

Tesztmező kialakítása az Iszka-hegyen és UAV-k pontossági vizsgálatának első eredményei

Balázsik V., Busics Gy., Engler P., Farkas R., Földváry L., Jancsó T., Kiss A., Tóth Z., Verőné Wojtaszek M.

¹ Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Kar, Geoinformatikai Intézet.;balazsik.valeria@amk.uni-obuda.hu

Abstract—In the most recent years UAVs have become essential platform of photogrammetry and remote sensing. In spite the wide spread use of UAVs, the related accuracy issues are only partially investigated. Certainly, manufacturers calibrates the different compartments of the UAV, however no tests to analyze the capability of the whole device, as an integrated measuring system is performed in the surveying practice. In the frame of the present paper, the establishment of a UAV test field is introduced, subsequently the first test flies and the consequences drew based on them are discussed.

Index Terms: UAV, photogrammetry, test field, calibration.

Kulcsszavak: UAV, fotogrammetria, tesztmező, kalibráció.

1. Bevezetés

Az elmúlt évtizedben a fotogrammetria új korszakába érkezett: az UAV-k széleskörű elterjedésével, a felvevő berendezések és a feldolgozó számítási kapacitás folyamatos fejlődésével nagymennyiségű légi felvétel és megfelelő számítógépes háttér válik megfizethető áron elérhetővé. És bár az UAV-k nagymértékben megjelentek a geodéziai gyakorlatban is, az alkalmazásukkal végzett fotogrammetriai felmérések pontossági minősítése nem része a gyakorlatnak. Az UAV-ról végzett fotogrammetriai felmérés pontossága számos tényezőtől függ, egyrészt olyan műszaki paraméterektől, amelyek laborban kalibrálhatók (pl. kamera felbontása, elrajzolásai, GNSS-vevők pontatlanságai), másrészt a felvétel körülményeitől (pl. repülési magasság, terepi felbontás, repülési stabilitás, sebesség), amelyek a méréseket jelentősen befolyásolják, de hatásuk nehezen (vagy nem) modellezhető (Lin, 2008). Így, bár a kamera laborban végzett kalibrációjára számos módszert alkalmaznak a gyakorlatban (Pérez et al., 2011, Yanagi – Chikatsu, 2015, Tóth et al., 2005), az UAV-val végzett felmérés egy integrált mérőrendszer terméke, ezért ennek pontossági minősítésére ez nem alkalmas.

A pontossági minősítés céljára egy tesztmezőt alakítottunk ki a Székesfehérvár környéki Iszka-hegyen, amelyen az egyes hibaforrások hatásának vizsgálata helyett a mérőrendszer egészét vizsgáltuk a felmérés eredményeül kapott koordináták alapján.

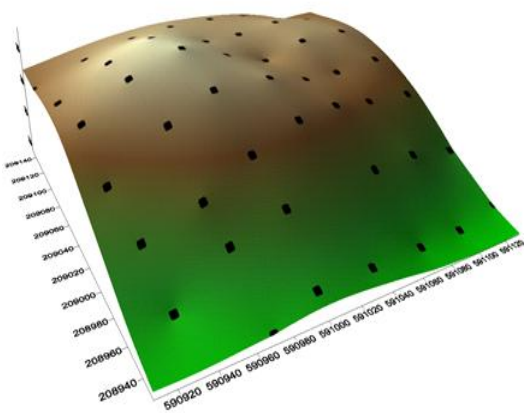
Bár világszerte alakítottak már ki komplex kalibrációs tesztpályákat (Saari et al., 2013, Tommaselli et al., 2014, Hamid – Ahmad, 2014, Tommaselli et al., 2016), hazánkban hasonló fejlesztések korábban nem történtek. Cikkünkben az UAV-val végzett geodéziai felmérés pontossági minősítése céljából kialakított tesztpálya létesítési munkáit, valamint az első teszt repülések eredményeit ismertetjük.

2. Tesztmező létesítése

A kialakított tesztmező dombvidéki területen helyezkedik el és mintegy 200 m × 200 m-es kiterjedésű. A terepen 7 × 7 = 49 pontjelet helyeztünk el, durván raszteres elrendezésben, közelítőleg északra tájolva. A tesztterület gyér vegetációval rendelkezik, alacsony fű borítja. A területen közel sík részek, enyhébb és meredekebb lejtők is találhatók; a maximális magasságkülönbség közel 20 m. A tesztmező pontjainak elrendezését és domborzati viszonyait az 1. ábra illetve a 2. ábra mutatja be.



1. ábra A tesztmező pontjainak elrendezése



2. ábra A tesztemző pontjainak domborzati viszonyai

A pontjelölésre műanyagból kialakított 50 × 50 cm-es, fekete-fehér táblákat használtuk (3. ábra). A pontjelek viszonylag nagy méretét az indokolta, hogy a terület felszínborítása homogén, nincsenek síkrajzi elemek, amely korábbi tapasztalatok alapján a képek automatikus illesztésénél gondot okozhat. A táblákat 5 ponton (sarkain és középpontján) szögekkel rögzítettük a talajba. Bár a rögzítés módja ideiglenes, minimális, összesen két pont pusztult el mintegy egy éves fennállása alatt.

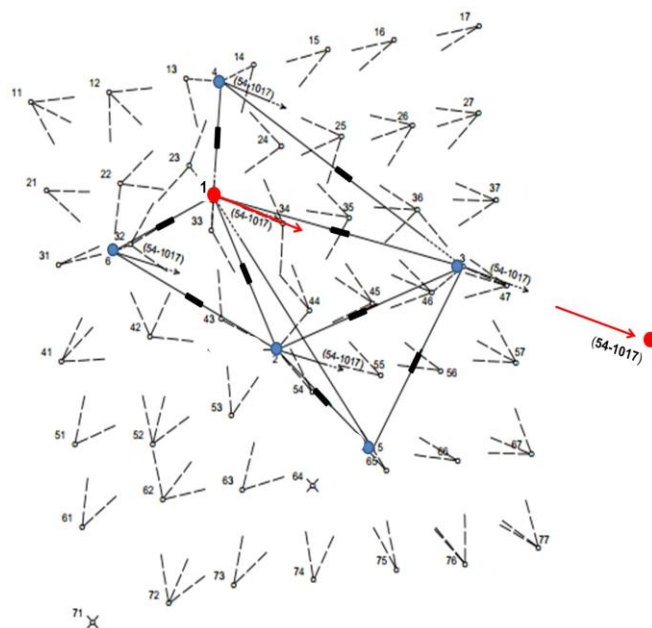


3. ábra A tesztemzőn kialakított pontjelölés

3. A tesztemző pontjainak geodéziai meghatározása

A geodéziai adatnyerést célzó UAV-k – az eddigi tapasztalatok szerint – 2–3 cm-es felbontású felvételek készítésére képesek, és (a nagyszámú felvételnek, többszörös átfedésnek köszönhetően) a feldolgozást követően is néhány cm pontosság elérése lehetséges alkalmazásukkal. Ebből adódóan a tesztemző pontjaival szembeni elvárás, hogy térbeli (vízszintes és magassági) homogén hálózatot alkossanak, középpontjuk ± 1 cm alatt legyenek. A tesztemzőn elhelyezett pontok koordinátáinak meghatározására mind mérés technikailag, mind feldolgozás szempontjából számos lehetőség van, ezeket tekinti át Busics (2016).

Az Iszka-hegyi tesztemző esetén egy tisztán mérőállomással végzett felmérés eredményét az országos hálózatban (EOV) kiegyenlítő határoztuk meg. Minden pont meghatározása legalább két, de legtöbb esetben három irány alapján történt (lásd 4. ábra).



4. ábra Az Iszka-hegyi tesztemző meghatározási terve

A kiegyenlítés eredményeül kapott koordináták átlagos megbízhatósága vízszintesen ± 0.4 cm, magasságilag ± 0.7 cm értékre adódott, maximális értékeiket tekintve a középhiba vízszintesen ± 0.5 cm, magasságilag ± 1.1 cm volt.

4. Kalibrációk eredményei

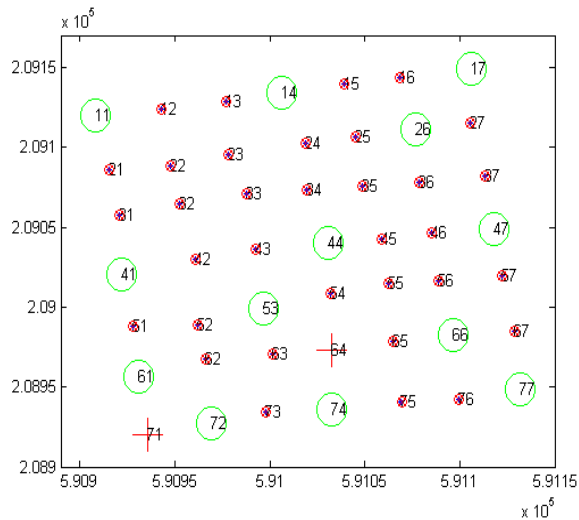
Ez idáig 5 különböző típusú UAV tesztrepülése valósult meg a tesztemző felett. Az 1. táblázatban feltüntettük az egyes repülések néhány fontosabb jellemzőjét, ügyelve arra, hogy az eszközök anonimitását megőrizzük, ezért márká helyett az egyes eszközökre sorszám alapján hivatkozunk.

sorszám	kialakítás	felbontás	kamera
1	merevszárnyú	16Mp	kalibrált
2	kopter	20 Mp	nem kalibrált
3	kopter	12 Mp	kalibrált
4	merevszárnyú	16 Mp	kalibrált
5	merevszárnyú	16 Mp	nem kalibrált

1. táblázat A vizsgálatban résztvevő eszközök néhány technikai paramétere

A repülés időzítése, a repülés útvonala, a felvételek száma, a feldolgozás módja mind-mind a tesztelésben résztvevő eszköz üzemeltetőinek döntése és feladata volt. A kalibrációt kizárólag az eredményül kapott koordináták alapján végeztük. A feldolgozáshoz a tesztemző 49 pontjából 13 pontnak, valamint a hálózatmérés során felhasznált egyik sokszögpontnak a koordinátáit megadtuk a tesztelésben résztvevőknek. Ebből tetszőleges számú pontot használhattak fel illesztéshez, de volt olyan eset is, amelynél a repülést végrehajtották a felvételeket saját GNSS méréseik alapján pozícionálták. Megjegyezzük továbbá,

hogy két pont (64-es és 71-es) idővel elpusztult. Mindezt összevéve pontossági mérőszámként a meghatározott koordináta eltéréseket, vízszintes és magassági pont hibát a 13 db illesztőpont és a 2 elpusztult pont kihagyása után fennmaradó 34 pontra számítottuk. Az 5. ábra a hálózat pontjait és azok szerepét mutatja.



5. ábra A tesztmező pontjainak elhelyezkedése, sorszáma. A zöld körrel bekarikázott pontok illesztőpontokat, a nagy, piros kereszttel jelölt pontok elpusztult pontokat jelölnek, a többi hálózati pont a statisztikák számításának helyeit képezik.

Az egyes repülések fontosabb adatai a 2. táblázatban található. Nyilvánvalóan az egyes felmérések körülményei inhomogének, hiszen mind az időjárás, mind a kezelő személyzet felkészültsége jelentősen eltérhet egymástól. Ebből a szempontból a kalibráció eredménye is inhomogén, így az esetek mindegyike az adott eszközzel, adott körülmények között megvalósított repüléssel, valamint a feldolgozással elért eredmény egészét tükrözi.

sorszám	repülés időpontja	repülési magasság	képek száma	terepi felbontás	ortofotó felbontása
1	2015.11.19.	75 m	~300	2cm	2cm
2	2015.11.26.	80 m	~250	2cm	2cm
3	2016.09.07.	116 m	16	5cm	-
4	2015.11.20.	120 m	~300	2cm	2cm
5	2016.03.13.	90 m	~170	2,3cm	3cm

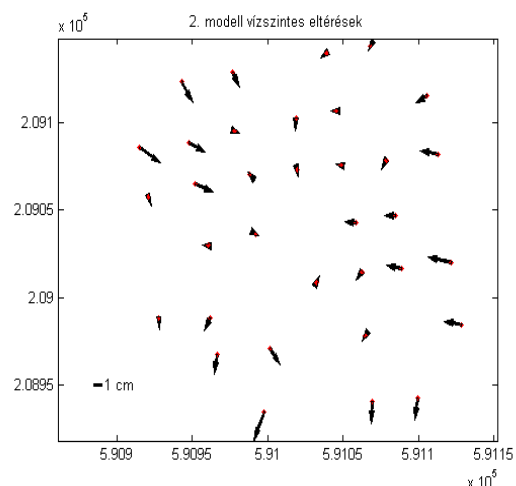
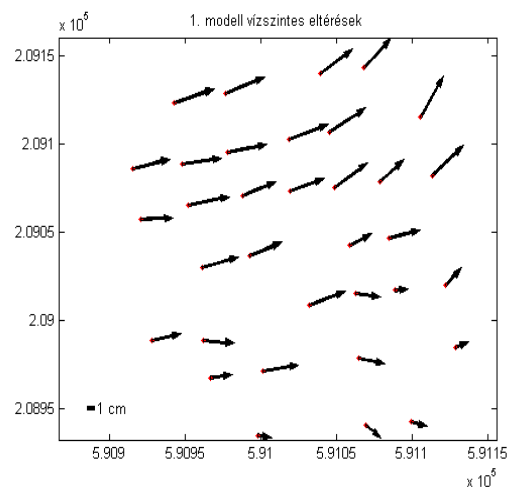
2. táblázat Az egyes repülések adatai

A 3. táblázat összegzi az egyes felmérések átlagos statisztikáit: X, Y és Z-irányú átlagos koordinátakülönbségek, vízszintes (2D) és térbeli (3D) átlagos hiba értékeket. Míg vízszintes irányban kiugró értékeket nem találtunk, a magassági koordinátákban esetenként ± 10 cm-es eltéréseket is tapasztaltunk; ezeket magassági durva hibaként értelmeztük és előfordulásuk számát a táblázat utolsó oszlopa mutatja.

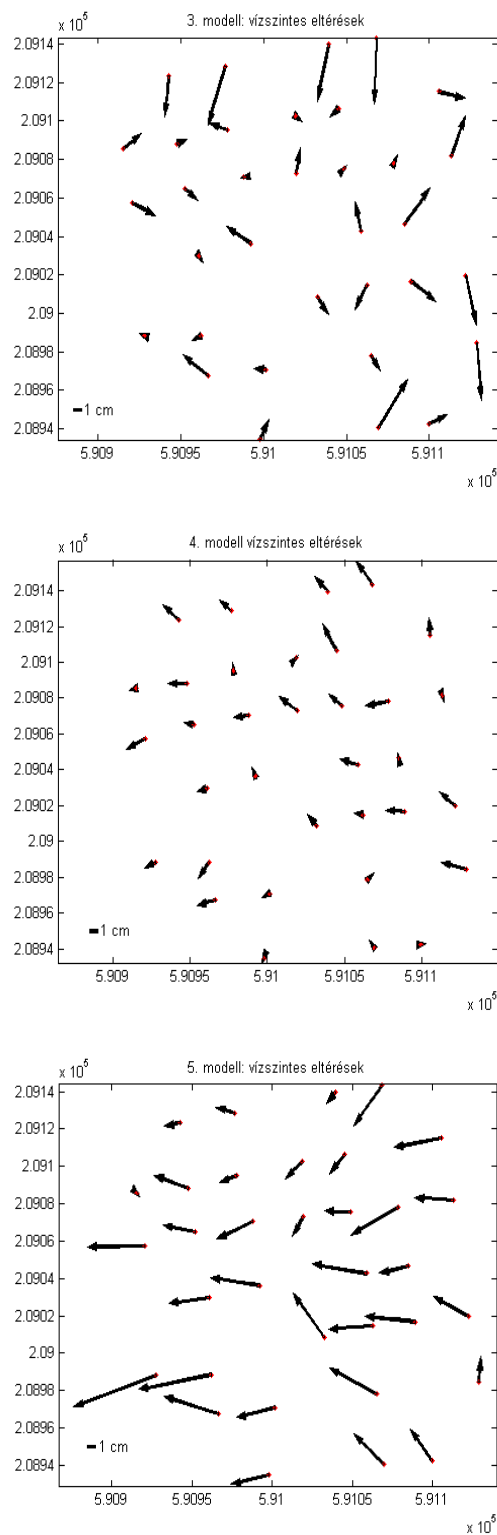
sorszám	Y-irányú hiba (cm)	X-irányú hiba (cm)	2D hiba (cm)	Z-irányú hiba (cm)	3D hiba (cm)	mag. durva hiba (db)
1	3,9	1,4	4,3	1,2	4,6	0
2	1,1	1,0	1,7	2,2	2,9	0
3	1,5	2,3	3,0	4,1	4,5	1
4	1,5	1,0	1,9	2,9	4,2	0
5	4,3	1,6	4,8	5,9	8,0	4

3. táblázat A geodéziai koordináták összehasonlításának statisztikái

A vizuális összehasonlítást az 6.-9. ábrák mutatják. A 6. ábrán az eltérés vektora látható (az 1 cm eltérésnek megfelelő léptéket a bal alsó sarokban mutatjuk). Az 1-es és az 5-ös számú UAV-k láthatóan nagyobb eltéréseket mutatnak az Y-tengely (közel kelet-nyugati) irányába. A felmérést végzők elmondása szerint a repülés kelet-nyugati irányban történt, így elképzelhető, hogy ezek az eszközök a repülés irányában pontatlanabb eredményekre képesek. A többi UAV esetében az eltérések iránya véletlenszerűnek mondható.

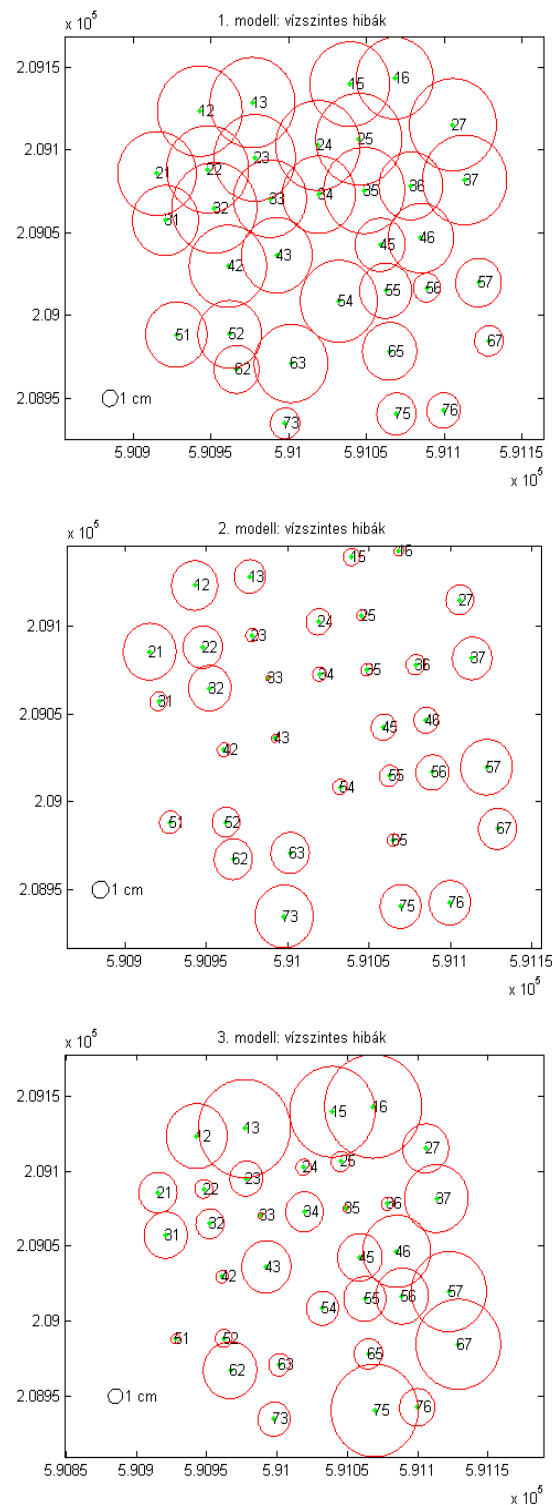


6.a. ábra Vízszintes eltérések vektora (1-2. modell)



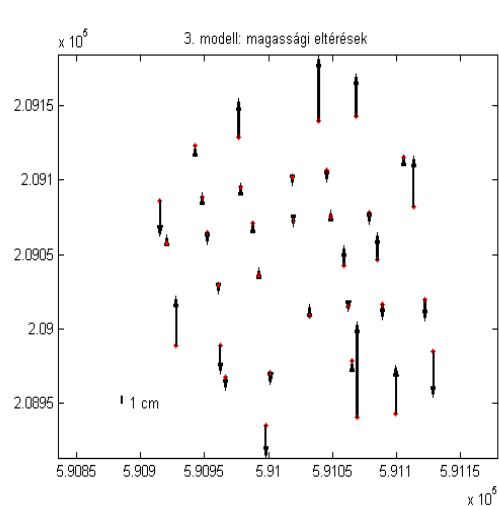
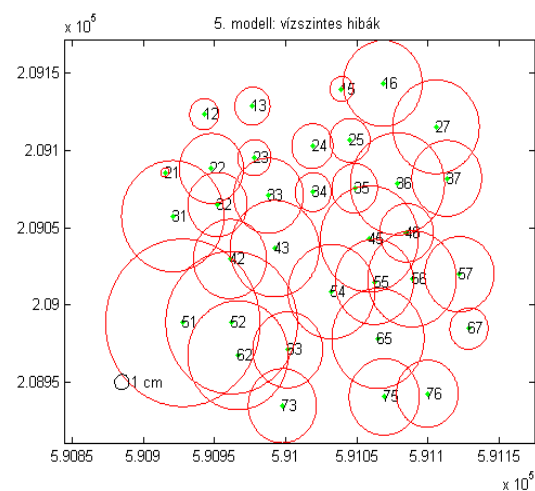
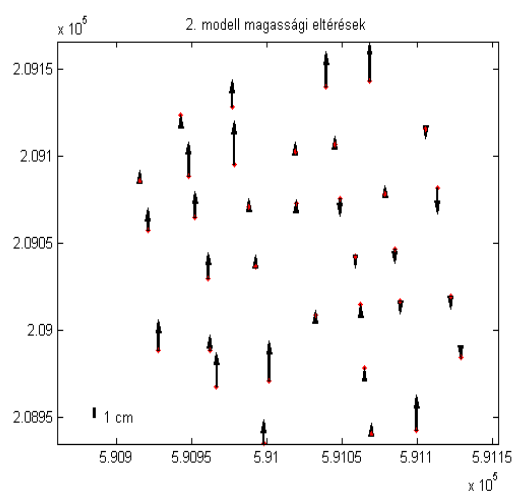
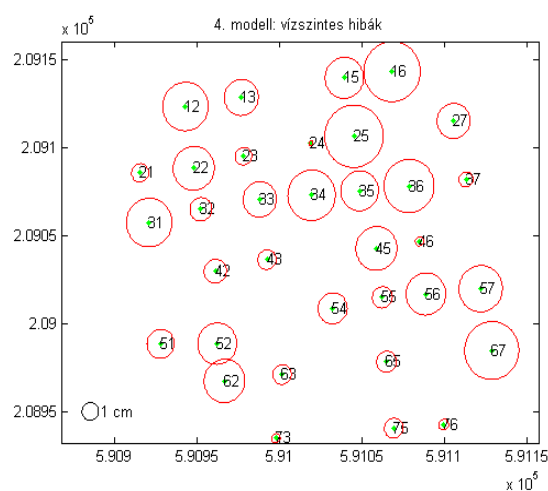
6.b. ábra Vízszintes eltérések vektora (3-5. modell)

A 7. ábrán a vízszintes hibákat a hibával arányos sugarú körökkel jelenítettük meg. Az 1 cm vízszintes hibának megfelelő kör méretét az ábra bal alsó sarkában mutatjuk. Alaposabb szemrevételezéssel a hibák nagysága némi korrelációt mutat a topográfiával (lásd 2. ábra). A 2-es és a 3-as sorszámú UAV-k a teszterület szélein általában valamivel nagyobb hibákat jeleznek, ami egy indokolt jelenség lehet, hiszen a terület szélein a pont meghatározása kevesebb kép alapján történik.

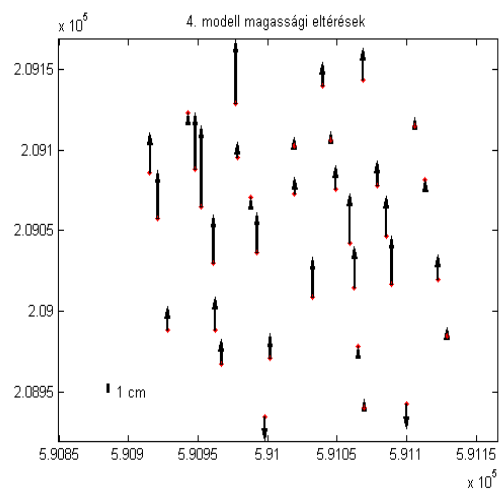
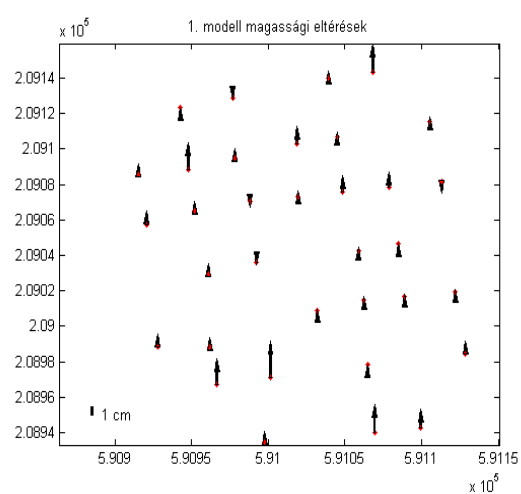


7.a. ábra Vízszintes hibák nagysága (1-3. modell)

A 8-9. ábrák a magassági összehasonlítást mutatják az egyes esetekben. A vektoros megjelenítés során (8. ábra) felfelé mutató vektor esetén a meghatározott magasság a valódi érték felett, míg lefelé mutató vektor esetén az alatt adódott. A magassági eltérések vizsgálata során még figyelembe kell vennünk azt is, hogy egyes esetekben jelentős, 10 cm-t meghaladó hibát is tapasztaltunk (lásd III. táblázat), amelyek akár durva hibák is lehetnek. A 3. 4. és 5. sorszámú eszközök esetén az 5 cm-t meghaladó magassági eltérések száma nagy, amelyek közül a 4. és 5. UAV esetén az eltérések iránya némi szabályosságot mutat:



7.b. ábra Vízszintes hibák nagysága(4-5. modell)

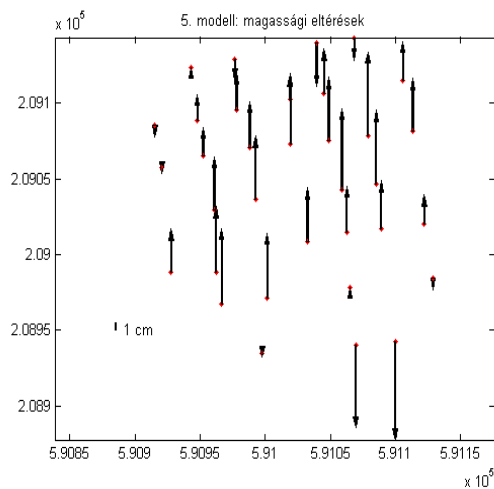


8.a. ábra Magassági eltérések vektorai (1. modell)

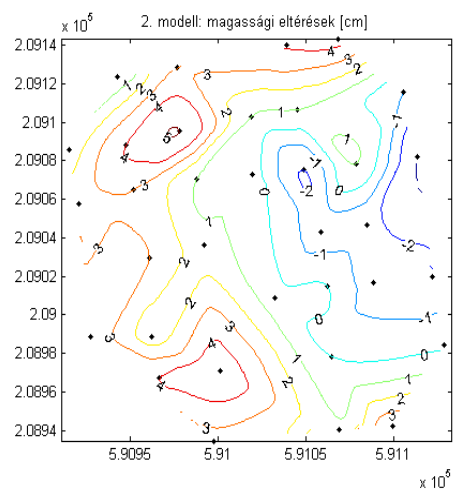
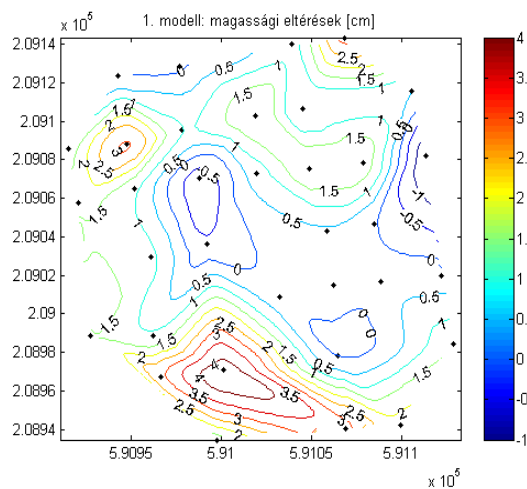
8.b. ábra Magassági eltérések vektorai (2-4. modell)

a terület északi, magasabban fekvő részén a mért értékek a valódinál magasabba, míg a lejjebb fekvő déli részen annál alacsonyabba adódtak. Érdekes még az 1-es és 2-es UAV-k által kapott magasságleltérések képe, amelyek hasonló mintát mutat-

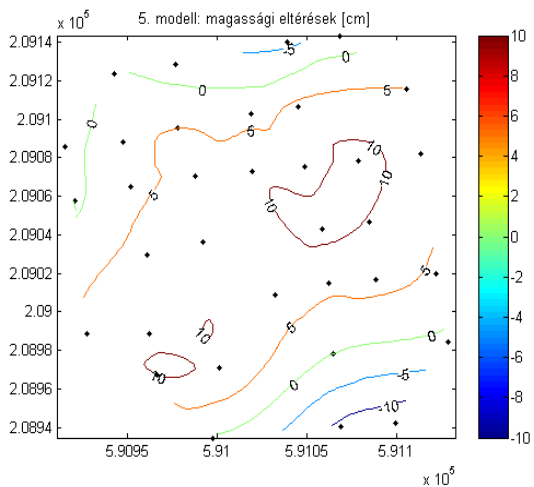
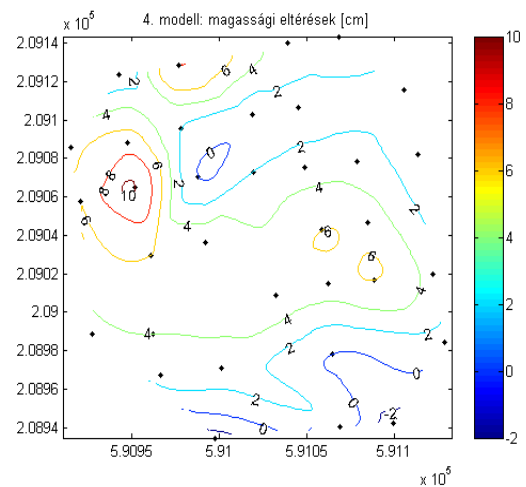
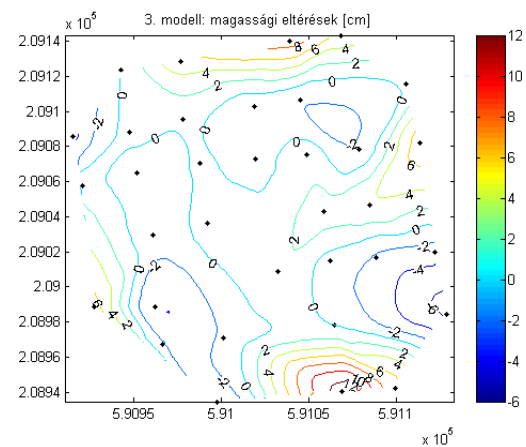
nak; az ábrák alapján elképzelhető, hogy meredekebb terepen a magassági meghatározás pontatlanabb, mivel mind a nyugati, mind a déli lejtőn valamivel magasabb eltérések láthatók.



8.c. ábra Magassági eltérések vektorai (5. modell)



9.a. ábra magassági eltérések izovonalai(1-2. modell)



9.b. ábra magassági eltérések izovonalai(3-5. modell)

A vízszintes és a magassági eltérések hisztogramjait vizsgálva (nem mutatjuk) megállapítható, hogy a legtöbb esetben a hibák nem normális eloszlást követnek. Ez egyértelműen szabályos hibákra utal, még ha annak megnyilvánulásait a fenti 6-9. ábrákon nem is lehetett egyértelműen beazonosítani. A szabályos hibák szá-

mottevő jelenléte azt jelenti, hogy csak statisztikai jellemzés (mint a III. táblázat) nem elegendő a pontossági minősítéshez, annak szabályos vonásainak meghatározására további - a szabályos hiba forrásának meghatározására irányuló - vizsgálatok szükségesek.

5. Összegzés

A jelen tanulmányban bemutatott kalibrációs vizsgálat célja az UAV-k alkalmazásával végzett geodéziai felmérés hibáinak felhasználótól és külső körülményektől sem független becslése. Az első vizsgálataink alapján átfogóan elmondható, hogy a vízszintes koordináták 1-3 cm, a magasságiak pedig 2-5 cm pontossággal meghatározhatók, amelyek közül előbbi a geodéziai pontossági igényeket kielégíti, utóbbi egyes esetekben elfogadható.

A vizsgálatok további kérdéseket vetnek fel, amelyek érdekesek lehetnek mind az eszközgyártók, fejlesztők és a felhasználók számára. Így például további vizsgálatokra számot tartó kérdés, hogy a repülési irány mentén ténylegesen nagyobb pontatlanság várható-e (ez megfelelő repülési irány megválasztásával csökkenthető). Azt is érdemes vizsgálni, hogy a topográfia és a lejt viszonyok mutatnak-e kapcsolatot a hibákkal. A magassági meghatározás még kritikusabb kérdéseket vet fel, hiszen ez esetben nagy, decimétert meghaladó eltéréseket is tapasztaltunk, amelyek durva hibára utalnak.

Összességében úgy látjuk, hogy szükség van az egyes UAV-k rendszeres kalibrációjára, pontossági minősítésre, mely a pontossági mérőszámok mellett a hibák esetleges szabályos jellegéről is információt nyújthatnak.

Irodalomjegyzék

- Busics Gy. (2016): Tesztmező kialakításának lehetséges módszerei, (megjelenés jelen konferencia kötetben)
- Hamid, N.F.A., Ahmad, A. (2014): Calibration of high resolution digital camera based on different photogrammetric methods, 8th International Symposium of the Digital Earth (ISDE8), IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science Vol. 18, paper 012030, doi:10.1088/1755-1315/18/1/012030
- Lin, Z. (2008): UAV for Mapping – Low Altitude Photogrammetric Survey. The International Archived of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII. Part B1, Beijing, China
- Pérez, M., Agüera, F., Carvajal, F. (2011): Digital camera calibration using images taken from an Unmanned Aerial Vehicle, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII-1/C22
- Saari, H., Pölonen, I., Salo, H., Honkavaara, E., Hakala, T., Holmlund, C., Mäkynen, J., Mannila, R., Antila, T., Aki-Järvi, A. (2013): Miniaturized hyperspectral imager calibration and UAV flight campaigns. Proceedings of SPIE 8889, Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites XVII, 888910
- Tommaselli, A. M. G., Marcato Junior, J., Moraes, M., Silva, S. L. A., Artero, A. O. (2014): Calibration of panoramic cameras with coded targets and a 3D calibration field. Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 3, W1
- Tommaselli, A.M.G., Berveglieri, A., Oliveira, R.A., Nagai, L.Y., Honkavaara, E. (2016): Orientation and Calibration Requirements for Hyperspectral Imaging Using UAVs: a Case Study, ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-3/W4, pp.109-115
- Tóth Z – Mélykúti G – Barsi Á (2005): Digitális videokamera kalibrációja, Geomatikai Közlemények, Sopron, No. 8., pp. 297-302.
- Yanagi, H., Chikatsu, H. (2015): Camera calibration in 3D modelling for UAV application, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-4/W5

A nyilatkozat: A beküldött kézirat a feltüntetett szerzők munkája, a benne szereplő, mástól átvett információk, ábrák és egyéb anyagok szerzői mindenhol meg lettek jelölve. A cikk jelen formájában nem jelent meg más folyóiratban. A cikk Távérzékelési technológiák és térinformatika szakfolyóiratban történő publikálásával minden szerző, közreműködő és támogató egyetért. A kézirat nem tartalmaz valótlan információt, a szerzőknek nincs tudomásuk összeférhetlenségről és a kézirat feldolgozását, lektorálását, publikálását gátló tényezőről, továbbá hozzájárulnak, hogy az RS@GIS online fényképes szerzői adatbázisában szerepeljenek.

© 2015 by the authors; licensee RS&GIS, Hungary.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).