



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT

Szabadidőpark felmérése UAV technológiával

OE-AMK

Hallgató neve: **Tóth Gergő**

2023

Hallgató törzskönyvi száma: **T000637/FI12904/A-G**



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Tóth Gergő

Szakdolgozat száma: [REDACTED]

Törzskönyvi száma: T000637/FI12904/A-G

Neptun kódja: [REDACTED]

Szak: földmérő és földrendező mérnök

Specializáció: Geoinformatika specializáció

A dolgozat címe: Szabadidőpark felmérése UAV technológiával

A dolgozat címe angolul: Leisure park survey with UAV technology

A feladat részletezése:

1. Szakirodalom és Internetes források alapján ismertesse a fotogrammetriában és a geodéziában alkalmazható felmérési eljárásokat.
2. Az elérhető műszerezettség figyelembevételével válassza ki az alkalmazandó technológiákat.
3. Végezze el a kiválasztott terület felmérést UAV alapú felmérési módszerrel. Hozza létre a felmért objektum 3D modelljét.
4. Mérjen ellenőrző pontokat GNSS technológiával, majd végezzen pontossági vizsgálatot.
5. Az elvégzett munkát műszaki leírásban összegezze.

Intézményi konzulens neve: Dr. Jancsó Tamás

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

Beadási határidő: 2023. 12. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.



Kiadva: Székesfehérvár, 2023. 10. 25.*

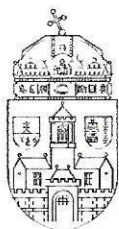
P.H. 1.

Intézetigazgató

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

Dr. Jancsó Tamás
belső konzulens

külső konzulens



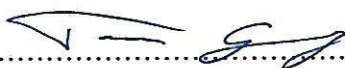
ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

HALLGATÓI NYILATKOZAT

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

Kelt: Székesfehérvár, 2023.12.12.


.....
hallgató aláírása

TARTALOMJEGYZÉK

1.	BEVEZETÉS	6
2.	FOTOGRAMMETRIA.....	7
	2.1 Fotogrammetria feladata.....	7
	2.2 Fotogrammetria technológia lépései.....	8
	2.2.1 Műszaki terv	8
	2.2.2 Technológiai utasítás.....	8
	2.2.3 Repülési terv	8
	2.2.4 Geodéziai előkészítés	9
	2.2.5 Légifénykép készítés.....	9
	2.2.6 Egyéb lépések.....	9
	2.3 Légi fotogrammetria	9
3.	LÉGIHÁROMSZÖGELÉS.....	11
	3.1 Légháromszögelés lényege, célja.....	11
	3.2 Légháromszögelés módszerei	12
	3.3 Direkt szenzor tájékozás.....	14
4.	KAMERA KALIBRÁCIÓ	15
	4.1 Kamera kalibráció illesztőpont-mezővel.....	15
	4.2 Kamera kalibráció tesztábrák alapján.....	16
	4.3 Kamera kalibráció laborban	17
5.	PILÓTA NÉLKÜLI FELVEVŐ RENDSZEREK	18
	5.1 Pilóta nélküli felvevő rendszerek ismertetése	18
	5.2 Pilóta nélküli felvevő rendszerek csoportosítása	19
	5.3 Drón kategóriák, szabályozások	20
	5.4 UAV szerepe a földmérésben	21
	5.5 Az UAV-val végzett felmérés technológiai folyamata	21
	5.5.1 Projekt paraméterek meghatározása	22
	5.5.2 Repülési terv készítés	22
	5.5.3 Autonóm légi felmérés végrehajtása.....	23
	5.5.4 Adatok minőségellenőrzése	23
	5.5.5 UAV tömbháromszögelés végrehajtása.....	23

5.5.6 Feldolgozás, végtermékek előállítása	23
6. ORTOFOTÓ	25
7. FELMÉRT TERÜLET BEMUTATÁSA.....	26
8. REPÜLÉS ELŐKÉSZÍTÉSE, REPÜLÉS VÉGREHAJTÁSA, GNSS FELMÉRÉS	27
8.1 Repüléshez szükséges engedélyek megszerzése	27
8.2 Repülési terv	27
8.3 Illesztőpontok telepítése, bemérése	29
8.4 Repülés végrehajtása	31
8.5 GNSS felmérés ellenőrzés céljából	32
9. FELVÉTELEK FELDOLGOZÁSA 3D SURVEY SZOFTVERREL.....	33
9.1 3D Survey szoftver bemutatása	33
9.2 Szerkesztés folyamatának bemutatása	33
10. PONTOSSÁGVIZSGÁLAT CLOUDCOMPARE SZOFTVERREL	40
10.1 CloudCompare szoftver bemutatása	40
10.2 Pontosságvizsgálat folyamatának bemutatása	40
11. MŰSZAKI LEÍRÁS.....	45
12. ÖSSZEGZÉS	49
13. SUMMARY	51
14. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	53
15. IRODALOMJEGYZÉK.....	54
16. ÁBRAJEGYZÉK	57
17. MELLÉKLETEK.....	59

1. BEVEZETÉS

Napjainkban zajló rohamos technológiai fejlődés számtalan tudományra is hatással volt, melyek már az ókorban meghatározóak voltak. Azóta évről-évre sokat változtak egyes hivatások technológiái, illetve használati eszközei. Kiemelkedő előrelépésnek tekinthetjük azt is, ami a geodézia ágazatával történt. Már az 1900-as évek körül megalkotott teodolitok, szintező műszerek nagy előrelépést jelentettek a földmérőknek, ám akkor még nem is sejtették, hogy a XXI. század miket tartogat számukra. Sorra jelennek meg manapság újabb és újabb, egyre modernebb mérőállomások, szintező műszerek, GNSS vevők. Ezek mellett ne feledkezzünk meg a legnagyobb áttörést jelentő pilóta nélküli légijárművekről, a drónokról. A földmérésben használt drón GPS antennával, lézerszkennelvel, valamint kamerával felszerelt pilóta nélküli felvevőrendszer, mely képes nagyon rövid idő alatt viszonylag nagy terület feltérképezésére. Az UAV (Unmanned Aerial Vehicle) segítségével végrehajtott felmérés adataiból számítógép segítségével akár 3D-s modellt is alkothatunk a lemért területről. [1]

A XXI. században a fejlett társadalmakra az információ jelentőségének robbanásszerű változása, növekedése a jellemző. A digitális eszközök megjelenése, fejlődése számottevően megváltoztatta életünket. [2] Véleményem szerint elengedhetetlen ezen eszközök ismerete, használata a mindennapok során. Az egyetemi tanulmányaim alatt foglalkozhattam először átfogóbban a drónok használatával. A téma aktualitása és a technológiában rejlő lehetőségek ihlették szakdolgozatom megírását. Dolgozatom során áttekintést nyújtok a fotogrammetria, légiháromszögelés, kamerakalibráció témakörében fellelhető szakirodalmakról. Ismertetem a pilóta nélküli felvevőrendszerek legfontosabb tudnivalóit, az UAV által készített 3D modellek felhasználási területeit, végül az ortofotó előállításának folyamatát. Ezután bemutatom mérésem helyszínét, az első székesfehérvári műanyag borítású sítanpályát. Vázolom a felmérésem adatait, eredményeit és az ez alapján létrehozott 3D modellt.

2. FOTOGRAMMETRIA

A fotogrammetria egy olyan tudományág, mely fényképek mérésével foglalkozik, így a kellő információkat nem közvetlenül a terepről, hanem az elkészített képekről nyerhetjük ki. Ebből következik az is, hogy emiatt átfogóbb képet kaphatunk a terepről, valamint a mérésünk is széleskörűbb lesz. Nem véletlen, hogy maga a tudományterület elnevezése is erre utal, hiszen a fotogrammetria szó három különböző lexémából áll össze: fotos = fény, gramma = kép, metron = mérés. Ezen szakterület által egyes objektumok, tárgyak paramétereit magáról a fényképekről tudjuk meghatározni, ugyanis az elkészült képek a fotogrammetria számára információ hordozói. Folyamatát tekintve két fő lépést különíthetünk el egymástól. Első lépésben megtörténik az információszerzés, ami a fényképezést jelenti, második lépésben pedig az elkészített képeket feldolgozzuk valamilyen számítógépes szoftver segítségével. A fotogrammetriából felosztását tekintve lehet geometriai, azon belül sík- és térfotogrammetria. Másrészt feloszthatjuk a fotogrammetriát földi, légi és űr fotogrammetriára. A kiértékelő műszerek szerint beszélhetünk analóg, analitikus és digitális eljárásokról. [3] [4]

2.1 Fotogrammetria feladata

A fotogrammetria feladatát röviden nehéz megfogalmazni egyértelműen, mert rengeteg szakterület alkalmazza ezt a tudományt. Átfogóan úgy írhatnánk le, hogy feladata kielégíteni különböző szakterületek egyéni igényeit: mérési adatokat és egyéb információkat. Ilyen szakterület például a térképezés, régészet, vízgazdálkodás, építészet, geológia vagy az orvostudomány. Sok különböző szakterület közül mégis a legjelentősebbek fotogrammetriai szempontból a földmérés és a térképészet. Földmérés tekintetében ez a megoldás bizonyult az egyik leggyorsabbnak, illetve egyes esetekben leggazdaságosabbnak. A térképészetben teljes mértékben leváltotta a hagyományos földi eljárásokat, például topográfiai térképek készítésekor. Eljárása viszonylag egyszerűnek tűnhet, mert feldolgozását irodai körülmények között is elvégezhetjük gyorsan és pontosan egy számítógép segítségével, de figyelniünk kell arra, hogy szükségünk lesz

utólagos kiegészítő, terepi ellenőrzésekre a megfelelő eredmény elérése érdekében. [3] [4]

2.2 Fotogrammetria technológia lépései

A fotogrammetria technológiai lépései alatt a térképkészítés egész műveletét értjük. Ennek folyamata az alábbi lépésekből áll: [4] [5]

2.2.1 Műszaki terv

A procedúra a műszaki terv elkészítésével kezdődik, ahol tekintettel kell lenni a megrendelés igényeire. Ilyen követelmény lehet például a térkép méretaránya, a feltérképezni kívánt terület nagysága vagy akár csak a határidő. A folyamat adatgyűjtéssel kezdődik, ahol minden, a feladathoz szükséges dokumentumot, eszközt beszerzünk. A műszaki tervben szerepel maga a feladat, a megoldás módja, kiinduló helyzet, elkészítendő munkarészek, határidők és természetesen egy kalkulált ár is. [4] [6]

2.2.2 Technológiai utasítás

Ha elkészült és jóváhagyásra került a műszaki terv, következhet a technológiai utasítás elkészítése. Itt már részletesen vázoljuk a részfeladatokat, azok felelőseit és a határidőket. Ilyen részmunka lehet például a légiháromszögelés, illesztőpont mérési feladatok, helyszínelések vagy akár az ellenőrző mérések. [4] [6]

2.2.3 Repülési terv

Következő lépésben a műszaki terv és a technológiai utasítás alapján elkészíthetjük a repülési tervet. A repülés műszaki paramétereit érdemes úgy kialakítani, hogy az előírásban szereplő pontossági értékeket a lehető leggazdaságosabb úton el tudjuk érni. Műszaki paraméterek például a képméretarány, relatív és abszolút repülési magasság vagy a kameraállandó. Fontos tényező az évszak megválasztása is, ugyanis egy fás

területen könnyebb elvégezni a mérést lombtalan időszakban, mert akkor kisebb területet takarnak ki a növények. [4] [7]

2.2.4 Geodéziai előkészítés

A munka helyszíni geodéziai, jelölési munkarészeinek elvégzése a következő lépés. Ezen folyamat során elvégezzük az új pontok kitűzését, a régi és az új pontok jelölését, a meglévő alappontok felkeresését, továbbá a helyszínrajzi változások átvezetését. Az új pontok állandósítása a geodézia szabályai szerint történnek. Az alappontok jelölésére különböző jeleket használnak. [4] [6] [7]

2.2.5 Légifénykép készítés

Ez a folyamat magába foglalja a légifényképező repülést, a filmanyag vizsgálatát és nyilvántartásba vételét. Digitális fotogrammetria kiértékelés során még ide tartozik a képek szkennelése, digitális képek előállítása. Ha digitális kamerával dolgozunk, akkor természetesen ezeket a lépéseket nem kell elvégeznünk, ennek ellenére a digitális képek előfeldolgozására szükségünk lehet. [4] [6] [7]

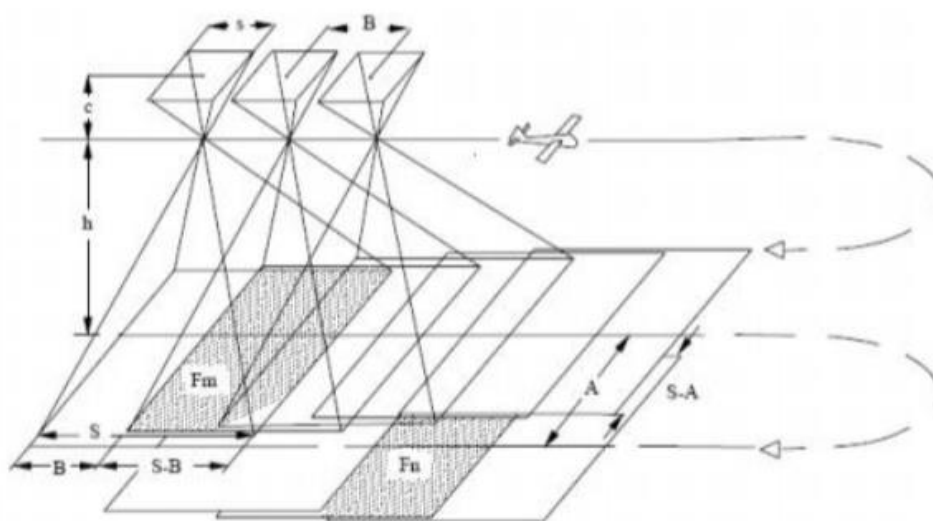
2.2.6 Egyéb lépések

A légifénykép készítés után még következik pár lépés, hogy a folyamat teljes legyen. Ezen folyamatok a következők: laboratóriumi munkák, műszaki előkészítés, illesztőpontmérés, légifényképminősítés, légiháromszögelés, fotogrammetriai térképkészítés, másolatok készítése, kiegészítő/ellenőrző mérések, befejező munkák/tisztázati rajz készítése, majd az összegzés. [4] [6] [7]

2.3 Légi fotogrammetria

Ha egy adott kiértékeléshez készült fényképek valamiféle légi járműről készültek, akkor a légi fotogrammetria témaköréről beszélünk. Ez a folyamat alapos tervezést,

előkészületet igényel, ugyanis viszonylag nagy területeket térképezünk ezzel a technológiával. A felvételek előre meghatározott százalékban fedik egymást soron belül és sorok között is. Ennek megválasztása is nagyon fontos a kívánt eredmény elérése érdekében. Légi fotogrammetria során fontos a repülésre alkalmas időjárási viszony, évszak, napszak helyes megválasztása. Légifényképezéshez több fajta légi járművet is használhatunk, például helikoptert, hőlégballont, motoros sárkányrepülőt vagy éppen egy drónt. Ha rendes repülőgéppel történik a felmérés, akkor általában egy három fős személyzet utazik a járműben, a pilóta, a navigátor és a fényképész. A navigátornak nagyon fontos szerepe van, ugyanis ő figyeli a gép haladását és ad utasítást a pilótának az irányváltoztatásra, miközben összehasonlítja a terepet az adott térképpel. A fényképész a kamera működését figyeli, mely során állandó vezérléssel biztosítja a kellő átfedések elérését, figyelembe véve például a terepi magasságkülönbségeket. [6] [7]



1. ábra A légifényképező repülés sematikus vázlata [6]

3. LÉGIHÁROMSZÖGELÉS

3.1 Légháromszögelés lényege, célja

A légháromszögelés, mint technológia nagyon fontos szerepet játszik a fotogrammetriában, mert ezen tudományhoz tartozó feladatok megoldásánál egyszerre több képpel kell dolgoznunk, amiben ez a módszer nagy segítséget nyújt. Légháromszögelés során célunk, hogy egy tömböt hozzunk létre, mely az alábbiak szerint alakul ki. A meglévő képeinket körülbelül 60%-os átfedéssel egymáshoz kapcsoljuk, így úgynevezett képsorokat kapunk. Ezeket ugyancsak összekapcsoljuk átlagosan 25 %-os átfedést használva (haránt irányú), aminek következtében megkapjuk a célunkban megfogalmazott tömböt. Kiindulópontunk az, hogy képenként sajnos nem tudjuk biztosítani a megfelelő számú illesztőpontot, viszont kellő mennyiségű van ahhoz, hogy egy teljes tömböt tájékozni tudjunk. Miután a képeket összekapcsoltuk, a megalakult tömböt egy egységként kezelve célunk megállapítani a modellek/képek külső tájékozási elemeit, emellett a folyamathoz felhasznált pontok geodéziai koordinátáit. Ennek oka, hogy ha később egyes képeket magukban szeretnénk tájékozni, meglegyenek ezen adataik. A légháromszögelés alapulhat modell koordinátákra vagy koordináták mérésére. Az ismeretlen koordináták, paraméterek megállapítása kétfajta módszerrel történhet: térbeli hasonlósági transzformáció egyenletei szerint és kollineár egyenletek alapján. [5] [6] [7]

Térbeli hasonlósági transzformáció egyenlete:

$$\begin{bmatrix} X_G \\ Y_G \\ Z_G \end{bmatrix} = m \cdot R_{\phi\Omega K} \cdot \begin{bmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_{O1} \\ Y_{O1} \\ Z_{O1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

X_G, Y_G, Z_G : P terepi pont koordinátái

m: méretarány tényező

$R_{\phi\Omega K}$: forgatási mátrix (melyet a ϕ , Ω , K forgatási szögekből képzett irány koszinuszok alkotnak)

X_{O1} , Y_{O1} , Z_{O1} : modellkoordináta-rendszer kezdőpontja, bal képhez tartozó vetítési centrum geodéziai koordinátái

X_M , Y_M , Z_M : P terepi pont modell koordinátái [7]

Kollineár egyenletek:

$$\xi = \xi_0 - c_k \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

$$\eta = \eta_0 - c_k \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$
(2)

ξ , η : a képfőpontra redukált képkoordináták

X_G , Y_G , Z_G : terepi koordináták

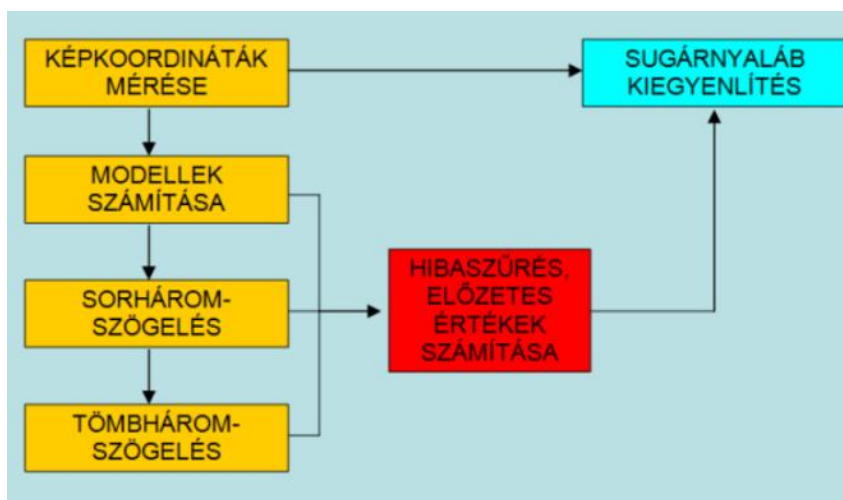
X_O , Y_O , Z_O : vetítési centrum koordinátái

r_{ij} : irány koszinusz, ahol $r_{ij} = f(\phi, \omega, \kappa)$

C_k : kameraállandó [7]

3.2 Légháromszögelés módszerei

Légháromszögelés módszereiből sok fajta létezik, de jelen esetben csak kettőt emelnék ki, melyeket a legtöbbet használjuk a gyakorlatban. Ez a két metódus a független modelleken alapuló tömbkiegyenlítés és a sugárnyaláb kiegyenlítés. A két módszer teljes mértékben egymásra épül. A sugárnyaláb kiegyenlítéshez valójában bemenetként szolgál a független modelleken alapuló tömbkiegyenlítés eredménye, és ezzel zárul gyakorlatilag a légháromszögelés. Ezen megközelítések egyik célja, hogy a folyamatot több részre bontsuk, mely által a hibás mérések egyszerűbben felismerhetők. Másrészről pedig érdemes az ismeretlenek kiegyenlített értékeinek végleges pontosításához a sugárnyaláb kiegyenlítést alkalmazni. Értelemszerűen elvégezhetjük első körben a sugárnyaláb kiegyenlítést is, annak tudatában, hogy a független modellek kiegyenlítését kihagyjuk, de ezt csak abban az esetben, ha rendelkezünk az ismeretlenek előzetes értékeivel. [7] [8]



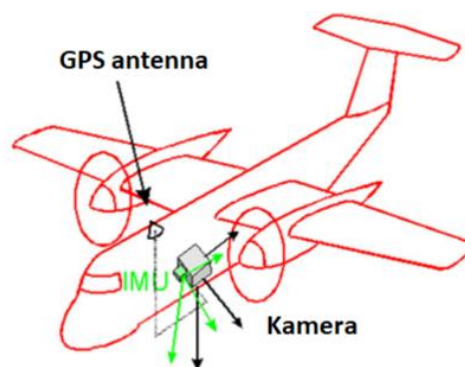
2. ábra Légiháromszögelési módszerek funkcionális kapcsolata [7]

A független modelleken alapuló tömbkiegyenlítés lényege, hogy egymástól független modelleket alkotunk relatív tájékozással az összetartozó képpárokból. Ezután az említett független modelleket átranzformáljuk geodéziai koordinátarendszerbe. Mérés során rögzítenünk kell a pontok modell koordinátáit, mert ezek alapján történhet meg a transzformáció a geodéziai- és a modell koordinátarendszer között. A feladat végrehajtása tulajdonképpen kétféleképpen is történhet, attól függően, hogy használjuk-e mind a három térbeli koordinátát (X, Y, Z), vagy csak a sík koordinátákat (X,Y). [6] [8]

A sugárnyaláb kiegyenlítés folyamatakor az összes kép külső tájékozási elemeit, a felszíni illesztőpontok kiegyenlített értékeit és a kapcsoló pontok X, Y, Z koordinátáit egy csomagban érzékeli a program. Ez az eljárás egyidejűleg biztosítja a megoldást az összes felvételre. A legkisebb négyzetek kiegyenlítését használja mindaddig, míg elenyésző nem lesz a hiba és a teljes tömbre eloszlik. UAV-val történő mérés feldolgozásakor a sugárnyaláb kiegyenlítést részesítjük előnyben, mert ez pontosabb eredményt ad számunkra. A metódus univerzális, hiszen elképzelhető, hogy nem készültek a felmért anyagok megfelelő átfedéssel, ennek ellenére ezzel a módszerrel akkor is el tudjuk végezni a kiegyenlítést a többi lehetőséggel szemben. [6] [7] [9]

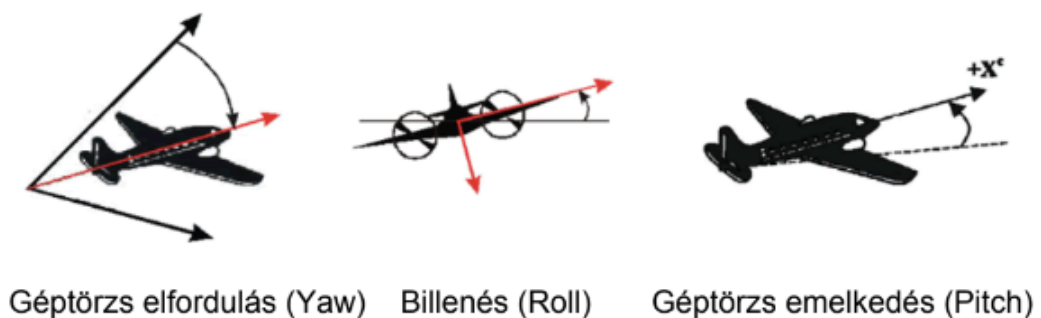
3.3 Direkt szenzor tájékozás

A külső tájékozási elemek meghatározása földi illesztőpontok felhasználása nélkül is megtörténhet a légi felmérés során, ezt nevezzük direkt szenzor tájékozásnak. Ezen elemek meghatározása INS (inerciális navigációs rendszer) és dGPS (differenciális GPS) adatok szerint zajlik. Az adatokat később, a légiháromszögelés folyamata közben pontosíthatjuk. [7] [8]



3. ábra A GPS és az IMU elrendezése a felvételezést végző repülőgépen [7]

Az inerciális navigációs rendszernek két eleme az accelerométer (háromirányú gyorsulásmérő) és az Inerciális Mérő Egység (IMU). A háromirányú gyorsulásmérőnek köszönhetően meghatározhatjuk a gép sebesség-vektorait. Az IMU segítségével definiálhatjuk a jármű/kamera helyzetét. Ezt három térbeli forgatási szöggel adjuk meg, melyek a Yaw, Roll és a Pitch. Láthatóan ezek eltérnek az eddig használt szögektől a fotogrammetriában, így megértésükhöz az alábbi ábra szolgál segítségül: [7] [8]



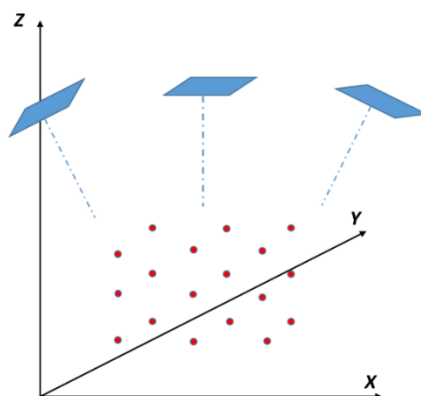
4. ábra Az IMU által mért és értelmezett elfordulási szögek [7]

4. KAMERA KALIBRÁCIÓ

Ha egy kamera belső adatait, másnéven belső tájékozási elemeit meghatározzuk, azt kamera kalibrációnak nevezzük. Mindezek segítségével megalkotjuk a kamera modelljét és hozzájárulásukkal visszaállíthatjuk a geometriailag helyes képalkotó sugárnyalábot. A belső adatok, melyekre szükségünk van, azok a kameraállandó (C_k), mely a képsík és a vetítési középpont távolsága, illetve a főpont képkoordinátái (ξ_0, η_0). Az ideális centrális vetítéstől eltérő hibákat szükséges kiszámolni, majd modellezni kell paraméteresen. Három fajta torzulás létezik: radiális, affín és a tangenciális elrajzolás. A kamera kalibráció több módszerrel hajtható végre, például illesztőpont-mező segítségével, esetleg egy tesztábrával, vagy akár a kameragyártó laborjában. [6] [7] [10]

4.1 Kamera kalibráció illesztőpont-mezővel

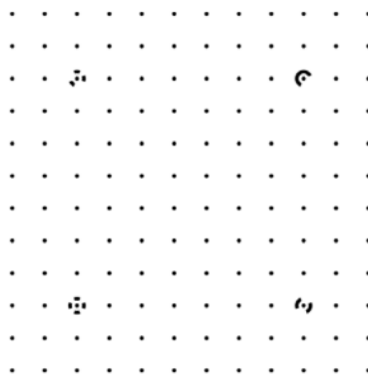
Ehhez a folyamathoz n számú, pontjelekkel ellátott illesztőponttal kell rendelkezünk. Fontos, hogy az említett terepi pontoknak ismerjük X, Y, Z terepi koordinátáit és legalább két felvételen mérni tudjuk minden illesztőpont képkoordinátáit (ξ, η). Továbbá a pontoknak egyenletesen kell elhelyezkedni, mélységkülönbségekkel köztük. Az egyenletekben meghatározandó paramétereink lesznek a kamera külső tájékozási elemei, belső tájékozási elemei, illetve a korrekciós értékek ($\Delta x, \Delta y$), melyek a kamerák kalibrációs adatai. Az ismeretlenek számát meg kell, hogy haladja a felírt egyenletek száma, így tudunk mindent kiszámolni pontosan. A korrekciós értékeket leíró paraméterek három csoportra bonthatók: radiális, tangenciális és affín elrajzolást leíró paraméterek. Az UAV-vel végzett felméréssel kapcsolatban a kamera kalibráció illesztőpont mezővel történik és ez a kiegyenlítéssel egy időben történik meg. A feldolgozó szoftverek többsége úgy működik, hogy a kamera kalibrációt a rendszer már automatikusan elvégzi, így ezzel különösebb feladata nem akad a felhasználónak. [6] [7]



5. ábra Illesztőpont-mező fotózása 3 álláspontról [7]

4.2 Kamera kalibráció tesztábrák alapján

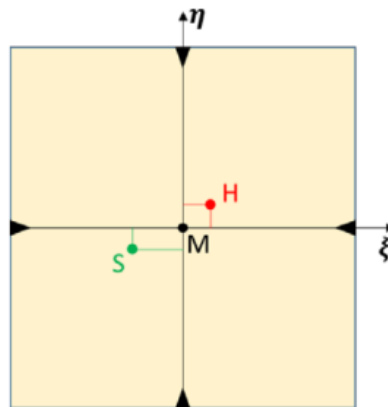
Egy adott tesztábra képes lehet arra is, hogy az illesztőpontok szerepét betöltse, emiatt a kamera kalibrációt ezzel a fotogrammetriai módszerrel is elvégezhetjük. A tesztábra egy olyan pontokból álló mező, ahol fontos, hogy a pontok ugyanolyan távolságra helyezkedjenek el egymástól. Minél nagyobb tesztmezőt használunk, annál nagyobb lesz a kalibráció pontossága. Az ábra felvételezését több nézőpontból kell elvégeznünk, mert pontjai egy síkban helyezkednek el. Továbbá fontos, hogy fényképezés közben ne mozduljon el a tesztábra, mert az elronthatja az egész folyamatunkat. A felvételek elkészítése következtében a számítógépes program automatikusan beméri a tesztábra pontjait. Ezután a program kiszámolja a belső tájékozási elemeket (C_k , ξ_0 , η_0) és a torzulást leíró paramétereket. Amatőr kamerák kalibrációja során sokszor használják ezt a folyamatot, viszont a pontosabb eredmény elérése érdekében inkább az illesztőpont-mezővel történő kalibráció javasolt. [7]



6. ábra Tesztábra kalibrációhoz a Photomodeler szoftverben [7]

4.3 Kamera kalibráció laborban

A laborban történő kalibráció módszerét mérőkamerák esetében szokták használni goniométer, kollimátor és egyéb optikai mérőeszközök segítségével. A kamera objektívén keresztülmenő fénysugarak irányának közvetlen mérésével határozzák meg a belső tájékozási elemeket. A gyakorlatban ez a módszer nem mondható elterjedtnek, ugyanis időigényessége miatt inkább más módszerekhez nyúlnak a szakemberek. Emellett a folyamathoz használandó elengedhetetlen, nehezen beszerezhető műszerek hiánya se segíti a művelet feltörekvését. [7]



7. ábra A főpont (H), a szimmetria-főpont (S) és a képközéppont (M) lehetséges helyei [7]

5. PILÓTA NÉLKÜLI FELVEVŐ RENDSZEREK

5.1 Pilóta nélküli felvevő rendszerek ismertetése

A pilóta nélküli felvevőrendszer kifejezés két angol szókapcsolatból ered, melyek az UAV (Unmanned Aerial Vehicle) és az UAS (Unmanned Aircraft System). Ennek ellenére napjainkban leginkább a drón elnevezést használják a köznyelvben. A kifejezésből eredően tudhatjuk, hogy ezeken a járműveken nem tartózkodik ember repülés közben, így az irányítása sem a fedélzeten történik, hanem vagy a földön, vagy autonóm módon, a kezelő által beállított útvonalon. A pilóta nélküli légi járműveket már az 1900-as években használták légi felderítésre az ellenséges területeken. 1916-tól az Amerikai Egyesült Államok már el is kezdte az UAV-k gyártását, ám ekkor még nagyon költségesnek és megbízhatatlannak tartották őket. A fordulópont az 1980-as években volt, ugyanis ekkor már új, hatékonyabb pilóta nélküli légi járműveket gyártottak felderítési célokra. Az ötlet, miszerint ne tartózkodjon ember a fedélzeten onnan eredt, hogy a katonai feladatok nagyon veszélyesnek bizonyultak a pilóták számára. A jármű felépítését tekintve kétféle UAV létezik: merev szárnyú és forgószárnyú. A merev szárnyú UA-k felépítése és repülési elve nagyon hasonlít a hagyományos repülőgépekre annyi különbséggel, hogy a pilóta nem tartózkodik ezeken. Ezzel szemben a forgószárnyú UA-k repülési elve jelentősen eltér a hagyományostól. Fontos szempontok a légi járművek kiválasztása során, hogy mekkora a hatótávolságuk, mekkora sebességgel képesek repülni, illetve mekkora a hasznos terhelhetőségük. A hasznos teher a feltérképezéshez használt kamerát jelenti legtöbb esetben. [11]



6. ábra DJI Mavic 3 Pro
(https://store.dji.com/hu/product/dji-mavic-3-pro?from=store_homepage&vid=137691)



7. ábra DJI Mavic 3 Pro (https://store.dji.com/hu/product/dji-mavic-3-pro?from=store_homepage&vid=137691)

5.2 Pilóta nélküli felvevő rendszerek csoportosítása

Funkciók szerinti csoportosítás:

- hadászati felderítő drónok
- harci drónok
- logisztikai drónok
- célpont és csali drónok
- kutatás-fejlesztési drónok
- civil, kereskedelmi célú drónok [7]

Hatótávolság szerinti csoportosítás:

- Kézi vezérlésű (magasság: 600 m, hatótáv: 2 km)
- Közeli típusú (magasság: 1500 m, hatótáv: 10 km)
- NATO típusú (magasság: 3000 m, hatótáv: 50 km)
- Taktikai (magasság: 5500 m, hatótáv: 160 km)
- Közepes magasságú, nagy hatótávú (magasság: 9000 m, hatótáv: >200 km)
- Nagy magasságú, nagy hatótávú (magasság: 9100 m, hatótáv: tetszőleges)
- Hiperszonikus (magasság: >15200 m, hatótáv: >200 km)
- Földkörűli
- Cislunár, másnéven Föld-Hold távolágban üzemeltethető drón [7]

Felépítésük szerinti csoportosítás:

- Merev szárnyú repülő
- Helikopterek
- Több rotoros kopterek (kvadro-, oktopopterek)
- Léggömb [7]

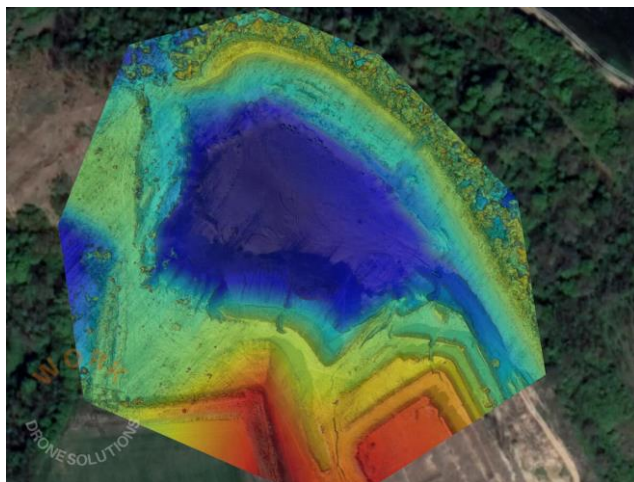
5.3 Drón kategóriák, szabályozások

Magyarországon 2021-ben jelentősen megváltoztak a pilóta nélküli felvevőrendszerekre, azaz a drónokra vonatkozó használati szabályok. Napjainkban jelentősen megnövekedett a drónfelhasználók száma, akár a mezőgazdaságban, földmérésben, vagy csak hobbi céljából. Rengeteg gyönyörű videóval, képpel találkozhatunk az interneten, melyek drónnal készültek, így nem véletlen, hogy sokaknak megjön a kedve ennek kipróbálására. Mivel a drónok a jövőben feltehetően népszerűbbek lesznek, ennek következtében a 2021-es szabályozás a biztonság növekedése érdekében megszigorította a pilóta nélküli járműveket irányító személyekre vonatkozó rendelkezéseket. Az EU rendelet szerint minden olyan légi jármű, amely pilóta nélkül üzemel és amelyet önálló vagy távirányítással végezhető üzemeltetésre terveztek, az drónnak minősül. Az, hogy mire milyen szabályok vonatkoznak, az függ a reptetett drón fajtájától, súlyától, hatótávolságától. [12]

Alapvetően három nagyobb kategóriára oszthatjuk fel a drón kategóriákat, melyek a nyílt, a speciális és az engedélyköteles. A nyílt kategória legfontosabb tulajdonsága, hogy a drón maximum 120 méterre mehet el a föld legközelebbi pontjától, emellett a távpilóta soha nem veszítheti szem elő a drónt, mindig látnia kell azt saját szemével. Ezt angolul Visual Line of Sight, azaz VLOS-nek nevezik. Továbbá a légi járművet tilos embertömeg fölé irányítani, valamint olyan helyszínek közelébe, melyek „No Drone Zone” légtérbe tartoznak. A nyílt csoporton belül osztályozási alkategóriákat különböztetünk meg, melyek az A1, A2 és az A3. A speciális kategóriában végzünk műveletet, ha az UAV súlya meghaladja a 25 kg-ot, illetve, ha olyan helyszínen végezzük a repülést, ahol a teljes idő alatt nem látjuk a drónt. Ennél a kategóriánál egyes esetekben külön engedély és bejelentés szükséges. Az engedélyköteles csoport akkor lép életbe, ha embertömeg fölött végezzük a felvételt, továbbá, ha veszélyes áru szállítása történik. Az ilyen típusú művelet elvégzése komoly előkövetelményeket igényel. [12]

5.4 UAV szerepe a földmérésben

A fotogrammetriai felmérések során a legtöbbet használt mérési szektor a területfelmérés. Ennek oka, hogy a drónokkal meglepően kevés idő alatt tudunk felmérni akár több száz hektáros területeket is. Napjainkban egyre több szakember részesíti előnyben az UAV használatát, melynek következménye, hogy a jövőben valószínűleg a drónos felmérés veszi át a vezető szerepet területfelmérési projektek terén. Az UAV használata sokkal részletesebb és pontosabb kimenetelt eredményez a korábbi hagyományos geodéziai módszerekkel szemben. Nem mellesleg sokkal gyorsabb is maga a folyamat elvégzése. A drónnal rögzített felvételekből készíthetünk ortofotómozaik térképet, 3D pontfelhőt, digitális felületmodellt (DSM), digitális terepmodellt (DTM), kontúrtérképeket, vagy akár 3D textúrált hálót is. A légi földmérést az alábbi ágazatok alkalmazzák és hasznosítják: bányászat, infrastruktúra, vasutak, autópályák/utak, mezőgazdaság. [13]



8. ábra Digitális terepmodell (DTM) [13]

5.5 Az UAV-vel végzett felmérés technológiai folyamata

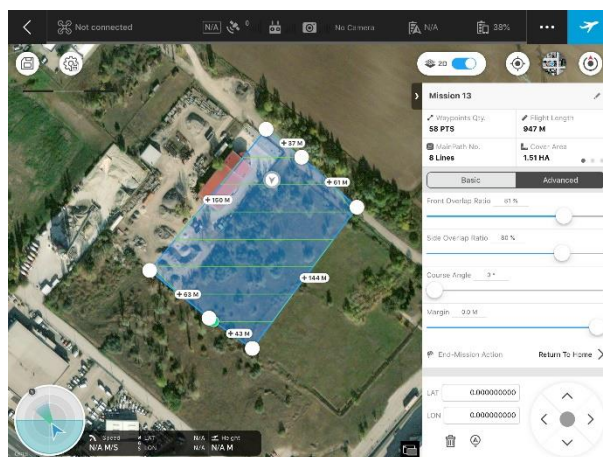
Az UAV-vel végzett felmérés technológiai folyamat 6 lépésre bontható, melyek a következők: projekt paraméterek meghatározása, repülési terv készítés, autonóm légi felmérés végrehajtása, adatok minőségellenőrzése, UAV tömbháromszögelés végrehajtása, illetve digitális felszínmodell (DFM), ortofotó, valamint 3D modell készítése. [7]

5.5.1 Projekt paraméterek meghatározása

Ebben a lépésben fontos technikai adatokat kell meghatároznunk a repülés kivitelezésével kapcsolatban. Meg kell adnunk a soron belüli átfedéseket (kb. 70-80%) és a sorok közötti átfedéseket is (kb. 50-60%), emellett meg kell határoznunk a terepi pixel méreteket. Ez azt jelenti, hogy a képen egy pixel nagysága a valóságban mekkora területet fedjen le. Továbbá megadjuk a repülés sebességét és a repülés magasságát. A repülés magasságát kétféleképpen állíthatjuk be: repülési magasság a terephez képest vagy abszolút magasság. Repülési magasság a terephez képest azt jelenti, hogy az UAV követi a domborzati viszonyokat és állandóan ugyanakkora távolságra van a drón a felszíntől. Abszolút magasság beállításakor az UAV egy előre beállított magasságban repül, így lesz olyan pillanat mikor a felszínhez közelebb, illetve távolabb helyezkedik el. [7]

5.5.2 Repülési terv készítés

Az előkészületek között nélkülözhetetlen lépés az illesztőpontok kijelölése és terepen való bemérése. Léteznek olyan számítógépes szoftverek, melyek a pontokat automatikusan felismerik a képeken. Ha esetleg ez nincs egy adott szoftverben, akkor természetesen manuálisan is be tudjuk mérni a pontokat. Mindezek mellett ebben a lépésben határozzuk meg a repülési sorokat, mely által megadhatjuk, hogy miként mérje le a területet az UAV. [7]



9. ábra Repülés terv készítése [saját készítés-DJI GO 4 program]

5.5.3 Autonóm légi felmérés végrehajtása

Harmadik lépésben végrehajtjuk a felmérést autonóm üzemmódban, melynek során a drón lényegében lerepüli a területet az előre beállított repülési terv alapján. Ekkor nincs is szükség az irányító kontroller használatára, mert az UAV mindent magától csinál. Ha táblagéppel, vagy telefonnal rá vagyunk csatlakozva az drónra, akkor azokon keresztül követni tudjuk a megtett utat, elkészült fényképek számát, illetve az akkumulátor szintjét. Igény esetén még az élőképet is nézhetjük a folyamat elvégzése során. [7]

5.5.4 Adatok minőségellenőrzése

A felvétel elkészítése utáni következő lépés a minőségellenőrzés. Ekkor megvizsgáljuk az elkészült képeket, hogy megfelelő minőségűen sikerültek-e. Előfordulhat, hogy egyes képek javításra szorulnak, ezeket a feldolgozás előtt még korrigálhatjuk. Abban az esetben, ha a felvétel annyira rosszul sikerült, hogy használhatatlan minden részlete, újra el kell készítenünk a felmérést. [7]

5.5.5 UAV tömbháromszögelés végrehajtása

Ötödik lépésben az elkészült képeken elvégezzük a teljes tömb tájékozását. A sugárnyaláb kiegyenlítéshez mondhatni bemenetként funkcionál az független modelleken alapuló tömbkiegyenlítéskor kapott eredmény, ami azért fontos, mert ezzel zárul a légiháromszögelés. Ezt a folyamatot a szerkesztéshez használatos számítógépes szoftverek automatikusan elvégzik. [7]

5.5.6 Feldolgozás, végtermékek előállítása

Az UAV-vel végzett felmérés utolsó lépésében feldolgozzuk a felvételeket. Erre léteznek természetesen különféle számítógépes szoftverek, mint például a PhotoModeler, a

Trimble UASMaster vagy az Agisoft PhotoScan. Az elkészült felvételekből készíthetünk digitális felszínmodellt (DFM), ortofotót, pontfelhő domborzatmodellt, vagy igény szerint torzulás mentes mozaikot is. [7]

6. ORTOFOTÓ

Az ortofotók lényegében nagyon hasonlítanak egy térképhez, különbség köztük, hogy az ortofotó torzulásoktól mentes ortofotóképként is használható. Pontos méréseket tudunk rajta végezni, mert egységes méretarányval rendelkezik. Az ortofotó a földfelszín ortogonális (merőleges) vetülete, melyből fotótérképet készíthetünk, ha ellátjuk olyan járulékos információkkal, mely egy térképnek is sajátja (pl. koordináta háló, lépték).. Alapvetően két csoportra bonthatjuk felhasználási terület szerint az ortofotókat: légi fotók alapján készült általános térképezési célú ortofotók és egyedi, speciális célú ortofotók. A légi ortofotók egy adott méretarányban ábrázolják a földfelszínt, melyekkel jellemzően meglévő térképeket tudunk aktualizálni. Emellett rengeteg térinformációs rendszernek háttérinformációként szolgál. Az egyedi célú ortofotónak számos felhasználási lehetősége létezik, például építészeti célú felméréskor homlokzatrajz készítése. Az ortofotóknak két típusát különböztetjük meg, a hagyományos módszerrel készült és a felületmodell alapján készült ortofotókat. A hagyományos módszerrel elkészített ortofotók előállításához használt terepmodellek nem tartalmaznak mesterséges objektumokat és növényzetet. Ennek következtében ábrázolásuk sem tökéletes, mivel ezeknél az objektumoknál a magassági torzulás továbbra is jelentkezik a felvételen. A teljes felszínmodell alapján készített ortofotóknál más a helyzet, mert ott az összes objektum torzulásmentesen van feltüntetve, ezért ezt valódi, azaz „true ortofotó” -nak is szokták nevezni. [14]



10. ábra Az ortofotón minden egyes pixel a "helyére" kerül [14]

7. FELMÉRT TERÜLET BEMUTATÁSA

Az általam felmért terület a Székesfehérváron elsőként megépült műanyag borítású sítanpálya volt. Az Országos Sítanpálya-építési Program keretein belül adták át 2022. március 21-én az említett pályát. A három alapító célja első körben a közösségépítés volt, mind a gyermekek, mind a felnőttek körében. A pálya tökéletes kisgyermekes családoknak, akik szeretnék, hogy a gyermekük ne élesben tapasztalja meg a síelés nehézségeit, hanem itt Székesfehérváron minden kellő alapot megtanuljon. A tanpálya 85 méter hosszú, 10-12 méter széles, továbbá magasságkülönbsége 7 méter. Tervek szerint folyamatosan fejleszteni fogják a pályát, hogy ne csak gyermekek tudják használni a jövőben. A tanpálya borítása nagyon hasonlít a hóhoz. Alaphelyzetben műanyag fedi apró tüskékkel, melyet szilikonnal fedtek le. Ezáltal közel úgy viselkedik a síléc rajta, mint ahogyan a havon. A terület Székesfehérváron, a Csucskai utca 2 szám alatt található, szeptembertől áprilisig használható, modern, biztonságos környezetben. [15] [16] [17]



11. ábra Székesfehérvári sítanpálya [17]

8. REPÜLÉS ELŐKÉSZÍTÉSE, REPÜLÉS VÉGREHAJTÁSA, GNSS FELMÉRÉS

8.1 Repüléshez szükséges engedélyek megszerzése

Korábban, az 5.3-as bekezdésben ismertettem nagyvonalakban a pilóta nélküli légitárművekre vonatkozó legfontosabb szabályozásokat Magyarországon. Mivel az általam felmérni kívánt terület Székesfehérváron, belterületen helyezkedik el, mindenképpen szükségünk volt néhány engedély megigénylésére, hogy mérésünk teljesen legálisan történhessen. A felméréshez szükséges eszközt munkahelyem, az Alba Geotrade Zrt. biztosította számomra, illetve a folyamat lebonyolításában is ők segítettek. Első körben megbizonyosodtunk arról, hogy az általunk használni kívánt eszköz rendelkezik érvényes felelősségbiztosítással. Mivel a cégnél évente több alkalommal működtetik a drónt különféle munkák elvégzése során, így nem volt kérdés, hogy ez a feltétel teljesült. Ezt követően igényelnünk kellett egy eseti légtér engedélyt, valamint a légiközlekedési hatóságnak be kellett jelentenünk repülési szándékunk. Az eseti légtér engedélyhez pontosan meg kell határoznunk a helyszínt, a felmérés időpontját, illetve időtartamát, valamint a földfelszín magasságát láb mértékegységben, kerekítve. Ennek igénylése egy egyszeri 3000 forintos díjjal járt, melyet utalással tudtunk rendezni. Az engedély benyújtásakor figyelembe kell vennünk, hogy az igénylés dátuma legalább 30 nappal a tervezett mérés előtt legyen. Miután ezeket sikeresen elintéztük és megkaptuk a szükséges engedélyeket, akkor már nem volt más dolgunk, mint a megadott időpontban elkészíteni a terepi felvételeket. [12]

8.2 Repülési terv

Szakdolgozatom gyakorlati részének első lépése a repülési terv elkészítése volt, ugyanis a felmérést autonóm repülési módszerrel terveztük végrehajtani. Ehhez segítségünkre volt a DJI-nak egy saját készítésű programja, a DJI GO 4 (12. ábra). Ebben a programban

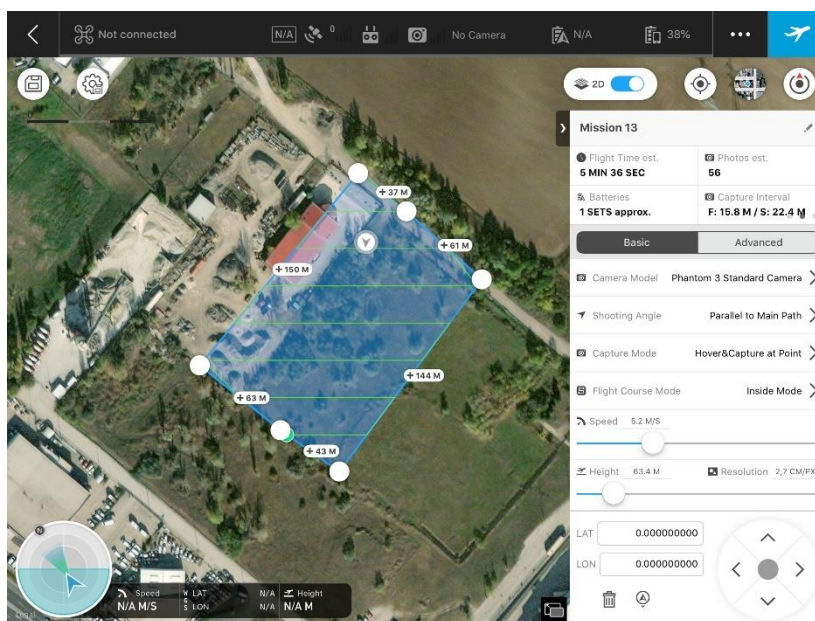
nagyon egyszerűen elő lehet készíteni a repülést, csak pár beállítást kell elvégeznünk, hogy mérésünk a terepi viszonyokhoz mérten a legpontosabb legyen.

Az alkalmazás megnyitását követően megjelenik egy műholdas térkép, melyen meg kell keresnünk a felmérni kívánt területet. Amennyiben engedélyezve van a helymeghatározás a készülékünkön, akkor a térkép automatikusan odaugrik, ahol éppen tartózkodunk. Ezután pontosan meg kell határoznunk azt a területet, melyet fel szeretnénk mérni és ezt ki is kell jelölnünk. Ha ezzel megvagyunk, áttérhetünk az általános és a speciális beállításokra, ahol a következő paramétereket állítottuk be:

- Kamera típusa (Camera Model): Phantom 4 Standard Camera
- Fotózási szög (Shooting Angle): Kijelölt területre merőleges
- Képalkotás módja (Capture mode): Felvétel pillanatában megáll
- Felmérés módja (Flight Course Mode): Kültéri felmérés
- Repülési sebesség (Speed): 5,2 m/s
- Repülési magasság (Height): 63 m
- Felbontás (Resolution): 2,7 cm/pixel
- Képfedések (Overlap Ratio): 80 %

Miután ezzel végeztünk, megtekinthetjük a repülésünkről szóló adatokat, melyek a következők:

- Repülési sorok száma: 8 sor
- Repülési táv összesen: kb. 950 m
- Felmért zóna területe: kb. 1,5 ha
- Repülés időtartama: kb. 6 perc
- Elkészített képek száma: kb. 60
- felhasznált akkumulátor: 1 db



12. ábra Repülési terv készítése [saját készítés-DJI GO 4 program]

8.3 Illesztőpontok telepítése, bemérése

A repülés végrehajtását megelőzően van egy nagyon fontos feladat, mégpedig az illesztőpontok telepítése a terepen, valamint azok geodéziai bemérése. Ez azért nagyon lényeges, mert a későbbi feldolgozáskor a programok ezek az illesztőpontok alapján állítják össze a végleges 3D modellt. Vannak szoftverek, melyek automatikusan felismerik a képeken ezeket az illesztőpontokat, úgyhogy fontos azoknak helyes megválasztása. Természetesen megoldható a folyamat saját készítésű illesztőpontok telepítésével, de a későbbiekre való tekintettel jobb, ha egy szabványt használunk. [7]

Felmérésünk megkezdése előtt 7 darab illesztőpontot telepítettem a terület különböző részein egyenletesen elszórva. Hagyományos, kb. 30 cm x 30 cm-es nagyságút használtunk annak érdekében, hogy a számítógépes feldolgozáskor a szoftver magától felismerje ezeket a pontokat (13. ábra).



13. ábra Általunk használt illesztőpont jelölő [saját készítés]

Miután végeztem az illesztőpontok elhelyezésével, el is kezdtem sorban bemérni őket geodéziai módszerrel. Ehhez a folyamathoz a CHCNAV (CHC Navigation) által gyártott i73+ GNSS vevőt vettem igénybe. A CHCNAV egy 2003-ban létrejött cég, mely innovatív helymeghatározó készülékek gyártásával és forgalmazásával foglalkozik. A vállalat termékeit rengeteg iparág tudja hasznosítani, például a mezőgazdaság, építőipar vagy éppen a földmérés. Ma már közel 120 országban forgalmazzák termékeiket, ezáltal az egyik leggyorsabban fejlődő és legismertebb vállalattá váltak. [18]

Az i73+ készülék egy sokoldalú, kompakt GNSS vevő, mely használható roverként, vagy akár bázisállomásként. A 624 csatornával rendelkező műszer képes hozni a kb. 3 cm-es pontosságot még akkor is, ha fák, illetve magas épületek közelében mérünk vele. Ez saját felmérésem elvégzésekor is így történt, a GPS hozni tudta a 2-3 cm-es maximális pontosságot. Egy pont bemérése 3 másodpercet vesz igénybe, tehát sokkal gyorsabb, mint egy mérőállomás. Nagy fejlesztés ennél a típusnál, hogy rendelkezik beépített dőléskompenzátorral, így a mérés során arra sem kell figyelnünk, hogy vízszintben tartsuk az eszközt. A készülék súlya mindössze 0,73 kg akkumulátorral együtt, mely kiemelkedő a hagyományos GNSS vevők körében. A beépített akkumulátor hozzávetőleg kétszer akkora üzemidővel rendelkezik, mint a cserélhető akkumulátoros elődjei. Természetesen napjainkban már léteznek ennél modernebb készülékek is, de rengeteg cég még ezt a típust használja kiváló ár-érték aránya végett. [19] [20]



14. ábra CHCNAV i73+ GNSS vevő [19]

8.4 Repülés végrehajtása

A repülési terv elkészítése, az illesztőpontok telepítése, majd azok bemérésének végeztével kezdődhetett maga a terület felmérése a drónnal. A korábban említett DJI Pro 4 alkalmazásban a paraméterek meghatározását követően összepárosítottuk az UAV-t az applikációval, majd kezdődhetett is a repülés (12. ábra). Az indítást követően a drón automatikusan felszállt az előre beállított repülési magasságra, majd el is kezdte a felmérést. Lentről mi az alkalmazáson keresztül követni tudtuk, hogy éppen hol jár a légi járművünk, illetve mikor készíti a fényképeket. A repülés mindennel együtt kb. 10 percet vett igénybe, így sikerült egy felszállással, egy akkumulátorral teljesíteni a felmérést, minden további anomália nélkül.

Az általunk használt eszköz egy DJI Phantom 4 Pro volt, melynek a legfontosabb műszaki és technikai adatai az alábbiak:

- Súlya (akkumulátorral és propellerekkel együtt): 1388 g
- Mérete (Átló, propellerek nélkül): 350 mm
- Maximum sebessége: 72 km/h (sport módban)
- Maximum repülési magassága: 6000 m
- Maximális repülési idő: 30 perc

- Maximális átviteli távolság: 7 km
- GNSS: GPS + GLONASS
- Kamera szenzor: 1" CMOS, 20M pixel
- Objektív látószöge: 84°
- Kamera fókusz távolsága: 24 mm
- Maximális fénykép felbontás: 5472x3648 pixel
- Stabilizáció: 3 tengelyes gimbal
- Flight Autonomy biztonsági rendszer
- Infravörös érzékelőnek köszönhetően érzékeli a tárgyakat, akár 7 méteres távolságig. [21]



15. ábra DJI Phantom 4 Pro [saját készítés-DJI Pro 4 program]

8.5 GNSS felmérés ellenőrzés céljából

A terepi munkarészek utolsó lépése az ellenőrzőpontok mérése volt. Ehhez 160 pontot mértem a területen egyenletesen elosztva, ugyancsak a CHCNAV i73+ GNSS vevővel (14. ábra). Erre azért volt szükség, mert a későbbiekben elkészített 3D pontfelhőt összevetettem ezekkel a pontokkal egy erre alkalmas szoftverben, amely megmutatta, hogy hol mekkora eltérések vannak a két mérés között. Ezt a későbbi „pontosságvizsgálat” nevezetű fejezetben bővebben ismertetem.

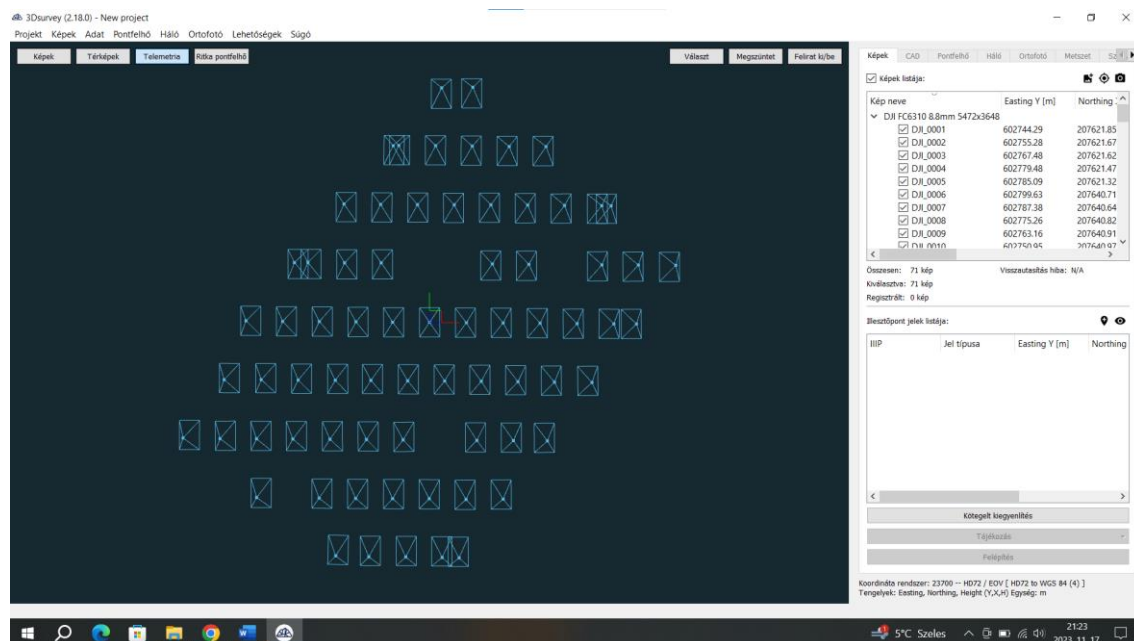
9. FELVÉTELEK FELDOLGOZÁSA 3D SURVEY SZOFTVERREL

9.1 3D Survey szoftver bemutatása

A 3D Survey egy nagyon elterjedt számítógépes szoftver, melynek sikere abban rejlik, hogy a tervezők és fejlesztők maguk is a program felhasználói, ezáltal valós tapasztalatok alapján készül minden funkció. Továbbá a felhasználóbarát felülete és egyszerű kezelhetősége is nagyban hozzájárul népszerűségéhez. Ha valaki először használja a programot, akkor sem kell videók tömkelegét megnéznie, hiszen enélkül is könnyedén elsajátítható minden egyes funkciója. Ezzel szemben található számtalan oktató videó az interneten, melyben különféle munkafolyamatokat készítenek el lépésről-lépésre, mindezt magyarázattal. A szoftver alapjáraton csak próbaverzióban ingyenes, de munkahelyem, az Alba Geotrade Zrt. korábban megvásárolta az alkalmazás teljes verzióját, így méréseim feldolgozását a 3D Survey-ben el tudtam készíteni. [22]

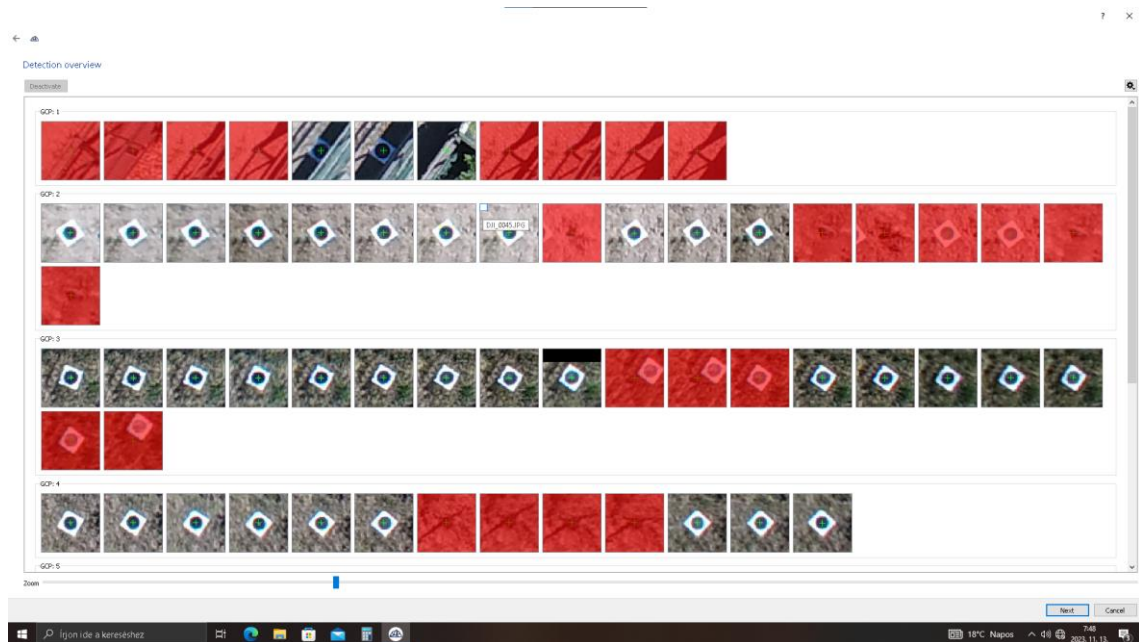
9.2 Szerkesztés folyamatának bemutatása

A program megnyitását, majd új projekt létrehozását követően első feladatunk az UAV által elkészített légi fényképek importálása volt. Ezzel egy időben kiválasztottuk az általunk használt drón típusát (15. ábra), illetve a folyamathoz alkalmazni kívánt koordináta rendszer fajtáját, esetünkben az EOVT. Ezt követően meg is nyílt a fő szerkesztési felület, ahol sok kis piramis szerű alakzatot láthattunk, melyek a légi fényképek elkészítésének pontos helyét és számát jelölték. Itt sajnos egyből észrevettük, hogy volt pár néhány rész, ahol a drónnak készítenie kellett volna felvételt, de ezt nem tette meg. Sok esetben ez a repülés megismétlését eredményezte volna, de a szomszédos képek összessége elegendő volt ahhoz, hogy lefedjék az egész területet és minden látható legyen (16. ábra). Következő lépésben a program elvégzi a sugárnyaláb kiegyenlítést, illetve betölthetjük a GNSS vevővel felmért illesztőpontok koordinátáit tartalmazó fájlt, megadva azoknak koordináta rendszer típusát, ami szintén az EOVT volt.



16. ábra Légi felvételek eloszlása a terepen [saját készítés-3D Survey szoftver]

Ennek végeztével kezdődhetett az általunk használt illesztőpontok (13. ábra) kézi megirányzása a fényképeken. Természetesen mi pontosan tudtuk hova helyeztük el ezeket a terepen, így könnyedén meg is találtuk őket a felvételeken. 7 illesztőpontunkból 3-at kellett manuálisan megkeresnünk, a maradék 4-et automatikusan felismerte a program, így azokkal nem volt különösebb tennivalónk ebben a lépésben. Tovább haladva megfigyelhetjük, hogy a program milyen pontosan tudta beazonosítani az illesztőpontok közepét. Ahol a sima, színes képet látjuk, ott nagy valószínűséggel tökéletesen megtalálta a középpontot a szoftver, ahol viszont piros, ott nem sikerült beazonosítania. Ezt könnyedén orvosolhatjuk úgy, hogy belekattintunk a képbe és manuálisan megkeressük a meg nem talált illesztőpontokat és annak középpontjára irányítjuk a célkeresztet. Lesznek olyan felvételek, melyeken nem látszanak megfelelően a pontok, így azokat pirosan hagyhatjuk, hogy a program ne vegye figyelembe a továbbiakban (17. ábra). Ha megbizonyosodtunk arról, hogy minden illesztőpontot a lehető legpontosabban megirányoztunk, illetve a nem megfelelőket kikapcsoltuk, akkor tovább is léphetünk, ahol a 7 pont maradék hibáit találhatjuk X, Y, illetve Z tengelyre vetítve. A kapott adatokat az 1. táblázatban szemléltetem.

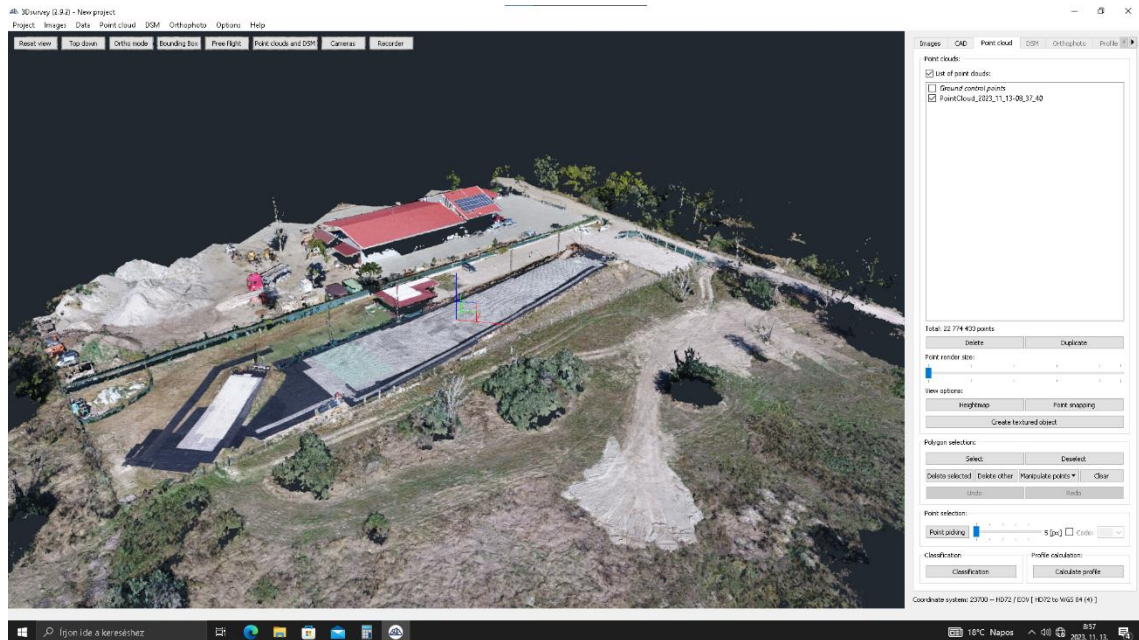


17. ábra Illesztőpontok észlelésének áttekintése [saját készítés-3D Survey szoftver]

Pontszám	Koordináták			Hibák [m]			
	X	Y	Z	mX	mY	mZ	mXYZ
1	602795.154	207764.186	130.063	-0.008	0.003	0.036	0.037
2	602829.098	207715.629	128.923	-0.007	-0.000	0.001	0.007
3	602750.837	207632.338	127.355	0.001	-0.014	-0.007	0.016
4	602735.997	207619.728	126.949	0.003	0.021	0.019	0.029
5	602693.804	207651.575	127.043	-0.012	0.003	0.002	0.012
6	602792.778	207739.685	129.614	0.011	0.005	-0.011	0.017
7	602794.816	207728.083	134.081	-0.001	-0.004	0.005	0.006

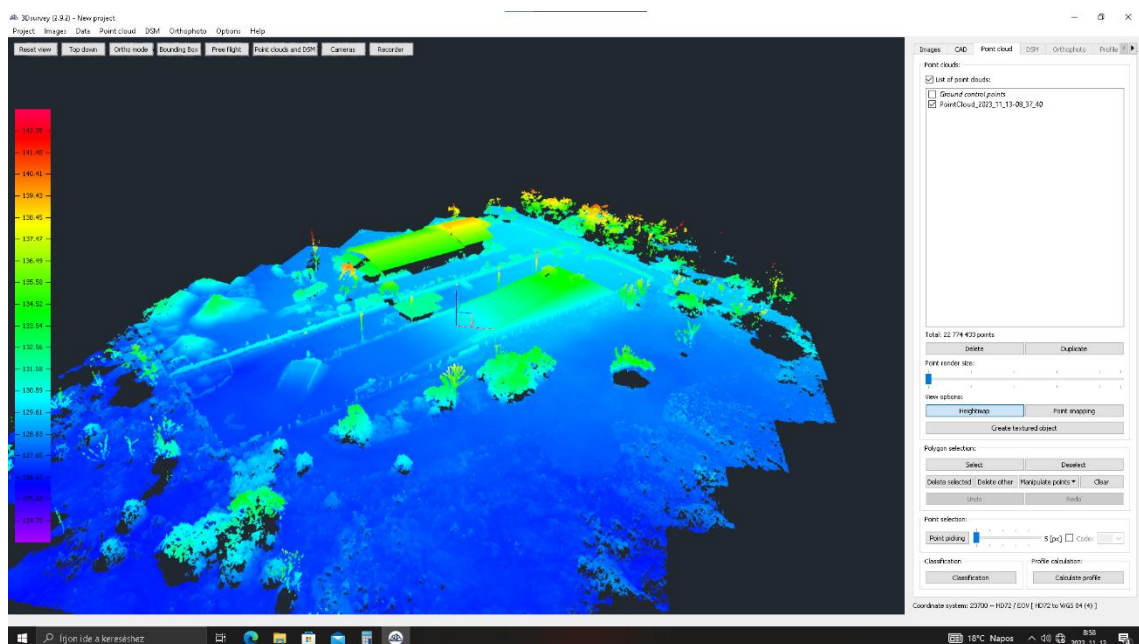
1. táblázat Illesztőpont koordináták hibái

Az előző lépések összességével már minden rendelkezésünkre állt ahhoz, hogy elkészülhessen a 3D modellünk. Miután kiválasztottuk, hogy magas minőségben szeretnénk a modellt létrehozni, már csak várnunk kellett, hogy a szoftver ezt legenerálja magától. Ez a folyamat kicsivel több mint egy órát vett igénybe, persze ez nagyban függ a számítógépben található processzor, illetve videokártya típusától. Ha kivártuk ezt az időtartamot, akkor már elének is tárult a kész, több mint 20 millió pontból álló 3D pontfelhő, melyet tetszés szerint tudtunk forgatni, így tökéletesen láthattuk kirajzolódni a domborzati viszonyait felmért területünknek (18. ábra).



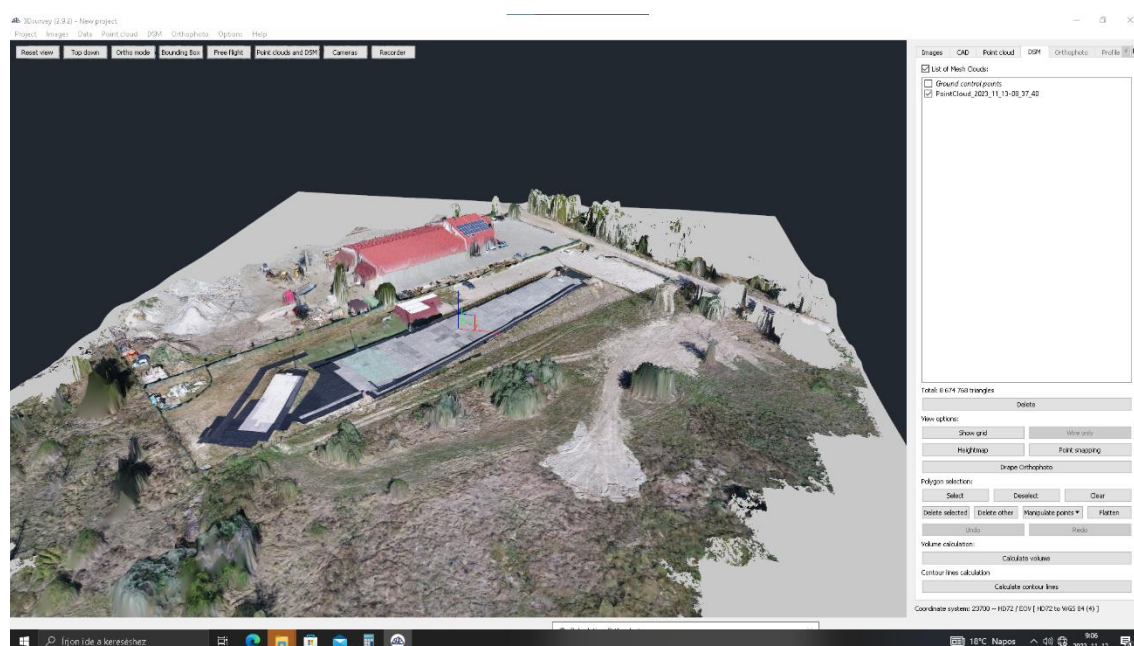
18. ábra 3D pontfelhő a felmért területről [saját készítés-3D Survey szoftver]

Az elkészült pontfelhőből egy kattintással domborzatmodellt is tudunk készíteni, melynek segítségével a terepi magasságokat is szemléltethettük. Tökéletesen látszik a színátmenetes magasságcsökkenés a sípálya felszínén, illetve a szomszédos területeken a fák, épületek magassága (19. ábra).



19. ábra Domborzatmodell a felmért területről [saját készítés-3D Survey szoftver]

A 3D pontfelhő segítségével lehetőségünk van digitális felszínmodell létrehozására is (DFM), melyet a programban az angol nyelv miatt DSM-ként találjuk, melynek jelentése Digital Surface Model. A digitális felszínmodell egy adott terület domborzatát szemlélteti fákkal, épületekkel és minden más objektummal együttesen. 3D megjelenítésének köszönhetően még valóságában megtekinthetjük a területet, mintha csak a pontfelhőt néznénk, mert ezek sokkal több részletet képesek szemléltetni, mint a hagyományos topográfiai térképek. Ha belezökölünk a modellbe, akkor már nem csak pontokat látunk, mint a pontfelhőnél, hanem egy egybefüggő, valóságos modellt. [23] (20. ábra)



20. ábra Digitális felszínmodell a felmért területről [saját készítés-3D Survey szoftver]

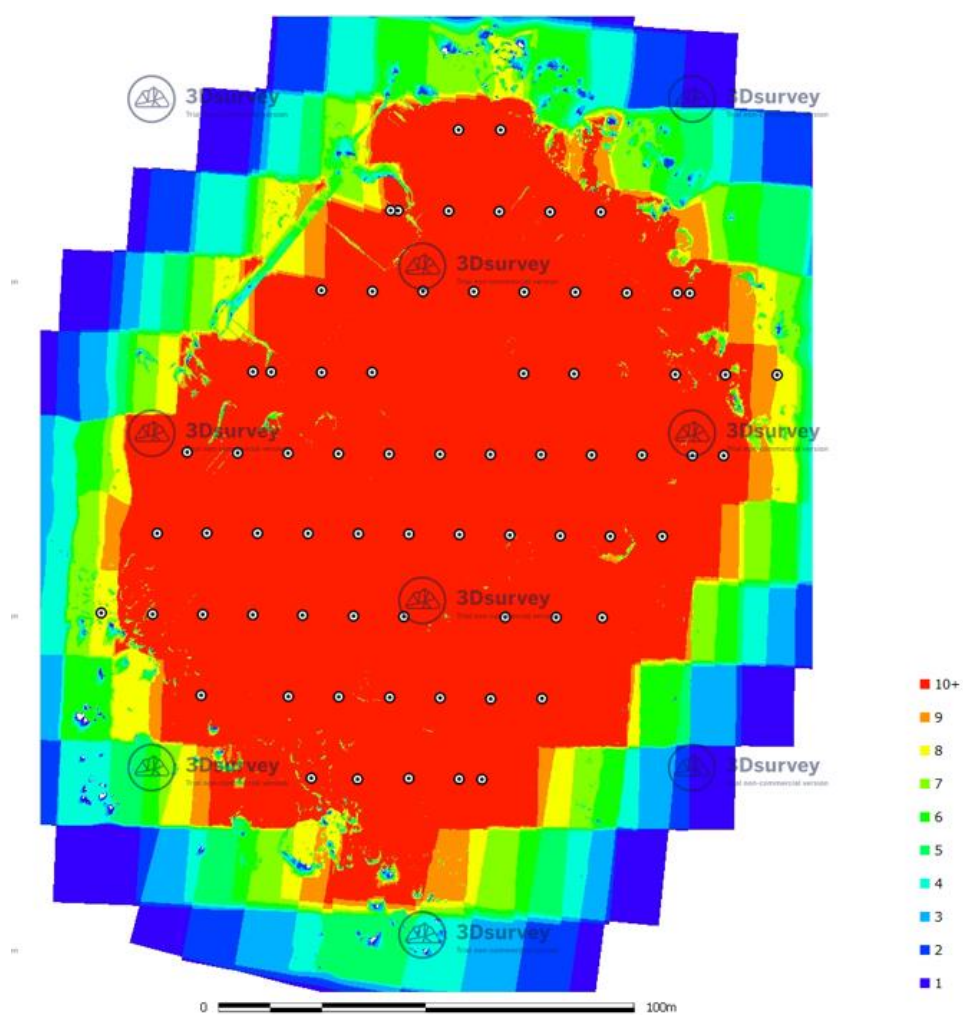
A digitális felszínmodell létrehozását követően már csak egy utolsó folyamat maradt hátra a 3D Survey szoftverben, az ortofotó előállítás. A program megkérdezte, hogy mekkora pixelmérettel szeretnénk az ortofotót legenerálni, ahol mi 1 cm-t adtunk meg. Ezt követően pillanatok alatt el is készült a felmért területünket lefedő ortofotó, melynek mérete 18520 x 11710 pixel (21. ábra).



21. ábra Elkészült ortofotó a felmért területről [saját készítés-3D Survey szoftver]

Az általam használt szoftverben le lehet kérni egy jegyzőkönyvet a teljes folyamatról. Ebben különféle érdekességekkel találkozhatunk, mint például a felmérés adatai, kamera pozíciók, illesztőpontok koordinátái és hibái, vagy a feldolgozás paraméterei. A jelentés alapján kiderül, hogy összesen 72 légi fénykép készült a területről, melyből a program 71-et fel is használt. Az átlagos repülési magasság 64,6 m, míg a kapcsolópontok száma átlagosan 1330 db volt képenként. A terepi felbontás 1.84 cm lett. A jegyzőkönyvben találhatóunk egy képet is, mely azt szemlélteti, hogy mekkora volt a fényképek közötti átfedések száma (22. ábra).

Végezetül kiexportáltuk a pontfelhőt különböző formátumokban, mint például .ply, .las, hogy a továbbiakban ezeket felhasználhassuk a pontosság vizsgálatához.



22. ábra Légi fényképek közötti átfedések [saját készítés-3D Survey szoftver jegyzőkönyve]

10. PONTOSSÁGVIZSGÁLAT CLOUDCOMPARE SZOFTVERREL

10.1 CloudCompare szoftver bemutatása

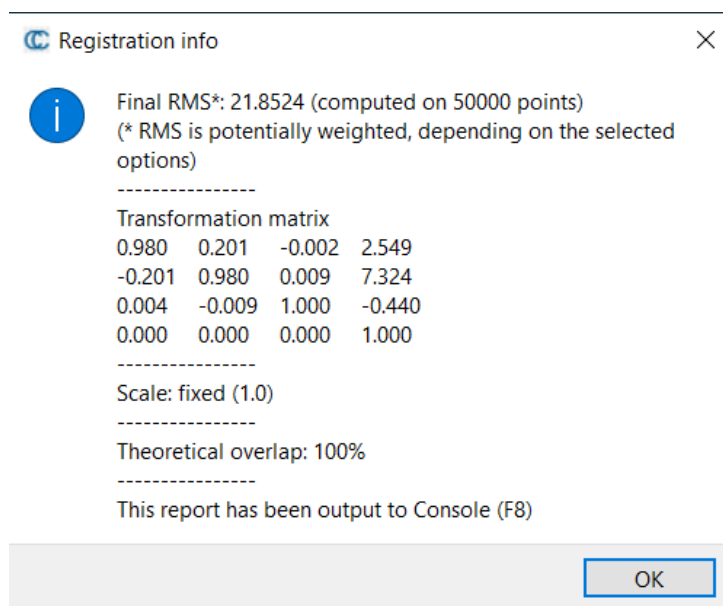
Korábban, a 8.5. fejezetben már említést tettem arról, hogy a drónos felmérés végeztével ellenőrző pontokat is mértem a felmért helyszínen GNSS vevővel. Erre azért volt szükség, mert szerettünk volna készíteni egy pontosságvizsgálatot, melyben összevetem az UAV-val készített pontfelhőt a GNSS vevővel felmért pontokkal. Ezt a vizsgálatot a CloudCompare nevezetű programban végeztem. A CloudCompare egy ingyenes számítógépes szoftver, mely 3D pontfelhők feldolgozásával foglalkozik. Kezdetekben még csak arra használták, hogy két pontfelhőt, vagy egy hálót és pontfelhőt összehasonlítsanak. Ma már a program rengeteg új funkcióval kibővült, melyek közül többet én magam is használtam. Ilyen például a szegmentálás, maszkolás, statisztikai számítások vagy akár a szenzorkezelés. A CloudCompare összességében egy nagyon letisztult, egyszerűen kezelhető szoftver, melynek köszönhetően mindenki könnyen el tudja sajátítani használatát. [24]

10.2 Pontosságvizsgálat folyamatának bemutatása

Az alkalmazás megnyitását követően egyből elének tárul a szerkesztési felület egy üres lappal, melyen később meg fog jelenni a szerkesztési kívánt pontfelhőnk annak betöltését követően. Mindenekelőtt ezt meg is tesszük a kis mappa ikonra kattintva, ahol először kikerestük a 3D pontfelhőből korábban kimentett .LAS fált, majd a GNSS vevővel mért ellenőrző pontokat .TXT formátumban. Ekkor még megjelenik egy kis ablak, ahol először az „Apply all” gombra kattintottam, majd a „Yes to all” lehetőségre. Miután mindkét fájl tartalma megjelenik a szerkesztési felületen kezdődhet a pontosságvizsgálat tényleges folyamata.

Első lépésben a programnak el kell végeznie egy integrálást a két pontfelhő között, melyhez a „Fine Registration” nevezetű funkciót hívtuk segítségül. Ennek eléréséhez a felület bal oldalán található „DB Tree” felirat alatt lévő mindkét pontfelhőt ki kellett

jelölnünk, majd az említett funkció ikonjára kattintani. Ekkor megjelenik szintén egy ablak, ahol azt tudjuk beállítani, hogy melyik pontfelhőt vegye referenciának a szoftver. Mi a GNSS vevővel mért pontokat vettük referenciának, így a program egyből be is állította, hogy az UAV-val történt felmérésből készített 3D pontfelhő lesz az, ami igazodni fog a többi pontokhoz. Még ugyanezen az ablakon a „Parameters” fül alatt ki tudtuk választani, hogy az iterációk számát, vagy az RMS különbségét szeretnénk beállítani. Mi az utóbbit állítottuk be $1.0E-05$ -re, illetve a végső átfedést (Final overlap) 100 százalékra. Az RMS-nél megadott szám azt jelenti, hogy a program ameddig el nem éri a beállított értéket, addig nem fogja abbahagyni a pontfelhők egymásra illesztését. Az „OK” gombra klikkelve egy transzformációs mátrix tárul elénk, ahonnan le tudjuk olvasni a végső RMS értéket, ami nekünk meglepő módon 22 méterre jött ki (23. ábra).



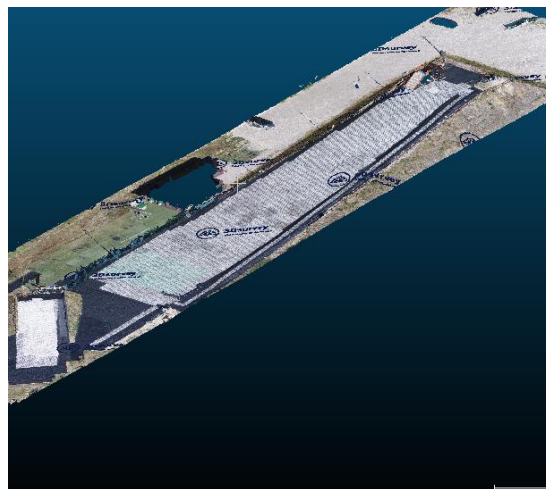
23. ábra Hibás iterálás eredménye a két pontfelhőn [saját készítés-CloudCompare szoftver]

Ekkor már sejtettük, hogy valami probléma akadt a pontosságvizsgálat folyamata során. Első körben arra gyanakodtunk, hogy a terület nagyságával lehet a gond, ugyanis a drónos mérés alapján készült pontfelhőben látszanak a szomszédos területek, épületek, fák, szemben a GPS-sel végzett méréssel, ahol csak a sítanpálya kerítéssel határolt területének belső részén készült felmérés. Rögtön meg is nyitottam a 3D Survey szoftvert, ahol egy egyszerű körülvágás funkcióval lehatároltam a sítanpálya területét a kerítés mentén és az azon kívül eső területet kitöröltem. Az elkészült új, kisebb területű pontfelhőt

kimentettem és megpróbáltam újra elvégezni a pontosságvizsgálatot. Habár az eredmények jelentősen javultak még mindig nem lehettünk velük megelégedve, mert az RMS értéke továbbra is nagynak bizonyult. Közben rájöttünk arra, hogy az UAV-val történő felmérésből készült pontfelhőn láthatóak a villanyoszlopok, kerítések, épület teteje, ellenben a GPS-szel mért pontfelhővel, ahol csak a talajon, illetve a sítanpálya felületén történt felmérés. Ez azt eredményezi, hogy ezeknél az objektumoknál jelentősen nagyobb a tengerszint feletti magasság, mint a talaj szintjén. Ennek kiküszöbölése érdekében a CloudCompare-ben megtalálható „Segmentation” funkciót vettük igénybe. Itt egyszerűen csak körül kell határolnunk azokat a területeket, melyeket nem szeretnénk megjeleníteni, majd a „Segment out” ikonra kattintva törölhetjük ezeket. Ezzel megpróbáltunk minden villanyoszlopot, kerítést, épületet kivágni, melyek bezavartak volna a pontosságvizsgálatba (24. ábra, 25. ábra). Emellett interpoláltunk a GPS-szel mért pontok alapján egy 1 méteres sűrűségű rácshálót Surfer programban, így ettől kezdve ezt vettük referenciának.



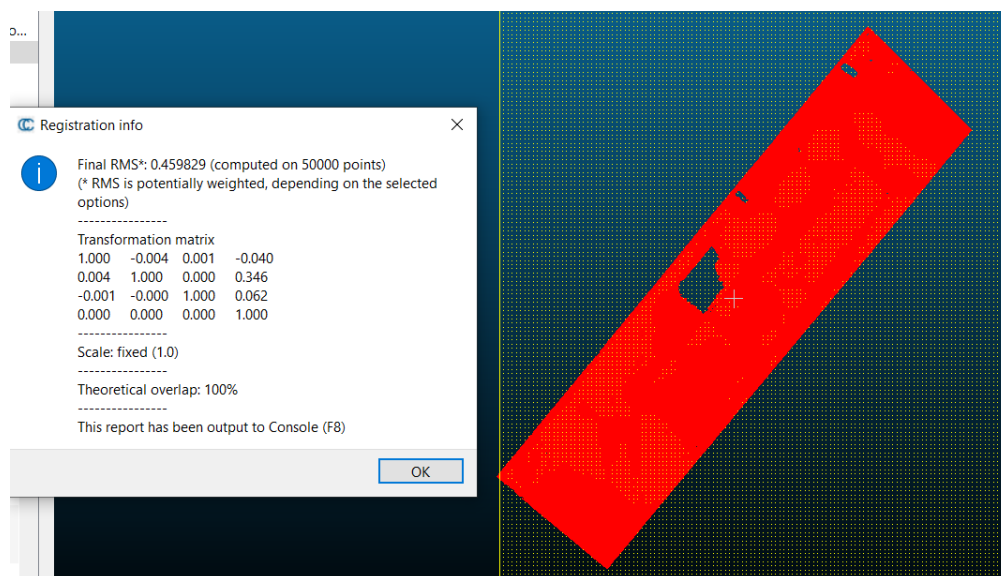
24. ábra Pontfelhő körül vágás és szegmentálás előtt
[saját készítés-Cloud Compare szoftver]



25. ábra Pontfelhő körül vágás és szegmentálás után
[saját készítés-Cloud Compare szoftver]

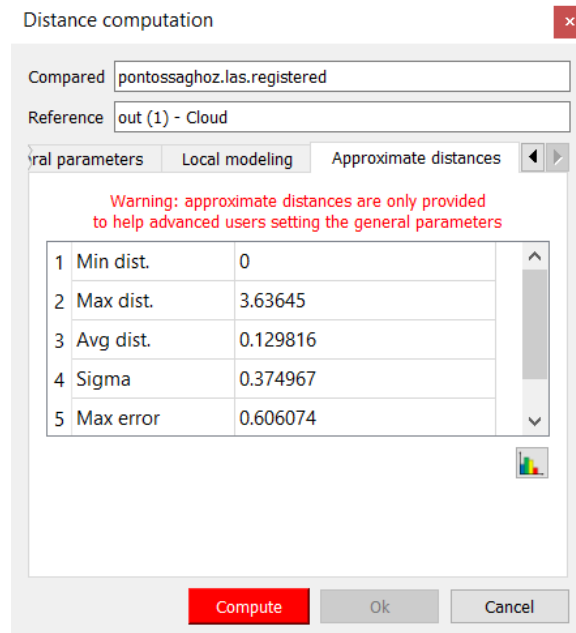
Mindezek végeztével a pontosságvizsgálat már egy sokkal hitelesebb eredményt mutatott, hiszen a végső RMS értéke a kezdeti 22 méterről 46 centiméterre csökkent (26. ábra). Ez sem egy tökéletes eredmény, de sajnos nem tudtuk teljesen kivágni a felesleges objektumokat a pontfelhőből, így mindig marad benne valami, ami megdobja ezt a

számot. Ennek ellenére ez már egy abszolút elfogadható eredmény, mellyel tovább tudunk haladni.

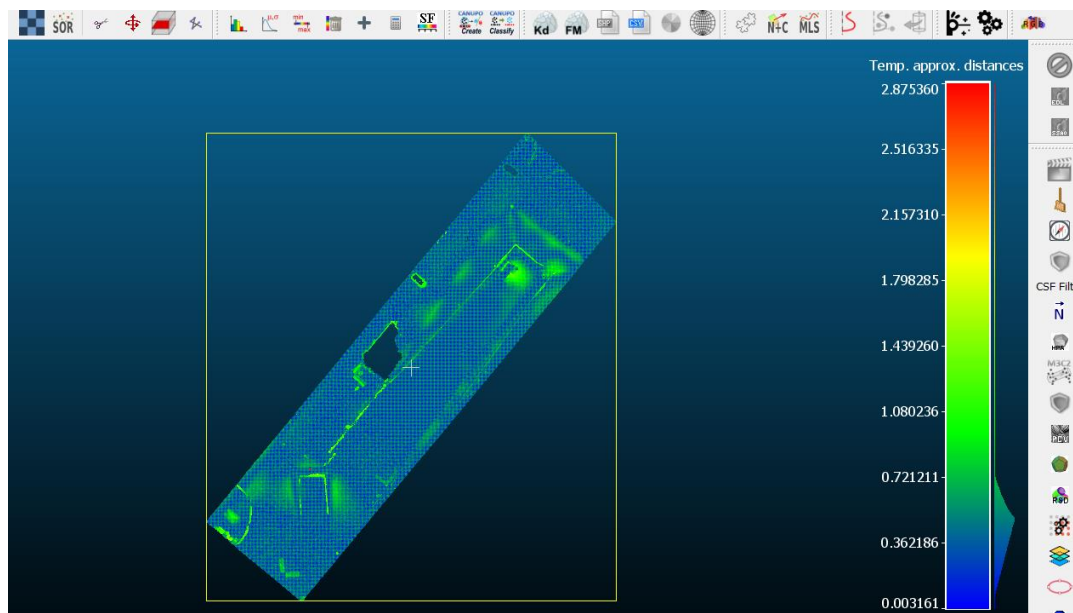


26. ábra Iterálás eredménye a két pontfelhőn [saját készítés-CloudCompare szoftver]

Miután sikeresen elvégeztük ezt a folyamatot, következhetett a két pontfelhő közötti különbségek kielemezése. Ennek kivitelezéséhez szintén kijelöltük a két pontfelhőt a „DB Tree” felirat alatti részen és rákattintottunk a „Compute Cloud/Cloud distance” ikonra. Hasonlóan az előző folyamathoz itt is első körben meg kellett adnunk, hogy mely pontfelhő legyen a referencia, ahol ugyancsak a GNSS vevővel mért pontokat tartalmazó .TXT-t választottuk. Az „Ok” gombra kattintva meg is történik a távolság számítása, melyet a kis ablakban láthatunk. Az „Approximate distances” fül tartalmazza a legkisebb, legnagyobb, illetve átlagos eltérést a pontfelhők között, továbbá a Sigma és a Max Error értékeket. Pontosságvizsgálatunk eredményében a legkisebb távolság 0 cm, legnagyobb távolság 3,6 méter, átlagos távolság 13 cm, Sigma érték 37 cm, míg a Max Error 61 cm lett (27. ábra). Végezetül annyi dolgunk maradt, hogy rákattintottunk a „Compute” gombra, mellyel a program elkészítette vizuálisan is a különbségek szemléltetését. A végső rajzon kék színnel láthatjuk azokat a területeket, ahol csak kis mértékű volt a távolság a két pontfelhő között, zöld színnel, ahol már kicsit nagyobb, sárgával a közepes nagyságúakat, végezetül pirossal a legnagyobb eltéréseket. A kép mellett megjeleníthető egy RGB színskála is, melyen ezeket a távolságokat tudjuk szemléltetni (28. ábra).



27. ábra Pontosságvizsgálat eredménye I. [saját készítés-CloudCompare szoftver]



28. ábra Pontosságvizsgálat eredménye II. [saját készítés-CloudCompare szoftver]

Összegezve a pontosságvizsgálatot azt gondolom, hogy sikerült a lehető legjobb eredményt kihozni a kezdeti nehézségek ellenére. A 28. ábra is tökéletesen szemlélteti, hogy maga a pálya felületére jól illeszkednek a GPS pontok, a kisebb anomáliákat azok az objektumok jelentik, melyeket nem sikerült tökéletesen szegmentálni a területről. Ilyen például az kerítés, melyet GPS-szel csak a talaj szintjén tudtam megmérni, de a drónos mérés általi pontfelhőben a teteje is látszik, mely jelentősen magasabban helyezkedik el.

11. MŰSZAKI LEÍRÁS

Ebben a fejezetben szakdolgozatom gyakorlati részét szeretném röviden összefoglalni, melynek szakaszai a következők voltak: Székesfehérváron található sítanpálya (7. fejezet) felmérése UAV technológiával, ellenőrző pontok mérése a pálya felszínén és annak környezetében GNSS vevő segítségével, 3D modell megszerkesztése, valamint pontosságvizsgálat a drónnal és a GPS-szel mért pontokat összevetve.

Gyakorlati felmérésem elsősorban nem a terepen kezdődött, ugyanis mindent elő kellett készítenünk, amire szükségünk volt a felmérésekhez. Először egyeztettünk a terület tulajdonosával, hiszen a mérés idejére igényelnünk kellett egy eseti légtérhasználati engedélyt (8.1. fejezet). Miután elintéztük, hogy a felmérés legális körülmények között történhessen, kezdődhetett a folyamat tényleges előkészítése. Minden általunk használni kívánt eszközt átvizsgáltunk, melyeket munkahelyem, az AlbaGeotrade Zrt. biztosított számomra. Légi felmérésem legfontosabb lépése, a repülési terv készítése még az irodában megtörtént. A DJI GO 4 (12. ábra) alkalmazásban kijelöltük pontosan azt a területet, melyet fel szerettünk volna mérni, majd megadtunk minden paramétert, melyeket fontosnak találtunk. Ilyen volt például a repülési magasság, sorok közötti képátfedések, vagy éppen a képalkotás módja (8.2 fejezet). A helyszínre való érkezést követően 7 darab 30 cm x 30 cm méretű illesztőpontokat (13. ábra) telepítettem a sítanpálya területén egyenletesen elszórva. Elhelyezésük után rögtön bemértem őket GNSS vevővel, mely típusát tekintve egy CHCNAV i73+ (14. ábra) készülék volt. Ennek végeztével következhetett a terület légi felmérése egy DJI Phantom 4 Pro drónnal (8.4. fejezet, 15. ábra), melyet kollégám hajtott végre megfelelő drónpilóta engedélyem hiányában. A repülés autonóm módon történt, így az irányító tablet és a drón összekapcsolódását követően csak meg kellett nyomni az alkalmazásban egy repülőt ábrázoló ikont és az UAV el is kezdte magától a terület felvételezését. A kb. 1,5 hektáros helyszín feltérképezése alig 10 perc alatt megtörtént, a drón közel 1 kilométert tett meg, mindezt egy akkumulátor segítségével. Az elkészített képek száma 72 db lett, 8 sorban elhelyezkedve. Ezután már csak egy feladat maradt a helyszínen, mégpedig az ellenőrző pontok bemérése ismételt GNSS vevővel. A pálya közvetlen felszínén, illetve

a kerítéssel határolt területen belül 160 pontot sikerült mérnem, melyeknek nagy szerepe volt a későbbi pontosságvizsgálat során.

Az adatok feldolgozásának folyamata a 3D modell megszerkesztésével kezdődött. Ehhez a 3D Survey nevezetű számítógépes szoftvert használtam, mely egy fizetős program, viszont munkahelyem ezt is rendelkezésemre bocsátotta a modell elkészítésének idejére. A továbbiakban ennek folyamatát fogom bemutatni (9. fejezet).

A szoftverben új projekt létrehozását követően első feladatom a légi fényképek betöltése volt, majd a felmérését elvégző drón fajtáját megadva kiválaszthattam az általam használni kívánt koordináta rendszer fajtáját, az EOVT. Ezek megadását követően megnyílt a fő szerkesztési felület immár a betöltött képekkel. Már is észleltem egy hibát, hogy a drón némely helyen nem készített képet, így a sorokban azokon a helyeken nem volt látható a képet jelző térbeli háromszög. Ennek ellenére a folyamat elvégzését követően bebizonyosodott, hogy ez nem jelentett végzetes hibát, mert a szomszédos képek elegendőek voltak ahhoz, hogy lefedjék a kihagyott területeket is (16. ábra). Következő lépésben a program elvégezte a sugárnyaláb kiegyenlítést, melynek végeztével betöltöttük a GNSS vevővel felmért illesztőpontok koordinátáit tartalmazó fájlt, figyelve arra, hogy itt is az EOVT rendszert válasszuk koordináta fajtának. Az illesztőpontok megíranyzása kézzel történt. A képek lapozgatása során talált pontokra ráközelítettem, majd próbáltam a kör közepére helyezni a szátkeresztet. 7 pontból 3-at kellett kézzel irányozni, a maradék 4-et a program automatikusan felismerte. Tovább haladva az „észlelések áttekintése” nevű oldalon megfigyelhettem, hogy mely képeken milyen pontosan tudta automatikusan megíranyozni a szoftver a pontokat. Voltak olyan képek, melyeken nem találta meg a program az illesztőpontot, így azokat piros színnel jelezte (17. ábra). Ennek végeztével a maradék hibákat az 1. táblázatban szemléltettem. Ekkor már minden meg volt ahhoz, hogy elkészüljön a 3D modell, így a kívánt minőség beállítását követően el is kezdte a szoftver a generálást. Elkészült a kb. 20 millió pontból álló 3D pontfelhő a sítanpályáról és környezetéről (18. ábra), melyből egy kattintással domborzatmodell is készíttettem, ami tökéletesen szemléltette a magasságkülönbségeket színek segítségével (19. ábra). A pontfelhőből digitális felszínmodell hoztam létre, mely nem csak pontokból áll, hanem egy egybefüggő, valóság-hű modell (20. ábra). A 3D

Survey szoftver képes ortofotót is készíteni a légi felvételekből, ezáltal én is generáltam egy 1cm-es pixelméretűt, melynek végső mérete 18520 x 11710 pixel lett (21. ábra).

A teljes folyamatról egy jegyzőkönyv is letölthető, melyben olyan adatokkal találkoztam, mint például az átlagos repülési magasság (64,6 m), kapcsolópontok száma (átlagosan 1330 db/kép), terepi felbontás (1,84 cm), vagy azzal, hogy a 72 légi felvételből a program 71-et használt fel. Emellett egy ábra is található benne, ami azt szemlélteti, hogy mekkora volt a fényképek közötti átfedés (22. ábra). Utolsó lépésben kimentettem az elkészült pontfelhőt .las, .ply és további formátumokban a későbbi pontosságvizsgálathoz.

Szakdolgozatom gyakorlati részének végső fázisa a pontosságvizsgálat volt, melyben összehasonlítottam az UAV által készített pontfelhőt a GNSS vevővel felmért pontokkal. A folyamathoz a CloudCompare nevezetű ingyenes számítógépes szoftvert használtam (10.1 fejezet). Először betöltöttem a két pontfelhőt tartalmazó .las, illetve .txt fájlokat. A „Fine Registration” funkciót kiválasztva a program elvégzi az integrálást a pontfelhők között. A folyamat elkezdése előtt ki kellett választanom, hogy a szoftver melyik mérést vegye referenciának. Számomra a GPS-szel mért pontok bizonyultak alkalmasabbnak. Továbbá a „Parameters” fülnél megadtam, hogy az RMS különbség 1.0E-05 legyen, illetve a végső átfedés 100%. Beállításokat követően le is futott az integrálás, ahol egy transzformációs mátrixot kaptunk eredményként. Meglepően tapasztaltam, hogy a végső RMS 22 méterre jött ki, mely jelentősen nagyobb a várt értéknél (23. ábra). A probléma okának feltárása során arra jutottunk, hogy amíg a drónos felvételekből készült pontfelhőn a sítanpálya szomszédos telkei, épületek, fák is látszanak, addig a GPS-el mért pontfelhőn csak a kerítés és az azon belül elhelyezkedő rész figyelhető meg. Az eredmény javítása érdekében módosítanom kellett a 3D pontfelhőt lehatároló vonalakat a 3D Survey alkalmazásban (24. ábra, 25. ábra). Ezt követően már csak a sítanpályát körülvevő kerítésen belüli terület látszott, akárcsak a GPS pontfelhőn. Az integrálás újbóli elvégzését követően javult az RMS értéke, azonban még mindig a vártnál nagyobb lett. A hibát a pontfelhőn látható villanyoszlopok, kerítések és egy épület okozta, mert a drónos felvételeken ezek látszódtak, a másikon viszont nem, így ezen területeken nagy magasságkülönbségeket figyelhettem meg. CloudeCompare szoftverben található egy „Segmentation” nevű funkció, melynek segítségével a fent említett objektumokat levágtam. A probléma okainak feltárása után harmadik alkalommal sikeresen megtörtént

a pontfelhők közötti integrálás, az eredmény 22 méterről 46 cm-re csökkent (26. ábra). Továbbiakban a pontfelhők közötti különbségek kielemezése történt, ahol szintén a GPS-szel mért pontokat vettem referenciának. A lefuttatást követően megkaptam a pontosságvizsgálat végső eredményeit: legkisebb távolság – 0 cm, legnagyobb távolság – 3,6 méter, átlagos távolság – 13 cm, Sigma érték – 37 cm, Max Error – 61 cm (27. ábra). A „Compute” gombra kattintva elkészült a különbségeket szemléltető rajz, melyen színekkel látszanak a különbségek (28. ábra).

12. ÖSSZEGZÉS

Egyetemi tanulmányaim során hamar világossá vált számomra, hogy a fotogrammetria ágazata áll hozzám legközelebb. A tanórákon felmerülő témák közül a drónokról szóló részek nyitották fel leginkább érdeklődésemet. Már ekkor eldöntöttem, hogy szakdolgozatomat a későbbiekben ehhez kapcsolódó témából szeretném írni. Konzulensemmel való egyeztetések során hamar megtaláltuk a leginkább nekem való témát, melynek során egy szabadidőparkot mértem fel UAV technológiával, majd készítettem belőle 3D modellt. Ezt követően GNSS vevővel mértem pontokat a területen és végeztem a két pontfelhő között pontosságvizsgálatot végeztem.

Szakdolgozatom gyakorlati részéhez nagyban hozzájárult munkahelyem, az Alba Geotrade Zrt., ugyanis amellet, hogy eszközökkel és számítógépes programokkal segítettek, még a felmérni kívánt helyszín kiválasztását is nekik köszönhetem. Emiatt döntöttem a Székesfehérváron található sítanpálya mellett, mely 2022-ben épült és a földmérés munkálatokat jelenlegi kollégáim végezték, emiatt a bejutás és az engedélyek semmiféle akadályba nem ütköztek.

Felméréseink során rengeteget tanultam munkatársaimtól a drónokról és azoknak működési elvéről. Tudásom gyarapítása érdekében elvégeztem az A1/A3 kategóriájú online drónpilóta képzést és a későbbiekben sikeres vizsgát tettem belőle. Szakmai gyakorlatom alatt több alkalommal is végeztem felmérést GNSS vevővel, így annak használata már nem jelentett nehézséget számomra.

A mérések feldolgozása két számomra ismeretlen programmal történt, de úgy gondolom, hogy ezek használatát is hamar elsajátítottam. A 3D Survey-ben való 3D modell szerkesztés lépéseit szintén munkatársam tanította meg, majd a folyamat végeztével önállóan is elkészítettem, hogy megtanuljam a készítés folyamatát.

A pontosságvizsgálatot a CloudeCompare nevezetű szoftverrel készítettem, melyhez konzulensem nyújtott segítséget. A folyamat során kisebb dilemmákba ütköztem, melyekre hamar megoldást kellett találnunk. A problémát viszonylag könnyen orvosolni tudtuk, melynek köszönhetően minden eredmény elfogadható lett, viszont, ha újra kellene kezdenem az egész folyamatot, akkor pár dolgot biztosan másképp csinálnék.

Elsősorban az ellenőrző pontok mérése során csak a sítanpálya területén mértem pontokat, a szomszédos telkeken nem, ezért a pontosságvizsgálat csak kisebb területen történhetett meg. Továbbá GPS-szel nem a jellemző pontokban mértem, mint például kerítés sarkok, épület sarkok, vagy éppen a villanyoszlopok, ezáltal nem voltak egyértelműen definiálható pontjaim, melyeket mindkét pontfelhőn beazonosíthattam volna. Ennek ellenére mindent a lehető legnagyobb pontossággal igyekeztem elvégezni.

Szakedolgozatom megírása alatt rengeteget tanultam, az egyetemen tanult elméleti tudásomat hasznosítani tudtam a felmérés és a feldolgozás során. A hibák javításából tanultam és a jövőben ezeket biztosan hasznosítani fogom.

13. SUMMARY

During my university studies, it soon became clear that the field of photogrammetry was the closest to my heart. Among the topics covered in my classes, it was the sections on drones that most piqued my interest. I decided at that time that I would like to write my thesis on a related topic. In discussions with my advisor, we soon found the topic that suited me best, during which I surveyed a leisure park using UAV technology and then created a 3D model of it. Then I measured points in the area with a GNSS receiver and finally performed an accuracy check between the two point clouds.

My workplace, Alba Geotrade Zrt., contributed a lot to the practical part of my thesis, as they provided tools and computer programs, and also helped me to choose the survey location. That's why I chose the ski slope in Székesfehérvár, which was built in 2022 and the surveying work was carried out by my current colleagues, so there were no obstacles to access and permits.

During our surveys, I learned a lot from my colleagues about drones and how they work. To improve my knowledge, I completed the online drone pilot training course A1/A3 and further on passed the exam. During my professional practice I have carried out several surveys with GNSS receivers, so using them was no longer a difficulty for me.

The processing of the measurements was done with two programs I was unfamiliar with, but I think I quickly mastered their use. The steps of 3D model editing in 3D Survey was also taught to me by my colleague, and after the process was completed, I redid it on my own to learn the way of making it.

The accuracy test was done using a software called CloudeCompare, with the help of my consultant. During the process, I encountered minor dilemmas that had to be solved quickly. We were able to fix the problem relatively easily, thanks to which all the results were acceptable, but if I had to do the whole process over again, I would certainly do a few things differently. First of all, when measuring the control points, I only measured points on the ski slope area, not on the neighbouring plots, so the accuracy test could only be done on a small area. Furthermore, I did not measure with GPS at typical points, such as fence corners, building corners, or even power poles, so I did not have clearly definable

points to identify on both point clouds. Nevertheless, I tried to do everything as accurately as possible.

During the writing of my thesis, I gained a lot of experience, I was able to use the theoretical knowledge I had learnt at university during the survey and processing. I learned from correcting errors and I will definitely use them in the future.

14. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton is szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik hozzájárultak szakdolgozatom elkészüléséhez.

Elsősorban köszönöm konzulensemnek, Dr. habil. Jancsó Tamásnak, hogy kérdéseimmel bármikor fordulhattam hozzá, szakmai tanácsaival, meglátásaival rengeteget segített az elmúlt hónapokban.

Továbbá köszönöm a AlbaGeotrade Zrt.-nek, hogy biztosították számomra az eszközöket, számítógépes szoftvereket, illetve a lehetőséget a sítanpálya felmérésére. Külön köszönöm Hanó Péternek a drónos felmérésben nyújtott segítségét.

15. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] T. Árpád, „Földmérés története,” [Online]. Available: <https://vazrajzkeszites.hu/foldmeres-tortenete/>. [Hozzáférés dátuma: 18 04 2023].
- [2] P.-D. Adrienn, Az online tanulási környezettel támogatott oktatási formák tanulásmódszertanának vizsgálata, Budapest: Eötvös Kiadó, 2014.
- [3] M. Györgyi, *A fotogrammetria alapjai*, Budapest: Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, 2008.
- [4] D. E. Péter, *Általános fotogrammetriai technológia*, Budapest: Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar, 2010.
- [5] D. E. Péter, *A légi fotogrammetriai technológia*, Budapest: Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, 2008.
- [6] D. E. Péter, *A légi fotogrammetria alapjai*, Budapest: Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar, 2010.
- [7] D. h. J. Tamás, „Digitális fotogrammetria,” Óbudai Egyetem, Budapest, 2017.
- [8] D. J. Tamás, *Fotogrammetria*, Székesfehérvár: Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar, 2011.
- [9] S. József, Április 2002. [Online]. Available: http://www.geo.u-szeged.hu/~joe/fotogrammetria/Fotogrammetria_jegyzet.htm. [Hozzáférés dátuma: 24 Április 2023].
- [10] D. E. Péter, *A mérőfénykép*, Budapest: Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, 2008.
- [11] M. G. Csóré Attila, „A pilóta nélküli légi járművek (UAV) evolúciója,” *Repüléstudományi Közlemények*, %1. kötet 33. évfolyam, pp. 171-179, 2021.

- [12] „Légtér.hu,” [Online]. Available: <https://legter.hu/blog/dron-torveny-2021-erthetoen-szakertoktol/>. [Hozzáférés dátuma: 09 05 2023].
- [13] „Work Drone Solutions,” [Online]. Available: <https://www.workdrones.hu/szolgáltatasaink/foldmeres-teruletfelmeres/>. [Hozzáférés dátuma: 12. 05. 2023.].
- [14] Photo.metric, „Photo.metric,” [Online]. Available: <http://www.photometric.hu/ortofoto-22.html>. [Hozzáférés dátuma: 24. 05. 2023.].
- [15] „Apex Ski,” Apex Sport Klub, 2022. [Online]. Available: <https://www.apex.ski/sitanpalya/>. [Hozzáférés dátuma: 14. 05. 2023.].
- [16] P. Lóránd, „fmc.hu,” 21. 03. 2022.. [Online]. Available: <https://fmc.hu/2022/03/21/megnyilt-szekesfehervar-elso-muanyag-boritasu-sitanpalyaja>. [Hozzáférés dátuma: 14. 05. 2023.].
- [17] Székesfehérvár.hu, „Székesfehérvár.hu,” 21. 03. 2022.. [Online]. Available: <https://www.szekesfehervar.hu/atadtak-a-szekesfehervari-sitanpalyat-a-csucsikai-utcaban>. [Hozzáférés dátuma: 14. 05. 2023.].
- [18] „CHCNAV.com,” CHCNAV, [Online]. Available: <https://chcnave.com/about-us/overview>. [Hozzáférés dátuma: 12 11 2023].
- [19] „GEO Informatics,” 16 május 2022. [Online]. Available: <https://www.geoinformatics.com/chc-navigation-i73-gnss/>. [Hozzáférés dátuma: 12 11 2023].
- [20] „CHCNAV.com,” [Online]. Available: <https://chcnave.com/product-detail/i73+-imu+-+rtk-gnss>. [Hozzáférés dátuma: 12. november 2023.].
- [21] „dji.com,” [Online]. Available: <https://www.dji.com/hu/phantom-4-pro/info#specs>. [Hozzáférés dátuma: 12. november 2023.].
- [22] „3dsurvey.si,” [Online]. Available: <https://3dsurvey.si/about-us/why-3dsurvey/>. [Hozzáférés dátuma: 17. november 2023.].

- [23] „FlyGuys.com,” [Online]. Available: <https://flyguys.com/understanding-dsm-dtm-dem/>. [Hozzáférés dátuma: 18. november 2023.].
- [24] „CloudCompare.org,” [Online]. Available: <https://www.cloudcompare.org/presentation.html>. [Hozzáférés dátuma: 26. november 2023.].
- [25] „fmc.hu,” 21. 03. 2022.. [Online]. Available: <https://fmc.hu/2022/03/21/megnyilt-szekesfehervar-else-muanyag-boritasu-sitanpalyaja>. [Hozzáférés dátuma: 14. 05. 2023.].

16. ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra A légifényképező repülés sematikus vázlata [6].....	10
2. ábra Légiháromszögelési módszerek funkcionális kapcsolata [7].....	13
3. ábra A GPS és az IMU elrendezése a felvételezést végző repülőgépen [7]	14
4. ábra Az IMU által mért és értelmezett elfordulási szögek [7].....	14
5. ábra Illesztőpont-mező fotózása 3 álláspontról [7].....	16
6. ábra Tesztábra kalibrációhoz a Photomodeler szoftverben [7].....	16
7. ábra A főpont (H), a szimmetria-főpont (S) és a képközéppont (M) lehetséges helyei [7].....	17
8. ábra Digitális terepmodell (DTM) [13]	21
9. ábra Repülés terv készítése [saját készítés-DJI GO 4 program].....	22
10. ábra Az ortofotón minden egyes pixel a "helyére" kerül [14]	25
11. ábra Székesfehérvári sítanpálya [17]	26
12. ábra Repülési terv készítése [saját készítés-DJI GO 4 program].....	29
13. ábra Általunk használt illesztőpont jelölő [saját készítés]	30
14. ábra CHCNAV i73+ GNSS vevő [19].....	31
15. ábra DJI Phantom 4 Pro [saját készítés-DJI Pro 4 program]	32
16. ábra Légi felvételek eloszlása a terepen [saját készítés-3D Survey szoftver]	34
17. ábra Illesztőpontok észlelésének áttekintése [saját készítés-3D Survey szoftver] ...	35
18. ábra 3D pontfelhő a felmért területről [saját készítés-3D Survey szoftver]	36
19. ábra Domborzatmodell a felmért területről [saját készítés-3D Survey szoftver]	36
20. ábra Digitális felszínmodell a felmért területről [saját készítés-3D Survey szoftver]	37
21. ábra Elkészült ortofotó a felmért területről [saját készítés-3D Survey szoftver].....	38
22. ábra Légi fényképek közötti átfedések [saját készítés-3D Survey szoftver jegyzőkönyve].....	39
23. ábra Hibás iterálás eredménye a két pontfelhőn [saját készítés-CloudCompare szoftver]	41
24. ábra Pontfelhő körül vágás és szegmentálás előtt [saját készítés-CloudCompare szoftver].....	42

25. ábra Pontfelhő körül vágás és szegmentálás után [saját készítés-CloudCompare szoftver].....	42
26. ábra Iterálás eredménye a két pontfelhőn [saját készítés-CloudCompare szoftver]...	43
27. ábra Pontosságvizsgálat eredménye I. [saját készítés-CloudCompare szoftver].....	44
28. ábra Pontosságvizsgálat eredménye II. [saját készítés-CloudCompare szoftver].....	44

17. MELLÉKLETEK

1. Melléklet: GNSS ellenőrző pontok listája (PDF)
2. Melléklet: Illesztőpont koordináták (PDF)
3. Melléklet: UAV fotók (JPG)
4. Melléklet: 3D Survey teljes projekt fájl (megnyitásához a 3. Melléklet képeinek csatolása szükséges)
5. Melléklet: 3D Survey pontfelhő, felületmodell (LAS, OBJ, PLY)
6. Melléklet: Ortofotó (PNG)
7. Melléklet: 3D Survey jegyzőkönyv (PDF)