

Térbeli adatgyűjtés pilóta nélküli légi eszközzel

Spatial data collection with unmanned aerial vehicle.



Illusztráció (davinci.ai)

Tuza Attila
2024 tavasz

Tartalomjegyzék

Köszönetnyilvánítás	3
1. Bevezetés	4
2. Történeti áttekintés	4
3. Alapfogalmak és elméleti hátterek	8
3.1. Centrális vetítés	8
3.2. Síkfotogrammetria	9
3.3. Térfotogrammetria	10
3.4. Digitális fotogrammetria	10
3.5. Műholdas helymeghatározás (GNSS-RTK)	11
4. Feladat bemutatása és célkitűzések	13
5. Adatgyűjtés és feldolgozás	13
5.1. Terepmunka	14
5.2. Adatfeldolgozás	17
6. Analízis és eredmények	25
6.1. Problémák	25
6.2. Felhasználási lehetőségek	28
7. Összegzés	30
Ábrajegyzék	31
Képjegyzék	31
Irodalomjegyzék	32

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni ezen dolgozatomban történő támogatást és segítségnyújtást, a Kvalitron Kft. ügyvezetőjének Szappanyos Tibornak és geodéta kollégájának Szeiler Józsefnek.

Köszönöm Tóth János tanár Úrnak a dolgozat kapcsán tett tanácsait és útmutatásait!

Térbeli adatgyűjtés pilóta nélküli légi eszközzel

1. Bevezetés

Jelen dolgozat célja, hogy ismertessen néhány felhasználási lehetőséget a napjainkban már gyakorta használt UAV eszközökkel kapcsolatban az építéshelyi geodéziai feladatok terén. Az elmúlt években a mérnökgeodéziának ez a területe jelentős technikai fejlődésen ment keresztül. Saját szakmai példámon keresztül fogom bemutatni, hogy a mai kivitelezési munkában milyen előnyökre tehetünk szert, ha rendszeresen alkalmazzuk a technológiát.

A rövid történeti áttekintést követően a tanulmány első részében sorra veszem azokat az alapfogalmakat és elméleti háttereket, amelyek alapján napjainkra lehetőség nyílt ezen módszer alkalmazására. Bemutatásra kerülnek azok az eszközök, szoftverek, amelyek segítségével elvégzésre került a mintafeladat. A továbbiakban pedig a már említett geodéziai feladat kerül központba, összegzésre kerülnek az adatgyűjtés eredményei, illetve a dolgozat kitér a feldolgozás módszerére is. Az adatok feldolgozását követően bemutatásra kerülnek az elért eredmények kitérve a módszer korlátaira, illetve előnyeire is. A tapasztalatok és következtetések után lesz egy rövid összefoglaló, amelyben ezen tanulmány főbb eredményei kerülnek összefoglalásra, illetve ajánlások lesznek a gyakorlati alkalmazások módszertanára, esetleges további felhasználási területekre.

2. Történeti áttekintés

Ebben a részben a teljesség igénye nélkül, korlátozottan a felhasznált eszközökhöz kapcsolódóan lesz olvasható egy történelmi áttekintő, tekintettel ezen tanulmány tartalmi korlátozásaira.

A légi fotogrammetria első és egyben kezdő mérföldköve az 1858-ban Gasper Felix Tournachon által készített első légi fotó volt, amelyet Nadar ballonjából készített. Ezt követően számos próbálkozás volt, többek között sárkányrepülőre erősített időzített kamera

felvétel vagy postagalambokra erősített ugyancsak időzített kamerák használatára. Ezek azonban többségében nem vagy csak részben kielégítő eredményt tudtak produkálni.

Repülés történeti szempontból a pilóta nélküli eszközzel való próbálkozás már 1849-ben volt, amikor a Habsburg birodalom ellen lázadó Velence városa ellen vetetek be papírból készült léggömböket. Ezek a léggömbök nagyjából 10 percet tudtak a levegőben maradni más ható távjuk leginkább a szélereősségtől függött. Ezen próbálkozás nem volt a legsikeresebb, mert sokszor a Habsburg szárazföldi csapatok fölé kerültek a ballonok, így okozva saját szárazföldi haderejükben kárt.

1890-ben Otti Lilienthal már a pilóta nélküli siklórepülőkkal kísérletezett, ezek a kísérletek leginkább a felhajtóerőt létrehozó szárnyas szerkezetekre vonatkoztak. Mivel a személyi sérülés veszélye nem állt fenn, így sok teszt repülést lehetett végre hajtani, amiből aztán nagyon sokat tanulhattak a későbbi kutatók és kísérletezők.

Első magyar kapcsolódást Stomfai Endrének köszönhetjük, amikor is 1905-ben egy hét fényképezőgépből álló táv-vezérelhető rendszert dolgozott ki. A rendszert ballonra erősítve 6-7000m-es magasságból lehetett nagy területeket feltérképezni.



1. ábra, Stomfai féle ballonkamera (illusztráció, Bakó Gábor)

A következő mérföldkő, ami ehhez a korszakhoz kapcsolódik az a motoros repülőgépek megjelenése (1903). Sokat nem is váratott magára az ilyen eszközökből történő légfelvétel elkészítési, hiszen 1908 L. P. Bonvillain fényképész Wilbur Wright pilóta vezetésével el is készíthette ezt a távérzékelési felvételt. A következő években számos technikai fejlesztést hajtanak végre, mint például elkészülnek az első mérőkamerák, de értelemszerűen a repülőgépek is roham tempóban fejlődnek. Már 1918-ban a francia hadvezetés, az intenzív hadmozgások időszakában, 10.000 légfelvételt dolgoznak ki csupán egy éjszaka alatt. 1919-ben létrejön a Magyar Katonai Térképező Csoport és azon belül az Aerofotogrammetriai osztály. Itt érdemes megjegyezni, hogy ezen szervezetünk fennállása során mindvégig nemzetközi elismerésben részesült, hiszen az általuk készített munkák nemcsak technikai, de művészeti szinten is kiemelkedtek nemzetközi szinten.

Léon Foucault giroszkóp (1852) találmányát felhasználva, Lawrence Sperry megalkotja az első robotpilótát (1914), amellyel már egy repülőgépet egyenes vonalban és megadott magasságban lehetett tartani.

1931-ben kifejlesztik az infravörös fényre érzékenyített filmet, ezzel bővítve a láthatósági spektrumot. 1935 végére már 150-nél is több légi mérőkamera áll rendelkezésre hazánkban.

1940-ben elkezdődik Magyarország első, az ország teljes területét lefedő légi-felvételezési programja.

1942-ben a Kodak szabadalmaztatja a közeli infravörös tartományra érzékenyített filmet.

1946-ban elkészül az első űrfelvétel Dr. Wernher von Braun programja keretében.

1950-re elkészül az első, a teljes ország területét lefedő katonai légi fényképezés, amely közel 10 évnyi munkát jelentett. Ezt a munkát a honvédség térképészeti szervezete végezte.



2. ábra, Az első űrfelvétel (USGS)

1960-ban első sikeres kéműhold bevetése (CORONA). 141 fellőtt műhold, amelyből 102 esetben szolgáltatott használható fénykép negatívumokat.

1962-ben bemutatják a Zaitor & Tsuprun kilenc fény-utas multispektrális mérőkamerát. Mai napig ez az egyik legmegbízhatóbb multispektrális fényképezőgép.

1966-ban hadrendbe állítják a Lockheed SR-71 Blackbird stratégiai repülőgépet, ami innentől számítva 30 éven keresztül uralta az amerikai felderítési projekteket.

1967-ben megalakul a magyar Földmérési és Távérzékelési Intézet. A honvédség térképészeti szervezete mellett még itt készítik el a légi fotogrammetriai felméréseket, melyhez a repüléseket a MÉM Repülőgépes szolgálat végzi.

1973-ban sikeres kísérletet tesznek az első magyar pilóta nélküli repülőgépről történő légi-térképezésre. Szintén a 70'-es években fejlesztette ki Izrael az első drónokat valós idejű megfigyeléssel, ami később több konfliktusban jelentős előnyhöz juttatta.

1976-ban elkészül az első hazai multispektrális légi felvétel a Balatonról, a Vízügyi szolgálat és Vízzy Zsigmond jóvoltából.

1980-1990 években egyre-másra indítják a különböző nemzetek az űr-radar programjaikat. 1987-ben a Yamaha cég bemutatja az első mezőgazdasági permetezéshez használható UAV eszközét. Érdekes módon ekkor ennek az eszköznek a világ nem tulajdonított nagy jelentőséget, mert Japánon kívül sok más helyen nem használták. Majd 30 évnek kellett eltelnie, mire ezek az eszközök nagyobb érdeklődést kaptak.

2000-ben az SRTM űrsikló projekt keretében elkészül a globális terepmodell. Befejeződik Magyarország teljes területét lefedő ortofotó programja.

2005-ben a Google elérhetővé teszi a nagyobb városok Quickbird felvételeit.

2009-ben elkészül az első magyar fejlesztésű digitális multispektrális mérőkamera. (Interspect IS 2)

2010-től megindul az UAV eszközök fogyasztói piaca is, amelyre a Parrot cég tör be először és nem sokra rá DJI cég is bemutatja a Phantom eszközét, amely már a civil közösség számára is elérhető ár kategóriába esik. Az okos telefonok elterjedésével egyre olcsóbbá válnak azok a technológiák (GPS, processzor, kamera), amelyek felhasználásával az UAV eszközök nagy hatékonysággal felhasználhatók az építőiparban, mezőgazdaságban, térképészetben, stb.

2015-ben 35 cm-es terepi felbontásban elkészül hazánk első digitális országos légi felmérése.

(National Geographic - A légi térképészet 100 éve, UAV Systems - A History of drones)

3. Alapfogalmak és elméleti hátterek

Tárgyi dolgozatban a térbeli adatgyűjtés fotogrammetriai módszerrel történő végrehajtását tárgyalom, így ebben a fejezetben csak az, ehhez a témakörhöz kapcsolódó elméleti háttérrel és alapfogalmakat fogom leírni.

Ezen eljárással közvetlenül tudunk információt szerezni a vizsgált terület fizikai tulajdonságairól. Itt fontos megjegyezni, hogy az építőipari szempontból leglényegesebb információk az egyes képződmények, terepi tárgyak, területek egymáshoz viszonyított koordinátákkal rendelkező információ halmaza egy számunkra ismert vetületi rendszerben elhelyezve. Más vonatkozásban, például mezőgazdaság vagy erdőgazdálkodás esetében, tartalmazhatnak még olyan információkat is, amelyek az emberi szem számára nem láthatók (pl.: növényzet megbetegedések, stb.).

3.1. Centrális vetítés

A kamera a földi tárgyakat centrális vetítéssel képezi le. A tárgyakat és azoknak a képeit mindig egyenesek kötik össze és ezek az egyenesek egy ponton mennek át. Az emberi látás elvén alapszik, mely lehetővé teszi a térbeli objektumok viszonylag pontos ábrázolását egy kétdimenziós térképen.

Feltételek:

- Vetítési középpont: egy pont a térben, a térkép középpontja.

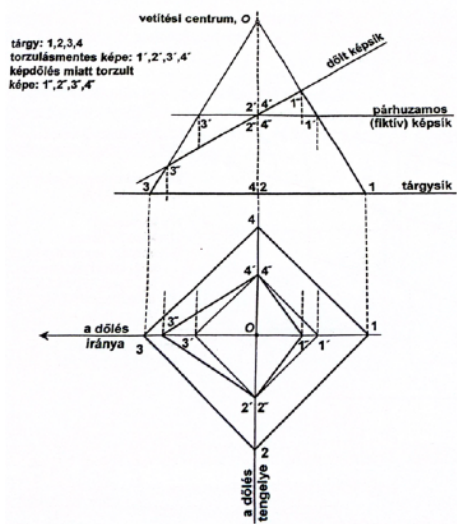
- Vetítési vonalak: a vetítési középpontból induló vonalak, amelyek a térkép síkjára vetítik a térbeli objektumokat.
- Mélység és távolságérzékelés: A tárgyak helyzetét a térben a vetítési ponttól mért távolságuk alapján határozzák meg, minél közelebb vannak a tárgyak a vetítési pontokhoz, annál nagyobb szöggel vetülnek le a térképre, és fordítva.
- Érzékelési szögek: Minél élesebb a szög, annál közelebb van az objektum a vetítési központokhoz.

Térfotogrammetria (Dr. Gebry János, 1972)

3.2. Síkfotogrammetria

Adott területről egyetlen képből készített meghatározott arányossággal rendelkező kisebbitett képi megfelelője.

Az új módon készített felvétel természetesen minden esetben torzult, hiszen a tárgysík és a képsík soha nem lehet eredendően párhuzamos, így csupán ezt a torzulást szükséges korrigálni. Ehhez szükséges ismernünk a vetítési centrum koordinátáinak értékét, illetve elfordulási szögeit a felvétel tárgyát képező koordináta rendszerben. (3. ábra)



3. ábra, Képdőlés okozta torzulás (Geodézia, Krauter András, 2002)

Szükséges még további külső meghatározott pontok koordinátájának ismerete, ahhoz, hogy a kép térbeli helyzete meghatározható legyen. Ezen pontokat a terepen mérőállomással vagy műholdas eszközökkel is fel vehetjük.

Sugárnyaláb fizikai visszaállítása lehetséges optikai vetítéssel, ekkor analóg képátalakításról beszélünk. Lehetséges még matematikai úton, úgynevezett transzformációs képletek segítségével, ekkor analitikus képátalakításról beszélünk, azaz a tereppontok koordinátáit a pontok képkoordinátaiból számítjuk ki.

Analóg képátalakítás: egy vetítő berendezéssel egy sík felültre vetített kép, amelyen legalább három terepi pont arányosan kisebbitett megfelelője rögzítve van. Ezekhez illesztendő a vetített képen szintén rögzített terepi pontok megfelelője. Majd a vetített képet fotográfiai úton rögzítjük, ezt nevezzük fotótérképnek. Nagy előnye, hogy rendkívül gazdaságos, hiszen egyetlen vetítéssel a kép egészen kiegyenlítésre kerül a képdőlésből származó torzulás.

A síkfotogrammetria segítségével nem lehet magassági értelemben meghatározni a terepi pontokat, csak oly módon, hogy egy a terepről előzetesen készített szintvonalas térkép adatait felhasználjuk.

Fotogrammetria és távérzékelés (dr. Domokos Györgyné, 1983), A fotogrammetria legújabb eljárásai és műszerei (Dr. Bezzegh László, 1972), Térfotogrammetria (Dr. Gebry János, 1972)

3.3. Térfotogrammetria

Olyan fotogrammetriai eljárás, amely a háromdimenziós térbeli tárgyak, területek részletes rekonstrukcióját teszi lehetővé, tehát a síkfotogrammetriától eltérően, ezzel az eljárással már a tér három irányában kapunk koordinátákat az optikai felvételekből. Az eljárás megvalósításához az egyik alapfeltétel, hogy az adott terepről legalább két felvétel készüljön. Ezt hívjuk sztereofotogrammetriának vagy térfotogrammetriának. A kép teljes tájékozásához számos külső és belső pontot kell ismerni.

Ez esetben szintén beszélhetünk analóg és analitikus módszerekről. A tanulmány további részében csak az analitikus módszer, az ahhoz kapcsolódóan a digitális fotogrammetria, kerül bemutatásra.

Geodézia (Krauter András, 2002), Geodéziai alapismeretek (Dr. Tokody András - Kovács Zoltán, 2004), Geomatikai ismeretek (Dr. Bányai László, 2007),

3.4. Digitális fotogrammetria

Egy digitális képanyag állomány kiértékelése digitális eszközökkel, gyakorta nevezik még a módszert számítógépes fotogrammetriának is. Jellemzője, hogy a pontossága szinte

csak a kép felbontása, illetve a bázispontok bemérésének szavatossága határozza meg. Egyik nagy előnye, hogy a feldolgozás rendkívül gyors.

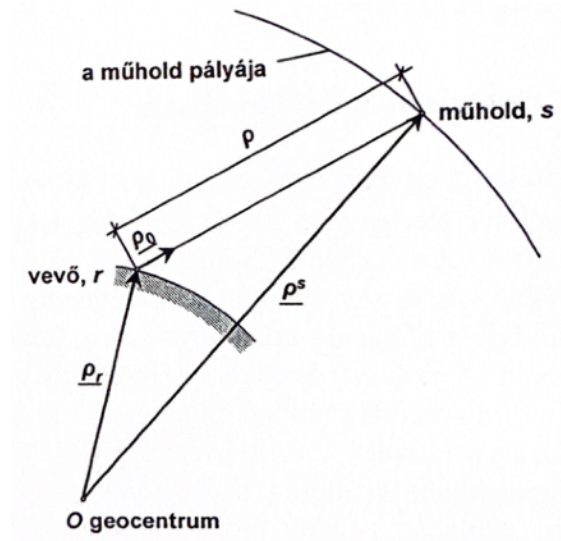
Az előzőekben már említett számos ismert adat feltétele szintén szükséges. Egy pontra 2 egyenlet írható fel. Egy kép tájékozásához tehát legalább 3 nem egy egyenesbe eső pontra van szükség, több kép esetén ez kiegyenlítéssel határozható meg, a szakirodalom ezt nyalábkiegyenlítésnek nevezi. Az eljárás lényege, hogy a mérési pontokat egy közös koordináta rendszerbe illesszük be minimalizálva mérési hibákat és torzulásokat. Ehhez általában jól használhatók a különböző matematikai és statisztikai módszerek, mint a legkisebb négyzetek módszere vagy más becslési technikák.

Geodézia (Krauter András, 2002), Geodéziai alapismeretek (Dr. Tokody András - Kovács Zoltán, 2004), Geomatikai ismeretek (Dr. Bányai László, 2007),

3.5. Műholdas helymeghatározás (GNSS-RTK)

A GNSS (Global Navigation Satellite System) a globális navigációs műhold rendszer rövidítése. Létrehozásának célja, hogy a földi felhasználók számára a pontos hely és idő meghatározás lehetséges legyen a földön bárhol. Ennek legismertebb rendszere a GPS (Global Position System), amelyet 1994-ben tettek hozzáférhetővé a civil közösségek számára. Természetesen ezen kívül számos rendszer működik, mint a GLONASS (Oroszország), Galileo (Európai Unió), BeiDou (Kína). Minden rendszer lényege, hogy a műhold, a föld felszín és a föld középpontja egy vektorháromszöget alkot. Mivel a műhold egy ismert keringési pályán mozog, ezért a Föld tömegközéppontja és a műhold közti távolság ismert. További feladat, hogy meghatározzuk a földi állásponttól a műholdra mutató vektort. GPS eszközzel csak ezen vektor hossza határozható meg, az irányt rögzítő két szögadat nem, ezért szükséges minden esetben legalább három műhold felhasználása. Fontos feltétel még, hogy ezen három távolság nem eshet egyazon síkba.

További probléma a műholdak és a vevő egység közti rádiójel beérkezési időpontjának meghatározása, mivel a műholdak és a vevő egységnek egyazon időrendszerben kellene működni, de ez nem jöhet létre, hiszen a műholdak atom órája és a GPS eszközök kvarcórájának pontossága közt jelentős különbség lehet. Ezért szükséges egy negyedik műholddal való kapcsolat is.



4. ábra, Műholdas helymeghatározás vektorháromszöge (Geodézia, Krauter András, 2002)

Geodézia (Krauter András, 2002), Geodéziai alapismeretek (Dr. Tokody András - Kovács Zoltán, 2004), Geomatikai ismeretek (Dr. Bányai László, 2007),

4. Feladat bemutatása és célkitűzések

A mintafeladat egy pilóta nélküli repülő eszköz segítségével készíteni egy három dimenziós modellt egy építési helyszín környezetében lévő 4,15 hektáros felvonulási területről a kivitelezés stádiumában. Ez esetben nem volt cél a teljes tökéletesség, de a feladat bemutatása során látható lesz, hogy elég nagy részletességet el lehet már érni még, ha az eszközök nem is a legmodernebb technológiával rendelkeznek. Alapvető igény az építés közbeni állapotban nyomon követni a projekt haladását, a depóniák kialakításában való segítség nyújtás, felvonulási utak felülvizsgálata. Az előzőekben felsorolt felhasználási lehetőségek esetében nem szükséges a cm-es pontosság se, de az alkalmazott technológia már alapvetően tudja produkálni ezt. Bevett gyakorlat még a nagy tömegű földmunkák esetében, hogy az ilyen jellegű felmérés már az elszámolás alapját is képezi. Természetesen ez esetben már mindenki érdeke, hogy a cm-es pontosság garantálva legyen, de ezzel napjainkban már nincs is semmi probléma.

A feladat megoldásához felhasznált eszközök:

- DJI Phantom 4 RTK pilóta nélküli repülő eszköz
- FORGEO Poolee GNSS vevőegység + OUKITEL kezelő eszköz
- Személyi gépjármű
- Jelölő spray (piros)
- Macbook pro 2023 (M2 chip)
- Agisoft Metashape adatfeldolgozó softwer

5. Adatgyűjtés és feldolgozás

A feladat elvégzéséhez a sorrendben a következő lépéseket kell megtennünk;

- Terep munka: terepszemle, GCP-k (Ground Control Point), azaz illesztő pontok kijelölése és bemérése, UAV eszköz felkészítése a reptetésre (repülés terv meghatározása, összeszerelés, tájolás, felvételi paraméterek meghatározása), reptetés.
- Irodai munka: GNSS-RTK-val mért illesztő pontok EOY koordinátáinak kimentése, UAV eszköz által készített képek letöltése és ellenőrzése, képek feldolgozása, illesztő pontok rögzítése a képeken, ortofotó generálása.

A fentebb felsorolt tevékenységek részletes bemutatását a továbbiakban fogom bemutatni.

5.1. Terepmunka

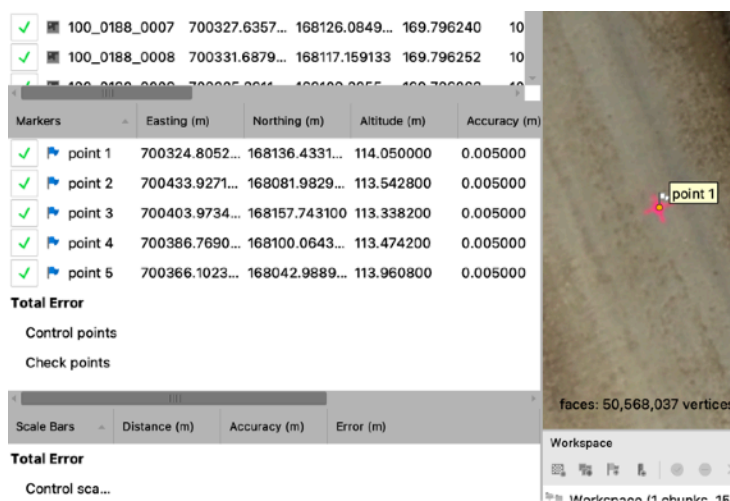
A terepszemle során feltétlen fontos megismerni a terület jellemző adottságait, mint a terület domborzati jellegzetességei, növényzet magassága, különböző terepi tárgyak elhelyezkedése és magassága (pl.: villanyvezetékek, vadász lesek, víztorony). Következő lépésben meghatározásra kerül 5 illesztő pont, amelyek a GNSS RTK rendszer segítségével kerülnek meghatározásra. Ezek a pontok későbbiekben arra fognak szolgálni, hogy az UAV által készített fotók koordinátaadatai korrigálhatók legyenek, így növelve a mérés pontosságát.

Az alábbi képeken látható, ahogy ezek kijelölésre kerültek az építés terület körül, illetve azok GNSS RTK rendszerrel történő meghatározására. Külön jel számra nincs szükség, mivel a mérést RTK rendszerrel rendelkező UAV eszközzel végezzük, így ezek a pontok a feldolgozáskor már rendelkeznek egy kevésbé pontos EOV koordinátával és ilyen módon beazonosíthatók lesznek az értékek alapján.



1. és 2. kép, GCP pontok kijelölése és bemérése (Tuza Attila)

Az alábbi képen pedig már egy ilyen kijelölt pont látható, ahogy megjelenik a már kész modellen az egyik GCP. Erről a későbbiekben kicsit részletesebb bemutatás is lesz.



3. kép, GCP pontok megjelenése a fotókon (Tuza Attila)

Praktikus okokból a terep felmérése, illetve az illesztő pontok kijelölése egyszerre is történhet, így időt takarítva meg.

Az UAV eszköz felkészítése ma már gyakorlati szempontból nem jelent bonyolult feladatot, de van néhány lépés, amiről mindenképp érdemes szót ejteni.

Olyan részleteket elhanyagolva, mint összeszerelés és akkumulátorok elhelyezése, érdemes megemlíteni az kalibrációs folyamatát. Ekkor az üzemeltető személy a eszközt vertikális és horizontális irányokba is megforgatja, mikor az eszközön fut a kalibrációs üzemmód.



4. kép, RTK kapcsolati hiba (Tuza Attila)

Erre a tevékenységre persze csak akkor van szükség, ha nincs RTK kapcsolata az eszköznek, mint ahogy az látszik is a fenti képen.

Ha rendben van a kapcsolat, akkor a kezelőpanelon erre vonatkozóan már kapunk visszajelzést, ami az alábbi képen látható.



5. kép, RTK kapcsolati hiba helyreállítva (Tuza Attila)

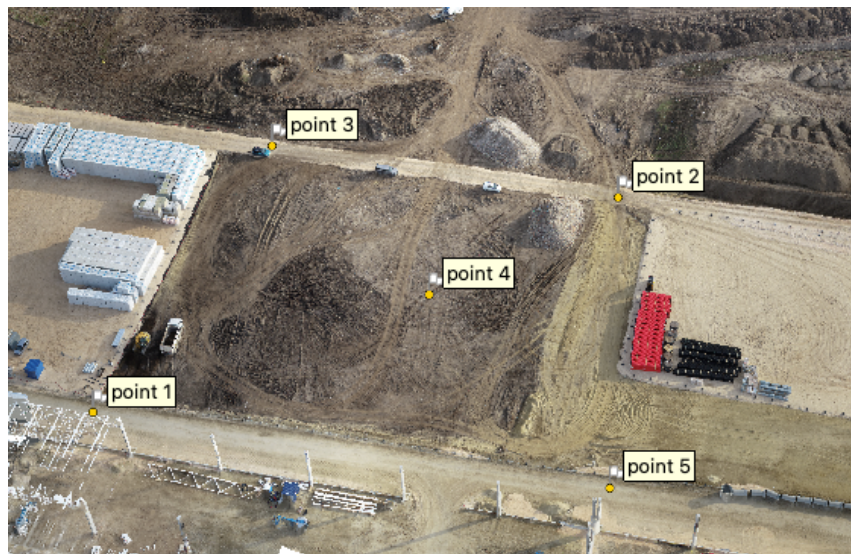
Az UAV eszköz indítás előtt szükséges egy repülési terv meghatározása, amely során beállításra kerül a magasság, illetve magának a feltérképezendő területnek a berepülési pályája. Napjainkban a pilóta nélküli repülő eszközökhöz rendszerint a gyártó biztosít valamilyen kezelő szoftvert, amelyben megtalálhatók gyárilag beprogramozott repülési tervek, így nekünk már csak a vizsgálandó terület kijelölése és a repülési magasság meghatározása a feladatunk. Tapasztalatom szerint agyártói repülési tervek kielégítő adattal fognak szolgálni a későbbi feldolgozáshoz.

Ha az előzőekben írt lépéseken túl vagyunk és minden rendben volt, akkor megkezdődhet az eszköz reptetése és területtől függően 30-60 perc elteltével vissza is tér már a területről gyűjtött adatokkal. A visszatérést követően az adatok adathordozóról való letöltést követően megkezdődhet az irodai munka.

5.2. Adatfeldolgozás

A adatfeldolgozáshoz már a fentebb említett Agisoft Metashape programját használtam ennél a feladatnál. A terep felvételezése során 154 felvétel készült 4K minőségben, azaz egy kép 3840x2160 pixelt tartalmaz, így kapva részletesebb információt a felvételezett területről.

Első lépésben a képek feltöltésre kerülnek a számítógépre. Ezt követően a MetashapePro program elindításával behívásra is kerülnek. Mivel 5 GCP került kijelölésre a területen, így ennyi Marker is kerül elhelyezésre a megfelelő fotókon. Mivel ezek a pontok több képen is látszódnak, ezért a Markereket több képen is a kijelölt pontokra kell illeszteni. Én ebben a feladatban végig mentem mind a 154 felvételen és ellenőriztem, hogy jó helyen legyenek. A GNSS RTK rendszerrel bemért eredmények berögzítésre kerülnek az 5 Marker-hez. Ezt követően lehetséges a felvételek koordináták szerinti korrigálása.



6. kép, GCP helyek a modellben (Tuza Attila)

A korrigálást követően a programnak ki lehet adni az utasítást, hogy megalkosson egy pont felhőt a képekből. Ekkor lényegében a program közös pontokat keres az egyes képek között, amelyeket aztán egy térben megjelenít. A képek koordinátái már korrigáltak, így az EOVS koordinátarendszernek megfelelő vonatkoztatási rendszerben helyezkednek el.

Reference								
Cameras		Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Yaw (°)	Pitch (°)
✓	100_0188_0001	700312.0050...	168179.172931	169.746281	10.000000	6.471930	182.700	0.000
✓	100_0188_0002	700312.3478...	168170.5337...	169.796245	10.000000	6.482534	180.300	0.100
✓	100_0188_0003	700312.517169	168160.7525...	169.796201	10.000000	6.480697	180.500	0.100
✓	100_0188_0004	700315.8345...	168152.8688...	169.796208	10.000000	6.483172	161.100	0.000
✓	100_0188_0005	700319.5547...	168143.7834...	169.786215	10.000000	6.498651	158.200	0.000
✓	100_0188_0006	700323.619411	168134.917728	169.786228	10.000000	6.504945	156.400	0.100
Markers		Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
✓	point 1	700324.8052...	168136.4331...	114.050000	0.005000	0.005171	17	0.321
✓	point 2	700433.9271...	168081.9829...	113.542800	0.005000	0.012556	25	0.470
✓	point 3	700403.9734...	168157.743100	113.338200	0.005000	0.001490	24	0.526
✓	point 4	700386.7690...	168100.0643...	113.474200	0.005000	0.019497	27	0.411
✓	point 5	700366.1023...	168042.9889...	113.960800	0.005000	0.004863	15	0.488
Total Error								
Control points						0.010866		0.452
Check points								

7. kép, korrigált pontosság (Tuza Attila)

A fenti képen látható, hogy az átlag korrekció 1 cm körül alakult, ami azt mutatja, hogy az UAV eszközünk jól volt kalibrálva, így várhatóan a modellünk és az ortofotó is megfelelő pontosságú lesz.

A fenti korrekció után következhet a fényképek összehangolása. A szoftver közös pontokat fog keresni az egyes képeken és az alábbi párbeszédpanelen megadhatjuk, hogy milyen minőséget és pontosságot várunk el.

Align Photos

General

Accuracy: Highest

☒ Generic preselection

☒ Reference preselection Source

☒ Reset current alignment

Advanced

Key point limit: 30,000

Tie point limit: 4,000

Apply masks to: None

☒ Exclude stationary tie points

☐ Guided image matching

☐ Adaptive camera model fitting

Cancel OK

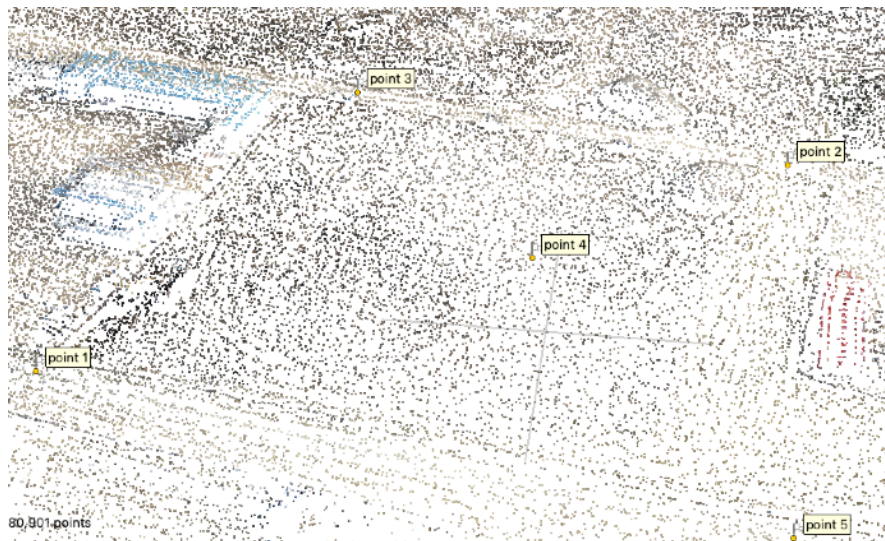
8. kép, felvételek összehangolása (Tuza Attila)

Én ebben a feladatban a programtól a legmagasabb minőséget kértem, ami azt jelenti, hogy a képeket az eredeti méretükben dolgozza fel. Kulcsponthatárnak 30.000-et vettem fel, ez azt

jelenti, hogy a programnak egy képről ennyi jellemző pontot kell figyelembe vennie. Ezzel lehet javítani az elkészítendő modell pontosságát, részletességét, de meg is növeljük a számítási idő szükségletet.

Kapcsolódási pont határnak pedig 10-et vettem, azaz azt kértem, hogy az egyes képek közt legalább ennyi közös pontot képezzen.

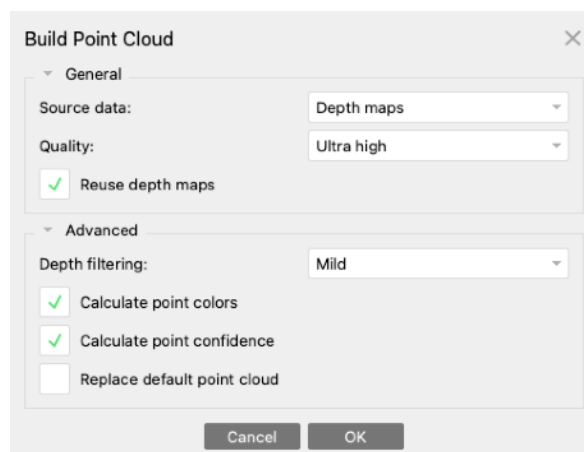
Ez a folyamat nekem ezekkel a beállításokkal nagyjából 40 percet vett igénybe és az alábbi eredményre vezetett.



9. kép, felismert közös pontok (Tuza Attila)

Tehát a szoftver 80.901 közös pontot talált a 154 felvételen, ami alapján már sejthető, hogy milyen modellt fogunk kapni.

A következő lépés egy generált pontfelhő létrehozása, amely során a képek átfedését és a pontok közti ismert távolságok alapján rekonstruálásra kerül a felvételezett környezet. Az alábbi képen látható beállításokkal került a pontfelhő generálás elvégzésre.

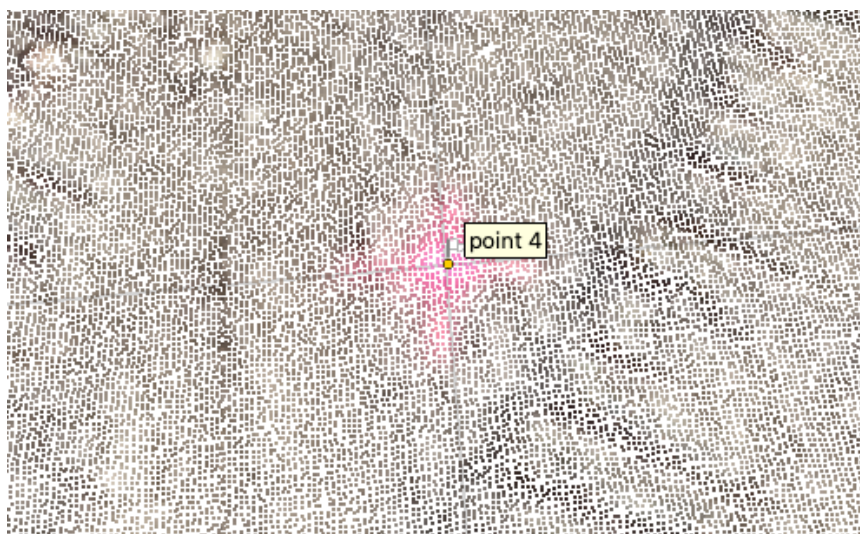


Forrásadatként a mélységi térképezést választottam, mert ebben a beállításban van lehetőség az enyhe (Mild), azaz alul áteresztő szűrő alkalmazására, amivel nagyon hatékonyan kiszűrhetők a felvételek zajossága, így egy pontosabb modellt kaphatunk. Eredményként pedig az alábbi, még mindig pontokból álló, munkaközi modellt kaptam.



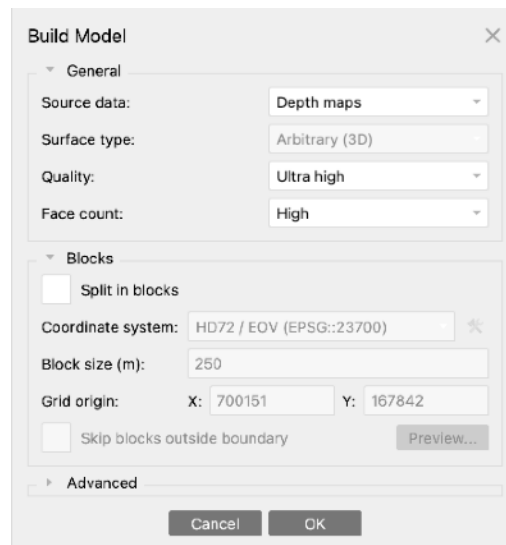
10. kép, Pontfelhő (Tuza Attila)

Bár úgy tűnhet, hogy ez már egy modell, de kellő nagyítás mellett jól kivehető, hogy ez még mindig egy pontfelhő, csak már jóval sűrűbb. A 4.15 hektáros területünk immáron 315.951.305 pontból áll. Az alábbi képen pedig ugyanerről a munkarésről egy nagyított kép látható, szemléltetve a modell pontsűrűségét.



11. kép, Pontfelhő nagyítva (Tuza Attila)

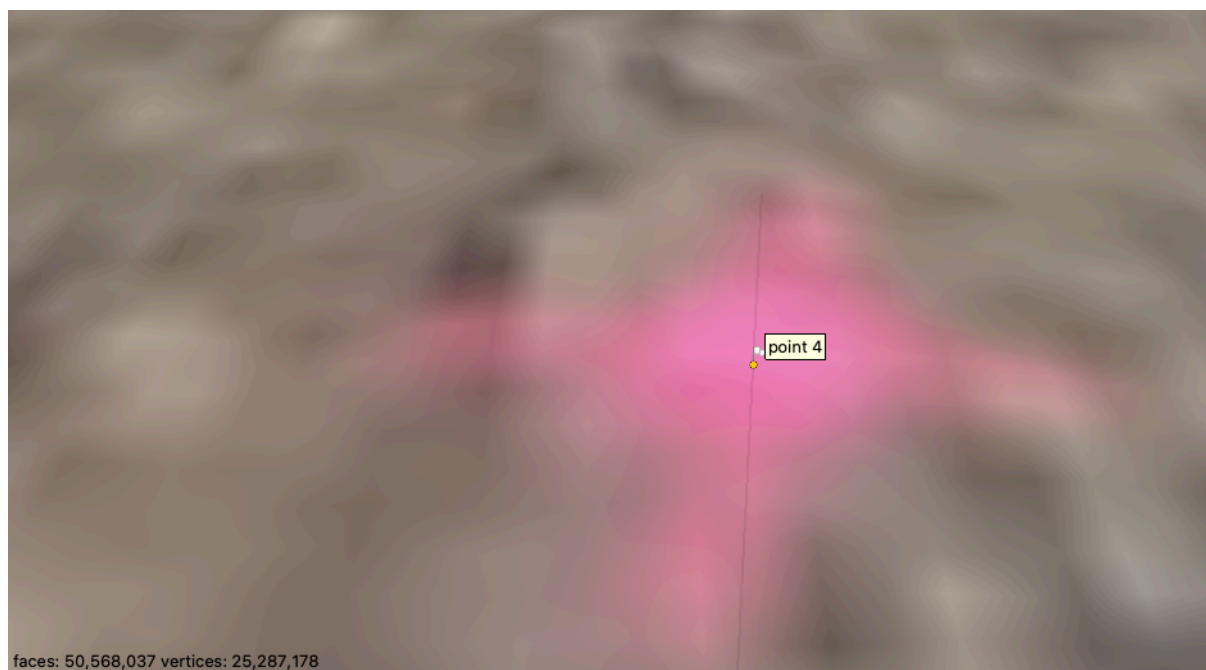
A következő lépésben pedig az alábbi képen látható beállítások mellett elkészítette a szoftver a már tényleges modellt.



12. kép, Modell generálás beállítások (Tuza Attila)

A fenti képről látható, hogy forrásadatként ismét a mélységi térképezés, nagyon magas minőségben, illetve magas sokszögszámmal került beállításra. Mindez azért került ilyen beállításra, hogy a lehető leghízelibb modell jöhessen létre. Ezzel a beállítással nagyon megnövekszik a számítási idő, esetünkben 2,5 óra, gyakorlati szempontból ezek a beállítások lehetnek túlzóak. Mivel a terület nem volt kezelhetetlenül nagy, így a blokkosítástól jelen példában eltekintettem. Az eredmény pedig az alábbi kép páron látható.





13-14. kép, Modell (Tuza Attila)

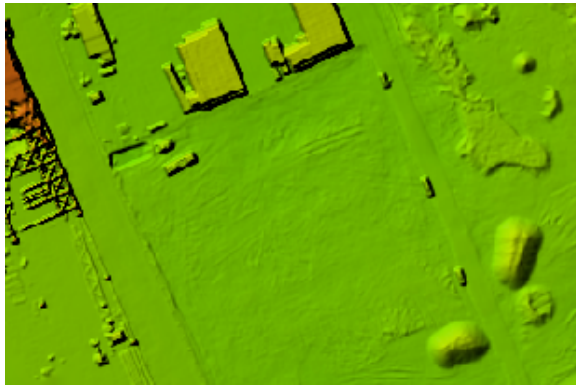
Látható, hogy itt már a modell nem esik szét pontokra, hanem egységes felületeket tartalmaz, mintegy 50.568.037 darabot, amelyeknek összesen 25.287.178 csúcsa van.

Következő lépésben elkészül a digitális domborzatmodell (DEM), amely egy olyan rácsmodell, aminek magassági értékei minden rácsában tárolva vannak és ezek az előzőekben ismertetett 5 GCP-re illesztett. Az alábbi beállításokkal került ez a funkció lefuttatásra.



12. kép, DEM Modell (Tuza Attila)

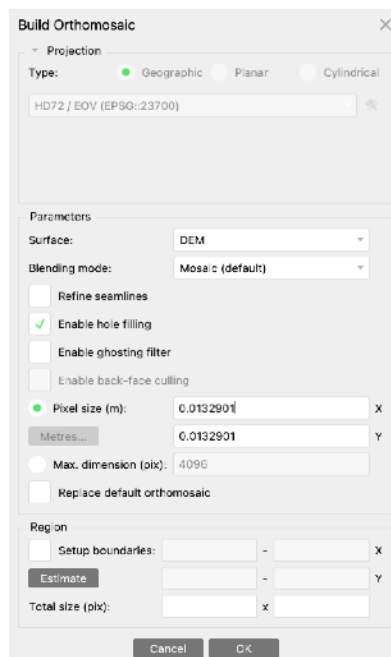
Itt a beállításokat alapértéken hagytam, tehát a pontfelhőből készült ez a modell is, illetve az érzékenységet se módosítottam, mert jelen példában ez nem volt releváns paraméter. Ha ezt az értéket kisebbre kérjük, akkor a modellben úgy lesz egyre több pixel, amivel megint csak növeljük a szükséges számítások mennyiségét és így a szükséges ráfordítandó időt is. Az eredmény pedig az alábbi képen látható.



14-15. kép, DEM Modell (Tuza Attila)

A fenti két képből jól látható, hogy ebben a modellben már jól kivehetőek a felvételezett terület magassági változásai is.

A következő lépésben pedig már elkészíthető az ortofotó, amelyre vonatkozó beállításokat az alábbi képen látható. Az ortofotó létrehozható pontfelhőből, modellből és DEM modellből.



16. kép, Ortofotó beállítás (Tuza Attila)

A fenti képen látható beállítás szerint pedig elkészítésre került az ortofotó. Mint az látható a szellemkép szűrő (Ghosting filter) ki lett kapcsolva, csupán azért, hogy a következőkben szemléltetésre kerülhessen, hogy mit okozhat ennek a funkciónak a deaktiválása.

Alább pedig az eredményről látható egy kép részlet.



17. kép, Ortofotó (Tuza Attila)

6. Analízis és eredmények

Az elkészült modellek és ortofotó alapján előállt egy olyan realisztikus modell, amelyen további mérési, tervezési munka folytatható. A feladat megoldását tekintetbe véve elmondható, hogy egy roppant gyors áttekintő képet tud adni egy építési helyszín aktuális állapotáról, nem mellesleg mindezt cm-es pontossággal. Jól látszik, hogy bár van jelentősége a felhasznált eszközök technológiai fejlettségének, de kompromisszumok elfogadásával (több ráfordított idő, lassabb munkafolyamatok) elérhetőek hasonló eredmények. A továbbiakban néhány példát kiragadva bemutatásra kerül a teljesség igénye nélkül, hogy milyen hibák léphetnek fel, illetve mire lehet használni az elkészült anyagokat.

6.1. Problémák

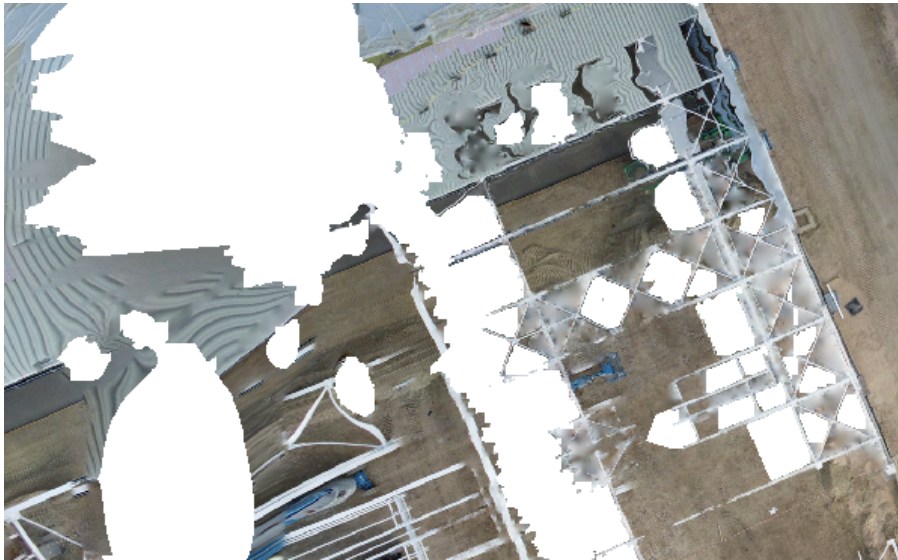
Az egyik gyakran előforduló probléma, ha valamilyen mozgó eszköz van a területen. A felvétel sorozat készítésekor a mozgó objektumok minden időpillanatban más és más helyen vannak. Erre látható példa az alábbi képen.



18. kép, Ortofotó hibajelenség (Tuza Attila)

Az alkalmazott szoftverben van lehetőség az ilyen hibák kiszűrésére, ahogy ezt fentebb írtam is, mégis fontos bemutatni ezt a problémát, mert nem feltétlen képes erre minden program és bizonyos esetekben nem is olyan nagy probléma.

A másik jellemző probléma, hogy a felvételezés szélein a modell már nem tud olyan részletességgel elkészülni, mint ahogy ez a belső részekben kialakul. Értelemszerűen ennek az az oka, hogy kevesebb is a feldolgozható anyag. Ennek a problémának kiküszöbölésére az egyik teljesen kézenfekvő megoldás, hogy oly módon kerül megválasztásra a vizsgálandó terület, hogy a modell szélei már ne legyen releváns terület.



19. kép, Ortofotó hibajelenség (Tuza Attila)

Egy következő hiba jelenség a modellben, ha valamely tárgynak függőleges vagy akár negatív takart oldala van, ekkor a felvételezés során kép hiány keletkezik, ami az alább látható.



20. kép, Modell hibajelenség (Tuza Attila)

Látható, hogy a felvételekből nem állt elő kellő mennyiségű információ, hogy a teherautó oldala leképezhető lehessen.

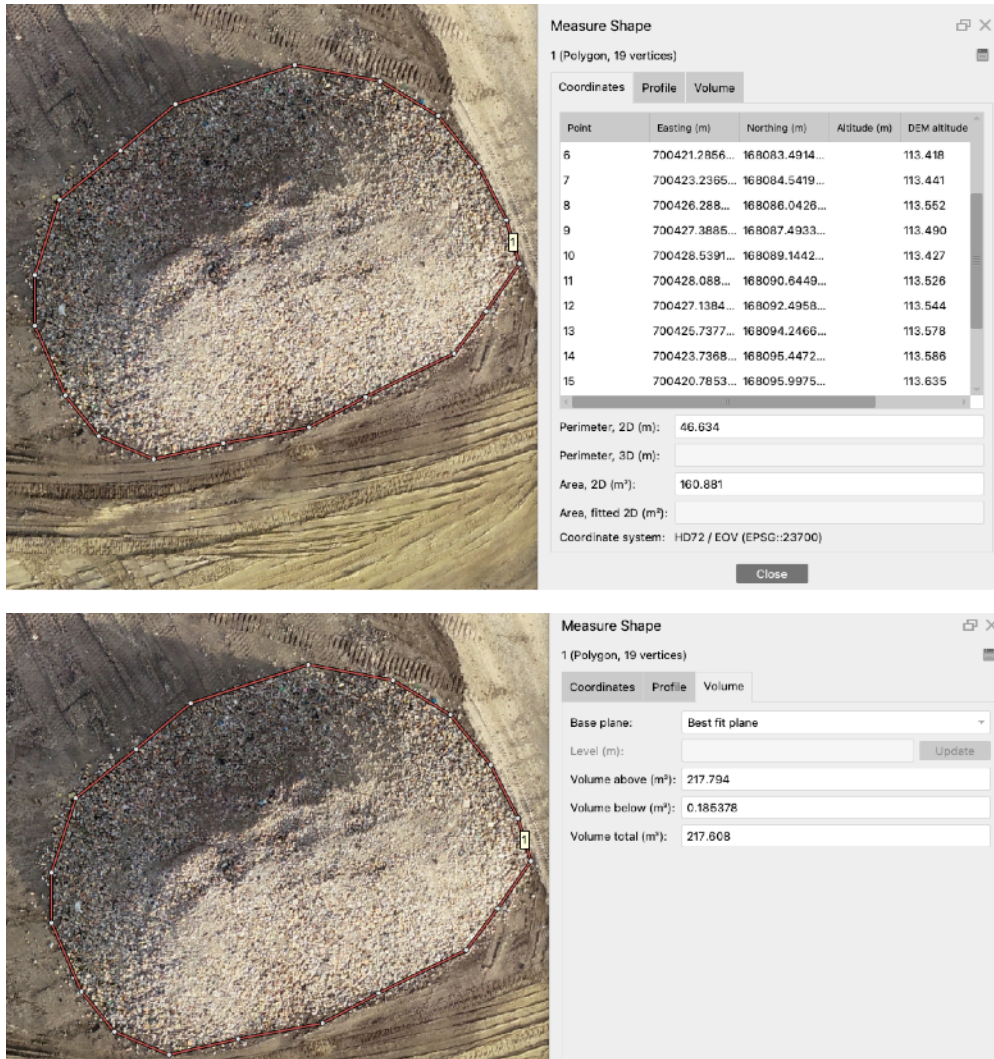
A következőben bemutatott jelenség nem feltétlen hiba, inkább csak egy kompromisszum, ami a kép részletességét érinti. Az alábbi képen látható elmosódott ember alak, abból ered, hogy az adat-feldolgozáskori beállítások mennyire voltak szigorúak.



21. kép, Modell hibajelenség (Tuza Attila)

6.2. Felhasználási lehetőségek

Kivitelezési szempontból az egyik leghasznosabb gyakorlati lehetőség a mérés. Ezeken az anyagokon nem csak hossz vagy terület mérés lehetséges, hanem térfogat is, hiszen a képeknek van magassági információ tartalma is. Alábbi képen erre vonatkozóan kerül bemutatásra egy példa.



22-23. kép, Mérési lehetőségek (Tuza Attila)

Egy másik lehetőség, hogy bizonyos anyagokat, szerkezeteket darabszám szerint leszámlázhatók. Alábbi képen bemutatásra kerül egy példa.



24. kép, Anyagok leszámlázhatósága (Tuza Attila)

Harmadik lehetőségként pedig egy elvi vázlat kerül bemutatásra, amelyen egy organizációs elrendezési részlet látható. A fotogrammetria alkalmazása hosszú ideig 500 hektárnál kisebb területek esetében nem volt költséghatékony, viszont ezzel a módszerrel már töredékére csökkennek a költségek és bizonyos vizsgálatokat specifikus szakképzettség nélkül is el lehet végezni.



25. kép, Organizáció (Tuza Attila)

7. Összegzés

A feladat egészét tekintve azt tudom megállapítani, hogy a dolgozatban bemutatott gyakorlat egy nagyon hatékony, gyors támogatást tud nyújtani nem csak, a területfelmérésben, hanem közvetlen a kivitelezési munka folyamán is. Ez a gyakorlat akár napi szinten is végezhető, ami egy építmény napi szintű változásainak lekövetésére is teljesen alkalmas bizonyos kivitelezési stádiumokban.

A feladat végrehajtása során számomra az egyik legmeghatározóbb benyomást a rendszerek alkalmazásának egyszerűsége, gyorsasága tette. Természetesen ettől még nem elhanyagolható sem a GNSS-RTK, sem az UAV eszközök magas szintű ismerete, de gyakorlati szempontból vizsgálva ezek alkalmazása a mindennapi tevékenységeket jelentősen támogathatja.

Konzultálva több olyan geodéziai feladatokat végző kollégával, akik közepes-nagy projektekből vesznek részt, arról számoltak be, hogy a nagyobb cégek már alapvetően kérik ezt a szolgáltatási csomagot az általános kitűzési és felmérési feladatok mellett. A professzionális organizációnak az ilyen szintű adatszolgáltatás ma már alapfeltétele és akik ezt már felismerték, azok élnek is a lehetőséggel.

Az iparágban már olyan lézeres épületdiagnosztikai szolgáltatások is igénybe vehetők, amelyekkel a teljesítmény alapú elszámolások ellenőrizhetőségét egy sokkal pontosabb és gyorsabb szintre emeli.

Véleményem szerint az ilyen technológiák, mint a LIDAR vagy digitális fotogrammetria a közeljövőben nagy teret fog nyerni a kivitelezésben részt vevők körében, mert nem csak időt és energiát takarítanak meg, hanem akár a műszaki munkaerőt is részben átstrukturálhatja. Mindezt tovább fokozhatja a mesterséges intelligencia térnyerése, melyet az iparágban vezető cégek előszeretettel fognak egyre inkább alkalmazni, ezzel könnyítve a felhasználói adatkezelést, illetve a pontosabb és részletesebb adatgyűjtés lehetőségét.

Ábrajegyzék

1. ábra, Stomfai féle ballonkamera (illusztráció, Bakó Gábor)	5
2. ábra, Az első űrfelvétel (USGS)	7
3. ábra, Képdőlés okozta torzulás (Geodézia, Krauter András, 2002)	9
4. ábra, Műholdas helymeghatározás vektorháromszöge (Geodézia, Krauter András, 2002)	12

Képjegyzék

Illusztráció (davinchi.ai)	1
1. és 2. kép, GCP pontok kijelölése és bemérése (Tuza Attila)	14
3. kép, GCP pontok megjelenése a fotókon (Tuza Attila)	15
4. kép, RTK kapcsolati hiba (Tuza Attila)	15
5. kép, RTK kapcsolati hiba helyreállítva (Tuza Attila)	16
6. kép, GCP helyek a modellben (Tuza Attila)	17
7. kép, korrigált pontosság (Tuza Attila)	18
8. kép, felvételek összehangolása (Tuza Attila)	18
9. kép, felismert közös pontok (Tuza Attila)	19
10. kép, Pontfelhő (Tuza Attila)	20
11. kép, Pontfelhő nagyítva (Tuza Attila)	20
12. kép, Modell generálás beállítások (Tuza Attila)	21
13-14. kép, Modell (Tuza Attila)	22
12. kép, DEM Modell (Tuza Attila)	22
14-15. kép, DEM Modell (Tuza Attila)	23
16. kép, Ortofotó beállítás (Tuza Attila)	23
17. kép, Ortofotó (Tuza Attila)	24
18. kép, Ortofotó hibajelenség (Tuza Attila)	25
19. kép, Ortofotó hibajelenség (Tuza Attila)	26
20. kép, Modell hibajelenség (Tuza Attila)	26
21. kép, Modell hibajelenség (Tuza Attila)	27
22-23. kép, Mérési lehetőségek (Tuza Attila)	28
24. kép, Anyagok leszámolhatósága (Tuza Attila)	29
25. kép, Organizáció (Tuza Attila)	29

Irodalomjegyzék

- Geodézia (Krauter András, 2002)
- Geodéziai alapismeretek (Dr. Tokody András - Kovács Zoltán, 2004)
- Geomatikai ismeretek (Dr. Bányai László, 2007)
- Fotogrammetria és távérzékelés (dr. Domokos Györgyné, 1983)
- A fotogrammetria legújabb eljárásai és műszerei (Dr, Bezzegh László, 1972)
- Térfotogrammetria (Dr, Gebry János, 1972)
- Passzív légi távérzékelési szolgáltatások segédlete (OE AMK GEO, 2020)
- Fotogrammetria és távérzékelés (Bácsatyi László - Márkus István, 2001)
- Fotogrammetria 11.: Térfotogrammetriai műszerek (Dr. Engler Péter, 2010)
- Fotogrammetria 12.: Digitális fotogrammetria (Dr. Jancsó Tamás, 2010)
- Fotogrammetria 14.: Általános fotogrammetriai technológia (Dr. Barsi Árpád, 2010)
- Geoinformatika - elektronikus jegyzet (Czimber Kornél, 2001) ([Webcím](#))
- National Geographic - A légi térképészet 100 éve, ([Webcím](#))
- UAV Systems - A History of drones, ([Webcím](#))
- ChatGPT - Tanulmány előkészítés, ([Webcím](#))
- ChatGPT - GNSS-RTK, pontfelhő információk ([Webcím](#))