

M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Pilóta nélküli repülőgép geodéziai célú pontossági vizsgálata

Tudományos Diákköri Konferencia 2018

Készítette: Szigeti Diána

Konzulens: Balla Csilla, Dr. Égető Csaba

Budapest, 2018

TARTALOMJEGYZÉK

1	Köszönetnyilvánítás	3
2	Bevezetés:.....	4
3	Mérés:.....	5
3.1	Helyszínválasztás szemszögei:.....	5
3.1.1	BME	5
3.1.2	Iszka-hegy	5
3.2	Vizsgálatban alkalmazott műszerek és eszközök	7
3.2.1	DJI Phantom 4 Pro pilóta nélküli repülőgép	7
3.2.2	Repülés paramétereit kezelő program.....	8
3.2.3	Ground Controll Points	10
3.2.4	Illesztő pontok meghatározásának módja.....	12
3.3	Vizsgálatok elvégzése.....	13
3.3.1	BME	13
3.3.2	Iszka-hegy	13
4	Feldolgozás	14
4.1	3D Survey program leírása	14
4.2	Képek behívása	14
4.3	Sugárnyaláb kiegyenlítés.....	14
4.4	Illesztő pont koordináták behívása, abszolút tájékozás.....	17
4.5	Sűrű pontfelhő	19
4.6	Ortofotó.....	21
5	Eredmények	23
6	Összefoglalás.....	26
7	Irodalomjegyzék.....	27

1 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Első sorban szeretném megköszönni Dr. Égető Csabának a rengeteg segítséget, szakmai és emberi támogatását. Szabad idejét nem sajnálva, egész napokat és éjszakákat feláldozva mindig készen állt arra, hogy eljöjjön velem mérni.

Köszönöm még Turák Bencének, aki szintén egész napokat és éjszakákat szentelt arra, hogy segítsen ennek a dolgozatnak az elkészülésében.

Végül, de nem utolsó sorban köszönöm még Dr. Rózsa Szabolcsnak, aki elvitt minket Székesfehérvár mellé, az Iszka-hegyi tesztmezőre.

2 BEVEZETÉS:

Napjainkban egyre elterjedtebb a drónok geodéziai, illetve térképezési célú használata. A drón egy pilóta nélküli repülőgép, angolul Unmanned Aerial Vehicle, amely kifejezést hazánkban is UAV-nek rövidítenek. A hagyományos geodéziai felmérés helyett, amely napokig, vagy akár hetekig is eltarthat, ezek a kis repülőgépek képesek egy kijelölt területet néhány tízperc alatt feltérképezni.

Dolgozatom célja, hogy megvizsgáljuk az UAV készülékek geodéziai célú pontosságát és megbízhatósági mérőszámokat tudjunk adni hasonló eszközzel dolgozó kollégák számára.

3 MÉRÉS:

A vizsgálat tárgya egy DJI Phantom 4 Pro UAV készülék, amelynek segítségével méréseket végeztem a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem északi udvarának déli részén (az MM, MT, MG épületei felett), valamint Székesfehérvár közelében, Iszkaszentgyörgy déli szomszédságában található Iszka-hegyen egy tesztmezőn.

3.1 HELYSZÍNVÁLASZTÁS SZEMSZÖGEI:

Először kiválasztottam a megfelelő, felmérésre alkalmas területet. Az elsődleges szempont az volt, hogy legyenek magasságkülönbségek, illetve legyenek olyan pontok, amelyeket természetes illesztő pontoknak tudok kinevezni. Mesterséges illesztő pontot is szerettem volna, így azt is nézni kellett, hogy olyan helyen legyen a mérés, ahol a GCP-ket (Ground Control Points – illesztő pontok → azaz a képen egyértelműen azonosítható és geodéziai koordinátával rendelkező pontok) nem mozdítják el az általam rögzített helyükről. A pontoknak megközelíthető helyen kellett lennie, mert GPS-el be kellett tudjuk mérni a pontos koordinátáikat.

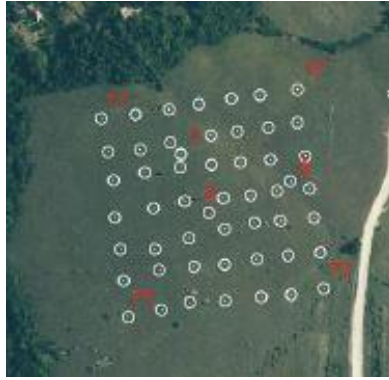
3.1.1 BME

A Műszaki Egyetem megfelelő volt a mérés szempontjából, ugyanis többféle magasságban helyezkednek el az épületek és a terület bővelkedik természetes illesztő pontokban. Ezt a területet annak sűrűn beépített volta miatt választottam. Először lerepültem a kijelölt területet, hogy meglássam a különböző részek mennyire és hogyan képződnek le a felvételeken.

Az illesztő pontokat úgy választottam ki, hogy különböző magasságban legyenek. Az MM, MT és MG épületek rendelkeznek nagyobb lapostetővel is, így azokon kijelöltem/azonosítottam néhány pontot, akárcsak a kertben és az utcán is.

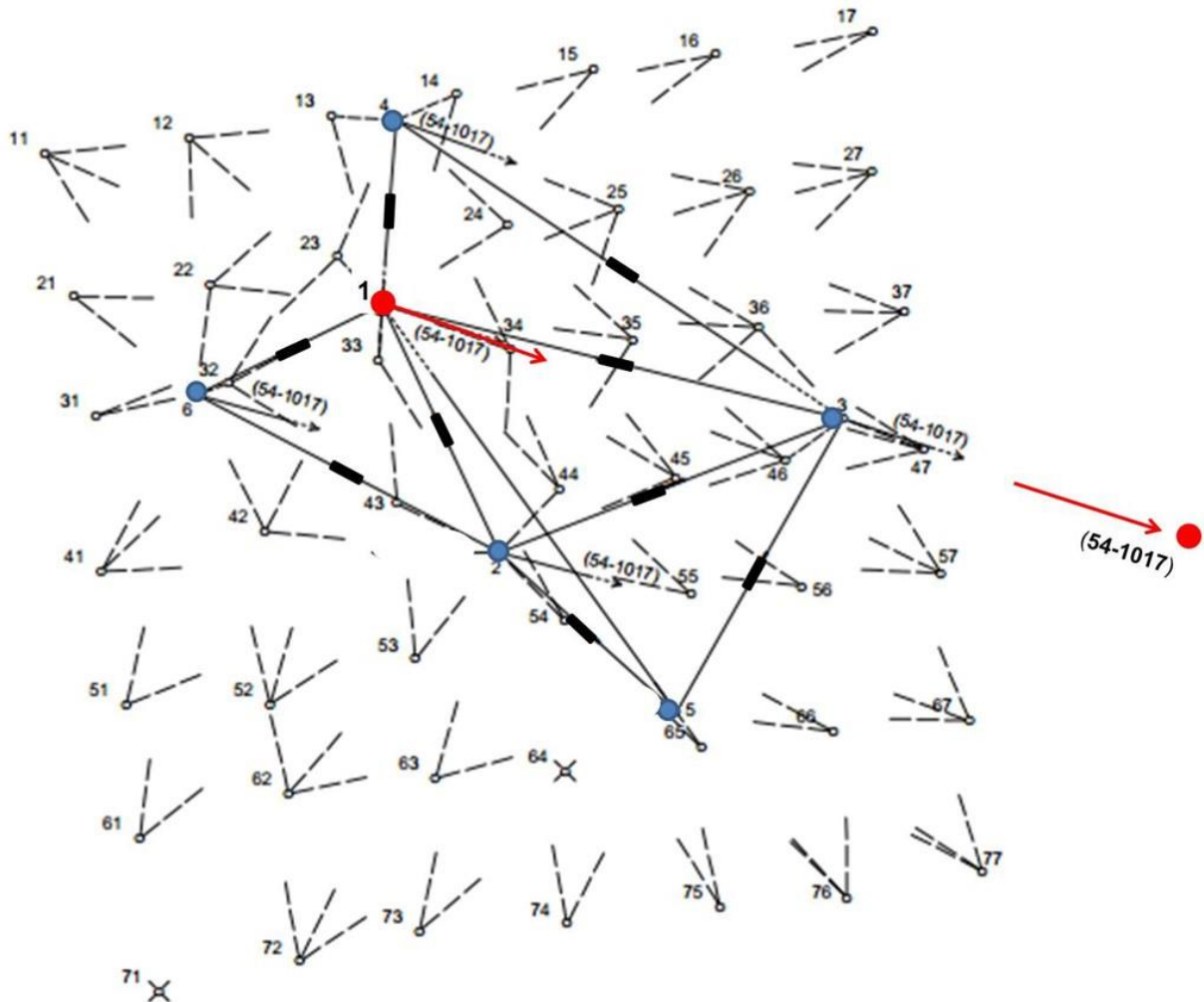
3.1.2 Iszka-hegy

Iszka-hegyen természetes illesztőpont kijelölésére nem volt szükség, ugyanis ott rendelkezésemre állt egy 200 méter x 200 méteres területet elfoglaló, 49 mesterséges pontból álló raszter mező, amelyek szabályosan, 28 méterre egymástól helyezkednek el (1. ábra). Az a terület UAV készülékek pontosságának meghatározásához lett létrehozva 2016-ban. Amely pontok elpusztultak azokat saját pontokkal helyettesítettem. A terület inhomogén, a legnagyobb szintkülönbség körülbelül 20 méter.



1. ábra A tesztmező pontjainak elrendezése [1]

A pontok koordinátáit, az UAV-któl elvárt néhány (2-3 cm) centiméteres pontosság elérése érdekében, ± 1 centiméteres középhibával kellett kiszámítani. Tisztán mérőállomással végzett felmérés eredményét az országos hálózatban (EOV) kiegyenlítve határozták meg [1] (2. ábra).



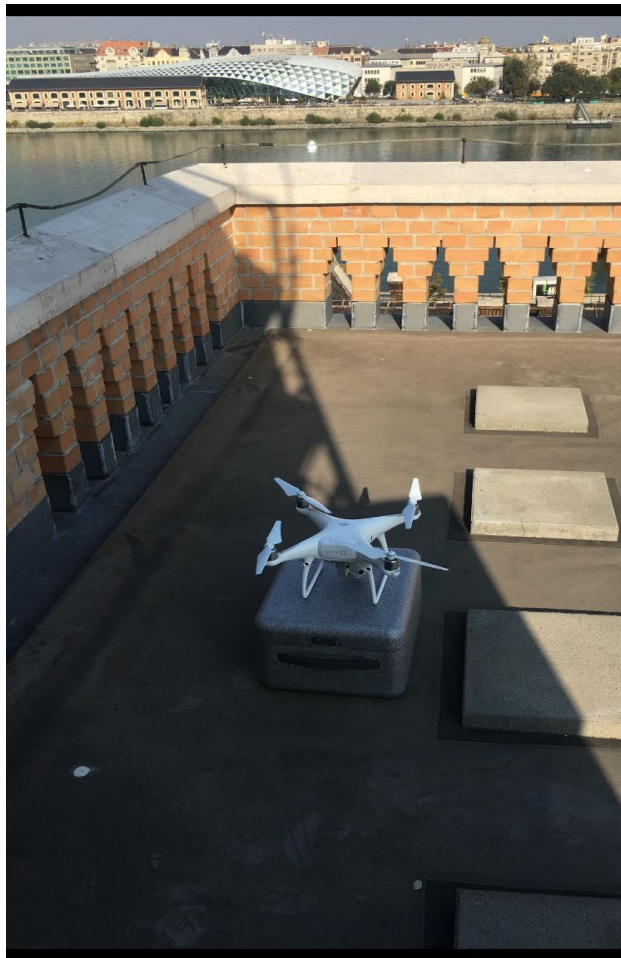
2. ábra Iszka-hegyi tesztmező meghatározási terve

3.2 VIZSGÁLTBAN ALKALMAZOTT MŰSZEREK ÉS ESZKÖZÖK

A vizsgálat során különböző műszerekkel dolgoztam, amelyeket a következő szakaszokban részletezek.

3.2.1 DJI Phantom 4 Pro pilóta nélküli repülőgép

Az UAV, amivel a pontfelhőt képző felvételeket készítettem egy DJI Phantom 4 Pro (rövidítéseknél: P4P) földmérésre és térképezésre is alkalmas készülék. A tömege nagyon könnyű, 1388 gramm. Átlós mérete 350 milliméter, magassága is hasonló [2] (3. ábra).



3. ábra DJI Phantom 4 Pro

Saját kézzel is lehet vezérelni, reptetni, de be lehet programozni, hogy merre és hogyan haladjon, amelyet repülési tervnek hívnak. Definiálni kell benne a repülés irányát, magasságát, a készítenő képek átfedését soron belül és sorok között (százalékban), a képek készítéséhez szükséges információkat, így miközben repül, a készülék földi távirányítóját csak arra kell használni, hogy megfelelő legyen a kapcsolat az UAV készülékkel. Fontos megjegyezni, hogy a távirányító jelerősségét sok minden befolyásolhatja, például ha messzebb van az UAV, egy

fától, vagy lámpaoszloptól is csökkenhet. 10% alá nem szabad esnie, különben elveszíti a jelet és 10 másodperc (folyamatos jelvesztés) után visszatér kiindulási pontjára. Adott terület felmérésénél hasznos, hogyha előre betáplált útvonalon halad az UAV, mert úgy pontosabb adatokat kapunk, mintha kézi irányítással menne. Stabilizátorok (gimbal) segítségével kicsit erősebb szélben sem remeg be.

Hátránya, hogy egy akkumulátorral körülbelül 25 percig tud repülni az UAV, ezért érdemes több akkumulátorral érkezni a terepre. Emiatt viszont nem lehet nagyobb területet felmérni vele. Az előre betáplált repülési útvonalon jelzi, hogy mikor kell akkumulátort cserélni, ami segítség abban, hogy arra az időpontra elő legyen készítve minden a cserére. A távirányító akkumulátora hosszabb ideig képes működni.

A DJI saját kameráját használtuk a felvételek készítésénél, ami 20 Mp. A feldolgozó szoftver nem igényelte a gyári kamera kalibrációját így ettől eltekintettünk. Stabilizátor (gimbal) segítségével a kamera nem mozog együtt az UAV készülékkel, hanem abban a pozícióban marad, amibe beállítottam.

3.2.2 Repülés paramétereit kezelő program

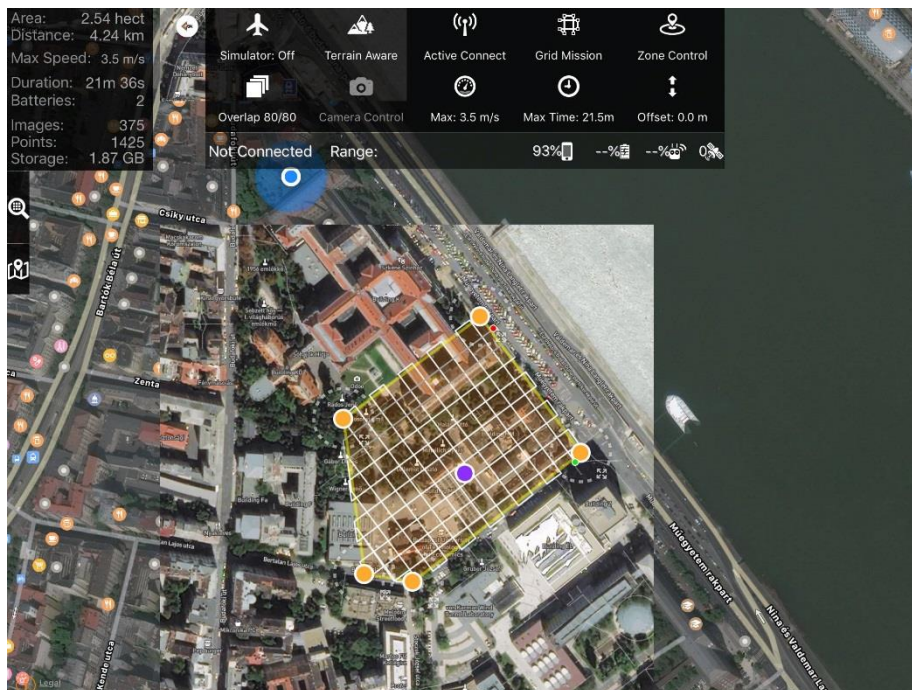
Az általunk használt P4P kezelőpanelje egy Apple Ipad, melyre olyan programok vannak telepítve, amelyek segítségével a repülés, felvétel készítés paramétereit nagyon pontosan be lehet állítani. Általunk használt programok neve (a teljesség igénye nélkül): Map Pilot és DJI Go.

Alapvető beállítások:

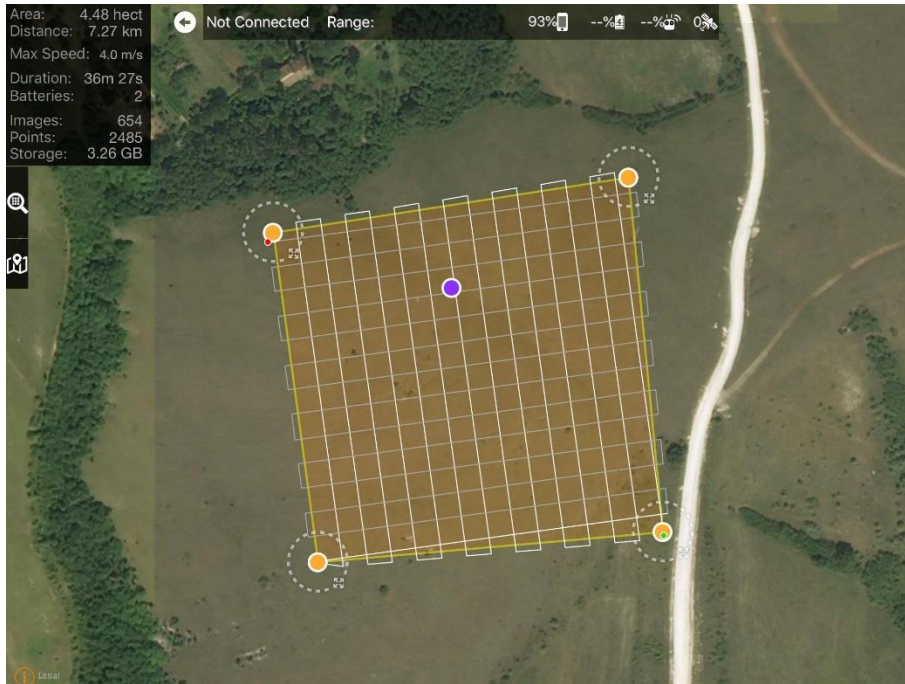
- repülési útvonal
- repülési irány
- repülés magassága
- repülés sebessége
- „hazarepülés” magassága
- soron belüli és sorok közötti átfedés mértéke
- záridő
- ISO fényérzékenység
- kamera állásszöge
- fehéregyensúly

A repülést befolyásoló beállítások:

A repülési útvonalat könnyen meg lehet adni. A Map Pilot programban a térképen kiválasztjuk a repülni kívánt terület sarokpontjait és ki is számolja, hogy mennyi idő alatt képes ezt az utat adott sebességgel megtenni. Bármilyen irányban tud repülni a készülék. A kívánt terület hossz tengelyével párhuzamos vagy arra merőleges irányban, esetleg mindkét irányban (raszter elrendezésben) érdemes. A repülési magasság kiválasztásánál figyelembe kell venni, hogy a készülék terepi pixel mérete egyenesen arányos a magasság növekedésével, minél magasabban repül az UAV, annál nagyobb a terepi pixel értéke (pl.: 25 méteren 0,7 cm/pixel, 50 méteren 1,4 cm/pixel). A minimum repülési magasság a 25 méter. A repülés optimális sebességét is kiszámítja a program, de meg lehet változtatni, amely olykor szükséges is, hiszen a repülés idején uralkodó fényviszonyok ezt megkövetelik (4. és 5. ábra). A maximális sebessége 12 m/s. A P4P automatikusan megjegyzi a kiinduló pontját és ha elveszíti a jelet, amit a földi távirányítója bocsájt ki, vagy ha szükségessé válik akkumulátorának cseréje, akkor automatikusan visszatér arra a helyre. A visszaérkezés magasságát be lehet állítani, amely arra jó, hogyha olyan környezetben repülünk, ahol épületek vannak, magas fák vagy bármi egyéb, ami az útjába kerülhet, nagyobb magasságot adunk meg. Azon felül, hogyha bármi az útjába kerülne, nem megy neki a vizuális (kamerák), távolságmérő szenzoroknak köszönhetően.



4. ábra BME raszter repülési beállítások



5. ábra Iszka-hegy repülési beállítások

A felvételt befolyásoló beállítások:

A megfelelő felvételek készítéséhez elengedhetetlen a záridő beállítása, hogy mennyi fényt engedjen be. Felhős időben több időre van szüksége a megfelelően világos kép készítéséhez. Ennek optimális értékét ki lehet számítani a terepi pixel illetve a sebesség segítségével, általában $1/500$ vagy $1/800$ az értéke. Mialatt a repülőgépen található kamera exponál, az ideig a teljes rendszer a terepi pixel méret harmadával mozdulhat el, az exponálás alatt megtett út hossza (s), az exponálás ideje (t) valamint a repülő sebessége (v) a kulcs. A fényérzékenységet is lehet állítani, ezt ISO100-on használjuk. A kamera állásszögét is lehet változtatni, 0° - 30° -ig. Ortofotóhoz nadír irányú (0° -ban készített) felvételeket érdemes alkalmazni, ami persze nem jelenti azt, hogy egy 30° -ban készített felvétel halmaza nem lehetne geodéziai mérésekre felhasználni. A fehérregyensúlyt is be lehet állítani, napos vagy felhős időre, de automatikusan is hagyhatjuk.

3.2.3 Ground Controll Points

Magyarul illesztőpontoknak hívják, GCP-nek rövidítjük. Az Általános- és Felső Geodézia Tanszék készített saját GCP-eket, fehér 3 mm-es ongrofoam (habosított PVC) lapra, fekete fóliát ragasztva kör alakban a közepére. A közepében erősítettem a földre szegekkel, hogy ne mozduljon el a pont, amikor bemérem GPS-el és amíg az UAV felvételt készít (felméri) az adott területet. A saját pontok 27 centiméter x 27 centiméteres négyzet alapú pontok.

Iszka-hegyen telepített, mesterséges GCP-k vannak, amik egy 200 méter x 200 méteres raszter mezőt képeznek. Közülük néhánynak meg volt adva a koordinátája, így ellenőrzésképpen összevettem az adott koordinátákat azokkal, amelyeket én mértem a terepen a TopCon GPS-el. Az eltérés csak néhány milliméter volt az adott és a mért érték között. A telepített pontok 50 centiméter x 50 centiméteres műanyag lapok, amelyek közepén nem kör alakú fólia van, hanem fehér és fekete színű rombuszokból tevődik össze. A négy sarkuknál és középen is le voltak rögzítve szegekkel a pontok (6. ábra).



6. ábra Telepített illesztő pont - Iszka-hegy

Az Egyetem területén ilyen pontok lerakására nem volt lehetőség, mert féltő volt, hogy elmozdítják helyükről és abban az esetben nagy eltérések, ellentmondások keletkeztek volna a kiegyenlítésnél, így ott csak természetes illesztő pontokkal dolgoztam (7. ábra).



7. ábra Természetes illesztő pont - BME

3.2.4 Illesztő pontok meghatározásának módja

A természetes illesztő pontokat a BME területén Leica GS08 RTK GNSS vevővel mértem hálózati RTK segítségével, 1 x 120 epochával (8. ábra).



8. ábra Illesztő pont - BME

A mesterséges illesztő pontokat Iszka-hegyen TopCon HiPer II GNSS vevővel mértem saját bázisos RTK segítségével, amely meghatározása 120 epochával történt, a részletpontokat 1 x 60 epochával. Átlagban 10 GPS és 6 GLONASS mesterséges holdra történt az észlelés (9. ábra).



9. ábra Illesztő pont - Iszka-hegy

3.3 VIZSGÁLATOK ELVÉGZÉSE

3.3.1 BME

Raszterben repült az UAV, ami azt jelenti, hogy mind Észak – Dél, mind Nyugat – Kelet irányban repült és csak annyi időre szállt le, amíg ki kellett cserélni az akkumulátort. A repülés pontosan 21 perc 36 másodpercig tartott, amit normális esetben egy akkumulátorral elbírt volna, de ami benne volt, nem volt teljesen feltöltve, ezért volt szükség repülés közbeni cserére. 375 darab képet készített összesen. 50 méter magasan repült. A beállítások a következők voltak: ISO100, a záridő 1/500 volt, a kamera merőlegesen állt a felszínre nézve, 0°-ban, 3,5 m/s-os sebességgel repült, a soron belüli és sorok közötti átfedés mértéke 80-80%-os volt.

3.3.2 Iszka-hegy

Ezen a helyszínen is raszterben repült, de itt nagyobb területet, mint az Egyetemen, így tovább tartott a repülési idő, 36 perc 27 másodperc volt. Teljesen feltöltött akkumulátor volt benne elsőként, de mivel a maximális repülési idő egyel 25 perc, ezért muszáj volt cserélni. 654 darab képet készített összesen. 50 méter magasan repült itt is. A beállítások hasonlóak voltak: ISO100, a záridő 1/800 volt, a kamera 0°-ban állt itt is, 4,0 m/s-os sebességgel repült és a soron belüli és sorok közötti átfedés szintén 80-80%-os volt.

4 FELDOLGOZÁS

Az adatokat a 3D Survey nevű programban dolgoztam fel, a következő szakaszokban részletezett lépésekkel.

4.1 3D SURVEY PROGRAM LEÍRÁSA

Ennek a programnak a segítségével lehet létrehozni az UAV készülék felvételeiből egy kiegyenlített sűrű pontfelhőt, amelyből geodéziai mérésre alkalmas ortofotót is lehet készíteni, de például metszeteket, szintvonalas rajzolást, térfogat számítást is.

4.2 KÉPEK BEHÍVÁSA

A felvételek programba integrálásánál nagyon kell figyelni arra, hogy földi kép ne legyen közöttük. Ha mégis lenne benne, azokat könnyedén utólag is (azaz a beolvasást követően) ki lehet zárni a további számításokból. Földi kép az, amit akkor készít, amikor fel- illetve leszáll az UAV. Miután betöltötte a képeket, úgynevezett kötegelt kiegyenlítést (sugárnyaláb kiegyenlítést) kellett végezni, amikor a képekből létrehoz egy durva pontfelhőt. Az Egyetem raszterben repült képeinél (375 darab) 2 órán keresztül dolgozott. Iszka-hegy raszterben képeinél (654 darab) 4 órán keresztül dolgozott.

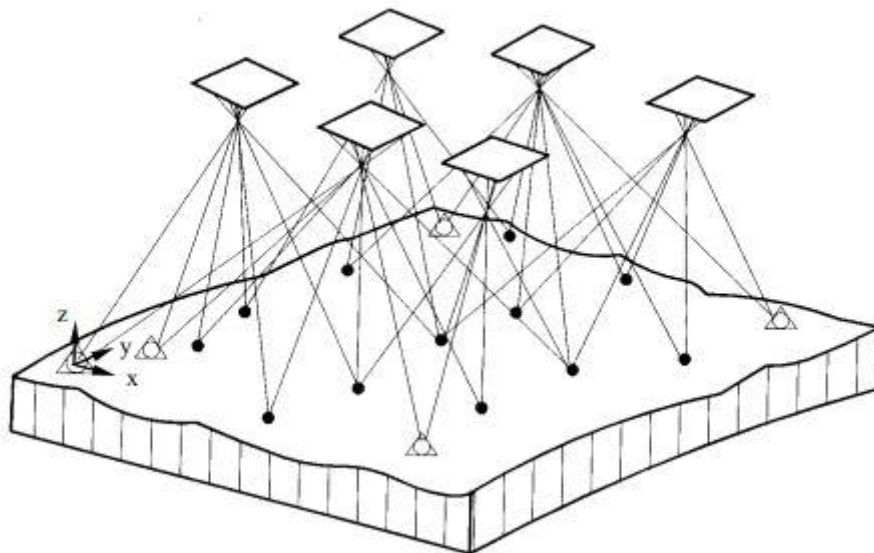
Külön megtettem ezt a lépést az Észak – Dél és a Nyugat – Kelet irány képeivel, szét lettek választva, hogy megvizsgáljam, érdemben hozzáad-e valamit az, ha raszterben repül az UAV, vagy csak egy irányban. A szétválogatott képeket hamarabb fel tudta dolgozni a program.

4.3 SUGÁRNYALÁB KIEGYENLÍTÉS

A sugárnyaláb kiegyenlítésnél (10. ábra) a cél a képek külső tájékozási elemeinek meghatározása (képenként 6 db paraméter), amelyek segítségével a sztereoszkopikus pont képkoordinátáit $(\xi_1, \eta_1, \xi_2, \eta_2, \xi_1, \eta_1, \xi_2, \eta_2)$ közvetlenül a geodéziai koordinátarendszerbe számíthatjuk át $(X_G, Y_G, Z_G, X_G, Y_G, Z_G)$, anélkül, hogy közbeiktatnánk a térmodell koordinátarendszerét $(X_M, Y_M, Z_M, X_M, Y_M, Z_M)$ [3] (1. táblázat).

1. táblázat Tájékozások összefoglalása

Tájékozás	Cél	Paraméterek	Matematikai modell	Mérendő pontok
Belső	$x, y \rightarrow \xi, \eta$	6 db $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$	Affin transzformáció	Keretjelek ≥ 4
Relatív	$\xi_1, \eta_1, \xi_2, \eta_2 \rightarrow X_M, Y_M, Z_M$	5 db $b_1, b_2, \varphi_1, \varphi_2, \kappa_2$	Komplanár feltétel	Gruber pontok ≥ 6
Abszolút	$X_M, Y_M, Z_M \rightarrow X_G, Y_G, Z_G$	7 db $X_I, Y_I, Z_I, \Phi, \Omega, \kappa, m$	Térbeli hasonlósági tr.	Illesztő pontok ≥ 3
Sugárnyaláb kiegyenlítés	$\xi_1, \eta_1, \xi_2, \eta_2 \rightarrow X_G, Y_G, Z_G$	Képenként 6 db $X_0, Y_0, Z_0, \varphi, \omega, \kappa$	Kollineár egyenletek	Illesztő pontok képenként ≥ 4



10. ábra Sugárnyaláb kiegyenlítés alapelve [6]

A kollineár egyenletek (11. ábra) segítségével a képkordináták alapján számíthatók a képek külső tájékozási elemei, vagyis a képek abszolút helyzetét megadó vetítési középpontok koordinátái és a képek háromirányú elfordulását megadó forgatási szögek. Ugyanakkor az egyenletek segítségével a kapcsoló- és egyéb új pontok koordinátái is kiszámíthatók, ha azokat is ismeretleneknek tekintjük [4].

$$\xi = -c_x \frac{r_{11}(X_G - X_0) + r_{21}(Y_G - Y_0) + r_{31}(Z_G - Z_0)}{r_{13}(X_G - X_0) + r_{23}(Y_G - Y_0) + r_{33}(Z_G - Z_0)}$$

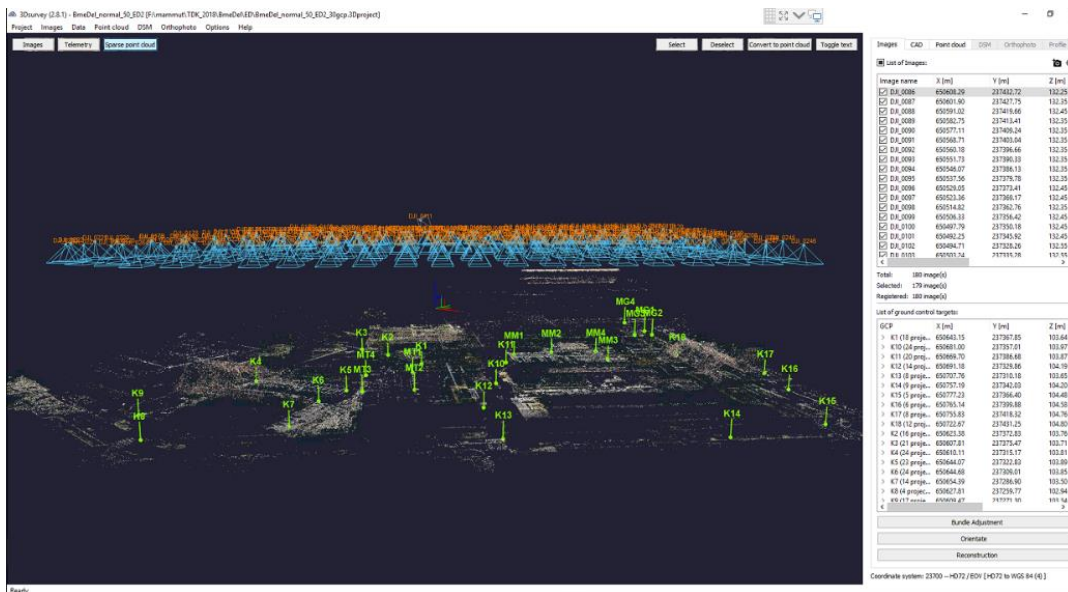
$$\eta = -c_y \frac{r_{12}(X_G - X_0) + r_{22}(Y_G - Y_0) + r_{32}(Z_G - Z_0)}{r_{13}(X_G - X_0) + r_{23}(Y_G - Y_0) + r_{33}(Z_G - Z_0)}$$

11. ábra Kollineár egyenletek

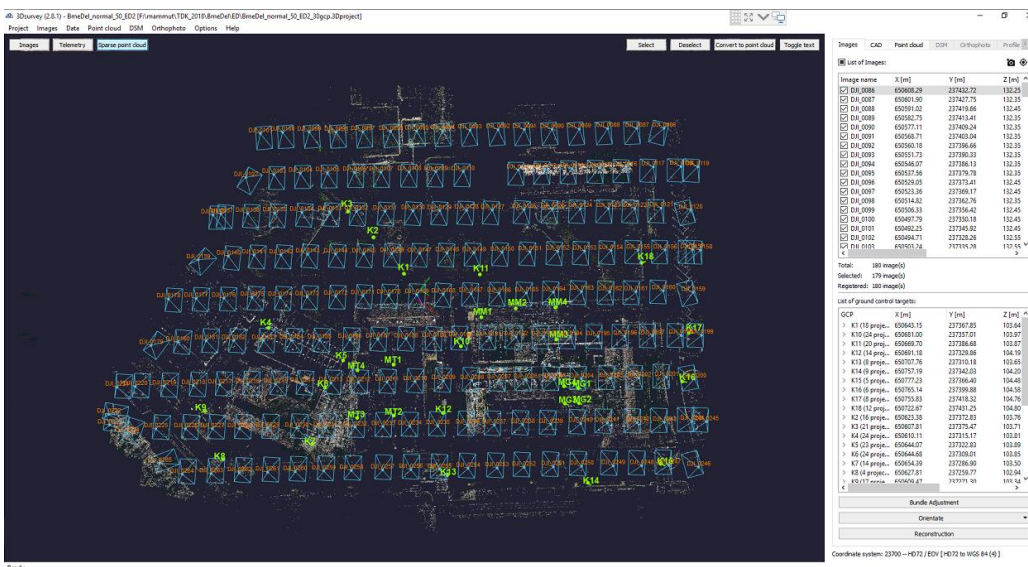
Jelölések:

- ξ, η : a képfepontra redukált képkoordináták
- X_G, Y_G, Z_G : terepi koordináták
- X_0, Y_0, Z_0 : vetítési centrum koordinátái
- r : irány koszinusz, ahol $r = f(\varphi, \omega, \kappa)$
- c_k : kameraállandó, ismertnek vesszük

A durva pontfelhőből látszódott, hogy a területnek mely részei képződtek le jobban. Java részt a terület közepe, ami jól látszódik, a széle felé kevésbé, ez azért lehetséges, mert a terület szélén kevesebb felvétel készült, így azokra a részekre kevesebb pontot tudott leképezni (12. ábra és 13. ábra).



12. ábra Durva pontfelhő - BME



13. ábra Durva pontfelhő - BME

4.4 ILLESZTŐ PONT KOORDINÁTÁK BEHÍVÁSA, ABSZOLÚT TÁJÉKOZÁS

Az Egyetemen lerepült területen 30 illesztő pontot mértem meg. Próbáltam körbevenni velük a területet, az épületek között, tetején, a kertben és az úton is mértem. Ezen pontok koordinátáját egy txt fájlba kigyűjtöttem. A 3DSurvey programban abszolút tájékoztam a képeket az illesztő pontok segítségével. Minimum 3 pontot be kellett azonosítani, a többi felismerte automatikusan, de némi korrekciót igényeltek. Azonban ahhoz, hogy a tájékozás későbbi lépésben hatékonyabban haladjon, ajánlatos az összes felhasznált pont fényképen történő azonosítása. Miután minden pontot, amit kiválasztottam illesztő pontoknak, azonosítottam a normálméretű képeken, utána kiválogatta és szétválogatta a program a képeket oly módon, hogy az illesztő pontokat számozásuk szerint növekvő sorrendbe állította és külön-külön mindegyikhez hozzárendelte ránagyítva azokat a képeket, amelyeken látszódnak.

Az abszolút tájékozást többféleképpen elvégeztem, attól függően, hogy a folyamatban hány darab illesztő pontot vontam be. A BME esetében először mind a 30 pontot felhasználtam illesztő pontokként, majd 12-t és végül 6-ot. Az illesztő pontok felismerésének, azonosításának ideje egyre kevesebb volt. Repülési irányonként azonosítottam mindig a pontokat, a 30, 12 és 6 pontot mind raszter, Észak – Dél és Nyugat – Kelet irányban is. Először a 30 illesztő ponttal kezdtem Észak – Dél irányban. 1 óra 30 percre tartott, mire az illesztő pontokat alaposan és precízen azonosítottam a képeken, feldolgozta a program és megkaptam a maradék ellentmondások koordináta-összetevőkre bontott értékét és az azokból számított vektor hosszát is (14. ábra). Abból a szempontból is nehezebb volt megtalálni a pontokat, hogy csak természetes illesztő pontokat mértem. Nyugat – Kelet, illetve raszteres irányban már kevesebb idő is elég volt, hogy azonosítsam a pontokat, 1 óra volt. 12 GCP raszteres mérésben való használatánál már harmadára csökkent az felhasznált idő, 30 perc alatt készen volt, a másik két irányban pedig hatodára csökkent, már csak negyed óra volt. 6 GCP használatánál a raszteres mérésben is mindösszesen 10 percet vett igénybe az illesztő pontok azonosítása, a két külön irányban pedig nagyjából 7 perc volt.

Orientation summary

Estimated error [m]:

	X	Y	Z	Total
K10	-0.003	0.013	0.000	0.013
K13	0.003	-0.009	-0.003	0.010
K15	0.008	0.001	-0.004	0.009
K16	-0.002	-0.008	-0.002	0.009
K18	-0.003	-0.001	0.006	0.007
K3	0.001	-0.003	-0.002	0.004
K4	0.003	-0.002	-0.000	0.004
K7	-0.007	0.007	0.001	0.010
K9	-0.004	-0.007	-0.006	0.011
MG3	0.000	-0.001	-0.000	0.001
MM4	-0.001	-0.003	0.000	0.003
MT1	0.006	0.001	0.002	0.006

14. ábra Abszolút tájékozás maradék ellentmondása - BME

Iszka-hegyen az első 3 pontot volt nehezebb beazonosítani, ugyanis a mesterséges illesztő pontok mind ugyanúgy néztek ki (azon néhány pont kivételével, amelyek elpusztultak és sajátunkból pótoltam). A terület inhomogén volta kicsit segített csak a pontok felismerésében. A raszter mező mind a 49 illesztő pontjának koordinátáját megmértem, de az első abszolút tájékozásba csak 14 darabot használtam fel. A raszteres mérésben 1 óra 40 percig tartott a képek tájékozása. Itt sokkal pontosabban lehetett a nagyított képeknél teljesen középre illeszteni a pontot, mint az Egyetemi képeknél (természetes illesztő pontok esetén). Észak – Dél és Nyugat – Kelet irányban 1 óra volt az abszolút tájékozás. A következőben az összes, 49 darab illesztő pontot felhasználtam, de kevesebb időbe telt, mert már tudtam melyik képnél kell elkezdni azonosítani a pontokat, 1 óra 20 perc volt a raszter, a másik két irány pedig 50 perc volt. Az Iszka-hegyen készült képek tájékozásának a felhasznált pontok koordinátáinak ellentmondásai átlagosan kisebbek lettek, mint a BME esetén (15. ábra). Ez többek között a pontok nagyobb mértékű beazonosíthatóságának köszönhető.

Orientation summary

Estimated error [m]:

	X	Y	Z	Total
gps1	-0.002	0.005	0.002	0.005
gps11	-0.001	0.000	-0.001	0.001
gps14	-0.001	-0.000	0.006	0.006
gps17	-0.001	0.001	0.000	0.001
gps26	-0.002	-0.005	-0.004	0.007
gps41	-0.004	0.002	-0.002	0.005
gps44	0.000	-0.006	-0.004	0.008
gps47	0.004	-0.002	-0.001	0.005
gps53	0.001	0.002	0.007	0.007
gps61	0.006	0.003	-0.009	0.012
gps66	0.004	0.007	-0.001	0.008
gps71	-0.003	-0.004	0.005	0.007
gps74	-0.001	-0.003	-0.003	0.005
gps77	-0.006	-0.003	0.005	0.009

15. ábra Abszolút tájékozás maradék ellentmondása - Iszka-hegy

4.5 SŰRŰ PONTFELHŐ

Pontsűrítés során hozza létre a magas denzitású 3D pontfelhőt a program. A sűrítés időtartamában nem játszik szerepet a felhasznált illesztő pontok száma, csak attól függ, hogy mennyi képből kell elkészítenie (17. ábra és 16. ábra).

A BME raszter képeiből körülbelül 4 óra alatt készíti el a pontfelhőt, az Észak – Dél, illetve Nyugat – Kelet irányok képeiből 2 óra alatt. Iszka-hegy raszter képeit 10 óra alatt futtatta végig, míg annak másik két irányát 5-5 óra alatt. A feldolgozott eredményeket (pontfelhőt) több millió pontok alkotják (2. táblázat, 3. táblázat).

2. táblázat Sűrű pontfelhő pontjai - BME

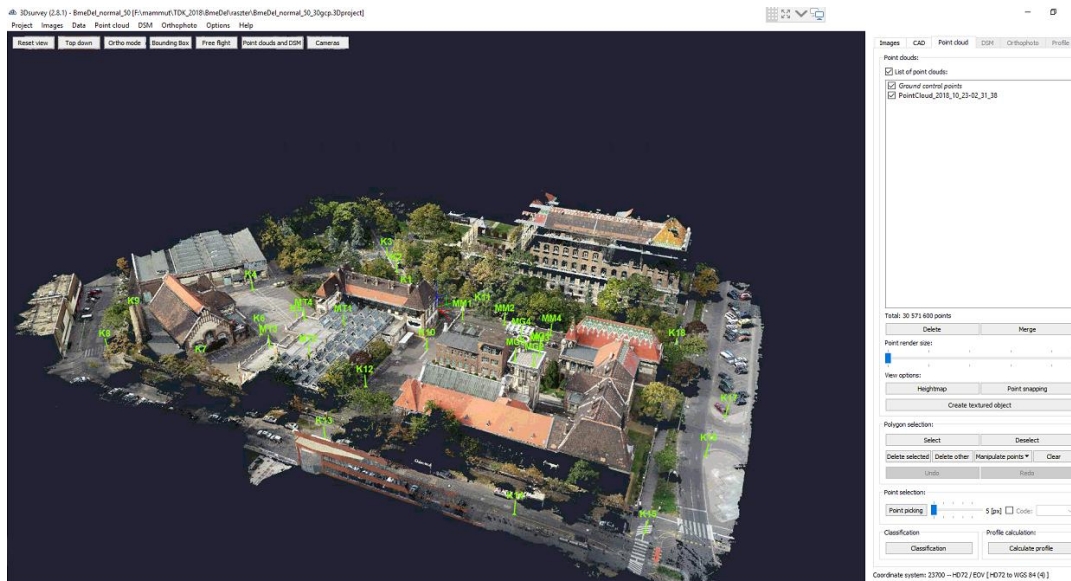
		Felhasznált illesztő pontok száma		
		BME	30 GCP	12 GCP
Repülési irányok	Raszter	30 571 600 pont	30 571 600 pont	30 571 600 pont
	ED	20 386 118 pont	6 497 570 pont	6 498 790 pont
	NYK	8 057 107 pont	6 098 643 pont	6 074 710 pont

3. táblázat Sűrű pontfelhő pontjai - Iszka-hegy

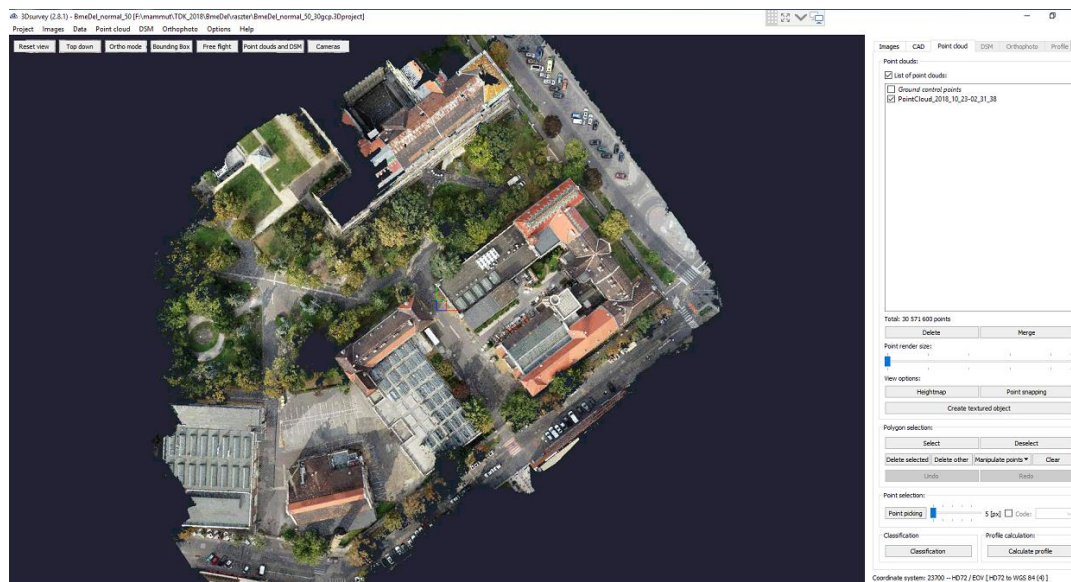
Felhasznált illesztő pontok száma

	<i>Iszka-hegy</i>	49 GCP	14 GCP
Repülési irányok	Raszter	31 415 478 pont	31 396 556 pont
	ED	24 069 659 pont	24 015 685 pont
	NYK	26 683 116 pont	26 612 968 pont

Azért volt szükség többféle illesztő pont mennyiségek felhasználására, mert ezekben a sűrű pontfelhőkben (amelyeknél nem használtam fel az összes mért illesztő pontot, hanem voltak független pontok is) lehet tovább vizsgálni az UAV pontosságát. Iszka-hegyen 3 bemért pontot nem használtam fel egyik kiegyenlítésben sem, így a 49 illesztő ponttal történő kiegyenlítés pontosságát azzal a 3 ponttal tudtam ellenőrizni. A BME-n további pontok koordinátáinak bemérésére volt szükség, hogy a 30 illesztő pontot felhasznált kiegyenlítésben is tudjam meghatározni annak pontosságát.



17. ábra Sűrű pontfelhő 1 - BME

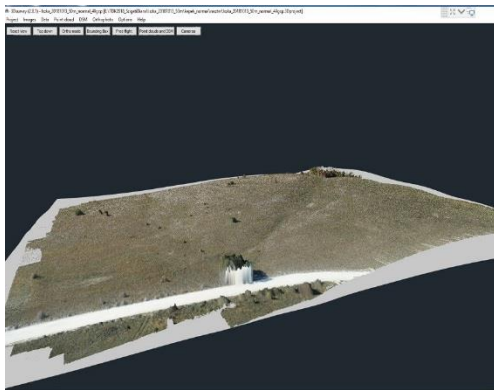


16. ábra Sűrű pontfelhő 2 - BME

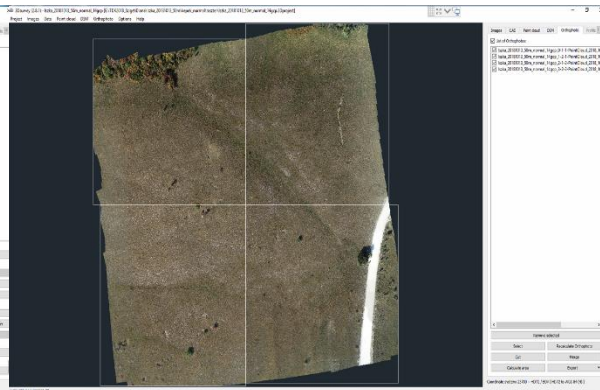
4.6 ORTOFOTÓ

Első lépésként Digitális Terepmodellt (DSM - Digital Surface Model) kell létrehozni. Ha szükséges (19. ábra és 21. ábra), a felszínmodell létrehozása előtt a pontfelhőt tisztítani kell, ami annyit jelent, hogy a nem kívánt objektumokat eltávolítjuk. A rácsméretet meg kell adni és a kitöltésben szereplő pontokat ki kell választani. Attól függően, hogy mekkora rácsméretet adunk meg, olyan sebességgel fogja létrehozni (minél kisebb, annál nagyobb számítási erőforrást igényel). Minél kisebb a rácsháló felbontása, annál részletgazdagabb az előállított

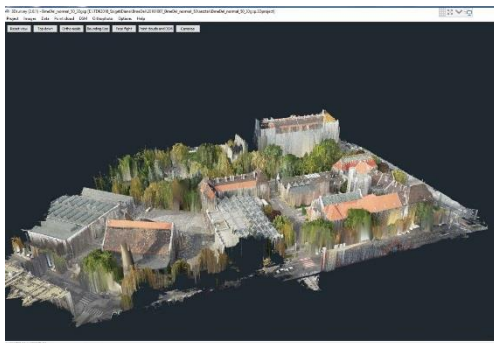
felszínmodell. Az ortofotónál (18. ábra és 20. ábra) be kell állítani a kívánt felbontást (optimális a felajánlott felbontást használni).



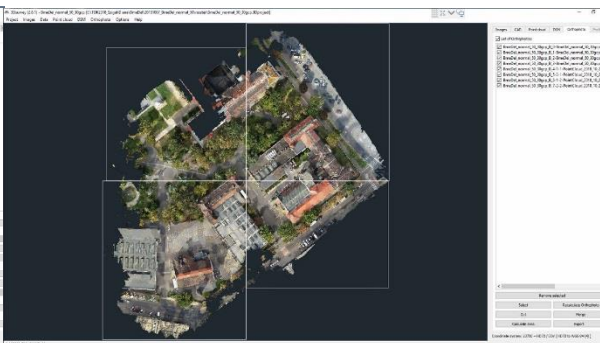
19. ábra DSM - Iszka-hegy



18. ábra Ortofotó - Iszka-hegy



21. ábra DSM - BME



20. ábra Ortofotó - BME

5 EREDMÉNYEK

A koordináták középhibáinak számításához a www.acrsa.hu weboldalon (a Légi Térképészeti és Távérzékelési Egyesület magyar nyelvű honlapján) található táblázatot vettem segítségül. A Légi Térképészeti és Távérzékelési Egyesület a légi fényképezés történetével és a térképek készítéséhez, felmérések végzéséhez szükséges repülőgépes és műszeres emlékek felderítésével foglalkozik, valamint egybegyűjti és segíti a repülőgépes, helikopteres, léghajós, illetve ember nélküli repülőeszközös (UAV) fényképezéssel és egyéb adatrögzítéssel foglalkozó intézeteket, cégeket és magánszemélyeket. [5].

Az Egyetem méréseinél azt lehet észrevenni, hogy a felhasznált illesztő pontok számától (6 db, 12 db, 30 db) nem függ nagyban a pontosság. A GPS-el mért pontok koordinátái, és az ortofotón mért pontok koordinátáinak középhibái csekély mértékben térnek el egymástól. Az egy irányban repült méréseknél pontosabb a több illesztő pontokat felhasznált mérések középhibái. A repülés irányától nagyobb mértékben függ a vertikális értékek középhibája. A Nyugat-Kelet irányban repült méréseknél rosszabbak a középhibák. Ez azért lehetséges, mert az épületek Észak-Dél tájolásúak. A raszterben repült méréseknél pedig mindkét irányból ugyanannyi képünk van, így jobban leképződtek a pontfelhőn és az ortofotón a pontok. A horizontális középhibák átlagosan ± 2 centiméter pontosságúak, a vertikális középhibák átlagosan ± 3 centiméter pontosságúak (4. táblázat)

4. táblázat Síkraízi pontosság az átlagos négyzetes hiba gyökeként megadva (RMSE)

	BME	RMSE						
		GCP [db]	Y [m]	X [m]	Z [m]	h [m]	v [m]	VE _{max} [m]
Repülési irány	Raszter	30 GCP	0,023	0,022	0,030	0,031	0,030	0,078
		12 GCP	0,019	0,022	0,024	0,029	0,024	0,073
		6 GCP	0,014	0,022	0,026	0,026	0,026	0,095
	NYK	30 GCP	0,027	0,020	0,031	0,034	0,031	0,061
		12 GCP	0,017	0,022	0,043	0,028	0,043	0,109
		6 GCP	0,020	0,026	0,038	0,033	0,038	0,138
	ED	30 GCP	0,018	0,023	0,021	0,029	0,021	0,060

VE_{max} - maximális magassági eltérés

Az egyik pont, amit utólag mértem GPS-el (P11) mindegyik mérésnél 20 centiméteres eltérést mutatott az ortofotón mért értékkel, ezért azt kivettem a középhibák számításából, a durva hiba elkerülése érdekében.

Az Iszka-hegyi mérések pontosabbak lettek, mert az illesztő pontok azonosíthatóbbak voltak, mint a BME területén mért pontok. Több illesztő pont felhasználásával kedvezőbb középhibákat kaptam, viszont minimális eltérés tapasztalható. Az eredmények alapján azt lehet észrevenni, hogy ezen a területen a repülési iránytól független a középhibák értéke. Az ortofotón mért koordinátákat az általam GPS-el mért koordinátákkal és a raszter mező eredetileg meghatározott koordinátaival is összevettem. A két táblázaton látható az eltérés (6. táblázat és 7. táblázat), ez azért van, mert egyrészt 2016-ban, amikor létrehozták a tesztmezőt az egyes pont koordinátáját GPS-el határozták meg (azon GPS megbízhatóságával, hibájával) és azt a koordinátát rögzítve hozták létre a hálózatot, amiben az illesztő pontok koordinátáinak pontossága $\pm 4-7$ milliméter. Az alapvető eltérés abból adódik, hogy a mérés céljából létrehozott bázisos RTK segítségével újra mértem az egyes pont koordinátáját és azt rögzítettem, amit én mértem, és nem azt, amit eredetileg határoztak meg. Így a mérésbe belekerült az általunk használt GPS hibája és a 2016-ban használt GPS és hálózat hibája is. Másrészt a képek külső tájékozása az általam mért illesztő pontok alapján történt, ezért is pontosabb az általam mért koordinátákkal összevetett ortofotó koordinátái, mint a precíz hálózat alapján létrehozott illesztő pont koordinátákkal.

A 2016-ban mért koordinátákat összevetve az általam mért koordinátákkal látszódik, hogy volt közöttük durva hibás érték is, mert az elpusztult pontokat bár helyreállították, bemérésükre nem került sor, így azokat a pontokat kihagytam a számításokból (5. táblázat).

5. táblázat Kihagyott pontok koordinátáinak eltérései

Eltérések (GEO - BME)			
psz	dY [mm]	dX [mm]	dZ [mm]
12	0,1	0,2	-23,9
13	-62,0	531,6	-25,1
22	-6,9	3,1	-2,2
56	-5,6	1,6	0,7
63	-4,9	0,5	-3,0
64	-25,0	5,8	-23685,8
65	0,0	0,9	-27,3
71	335,0	-591,7	-22829,2
76	-3,8	15,6	1,0
77	399,0	-879,5	-100,5

6. táblázat Saját mérések eredményei

	Iszka-hegy	RMSE						
		GCP [db]	Y [m]	X [m]	Z [m]	h [m]	v [m]	VE _{max} [m]
Repülési irány	Raszter	49 GCP	0,008	0,012	0,019	0,014	0,019	0,028
		14 GCP	0,009	0,020	0,014	0,023	0,014	0,040
	NYK	49 GCP	0,005	0,004	0,018	0,006	0,018	0,023
		14 GCP	0,009	0,022	0,016	0,024	0,016	0,045
	ED	49 GCP	0,004	0,013	0,014	0,014	0,014	0,015

7. táblázat Eredeti mérések eredményei

	Iszka-hegy	RMSE						
		GCP [db]	Y [m]	X [m]	Z [m]	h [m]	v [m]	VE _{max} [m]
Repülési irány	Raszter	49 GCP	0,021	0,009	0,030	0,023	0,030	0,030
		14 GCP	0,022	0,022	0,023	0,031	0,023	0,049
	NYK	49 GCP	0,017	0,003	0,025	0,018	0,025	0,025
		14 GCP	0,021	0,024	0,024	0,033	0,024	0,044
	ED	49 GCP	0,014	0,013	0,013	0,019	0,013	0,013

6 ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen dolgozatban bemutatott vizsgálat célja az UAV készülékek alkalmazásával végzett geodéziai mérések pontosságának meghatározása több tényező függésében: repülési irány, felhasznált illesztő pontok száma, többféle felszínborítású területek kiválasztása.

A vizsgálatok alapján elmondható, hogy városi környezetben a vízszintes koordináták $\pm 2-3$ centiméter, a magassági koordináták $\pm 2-4$ centiméteres pontossággal határozhatók meg. Azon területeken, amelyeken nincsenek épületek és egyéb ilyesfajta tényezők a vízszintes és magassági koordináták egyaránt $\pm 1-2$ centiméter pontossággal meghatározhatók. Ez utóbbi eredmények kielégítik a geodéziai pontossági igényeket.

A repülési iránytól és a felhasznált illesztő pontok számától a vizsgálatok eredményeiből kiderült, hogy csekély mértékben függ csak a pontosság értéke.

7 IRODALOMJEGYZÉK

- [1] e. a. Balázsik, „Tesztmező kialakítása az Iszka-hegyen és UAV-k pontossági vizsgálatának első eredményei,” *Távérzékelési technológiák és térinformatika*, 2016.
- [2] [Online]. Available: <https://www.dji.com>.
- [3] J. T., „Fotogrammetria 10.,” 2010.
- [4] J. T., „Fotogrammetria 13.,” 2010.
- [5] „www.acrsa.hu,” [Online]. Available: <http://acrsa.org/hu/>. [Hozzáférés dátuma: 2018].
- [6] M. G., *Fotogrammetria*, 2007.