria tájékozás.



8.14. ábra Illesztőpont-Telemetria 25 cm

Összességében tehát elmondható, hogy a valódi terepszintet legfőképpen LiDAR technológiát használó műszerekkel lehet pontosan megmérni, hiszen azok a többszörös

visszaverődés révén a növényzet minden rétegében képesek a pontos terepviszonyokat visszaadni.

Amennyiben nem áll rendelkezésre ilyen eszköz, úgy a fotogrammetriai módszer-nél maradva érdemes illesztőpontokra tájékozni. Ezek segítenek egy összességében a va-lóságához közelebb álló terepmodellt készíteni, valamint a repülést lehetőség szerint négy irányból, döntött kamerával végezzük el. A telemetria tájékozást szabatos geodéziai munkákhoz nem lehet nyugodt szívvel ajánlani, a vertikális koordináták már-már jelentős eltolódása miatt. Ellenben ha csupán vízszintes koordináták érdekelnek bennünket, úgy megfelelő pontosságú térképeket lehet ennek a módszernek a segítségével is előállítani.

9. MŰSZAKI LEÍRÁS

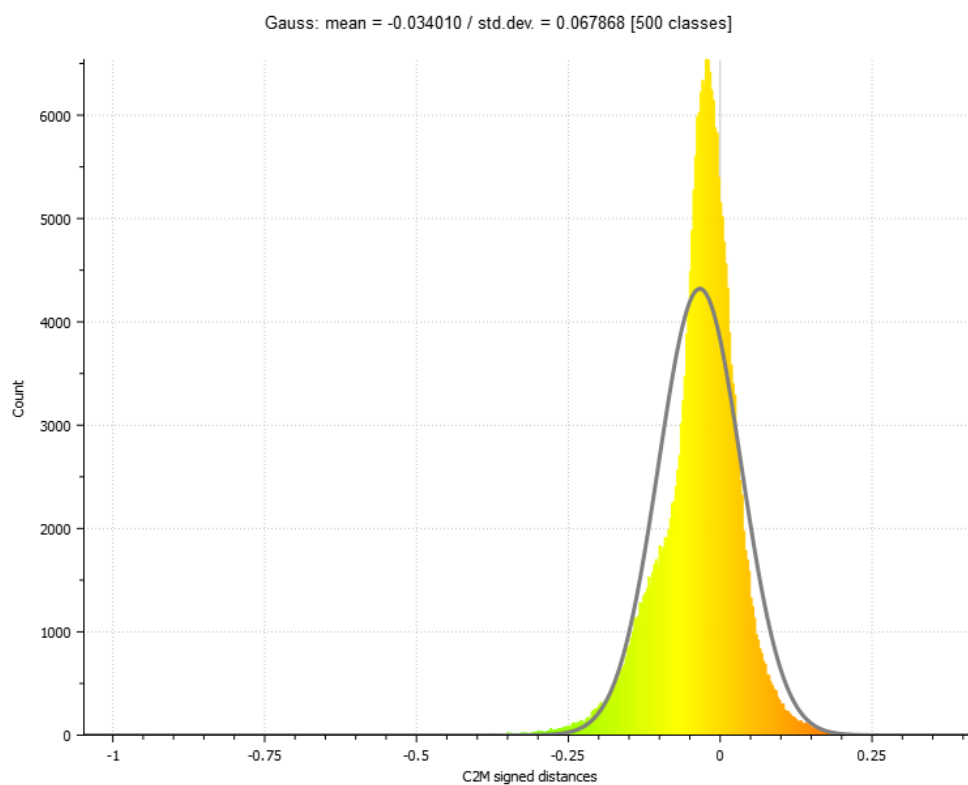
Témám az Iszkaszentgyörgyön megtartott terepgyakorlat alkalmával általam fotogrammetriai módszerrel előállított digitális domborzatmodell összehasonlítása volt, az iskolától kapott, azonos területre eső, LiDAR technológiával elkészített ugyanilyen modellel.

Mindenekelőtt összegyűjtöttem a szükséges eszközöket, melyeket a Karsai Geodézia kft. biztosított a számomra (Hi-Target V100 GNSS RTK vevő, DJI Phantom 4 RTK és a hozzájuk tartozó kiegészítők, leszállópálya, pontjelek, festék). A helyszínre érve kihelyeztem a négy illesztőpontot, majd mindegyiket egyenként 15 epochán keresztül szabatosan meghatároztam a V100-as készülékkel, hálózatos RTK módban, a Lechner Tudásközpont által üzemeltetett GNSSnet-től kapott korrekciós szolgáltatás segítségével (SGO-PRS 3.2-es kapcsolódási pontot alkalmazva).

Ennek végeztével a drón vezérlőjén körül jelöltem a felmérni kívánt terepet, megterveztem a repülést, megadtam a felvételkészítés paramétereit, majd az UAV-t bekapcsoltam. Indulás előtt kalibráltam az iránytűt, majd lehelyeztem a leszállópályára és indítottam a tableten a mérést.

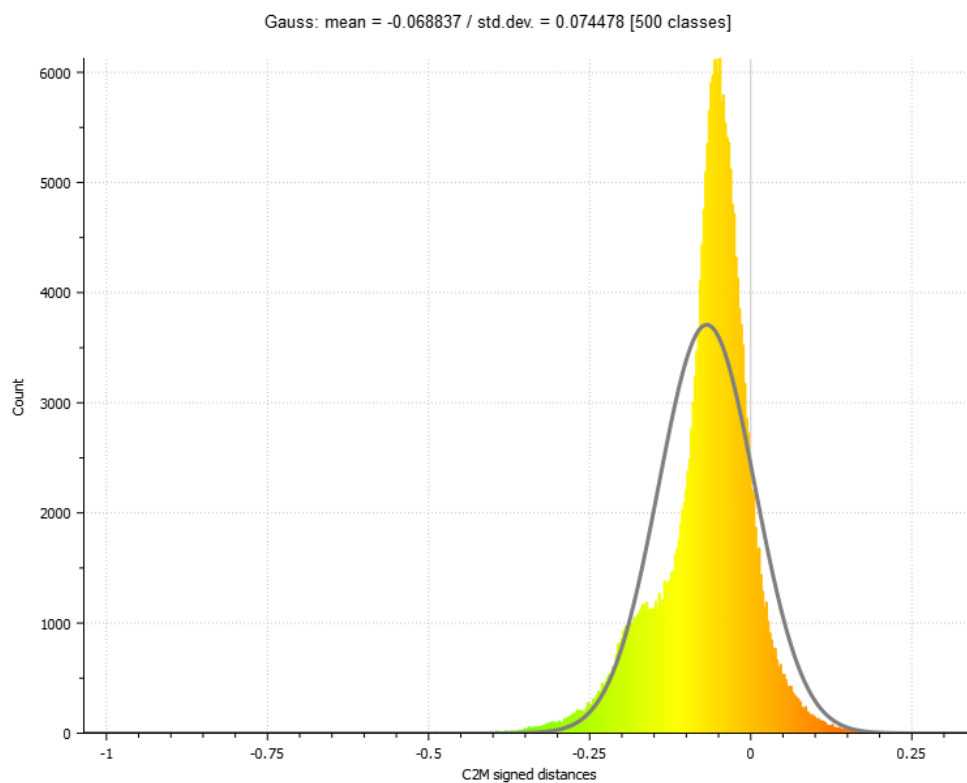
A fotók elkészültek, a drón leszállt, én pedig az illesztőpontok begyűjtése után visszavonultam az irodába, kimenteni az SD kártyáról a 133 darab fotót és a hozzájuk tartozó segédállományokat. Megkezdtem az adatok feldolgozását a 3D Survey alkalmazással. Először a kapott képekből kinyertem a készítésük EOY helyes koordinátáit, Balti magasságát, majd ennek segítségével behoztam őket a programba. Itt sugárnyaláb-ki-egyenlítés és különféle tájékozások (telemetriai és illesztőpontokkal végrehajtott) után kettő különböző pontfelhőt állítottam elő belőlük. A LiDAR-ral mért állományt szintén behívtam, majd ezt körül jelölve egy keretet alkottam, ami alapján redukáltam a két fotogrammetriai eljárással előállított pontfelhőmet. Az állományaimról ezután már csak a növényzetet kellett eltávolítanom a szoftver által kínált „Classification” paranccsal, majd a csak tereppontokat tartalmazó felhőkből, illetve a kapott állományból egy-egy 50 cm-es oldalhosszúságú háromszögekből álló hálót generáltam.

Ezen hálók alapján hasonlítottam össze a különféle módokon tájékozott fotogrammetriai, és a lézeres távolságmérésen alapuló módszerrel előállított felületmodelleket. Az összehasonlítás során világossá vált számomra, hogy ugyan alapvetően, ha egy bizonyos területen nem túl magas az aljnövényzet és nincsenek nagymértékben kiugró formák, akkor megfelelő választás lehet (a kellő precizitás megőrzése mellett) a fényképezésen alapuló technológia is, ellenben ahol nem ilyen kedvezőek a fedettségi viszonyok, ott már jelentős eltéréseket is mutathat a LiDAR méréshez képest.



9.1. ábra Illesztőpont-LiDAR hálók pontjainak eltérése

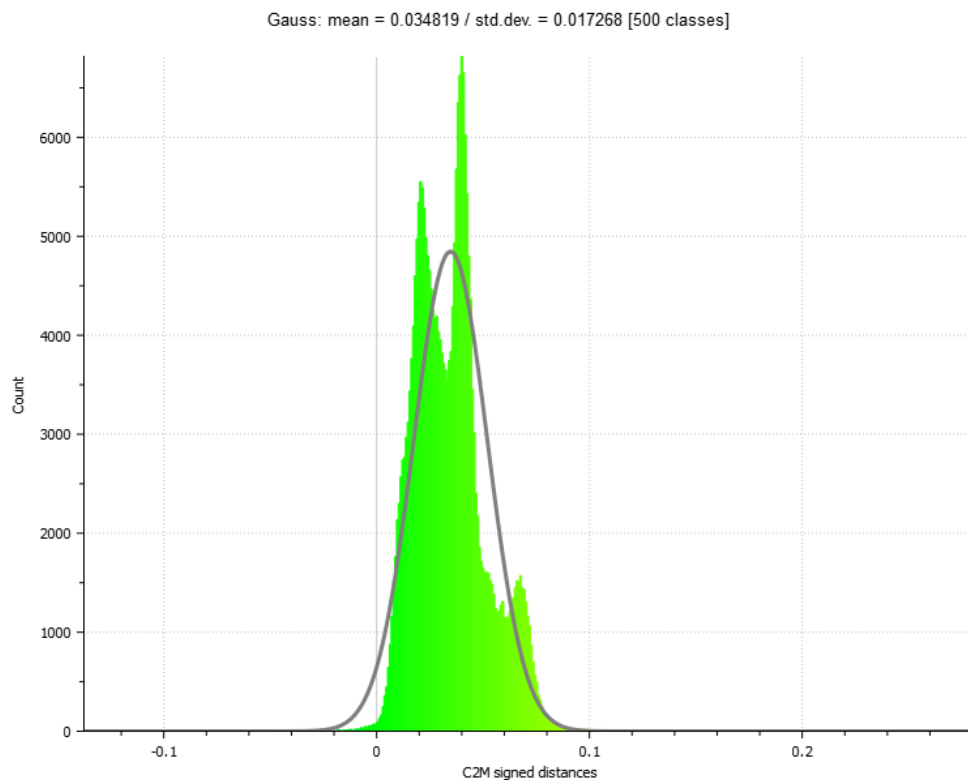
Az Illesztőponttal tájékozott és a LiDAR technológiával mért hálók átlagos eltérése 34 mm-es volt, míg a szórása 68 mm (9.1. ábra).



9.2. ábra Telemetry-LiDAR hálók pontjainak eltérése

A telemetry adatok alapján tájékozott és a lézerszkennerrel mért hálók átlagos eltérése 69 mm, szórásuk pedig 74 mm-es volt (9.2. ábra).

A telemetriával és az illesztőpontokkal tájékozott állományok között azonban nem voltak megfigyelhetők ilyen mértékű eltérések. Ezeknél az átlagos különbség 35 mm-es nagyságú lett, valamint a szórásuk meglepően alacsony, 17 mm-es eltérést mutatott (9.3. ábra).



9.3. ábra Illesztőpont-Telemetria hálók pontjainak eltérése

A fentebbi grafikonokat, illetve a következő táblázatot a CloudCompare programból sikerült kinyernem. A 3D Survey segítségével létrehozott hálókat a rájuk való jobb-klikkel és „Mentés másként” paranccsal elmentettem PLY kiterjesztésű fájlokba. Ezeket a CloudCompare tökéletesen felismeri, az „Open” paranccsal betöltöttem a három úgynevezett „Mesh”-t, azaz hálót, majd kettesével kijelöltem őket, és lefuttattam rajtuk a „Compute Cloud-Mesh Distance” számítást az alapbeállításokkal, amely az egyes hálópontok különbségeit számítja ki a két felület között. Ezután az „Edit” fület lenyitva a „Scalar fields” pont alatt megtalálható „Compute stat. params” gombot megnyomva a szoftver kiszámította nekem a fent látható grafikonokat (Gauss eloszlással), illetve CSV

kiterjesztésű állományban megadta a minden egyes ponthoz tartozó eltérési adatokat. A kapott értékeket a könnyebb érthetőség kedvéért Excelben összesítettem (2. táblázat).

Gauss Eloszlás alapján számított értékek				
[m]	Min	Max	Átlagos hiba	Szórás
Illesztőpont-LiDAR	-1.0476	0.4230	-0.0340	0.0679
Telemetria-LiDAR	-1.0351	0.3497	-0.0688	0.0745
Illesztőpont-Telemetria	-0.1375	0.2821	0.0348	0.0172

2. táblázat Gauss eloszlás alapján számított eltérések

A fentiek alapján világossá vált számomra, hogy ugyan vannak bizonyos terület típusok (kopár, nem fehér sziklás), ahol a telemetria adatokkal történő feldolgozással a lézerszkennelt állományéhoz közelebb eső pontfelhőt kaptam, azonban általánosságban az illesztőpontokkal való tájékozással kisebb hibával lehetséges dolgozni.

10. ÖSSZEGZÉS

Közel három éve foglalkozok fotogrammetriai drónnal végzett terepmodellek előállításával, illetve azokból különböző adatok kinyerésével (szintvonalak, raszter hálók), készítek továbbá tervezési alaptérképeket, épületmodelleket, bányafelméréseket. Ugyanakkor mindig is foglalkoztatott ezeknek a más módszerekkel történő mérésekhez viszonyított pontossága.

Régóta szerettem volna összehasonlítani az általam generált domborzatmodelleket egy LiDAR technológia segítségével előállított felülettel, és erre most az egyetemen lehetőségem is nyílt. Az oktatóim által előállított lézeres mérés pontfelhőjét alapul véve, az egyetemen és földmérő technikusként szerzett, a Karsai Geodézia kft.-nél kamatoztatott tudásom alapján egy igen látványos és tanulságos ábrákat felsorakoztató szakdolgozatot sikerült létrehoznom.

A feladatom készítésekor ugyan több akadályba is ütköztem, de a jelenlegi tudásommal, és az egyetemi éveim során kifejlődő problémamegoldó képességemmel sikerült rajtuk felülkerekedni, a végső kiértékelésből képes voltam őket eliminálni.

A cégünknek hála rengeteg, igen fejlett eszköz és szoftver is a rendelkezésemre állt a szakdolgozat elkészítéséhez, így az adatok begyűjtését és a feldolgozást is jó minőségben voltam képes elvégezni. A dolgozat remekül reprezentálja a jelenlegi tudásszintemet, azonban érzem magamban az ambíciót a további, remélem ez alatt az élet alatt soha véget nem érő fejlődésemre.

Zárásképp csak annyit szeretnék megjegyezni, hogy érdekes volt látni a különböző módszerekkel előállított, vagy csak másként feldolgozott pontfelhők között is micsoda eltérések lehetnek. Remélem a dolgozatom hasznos lesz a jövőben minden, az ilyen témára nyitott ember számára, és kiváltképp a földmérő társak részére is. Remélem, hogy a pontfelhőkön alapuló módszerek további teret fognak nyerni a jövőben is, hiszen hatalmas potencia van bennük.

11.SUMMARY

For nearly three years, I have been involved in creating terrain models using photogrammetric drones and extracting various data from the pictures I created with them (contour lines, raster grids). Additionally, I also have been creating base maps for planning, building models and mining surveys. However, I have always been interested in the accuracy of these measurements compared to other methods.

I have long wanted to compare the terrain models I generated to a surface that is produced by using LiDAR technology, and now I had the opportunity to do so at university. Based on the point cloud measurement created by my instructors, my knowledge acquired at the university, and as a land surveying technician at Karsai Geodézia Kft., I was able to create a visually stunning and informative thesis.

While working on my task, I encountered several obstacles, but with the current knowledge and problem-solving skills I developed during my university years, I was able to overcome and eliminate these in the final evaluation. Thanks to my company, I had access to a large number of advanced tools and software to collect data and process it at a high quality.

My thesis represents my current level of knowledge, but I feel the ambition within me to continue developing, and I hope this process will never end during my lifetime.

In conclusion, it was interesting to see the differences between point clouds produced by different methods or processed differently. I hope my thesis will be useful in the future for anyone interested in this topic, especially for land surveying colleagues. I also hope that point cloud-based methods will continue to gain ground in the future, as they have huge potential.

12.KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretném megköszönni Dr. habil Jancsó Tamás konzulensem áldozatos munkáját, hogy a témámmal kapcsolatban felmerülő bármilyen problémával fordulhattam hozzá, ő pedig minden alkalommal, rendkívüli szakértelemmel és gyors, alapos válaszokkal segítette a szakdolgozatom elkészültét.

Köszönöm Balázsik Valéria mestertanárnőnek, hogy lehetővé tette a terepgyakorlat alkalmával az UAV-val folytatott terepfelmérést.

Köszönöm az Alba Regina Műszaki Kar oktatóinak, hogy biztosították számomra a szakdolgozat létrehozásához szükséges mennyiségű tudást.

Végül köszönöm a Karsai Geodézia kft.-nek, de különösképp édesapámnak, hogy a méréshez, a feldolgozáshoz szükséges eszközöket, szoftvereket és a dolgozat megírásához kellő mennyiségű szabadságot és motivációt biztosított a számomra, valamint megismertetett a földmérők világával.

13.IRODALOMJEGYZÉK

- [1] D. K. F. D. S. J. D. h. N. L. Dr. habil Mucsi László, „<http://www.geo.u-szeged.hu/>,” [Online]. Available: <http://www.geo.u-szeged.hu/~laci/ab-Geoinformatanyag/ch10.html>. [Hozzáférés dátuma: 12 10 2022].
- [2] E. S. Agency, „esa.int,” [Online]. Available: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Europe_s_Copernicus_programme. [Hozzáférés dátuma: 10 10 2022].
- [3] ACRSA, „acrsa.org,” [Online]. Available: <https://acrsa.org/hu/index.php/fogalomtar>. [Hozzáférés dátuma: 10 10 2022].
- [4] N. O. Service, „oceanservice.noaa.gov,” [Online]. Available: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html>. [Hozzáférés dátuma: 11 10 2022].
- [5] Vectornav, „vectornav.com,” [Online]. Available: <https://www.vectornav.com/resources/inertial-navigation-articles/what-is-an-inertial-measurement-unit-imu>. [Hozzáférés dátuma: 13 10 2022].
- [6] D. P. D. P. L. P. G. S. P. D. Rossana Gini, „core.ac.uk,” [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/55241745.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 22 12 2022].
- [7] T. Applanix, „youtube.com,” [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=CdlFlyVKiAY&ab_channel=TrimbleApplanix. [Hozzáférés dátuma: 02 01 2023].
- [8] Heliguy, „heliguy.com,” [Online]. Available: [https://www.heliguy.com/blogs/posts/dji-phantom-4-rtk-accuracy-confirmed#:~:text=With%20the%20Phantom%204%20Pro%20and%20GCPs%20C%200.90cm%20relative,at%20100%20ft%20\(33m\)](https://www.heliguy.com/blogs/posts/dji-phantom-4-rtk-accuracy-confirmed#:~:text=With%20the%20Phantom%204%20Pro%20and%20GCPs%20C%200.90cm%20relative,at%20100%20ft%20(33m)). [Hozzáférés dátuma: 03 01 2023].

- [9] V. Zoltán, „geomentor.hu,” [Online]. Available: <http://geomentor.hu/hi-target-v100-rtk-rover>. [Hozzáférés dátuma: 10 03 2023].
- [10] DJI, „dji.com,” [Online]. Available: <https://www.dji.com/hu/phantom-4-rtk/info#specs>. [Hozzáférés dátuma: 10 03 2023].
- [11] EASA, „easa.europa.eu,” [Online]. Available: <https://www.easa.europa.eu/en/the-agency/faqs/drones-uas#category-open-category>. [Hozzáférés dátuma: 16 04 2023].
- [12] DJI, „dl.djicdn.com,” [Online]. Available: https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4_rtk/20200721/Phantom_4_RTK_User_Manual_v2.4_EN.pdf. [Hozzáférés dátuma: 11 04 2023].
- [13] D. h. J. Tamás, „Digitális fotogrammetria jegyzet,” ÓE-AMK, 2017.
- [14] 3. Survey, „3dsurvey.si,” [Online]. Available: <https://3dsurvey.si/case-studies/>. [Hozzáférés dátuma: 01 05 2023].
- [15] 3. Survey, „3dsurvey.si,” [Online]. Available: <https://3dsurvey.si/support/faqs/#hfaq-post-0>. [Hozzáférés dátuma: 01 05 2023].
- [16] Ismeretlen, „divcomplatformstaging.s3.amazonaws.com,” [Online]. Available: <https://divcomplatformstaging.s3.amazonaws.com/geoweeek.divcomstaging.com/images/1468d89d09a35449882b537f39a0dfef.png>. [Hozzáférés dátuma: 12 10 2022].
- [17] Ismeretlen, „docplayer.hu,” [Online]. Available: <https://docplayer.hu/docs-images/73/68357459/images/38-0.jpg>. [Hozzáférés dátuma: 13 10 2022].
- [18] Ismeretlen, „magyarmuzeumok.hu,” [Online]. Available: https://magyarmuzeumok.hu/uploaded_files/base_gallery/miskolc/m30-2.jpg. [Hozzáférés dátuma: 13 10 2022].

- [19] D. K. Zsolt, „mezohir.hu,” [Online]. Available: <https://mezohir.hu/2022/01/12/agraar-belviz-elharitas-technologia-novenytermesztes-mezogazdasag/>. [Hozzáférés dátuma: 13 10 2022].
- [20] Hi-Target, „en.hi-target.com,” [Online]. Available: <https://en.hi-target.com.cn/v100-gnss-rtk-system>. [Hozzáférés dátuma: 10 03 2023].
- [21] DJI, „dji.com,” [Online]. Available: <https://www.dji.com/hu/phantom-4-rtk>. [Hozzáférés dátuma: 10 03 2023].
- [22] J. R. S. Rann K., „pureadmin.qub.ac.uk,” [Online]. Available: https://pureadmin.qub.ac.uk/ws/portalfiles/portal/177071150/Chasing_the_line_Hutton_s_contribution_to_the_invention_of_contours.pdf. [Hozzáférés dátuma: 10 10 2022].
- [23] D. S. Ferenc, „agt.bme.hu,” [Online]. Available: http://www.agt.bme.hu/tutor_h/terinfor/t37.htm. [Hozzáférés dátuma: 10 10 2022].
- [24] F. Ilona, „docplayer.hu,” [Online]. Available: <https://docplayer.hu/107914841-A-woldan-terkep-terkeptorteneti-vizsgalata.html>. [Hozzáférés dátuma: 10 10 2022].
- [25] D. K. F. D. S. J. D. h. N. L. Dr. habil Mucsi László, „geo.u-szeged.hu,” [Online]. Available: <http://www.geo.u-szeged.hu/~laci/ab-Geoinfo-tananyag/ch10s05.html>. [Hozzáférés dátuma: 11 10 2022].

14.ÁBRAJEGYZÉK

2.1. ábra Charles Hutton a skóciai Schiehallion (akkori Schehallien) hegyet is ábrázoló vázlata	3
2.2. ábra: Állványra szerelt digitalizáló tábla	4
2.3. ábra: Cruse szkenner	4
2.4. ábra: Fotogrammetriai digitális magasság modell	4
2.5. ábra: Manuális adatfeldolgozás sztereoszkóppal	5
2.6. ábra: Belső tájékozási elemek	6
2.7. ábra: Külső tájékozási elemek	7
2.8. ábra: Drónra szerelt LiDAR szenzor	8
3.1. ábra: Digitális felszínmodell	9
3.2. ábra: 3D városmodell.....	10
3.3. ábra: Bányamérés, földtömegszámítás	11
3.4. ábra: Régészeti feltárás Miskolcon	11
3.5. ábra: Pálfai-féle belvíz-veszélyeztetettség térkép.....	12
5.1. ábra: UAV Forecast (a kép nem a felmérés napján készült).....	15
6.1. ábra: Hi-Target V100 és iHand30.....	16
6.2. ábra: DJI Phantom 4 RTK és kontrollere.....	17
6.3. ábra: DJI GS RTK kezdőlap	18
6.4. ábra: Térképezési módszer kiválasztása	18
6.5. ábra: 2 D fotogrammetria tervezése	20
6.6. ábra: Kamera beállítások	21
6.7. ábra: Haladó beállítások.....	22
6.8. ábra: A mérés paraméterei	22
6.9. ábra: Előre gyártott illesztőpont.....	23
6.10. ábra: Baloldali menüsor	24
6.11. ábra: Repülési tervek listája	24
6.12. ábra: Munkaterület.....	25
6.13. ábra: Iránytű kalibrációs segéd	25

6.14. ábra: A mérés megkezdése	26
7.1. ábra Nyers adatokat tartalmazó mappa.....	27
7.2. ábra HD72 program kezelőfelülete.....	28
7.3. ábra A fixedRTK.csv fájl tartalma.....	28
7.4. ábra 3D Survey beállítási lehetőségek	30
7.5. ábra 3D Survey kezdőlap	31
7.6. ábra Képek importálása után.....	32
7.7. ábra Újrimport.....	33
7.8. ábra Telemetria adatok	33
7.9. ábra Sugárnyaláb-kiegyenlítés	34
7.10. ábra Ritka pontfelhő kötegelt kiegyenlítés után	35
7.11. ábra Illesztőpontok koordináta jegyzékének beolvasása	36
7.12. ábra Illesztőpontok terepi azonosítása	37
7.13. ábra Tájékozáshoz használt illesztőpontok hibái	37
7.14. ábra Pontfelhő sűrítés.....	38
7.15. ábra Az elkészült pontfelhő	38
7.16. ábra Pontok kiválasztása CAD alapján	39
7.17. ábra Osztályozás beállításai	40
7.18. ábra Rácsháló számítása	41
7.19. ábra Térfogatszámítás	42
7.20. ábra Térfogatok fül	42
7.21. ábra Digitális ortofotó számítása	43
8.1. ábra Telemetria-LiDAR 0 cm	44
8.2. ábra Telemetria-LiDAR 5 cm	45
8.3. ábra Telemetria-LiDAR 10 cm	46
8.4. ábra Telemetria-LiDAR 25 cm	47
8.5. ábra Telemetria-LiDAR 50 cm	48
8.6. ábra Illesztőpont-LiDAR 0 cm	49
8.7. ábra Illesztőpont-LiDAR 5 cm	50
8.8. ábra Illesztőpont-LiDAR 10 cm	51

8.9. ábra Illesztőpont-LiDAR 25 cm	52
8.10. ábra Illesztőpont-LiDAR 50 cm	53
8.11. ábra Illesztőpont-Telemetry 0 cm	54
8.12. ábra Illesztőpont-Telemetry 5 cm	55
8.13. ábra Illesztőpont-Telemetry 10 cm	56
8.14. ábra Illesztőpont-Telemetry 25 cm	57
9.1. ábra Illesztőpont-LiDAR hálók pontjainak eltérése	60
9.2. ábra Telemetry-LiDAR hálók pontjainak eltérése	61
9.3. ábra Illesztőpont-Telemetry hálók pontjainak eltérése	62