

Írja be az egyenletet ide



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar

Geoinformatikai intézet

SZAKDOLGOZAT

**Illesztőpontokkal és direkt tájékozással
végrehajtott UAV felmérés összehasonlítása**

OE-AMK

2024

Hallgató neve: Kovács Tibor Miklós

Hallgató törzskönyvi száma: T000306/FI12904/A



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Kovács Tibor Miklós

Szaktervezési száma: SZD2402121102414238

Törzskönyvi száma: T000306/FI12904/A

Neptun kódja:

Szak: pilóta nélküli légi jármű üzemeltető szakmérnök

Specializáció:

A dolgozat címe: Illesztőpontokkal és direkt tájékozással végrehajtott UAV felmérés összehasonlítása

A dolgozat címe angolul: Comparison of a UAV Survey Performed with Reference Points and Direct Orientation

A feladat részletezése:

1. Illesztőpontok kihelyezése, és bemérése a vizsgált területen.
2. A terület felmérése geodéziai mérőállomással, majd drónnal történő fotogrammetriai adatgyűjtés megtervezett útvonalon.
3. Az adatok feldolgozása (pontfelhő készítése) két módszerrel: illesztőpontok felhasználásával, illetve azok felhasználása nélkül, direkt tájékozással.
4. Eredmények összehasonlítása a geodéziai felméréssel, vízszintes és magassági értelemben.

Intézményi konzulens neve: Dr. Jancsó Tamás

Intézményi konzulens neve: Dr. Tarsoly Péter

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

Beadási határidő: 2024. 05. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2024. 04. 08.



Intézetigazgató

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

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: Fót, 2024. május 12.

.....
hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés	6
2	Elmélet ismertetése.....	7
2.1	Kamera kalibráció	7
2.2	Műholdas rendszerek.....	11
2.3	Illesztőpontok (GCP).....	14
2.4	Autonóm repülési tervek elkészítése.....	17
2.5	Relatív tájékozás (kapcsolópontok keresése)	23
2.6	Légiháromszögelés.....	24
3	A vizsgálat végrehajtása	26
3.1	Kamera kalibráció	26
3.2	Repülési terv készítése	29
3.3	Illesztőpontok, ellenőrzőpontok kihelyezése, koordinátaik geodéziai meghatározása	33
3.4	A vizsgálatához felhasznált eszközök:.....	33
3.4.1	Alapponthálózat	33
3.4.2	Illesztőpontok bemérése	35
3.4.3	Ellenőrző pontok bemérése	36
3.5	Légifelvételek készítése.....	38
3.6	A képek feldolgozása	39
3.7	Koordináták összehasonlítás.....	46
3.8	Keresztszelvények.....	50
3.9	Térfogatszámítás	53
4	Összefoglalás.....	56

5	Summary	59
6	Felhasznált irodalom.....	61
7	Ábrajegyzék	62
8	MELLÉKLETEK	64

1 BEVEZETÉS

A pilóta nélküli légi járművek használata napjainkban egyre nagyobb teret hódít életünk igen jelentős részében. Véleményem szerint bizonyos szakmák esetében mondhatjuk, hogy lassan elengedhetlenné, megkerülhetlenné válik. Úgy gondolom, ilyen a földmérés is. A számos egyéb felhasználási terület mellett a geodézia egy olyan tudomány, amelynek hagyományos értelemben vett gyakorlati alkalmazását (bár az igen sokrétű lehet) jelentős mértékben kiegészítheti, segítheti azt, sőt, bizonyos szegmensében akár ki is válthatja. E dolgozat többek között arra a kérdésre keresi a választ, hogy ezt mely területeken lehet megtenni, és ezzel szemben hol tudjuk csak részben kiváltani a terepi felmérés alkalmazását, vagyis milyen jellegű munkák elvégzéséhez kell minimum illesztőpontokat, illetve ellenőrzőpontokat bemérnünk. Az első esetet direkt szenzor tájékozásnak hívjuk, melynek lényege, hogy a külső tájékozási elemek nem a feldolgozás során kerülnek meghatározásra, hanem közvetlenül a légi felméréssel egyidőben úgy, hogy terepi illesztőpontokat nem veszünk igénybe. A külső tájékozási elemeket ebben az esetben a DGPS (differenciális GPS) és az INS (inerciális navigációs rendszer) adatai alapján határozza meg a rendszer.

Sok forgalmazótól hallhatjuk (szerencsére nem mindtől), hogy az RTK rendszerrel felszerelt drónok esetében illesztőpontok felhasználása nélkül is elérhetünk a végtermékben (legyen az ortofotó, modell, vagy pontfelhő) 2cm-es pontosságot, mind vízszintes, mind magassági értelemben. Természetesen ezt sokan cáfolják, mivel az eddig begyűjtött tapasztalatok nem ezt támasztják alá. Viszont érdemes megvizsgálni azt is, hogy vajon minden esetben szükség van-e illesztőpontokra, vagy mivel a felhasználási területek elég sokrétűek lehetnek, akár a geodézián belül is, vannak-e olyan feladatok, amelyek direkt szenzor tájékozással történő végrehajtás után kielégítő eredményt biztosítanak.

E dolgozat témájának kiválasztásakor ezekre a kérdésekre kerestem a választ. A vizsgálat helyszínéül egy olyan területet választottam, ahol a topográfiai viszonyok miatt nagy eltérések vannak a magasságokban, a lehető legkevesebb zavaró, a pontfelhő minőségét negatívan befolyásoló tényezőre (növényzet, gyalogos, vagy gépjármű forgalom, egyéb

drónok, stb.) lehet számítani, és nem elhanyagolható módon olyat, amely a lakhelyemhez viszonylag közel volt, hogy az esetleges felmerülő hibák kijavítása érdekében, vagy egy nem tervezett ismétlés esetén ne kelljen túl hosszú utazásokat beiktatnom. Ez a helyszín egy elhagyatott főtí homokbánya.

2 ELMÉLET ISMERTETÉSE

2.1 Kamera kalibráció

A forgalomban lévő kamerák esetében minden gyártó megadja a kamerák paramétereit, vagyis a kamera belső tájékozási elemeit. Ezek valójában közelítő értékek, és csak egy bizonyos hibán belül tekinthetők helyes értéknek. A problémát az okozza, hogy nincs két egyforma kamera, mivel mint minden gyártási folyamat, a kameráké is hibákkal terhelt. Tehát, ha igazán pontos eredményt szeretnénk elérni kameránkkal, használat előtt el kell végeznünk a kamera kalibrációt.

A kamera kalibrációval a geometriailag helyes képalkotó sugárnyalábot állítjuk vissza, megalkotva a kamera modelljét, vagyis meghatározzuk a kamera belső tájékozási elemeit.

A meghatározandó paraméterek:

C_k – kameraállandó,

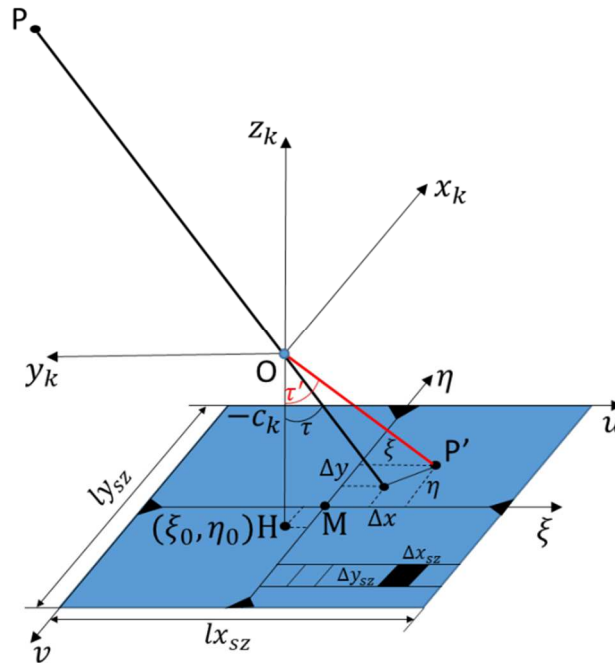
H – a fő pont helye, ahol a kamera tengelye dőfi a képsíkot (ξ_0, μ_0),

$\Delta x, \Delta y$ – torzításból eredő képponteltolódás, mely az alábbi torzulási paraméterek összegzett hatásaként jelentkezik:

A_1, A_2, A_3 – radiális elrajzolási paraméterek,

B_1, B_2 – tangenciális elrajzolási paraméterek (a radiális elrajzolási paraméterekre merőleges vektorok),

C_1, C_2 – a képkoordináta-rendszer affín torzulása (a kamera szenzor torzulása).

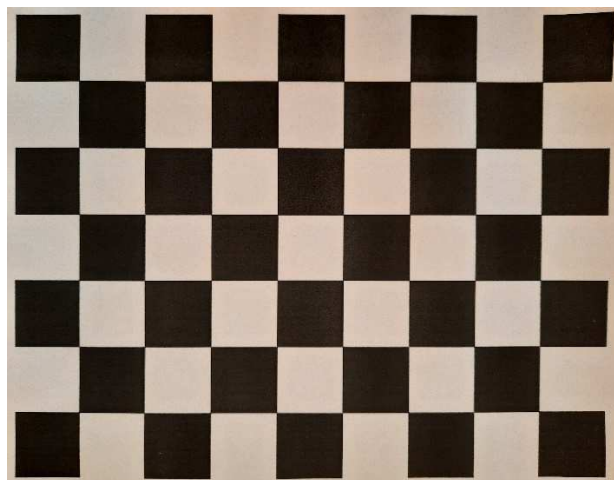


2.1. ábra Belső tájékozási elemek [2]

A fenti paraméterek meghatározására 3 módszer ismert:

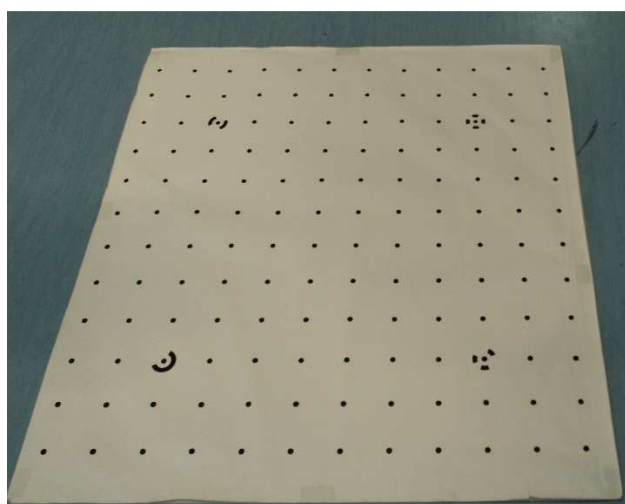
- kamera kalibráció tesztábrák alapján,
- kamera kalibráció tesztmező alapján,
- kamera kalibráció a csillagok alapján.

A tesztábrák segítségével végzett kamera kalibráció lényege, hogy egy sakktábla-szerű sík ábrát rögzítünk egy ugyancsak sík felületen (2.2 ábra). Mivel ezen vizsgálat során a 3. dimenzió nem játszik szerepet, minél több képet kell készítsünk a megbízhatóság növelésének érdekében, több nézőpontból. Az egyes álláspontokon is több felvételt készítünk a kamera elforgatásával a szenzor síkjában, ügyelve arra, hogy a kameránk tengelye és a tesztábra síkja soha ne legyen egymásra merőleges. A „sakktábla” ábra metszései biztosítják számunkra az illesztőpontokat. Természetesen nem kizárólag a fent említett ábra alkalmazható a vizsgálat elvégzésére, egyes feldolgozó szoftverekhez tartoznak különféle ábrák, melyek elemeit a program felismeri.



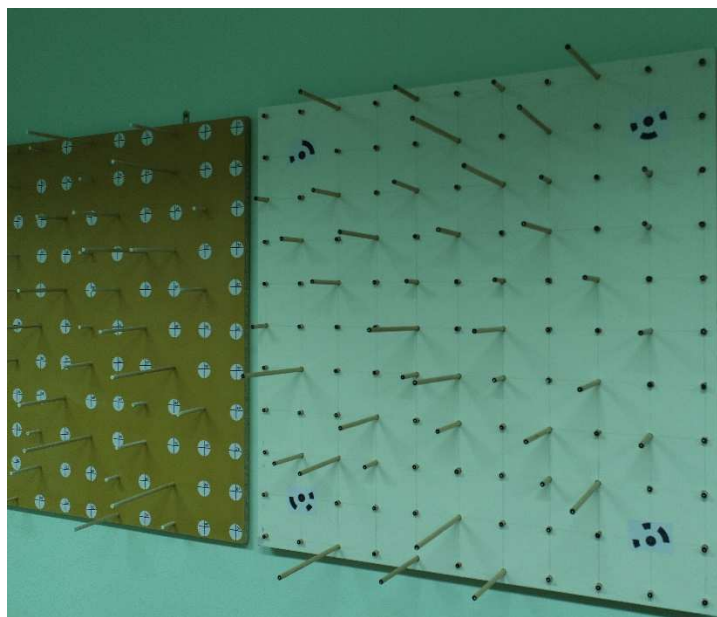
2.2. ábra Sakktábla-szerű sík ábrát

Egy másik típusú tesztábra pl., amelyen nem „sakktábla”- szerűen helyezkednek el a mérendő pontok, hanem ezek egymástól pontosan kimért távolságra, négyzetrácsban elhelyeztet, azonos sugarú, kitöltött körök (2.3. ábra). Ezen tesztábrák tartalmaznak 4 db koordinátával rendelkező, a fent említett pontoktól eltérő formájú jelet is. Ezek a tesztábra sarkaihoz közel, de nem a sarkaiban helyezkednek el, és a kalibrációt elősegítendő, illesztőpontokként funkcionálnak. Ezek az ábrák is kétdimenziósak.



2.3. ábra Tesztábra (sík)

Annak érdekében, hogy a 3. dimenziót ne kelljen kiejtenünk a vizsgálatból, és ezzel még pontosabban tudjuk meghatározni a kamera kalibráció során keresett paramétereket, készültek speciális, 3D-s tesztábrák is (2.4. ábra). Ezeken az előző típushoz hasonlóan helyezkednek el a mérendő jeleink az ábra síkjában. Azonban ezeknél, a pontokba, a tábla síkjára merőlegesen állított különböző hosszúságú pálcikák végén elhelyezett jelet kell mérnünk a fotókon, ezzel mélységet is adva vizsgálatunknak.



2.4. ábra Tesztábra (3D)

A tesztmező segítségével végzett kamera kalibráció esetén egy illesztőpont mezőt kell telepítenünk. E vizsgálatnál alapvető különbség az előző esetek legtöbbjéhez képest, hogy itt már az illesztőpontjaink rendelkeznek magassági értékekkel is, tehát a vizsgálatához használt mezőnk 3 dimenziós. Ismernünk kell az illesztőpontok koordinátáit (X , Y , Z), és ügyelnünk kell arra, hogy úgy hajtsuk végre a repülést, hogy az egyes pontok esetében több képen (de minimum kettőn) tudjuk mérni minden egyes illesztőpont képkoordinátáit (ξ , μ). Fontos követelmény az illesztőpontok telepítése kapcsán, hogy egymáshoz képest egyenletesen legyenek elhelyezve, valamint sokkal pontosabb eredményt kaphatunk, ha

olyan területet választunk, ahol biztosítani tudjuk, hogy a tesztmezőnk egyes pontjainak pozíciói magassági értelemben is eltérnek egymástól. Igazán pontos eredményre akkor tehetünk szert, ha ezen magasságkülönbségek eléri a repülési magasság 20%-át. Ennél a módszernél a kamera kalibráció a felvételek készítésével egyidőben történik.

A csillagok fényképezésén alapuló kamera kalibráció lényege, hogy a vizsgálatához használt illesztőpontokat a csillagok helyettesítik. Az eljárás során egyetlen jó minőségű felvételt kell készítenünk megfelelő expozíciós idő beállításával, melyen igen nagy pontossággal meg kell mérjünk az egyes csillagok képkoordinátáit (ξ , μ), valamint egy égi koordinátarendszerhez képest ismernünk kell az elkészített fotón a csillagok koordinátáit. Ez utóbbi elvégezhető egy ingyenes internetes szolgáltatás, az Astrometry.net segítségével. A kamera belső adatai, valamint képkoordináta korrekciók ismeretében fokozatos közelítéssel felírható az égi, és a képkoordináta-rendszer közötti kapcsolat. [2][5][10]

2.2 Műholdas rendszerek

A műholdas rendszerek jelenléte napjainkban már életünk részévé vált, elengedhetetlen fontossággal bír az UAV-ok használata során is.

Alapelve tulajdonképpen a térbeli ívmetszés, vagyis ismert helyzetű pontoktól meg kell mérjünk a távolságunkat, esetünkben a műholdaktól. Egyutas távmérésről beszélünk, ha a GNSS-vevőnk veszi a műholdról érkező jelet, ugyanakkor jel a másik irányba nem megy.

A műhold és a vevő közötti távolságot közvetett módon határozza meg a rendszer az időmérésre visszavezetve, a rádióhullámok terjedési idejének és terjedési sebességének (fénysebesség) felhasználásával. A műholdak nagy pontosságú atomórával rendelkeznek, vevőink azonban kisebb pontossággal bírnak, így hibáikat paraméterként vesszük figyelembe. Ezért vevőnk pozíciójának meghatározásához minimum 4 műholdra van szükség, viszont a legtöbb esetben ennél jóval több áll a rendelkezésünkre, és sokkal több műholdat lát egyszerre, egy időben. A megoldást kiegyenlítéssel kapjuk meg az összes mérést felhasználva.

Többféle GNSS alaprendszer is működik napjainkban, amelyek által biztosított műholdakat felhasználhatjuk méréseink során:

GPS rendszer (NAVSTAR)

- üzemeltető: USA,
- műholdak: 6 darab 55 fokos inklinációjú pályasík, síkonként 4 műholddal (alapkiépítésben),
- pályamagasság: 20182 km,
- keringési idő: 11 óra 58 perc.

GLONAS rendszer

- üzemeltető: Szovjetunió, később Oroszország,
- műholdak: 3 darab 64.8 fokos inklinációjú pályasík, síkonként 8 darab műholddal (alapkiépítésben),
- pályamagasság: 19100 km,
- keringési idő: 11 óra 15 perc 45 másodperc.

BEIDOU rendszer

- üzemeltető: Kína,
- műholdak: 6 darab 55 fokos inklinációjú pályasík, összesen 27 darab műholddal,
- pályamagasság: 20150 km,
- keringési idő: 12 óra 37 perc.

GALILEO rendszer

- üzemeltető: EU,
- műholdak: 3 darab 56 fokos inklinációjú pályasík, síkonként 8 műholddal (alapkiépítésben),
- pályamagasság: 23222 km,
- keringési idő: 14 óra 4 perc.

Napjainkban számos GNSS vevő (az ezen dolgozat készítéséhez felhasznált DJI Phantom4 RTK-é is) képes a fent felsorolt rendszerek által biztosított jelek vételére, igaz az egyes rendszerek külön-külön is eredményezhetnek megoldást.

A vevők órájának hibáin kívül a műholdakkal kapcsolatos hibákat is figyelembe kell venni, mint óra hiba, pályaadat hiba. Drónunk pontosabb pozíciójának meghatározása érdekében kiegészítő rendszert vehetünk igénybe. A lényege, hogy a szabályos hibák hatásait kód-méréssel csökkenthetjük differenciális helymeghatározás felhasználásával (DGPS). Menete, hogy egy ismert pontban egy referenciaállomást állítunk fel, amely a mozgó vevőnkkel egyidőben kommunikál ugyanazokkal a műholdakkal, és végez kód-mérést. A referenciaállomás a saját pozícióját, valamint a műholdakról érkező jeleket felhasználva kiszámítja a műholdak tényleges távolságát, majd a Rover-re továbbítja differenciális korrekcióként a távolságok különbségeit. Így a kód-méréssel végzett helymeghatározás pontosabb lesz, mivel a Rover megjavítja az általa észlelt távolságokat azokkal a korrekciókkal, amiket a bázisállomás továbbít felé.

Drónozás esetében óriási jelentőséggel bír a vevő helyzetének pontos meghatározása, így az RTK-val (Real Time Kinematik) felszerelt UAV-ok használata igen nagy előnyt jelent. Mivel a felvételek készítése pillanatában a kamera pozíciója 1-2 cm pontossággal ismerté válik, az ilyen eljárással készített fotók tájékoztatásához jóval alacsonyabb számú illesztőpontra van szükség, így jelentős mennyiségű időt takaríthatunk meg a terepen, de az irodai feldolgozás során is. A folyamat hasonló a DGPS-nél végzett méréshez, viszont ennél fázistávolságokat is mér a bázisállomás. Referenciaállomásként használhatunk saját bázist is, vagy hálózati RTK-t. Az utóbbi esetében a mérési eredmények és a bázis koordinátái valós időben jutnak el a Roverhez mobilinterneten keresztül. Bár a saját bázis használata még pontosabb eredményt nyújthat, mivel a korrekció rövidebb időközönként jut el a vevőhöz, mégis az e dolgozatban szereplő vizsgálat alapjául a hálózatos RTK szolgált saját bázis hiánya miatt. [7]

2.3 Illesztőpontok (GCP)

Illesztőpontnak (Ground Control Point) nevezzük azon pontokat a fotogrammetriában, amely segítségével a kép külső tájékozási elemeit tudjuk meghatározni. Az illesztőpontok koordinátáit az adott geometriai rendszerben meg kell határozni, és a fényképen jól azonosíthatónak kell lenniük.

Formájukat, méretüket, színüket tekintve rengetegféle illesztőpontot alkalmaznak a gyakorlatban, mindig az adott feladathoz igazodva a legjobban beazonosítható jelet kell választanunk.

Az illesztőpont esetében a tükröződő felület semmiképpen nem szerencsés, középpontja a képen elmosódhat, így nehezen beazonosíthatóvá válik. A fényes felület vagy világos szín túlsugárzást eredményezhet. Az illesztőpontok jelei lapos szögben leképezve erősen torzulhatnak, tehát fontos, hogy a perspektív leképezés miatt torzult jel középpontja is a lehető legegységesebben azonosítható legyen.

Formájukat tekintve rengetegféle jel létezik (kör, négyzet, kereszt, sakktábla, stb.), sőt használhatunk a felméréendő területen fellelhető, meglévő jeleket is (burkolati jelek, súlylyesztett szegélyek sarokpontjai, stb.), amelyek alkalmasak a kép-terep azonos pontok diszkrét leírására. Ezek kiválasztásánál fontos arra törekednünk, hogy a bemérés és a felvételek elkészítése között eltelt idő alatt a lehető legkisebb eséllyel kerüljenek takarásba járókelők, gépjárművek stb. által. Léteznek automatikusan detektálható illesztőpontok is, melyeket a gyártók egyes fotogrammetriai szoftverekhez elérhetővé tesznek. Ezeket a program automatikusan felismeri, jelentős időt megtakarítva ezzel számunkra.

Igen fontos tényező az illesztőpontok optimális felhasználhatósága szempontjából a méretük. A túl kicsi illesztőpont látszódhat ugyan a képeken, viszont középpontjuk beazonosíthatósága körülményes lehet, nehezen mérhetővé válhat, amely pontatlanságot okozhat. Megfelelően kiválasztott mérete, a relatív repülési magasságtól (h_r), a kamera állandótól (c_k), tehát a képméretaránytól (m), valamint a terepi felbontástól (GSD) függ.

$$m = h_r / C_k \quad (1)$$

$$\text{GSD} = m * \Delta \quad (2)$$

$$d \geq 10 * \text{GSD} \quad (3)$$

Tehát az illesztőpontok méretének minimum 10 pixel szélesnek kell lennie.

Az elhelyezett illesztőpontok pozíciója és darabszáma ugyancsak fontos szempont a pontos végeredmény szempontjából. A legkisebb felméréndő terület esetén is minimum 5 jel kihelyezésére van szükség (a munkaterület 4 sarkára, és 1 a közepére). A terület közepén, belső részén elhelyezett pontra – pontokra is mindenképpen szükség van, hiszen ezek hiányában felületünk közepe egy 4 sarkánál fogva kifeszített lepedőként torzulna. Nagyobb területen, vagy nagyobb pontossági igény esetén több illesztőpontot kell használnunk, és törekednünk kell az egyenletes elhelyezésükre. Az egymástól 4-6 bázisra történő telepítés a legoptimálisabb. A jelek elhelyezésekor figyelembe kell vennünk a felméréndő terep esetleges magasságkülönbségeit is. Jelentős eltérések esetén magassági zónákra kell osztanunk azt, és ezeken elhelyezni egyenletesen az illesztőpontokat. Ezen tényező figyelmen kívül hagyása jelentős pontatlanságot okozhat a kapott pontfelhő magassági értékeiben. A pontosság csökkenéséhez vezethet továbbá az is, ha jeleinket közvetlenül falak, kerítések, fák, bokrok, oszlopok mellé tesszük, mivel a takarások és a közeli objektumok látszati torzulása miatt az illesztőpont irányozhatósága bizonytalanabbá válhat. Ezek helyett sík, magas tereptárgyaktól mentes, a jel méretét többszörösen meghaladó területű helyet érdemes választani. [1]

Néhány példa illesztőpontoka:

Festett kereszt (2.5. ábra). Könnyen azonosítható nagy magasságból készült felvételek esetében is, jól mérhető a középpontja. Előnye, hogy a munka befejeztével nem kell összeszedni.



2.5. ábra Illesztőpont, festett kereszt

Festett beton (2.6. ábra), „sakktábla” (40*40*6). Könnyen azonosítható nagy magasságból készült felvételek esetében is, jól mérhető a középpontja. Előnye, és egyben hátránya is a nagy tömege. Előnyös azért lehet, mert kicsi a valószínűsége, hogy könnyedén elmozdítják, akár véletlenül, hátránya, hogy mivel nehezen mozgatható, telepítéskor is, és a munka befejezésekor is komoly időráfordítást igényel a mozgatásuk. Főleg olyan munkaterületen érdemes használni, ahová rendszeresen, bizonyos időközönként vissza kell járni, így elég egyszer telepíteni, koordinátáit meghatározni, majd a sorozatos munka befejeztével összeszedni.



2.6. ábra Illesztőpont, festett beton

2.4 Autonóm repülési tervek elkészítése

Az autonóm repülési tervek elkészítését megelőzően számos adatot, információt kell begyűjtenünk a biztonságos és hatékony munkavégzés érdekében. Mindenképpen tisztázunk kell a megrendelővel, hogy mi az a végtermék, amire számít, mi a felhasználás célja (vonalas térkép, ortofotó, pontfelhő, terepmodell, stb., és ezek milyen pontossági igényekkel bírnak, mi az elvárás vízszintes és magassági pontosság szempontjából. Ezzel rengeteg időt, energiát takaríthatunk meg, mind a terepi munkavégzés, mind az irodai feldolgozás során, valamint olyan terméket adunk ki a kezünkből, amelyre a megrendelőnknek valóban szüksége van.

A repülés megtervezése előtt mindenképpen szemügyre kell venni a vizsgálandó területet, ismernünk kell a terep topográfiáját, többek között, hogy meg tudjuk állapítani a feladat illesztőpont igényét, azok lehetséges helyeit, darabszámát, jelentősebb magassági eltérések esetén a magassági zónák számát, elhelyezkedését. Fel kell tárjuk az esetleges tereptárgyakat, amelyek a helyszínen akadályozhatják a repülést. Ilyenek lehetnek pl. az előzetesen megkapott térképen, vagy begyűjtött korábbi ortofotón, vagy műhold felvételen

még nem fellelhető objektumok, amelyek később kerültek a helyszínre (magas növényzet, épületek, daru, stb.), vagy a készítendő felvételek minőségét befolyásoló tényezőket (tükröződő, fényes felületek, nagyobb kiejedésű vízfelületek, stb.).

Ismernünk kell a felmérendő terület környezetében uralkodó időjárási viszonyokat, mindenképpen ellenőriznünk kell a lehető legtöbb forrásból a repülés tervezett időpontjában a várható időjárást. Természetesen csak a csapadékmentes idő megfelelő a repülésre, de a szél erőssége sem haladhatja meg az eszközünk leírásában szereplő megengedett legnagyobb erősségű szelet.

Tisztában kell legyünk a rendelkezésünkre álló kamera adataival (felbontás, pixelméret, min.-max. záridő, látószög, megengedett rekeszértékek, mélységélesség tartománya, spektrális tartományok).

Tájékozódunk kell természetesen arról, hogy végrehajtható-e a repülés az adott légtérben. Nincs-e légtérkorlátozás, tiltott zóna, nem érintünk-e védett területet, vagy nincs-e egyéb légiforgalmi korlátozás. Mindenképpen a jogszabályoknak megfelelően kell eljárunk, a megengedett repülési magasság betartásával, a légtér besorolásának megfelelően, a szükséges engedélyek beszerzését követően.

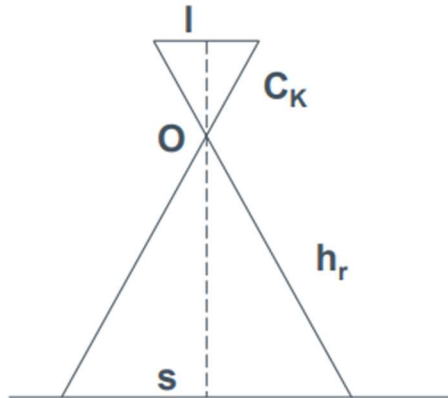
Mivel az UAV üzemanyagot használ, meg kell győződjünk róla, hogy azt hogyan tudjuk a lehető leggyorsabban pótolni, az akkumulátorokat tölteni. Ismernünk kell az UAV teljesítményére vonatkozó adatokat, így az üzemanyag fogyasztását is, de ezeken túl természetesen a maximális-minimális sebességet, maximális repülési magasságot, a GNSS vevő tulajdonságait, rendelkezik-e RTK-val, valamint igen fontos, hogy tisztában legyünk a megengedett maximális szélesebséggel.

Fel kell készülnünk az esetlegesen bekövetkező vészhelyzetekre, váratlan eseményekre, hogy ezek bekövetkezésekor a vésztervet minél hatékonyabban tudjuk alkalmazni a biztonság fenntartásának érdekében. [9]

The diagram shows a 3D coordinate system where the origin is at the intersection of the optical axes. The horizontal distance between the two camera centers is labeled B . The vertical distance from the optical axis to the top of the object plane is labeled c , and the total height of the object plane above the ground plane is labeled h . Three points on the object plane are shown, each with its own local coordinates s and S . The ground plane contains several rectangular regions labeled F_m , F_n , A , $S-A$, S , and $S-B$. A small airplane icon is positioned near the optical axis. Dashed curved arrows on the right indicate the field of view or sensor coverage.

B - felvételi bázis, A - repülési tengelyek távolsága, C_k – kameraállandó, s - kép oldal-hossza, S – sáv szélesség, h_r - relatív repülési magasság, F_m – modellterület, F_n - tiszta modellterület, L - repülési tengelyek hossza, Q - munkaterület keresztirányú kiterjedése [1]

Repülési magasság meghatározása (2.8. ábra):



2.8. ábra Repülési magasság meghatározása [2]

$$h_r = m * C_K, \quad (4)$$

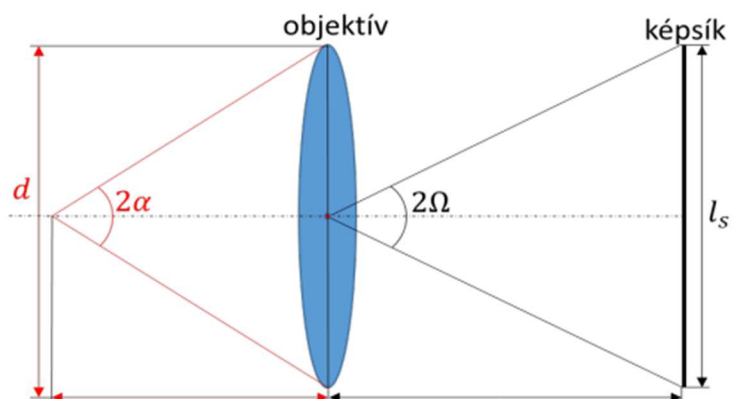
$$h_a = h_r + h_{\text{átl}} \quad (5)$$

Soron belüli és sorok közötti átfedések meghatározása:

$$l_{\%} = 60-80 \%, \quad (6)$$

$$q_{\%} = 30-70 \% \quad (7)$$

Objektív látószögei (2.9. ábra):



2.9. ábra Objektív látószögei [2]

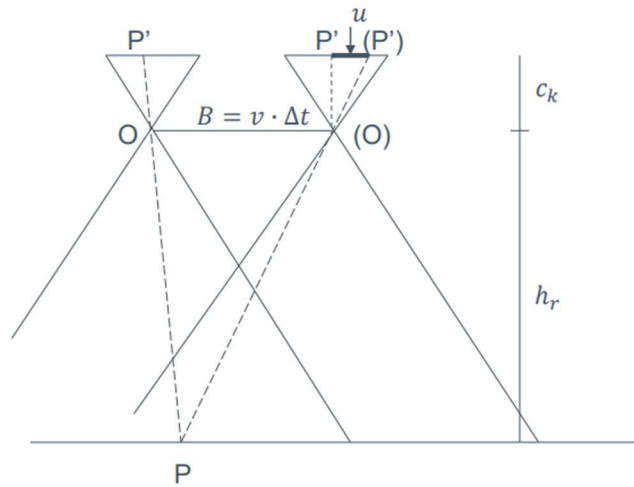
$$\text{FOV}_x = 2 \arctg lx/2C_K; \quad (8)$$

$$\text{FOV}_y = 2 \arctg ly/2C_K \quad (9)$$

$$W = \arctg ls/2C_K, \quad (10)$$

$$a = \text{FOV}_x = 2 \arctg d/2f \quad (11)$$

Leghosszabb záridő képéletlenség (képvándorlás) nélkül (2.10. ábra):



2.10. ábra Leghosszabb záridő számítása [2]

Ahol:

Δt : ciklusidő,

B: felvételi bázis,

v: repülési sebesség (m/s),

dt_{max}: maximálisan megengedett exponálási idő képvándorlás nélkül (sec),

h_r: relatív repülési magasság (m),

u: megengedett legnagyobb képvándorlás (általában 1 pixel nagysága (m)).

$$dt_{\max} = h_r/C_K * u/v \quad (12)$$

A számításhoz szükséges bemeneti adatok a következők:

C_k: kameraállandó, **h_r**: relatív repülési magasság vagy **GSD**: terepi felbontás, **l_x**, **l_y**: szenzor pixelmérete, **Δx = Δy = Δ = 1** pixel mérete, **l%**: soron belüli átfedés (**p%**), **q%**: soron közötti átfedés, **v**: repülési sebesség, **L**: repülési tengely hossza, **Q**: munkaterület keresztirányú kiterjedése.

A számított adatok a következők:

$$\text{képszélesség: } \mathbf{sx} = \mathbf{lx} * \Delta \quad (13)$$

$$\mathbf{sy} = \mathbf{ly} * \Delta \quad (14)$$

$$\text{méretarány: } \mathbf{m} = \mathbf{h_r} / \mathbf{C_k} \quad (15)$$

$$\text{terepi felbontás: } \mathbf{GSD} = \mathbf{m} * \Delta \quad (16)$$

$$\text{relatív repülési magasság: } \mathbf{h_r} = (\mathbf{GSD} * \mathbf{C_k}) / \Delta \quad (17)$$

$$\text{sávszélesség: } \mathbf{Sx} = \mathbf{sx} * \mathbf{m}, \quad (18)$$

$$\mathbf{Sy} = \mathbf{sy} * \mathbf{m} \quad (19)$$

$$\text{képkocka területe: } \mathbf{T} = \mathbf{Sx} * \mathbf{Sy} \quad (20)$$

$$\text{felvételi bázis: } \mathbf{B} = \mathbf{Sx} * (1 - \mathbf{l\%} / 100) \quad (21)$$

$$\text{sorok távolsága: } \mathbf{A} = \mathbf{Sy} * (1 - \mathbf{q\%} / 100) \quad (22)$$

$$\text{soronkénti modellszám: } \mathbf{n_m} = \mathbf{L} / \mathbf{B} + 1 \quad (23)$$

$$\text{képek száma soronként: } \mathbf{n_b} = \mathbf{n_m} + 1 + (4) \quad (24)$$

$$\text{sorok száma: } \mathbf{n_s} = \mathbf{Q} / \mathbf{A} + 1 \quad (25)$$

$$\text{modellterület: } \mathbf{F_m} = (\mathbf{Sx} - \mathbf{B}) * \mathbf{Sy} \quad (26)$$

$$\text{tisza modellterület: } \mathbf{F_n} = \mathbf{A} * \mathbf{B} \quad (27)$$

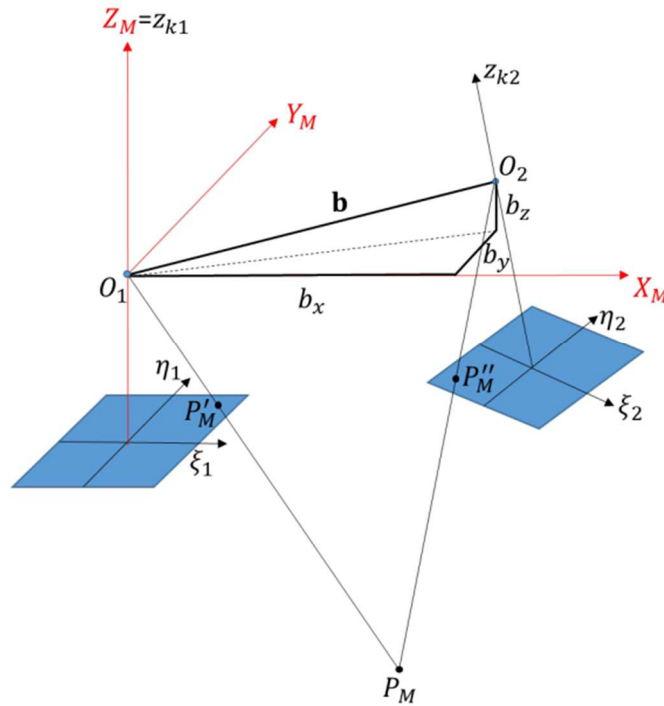
$$\text{ciklusidő (kameraciklus): } \Delta t = B / v \quad (28)$$

$$\text{repülési idő: } t = n_b * n_s * \Delta t \quad (29)$$

$$\text{bázisviszony: } v = B/h_r [1] \quad (30)$$

2.5 Relatív tájékozás (kapcsolópontok keresése)

A relatív tájékozás esetében a térmodell előállítás a célunk. Ehhez ki kell számítani a sztereó-képpárt alkotó képek felvételkori, egymáshoz viszonyított kölcsönös helyzetét leíró paramétereket egy tetszőleges térbeli koordináta-rendszerben. Enélkül, nem volna lehetséges képpár sztereoszkópikus szemlélése, mivel nem kerülnének egy síkba az összetartozó pontok vetítési sugarai, valamint nem kerülnének egymással metszésbe. Az így kialakított koordináta-rendszer lesz a modell koordináta-rendszer, melynek kezdőpontja a vetítési középpont. Ezen koordináta-rendszer 2 tengelyének iránya kétféle lehet az analitikus és digitális fotogrammetriában. Az egyik, általánosan elterjedt esetben a Z_M tengely iránya és a bal kép kamera tengelye megegyezik, valamint az X_M és Y_M tengelyek iránya és a képpár koordináta-rendszerek tengelyei párhuzamosak egymással (2.11. ábra) A másik esetben az X_M tengely, amelyre merőlegesek az Y_M , Z_M tengelyek, keresztül megy a jobboldali vetítési középponton.



2.11. ábra Modell koordináta-rendszer hozzátájékozáskor [4]

A modell koordináta-rendszer hozzátájékozáskor két különböző paraméter-együttes írja le a kölcsönös helyzetet a két koordináta-rendszertől függően. Kétféle relatív tájékozást különböztethetünk meg tehát: hozzátájékozást, és kölcsönös tájékozást. A hozzátájékozás esetében csak a jobboldali kép vetítési centrumának helyét, valamint forgatási szögeit kell kiszámítsuk, kölcsönös tájékozáskor mindkét kép (φ , κ) forgatási szögeit, valamint a képek közötti (ω) forgatási szögek különbségét számítjuk, és ezt rendeljük hozzá a jobboldali képhez. A két megoldás közül a hozzátájékozást alkalmazzuk gyakrabban. [4]

2.6 Légháromszögelés

A légháromszögelésnek a teljes technológiai folyamatban központi szerepe van. Az egy-mással 60-80%-os bázisirányú átfedésben lévő felvételek kerülnek összekapcsolásra a

folyamat során úgy, hogy képsorokat alkossanak. A létrejött képsorokat átlagosan 25%-os haránt irányú, sorok közötti átfedéssel összekapcsolva tömböt hozunk létre. Mivel azt, hogy minden képhez, képpárhoz megfelelő számú, hagyományos geodéziai módszerekkel meghatározott koordinátákkal rendelkező illesztőpontot hozunk létre, nem tudjuk biztosítani. Viszont ahhoz, hogy egy teljes sort, vagy tömböt be tudjuk illeszteni (tájékozni tudjuk) a megfelelő geodéziai koordinátarendszerbe, rendelkezünk elégséges számú illesztőponttal. Amennyiben a sorok összekapcsolásával létrehozott tömböt egy egységként kezeljük, meghatározhatóvá válnak a felvételek külső tájékozási elemei, továbbá a kapcsolópontok, illesztőpontok (mint új pontok) geodéziai koordinátái. Ez utóbbiakra azért van szükség, mert ha a későbbiekben szeretnénk önállóan is tájékozni a modelleket, vagy akár az egyes képeket, ezek megfelelő mennyiségű illesztőpontot biztosítanak a számunkra. A légiháromszögelés folyamatában az ismeretlen koordinátákat, illetve paramétereket meghatározhatjuk kollineár egyenletek, vagy a térbeli hasonlósági transzformáció egyenleteit felhasználva, tehát alapulhat képkoordináták mérésén vagy a relatív tájékozás után modell koordinátákon.

A légiháromszögelés célja tehát, hogy a képeken és modelleken új térbeli pontokat határozhassunk meg, vagyis a fotogrammetriai térbeli pontsűrítés, a tömböt alkotó külső tájékozási elemeinek kiszámításával. [4]

3 A VIZSGÁLAT VÉGREHAJTÁSA

3.1 Kamera kalibráció

A kamera kalibrációt Dr. Jancsó Tamás docens Úr segítségével hajtottuk végre Székesfehérváron, az iskola épületében fellelhető tesztábrák felhasználásával.

Elsőként egy sík tesztábrát használtunk, melyet a padlóra fektettünk, és mind a 4 oldala felől több felvételt is készítettünk, ügyelve arra, hogy a tesztábrán lévő összes jelölés látszódjon a képeken, de minél kevesebb felesleges rész kerüljön rá. Tehát a lehető legoptimálisabban használjuk ki a rendelkezésünkre álló teret (3.1. ábra).

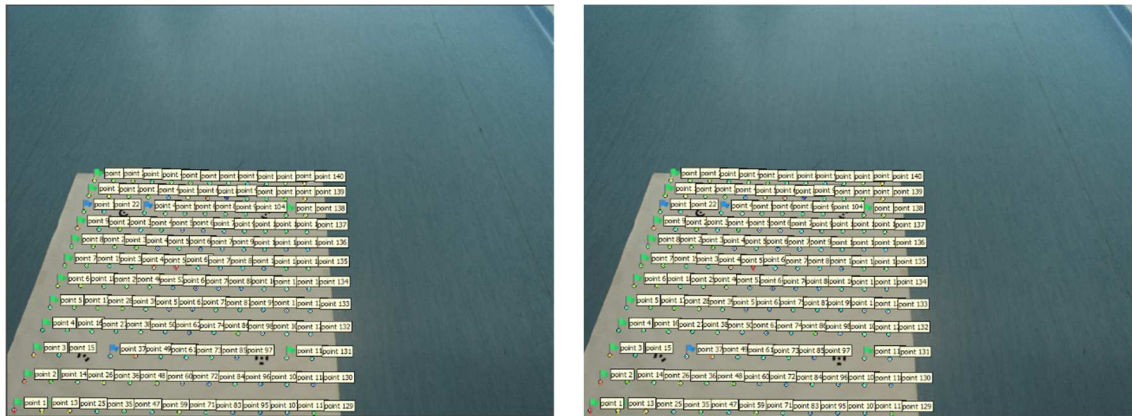


3.1. ábra Tesztábra fotózása

Az elkészült képeket letöltöttük a drón memória kártyájáról, majd ellenőriztük a képek minőségét. Az élességükkel nem volt baj ugyan, viszont elégedetlenek voltunk a tesztábra képeken való elhelyezkedését illetően, így a sorozatot ismételten elkészítettük. [2][5]

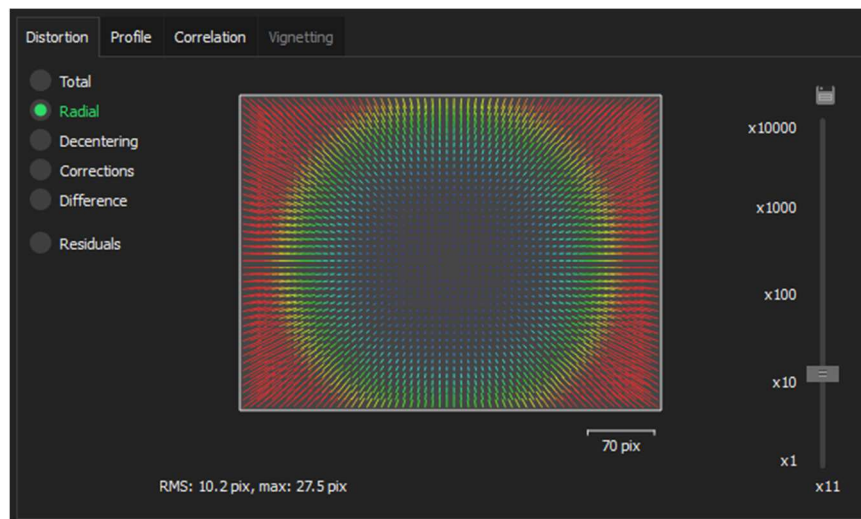
Ezt követően, a már megfelelőnek titulált képek feltöltésre kerültek a feldolgozó programba, ahol egy kiválasztott képen az összes jelölés, esetünkben fekete pöttyök mérésre kerültek (markereket helyeztünk el rajtuk). Ezt követte a markerek összes kép, összes

pontján történő lehető legpontosabb illesztése (3.2. ábra). Ez igen komoly koncentrációt igénylő, viszonylag hosszadalmas feladat.

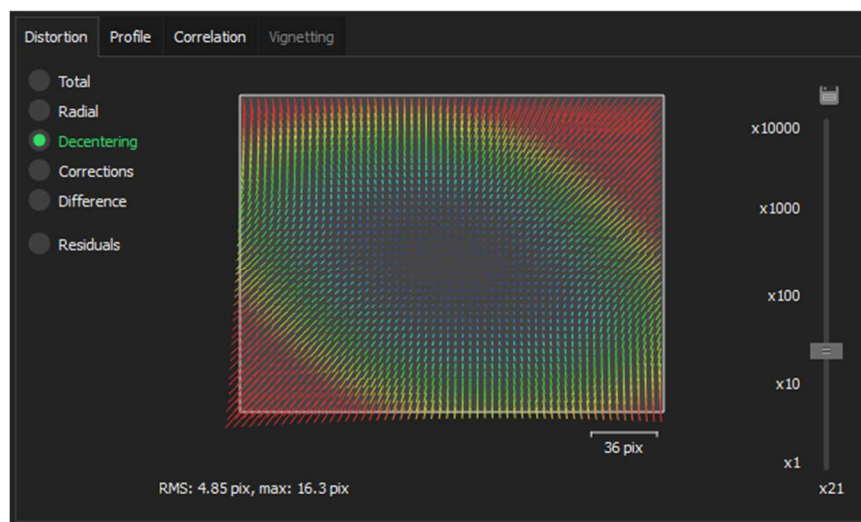


3.2. ábra Markerek illesztése

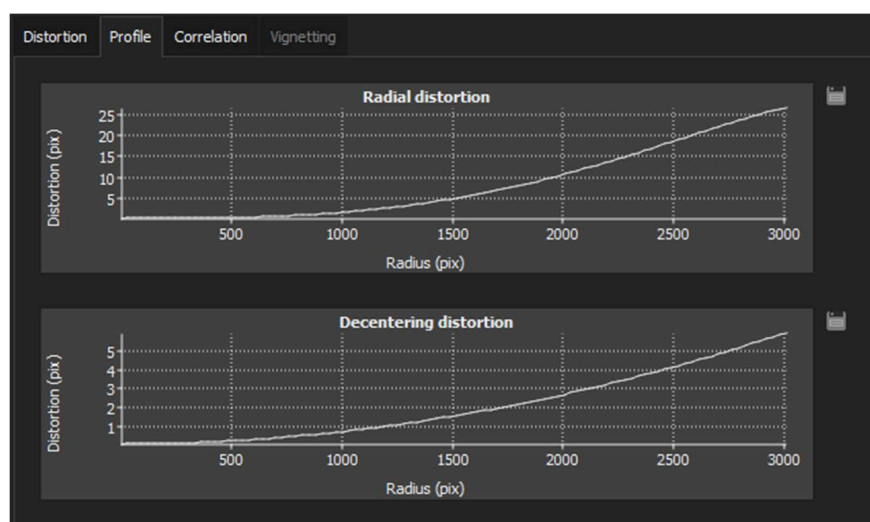
Miután az összes kép feldolgozásra került, lefuttatható a kamera kalibráció (3.3-6. ábra):



3.3. ábra Radiális elrajzolás



3.4. ábra Tangenciális elrajzolás



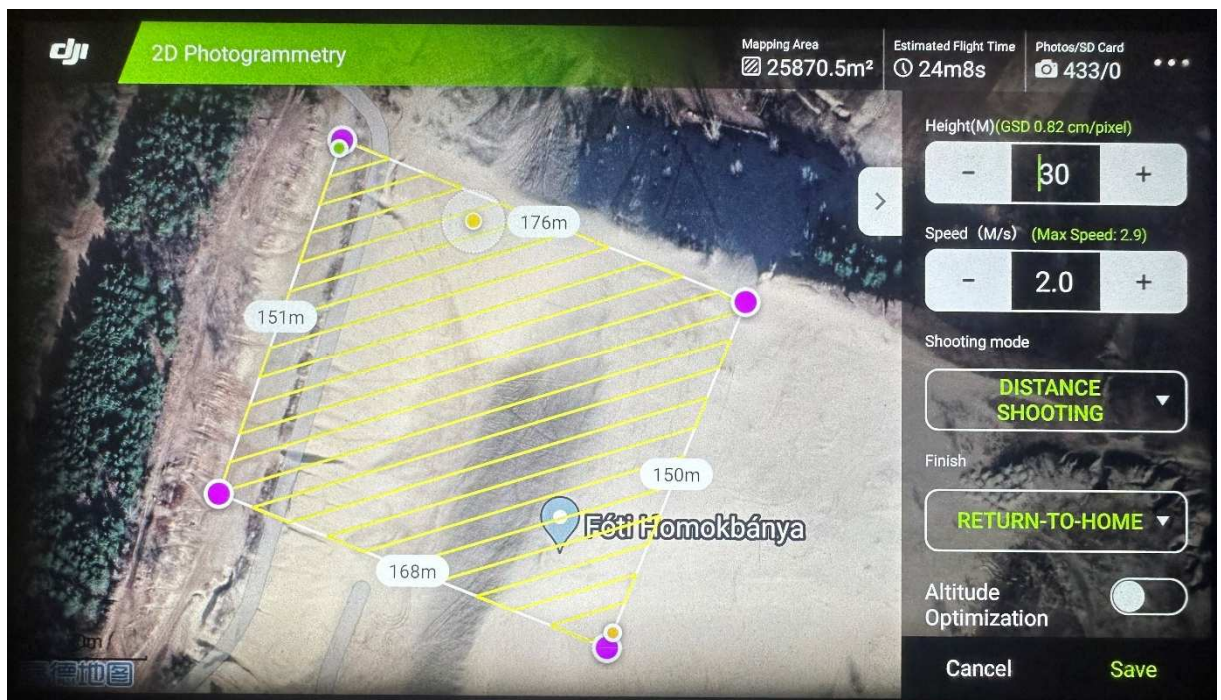
3.5. ábra Radiális és tangenciális elrajzolási görbék

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	3574.49	12.5867	1.00	0.07	-0.93	0.44	-0.08	0.07	0.07	-0.59
Cx	-24.1466	1.84143		1.00	-0.05	-0.01	0.01	-0.01	0.95	-0.01
Cy	103.414	12.5919			1.00	-0.63	0.13	-0.10	-0.07	0.84
K1	-0.0181757	0.002088				1.00	-0.75	0.67	0.03	-0.73
K2	0.0031354	0.00537313					1.00	-0.98	-0.00	0.13
K3	0.00716722	0.00579237						1.00	-0.00	-0.08
P1	-0.000780777	0.000170058							1.00	-0.05
P2	0.0021946	0.000787472								1.00

3.6. ábra Korreláció

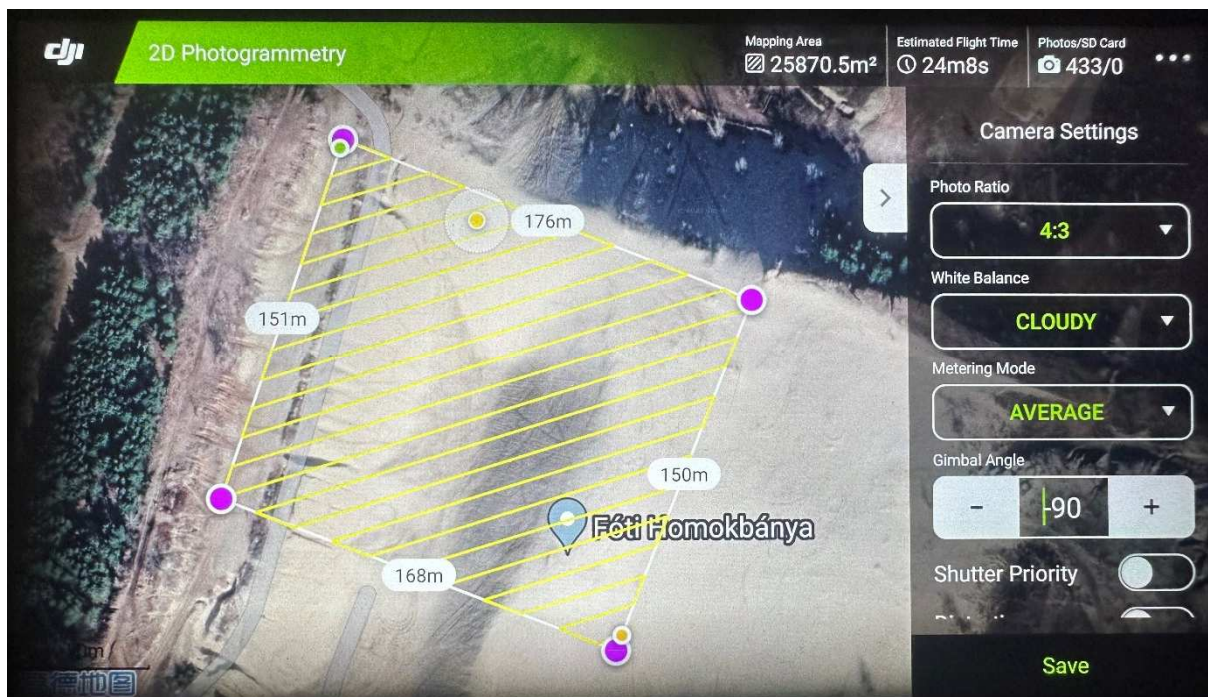
3.2 Repülési terv készítése

A repülési tervet, a DJI Phantom 4 RTK saját, beépített programjával készítettem, 2D Photogrammtery üzemmódban, a kamera függőleges helyzetének beállításával (valódi nadírfelvétel). Mivel előzetesen már többször jártam a területen, ezért ismertem a méreteit, a topográfiáját, így a programban könnyedén meg tudtam határozni a repülés határait. Voltak előzetes elképzeléseim az illesztőpontok elhelyezkedését illetően, tehát a sarokpontokat el tudtam úgy helyezni, hogy az illesztőpontok biztosan rákerüljenek a képekre, valamint a túlrepülést is biztosítani tudjam. A repülési irányt úgy állítottam be, hogy a lehető legtöbb képet tudjam készíteni (3.7. ábra).



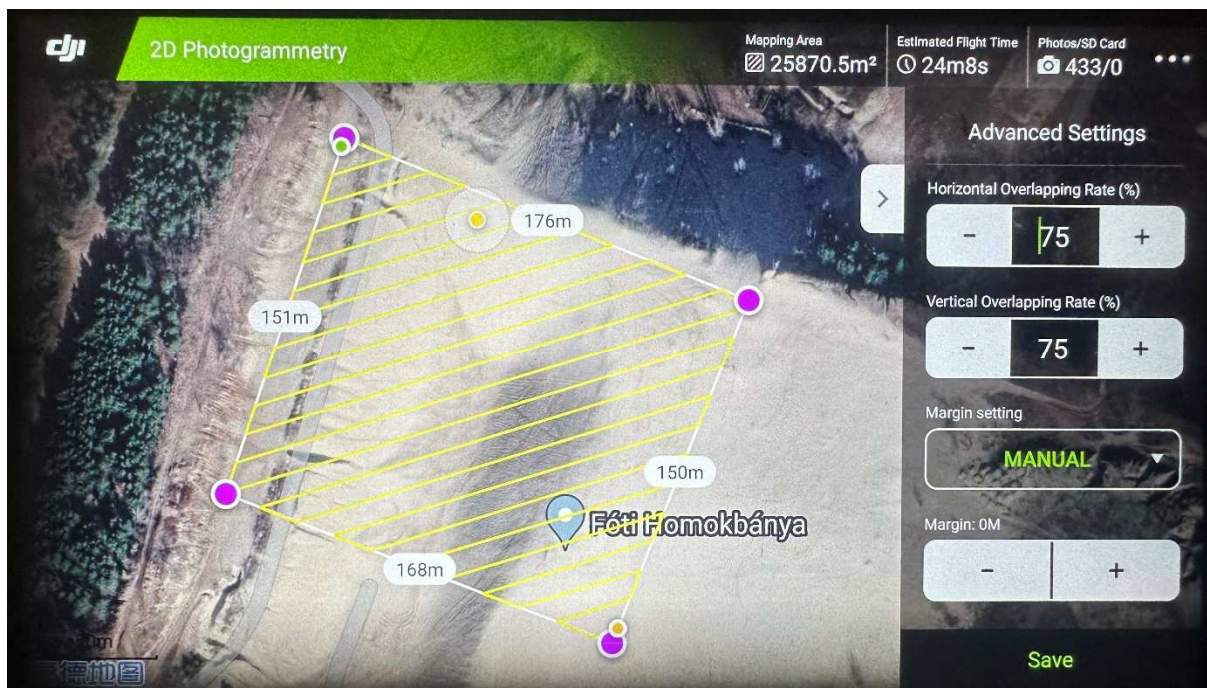
3.7. ábra Repülési terv készítése (útvonal, sebesség)

A repülést a „gödör” széléről, tehát a fenti részéről terveztem indítani, ezért, mivel tudtam, hogy a legmélyebb pontja nagyjából 20m-rel lejjebb van, mint a felső pontok, a repülési magasságot 30m-re állítottam, hogy a mélyebben fekvő, a kamerától számított 50m-re található felületek is élesen, jó minőségben jelenjenek meg a felvételeken. A szoftver a 2.0 m/s sebességet ajánlotta fel, amelyet emelhettem volna az általa megadott 2.9 m/s-ra is (Max speed), de ezzel a lehetőséggel nem éltem, hagytam az eredeti beállításon, mivel feltételeztem, hogy a szoftver által javasolt paramétert felhasználva készülnek a legjobb minőségű képek.



3.8. ábra Repülési terv készítése (képarány, white balance, kamera dőlésszöge)

A program a képarány (Photo Ratio) tekintetében két opciót ajánl fel: 4:3, valamint 3:2. Ez utóbbi inkább videókészítésre alkalmas, fotogrammetriai célra nem feltétlen, mivel jelentős adatvesztést eredményezhet. Így a repülési tervemben természetesen a 4:3 szerepelt. Mivel az előzetes előrejelzések alapján borús, felhős (de semmiképpen sem csapadékos) időre számítottam, a „White Balance” fül alatt található legördülő menüből a „Cloudy” opciót választottam (3.8. ábra).



3.9. ábra Repülési terv készítése (átfedések beállítása)

A sorok közötti bázisirányú, valamint haránt irányú átfedést egyaránt 75%-osra állítottam. Úgy ítélt meg, hogy ezek az értékek már elegendőek lehetnek a program számára a számítás elvégzéséhez, viszont még nem túl nagyok ahhoz, hogy a sugárnyaláb kiegyenlítés során megnehezítsék annak dolgát, és a vártnál pontatlanabb eredményt kapjunk. A „Margin setting” legördülő menü alatt még lehetőségünk nyílik a munkaterület kiterjedésén állítani annak érdekében, hogy a túlrepülés biztosan megtörténjen. Mivel én biztos voltam abban, hogy az általam kijelölt terület mérete (nagyjából 150*170m) jóval meghaladja a vizsgálni kívánt terület határait, ezen nem módosítottam (3.9. ábra).

Miután az összes kívánt beállítást elvégeztem, értékeltem az automatikusan számított értékeket:

kijelölt munkaterület: 25870m²,

repülési idő: 24 perc,

felvételek darabszáma: 433 db. [1]

3.3 Illesztőpontok, ellenőrzőpontok kihelyezése, koordinátaik geodéziai meghatározása

3.4 A vizsgálathoz felhasznált eszközök:

- Topcon SR RTK,
- Topcon GT 503 robot mérőállomás,
- DJI Phantom4 RTK drón (gyári adatai: 1. sz. melléklet)

3.4.1 Alapponthálózat

3 db alappontot helyeztem el a vizsgálandó terület 3 sarkára (1001, 1002, 1003, fakaró szeggel), melyek koordinátáit 30 epocha-val mérve, RTK-val határoztam meg, a mozgások kiküszöbölése érdekében bipód segítségével rögzítettem az antennát a mérések idejére. Így megkaptam az alappontjaim előzetes, GPS által létrehozott koordinátáit (1. táblázat).



Job adatok	
Projekt név:	Szakdolgozat_UAV
Készítés ideje:	2024.04.23.
Készítő	Kovács Tibor Miklós
Megjegyzés	
Mértékegység:	Méter
Szögmértékegység	DMS
Projekció:	Hungary-VITEL2009
Dátum:	HD-72
Geoid:	Hungary 2014

Mért pontok								
PsZ	Y	X	M	HRMS	VRMS	Pontkód	HDOP	PDOP
	661532.8026	259343.1874	178.3	23.04.2024	12:07:00			
AP1	659652.7671	255472.9425	178.31	0	0.005	AP	0.83	1.5
AP2	659735.6779	255594.4369	179.9	0	0.003	AP	0.68	1.24
AP3	659814.3378	255455.1548	181.93	0	0.004	AP	0.78	1.44
VDOP	GPS	GLO	Megoldás típus	Epocha	Ferdetáv [m]	Ant. Mag	Időbélyeg	
1.248	8	5	FIXED	30	4302.957778	2	23.04.2024 12:07:29	
1.036	9	8	FIXED	30	4157.495538	2	23.04.2024 12:13:50	
1.211	9	7	FIXED	30	4251.118314	2	23.04.2024 12:16:55	

I. táblázat GPS mérési jegyzőkönyv

Ezeket felhasználva, létesítettem egy szabadálláspontot. Mivel mindenképpen törekedtem arra, hogy az illesztőpontjaim a lehető legpontosabbak legyenek, és egymáshoz a lehető legjobban illeszkedjenek, nem ebből az állásból mértem be őket, hanem ezt megelőzően, részletpontként bemértem újra az alappontokat, de már mérőállomással, bipód felhasználásával, 2 sorozatban. Ezeket ismét kiközepelem, így hozzájutottam az alappontjaim végleges koordinátaíhoz, megítélésem szerint a vizsgálathoz ezek már elegendő pontossággal rendelkeztek.

3.4.2 Illesztőpontok bemérése

A korábban készített alapponthálózatot felhasználva létesítettem egy újabb szabadállás pontot, ahol maradék hibáknak a következőket kaptam (3. 10. ábra):



The screenshot shows a software window with a table of adjustment points. The table has three columns: 'BS' (checkmarks), 'Pont' (point names), and 'dVszVvez' (vertical displacement values). Below the table, there are labels for 'Sd K', 'Sd É', and 'Sd M' with their respective values in mm. At the bottom, there is a label 'Méretarány' (scale) with a numerical value.

BS	Pont	dVszVvez
☒	AP101	0°00'01"
☐	AP102	0°00'00"
☐	AP103	-0°00'01"

Sd K	0.2 mm
Sd É	0.5 mm
Sd M	0.6 mm

Méretarány	0.999996242360
------------	----------------

3.10. ábra Eredmény, szabadállás

A célom az volt, hogy a vizsgálat eredményét minél kevésbé befolyásolják a hagyományos geodézia alkalmazásakor felmerülő hibák, úgy ítélt meg, hogy ezt elértem, a kapott eredményt elfogadtam. A kihelyezett 10 db. illesztőpontot tehát prizmával és a bipód felhasználásával mértem be.

3.4.3 Ellenőrző pontok bemérése

Mivel a kontrollpontok, és azok pontossága igen nagy jelentőséggel bír a vizsgálat eredményének szempontjából, ezért mellőztem a prizmat és bipód felhasználását, hisz a laza talajba a prizmatot hegye könnyedén belesüllyedhetett volna, és emiatt a korábban elért és igényelt pontosságból jócskán le kellett volna adnom. E helyett a mérőállomás prizma nélküli funkcióját alkalmazva mértem be a 31 db, korábban fehér, narancssárga, illetve rózsaszín festékekkel feljelölt, nagyjából 50cm x 50cm-es keresztek metszéspontját. Ezek több, mint 50%-a látszott egy állásból, így könnyedén irányozható, mérhető volt a vizsgált terület domborzati viszonyai miatt. A kimaradt, az első állásból nem mérhető pontokat egy másik állásból mértem be. Ellenőrzésként bemértem 7 db, az előző állásból már bemért pontokat is. Mivel a legnagyobb eltérés 3mm volt, a hibát elhanyagolhatónak tekintettem.

Koordináta-jegyzék				
Alappontok				
Psz	Y (m)	X (m)	Z (m)	kód
1001	659652.763	255472.943	178.337	AP
1002	659735.673	255594.435	179.897	AP
1003	659814.351	255455.154	181.927	AP
Illesztőpontok				
Psz	Y (m)	X (m)	Z (m)	kód
101	659769.639	255571.554	180.985	ILLESZTO
102	659727.503	255593.877	179.579	ILLESZTO
103	659685.758	255488.234	177.662	ILLESZTO
104	659744.836	255480.665	160.076	ILLESZTO
105	659753.392	255512.609	161.483	ILLESZTO
106	659766.388	255539.088	169.723	ILLESZTO
107	659776.796	255469.561	170.974	ILLESZTO

108	659799.480	255442.068	179.972	ILLESZTO
109	659829.384	255538.229	182.503	ILLESZTO
110	659717.611	255498.152	167.584	ILLESZTO
Ellenőrző pontok				
Psz	Y (m)	X (m)	Z (m)	kód
201	659813.631	255486.293	182.000	KERESZT
202	659815.309	255521.262	182.005	KERESZT
203	659802.926	255549.760	181.273	KERESZT
204	659801.524	255454.218	180.617	KERESZT
205	659750.853	255570.812	178.854	KERESZT
206	659698.069	255519.568	179.082	KERESZT
207	659692.916	255500.257	178.330	KERESZT
208	659730.251	255478.495	160.334	KERESZT
209	659748.036	255473.690	160.394	KERESZT
210	659746.770	255489.435	160.401	KERESZT
211	659748.557	255504.365	161.071	KERESZT
212	659760.021	255503.808	160.493	KERESZT
213	659744.708	255515.581	162.194	KERESZT
214	659749.498	255539.085	166.823	KERESZT
215	659761.419	255529.469	165.131	KERESZT
216	659772.275	255523.471	165.770	KERESZT
217	659774.869	255507.719	164.683	KERESZT
218	659769.484	255488.640	164.816	KERESZT
219	659766.030	255467.749	166.592	KERESZT
220	659778.007	255461.819	172.576	KERESZT
221	659788.640	255482.303	174.334	KERESZT
222	659794.561	255505.080	174.739	KERESZT
223	659784.991	255535.724	173.517	KERESZT
224	659768.110	255544.391	172.145	KERESZT
225	659748.324	255550.397	171.738	KERESZT
226	659727.971	255499.728	162.992	KERESZT
227	659725.646	255518.574	167.606	KERESZT
228	659721.542	255534.301	173.361	KERESZT
229	659713.681	255500.978	170.109	KERESZT
230	659710.683	255486.315	169.026	KERESZT
231	659702.612	255491.494	174.591	KERESZT

3. táblázat Koordináta-jegyzék (illesztőpontok-ellenőrző pontok)

Az illesztőpontok, kontrollpontok tehát kihelyezésre kerültek, és rendelkeztek az általam elvárt pontosságú koordinátákkal (3. táblázat). Következhetett a vizsgálat egyik legérdekesebb része, a drón reptetése.

3.5 Légifelvételek készítése

Mielőtt összeraktam volna a drónt (szárnyak felhelyezése, kameravédők eltávolítása), még egyszer ellenőriztem a repülési tervet, elkerülve ezzel az esetleges beállítási problémákból eredő nem várt hibákat. A felszállás maga, egy saját készítésű fel- és leszállópályáról történt (3.11. ábra), óvva ezzel a kamerát a talajon lévő szennyeződésektől, kövektől.



3.11. ábra Felszállópálya

A drón a felszállást követően elérte a tervezett repülési magasságot, valamint felvette a kiinduló pozíciót, lebillentette a kamerát a beállított paramétereknek megfelelően, majd megkezdte a felvételek készítését. Ezt a távirányító beépített kijelzőjén végig nyomon tudtam követni, de mivel a drónt könnyedén láttam szabad szemmel is, nem várt szituáció

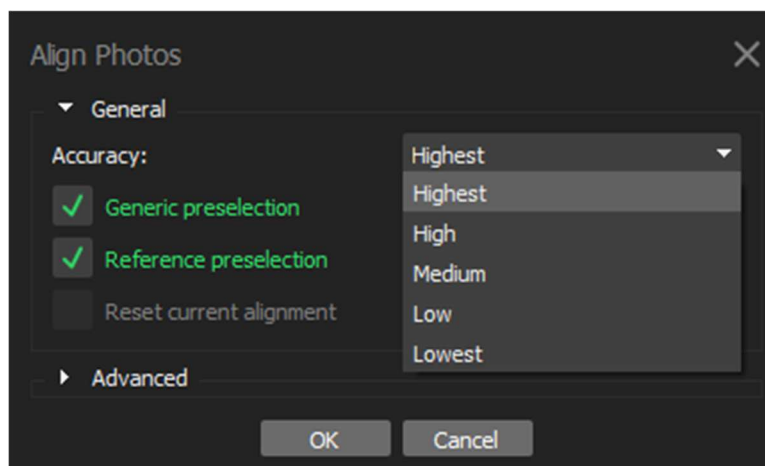
bekövetkezte esetén bármikor be tudtam volna avatkozni. Szerencsére ilyenre nem kellett sort keríteni. Mivel a biztonság kedvéért az RTH (Return to Home) üzemmódot úgy állítottam be, hogy 30%-os akkumulátor töltöttségi állapot esetén a távirányító jelezzen, majd 20%-nál a drón vegye fel a visszatéréshez beállított magasságot (esetünkben 60m volt), és térjen vissza start pontra, a küldetést nem tudta befejezni egy akkumulátorral. Ezt kicserélve, újabb felszállás után visszatért arra a pontra, ahol korábban felfüggesztette a felvételek készítését, majd végighaladt a maradék tervezett útvonalon. Szerencsére az újabb landolás is problémamentesen sikerült, az UAV szépen visszatért a kiinduló pozícióba.

3.6 A képek feldolgozása

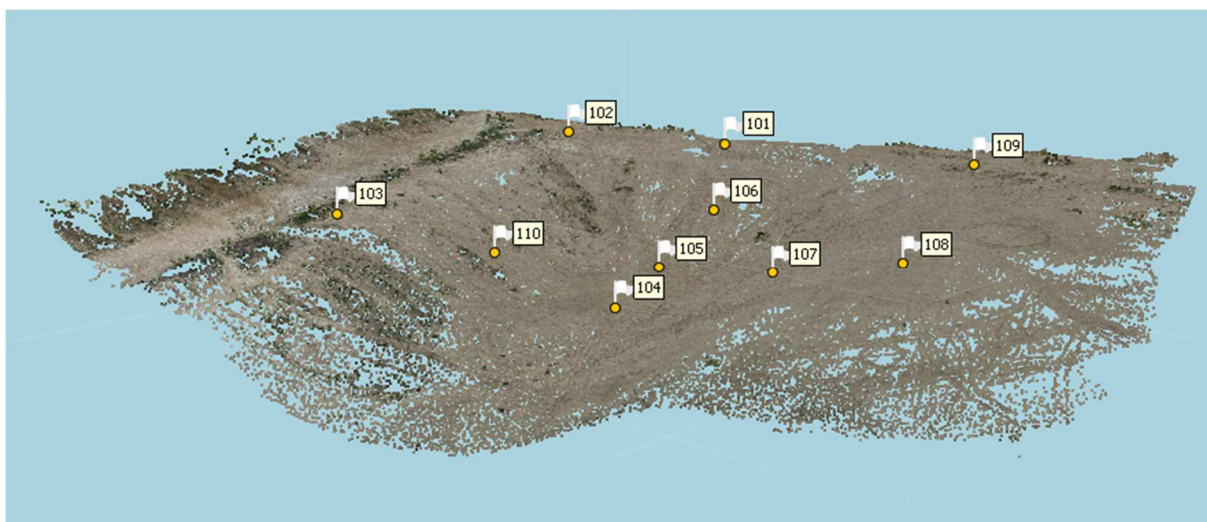
A sikeres landolást követően következhetett a képek feldolgozása. Mivel az illesztőpontjaimat sem szerettem volna sok ideig a helyszínen hagyni, valamint a kontrollpontok hosszú távú fennmaradása sem volt biztosított, az irodai munka megkezdése előtt mindenképpen ellenőriznem kellett a felvételek minőségét, és azt, hogy minden számomra fontos pont (illesztőpontok, ellenőrző pontok), jól látszódnak-e a felvételeken. Ezt fontos volt megtenni, mivel ha feldolgozás során derül ki, hogy a képek nem megfelelőek a vizsgálat végrehajtásához, és esetleg meg kell ismételni a repülést, féltő, hogy az értékes pontjaim elmozdultak volna, vagy akár megsemmisültek volna. Így a felvételeket a drón memóriakártyájáról letöltve, még a helyszínen ellenőriztem. Szerencsére nem tapasztaltam semmi olyan hibát, amely a repülés megismétlését igényelte volna, ráadásul biztonságban tudhattam a rögzített adatokat, mivel már két helyre is el voltak mentve, tehát archiváltam őket. Az illesztőpontokat összeszedhettem, az ellenőrzőpontoknak búcsút inthettem.

A felvételek feldolgozását az Agisoft Metashape programmal végeztem. Az adatok beolvasását követően, mindenképpen el kellett végezni egy igen fontos beavatkozást. Mivel ezen szoftverek rendelkeznek ugyan „beépített” EOVS rendszerrel, de sajnos nem tökéletesek, vagyis az EOVS rendszer nem egyezik meg az EPSG: 23700-as vetületi rendszerrel. Ezért a képeink koordinátáit át kell transzformálnunk WGS86-ból EOVS koordinátákká, majd a programba töltött képeink WGS koordinátáit ezekre felül kell írni. Így biztosak lehetünk abban, hogy megfelelő rendszerben dolgozunk. [11]

Valójában a feldolgozás ekkor veszi kezdetét, a képek tájékoztatásával, az Align Photos paranccsal. Ekkor végzi a program a relatív tájékoztatást. Itt igazából a szoftver közös pontokat, kapcsolópontokat keres a képeken, és ezek alapján tájékoztatja őket egymáshoz képest. Többféle opciónk van a kapcsolópontok mennyiségének meghatározását illetően, mivel a lehető legjobb eredményre törekedtem, a „Highest” lehetőséget választottam (3.12. ábra). Így készült el, a lehető legsűrűbb, „ritka” pontfelhőnk (3.13. ábra) (Tie Points).



3.12. ábra Beállítások (ritka pontfelhő)



3.13. ábra Ritka pontfelhő markerekkel

Ekkor következett az illesztőpontok felhasználása. A beolvasott, a markers felirat alatt található illesztőpontokara kattintva, a Filter Photos by Markers parancs segítségével végezhetjük el az illesztőpontokon való mérést. Fontos, hogy (a kamera kalibráció esetében végzettekhez hasonlóan) az összes képen, az összes markert a lehető legpontosabban helyezzük el, mert csak így érhető el a kívánt precizitás (3.14. ábra). [3]



3.14. ábra Marker az illesztőponton

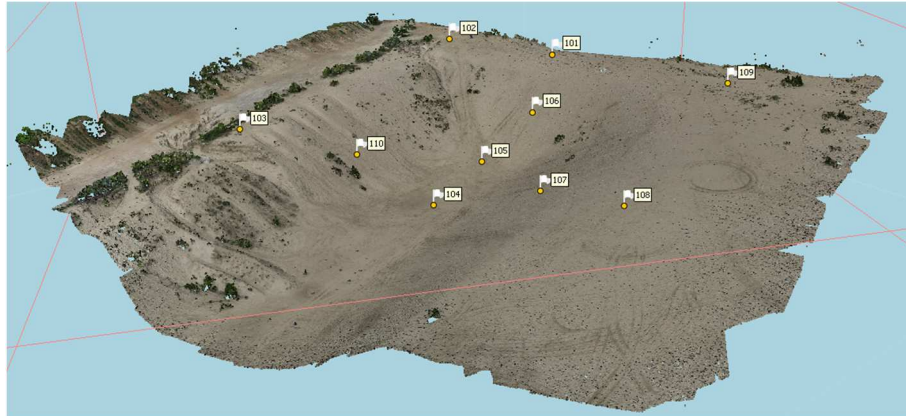
A tájékozás elvégzésekor folyamatos tájékoztatást kapunk az illesztőpontok mérésekor keletkezett hibákról (3.15. ábra).

Markers		Northing (m)	Easting (m)	Altitude (m)	Accuracy (r)	Error (m)
✓	104	255480.665000	659744.836000	160.076000	0.005000	0.013040
✓	103	255488.234000	659685.758000	177.662000	0.005000	0.018139
✓	110	255498.152000	659717.611000	167.584000	0.005000	0.017283
✓	105	255512.609000	659753.392000	161.483000	0.005000	0.013731
✓	109	255538.229000	659829.384000	182.503000	0.005000	0.022756
✓	106	255539.088000	659766.388000	169.723000	0.005000	0.016471
✓	101	255571.554000	659769.639000	180.985000	0.005000	0.017067
✓	102	255593.877000	659727.503000	179.579000	0.005000	0.008872
Total Error						
Control points						0.016314

3.15. ábra Hibák (markerek)

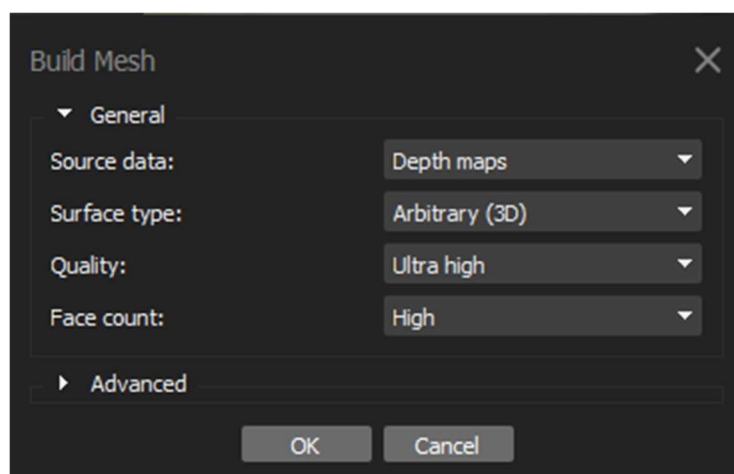
A ritka pontfelhő elkészülte után, indíthattuk a sűrű pontfelhő (3.16. ábra) összerakását (Build Point Cloud parancs). Ez egy hosszú művelet a számítógép számára, amikor végezt, már jól kivehetőek az illesztőpontok a markerekkel a 3 dimenziós térben. Itt is a

legjobb eredményre törekedtem, itt a „minőséget” állítottam a legmagasabbra (Quality: Ultra high).



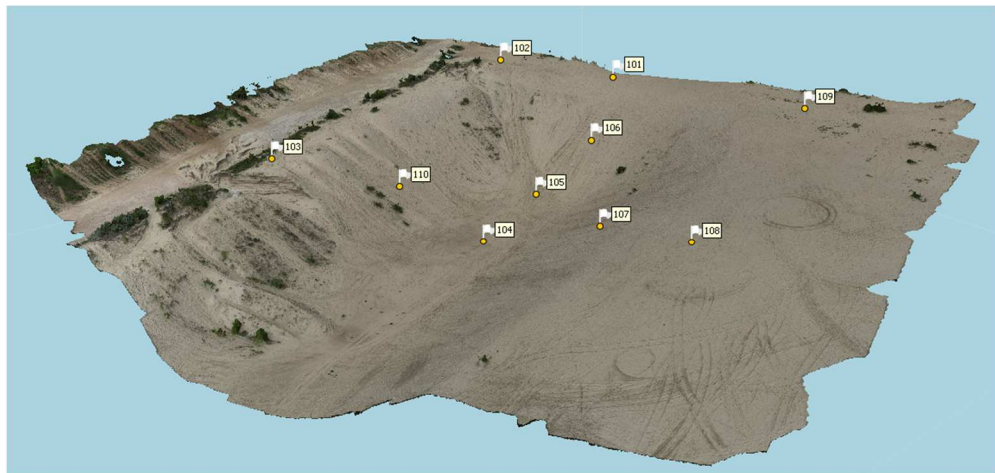
3.16. ábra Sűrű pontfelhő

Ezt követően indítható a TIN-modell készítése a Build Mesh paranccsal (3.17. ábra). Hasonlóan a képek illesztéséhez, itt is több lehetőség közül választhatunk, itt is a legmagasabbra állítottam a „minőséget” (Quality: Ultra high).



3.17. ábra Beállítások (felület)

Ezen beállítások esetén, természetesen jóval több időt vesz igénybe a számítógép számára a modell előállítása, nem is feltétlenül van rá szükség, az előzetesen leegyeztetett végtermék igény függvénye. Esetünkben ez a művelet 3 és fél óráig tartott. Mindenképpen megérte, a szoftver a rendelkezésére álló adatok alapján így a legtöbbet hozta ki (3.18 ábra).



3.18. ábra Modell

Ennek a műveletsornak a végeztével, előállt a vizsgálni kívánt pontfelhők, és modellek közül az első, melyre viszonyítási alapul tekintünk.

A következő folyamat gyakorlatilag a korábbival megegyező, egyetlen kivétellel, hogy ennél az illesztőpontok feltöltésre sem, így felhasználásra sem kerültek, tehát egy teljesen új állományban lefuttattam az fent említett parancsokat. Mivel ennél illesztőpont mérésre nem került sor, így az a helyzet állt elő, hogy egyszer sem kellett beavatkoznom a program futtatásába, így a műveletsort automatizálhattam, mivel erre lehetőséget biztosít a szoftver. Meg kellett adnom a műveletek sorrendjét, majd egymást követően elvégezte a relatív tájékozást, a légiháromszögelést, összeállította a modellt, és elmentette az állományunkat. Természetesen a pontosságot, pontsűrűséget befolyásoló beállítások mindegyike megegyezett a korábbival. Így elkészült a második, az előzővel összehasonlítani kívánt pontfelhőnk, és modellünk direkt tájékozással.

A feladat folytatásához, mindkét pontfelhőt kiexportáltam E57 formátumba, hogy az általam használt Trimble Real Works nevű programmal megnyithassam (3.19. ábra). Ezen szoftver segítségével a pontfelhők osztályozásával eltávolíthattam volna azokról a növényzetet, ez sok esetben hasznos lehet, sokat könnyítheti a pontfelhőkkel végzett munkafolyamatát, sok, a lombosítást által takart részlet válik jóval kezelhetőbbé, valamint képes a program megkülönböztetni növényzetet, épületeket, oszlopokat-táblákat, a föld felszínét, de még akár, amennyiben elég sűrű a pontfelhő, elektromos légvezetékeket is. Ezek természetesen ki-be kapcsolhatóak, így külön is, de akár egyben is kezelhetők. Annak oka, hogy eltekintettem ettől a lehetőségtől, az az volt, hogy mivel a 2 vizsgálandó pontfelhő külön kezelendő, mindenképpen szerettem volna elkerülni azt a hibát, hogy a két folyamat, vagyis a két pontfelhőn elvégzett „törlések” nem teljesen egyformán sikerülnek, így esetleg olyan különbségeket eredményezzenek, amelyek nem a tájékozásokból, tehát a képek feldolgozási módszereinek eltéréséből fakadnak. [3][8]



3.19. ábra Pontfelhő TRW-ben

Újabb export következett: rcp formátum, hogy a pontfelhők AutoCAD-be történő beolvashatóságát biztosítsam.

3.7 Koordináták összehasonlítás

A vizsgálat első lépéseként, összehasonlítottam a hagyományos geodéziai módszerekkel, mérőállomással bemért pontok (illesztőpontok, ellenőrzőpontok) koordinátáit a létrehozott pontfelhőimen található párjaik koordinátaival. Az utóbbiakhoz úgy jutottam hozzá, hogy mivel a pontfelhőkön jól láthatóan, kivehetőek voltak mind az illesztőpontok, mind az ellenőrzőpontok, könnyedén elhelyeztem rajtuk új pontokat, természetesen megfelelő pontszámmal ellátva (IP_Ill_101: a 101-es számú Illesztőpont helyén mért pont az illesztőpontok felhasználásával létrehozott pontfelhőn), a könnyű beazonosíthatóság érdekében. A pontpárokból így már könnyen számítható volt a megfelelő pontok egymáshoz viszonyított eltérése vízszintes, valamint magassági értelemben is (4. táblázat).

Eltérések illesztőpontok felhasználása esetén									
Mérőállomással mért pontok				Az ill. pontok felhaszn. készült pontfelhőn mért pontok				Eltérések	
Psz	Y (m)	X (m)	Z (m)	Psz	Y (m)	X (m)	Z (m)	vízsz. (m)	mag. (m)
101	659769.639	255571.554	180.985	IP_Ill_101	659769.645	255571.553	181.000	0.006	-0.015
102	659727.503	255593.877	179.579	IP_Ill_102	659727.505	255593.877	179.593	0.002	-0.014
103	659685.758	255488.234	177.662	IP_Ill_103	659685.748	255488.223	177.643	0.015	0.019
104	659744.836	255480.665	160.076	IP_Ill_104	659744.820	255480.677	160.069	0.020	0.007
105	659753.392	255512.609	161.483	IP_Ill_105	659753.396	255512.598	161.475	0.012	0.008
106	659766.388	255539.088	169.723	IP_Ill_106	659766.388	255539.075	169.727	0.013	-0.004
107	659776.796	255469.561	170.974	IP_Ill_107	659776.785	255469.575	170.980	0.018	-0.006
108	659799.480	255442.068	179.972	IP_Ill_108	659799.486	255442.079	179.991	0.013	-0.019
109	659829.384	255538.229	182.503	IP_Ill_109	659829.396	255538.230	182.477	0.012	0.026
110	659717.611	255498.152	167.584	IP_Ill_110	659717.632	255498.146	167.583	0.022	0.001
Psz	Y (m)	X (m)	Z (m)	Psz	Y (m)	X (m)	Z (m)	vízsz. (m)	mag. (m)
201	659813.631	255486.293	182.000	EP_Ill_201	659813.622	255486.298	182.004	0.010	-0.004
202	659815.309	255521.262	182.005	EP_Ill_202	659815.289	255521.270	182.006	0.022	-0.001
203	659802.926	255549.760	181.273	EP_Ill_203	659802.928	255549.758	181.274	0.003	-0.001
204	659801.524	255454.218	180.617	EP_Ill_204	659801.526	255454.216	180.631	0.003	-0.014

205	659750.853	255570.812	178.854	EP_III_205	659750.856	255570.812	178.870	0.003	-0.016
206	659698.069	255519.568	179.082	EP_III_206	659698.061	255519.568	179.089	0.008	-0.007
207	659692.916	255500.257	178.330	EP_III_207	659692.900	255500.254	178.323	0.016	0.007
208	659730.251	255478.495	160.334	EP_III_208	659730.234	255478.507	160.320	0.021	0.014
209	659748.036	255473.690	160.394	EP_III_209	659748.019	255473.697	160.373	0.018	0.021
210	659746.770	255489.435	160.401	EP_III_210	659746.751	255489.430	160.387	0.020	0.014
211	659748.557	255504.365	161.071	EP_III_211	659748.537	255504.352	161.060	0.024	0.011
212	659760.021	255503.808	160.493	EP_III_212	659759.997	255503.801	160.472	0.025	0.021
213	659744.708	255515.581	162.194	EP_III_213	659744.701	255515.557	162.176	0.025	0.018
214	659749.498	255539.085	166.823	EP_III_214	659749.497	255539.066	166.815	0.019	0.008
215	659761.419	255529.469	165.131	EP_III_215	659761.411	255529.446	165.121	0.024	0.010
216	659772.275	255523.471	165.770	EP_III_216	659772.275	255523.461	165.764	0.010	0.006
217	659774.869	255507.719	164.683	EP_III_217	659774.857	255507.704	164.676	0.019	0.007
218	659769.484	255488.640	164.816	EP_III_218	659769.463	255488.626	164.807	0.025	0.009
219	659766.030	255467.749	166.592	EP_III_219	659766.017	255467.759	166.582	0.016	0.010
220	659778.007	255461.819	172.576	EP_III_220	659777.987	255461.822	172.573	0.020	0.003
221	659788.640	255482.303	174.334	EP_III_221	659788.607	255482.299	174.325	0.033	0.009
222	659794.561	255505.080	174.739	EP_III_222	659794.553	255505.078	174.732	0.008	0.007
223	659784.991	255535.724	173.517	EP_III_223	659784.979	255535.700	173.514	0.027	0.003
224	659768.110	255544.391	172.145	EP_III_224	659768.083	255544.370	172.138	0.034	0.007
225	659748.324	255550.397	171.738	EP_III_225	659748.328	255550.378	171.739	0.019	-0.001
226	659727.971	255499.728	162.992	EP_III_226	659727.972	255499.718	162.982	0.010	0.010
227	659725.646	255518.574	167.606	EP_III_227	659725.655	255518.563	167.615	0.014	-0.009
228	659721.542	255534.301	173.361	EP_III_228	659721.551	255534.286	173.374	0.017	-0.013
229	659713.681	255500.978	170.109	EP_III_229	659713.693	255500.968	170.110	0.016	-0.001
230	659710.683	255486.315	169.026	EP_III_230	659710.680	255486.307	169.018	0.009	0.008
231	659702.612	255491.494	174.591	EP_III_231	659702.628	255491.486	174.592	0.018	-0.001

4. táblázat Koordináták összehasonlítása illesztőpontok bevonásával készített pontfelhő esetén (mérőállomással mért pontok – pontfelhőn mért pontok)

Ezt a műveletet természetesen elvégeztem a direkt szenzor tájékozással létrehozott pontfelhő felhasználásával is. Ennél a pontfelhőn elhelyezett, majd kiexportált pontoknak az elnevezése a direkt tájékozással létrehozott pontfelhőn mért pontok neveire utaltak (IP_Dir_101: a 101-es számú illesztőpont helyén mért pont a direkt tájékozással készült pontfelhőn (5. táblázat).

Eltérések direkt tájékozás esetén									
Mérőállomással mért pontok				A direkt tájékozással készült pontfelhőn mért pontok				Eltérések	
Psz	Y (m)	X (m)	Z (m)	Psz	Y (m)	X (m)	Z (m)	vízszt. (m)	mag. (m)
101	659769.639	255571.554	180.985	IP Dir 101	659769.651	255571.500	180.793	0.055	0.192
102	659727.503	255593.877	179.579	IP Dir 102	659727.535	255593.809	179.357	0.075	0.222
103	659685.758	255488.234	177.662	IP Dir 103	659685.806	255488.242	177.391	0.049	0.271
104	659744.836	255480.665	160.076	IP Dir 104	659744.839	255480.692	159.754	0.027	0.322
105	659753.392	255512.609	161.483	IP Dir 105	659753.396	255512.592	161.171	0.017	0.312
106	659766.388	255539.088	169.723	IP Dir 106	659766.387	255539.045	169.458	0.043	0.265
107	659776.796	255469.561	170.974	IP Dir 107	659776.790	255469.588	170.737	0.028	0.237
108	659799.480	255442.068	179.972	IP Dir 108	659799.457	255442.114	179.796	0.051	0.176
109	659829.384	255538.229	182.503	IP Dir 109	659829.355	255538.212	182.269	0.034	0.234
110	659717.611	255498.152	167.584	IP Dir 110	659717.668	255498.160	167.294	0.058	0.290
Psz	Y (m)	X (m)	Z (m)	Psz	Y (m)	X (m)	Z (m)	vízszt. (m)	mag. (m)
201	659813.631	255486.293	182.000	EP Dir 201	659813.590	255486.306	181.818	0.043	0.182
202	659815.309	255521.262	182.005	EP Dir 202	659815.263	255521.259	181.805	0.046	0.200
203	659802.926	255549.760	181.273	EP Dir 203	659802.904	255549.733	181.065	0.035	0.208
204	659801.524	255454.218	180.617	EP Dir 204	659801.495	255454.271	180.436	0.060	0.181
205	659750.853	255570.812	178.854	EP Dir 205	659750.876	255570.759	178.643	0.058	0.211
206	659698.069	255519.568	179.082	EP Dir 206	659698.110	255519.561	178.847	0.042	0.235
207	659692.916	255500.257	178.330	EP Dir 207	659692.950	255500.260	178.070	0.034	0.260
208	659730.251	255478.495	160.334	EP Dir 208	659730.267	255478.518	159.996	0.028	0.338
209	659748.036	255473.690	160.394	EP Dir 209	659748.034	255473.713	160.061	0.023	0.333
210	659746.770	255489.435	160.401	EP Dir 210	659746.770	255489.445	160.075	0.010	0.326
211	659748.557	255504.365	161.071	EP Dir 211	659748.561	255504.355	160.749	0.011	0.322
212	659760.021	255503.808	160.493	EP Dir 212	659760.013	255503.808	160.163	0.008	0.330
213	659744.708	255515.581	162.194	EP Dir 213	659744.715	255515.560	161.873	0.022	0.321
214	659749.498	255539.085	166.823	EP Dir 214	659749.514	255539.044	166.532	0.044	0.291
215	659761.419	255529.469	165.131	EP Dir 215	659761.425	255529.437	164.835	0.033	0.296
216	659772.275	255523.471	165.770	EP Dir 216	659772.274	255523.454	165.485	0.017	0.285
217	659774.869	255507.719	164.683	EP Dir 217	659774.849	255507.705	164.389	0.024	0.294
218	659769.484	255488.640	164.816	EP Dir 218	659769.468	255488.651	164.522	0.019	0.294

219	659766.030	255467.749	166.592	EP Dir 219	659766.017	255467.776	166.307	0.030	0.285
220	659778.007	255461.819	172.576	EP Dir 220	659777.983	255461.858	172.337	0.046	0.239
221	659788.640	255482.303	174.334	EP Dir 221	659788.595	255482.326	174.097	0.051	0.237
222	659794.561	255505.080	174.739	EP Dir 222	659794.540	255505.063	174.503	0.027	0.236
223	659784.991	255535.724	173.517	EP Dir 223	659784.952	255535.689	173.269	0.052	0.248
224	659768.110	255544.391	172.145	EP Dir 224	659768.090	255544.345	171.887	0.050	0.258
225	659748.324	255550.397	171.738	EP Dir 225	659748.339	255550.343	171.477	0.056	0.261
226	659727.971	255499.728	162.992	EP Dir 226	659728.005	255499.729	162.672	0.034	0.320
227	659725.646	255518.574	167.606	EP Dir 227	659725.690	255518.560	167.325	0.046	0.281
228	659721.542	255534.301	173.361	EP Dir 228	659721.582	255534.267	173.113	0.052	0.248
229	659713.681	255500.978	170.109	EP Dir 229	659713.725	255500.983	169.836	0.044	0.273
230	659710.683	255486.315	169.026	EP Dir 230	659710.712	255486.331	168.738	0.033	0.288
231	659702.612	255491.494	174.591	EP Dir 231	659702.662	255491.493	174.330	0.050	0.261

5. táblázat Koordináták összehasonlítása direkt tájékozással készített pontfelhő esetén (mérőállomással mért pontok – pontfelhőn mért pontok)

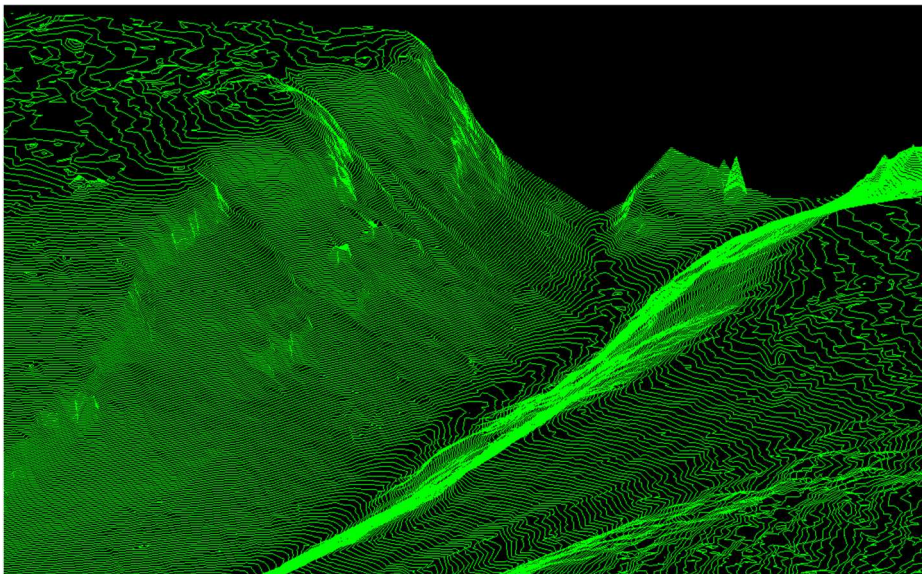
A két táblázat eredményeit összehasonlítva, jól látható, hogy az első számításnál (illesztőpontok számításba történő bevételeivel) jóval kisebb eltérések keletkeztek, mint az utóbbi esetben, átlagosan vízszintes értelemben: 1,6 cm, magasságilag: 3 mm, míg a direkt szenzor tájékozásból kapott pontok esetén a vízszintes eltérések átlaga: 3.8 cm, magasságilag viszont jelentősebb: 27cm.

Mivel a pontfelhőkön történő mérés, mint a mérések általában, hordozhatnak magukban hibát, a biztonság kedvéért ez előző műveleteket mindkettő pontfelhő esetén megismétltem. Viszont nagyságrendileg azonos eredményt kaptam a hibák átlagában:

Illesztőpontok felhasználásakor: vízszintes értelemben: 1,65 cm, magasságilag: 3 mm, direkt szenzor tájékozásnál: vízszintes: 3.9 cm, magasságilag: 27,4cm.

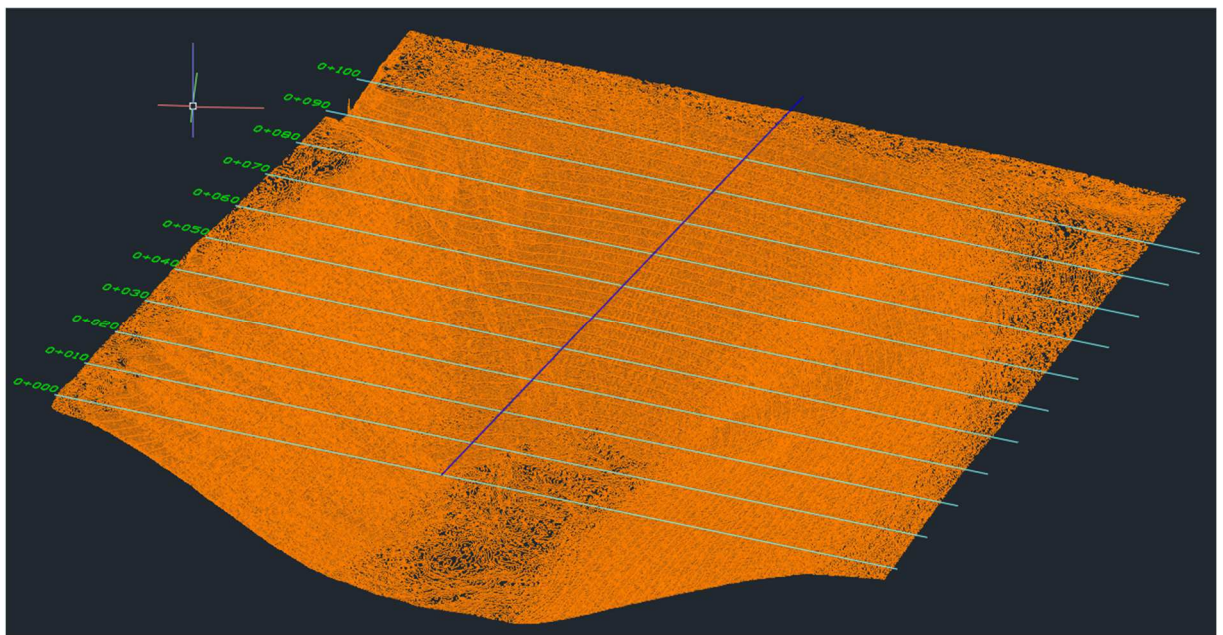
3.8 Keresztszelvények

Arra, hogy a két pontfelhő közti differenciát vizuálisan is meg tudjuk figyelni, az egyik leglátványosabb módszer a keresztszelvényekben való ábrázolás lehet. A műveletet AutoCAD Civil3D programmal végeztem. Mivel az a tapasztalatom, hogy ha Civil 3D-ben közvetlenül a pontfelhőből készítek felületet, az állomány olyan nagy lesz, hogy azt már nehezen kezeli a számítógémem, ezért beiktattam egy köztes megoldást, a Trimble Real Works nevű programba beolvastam a korábban az AgisoftMetashape-ből kiexportált E57 kiterjesztésű file-okat, majd ezekből készítettem felületeket. Mielőtt azonban ezt megtettem volna, mindkét pontfelhőből levágtam a felesleges részeket, gyakorlatilag a széleiket, annak érdekében, hogy csökkentsem az állomány méretét, ügyelve arra, hogy semmiképpen ne kerüljenek törlésre a számunkra fontos felületrészek. Ezt úgy oldottam meg, hogy megkerestem a pontfelhőkön a szélső illesztőpontokat, és csak az azon kívüli részeket távolítottam el. Így a két pontfelhőm közel azonos kiterjedésű maradt. Mivel ezeket egészen jól kezelte a gépem, ugyanebben a programban az elkészült felületekhez szintvonalakat rendeltem, 3 cm-es szintközökkel. Úgy ítélt meg, hogy ez elegendő ahhoz, hogy a felületeimet kellő pontossággal visszaadják (3.20. ábra).



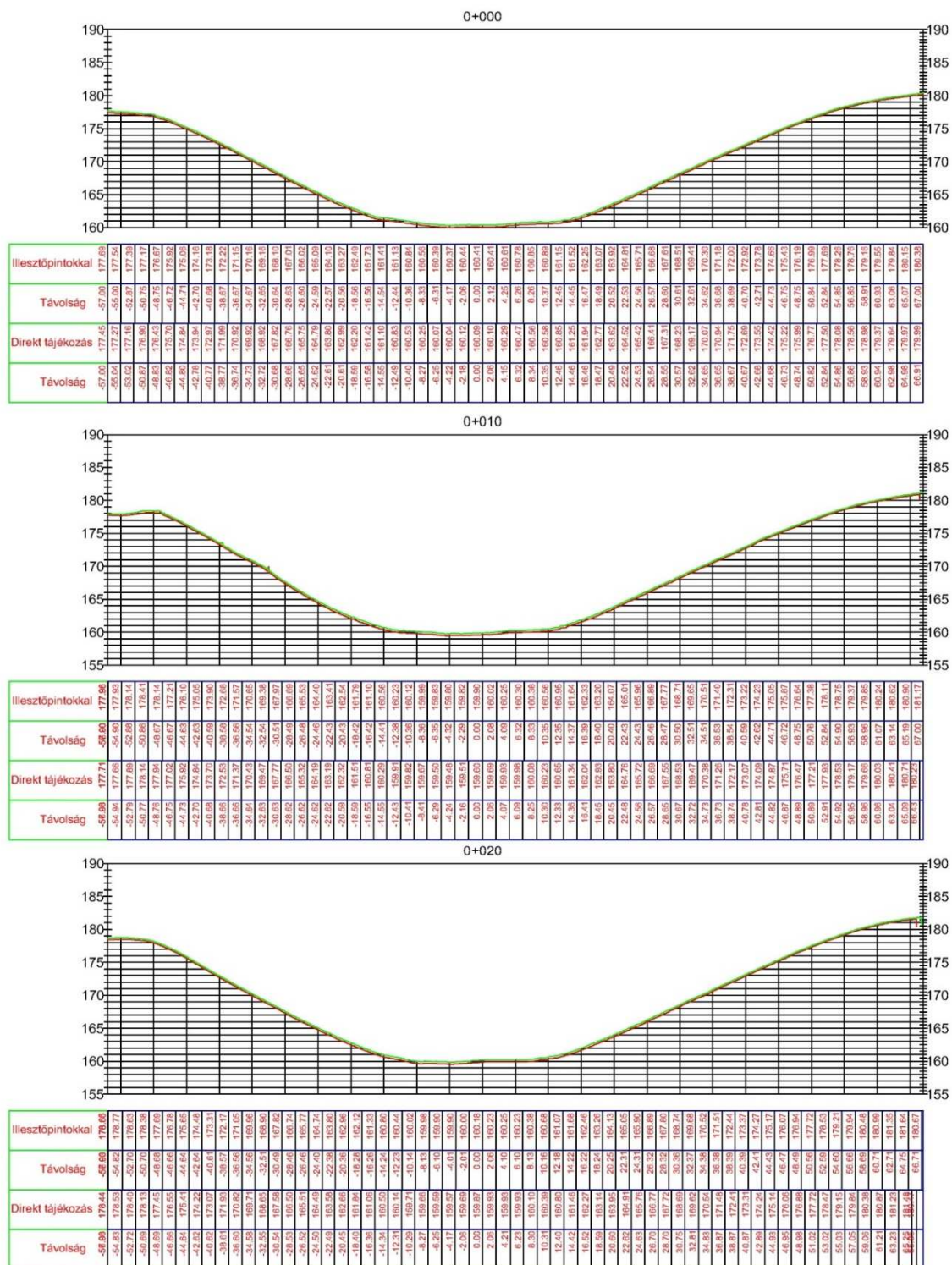
3.20. ábra Felület (szintvonalas)

Ezeket a szintvonalakat kiexportáltam DWG állományba, melyeket már viszonylag könnyen volt képes kezelni a kompjuterem. Megnyitva Civil3D-ben az illesztőpontokkal, és a direkt tájékozással készített pontfelhőből létrehozott szintvonalas térképeket, mindkettőből készítettem egy-egy felületet a keresztaszelvények előállításához. Ehhez arra volt továbbá szükség, hogy felvegyek egy fiktív tengelyt a vizsgált területen (én ezt a „gödör” körülbelüli középvezonálaban tettem meg), majd távolságméréssel meghatároztam, hogy a tengelyhez képest ortogonálisan meddig tartanak a keresztaszelvények mintavonalai, gyakorlatilag meghatároztam a keresztaszelvények szélességét (jobbra 67m, balra 57m értéket adtam meg). Megítélésem szerint a 10m-enkénti mintavételezés, tehát a 10m-es szelvényközök elég információt biztosítanak ahhoz, hogy kimutassák a két felület közti eltéréseket (3.21. ábra).



3.21. ábra Mintavonalak

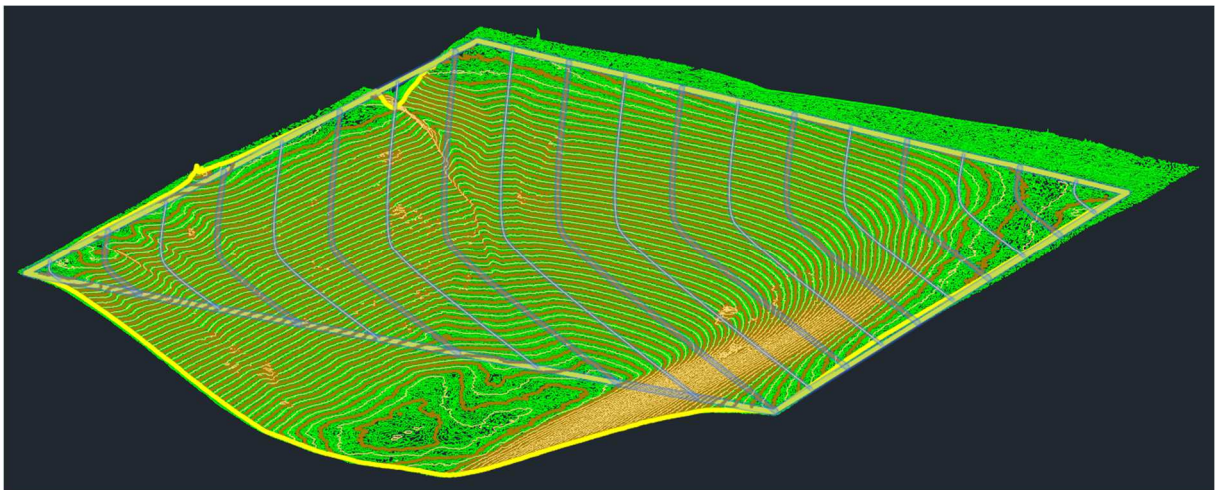
A keresztaszelvényeket (3.22. ábra) úgy állítottam be, hogy az illesztőpontok felhasználásával készített felület zöld színnel, a direkt szenzor tájékozás felülete pedig piros színnel jelenjen meg, annak érdekében, hogy a két vonal szemre is jól elkülönüljön egymáshoz képest.



A keresztmetszvényeken (2. sz. melléklet), és a kimutatott értékeken jól láthatóak azok az eltérések, amelyeket korábban a koordináták elemzésekor megfigyelhattünk.

3.9 Térfogatszámítás

Mindenképpen szerettem volna utánajárni annak, hogy a két különböző eljárással készült végtermékünk milyen eredményt mutat, milyen eltérés tapasztalható köztük térfogatszámítás esetén. Nem arra voltam kíváncsi, hogy a két felület között mekkora tömegű az eltérés, mert az irreleváns volt számomra, hanem arra, hogy ha önmagukban vizsgáljuk a felületeket, milyen pontatlanságot figyelhetünk meg a két földtömeg között. Ezért mindkét felületet, egy általam felvett felülettel vetettem össze, tehát egy-egy alapfelülettel. Ezen felületek sarokpontjaiként a bánya 4 sarkán elhelyezett illesztőpontokat határoztam meg, de egyiknél sem a mérőállomással bemért pontok koordinátáit használtam fel, hanem mindegyiknél a saját rendszerükben található pontokat, annak érdekében, hogy a viszonyítási felület minél jobban igazodjon a felülethez, amelynek a térfogatát szeretnénk vizsgálni (3.23.-24. ábra). Ez az eljárás nagyjából azzal egyenértékű, mint amikor egy depó térfogatát vizsgáljuk, ahol a rézsűlátat a saját rendszerében definiáljuk, hiszen az fogja biztosítani számunkra az alapfelületet abban az esetben, ha nem készült korábban egy 0 mérés, vagyis egy korábbi viszonyítási felület.



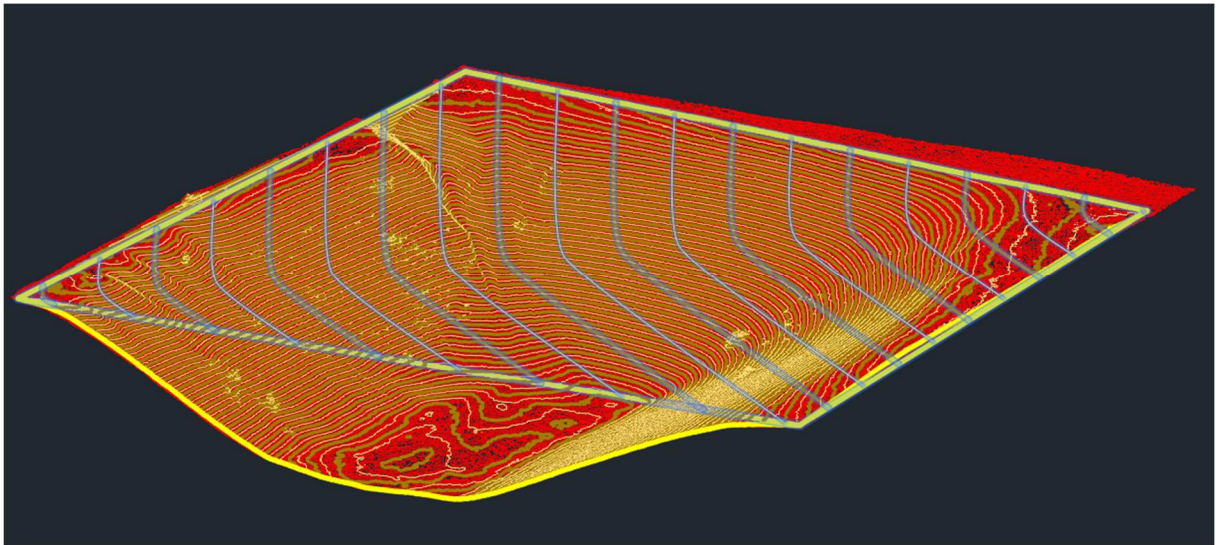
3.23. ábra Térfogatszámítás (illesztőpontok felhasználásával készült felület esetén)

A térfogatszámítás lefuttatása után kapott eredmény az illesztőpontok felhasználásával készült mérés esetén:

bevágás: 101368m^3 ,

töltés: 486m^3 ,

nettó térfogat: 100881m^3 .



3.24. ábra Térfogatszámítás (direkt tájékozással készült felület esetén)

A térfogatszámítás lefuttatása után kapott eredmény direkt szenzor tájékozással készült mérés esetén:

bevágás: 101619m^3 ,

töltés: 495m^3

nettó térfogat: 101125 .

Az ábrákból jól kivehető, hogy a bevágási érték a viszonyítási felület alatt elhelyezkedő tömeget jelenti, a töltés pedig az e felett. Töltés azért jelentkezhethet, mert az alapfelület kiterjedését meghatározó illesztőpontok felett is helyezkedtek el pontok a pontfelhőkben, tehát értelemszerűen a felületek metszik egymást.

A két számítás összehasonlítása után azt látjuk, hogy bevágásban az illesztőpontokkal készült felület térfogata 251m^3 -rel kisebb, töltésben pedig 9m^3 -rel. A nettó térfogatok tekintetében 244m^3 a különbség, tehát kerekítve 0.25% . Természetesen a térfogatszámítást sok egyéb módszerrel (pl. keresztmetszvények felhasználásával, göngyölt térfogatszámítás), vagy más szoftverekkel is el lehet végezni, ellenőrzésképpen meg is tettem. De nagyságrendi eltérés az itt leírt eredményekhez képest nem mutatkozott. Elmondható tehát, hogy a két módszer végtermékei közötti térfogatkülönbség elenyésző.

4 ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozati téma kidolgozásának célja, azaz annak vizsgálata, hogy igazak-e azon hírek, melyek szerint az RTK rendszerrel felszerelt UAV-ok, cm-es pontosságot biztosítanak az adatgyűjtés során, illetve a begyűjtött adatok feldolgozását követően kapott végtermékekben, így illesztőpontok használatára már nincs is szükség. Természetesen, az eddigi tapasztalatokat alapul véve, valamint a korábbi tanulmányainkra támaszkodva nyilvánvalóan tudjuk, hogy ez nem igaz. Az igazi kérdés inkább az volt, hogy mekkora eltérésekkel, hibákkal kell számolnunk abban az esetben, ha nem használunk illesztőpontokat, tehát a feldolgozási folyamatot a direkt szenzor tájékozásra alapozva visszük végig, illetve hogy van-e olyan feladat, amelynél valóban eltekinthetünk az illesztőpontok használatától. Ez utóbbi azért is lehet különösen érdekes, mert bár alapvetően az illesztőpontok bemérése, majd a feldolgozásba való bevonása, nem feltétlenül kell jelentsen óriási szakmai kihívást, viszont azokat jól átgondoltan el kell helyezni, koordinátaikat geodéziai módszerekkel meg kell határozni, és nem utolsó sorban (hacsak nem meglévő objektumokat használunk fel erre a célra, pl. meglévő felfestések, útszegély, stb., vagy saját magunk által felfestett jelekkel dolgoztunk) ezeket a repülés végeztével bizony össze is kell szedni. Tehát egyáltalán nem elhanyagolható kérdés az idő esetleges megtakarítása, hiszen nyilván a munkaterület méretétől függően, nem mindegy, hogy szinte a teljes területet be kell-e járnunk 2-3 alkalommal az illesztőpontok miatt, vagy sem.

A fent ismertetett helyszínen készítettem tehát 433 db felvételt, majd ezeket feldolgoztam direkt szenzor tájékozással is, és úgy is, hogy a korábban kihelyezett, ismert koordinátákkal rendelkező illesztőpontokat is belevettem a számításba. A 2 különböző módszerrel elkészített végterméket 3 különböző aspektusból hasonlítottam össze.

Az első esetben egyszerűen csak a két pontfelhőn mért illesztőpontok, valamint ellenőrzőpontok koordinátáit vetettem össze, de nem egymással, hanem a geodéziai módszerrel kapott koordinátaikkal, tehát egy alaphoz viszonyítottam őket. Eredményül azt kaptam, hogy az illesztőpontok számításba vételekor születtek azok az értékek, amelyekről olykor

hallunk, az ilyen felszereltségű eszközök illesztőpontok nélküli megbízhatóságával kapcsolatban (átlagosan vízszintes értelemben: 1,6 cm, magasságilag: 3 mm). A direkt tájékozás esetén a vizsgált pontpárok koordinátáinak értékei között jóval nagyobb különbség volt megfigyelhető (a vízszintes eltérések átlaga: 3.8 cm, magasságilag: 27cm).

A második összehasonlítás keresztaszelvények segítségével történt, egyszerűen felvettem egy fiktív tengelyt a bánya körülbelüli középvonalában, és 10m-es szelvényközökkel keresztaszelvényeket készítettem, mindkét, korábban létrehozott felület ábrázolásával. Jól láthatóan kijöttek az előző vizsgálat során is tapasztaltak, igaz, annak ismeretében ez már különös meglepetést nem okozott.

A harmadik szempont, amely szerint összevettem végtermékeimet, a térfogat kérdése volt. Ennél, nem egymással szerettem volna összehasonlítani a létrehozott felületeket, hanem arra voltam kíváncsi, hogy egy, a vizsgált pontfelhővel azonos rendszerben, arra legjobban illeszkedő alapfelülethez képest milyen eltérések születtek, tehát, hogy a térfogatszámítás megállja-e a helyét abban az esetben, ha nem használunk illesztőpontokat. Azt a választ kaptam, hogy igen, megállja. Mivel az építőiparban az elfogadott eltérés a térfogat tekintetében $\pm 5\%$, mondhatjuk, hogy a két különböző módszerrel készült végtermékünkben, a térfogatok összehasonlításakor kapott 0.25%-os eltérés igen csekélynek mondható. Természetesen itt is elmondható a geodéziában jól megtanult mondat: „egy mérés nem mérés”, de véleményem szerint, ha a műveletet kellő odafigyeléssel, jó beállításokkal, az időjárási- és fényviszonyoknak megfelelően végezzük, az eredményben nagyságrendi eltérést nem tapasztalunk.

A konklúzió tehát az, hogy amennyiben a vizsgált objektumot úgy szeretnénk leképezni (természetesen a megrendelésben szereplő pontossági igényeknek megfelelően), hogy annak pozíciója a lehető legjobban illeszkedjen a kívánt koordináta rendszerhez mind vízszintes, mind magassági értelemben, akkor az illesztőpontok használata elengedhetetlen, ezen feladatok ellátására a direkt szenzor tájékozás alkalmatlan. Viszont, amennyiben a cél nem a terepi objektum pontos pozíciójának elhelyezése a geodéziai koordináta-rendszerben, hanem látványos modellek készítése, vagy a vizsgálatunk során is lefuttatott térfogatszámítás, a direkt szenzor tájékozás módszere is alkalmazható.

Végezetül egy fontos dolgot mindenképpen ki kell hangsúlyozni: abban az esetben, ha mérnöki munkáról és nem hobby célú felhasználásról van szó, az illesztő, és ellenőrző pontok használata mindenképpen javasolt.



4.1. ábra A helyszín a flvételek készítésekor

5 SUMMARY

The basic idea of the thesis was to investigate whether the news that UAVs equipped with RTK systems are true, provide centimeter accuracy during data collection and in the final products obtained after processing the collected data, so the use of ground control points is no longer necessary. Of course, based on our previous experiences and our previous studies, we obviously know that this is not true. The real question was rather how much deviations and errors we have to account for in the event that we do not use ground control points, so we carry out the processing process based on direct sensor information, and whether there is a task for which we can really dispense with connection points from its use. The latter can also be particularly interesting because, although basically measuring the ground control points and then including them in the processing, it does not necessarily have to be a huge professional challenge, but they must be placed carefully, their coordinates must be determined using geodetic methods, and last but not least (unless we used existing objects for this purpose, e.g. existing painting, roadside, etc., or we worked with signs painted by ourselves) these must be collected after the flight is over. So, the possible saving of time is not at all a negligible issue, since obviously depending on the size of the work area, it does not matter whether we have to walk almost the entire area 2-3 times because of the ground control points or not. So, I took 433 shots at the location described above, and then processed them with direct sensor information, as well as by including the previously placed ground control points with known coordinates in the calculation. I compared the final product made with 2 different methods from 3 different aspects. In the first case, I simply compared the coordinates of the check points and ground control points measured on the two point clouds, but not with each other, but with their coordinates obtained by the geodetic method, so I compared them to a base. As a result, I found that the values that we sometimes hear about in relation to the reliability of devices with this type of equipment without ground control points were obtained when the ground control points were taken into account (on average, horizontally: 1.6 cm, vertically: 3 mm). In the case of direct orientation, a much larger difference was observed between the values

of the coordinates of the examined pairs of points (average of horizontal deviations: 3.8 cm, height: 27 cm).

The second comparison was made using cross sections. I simply took a fictitious axis in the approximate center line of the mine and made cross sections with section intervals of 10m, representing both previously created surfaces. The findings of the previous investigations were clearly evident, although, knowing that, this did not cause any particular surprise. The third aspect by which I have compared my final products was the issue of volume. In this case, I did not want to compare the created surfaces with each other, but I was curious to see what differences would arise in a system identical to the examined point cloud compared to the base surface that best fits it, so whether the space-dimension calculation would hold its place in the case if we don't use adapters. I got the answer that yes, it will stop. Since the accepted deviation in terms of volume in the construction industry is $\pm 5\%$, we can say that the 0.25% deviation obtained when comparing the volumes in our final product made with two different methods can be said to be very small. Of course, the well-learned sentence in geodesy can be said here as well: "a one-time-made measurement is not a measurement", but in my opinion, if the operation is carried out with sufficient care, with good settings, in accordance with the weather and light conditions, we would not experience a large deviation in the result.

Therefore, the conclusion is the following: if we want to map the examined object in such a way (of course in accordance with the accuracy requirements included in the order) that its position matches the desired coordinate system as best as possible, both horizontally and vertically, then the use of adjustment points cannot be omitted. Direct sensor information is not suitable for performing these tasks. However, if the goal is not to place the exact position of the field object in the geodetic coordinate system, but to create spectacular models or the volume calculation that was also performed during our investigation, then the direct sensor orientation method can also be used.

Finally, one important thing must be emphasized: in case of engineering work and not hobby use, the use of check and ground control points is definitely recommended.

6 FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Dr. habil. Jancsó Tamás - Autonóm repülési terv készítése (ÓBUDAI EGYETEM ALBA REGIA MŰSZAKI KAR GEOINFORMATIKAI INTÉZET) 2023. 11. 24.
- [2] Dr. habil. Jancsó Tamás – Légi adatnyrés alapjai (ÓBUDAI EGYETEM ALBA REGIA MŰSZAKI KAR GEOINFORMATIKAI INTÉZET), Budapest, 2017.
- [3] Dr. habil. Jancsó Tamás – UAS felvételek feldolgozása (ÓBUDAI EGYETEM ALBA REGIA MŰSZAKI KAR GEOINFORMATIKAI INTÉZET) 2024
- [4] Dr. habil. Jancsó Tamás – Digitális fotogrammetria (ÓBUDAI EGYETEM ALBA REGIA MŰSZAKI KAR) Budapest, 2017.
- [5] Dr. habil. Jancsó Tamás - [Online] [Dr. habil Jancsó Tamás \(OE\) – Kamera kalibrációs módszerek összehasonlítása \(youtube.com\)](#) (megtekintce: 2024.04.10)
- [6] Ouplitech Kft. – Phantom 4 RTK felhasználói kézikönyv 2019
- [7] Nagy Gábor – GNSS rendszerek alapjai (ÓBUDAI EGYETEM ALBA REGIA MŰSZAKI KAR GEOINFORMATIKAI INTÉZET), 2023
- [8] Nagy Gábor – Pontfelhők előállítása és kezelése (ÓBUDAI EGYETEM ALBA REGIA MŰSZAKI KAR GEOINFORMATIKAI INTÉZET), 2023
- [9] Szaniszló Mónika – UAS műveleti menedzsment
- [10] Cyrill Stachniss - Photogrammetry I - 16b - DLT & Camera Calibration (2015)
[Online] [\(310\) Photogrammetry I - 16b - DLT & Camera Calibration \(2015\) - YouTube](#)
(megtekintce: 2024.04.15)
- [11] Lennert József (Duna Aszfalt) – Megbízhatóság és BIM [\(311\) Lennert József \(Duna Aszfalt\) – Megbízhatóság és BIM - YouTube](#) (megtekintce: 2024.04.13)

7 ÁBRAJEGYZÉK

2.1. ábra Belső tájékozási elemek [2].....	8
2.2. ábra Sakktábla-szerű sík ábrát.....	9
2.3. ábra Tesztábra (sík)	9
2.4. ábra Tesztábra (3D)	10
2.5. ábra Illesztőpont, festett kereszt	16
2.6. ábra Illesztőpont, festett beton	17
2.7. ábra Légifelmérést jellemző adatok [2]	19
2.8. ábra Repülési magasság meghatározása [2].....	20
2.9. ábra Objektív látószögei [2]	20
2.10. ábra Leghosszabb záridő számítása [2]	21
2.11. ábra Modell koordináta-rendszer hozzátájékozáskor [4]	24
3.1. ábra Tesztábra fotózása.....	26
3.2. ábra Markerek illesztése	27
3.3. ábra Radiális elrajzolás	27
3.4. ábra Tangenciális elrajzolás	28
3.5. ábra Radiális és tangenciális elrajzolási görbék	28
3.6. ábra Korreláció	29
3.7. ábra Repülési terv készítése (útvonal, sebesség).....	30
3.8. ábra Repülési terv készítése (képarány, white balance, kamera dőlésszöge)	31
3.9. ábra Repülési terv készítése (átfedések beállítása).....	32
3.10. ábra Eredmény, szabadállás	35
3.11. ábra Felszállópálya	38
3.12. ábra Beállítások (ritka pontfelhő).....	40
3.13. ábra Ritka pontfelhő markerekkel	41
3.14. ábra Marker az illesztőponton.....	42
3.15. ábra Hibák (markerek)	42
3.16. ábra Sűrű pontfelhő	43
3.17. ábra Beállítások (felület).....	43

3.18. ábra Modell	44
3.19. ábra Pontfelhő TRW-ben	45
3.20. ábra Felület (szintvonalas)	50
3.21. ábra Mintavonalak	51
3.22. ábra Keresztszelvények.....	52
3.23. ábra Térfogatszámítás (illesztőpontok felhasználásával készült felület esetén)	53
3.24. ábra Térfogatszámítás (direkt tájékozással készült felület esetén).....	54
4.1. ábra A helyszín a flvételek készítésekor.....	58

8 MELLÉKLETEK

1. sz. melléklet: A művelethez használt DJI Phantom4 RTK drón gyári adatai:

Drón

Tömeg (akkumulátorral és légcsavarokkal együtt) - 1391 g

Átlós mérete (légcsavarok nélkül) - 350 mm

Legnagyobb emelkedési sebesség - 6 m/s (automatikus repülés); 5 m/s (manuális irányítás)

Legnagyobb ereszkedési sebesség - 3 m/s

Legnagyobb sebesség - 50 km/h (P-mód); 58 km/h (A-mód)

Legnagyobb szögsebesség - 150°/s (A-mód)

Tengerszint feletti legnagyobb magasságon 6000 m (19 685 láb)

Legnagyobb szélességtűrés 10 m/s

Leghosszabb repülési idő - körülbelül 30 perc

Működési hőmérséklet-tartomány - 0° és 40° C (32° és 104° F) között

Működési frekvencia - 2,400 GHz - 2,483 GHz (Európa, Japán, Korea) 5,725 - 5,850 GHz (Egyesült Államok, Kína)

Adóteljesítmény (EIRP) - 2,4 GHz CE (Európa)/ MIC (Japán)/ KCC (Korea): < 20 dBm 5,8 GHz FCC (Egyesült Államok) / SRRC (Kína)/ NCC (Taiwan): < 26 dBm

Lebegési pontossági tartomány - RTK bekapcsolva és megfelelően működik: függőleges: $\pm 0,1$ m; vízszintes: $\pm 0,1$ m

RTK kikapcsolva: függőleges: $\pm 0,1$ m (vizuális helymeghatározással); $\pm 0,5$ m (GNSS helymeghatározással)

Kép pozíció eltolás - A kamera középpontjának helyzete a fedélzeti D-RTK antenna fázisközéppontjához képest a drón törzsének tengelye alatt (36, 0 és 192 mm) már bele van számítva a kép koordinátaiba az Exif adatok közt. A törzsének pozitív x, y és z tengelye előre, jobbra, illetve lefelé mutat.

GNSS

Egyfrekvenciás, nagy érzékenységsű GNSS

GPS+ BeiDou + Galileo (Ázsia);

GPS+ GLONASS + Galilea * (egyéb régiók)

Többfrekvenciás, többrendszerű, nagy érzékenységsű RTK GNSS

Alkalmazott frekvencia

GPS: L1/L2; GLONASS: L1/L2; BeiDou: B1/B2; Galileo: E1/E5 Első javítási idő: < 50 s

Helymeghatározási pontosság:
függőleges 1,5 cm + 1 ppm (RMS);
vízszintes 1 cm+ 1 ppm (RMS).
1 ppm 1 mm hibanövekményt jelent 1 km elmozdulásnál
Sebesség pontossága – 0,03 m/s

Térképészeti funkció

Térképészeti pontosság – a térképészeti pontosság, megfelel a Digital Orthophotos Class III ASPRS pontossági szabvány követelményeinek
Földi mintavételezési távolság (GSD) - (H/ 36,5) cm/ pixel, H jelzi a drón magasságát a fényképezett helyszíntől (mértékegység: m)
Adatgyűjtési hatékonyság - Legnagyobb műveleti terület hozzávetőleg 1 km² egyetlen repüléssel (182 m magasságban, azaz a GSD kb. 5 cm/ pixel, amely megfelel a Digital Orthophotos Class III ASPRS pontossági szabvány követelményeinek).

Gimbal

Stabilitás – 3 tengelyű (bólintás, orsózás, csavarás)
Szabályozható tartomány - Dőlés: - 90° és + 30° között
Maximális szabályozható szögsebesség - Dőlés: 90°/s
Szögszabályozás pontosság - ±0,02°

Vizuális rendszer

Sebességtartomány - ≤ 50 km/h 2 méterrel föld felett megfelelő megvilágításnál
Magasságtartomány - 0-10 m (0-33 láb)
Működési tartomány - 0-10 m (0-33 láb)
Akadályérzékelési távolság - 0,7-30 m (2-98 láb)
Látószög (FOV) - Előre/hátra: 60° (vízszintes) ±27° (függőleges)
Lefelé: 70° (előre és hátra) 50° (jobbra és balra)
Mérési frekvencia - Előre/hátra: 10 Hz, Lefelé: 20 Hz
Működési környezet – Tiszta mintázatú, megfelelő megvilágítású (lux > 15) felszín

Infravörös helymeghatározási rendszer

Akadályérzékelési távolság – 0,2-7m (0,6-23 láb)
Látószög - 70° (vízszintes) ±10° (függőleges)
Mérési frekvencia – 10 Hz
Működési környezet - Diffúz visszaverő anyagú felszín, jó visszaverőképességgel >8% (például fal, fa, ember stb.)

Kamera

Érzékelő - 1"CMOS; Effektív pixelszám: 20M
Objektív – FOV (látómező) 84° 8,8 mm (35 mm-es formátumnak megfelelő: 24 mm) f/2,8-f/11 autófókusz 1 m - ∞

Fényérzékenységi tartomány ISO - videó: 100-3200 (auto); 100-6400 (kézi) fotó:
100-3200 (auto); 100-12800 (kézi)
Mechanikus zársebesség – 8-1/2000 s
Elektronikus zársebesség – 1/2000 – 1/8000 s
Legnagyobb képméret 4864 x 3648 (4:3); 5472 x 3648 (3:2)
Fényképkészítési módok – Egy-egy kép
Videófelvételi módok – H.264, 4K: 3840 x 2160 30p
Max. bitsebesség videótárolásnál – 100Mb/s
Fényképek – JPEG
Videófelvétel – MOV
Támogatott file-rendszerek – FAT32 (≤ 32 GB); exFAT (> 32 GB)
Működési hőmérséklet tartomány - 0° C és 40° C (32° F és 104° F) között

Távírányító

Működési frekvencia - 2,400 GHz - 2,483 GHz (Európa, Japán, Korea)
5,725 - 5,850 GHz (Egyesült Államok, Kína)
Adóteljesítmény (EIRP) - 2.4 GHz
CE/MIC/KCC: < 20 dBm
5,8 GHz
SRRC/NCC/FCC: < 26 dBm
Legnagyobb átviteli távolság - FCC / NCC: 7 km; CE / MIC / KCC / SRRC: 5 km
(akadály- és interferencia-mentes)
Energiafogyasztás – 16 W (jellemző érték)
Megjelenítő eszköz – 5,5 hüvelykes képernyő, 1920 x 1080, 1000 cd/m², Android
rendszer, 4G RAM + 16G ROM
Működési hőmérséklet-tartomány - 0° C és 40 ° C (14° F és 104° F) között

Intelligens akkumulátor (PH4 – 5870 mAh – 15,2 V)

Kapacitás – 5350 mAh
Feszültség – 15,2 V
Akkumulátortípus – LiPo 4S
Energia – 89,2 Wh
Nettó tömeg – 468 g
Működési hőmérséklet-tartomány - - 10° C és 40 ° C (14° F és 104° F) között
Max. töltési teljesítmény - 160W

Intelligens akkumulátor töltőközpont (WCH2)

Bemeneti feszültség – 17,3 – 26,2 V
Kimeneti feszültség és áram – 8,7 V, 6 A; 5 V, 2 A
Működési hőmérséklet-tartomány - 5° C és 40 ° C (41° F és 104° F) között

AC Power Adapter (PH4C160)

Feszültség – 17,4 V
Névleges teljesítmény 160 W [6]

2. sz. melléklet: keresztmetszvények

