



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT

Lever arm meghatározási módszerek összehasonlítása a légiháromszögelés pontossága szempontjából

OE-AMK

2022

Hallgató neve: Krausz Ágnes

Hallgató törzskönyvi száma: T000564/FI12904/A-G



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Krausz Ágnes

Szakdolgozat száma: SZD21120814223037

Törzskönyvi száma: T000564/FI12904/A-G

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: földmérő és földrendező mérnök

Specializáció: Geoinformatika specializáció

A dolgozat címe: Lever arm meghatározási módszerek összehasonlítása a légiháromszögelés pontossága szempontjából

A dolgozat címe angolul: Comparison of Lever Arm Determination Methods in Terms of Aerial Triangulation Accuracy

A feladat részletezése:

Ismertesse a lever arm mérés jelentőségét a nagygépes légifényképezési munkák végtermékei szempontjából. Mutassa be, milyen módokon határozható meg ez a paraméter. Végezzen lever arm meghatározást különböző módszerekkel (hagyományos mérőállomás, lézerszkennelés), majd egy mintaprojekten hasonlítsa össze a felhasználásukkal elvégzett légiháromszögelések eredményeit. Munkáját foglalja össze egy részletes műszaki leírásban.

Intézményi konzulens neve: László Gergely Tibor

A kiadott téma elévülési határideje: 2024. 12. 15.

Beadási határidő: 2022. 12. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2022. 10. 05.

P.H.


Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom: 2022. 12. 15.



belső konzulens

.....
külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

HALLGATÓI NYILATKOZAT

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

Kelt: Dunaújváros, 2022.12.12.

Krausz Ágnes
.....
hallgató aláírása

Tartalom

1	Bevezetés	5
2	Probléma ismertetése, elméleti áttekintés	6
3	Vizsgálathoz használt technológiák bemutatása	9
3.1	Mérőállomások.....	9
3.2	Lézerszkennerek és működési elvük.....	10
3.2.1	Lézerszkennerek típusai.....	10
3.2.2	Műszer hibák.....	11
3.2.3	Természeti viszonyok által okozott hibák:	12
3.2.4	Mért objektummal kapcsolatos hibák	12
3.2.5	Lézerszkennelés alkalmazási területei	12
4	Vizsgált repülőgépek	14
5	Első vizsgálat	15
5.1	Lever arm mérés mérőállomás segítségével	16
5.2	Feldolgozás hagyományos, geometriai módszerrel	20
5.3	Lever arm mérés lézerszkennerral	21
5.4	A mért lever arm hatása a légi háromszögelési eredményekre	32
6	Tanulságok az első mérések után.....	38
7	Második vizsgálat	39
7.1	Eredmények bemutatása és értékelése	46
8	Következtetések, összefoglalás.....	53
9	Summary.....	55
10	Irodalomjegyzék	57

1 Bevezetés

A témám kiválasztásában nagy szerepet játszott a konzulensem, László Gergely. Elsőkörben őt választottam ki, majd a felkínált témák és néhány konzultáció után erre az egyszerre mérnökgeodéziai és távérzékelési témára esett a választásom, mivel úgy véltem, ennek kidolgozása során több témakört is lehet érinteni. A szakmai gyakorlatomat is egy hasonló profilú debreceni székhelyű cégnél töltöttem, akik drónos felmérésekkel, nagygépes légifotogrammetriával, LIDAR felmérésekkel, valamint űrtávérzékeléssel foglalkoznak. Az itt töltött idő alatt valós termelési igényeket kiszolgáló mérési feladatokkal ismerkedtem meg, kutatás-fejlesztési irányba is elkanyarodva kicsit, melynek során azt vizsgáltuk, hogy vajon jobb-e a lézerszkennelés eredménye a mérőállomásos mérésnél lever arm meghatározásra.

A légi távérzékelés segítségével, különösen, ha nagy repülőgépes-felmérésekről beszélünk, rövid idő alatt nagy mennyiségű információt gyűjthetünk nagy területről. Annak érdekében, hogy az így kapott fotó alapú (fotogrammetriai) adatokat mérnöki célokra felhasználhassuk, fontos biztosítani azok pontosságát. Ennek egyik összetevője a megfelelően pontos kameramodell mellett a fényképek 3D-s-, és térbeli helyzetének nagy pontosságú ismerete. Ezek ismeretében légi háromszögelést végezhetünk. Mivel ezeket az adatokat nem lehet közvetlenül mérni, ismernünk kell a mérőeszközök (GNSS/IMU) excentricitásvektorait a kamerák fő pontjaihoz képest. Az alábbiakban megvizsgáljuk a különböző mérési módszerek (mérnökgeodézia, lézerszkennelés) pontosságának hatását a légi háromszögelés eredményeire.

2 Probléma ismertetése, elméleti áttekintés

A távérzékelést akkor használjuk adatgyűjtésre, ha nem tudunk vagy nem akarunk közvetlenül a felméréndő területen dolgozni. Annak érdekében, hogy a terepi mérések nagy része helyettesíthető legyen, fontos, hogy a távolról érzékelt adatok pontossága ne maradjon el a helyszíni adatgyűjtési eljárásoknál rendelkezésre álló pontosságtól. Ennek a szempontnak a teljesítéséhez a távolról érzékelt adatainknak több kritériumnak is meg kell felelniük. Például megfelelőek, ha a következők ismertek:

- földi mintavételezési távolsága (GSD)
- a végtermék igényeitől függően, a képek megfelelő átfedésben van egymáshoz képest
- az szenzorok paraméterei kellő pontossággal ismertek
- az adatgyűjtési helyek koordinátáit, amelyeket nagy pontossággal határoztak meg, valamint az összegyűjtött felvételek térbeli állása ismert valamilyen adott vonatkoztatási rendszerben, a kijelölt irányhoz képest
- és természetesen a megfelelőek adatgyűjtési feltételek

Ha fotó alapú légi távérzékelésről beszélünk, akkor a mérőkamera paramétereinek (belső tájékozási elemek: pixelméret, szenzorméret, fókusztávolság, főpont koordináták, torzítási paraméterek), topográfiai ismeretével és a megfelelő repülési magasság kiszámításával tudjuk biztosítani a kívánt felbontást.

A szükséges kameraparaméterek egy részét (pixelméret milliméterben, szenzorméret, névleges fókusztávolság) a kamera és az objektív típusa határozza meg, míg a többi (főpont koordinátái, tényleges fókusztávolság, torzítási paraméterek a kamera kalibrálását igénylik).

Ahhoz, hogy az adatgyűjtést a szükséges átfedéssel tervezhessük, a végtermék felhasználási módja (pl.: ortofotó, true-orto) mellett, amely meghatározza az alkalmazandó átfedés mértékét, szükségünk van a kameraérzékelő kalibrált paramétereire és az előzőleg kiszámított repülési magasságra is.

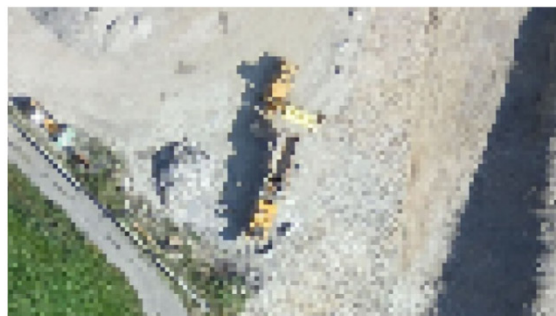
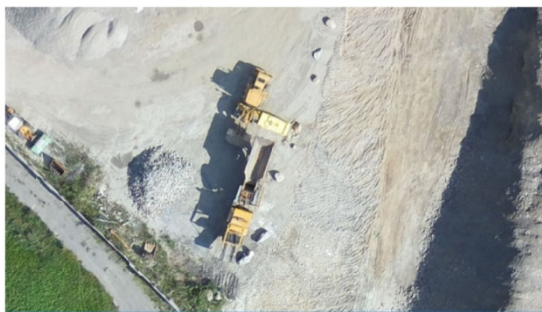
Megfelelő adatgyűjtési feltételek akkor érhetők el, ha a célnak megfelelő érzékelőt ideális környezeti feltételek mellett (időjárás, napszak) használják.

Az adatgyűjtési helyek ismerete azért fontos, mert a fotogrammetriában - vagy bármilyen távérzékelési eljárásban - az alapvető feladat az, hogy a felvételek képkoordinátáiból terepi koordinátákat tudjunk előállítani, így lehetővé téve a mérések elvégzését. Ehhez pontosan meg kell határoznunk, hogy a kamera vetítési központja hol helyezkedett el a térben (egy adott vetületben értelmezve) a felvétel időpontjában. Ha ismerjük a képsík tájolását is, akkor ismerjük az összes külső tájékozási elemet $(x,y,z;\omega,\phi,\kappa)$ annak érdekében, hogy koordináta-számításokat végezzünk apixel koordinátából.

A fenti ponttal az a probléma, hogy a külső tájékozási elemeket csak közvetve, külön érzékelőkkel (GPS, IMU) lehet meghatározni, nem közvetlenül a vetítési központban vagy a képsíkban, így a mért értékeket mindig külpontosság terheli. Kisebb, kompaktabb rendszerek, például UAV felmérési rendszerek esetében ezeket az excentricitásvektorokat a gyártó határozza meg és teszi közzé, de a nagyobb formátumú légi felvételek esetében, különösen, ha a szenzorok konfigurációja gyakran változik, ezeket rendszeresen meg kell határozni és ellenőrizni kell.

Ebben a dolgozatban bemutatom az excentricitásvektorok meghatározásának hagyományos, geometriai módját, kétféle módszerrel, lézerszkennelési és mérnökgeodéziai eljárással.

A földi mintavételi távolság (GSD) a fenti bekezdésekben többször előforduló fogalom, melyet mindenképpen fontos tisztázni. A GSD a földön mért két egymást követő képpont középpontja közötti távolság. Az 5 centiméteres GSD például azt jelenti, hogy a kép egy pixele 5 lineáris centimétert jelent a földön. Ugyanez a pixel 25 négyzetcentimétert (5x5 centimétert) fed le. A magas GSD-vel rendelkező projektek kevesebb látható részlettel rendelkeznek. Szélsőséges esetekben a projekt úgy nézhet ki, mint egy régi videojáték. (1. ábra) [1.]



1. ábra GSD vizuális különbségek. A bal oldali képen a GSD 5 centiméter, a jobb oldalin 30 centiméter.

A GSD-t befolyásolja a repülési magasság és a kamera specifikációi. Az alacsonyabb magasság ugyanazzal a kamerával alacsonyabb talajminta-távolságot és részletesebb kimeneteket jelent.

Az alacsonyabb repülés azonban azt jelenti, hogy több időre (és üzemanyagra vagy akkumulátorra) van szükség ugyanazon terület felméréséhez. A terep különbségei és a kameraállás változásai azt jelentik, hogy az ugyanabban a projektben lévő képek különböző GSD-kkel rendelkezhetnek [8.].

3 Vizsgálathoz használt technológiák bemutatása

A lever arm meghatározásra két különböző mérési technológiát alkalmaztunk, a hagyományos mérnökgeodéziai, mérőállomásos módszer, illetve lézerszkennelést, mely ugyan úgy szög- és távmérésen alapul, de más megközelítést használ az adatgyűjtésre. A következőkben ez a két technológia kerül röviden bemutatásra.

3.1 Mérőállomások

A mérőállomás egy elektromos és digitális működtetésű földmérési eszköz, melyet méréshez és felmérési munkához használnak.

A mérőállomás főbb összetevői, funkciói:

- elektronikus távolságmérő (EDM)
- mikroprocesszor
- elektronikus adatgyűjtő és- tároló rendszer
- billentyűzet
- adatgyűjtő: ez gyűjti és tárolja az információkat vagy észleléseket (szög és távolság adatokat)
- reflektorok: ez a mérőállomás legalapvetőbb funkciója; a reflektor egy megfelelően megépített fényvisszanyerő prizmat tartalmaz, amely négyzet-, vagy egyéb geometriai formájú elemekből áll
- szoftver (mérés vezérlésre, tárolásra, számításra, megjelenítésre stb)

Előnyei:

- könnyen használható, egyszerre tudjuk mérni a ferde távolságot és megfelelő beállítások mellett azoknak vízszintes vetületét, így több időt fordíthatunk alapvető tervezési kérdésekre
- Gyorsan és kényelmesen beállítható, egy állásontról több felmérést is tudunk vele végezni
- Megkönnyíti a terepi munkákat, és segítségével a kézi hibák kiküszöbölhetők
- A koordináták gyorsan és pontosan kiszámolhatóak. [2.] [3.]

3.2 Lézerszkennerek és működési elvük

Lézerszkenneléssel valós tárgyak digitális képét tudjuk létrehozni. Ez a mérnöki folyamatok invertálása. Működési elve alapján a mostani mérőállomásokhoz lehet hasonlítani. Eleinte különböző geodéziai munkákhoz használták (útépítések, bányászat), majd a későbbiekben már örökségvédelem céljából is használták (barlang felmérések, örökségvédelem).

A mérés elve a LIDAR, amelynek jelentése: Light Detection and Ranging. Ez egy aktív távérzékelési rendszer, ami hasonlóan működik, mint a radar. Időbeli különbséget számol a kibocsátott és visszavert jelek között. A távolság meghatározásához szükség van a hullámhossz és az idő ismeretére.

3.2.1 Lézerszkennerek típusai

Típusát tekintve többféle is lehet, a különböző változatokkal más-más módon tudunk távolságot meghatározni. Ezek a következők:

- Időméréses távmérés: A lézerrel történő méréshez impulzus alapú jel szükséges. A távolság kiszámításához a kibocsátott és visszavert jel időkülönbsége szükséges.
- Fázisméréses távmérés: Itt a távolság értelmezéséhez szükség van a kimenő és a visszaverődött jelek fáziskülönbségére.

A műszer helyzete alapján megkülönböztetünk:

- Dinamikus lézerszkennelés: A műszer a mérés közben mozog, vagyis egy olyan járművön található, ami mozgásban van. Különböző helymeghatározó szenzorok is szükségesek a méréshez.
- Statikus lézerszkennelés: A szkennerek a mérés folyamán mozdulatlan.
- Lézerszkennelés hibái

A műszergyártó cégek fel szokták tüntetni az adott műszerek pontosságát, viszont ahogy telnek az évek, ezek a számok romolhatnak, karbantartási, kalibrálási, gyártási és műszerhasználati okokból kifolyólag.

A mérés közben más-más hibák is felléphetnek, mint például a műszer hibák, a természeti viszonyok miatti hibák, a mért objektum által okozott hibák, valamint a mérési módszer használatából fakadó hibák.

3.2.2 Műszer hibák

A műszer felépítéséből eredő hibáknak két csoportja van:

- Szabályos hiba: Szabályos hibánál a hiba számértéke általában állandó, a hiba mértékét mérési módszerrel csökkenteni tudjuk, vagy akár teljesen ki is küszöbölni.
- Szabálytalan hiba: A mérést egymás után többször megismételve az előjel és a nagyság is szabálytalan.

A műszerhibák:

- A lézerre jellemző, hogy a kibocsátott fény divergensen terjed, ami azt jelenti, hogy a mérőjel nagysága távolság arányosan nő. Ezzel együtt a mért távolság bizonytalansága is, mivel elképzelhető, hogy a mérőjel által lefedett terület egyes részei különböző távolságra vannak a műszertől.
- Az egyik mérési hiba, amikor a mérőjel valamilyen objektumnak az élén „kettéválk”, és távolságmérési eredményt kapunk az élre és a tovább haladó mérőjeltől adódóan a mögötte található objektumra is. Ezt a jelenséget többutas terjedésnek nevezzük.

A mérési módszer kiválasztásából is eredhetnek hibák, ha például rosszul választjuk ki az álláspontot, vagy nem megfelelő paraméterű műszert használunk. Ha túl nagy távolságra mérünk, a távolság arányos hibák meghatározóbbak lesznek.

Származhat még hiba abból is, ha nagyobb felbontást állítunk be, mint a műszer pontossága, valamint a feldolgozás módszeréből is.

3.2.3 Természeti viszonyok által okozott hibák:

- hőmérséklet: A jel-zaj arány megnő, ha magas hőmérsékletű objektumot szkennelünk
- atmoszférikus tényezők: A műszerünk pontossága csak egy adott légköri tartományban biztosított, és csökkenhet a távmérés pontossága
- erős fényforrás: Interferencia léphet fel, amennyiben a mérés irányában erős fényforrás található. Ilyen esetben szűrőket alkalmazunk.
- elmozdulásból származó hibák: Amikor felállítjuk a műszert, számolnunk kell azzal, hogy az laza talajon megsüllyedhet.

3.2.4 Mért objektummal kapcsolatos hibák

Ide soroljuk a szkennelt felületek anyagával kapcsolatos hibákat. Ilyen például a diffúz visszaverődés, amikor a jel több irányba is szóródhat. A nagy visszaverődésű felületeknél megjelenhet a tükröződés jelensége.

Ide tartoznak még a fénytani felületi áteresztő felületek, mint például a márványszerű anyagok, melyekről több pontból is verődhet vissza jel.

3.2.5 Lézerszkennelés alkalmazási területei

Napjainkban a lézerszkennelést már nem csak mérnöki és geodéziai feladatokra használják, egyre szélesebb körben kezd elterjedni más iparágakban is. Olyan feladatok elvégzésére alkalmas, melyek pontosságot és megbízhatóságot igényelnek. Ilyenek például a műemlékvédelmet és örökségvédelmet érintő munkák, valamint a barlangok felmérése.

Lézerszkennerek felhasználása				
<u>Dinamikus Lézerszkennelés</u>		<u>Statikus Lézerszkennelés</u>		
Utak/Útvonalak	Mobil távérzékelés	Nagy távolságú (150m-1 km)	Közepes távolságú (1-150m)	Közel (0,5-2m)
		Város modellezés	Létesítmény	Gyógyászat
		Bányászat	Ipar	Rendőrség
		Monitoroz	Földmérés	Visszafele tervezés
			Geológia	Test szkennelés
			Régészet	
			Kulturális Örökségek	

4 Vizsgált repülőgépek

A cégnél, ahol a szakmai gyakorlatom töltöttem, nagygépes légi távérzékelési feladatokhoz két repülőgépet használnak.

- Cessna 206 Stationair lajstromszám: HA-SVA (2. ábra) [6.]

A Cessna 206 Stationair néven ismert repülőgépet az 1960-as évektől gyártották egészen a 80-as évek végéig. Egy rögzített futóművel rendelkezik. Erős motor van beleépítve, a kabin tágas, ezért viszonylag népszerűvé vált a hasonló típusú repülőgépek között. Kevés más típus rendelkezik ilyen sebesség, magasság és terhelhetőségi paraméterekkel. Légi fényképezési feladatokra kiválóan alkalmas, mivel méretei miatt nagyon változatos konfigurációban lehet bele szenzorokat telepíteni és kis magasságú (3000 méterig) repülésekhez gazdaságosan üzemeltethető.

- Piper PA-23-250 Aztec lajstromszám: HA-YCG (3. ábra) [7.]

A Piper PA-23-250 repülőgép először az Apache nevet kapta, majd ezt keresztelték át Aztec-ra. Amerikai gyártású, kétmotoros, könnyű gép, általános repülési piacra tervezték. Régebben az Egyesült Államok katonai erői és haditengerészete is használta. Az 1950-es évektől egészen a 80-as évekig gyártották. A Piper típusú gépek közül ez volt az első kéthajtóműves repülőgép. A később gyártott modellek turbófeltöltős változatai nagyobb magasságban is repülhettek. Ez utóbbi tulajdonsága miatt jó választás lehet a fent bemutatott Cessna típus mellé, így amennyiben a személyzet számára az oxigénellátás biztosított, nagyobb magasságból is tud felméréseket végezni. A két hajtóműves típusok előnye a fotogrammetriában abban is megmutatkozik, hogy nagyobb energiaigényű berendezések alkalmazására is képessé teszik őket.



2. ábra Cessna 206 StationAir



3. ábra Piper PA-23-250 Aztec

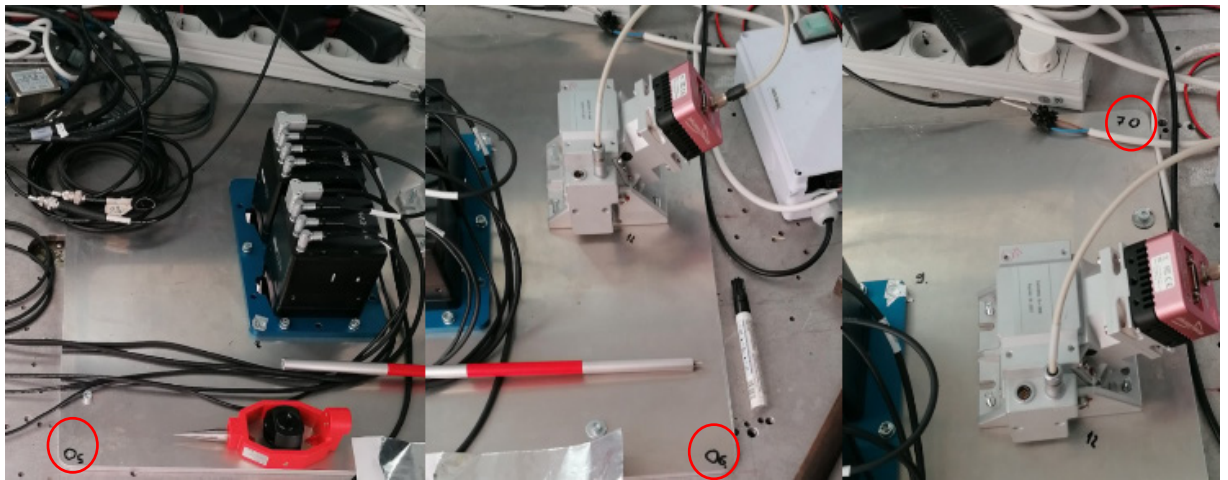
5 Első vizsgálat

A vizsgálat tárgyául a két repülőgép közül a Cessnát választottuk, mivel a mérések szempontjából ennek van előnyösebb kialakítása. A méréseket a két módszerrel két külön időpontban végeztük el. A méréséről és annak eredményeiről az alábbiakban írunk részletesen.

5.1 Lever arm mérés mérőállomás segítségével

A mérést akkor tudjuk elvégezni, amikor az érzékelőket a repülőgépbe telepítik. A mérést mérnökgeodéziai módszerrel végezzük, jellemzően mérőállomással. Az excentricitásvektorok és a forgásszögek megfelelő értelmezéséhez az érzékelőkön kívül egy referenciasíkot és egy referenciairányt is meg kell mérni. Esetünkben a referenciasík az érzékelőket tartó alaplemez volt, míg az irány a törzs hossz tengelye volt. Összességében a következő pontokat mérjük:

- az alaplemez, három ponttal (A, B, C furatok) (4. ábra)



4. ábra Pontok a lemezen, furatok: A, B és C pont

- sík hossz tengelye, két ponttal (t1, t2) (5. ábra)



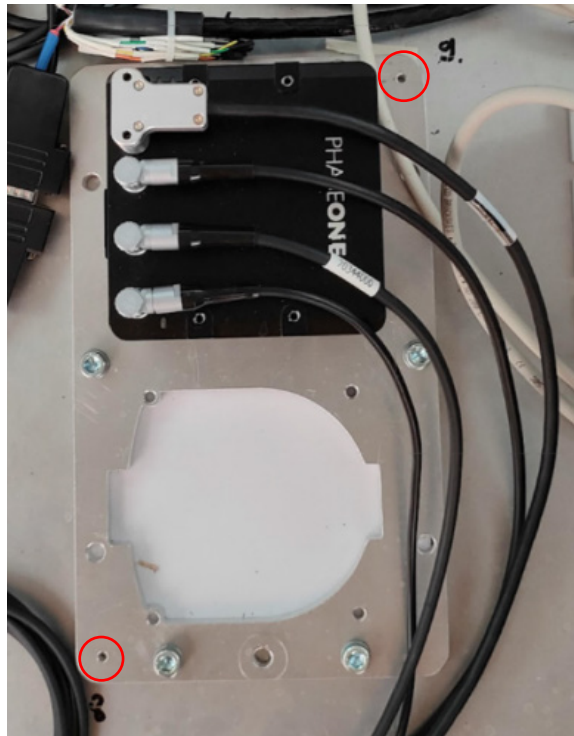
5. ábra Pontok a repülőn, a tengelyvonal végpontjai

- inerciális mérőegység, típustól függően, egy vagy két ponttal (IMU) (6. ábra)



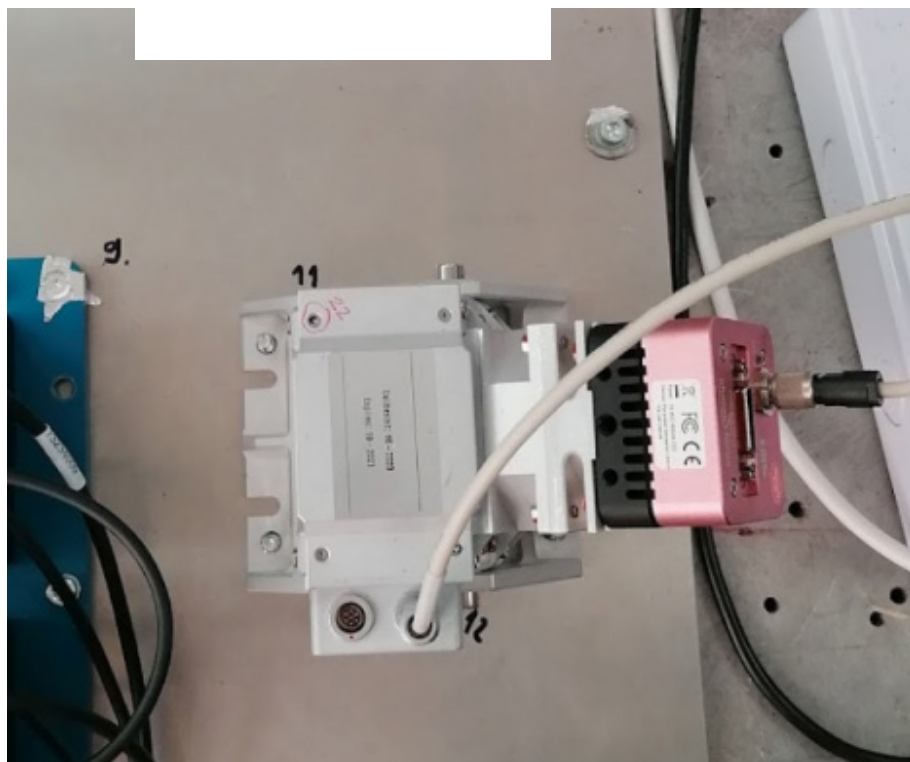
6. ábra Pont az IMU-n

- kamera (rögzítő keret), két ponttal (CPH1, CPH2) (7. ábra)



7. ábra A kamera pontjai

- hiperspektrális kamera, két ponttal (HS1, HS2) (8. ábra)



8. ábra Pontok a Hyper-en

- két GPS antenna, egy-egy ponttal (ant1, ant2) (9. ábra)



9. ábra Az antenna pontjai

A mérés során a műszerrel a gép mellett állunk úgy, hogy a külső és a belső pontok egyszerre legyenek láthatóak, öt fordulóban, kitámasztott miniprizmával, szükség esetén 300 mm-es hosszabbító rúddal.

5.2 Feldolgozás hagyományos, geometriai módszerrel

A feldolgozást az öt fordulós mérés átlagolásával kezdjük. Így, ha bármikor hibát tapasztalunk a mérési eredményekben, lehetőségünk van az ilyen értékek eltávolítására.

Az így kapott koordináta-listát pontról pontra importáljuk az AutoCAD programba, majd a könnyebb munka érdekében a pontok mellé pontszámokkal ellátott címkéket is helyezünk, majd rétegekiosztással csoportosítjuk őket.

A sík pontjainak összekapcsolásával létrehozunk egy lemezt, majd a tengelypontokat is összekötjük, hogy referenciavonalként használhassuk őket.

Felhasználói koordináta-rendszert hozunk létre úgy, hogy az XY sík tartalmazza az alaplemez síkját, és az origó egybeesik az egyik mért furattal (pl. A pont).

Ezután a tengelyvonalat a középpontjával az origóhoz mozgatjuk, majd a kezdő és a végpontját az XY síkba forgatjuk a Z koordináták nullázásával.

A következő lépésben elforgatjuk a + X tengelyt a repülőgép tengelyének irányába úgy, hogy az a légcsavar felé nézzen.

A mért IMU-pontok és a rendelkezésre álló műszaki rajzok segítségével kiszámoljuk, majd megrajzoljuk az IMU referenciapontját, amelyre az origót ismételt koordináta-rendszer-eltolódással mozgatjuk.

Ebben a végső, irányított referenciarendszerben a mért szenzorpontok alapján, a tervrajzok és a 3D modellek méreteinek felhasználásával meghatározzuk a kamera fókuszpontjainak helyzetét.

Utolsó lépésként a transzformált pontok X, Y, Z koordinátáit manuálisan olvassuk be pontról pontra, és rögzítjük egy koordináta-listában, amely felhasználható a pályafeldolgozás elvégzésére.

5.3 Lever arm mérés lézerszkennerral

A lézerszkenneres mérés alapvetően abban különbözik a hagyományos geodéziai felmérésektől, hogy míg az utóbbi a kiválasztott pontokat méri, a szkenneléssel csak arra van lehetőségünk, hogy kiválasszuk, melyik álláspontról és a tér melyik részéből szeretnénk mérni, és a szükséges pontok kiválasztása csak a feldolgozás során végezhető el.

A mérés tervezése is más, mert szerkezete miatt szinte lehetetlen egy repülőgépet közvetlenül egy pozícióból mérni oly módon, hogy a tetején elhelyezett GNSS-antennák és a feladat szempontjából rendkívül fontos érzékelők láthatóak legyenek, ezért a mérést normál esetben legalább két pozícióból kell elvégezni, az egyik az, hogy nagy magasságúnak kell lennie, viszonylag közel a síkhoz, amint azt a lentebb látható kép mutatja. (10. ábra)



10. ábra Mérés emelt állásból

A repülőgép belsejének mérésekor a szkennert más megközelítéssel kell beállítani, mint egy mérőállomást, mert itt is fontos, hogy a szenzorok a lehető legjobban láthatóak legyenek a pontfelhőn, hogy geometriájuk a lehető legpontosabban meghatározható legyen a jellemző pontok kiszámításához. Ez az utolsó pont azért különösen fontos, mert míg egy mérőállomás egy prizma toldalék felemelésével képes mérni egy pontot takarásban (pl. egy furat lyukban), addig ezeket a pontokat csak közvetetten lehet meghatározni a szkennelés során, a környező pontfelhőpontok alapján.

A második mérési alkalommal, megpróbáltuk egy állásponttól felmérni a repülőgépet, ötvözve a mérőállomásos és lézerszkenneres felmérési eljárásokat. Miután elvégeztük a referencia mérést mérőállomással, ugyan azon az állásponton, kényszerközpontosan helyeztük el a lézerszkennert. Mivel a pontok egy jelentős része így takarásba került, prizmákat helyeztünk rajtuk. Sajnos a prizmák száma nem érte el a takart pontok számát, így adott állásponttól többször szkenneltünk, mindig azt a részt, ahova átraktuk a prizmákat, így értük el azt, hogy a végleges pontfelhőben az összes pont vagy közvetlenül, vagy közvetetten meghatározható legyen.

A szkennelés felbontását 1x1 mm-re állítottuk a repülőgépmérendő részének legtávolabbi pontjára értelmezve. A mérés után fényképeket is készítettek a pontfelhő későbbi valósághű színezéséhez.

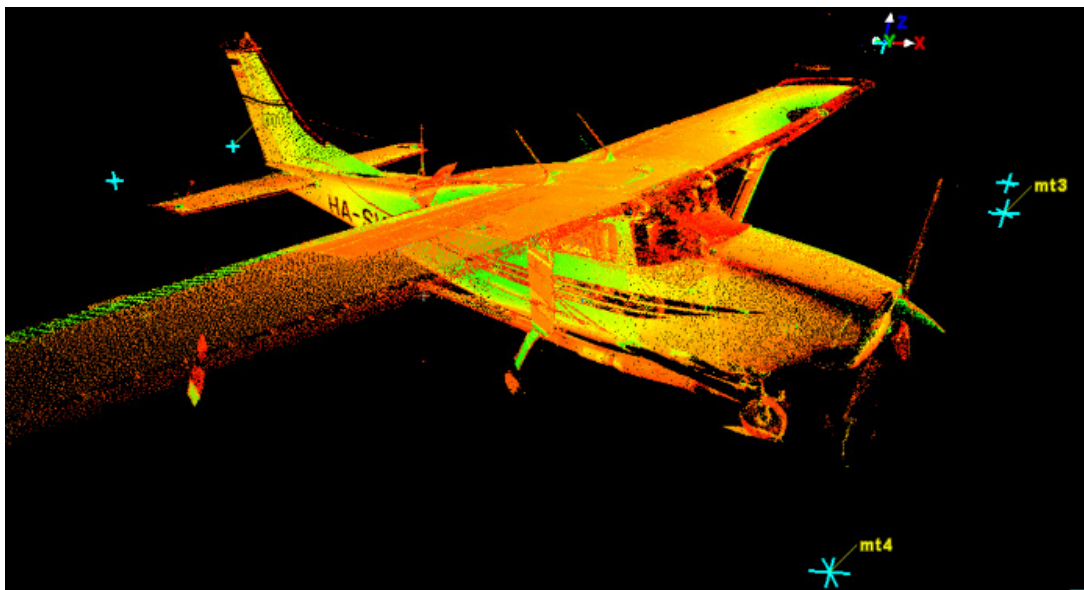
A mérés utáni első lépés az adatok importálása volt a feldolgozáshoz használt programba (Leica Cyclone). Mivel az első alkalommal a gépet nem egy álláspontból mértük fel, az állomáspontokat egymáshoz kellett transzformálni. Ehhez a mérés során jeltárcsákat használtunk, amelyeket a program felismer és automatikusan referenciapontként használhat a művelethez, a lépés ellenőrzési lehetőséget is biztosít, melyből láthatjuk, hogy milyen pontossággal történt a relatív illesztés. A pontfelhőt (11. ábra) 1-3 mm közötti átlagos hibával illesztettük a jeltárcsákhoz, míg a pontfelhők közötti automatikus pontegyeztetési eljárás a következő eredményeket adta:

- Átfedési pontok száma: 244133
- Átfedési hibastatisztikák
- Tartalomjegyzék: 0,00849298 m

- Átlag: 0,00400456 m
- MIN: 5.20021e-07 m
- Max: 0,0938572 m

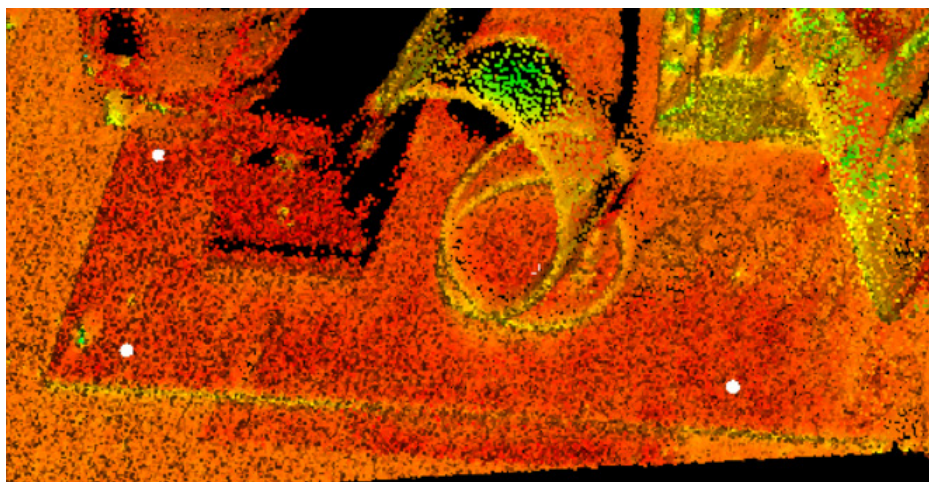
Az eredmények megegyeznek a műszer specifikációi által megadott várható értékekkel, és jelzik a mérési technológia megbízhatóságát körülbelül 4 mm-re ezeknél a beállításoknál.

A pontfelhő relatív tájékozását koordinátamérés követte. Ezt úgy tettük, hogy miután azonosítottuk a mérendő pontok helyét, a közvetlen környezetükkel együtt leválogattuk őket, majd a lehető legnagyobb pontossággal kiválasztottuk azt a pontot, amely valószínűleg a legközelebb volt a referenciaponthoz. Ezt követően lekérdeztük a koordinátákat az objektuminformációkkal. (11-15. ábrák)

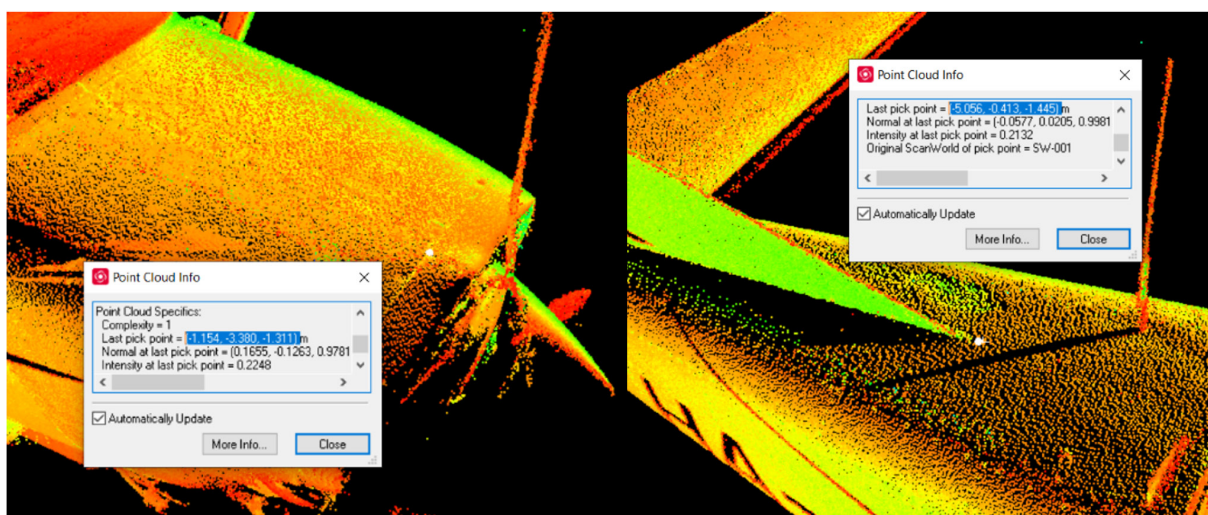


11. ábra A repülőgép transzformált pontfelhő képe

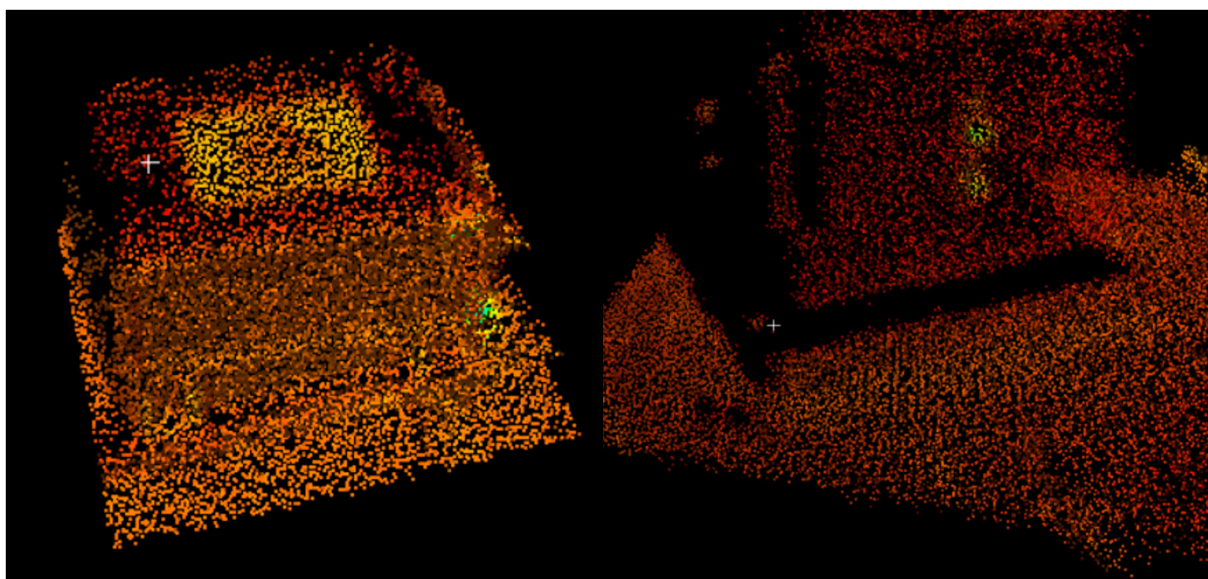
A következő ábrák a mért pontokat mutatják a pontfelhőben:



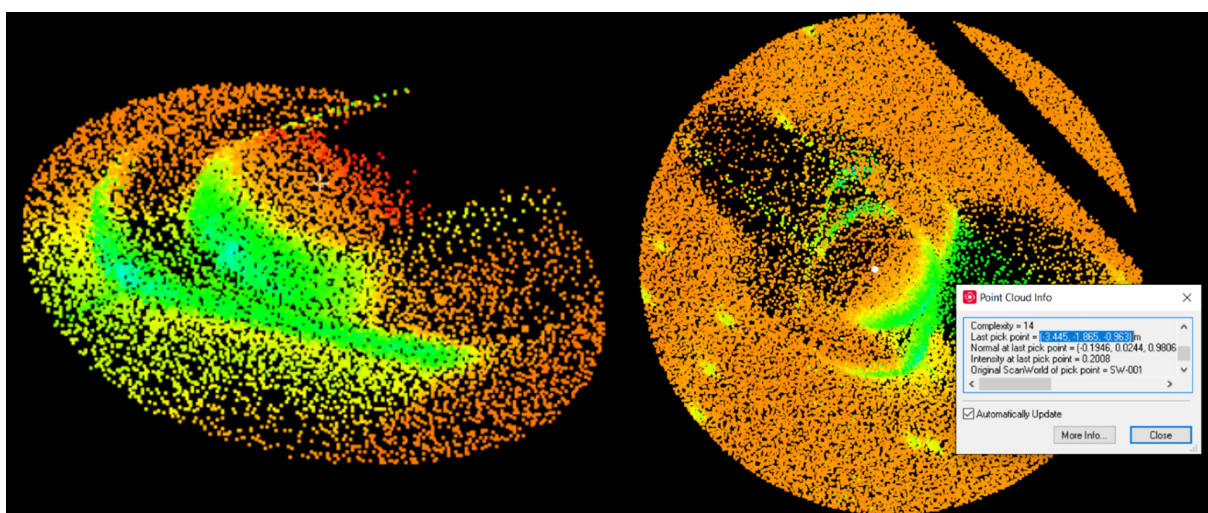
12. ábra Pontfelhőpontok az alapllemezen



13. ábra Első és hátsó tengely pont a pontfelhőn



14. ábra IMU és kamera pontfelhőképe a (fehér) mérési ponttal



15. ábra A hátsó és elülső GNSS-antenna pontfelhő képe a (fehér) mért pontokkal, koordinátákkal

A koordinátákat feldolgoztuk és átalakítottuk az IMU origó koordináta-rendszerébe:

Pont	X	Y	Z
Imu	0	0	0
Ant b	-0.2773	-0.2831	0.9723
Ant f	-0.3091	0.6114	1.1143
Cam l	-0.1063	0,4680	-0.0152
Cam r	-0.2132	0.4681	-0.0152

1. táblázat A mérőállomás mért érzékelőinek 3D vektorai (Ant- GNSS antenna, Cam - Kamera, b - Hátl, f - Elöl, l - Balra, r - Jobbra)

Pont	X	Y	Z
IMU	0	0	0
Ant b	-0.2794	-0.2839	0,9740
Ant f	-0.3106	0.6103	1.1161
Cam l	-0,1090	0.4712	-0.0118
Cam r	-0.2108	0.4669	-0.0143

2. táblázat A lézerszkennelt érzékelők 3D vektorainak táblázata

Pont	Δx	Δy	Δz	$\Delta 3D$
IMU	0.0000	0.0000	0.0000	0.000
Ant b	0.0021	0.0008	-0.0017	0.003
Ant f	0.0015	0.0011	-0.0018	0.003
Cam l	0.0027	-0.0032	-0.0034	0.005
Cam r	-0.0024	0.0012	-0.0009	0.003

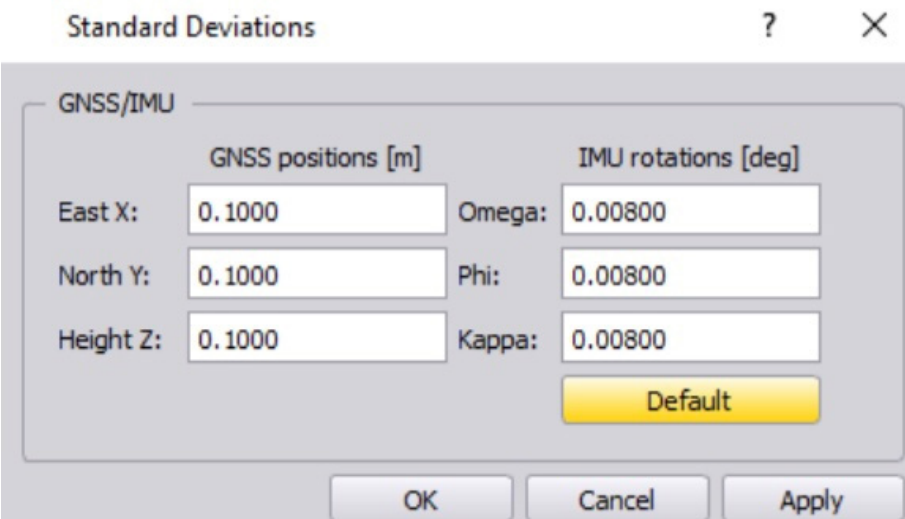
3. táblázat A két mérés különbségei

A táblázatok (1-2. táblázat) különbségei azt mutatják, hogy a két meghatározás eredményei nagyon közel állnak egymáshoz, a különbség átlagosan 3 mm. (3. táblázat)

Légiháromszögelés elvégzése

A légiháromszögelést az Trimble INPHO Application Master 7.0, MATCH-AT moduljában végeztük el. Ebben a fejezetben bemutatásra kerül a modul és a feldolgozáshoz használt paraméterek.

Első lépésként az Application Master Project editor menüjében be kell állítanunk néhány paramétert. A külsőtájékozási paramétereket be kell hívni, ezután pedig a Standard Deviation fülön belül meg kell adnunk, hogy mekkora lehet a GPS pozíciók és az IMU értékek szórása (méterben és fokban). (16. ábra)



GNSS/IMU	
GNSS positions [m]	IMU rotations [deg]
East X: 0.1000	Omega: 0.00800
North Y: 0.1000	Phi: 0.00800
Height Z: 0.1000	Kappa: 0.00800

Default

OK Cancel Apply

16. ábra Megengedett szórási értékek

Ha nincs semmilyen különleges követelmény, vagy elvárás, akkor megfelelnek az alapértelmezett értékek is. A földi illesztőpontokat a Points-ra kattintva tudjuk behívni. A pontok koordinátáit GNSS módszerrel mérjük meg. Az eredményeinket .csv vagy .txt formátumban tudjuk behívni a programba.

Ezután a képi és földi illesztőpontok szórási értékeit is be kell állítani. (18. ábra)

Standard Deviations ? X

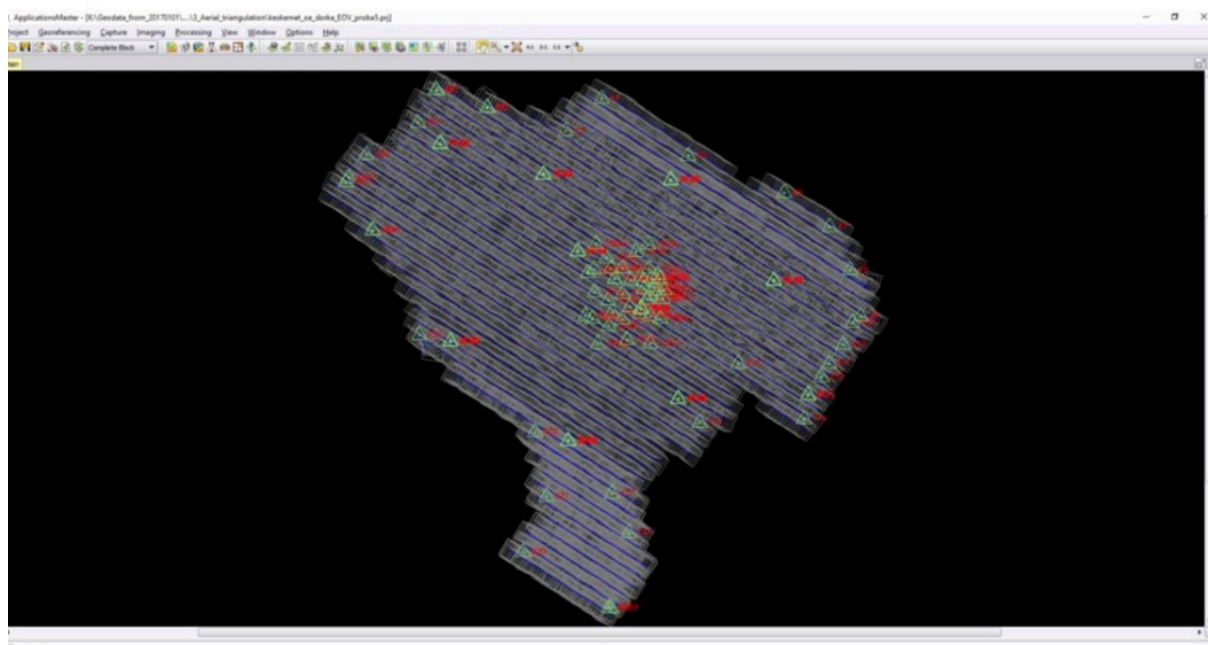
Image Points

	Manual [mm]		Automatic [mm]	
Standard:	0.0020	★	0.0020	★

Object Points

	Planimetric [m]		Height [m]	
Standard:	0.0500	★	0.0700	★
Class 1:	☐			
Class 2:	☐			
Class 3:	☐			
Class 4:	☐			

18. ábra Képi és földi illesztőpontok megengedett szórása



17. ábra Feldolgozott tömb illesztőpontokkal és repülési vonalakkal

Ha ez is megvan, repülési vonalakat kell generálnunk. Ezeket a program úgy tudja generálni, ha megadunk egy legnagyobb elfordulási szöget. 5 fokos értékekkel általában

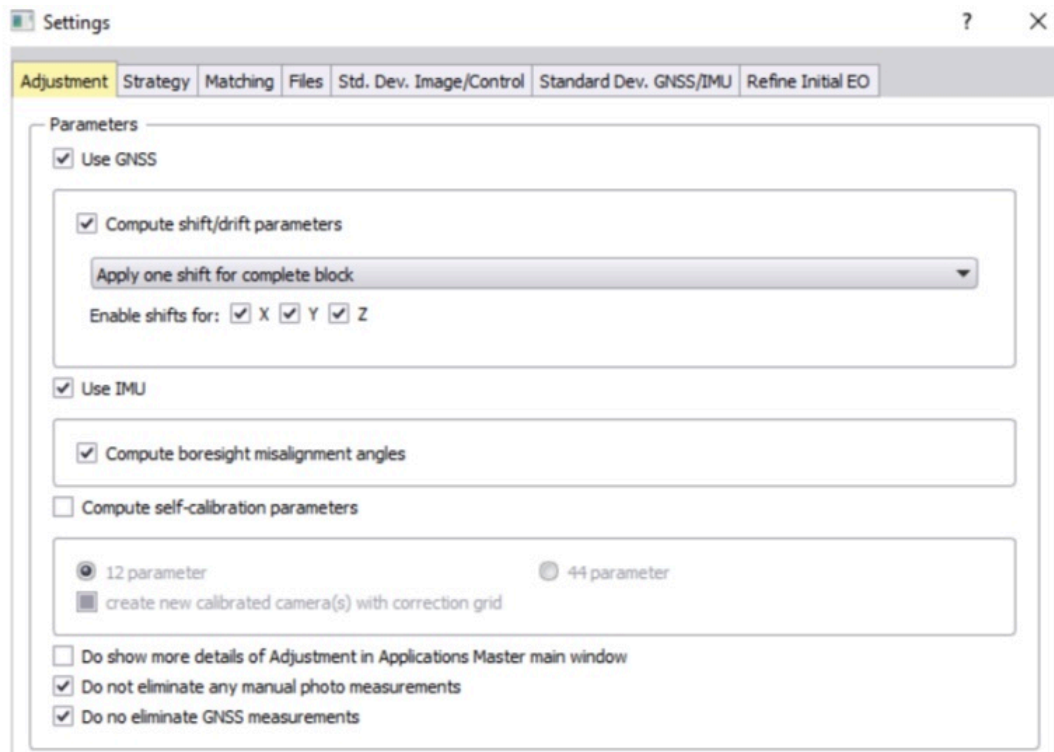
az eredményünk jó, szelesebb körülmények között, mivel nem stabilizátorral történik a felmérés, előfordulhat, hogy 10 fokra kell állítani a megfelelő eredményhez.

A fenti, 17. ábrán megfigyelhetjük egy városi területre eső nagyszámú GCP eloszlást. Ilyet csak külön megrendelői kérésre szokás alkalmazni, normál rend szerint $3 \times 3 + 2 \times 2$ (GCP és ellenőrző pontok), vagy az állami ortofotó átvételi szabályzat szerinti elrendezés a mérvadó.

Ezt követően a földi illesztőpontok (GCP) azonosítása és kijelölése a következő feladatunk a fényképeken. Ezt a Georeferencing/MATCH-AT/Multi photo measurment funkcióval tudjuk megcsinálni. Ha bal oldalon a Points fül nincs bekapcsolva, akkor az mindenképpen aktiváljuk, majd kattintsunk a Measurment ikonra. Menjünk a GCP lista első elemére. Ekkor megjelenik a MultiAerial fül, ezen belül pedig a pontra eső képek. Ezután keressük meg a mért pontok légifotókon található helyét, és a lehető legpontosabban jelöljük ki. Fontos, hogy a pontot csak azokon a képeken jelöljük meg, ahol valóban látszik. Ha valami esetleg eltakarja, akkor nem szabad kijelölni. Ezt a műveletet meg kell ismételni a lista összes pontjával. A Points fülön belül meg tudjuk nézni, hogy melyik pont hány képen lett bejelölve és hogy mindegyiken történt-e kijelölés, így könnyen észre tudjuk venni, ha esetleg kimaradt egy pont. Ha ezzel végeztünk, elmentjük a munkánkat és bezárjuk a Multi photo Measurment-et.

Ezt követően futtatjuk a légiháromszögelést. Ehhez elindítjuk a Georeferencing/MATCH-AT/Aerial Frame Triangulation funkciót, majd a felugró ablakban az Automatic tie point extraction with adjusment of block lehetőséget választjuk. Rengeteg paraméterezési lehetőség van a funkció elindítása előtt, mi itt a következőket használtuk. (19. ábra)

Itt az alábbiakat állítottuk be:



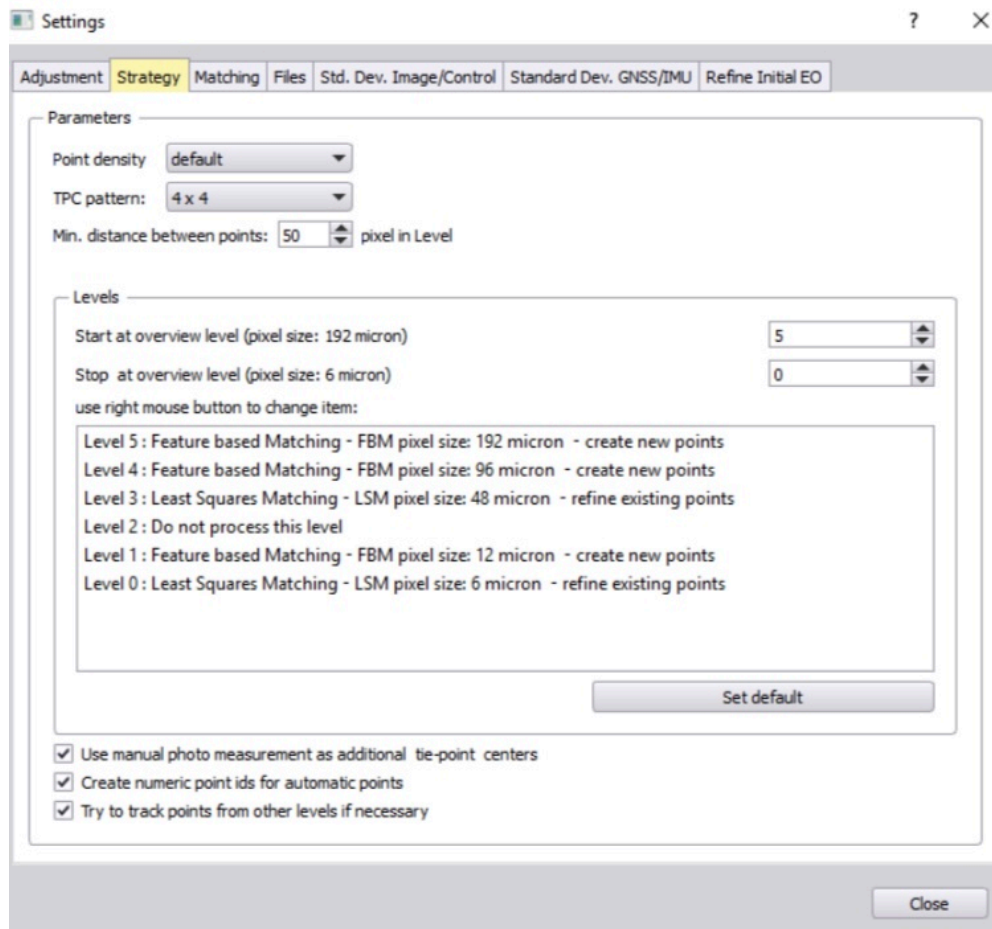
19. ábra Kiegyenlítési beállítások

Use GNSS: engedélyzzük a GPS koordináták használatát és a tömb egészének minimális mozgását

Use IMU: engedélyezzük a külső tájékozáshoz megadott adatok használatát és kiegyenlítését (omega, phi, kappa)

Ha az alsó két jelölőnégyzetet kipipáljuk, azzal meggátoljuk a programot, hogy az általa hibásnak vélt manuális fényképméréseket és GNSS méréseket kivegye a számításból. Fontos, hogy ezzel a funkcióval, az esetleges pont elazonosítási hibák terhelni fogják a végeredményt is, ezért körültekintően kell alkalmazni.

A légiháromszögelés automatikus illesztőpontkeresési paramétereit a következő fülön érhetjük el. (20. ábra)



20. ábra Illesztőpont keresési beállítások

Point density a pontsűrűséget tudjuk beállítani. Ha alapértelmezetten hagyjuk, akkor a program automatikusan 100-200 pontot keres kapcsolópontnak. Ha a fotózott terület homogén, akkor több pontra is szükség lehet, ilyenkor választható a Dense vagy Extreme szint. Így azonban a program, kevésbé pontos pontokat is használni fog. Választhatjuk a Sparse lehetőséget, ha magas a képek közötti átfedés, ez kevesebb pontot generál, így javul a teljesítmény.

TPC pattern: a kapcsolópontok mintázata azt jelenti, hogy az automatikusan generált kapcsolópontok a képek mely régióiban jönnek létre. A 3x3 mintázat a hagyományos Grüber 36 elrendezés, amennyiben ez magasabb (4x4 vagy 5x5), akkor a képszéleken is és a teljes képen is fog a program megfelelő kapcsolópontokat keresni. Ha a képek közötti átfedés alacsonyabb (<30%), akkor javasolt valamivel magasabb értéket választani.

- Min. distance between points: Pontok közötti minimális távolság. Munkánk során ezt az értéket nem változtattuk meg. Ha magas ez az érték, az kevesebb, szétszórt pontot jelent, ha viszont alacsony, akkor az több, sűrűbben elhelyezkedő pontot jelent.
- Levels: A program működését itt tudjuk beállítani alacsonytól a legmagasabb felbontásig. Az FBM új pontokat keres az adott szinten, az LSM – az előzőleg megtalált pontok helyét optimalizálja. Alapértelmezésben az FBM módszer az ajánlott szinte mindegyik szinten, de homogén elosztású kapcsolópontokat akkor kapunk, ha azt csak a legfelső szinten használjuk, a többin pedig az LSM-et. Általában több beállításra itt nincs szükség. Ha megnyomjuk a Run gombot, akkor elkezdődik a légiháromszögelés, ami, ha sok kép van, hosszadalmas folyamat is lehet. Ha először lefutott, akkor kapunk egy végső szigma értéket, aminek 1/2 pixel körül kellene lennie, ha ennél nagyobb, akkor a felmerült problémát meg kell oldani.

A számításról egy jegyzőkönyvet is kapunk. Ebben elsődlegesen ellenőriznünk kell, hogy a vízszintes és magassági maradék ellentmondás megfelel-e a megrendelő által megadott értékeknek. (Ha 15 cm-es pontosság volt a cél, akkor az értékeknek 15 cm alattinak kell lennie). Amennyiben az eredmény nem megfelelő, finomítanunk kell a GCP pontok képi helyén, majd a számítást újra le kell futtatnunk. Itt már arra nincs szükségünk, hogy automatikus illesztőpontokat keressünk, így a Post-processing-Adjustment only funkciót kell használnunk, ami gyorsabb eredményt is ad. Ha viszont az eredményeink jók, az utolsó számítási jegyzőkönyvből a Triangulated EO (háromszögelt külsőtájékozási) eredményeket el kell menteni .txt formátumban. [9.]

5.4 A mért lever arm hatása a légi háromszögelési eredményekre

A teszt elvégzéséhez olyan repülési projektet kellett választanunk, amely méretét és egyéb paramétereit tekintve alkalmas a tesztelésre az adott konfigurációval. A választásunk az első vizsgálatnál egynagykátai településprojektre esett, mivel megfelelő

konfigurációval rendelkezett. A repülésre 2022.04.14-én délután, ideális körülmények között került sor egy héttel korábban, mint a 2022.04.20-i lever arm mérés, Mivel ez egy kis település, a 187 képes projekt légi háromszögelése körülbelül 10 perc alatt elvégezhető, ami hasznos az ilyen kutatásokhoz, ha többször meg kell ismételni. A projekt kiválasztása után kiszámítottuk a fényképek külső orientációs elemeit a repülési pálya alapján, az IMU rendszerben létrehozott érzékelő koordinátákkal mindkét esetben.

Ezt követően, hogy az eredmények a lehető legösszehasonlíthatóbbak legyenek, előzetes légi háromszögeléssel elvégeztük a földi illesztőpontok (GCP) azonosítását, és a teszt során meghatároztuk az légiháromszögelési paramétereket. Annak érdekében, hogy az eredmények semmilyen módon ne torzuljanak, a kamera kalibrálását nem engedjük finomítani a folyamat során.

A tesztparamétereket a következőképpen állítottuk be:

```

Number of photos:                187
Number of strips:                7
Photo scale:                    1:13643
Mean terrain height [m]:        156

  Strategy parameter:
  -----
Overview # to start:            5
Overview # to stop:            0
# of pyramid levels to be processed: 6
# of tie points to be measured
in last level:                  3
Use manual measurements as TPC:  ON
Create numeric point id:        ON
TiePointCenterPattern:          4 x 4
TiePoint density:                default
Thinout size in pixel:          50
Try to track points
from upper levels:              ON
Matching sequence:              FBM FBM LSM SKIP FBM LSM
  Number additional threads:      1
  Cache size per thread:         10 MByte

Working directory                : .\
DEM for Initialization:          Nagykata_DTM_UTM34.dtm

Matching parameter:
-----

FBM-Method:

Matching window:                100 x 100
Operator window size:           5 x 5
Non-max. suppr. window size:    5
Threshold for correlation coefficient: 0.92
Window for correlation coefficient: 5 x 5
Wmin:                           0.10
Qmin (roundness):               0.50
Parallax bound:                 30
Epipolar line to be used:       ON
Distance to epipolar lines:     0.50

```

```

LSM-Method:

Correlation coefficient:      0.93
Template size [pixel]:      21
Edge size [pixel]:          6
# of iterations:             20
Control parameter for block adjustment:
-----
Self-calibration: OFF
GNSS-Mode:                   ON
Drift-Mode:                   ON
drift per strip:             ON
drift for X, Y, Z:           ON,ON,ON
enable shifts only:         OFF
IMU-Mode:                    ON
IMU-Boresight:               ON
Earth's curvature correction: ON
Atmospheric correction:      ON
Do not eliminate manual points: ON
Do not eliminate GNSS:      ON

Standard deviations (a-priori) :
-----
Ground control (planimetry) [m]
  Set
    0 (=default)              : 0.010
    1                          : 100000.000
Ground control (height) [m]
  Set
    0 (=default)              : 0.033
    1                          : 100000.000
Automatic image points [mm]
  Set
    0 (=default)              : 0.002
Image points of ground control and manual measurements [mm] : 0.002

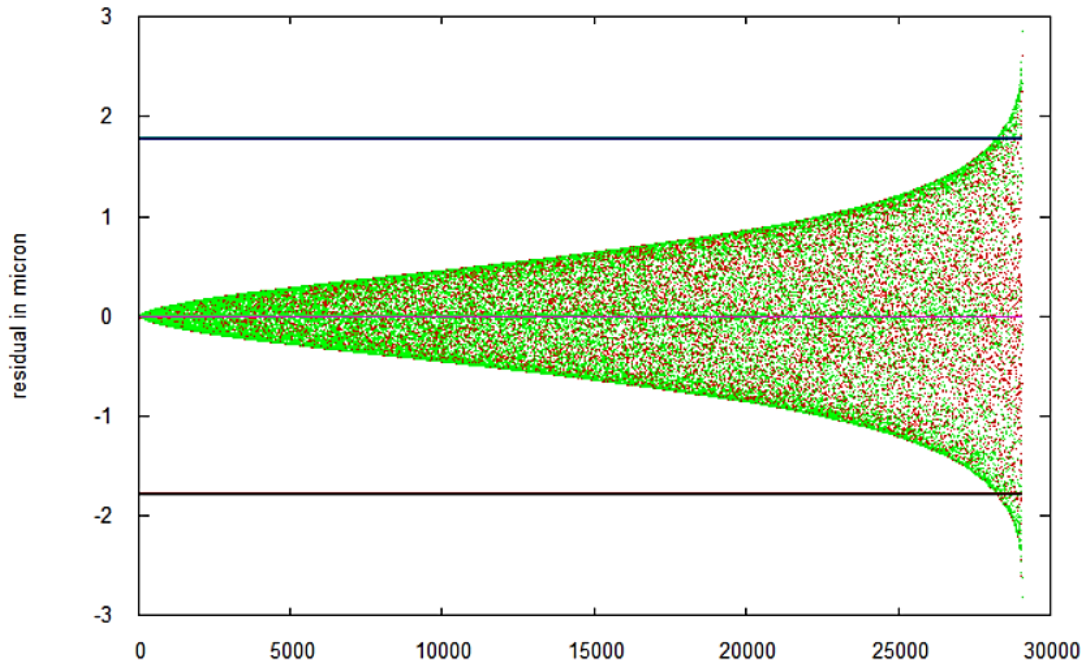
GNSS          X Y Z [m]          : 0.100 0.100 0.100
INS           omega phi kappa [deg] : 0.008 0.008 0.008

```

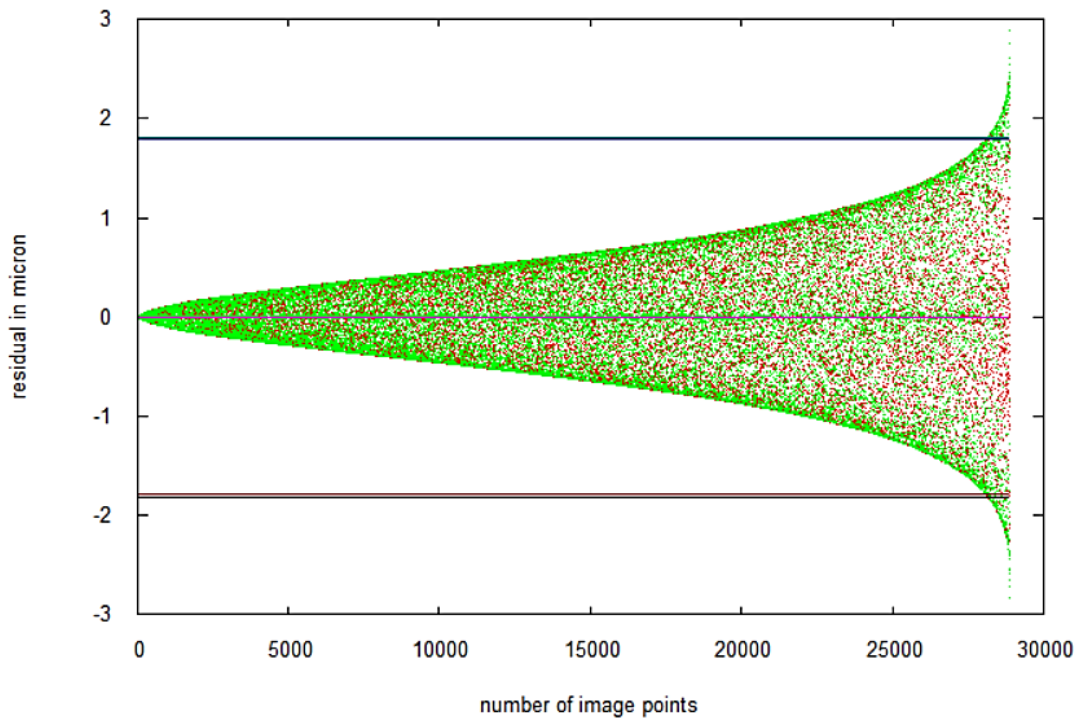
Grafikusan az eredményeket az alábbiakban mutatjuk be és értékeljük.

Az alsó 3 ábrán látható eredményeket vizsgálva légi háromszögelés Sigma 0 értéke mindkét esetben 0,8 mikron volt, ami 0,2 pixelnek felel meg. Ez átlagosan 1 cm-es pontosságot jelent egy 5 cm-es GSD esetében, ami nagyon jó.

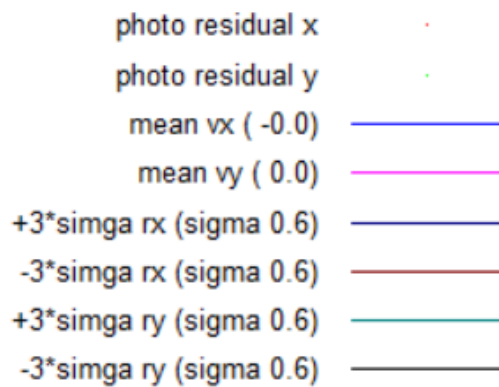
Az automatikus pontegyeztetés maradékai is nagyon közel vannak egymáshoz a két esetben, a hisztogram alapján vizuális különbség nem állapítható meg. (21-23. ábra)



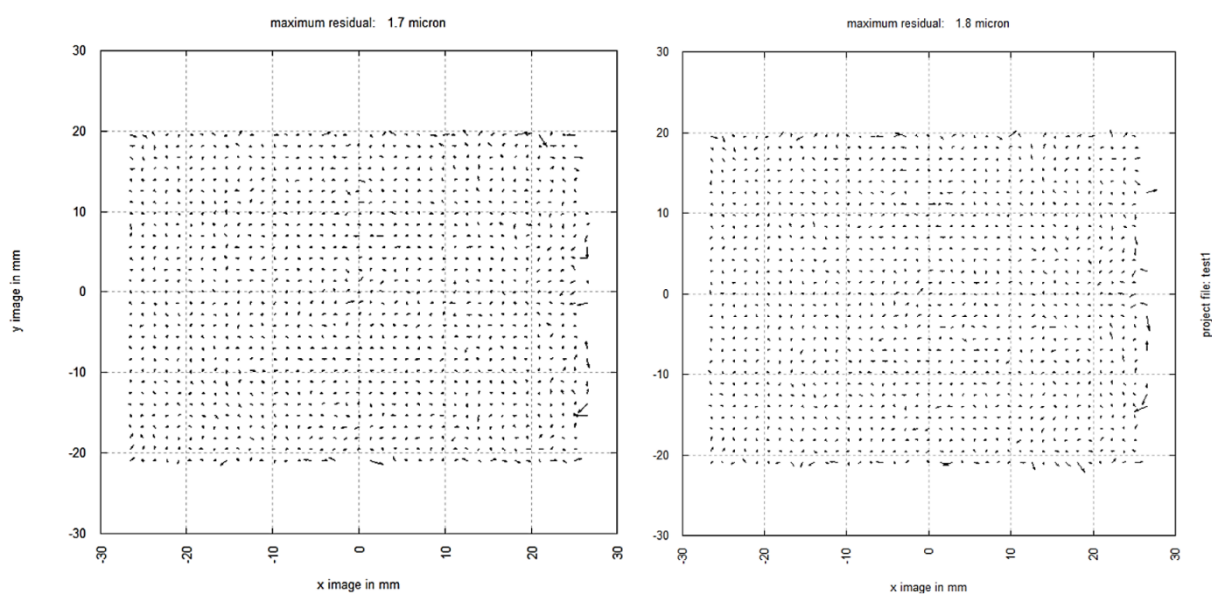
21. ábra Képeken mért automatikus illesztőpontok maradék ellentmondás hisztogram ábrázolása a lézerszkenneres mérésnél



22. ábra Képeken mért automatikus illesztőpontok maradék ellentmondás hisztogram ábrázolása a mérőállomásos mérésnél



23. ábra Jelmagyarázat a fenti két hisztogram diagramhoz



24. ábra Illesztőpontok átlagos hibáinak pozíciója a képeken belül (mérőállomás, lézerszkennér)

A kameramodell maradékaiban 0,1 mikron különbség van a mérőállomás-meghatározási módszer javára (alsóbb két ábra), ami szintén elhanyagolható. (24. ábra)

Az alábbi, 4. táblázat numerikus eredményeinek elemzésével ezred mikronos különbségek vannak a lézerszkennelt módszer javára, ami azzal magyarázható, hogy a GCP jelölést ezen az adatkészleten finomították.

		Mérőállomás	Laser Scanner
sigma 0 micronban		0.8	0.8
tömbpontok száma		8112	8161
képek száma		187	187
iterációk száma		12	12
fölös mérések száma		33859	34036
átlagos szórás földi illesztőpontokon	x	0.009 [m]	0.009 [m]
	y	0.009 [m]	0.009 [m]
	z	0.026 [m]	0.026 [m]
átlagos szórás külső tájékozásban	omega	1.6 [mdeg]	1.6 [mdeg]
	phi	1.6 [mdeg]	1.6 [mdeg]
	kapp	0.7 [mdeg]	0.7 [mdeg]
átlagos szórás külső tájékozásban	x	0.019 [m]	0.019 [m]
	y	0.019 [m]	0.019 [m]
	z	0.014 [m]	0.014 [m]
Négyzetes középhiba automatikus illesztőpontoknál a képeken	x	0.594 [micron]	0.590 [micron]
	y	0.603 [micron]	0.597 [micron]
Négyzetes középhiba földi illesztőpontoknál a képeken	x	1.683 [micron]	1.675 [micron]
	y	2.176 [micron]	2.137 [micron]
Négyzetes középhiba földi illesztőpontoknál a terepen	x	0.008 [m]	0.008 [m]
	y	0.007 [m]	0.008 [m]
	z	0.013 [m]	0.013 [m]
max maradék hiba illesztőpontoknál a terepen	x	0.015 [m]	0.015 [m]
	y	-0.015 [m]	-0.015 [m]
	z	-0.036 [m]	-0.036 [m]

4. táblázat A két mérési módszer AT eredményeinek összehasonlítása

6 Tanulságok az első mérések után

A lever arm mérést hagyományosan mérőállomással végzik, de felmerült a kérdés, hogy előnyt jelenthetne-e, ha lézerszkenneres eljárással végeznék. Ez utóbbi előnye, hogy nem kell bajlódniuk a terepen lévő pontok azonosításával, ez a lépés irodai körülmények között megoldható a kész pontfelhőn. Az előnyök listája itt véget ér, de hátrányai között számos fontos szempont van:

1. a mérés tervezése még több figyelmet és ezáltal időt igényel,
2. A maximális pontosságú mérés hosszabb időt vesz igénybe, mint egy mérőállomásnál, még 5 fordulóval is
3. nem elegendő a mérést egy állásról elvégezni, legalább még egy pozícióra van szükség.
4. Ha több álláspont van, akkor azok csatlakoztatása érdekében jeltácsák elhelyezése külön tervezést és időt igényel
5. minden állásponton jeltárcsa mérésre van szükség, ami további időt vesz igénybe
6. mivel még gondos tervezés mellett is lehetnek olyan fontos pontok, amelyek nem láthatók, így további kézi mérésekre lehet szükség vonalzóval vagy mérőállomással (ami megkérdőjelezi az egész módszer életképességét az egyszerűség szempontjából)
7. Több álláspont használata esetén a pontfelhő illesztési pontatlanság befolyásolja a végső pontosságot
8. a feldolgozás során a pontok azonosítása (különösen az alacsony fényvisszaverő képességű eszközöké) és a külön mért részek feldolgozása időigényes
9. ha nincs referenciamérés, könnyű (azonosítási) hibákat elkövetni

Mivel egy méréspár alapján nem lehetett kijelenteni, hogy a lézerszkennelésnek van létjogosultsága a lever arm mérés területén, de az ellenkezője sem. Mindenképpen szükség volt egy új mérésre, lehetőleg egy új referenciaterülettel a légi háromszögeléshez. Az új méréssel egy pozícióból próbáltuk a szkennelést elvégezni, és az antennákra és belső rejtett pontokra reflektorok helyezésével „látunk” rá, így kiküszöbölve a felsorolt hátrányok jelentős részét.

Erről a mérésről az alábbiakban ejtünk szót.

7 Második vizsgálat

A második mérésre 2022. 10. 04.-én került sor. A mérésben konzulensemen kívül Bor Gabriella az EnviroSense Hungary kft. fotogrammetriai mérnöke vett részt. A technológiát ez alkalommal is a Cessna T206E Turbo Stationer (HA-SVA) repülőn teszteltük, ami nagy hátsó ajtaja révén, könnyebb mérést tesz lehetővé a másik géphez képest.

A munka kezdetén sorra vettük a felmériendő pontokat:

- Tengely pontok:
 - Gép farkánál (1)
 - Légszár mögött (2) (25. ábra)



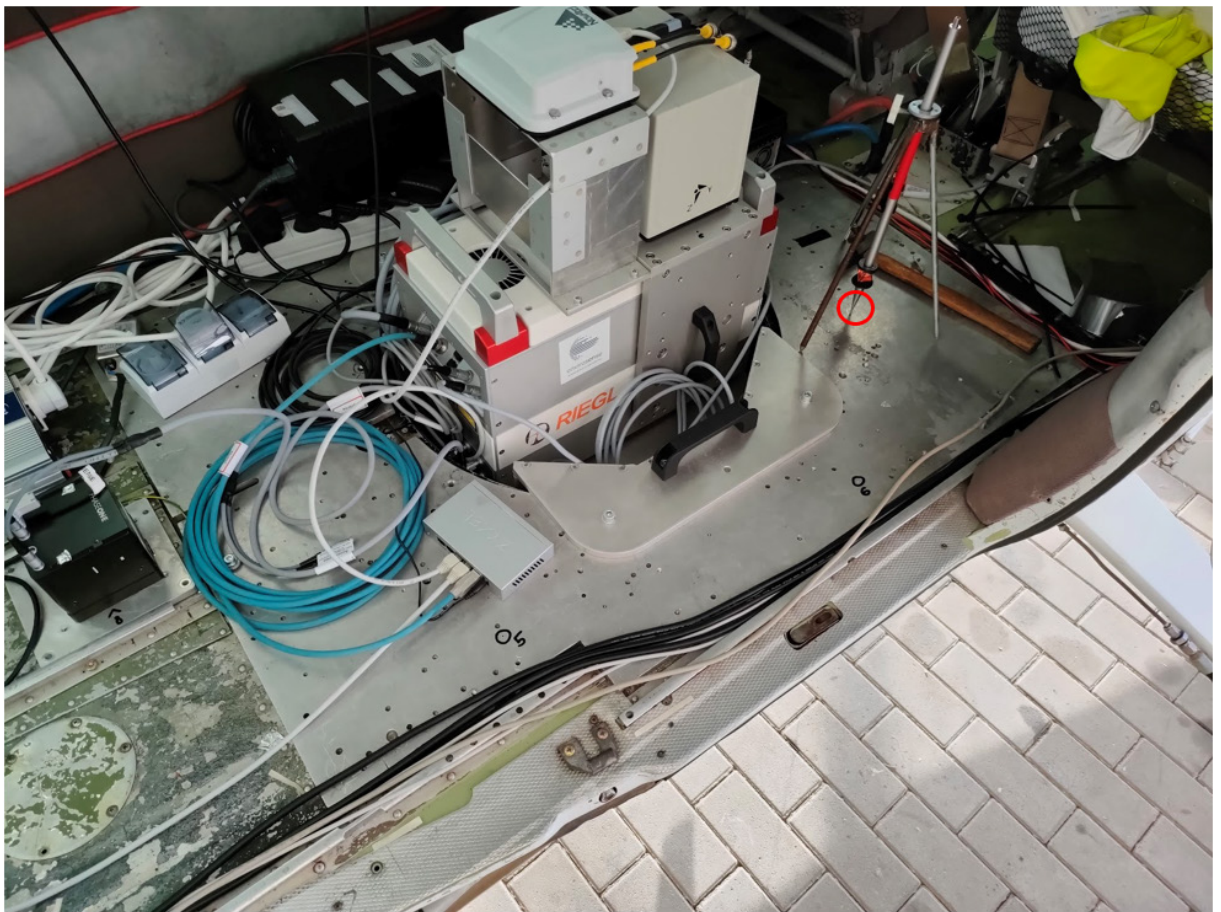
25. ábra Tengely pontok Gép farkánál (1) Légszár mögött (2)

- GPS antennák:
 - Hátsó ablak mögött tengelytől jobbra (3)
 - Operátor fölött tengelytől jobbra (4) (26. ábra)



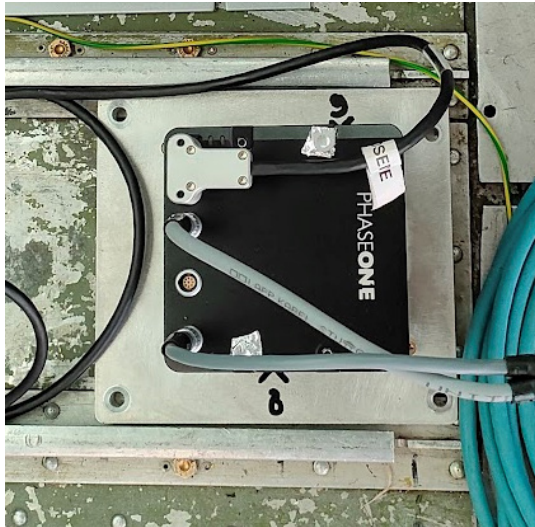
26. ábra GPS antennák: Hátsó ablak mögött tengelytől jobbra (3) Operátor fölött tengelytől jobbra (4)

- Alaplap pontjai:
 - Jobb hátsó (5)
 - Jobb első (6)
 - Bal első (7) (27. ábra)



27. ábra Az alaplappontjai

- Kamera pontjai:
 - Jobb hátsó (8)
 - Bal első (9) (28. ábra)



28. ábra Kamera pontjai: Jobb hátsó (8) Bal első (9)

- IMU pontja:
 - Tengely ábra (10) (29. ábra)



29. ábra IMU pontja: a tengely ábra (10)

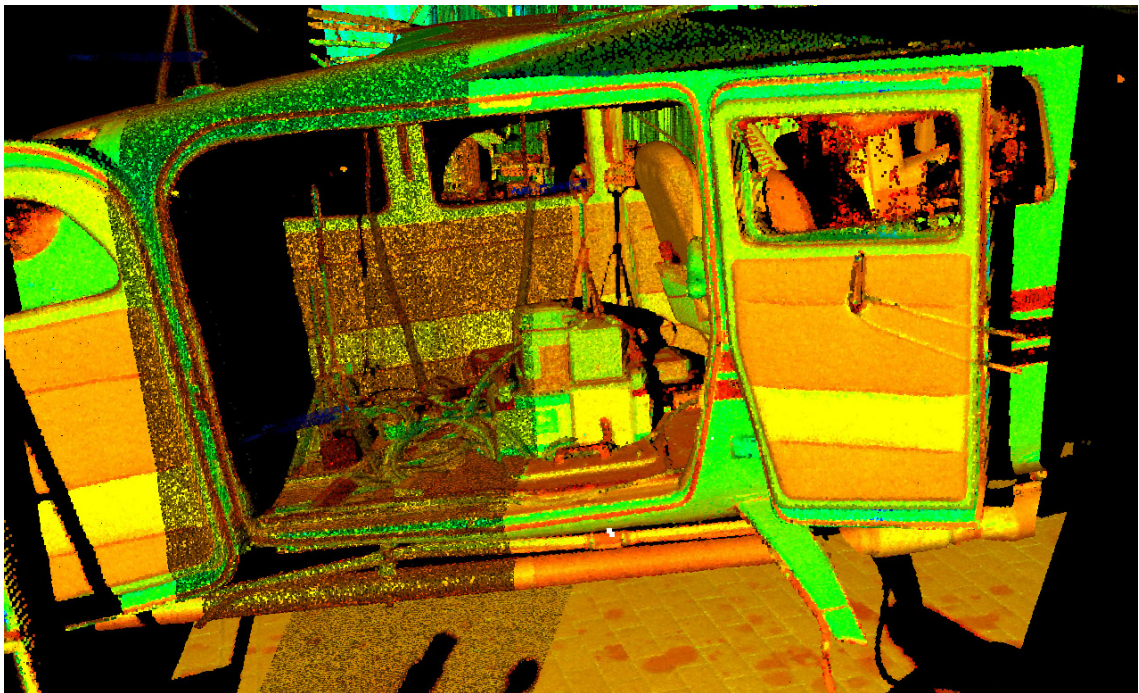
A furatokat fekete filccel jelöltük, és hogy ne legyen magassági hiba a prizmarúd csúcsának kamera furatba süllyedése miatt, azokat duct tappal leragasztottuk.

A mérőállomásos méréshez 360° mini körprizmát használtuk, amelyet, ahol volt megfelelő hely mini tripód támasztott. Jelmagasság állításra szükség nem volt. A méréseket öt fordulóban egy távcsőállásban végeztük. (30. ábra)



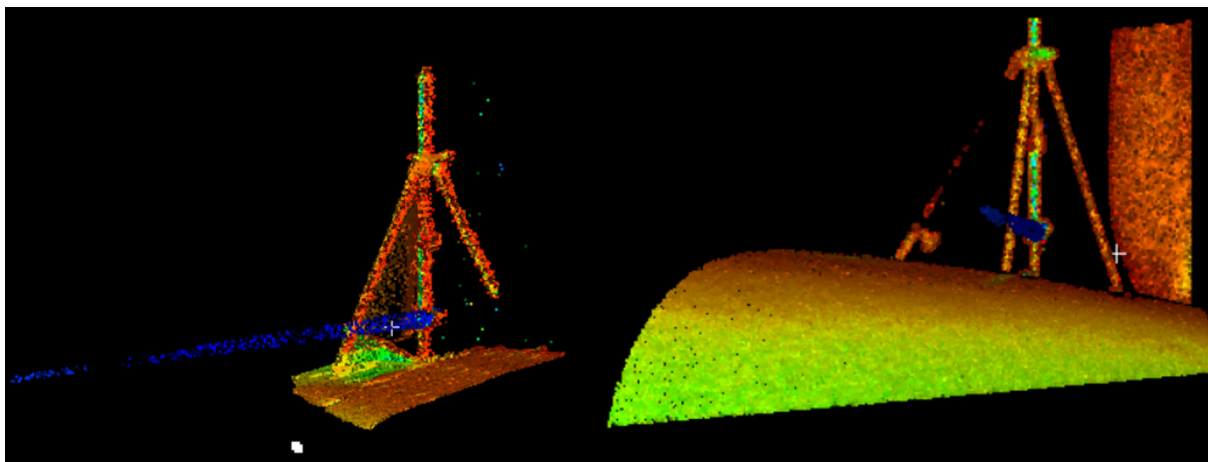
30. ábra Kamera mérés 360°-os miniprizmával

A lézerszkenneres mérést kényszerközpontosan végeztük el a mérőállomásos méréshez képest. A takart pontokra prizmát helyeztünk, de mivel azok száma korlátozott volt, ezért több részletben szkenneltünk az álláspontról. Ezalkalommal a lever arm komponensekre koncentráltunk így nem készült teljes gépes felmérés. Az egyes régiók felméréséhez a szkennerek ablakolós kijelölését használva, gyorsan el tudtuk végezni a kérdéses területekre az adatgyűjtést. A repülő központi részéről készült pontfelhő az alábbi, 31. ábrán látható:

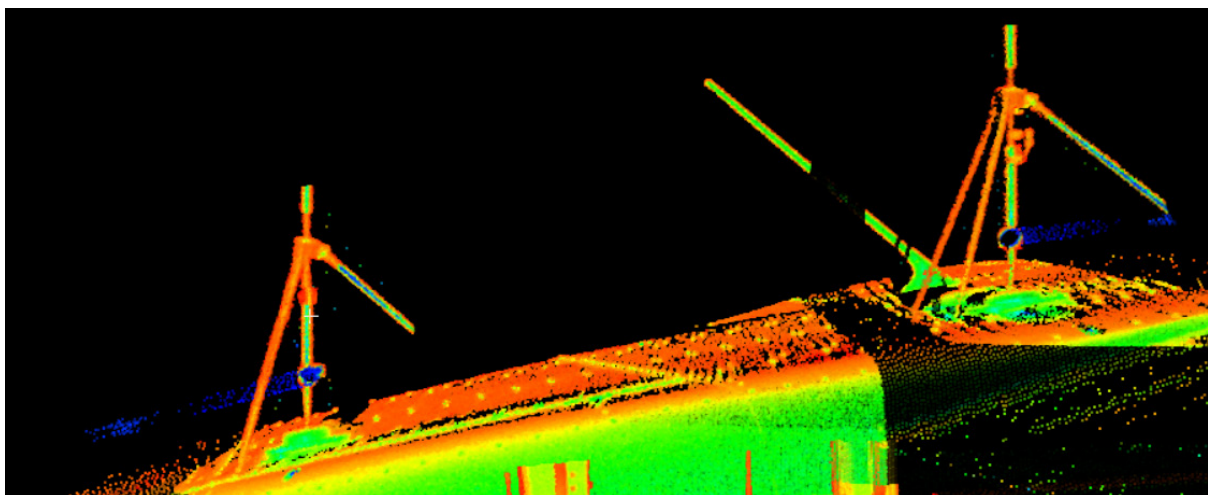


31. ábra A második mérés pontfelhőképe

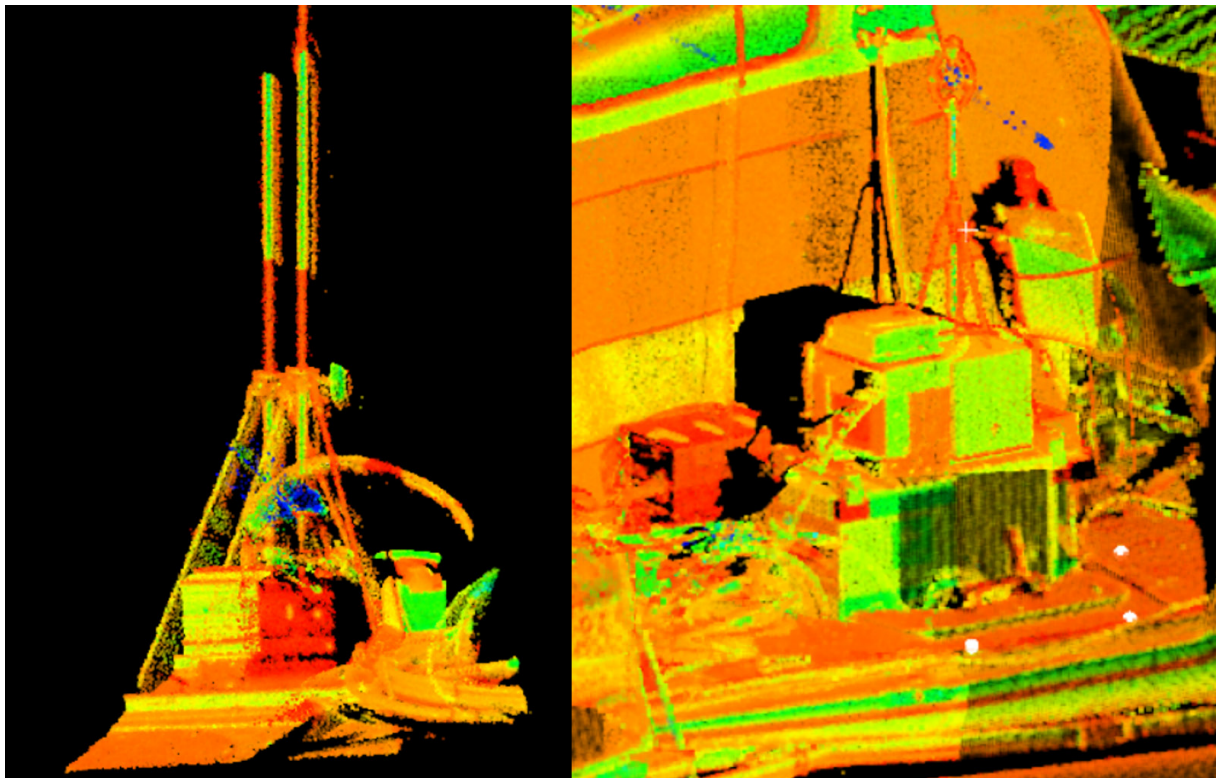
Sajnos a prizmára szkennelés, különösen a körprizma esetében, nem bizonyult jó megoldásnak, mivel a pontok a prizmaközép helyett, annak nagyjából fél méteres, műszer irányú előterében képződtek le, lehetetlenné téve az akár közelítő pontosságú távmérést is. Ennek okán a közvetett koordinátamérést oly módon végeztük el, hogy a prizmabot egy környezetéhez képest jól elkülöníthető részét (felső végét, prizma csatlakozását stb.) próbáltuk azonosítani úgy, hogy vízszintes értelemben a lehető legközelebb essen függőleges értelemben a rúd középvonalához. Az alábbi ábrákon az egyes pontok pontfelhő környezete látható. (32-34. ábra)



32. ábra Tengely pontok hátul és elől



33. ábra Antennák pontfelhőképe a prizmákkal



34. ábra Kamera és IMU, illetve az alaplemez pontjai (fehérrel)

7.1 Eredmények bemutatása és értékelése

A méréseket követően, a korábban ismertetett módon, geometriai eljárással transzformáltuk a koordinátákat IMU központú, hossz tengellyel párhuzamos x tengelyű koordináta rendszerbe. (7-8. táblázat) Fontos megjegyezni, hogy az előző állapothoz képest a belső konfiguráció jelentősen változott, ez a magyarázat a jelentősen eltérő koordináta értékekre.

Pont	X	Y	Z
IMU	0	0	0
Ant b	0.009	-0.692	-0.193
Ant f	0.181	0.044	0.954
Cam l	0.147	-0.856	0.810
Cam r	0.009	-0.692	-0.193

5. táblázat A mérőállomással mért szenzorpontok 3D vektorai (Ant- GNSS antenna, Cam - Kamera, b - Hátul, f - Elöl, l - Balra, r - Jobbra)

Pont	X	Y	Z
IMU	0	0	0
Ant b	0.011	-0.691	-0.195
Ant f	0.181	0.037	0.946
Cam l	0.146	-0.860	0.809
Cam r	0.011	-0.691	-0.195

6. táblázat A lézerszkennelt szenzorpontok 3D vektorainak táblázata

Pont	Dx	Δy	Δz	Δ3D
IMU	0	0	0	0
Ant b	-0.002	-0.001	0.002	0.003
Ant f	0.000	0.007	0.008	0.011
Cam l	0.001	0.004	0.001	0.004
Cam r	-0.002	-0.001	0.002	0.003

7. táblázat A két mérés különbségei

A táblázatok különbségei azt mutatják, hogy a két meghatározás eredményei hasonlóan közel állnak egymáshoz, mint az első esetben, a különbség egy, vélhetően durva hibás magasság miatti eltérést leszámítva átlagosan 3 mm körül alakult. (9. táblázat)

Sajnos, mivel idő közben a használt szoftver licensze lejárt, nem volt módunk ismételt koordináta meghatározásra.

A második teszthez a légiháromszögelés egy polgárdi kalibrációs repülésen tudtuk elvégezni. Ez abból a szempontból különleges szerencse, hogy mivel ilyen repülések során a célterület két magasságon van repülve, ezzel lehetővé téve a kamerakalibrációt, így kamera belső adatainak hibái elméletileg nem terhelhetik magát a légiháromszögelést sem.

A paramétereket az alábbiakban ismertetjük:

```

=====

Project                : 2022_Polgardi_calib
Active Block           : complete Block

Number of photos       : 312
Number of strips       : 10

Photo scale            : 1:17921
Mean terrain height [m] : 199

Strategy parameter :
-----
Overview # to start    : 5
Overview # to stop     : 0
# of pyramid levels to be processed : 6
# of tie points to be measured in last level : 3
Use manual measurements as TPC : ON
Create numeric point id : ON
TiePointCenterPattern  : 5 x 5
TiePoint density       : default
Thinout size in pixel  : 50
Try to track points from upper levels: ON
Matching sequence      : FBM FBM LSM SKIP FBM LSM
Number additional threads : 1
Cache size per thread  : 10 MByte
Working directory      : .\
DEM for Initialization : Topo17_DTM_UTM34.dtm

Matching parameter :
-----
FBM-Method:
Matching window        : 100 x 100
Operator window size   : 5 x 5
Non-max. suppr. window size : 5
Threshold for correlation coefficient : 0.92
Window for correlation coefficient : 5 x 5
Wmin                   : 0.10
Qmin (roundness)       : 0.50
Parallax bound         : 30
Epipolar line to be used : ON
Distance to epipolar lines : 0.50

```

```

LSM-Method:
Correlation coefficient          : 0.93
Template size [pixel]          : 21
Edge size [pixel]              : 6
# of iterations                 : 20

Control parameter for block adjustment :
-----
Selfcalibration                 : ON
Number of selfcalibration parameters : 12
Write calibrated camera to project : OFF
GNSS-Mode                      : ON
Drift-Mode                     : OFF
IMU-Mode                       : ON
IMU-Boresight                  : ON
Earth's curvature correction    : ON
Atmospheric correction         : ON
Do not eliminate manual points : ON
Do not eliminate GNSS         : ON

Standard deviations (a-priori) :
-----
Ground control (planimetry) [m]
Set
  0 (=default)                 : 0.010
  1                             : 100000.000
Ground control (height) [m]
Set
  0 (=default)                 : 0.033
  1                             : 100000.000
Automatic image points [mm]
Set
  0 (=default)                 : 0.002
Image points of ground control and manual measurements [mm] : 0.002

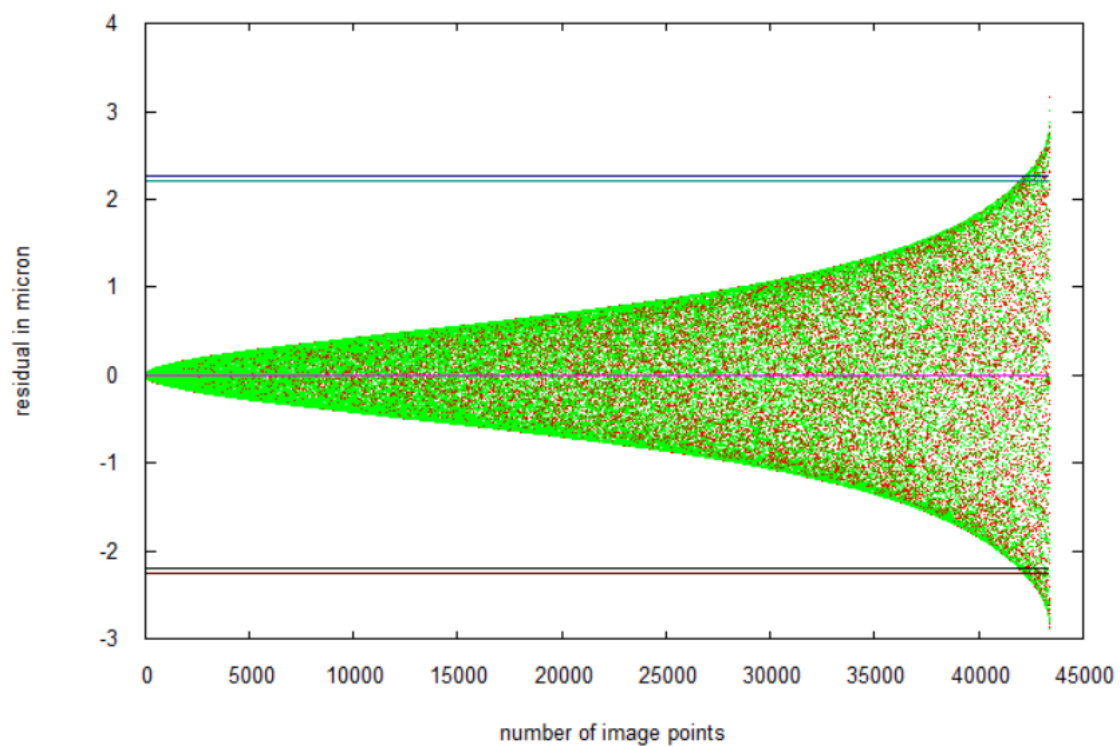
GNSS      X Y Z [m]           : 0.100 0.100 0.100
INS       omega phi kappa [deg] : 0.008 0.008 0.008

```

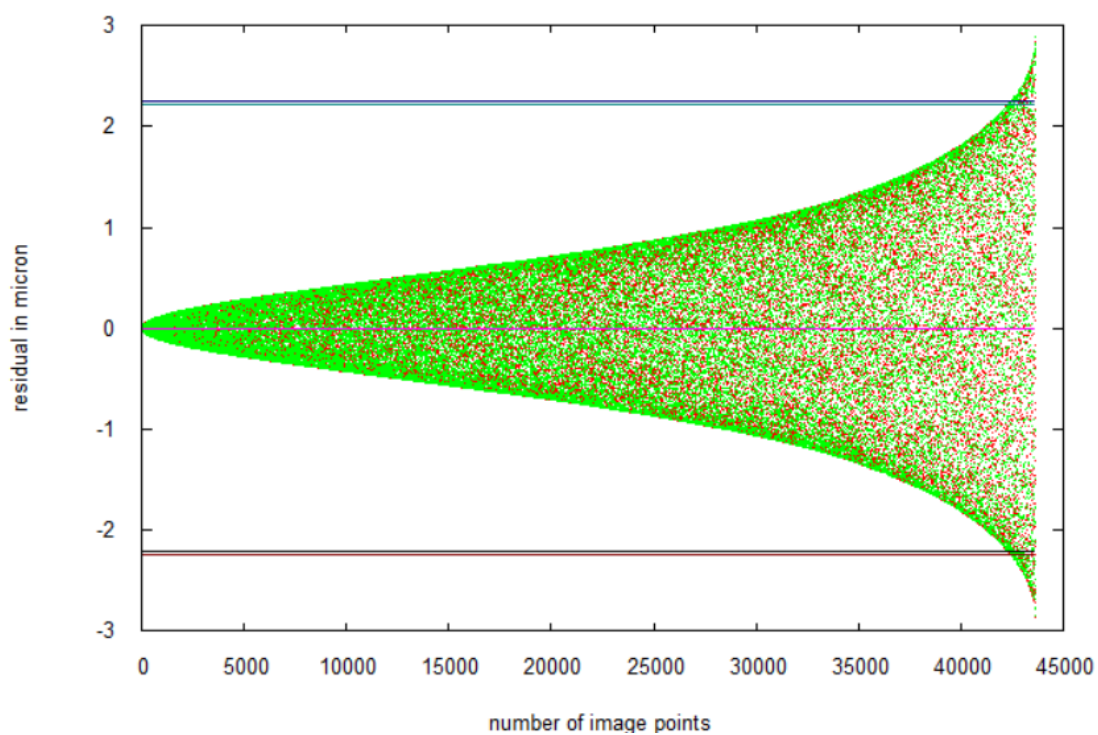
Az alsó 3 ábrán látható eredményeket vizsgálva légi háromszögelés Sigma 0 értéke mindkét esetben 0,9 mikron volt, ami nagyobb, mint az első esetben, de ugyan úgy 0,2 pixelnek felel meg. Ez átlagosan 1 cm-es pontosságot jelent egy 5 cm-es GSD esetében, ami ugyan úgy nagyon jó.

Az automatikus pontegyeztetés maradékai is nagyon közel vannak egymáshoz a két esetben, a hisztogram alapján vizuális különbség nem állapítható meg. (35-37. ábra).

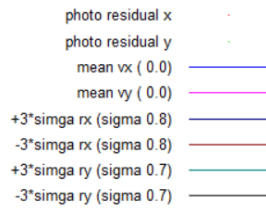
A maximális hibavektorok arról tanúskodnak, hogy a kamera kalibrált, mivel szabályosság nem tapasztalható a vektor irányokban. (38. ábra)



35. ábra Képeken mért automatikus illesztőpontok maradék ellentmondás hisztogram ábrázolása a mérőállomásos mérésnél

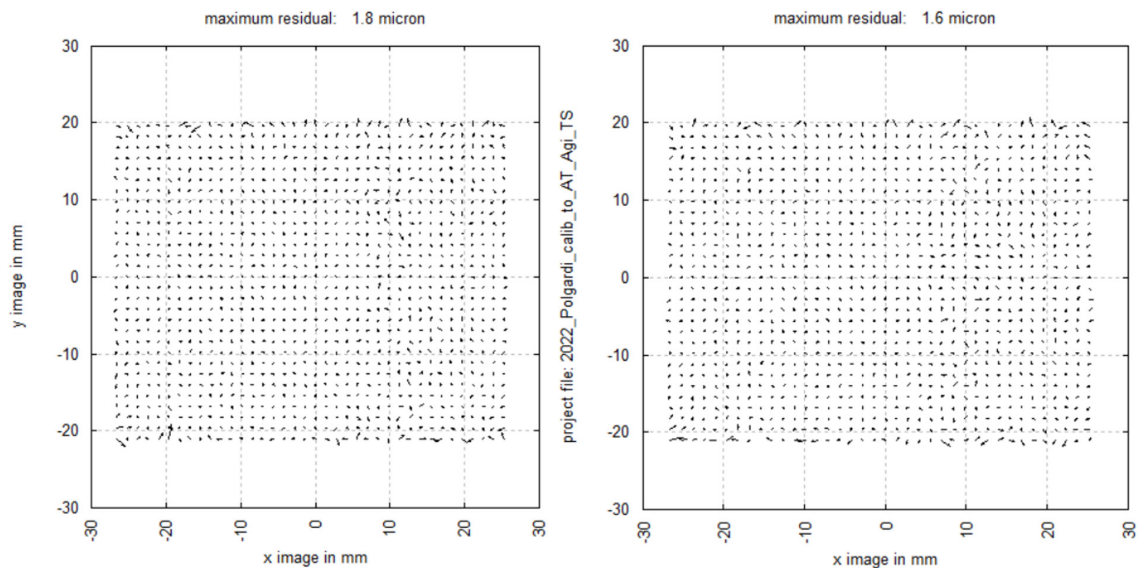


36. ábra Képeken mért automatikus illesztőpontok maradék ellentmondás hisztogram ábrázolása a lézerszkenneres mérésnél

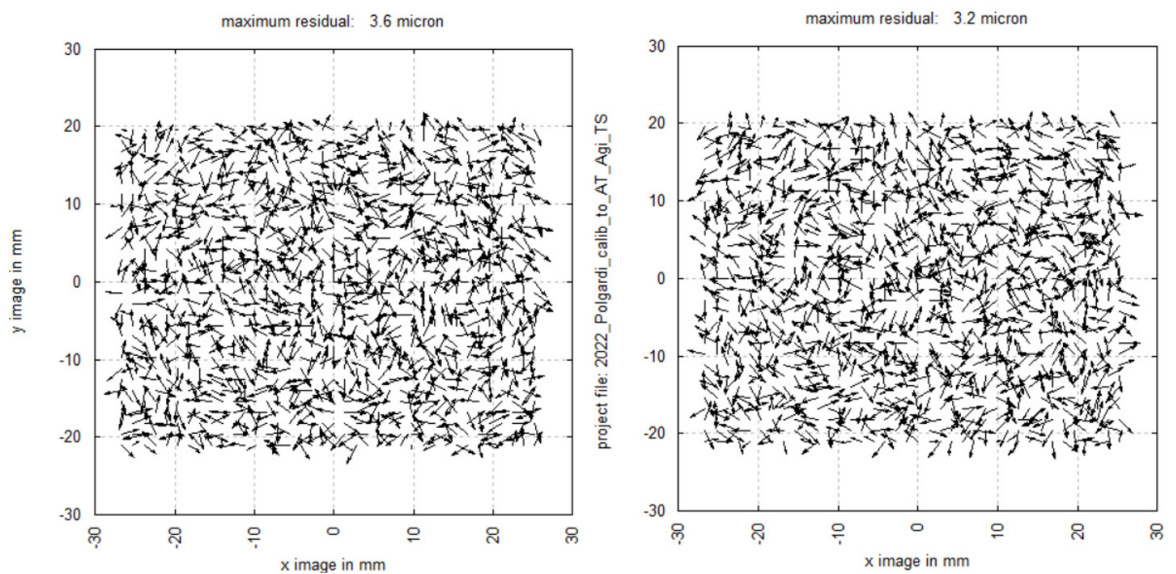


37. ábra Jelmagyarázat a fenti két hisztogram diagramhoz

A kameramodell maradékaiban 0,1 mikron különbség van a mérőállomás-meghatározási módszer javára (alsóbb két ábra), ami szintén elhanyagolható. (38-39. ábra)



38. ábra Illesztőpontok átlagos hibáinak pozíciója a képeken belül (mérőállomás, lézerszkennner)



39. ábra Illesztőpontok maximális hibáinak pozíciója a képeken belül (mérőállomás, lézerszkennner)

Az alábbi táblázat numerikus eredményeinek elemzésével ezred mikronos különbségek vannak itt is az egyértelműen kevésbé pontosnak gondolt lézerszkennelt módszer javára, ennek okainak kiderítése további vizsgálatot igényel.

		Mérőállomás	Laser Scanner
sigma 0 micronban		0.9	0.9
tömbpontok száma		5776	5721
képek száma		312	312
iterációk száma		16	17
fölös mérések száma		70520	71038
átlagos szórás földi illesztőpontokon	x	0.012 [m]	0.012 [m]
	y	0.012 [m]	0.012 [m]
	z	0.038 [m]	0.038 [m]
átlagos szórás külső tájékozásban	omega	1.7 [mdeg]	1.7 [mdeg]
	phi	1.6 [mdeg]	1.6 [mdeg]
	kapp	0.7 [mdeg]	0.7 [mdeg]
átlagos szórás külső tájékozásban	x	0.023 [m]	0.023 [m]
	y	0.023 [m]	0.023 [m]
	z	0.011 [m]	0.011 [m]
Négyzetes középhiba automatikus illesztőpontoknál a képeken	x	0.752 [micron]	0.751 [micron]
	y	0.733 [micron]	0.738 [micron]
Négyzetes középhiba földi illesztőpontoknál a képeken	x	1.902 [micron]	1.889 [micron]
	y	1.823 [micron]	1.876 [micron]
Négyzetes középhiba földi illesztőpontoknál a terepen	x	0.010 [m]	0.009 [m]
	y	0.013 [m]	0.014 [m]
	z	0.025 [m]	0.021 [m]
max maradék hiba illesztőpontoknál a terepen	x	-0.022 [m]	-0.020 [m]
	y	0.023 [m]	0.024 [m]
	z	-0.061 [m]	-0.038 [m]

8 Következtetések, összefoglalás

Az első méréseket követő megállapítások nyomán, ezúttal az egy álláspontos méréssel kísérleteztünk, melynek hasonló eredményei lettek a két módszer viszonyában, mint az elsőnek. A tapasztalatok tükrében továbbra is elmondható, hogy ennél a módszernél is:

1. a mérés tervezése még több figyelmet és ezáltal időt igényel,
2. a maximális pontosságú mérés hosszabb időt vesz igénybe, mint egy mérőállomásnál, még 5 fordulóval is
3. ha nincs referenciamérés, könnyű (azonosítási) hibákat elkövetni

Ezen kívül a módszerből adódó tapasztalatok:

1. Az egy álláspont ellenére, a prizmák egyes pontokra történő elhelyezése is időigényes művelet
2. A prizmák lézerszkennelése műszer irányú zajt okoz, akár fél méteres távolságig, különösen 360°prizma esetében, ezért vízszintes irányú meghatározáshoz sem használható közvetlenül
3. A prizmás pontok közvetett meghatározása során könnyű durva hibát elkövetni, mind magassági, mind vízszintes értelemben
4. A vízszintes koordináta meghatározás iterációs folyamat, ezért a feldolgozás hosszadalmas

A fentiek ellenére lézerszkennelésnél mindenképp ez utóbbi megoldás, ami jobb, hiszen pontosság tekintetében több hibátényező kiesik (kiegészítő mérések hibája, kapcsolópontok mérések hibája, pontfelhő transzformációk hibája), és időben is valamivel gyorsabb, mivel nem kell több álláspont helyét és az azok közötti kapcsolatot megtervezni.

Mivel az eredmények nem a várakozások szerint alakultak tovább kell kutatni a témát. A lézerszkenneres mérést ezzel együtt sem gondoljuk a legideálisabb módszernek az adott feladattípusra. Amivel jobb eredményt lehetne elérni még, ha a prizmarúd paraméterei ismeretében kiegyenlítő kört illesztenénk rá, és annak a középpontját használnánk, mint vízszintes koordináta. Ezt több helyen elvégezve jó közelítéssel a valós pontot kapnánk eredményül. [10.] Ezzel párhuzamosan fontos lenne felderíteni, hogy milyen tényezők okozhatják a nem várt eredményeket. Egyik ilyen lehetséges irány, a repülési nyomvonal

számítása során esetlegesen nem megfelelő dátum okozta hiba. Ennek az eshetőségnek a konkrét vizsgálatát már elkezdjük.

9 Summary

Following the findings following the first measurements, this time we experimented with the one-position measurement, which produced similar results in relation to the two methods as the first. In the light of experience, it can still be said that even with this method:

1. planning the measurement requires even more attention and therefore time,
2. maximum accuracy measurement takes longer than at a measuring station, even with 5 rounds
3. if there is no reference measurement, it is easy to make (identification) mistakes

In addition, the experiences resulting from the method:

1. Despite the one point of view, placing the prisms at certain points is also a time-consuming operation
2. Laser scanning of prisms causes noise in the direction of the instrument, up to a distance of half a meter, especially in the case of a 360° prism, therefore it cannot be used directly for horizontal determination either
3. During the indirect determination of prism points, it is easy to make a gross error, both in terms of height and horizontal
4. The horizontal coordinate determination is an iterative process, so the processing is lengthy

Despite the above, laser scanning is definitely the latter solution, which is better, since several error factors are eliminated in terms of accuracy (errors in additional measurements, errors in measurements of switching points, errors in point cloud transformations), and it is also somewhat faster in time, since there is no need to plan the location of several positions and the connection between them .

Since the results were not as expected, the topic needs to be researched further. Even so, we do not consider laser scanner measurement to be the most ideal method for the given type of task. With which a better result could be achieved if, knowing the parameters of the prism rod, we fit an equalizing circle to it and use its center as a horizontal coordinate. By doing this in several places, we would get a good approximation of the real point as a result. [10.] At the same time, it would be important to find out what factors could cause

the unexpected results. One of these possible directions is an error caused by an incorrect date during the calculation of the flight track. We have already started the concrete investigation of this possibility.

10 Irodalomjegyzék

- [1] [What is accuracy in an aerial mapping project? | Pix4D](#) (2022.10.28.)
- [2] [Total station in surveying– Working Principle of Total station – vin civilworld](#) (2022.10.29.)
- [3.] [What Is Total Station | Components Of Total Station | Parts Of Total Station | How To Use Total Station In Surveying | Uses Of Total Station | Types Of Total Station - Civiconcepts](#) (2022.10.29.)
- [4.] [Leica ScanStation C10 \(brochure\)](#)
- [5.] Földi lézerszkennelés mérnökgeodéziai célú alkalmazása, PhD értekezés, Berényi Attila (2011)
- [6.] [Cessna 206 - Wikipedia](#) (2022.10.30.)
- [7.] [Piper PA-23 - Wikipedia](#) (2022.10.30.)
- [8.] Gergely LÁSZLÓ; Gabriella BOR; Grégory LUCAS
Application development supporting orthophoto documentation
AIS 2021-16th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas -
Proceedings pp 102-107 (2021)
- [9.] Transzformációk hatása az ortofotókészítés végtermékének pontosságára,
Szakdolgozat, Hahn-Kakas Dorottya (2019)
- [10.] Alternatív pontjelek alkalmazhatósága földalatti és föld felszíni képződmények
lézerszkenneres mérése során, Szakdolgozat, Petrétai Boglárka Alexia (2018)
- [11.] Digitális légifényképező kamerák kalibrációi, Szakdolgozat, Bor Gabriella (2021)
- [12.] Fotogrammetria, Digitális fotogrammetria, Dr. Jancsó, Tamás (2010)