

UAV felvételek légiháromszögelési kérdései

DR. HABIL. JANCsó TAMÁS
ÓBUDAI EGYETEM, ALBA REGIA MŰSZAKI
KAR, GEOINFORMATIKAI INTÉZET

MÉRNÖKGEODÉZIA KONFERENCIA 2020
BUDAPEST, 2020. NOVEMBER 7.



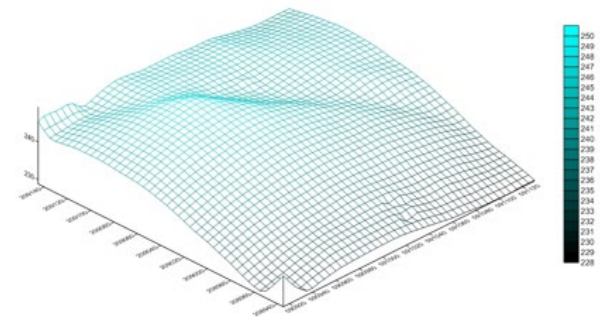
MAGYAR MÉRNÖKI KAMARA
GEODÉZIAI ÉS GEOINFORMATIKAI TAGOZATA

Témakörök

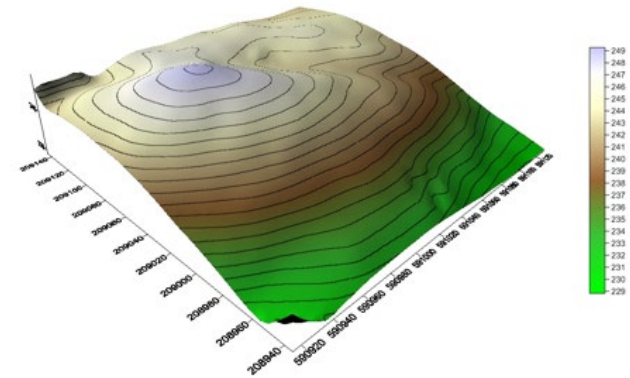
- ▶ Általános felvetések

Alkalmazási példa:

- ▶ UAS légi felmérés körülményei
- ▶ Teszt terület
- ▶ Légiháromszögelés
- ▶ Eredmények összefoglalása, konkluziók



43. ábra. GRID modell (PHOTOMOD)



Általános felvetések

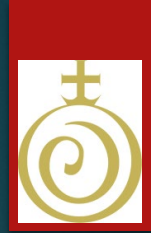


Pontosságot befolyásoló tényezők

- Képek terepi felbontása
- Pontok irányozhatósága
- Magassági mérés pontossága: függ a bázisviszonytól
- Illesztőpontok meghatározási pontossága
- Kamera kalibráció pontossága
- Egyéb járulékos paraméterek bevezetése

Pontosság kiszámítása

- Kiegyenlítés pontossága
- Ellenőrző pontok alapján végzett hibavizsgálat



Képek terepi felbontása

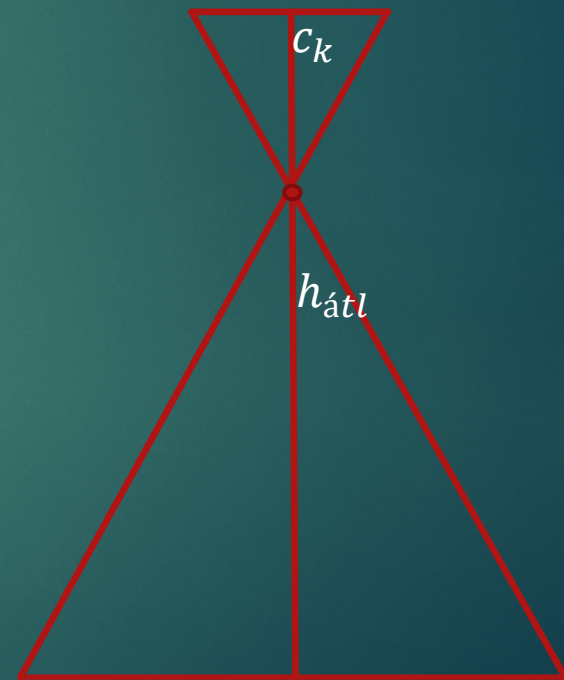
- Kiszámolható a képek átlagos méretarányából és a pixelméretből.

$$m_{\text{átl}} = \frac{h_{\text{átl}}}{c_k}$$

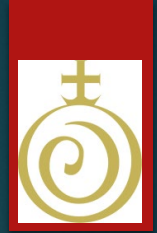
$$\Delta_{XY} = \Delta_p \cdot m_{\text{átl}}$$

$$m_{\text{átl}} = \frac{115 \text{ m} \cdot 1000}{3.7546 \text{ mm}} = 30\,629$$

$$\Delta_{XY} = 1.625 \text{ } \mu\text{m} \cdot 30\,629 = 49\,772 \text{ } \mu\text{m} \approx 5 \text{ cm}$$



Pontok irányozhatósága



- ▶ A felbontás mellett fontos szempont a képminőség, azon belül a kontraszt és a képélesség.



Mérés és koordináta meghatározás pontossága

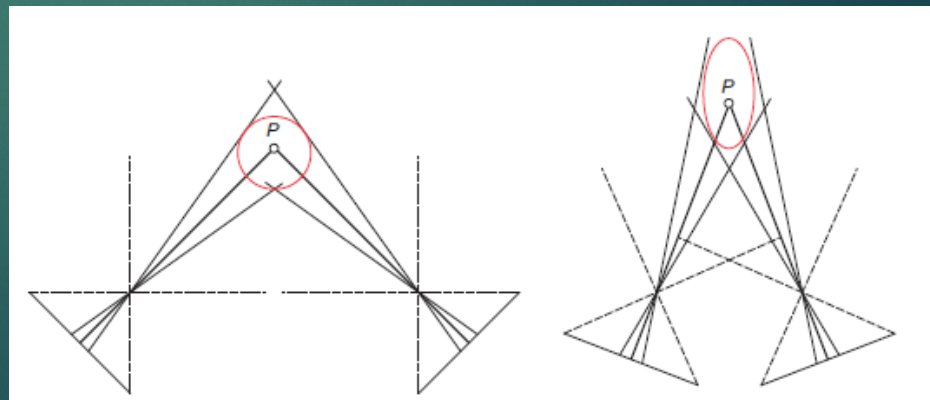


- ▶ Vízszintes értelemben átlagosan $1/3$ pixel $\left(\frac{\Delta}{3}\right)$ irányzási pontosság érhető el méréskor.
- ▶ A magassági mérés pontosságát befolyásolja a felbontás, a méretarány ($m_{\text{átl}}$) és a felvételi bázis aránya a repülési magassághoz, a bázisviszony $\left(\frac{h_{\text{átl}}}{B}\right)$.

Például 115 m-es repülési magasságnál, 60 m-es bázisnál, 5 cm-es terepi felbontásnál a várható hibák:

$$\sigma_{XY} = 1.7 \text{ cm}, \quad \sigma_Z = 3.2 \text{ cm}.$$

$$\sigma_{XY} = m_{\text{átl}} \cdot \frac{\Delta}{3}$$
$$\sigma_Z = m_{\text{átl}} \cdot \frac{h_{\text{átl}}}{B} \cdot \frac{\Delta}{3}$$





Pontosság kiszámítása

- ▶ Kiegyenlítés pontossága

$$\sigma_0 = \pm \sqrt{\frac{\sum v^2}{n - u}}$$

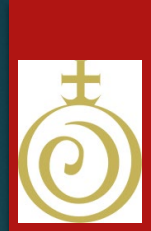
- ▶ Kiegyenlített paraméterek pontossága

$$\sigma_i = \sigma_0 \cdot \pm \sqrt{q_{ii}}$$

- ▶ Középhiba ellenőrző pontok alapján

$$\sigma_{XY} = \pm \sqrt{\frac{\sum (dX_i^2 + dY_i^2)}{n}}; \sigma_Z = \pm \sqrt{\frac{\sum dZ_i^2}{n}}$$

Légiháromszögelési szoftverek



- ▶ Agisoft Metashape
- ▶ BINGO + ATM
- ▶ Racurs DPW PHOTOMOD
- ▶ Trimble Inpho UASMaster
- ▶ Photomodeler



<https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-inpho-uasmaster>



<https://www.photomodeler.com/>



<https://www.agisoft.com/>



<https://bingo-atm.de/>



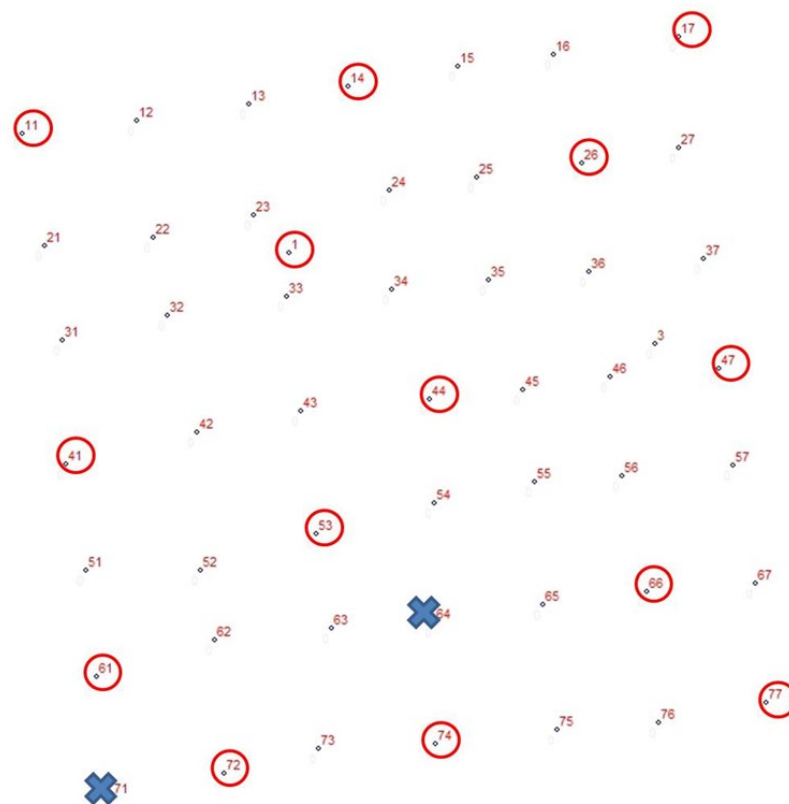
<https://geo-matching.com/photogrammetric-imagery-processing-software/dpw-photomod>



ALKALMAZÁSI PÉLDÁK

Teszt terület

- ▶ Székesfehérvártól nem messze Csór és Iszkaszentgyörgy mellett.
- ▶ A 200x200 méteres terület.
- ▶ A pontjelek mérete 50x50 cm.



UAS légi felmérés körülményei



Teszteléskor 115 m magasságból készültek a felvételek, a terepi felbontás 5 cm volt.

A teszt területen 48 előre telepített pontmező található.

A felvételek DJI Phantom 3 Advanced quadrokopterrel készültek.

A tömböt alkotó 16 felvétel tájékozása, kiértékelése és az előzetes légiháromszögelés a **Photomod UAS ver. 6 Lite** programmal történt.

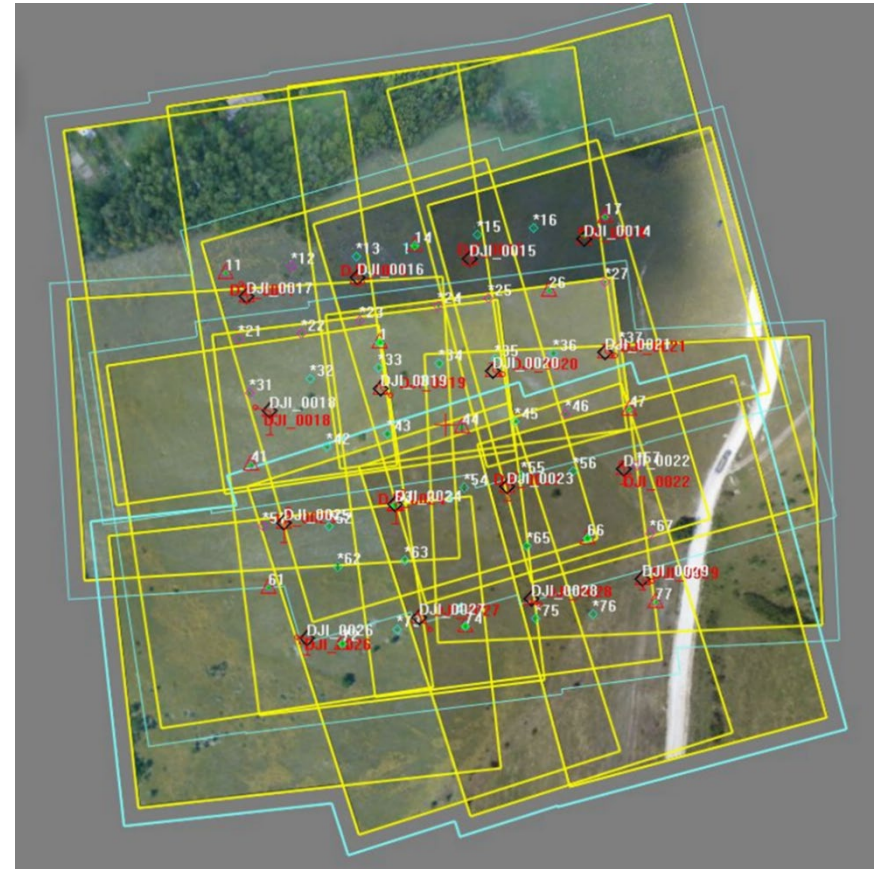
A légiháromszögelés pontosítása és a kamera kalibrációja **BINGO ver. 6.8.** alatt valósult meg.

A légiháromszögelésnél 14 illesztőpontot mértünk és 34 új pontot határoztunk meg.

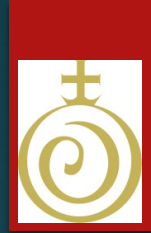
A koordináta ellentmondásokból számított négyzetes középhiba értéke vízszintes értelemben 1.2 cm, magasságilag pedig 2.5 cm.

Phantom DJI 3 – felvételezés

- ▶ A felvételek 2016. szeptember 7-én készültek.
- ▶ Összesen 16 kép 4 sorban, a relatív repülési magasság átlagosan 116 m volt:
 - ▶ 1. sor: 14, 15, 16, 17;
 - ▶ 2. sor: 18, 19, 20, 21;
 - ▶ 3. sor: 22, 23, 24, 25;
 - ▶ 4. sor: 26, 27, 28, 29.



Légiháromszögelés – tömbkiegyenlítés



- ▶ A mérések és a relatív tájékozás után a Photomod Solver-ben megtörtént a tömbkiegyenlítés.

The screenshot shows the Photomod software interface during a block adjustment process. The main window displays a 3D view of a block of images with control points and tie points. The left sidebar shows point attributes and display options. The right sidebar shows residuals and block adjustment settings.

Point attributes

Selected point: *21

Type by coordinates

- Control
- Check
- Excluded

Coordinates

Type by ties

- Tie
- Excluded

Measure

Geodetic

- reference coordinates
- reference std. dev.
- adjusted coordinates
 - X: 590915.2712 m
 - Y: 209085.7648 m
 - Z: 243.1249 m
- residuals
 - Ex: <none>
 - Ey: <none>
 - Ez: <none>
 - Exy: <none>
- Image residuals
 - residuals (max)
 - Ex: -0.0018 mm
 - Ey: -0.0006 mm
 - Exy: 0.0019 mm
 - number of images: 5
 - images
 - Stereopair residuals
 - residuals (max)
 - Ex: 0.0105 m
 - Ey: 0.0297 m

Display options

Mode: Block scheme

Point display settings

Show method

- symbols
- points

Point size: 5 pix.

Show names

- All
- Selected
- Don't show

Show errors

- By ground XY
- By ground Z
- By ties between stereopairs XY
- By ties between stereopairs Z
- By ties on images
- On excluded points

View errors scale

- real
 - Magnification: 10.0
- screen
 - Scale: 100.0 pix./m

Block adjustment

Residuals

RMS	Mean abs. value	Max
ground control points		
0.006	0.013	0.007
control projection centers		
0.382°	0.409°	0.560°
Stereopair residuals		
tie points		
from mean		
0.012	0.019	0.040
mutual		
0.018	0.032	0.063
targeted points		
from mean		
0.000	0.000	0.000
mutual		
0.000	0.000	0.000
tie - projection centers		
from mean		
0.000	0.000	0.000
mutual		
0.000	0.000	0.000
Image residuals		
Ex, Ey, Exy (mm)		
tie points		
0.000	0.000	0.001

Vectors

590915.586737 m; 209086.024416 m; 0.000000 m

Cartesian Right

Sugárnyaláb kiegyenlítés a BINGO-ban

- ▶ A sugárnyaláb kiegyenlítés pontosítása érdekében a BINGO v6.8 programban a kamera kalibrációjával és 17-féle kiegészítő paraméter felhasználásával a kiegyenlítés sigma0 hibája **0.79** értékre csökkent. A külső tájékozási elemek előzetes értékeit a Photomod Solver-ből vettük át.



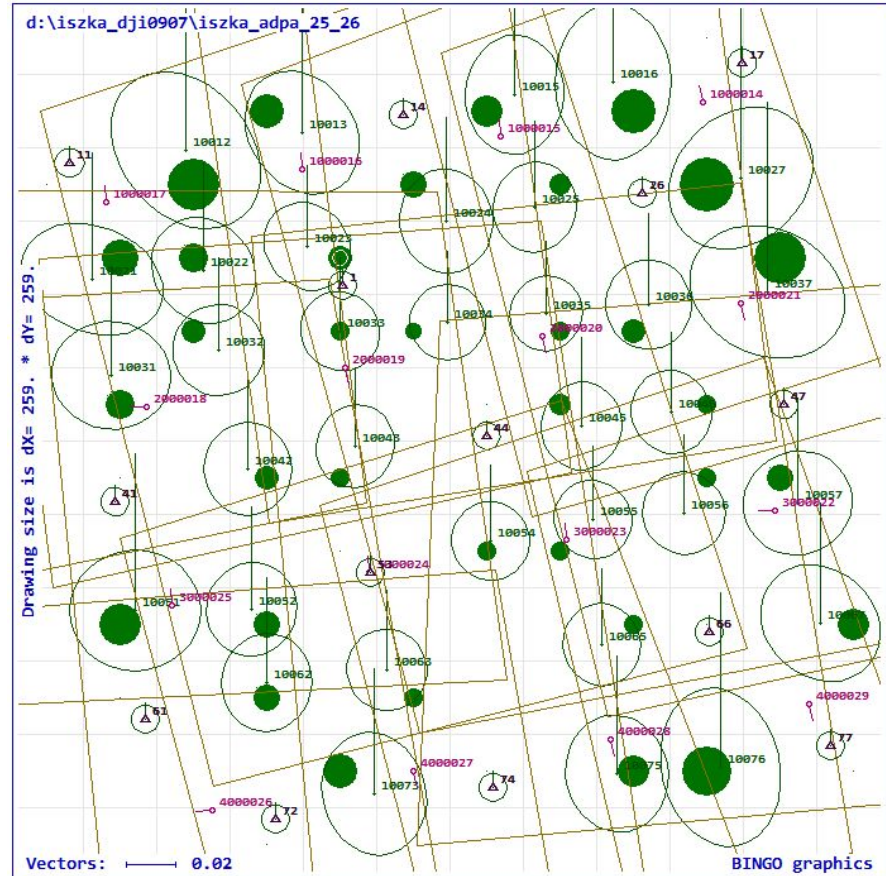
BINGO BUNDLE ADJUSTMENT REPORT

PROJECT: iszka_adpa_25_26

Input Data Report: No. of Used Points 48 No. of Used Photos 16 No. of Used Cameras 1 Used Points per Photo 17 Ignored Images 0 Ignored Points 0 Ignored Control Points 0		SIGMA0: 0.79	
		Photo Measurement Residuals (µm) RMS x' y' MAX 1.9 1.6	
Control Point Residuals (1/1000) RMS X Y Z MAX 2. 2. 1.		GPS Residuals (1/1000) RMS X Y Z MAX - - -	
Check Point Residuals (1/1000) RMS X Y Z MAX - - -		IMU Residuals (1/1000) RMS Φ Ω K MAX - - -	
GPS/IMU (max) Drift s_X s_Y s_Z Shift - - -		Additional Parameters 1 2 3 4 5 6 14 16 17 19 20 23 25 26 31 32 37	
Variance-component estimation test value: s(a posteriori) / s(a priori) Photo coordinates 0.39 Camera data incl. vector e' 0.18 Coordinates of control points 0.42 Sum of all observation 0.39			
No. of points measured on photos 		Freq. of photo measurement residuals 	

Hibák az új pontokban

►Az eltérések cm-ben értendők.



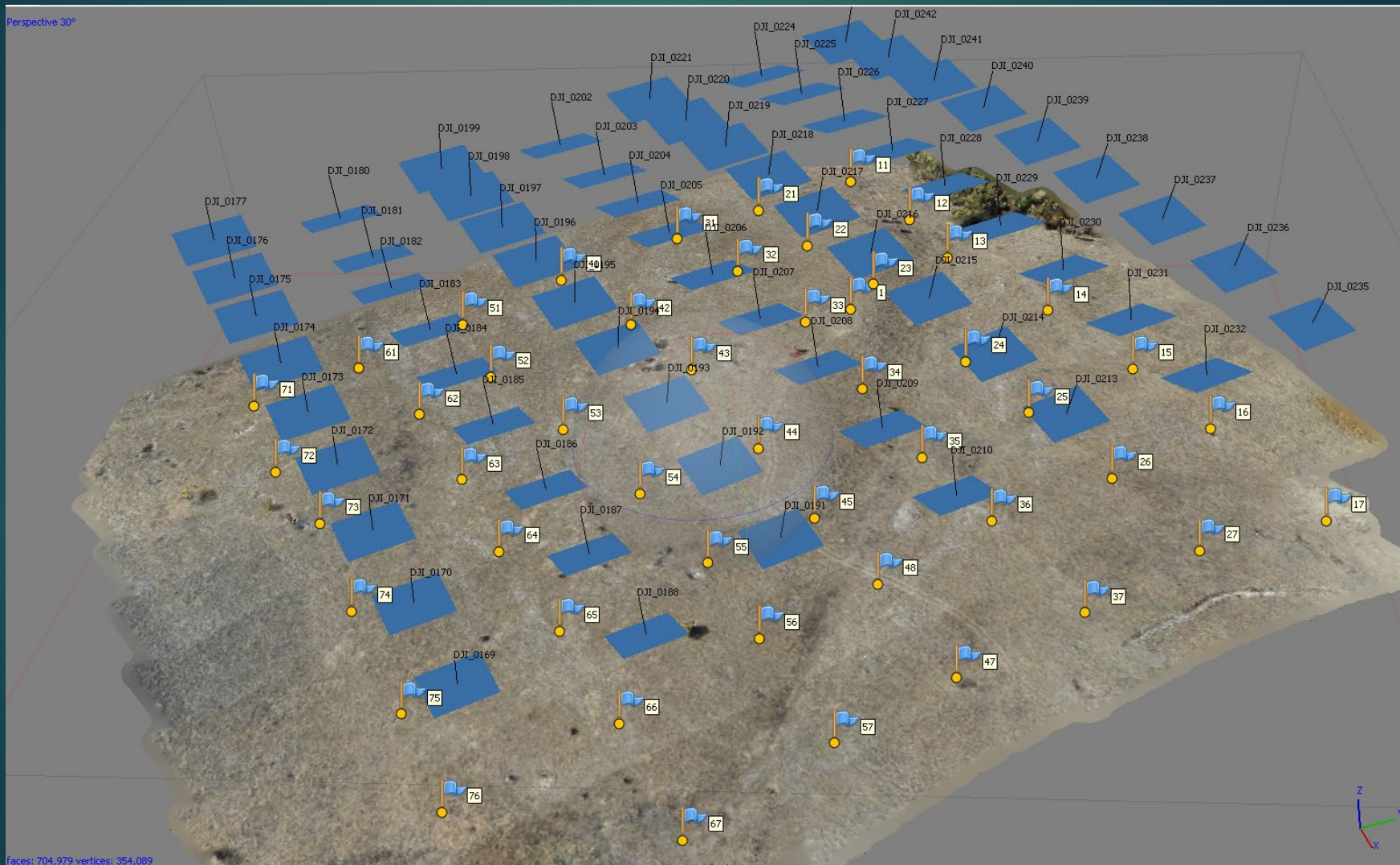
2. Teszt ugyanarra a területre



Tömb elrendezése



Perspective 30°

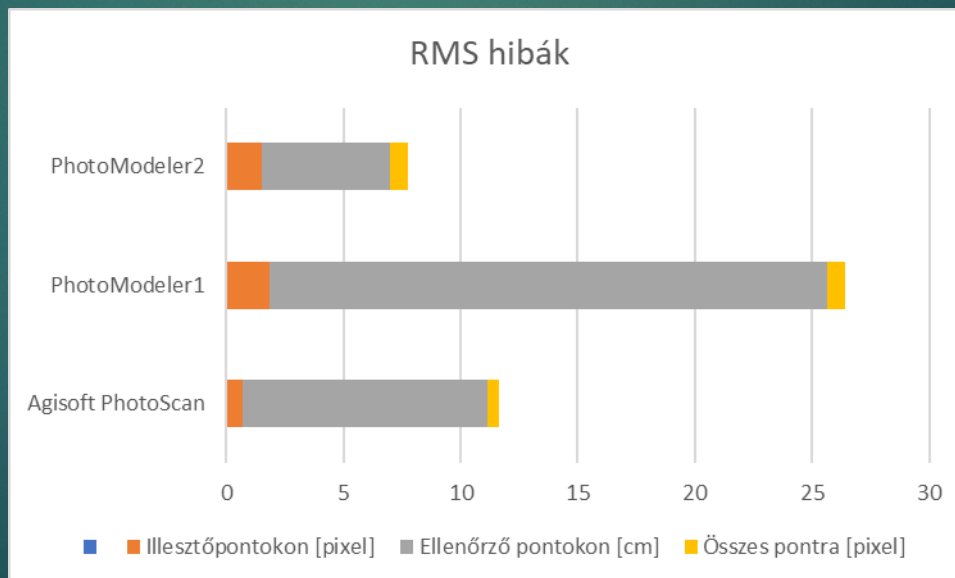


Faces: 704,979 vertices: 354,089

Négyzetes középhibák



RMS	Agisoft PhotoScan	PhotoModeler1	PhotoModeler2
	<i>Kamera kalibrációval</i>	<i>Kamera kalibráció nélkül</i>	<i>kamera kalibrációval</i>
Illesztőpontokon [pixel]	0.7	1.82	1.51
Ellenőrző pontokon [cm]	10.46	23.8	5.46
Összes pontra [pixel]	0.49	0.77	0.76



Kamera kalibráció nélkülözhetetlen



Camera type: Frame

Pixel size (mm): x

Focal length (mm):

Enable rolling shutter compensation Film camera with fiducial marks

Initial Adjusted Bands GPS/INS Offset

f:

cx: b1:

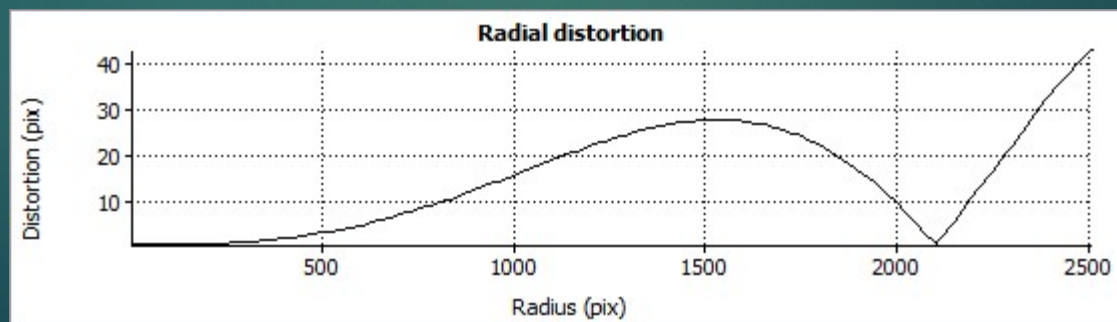
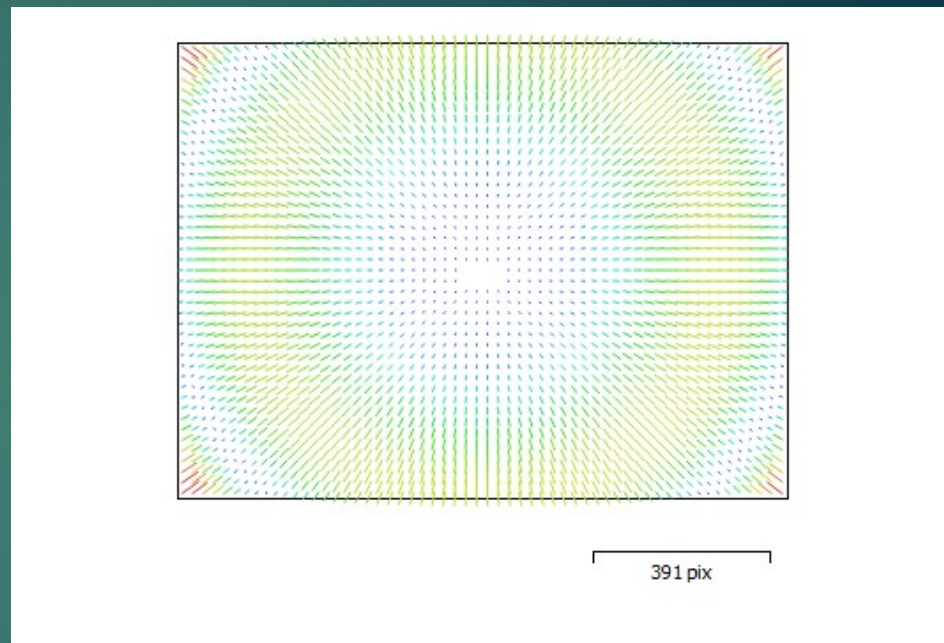
cy: b2:

k1: p1:

k2: p2:

k3: p3:

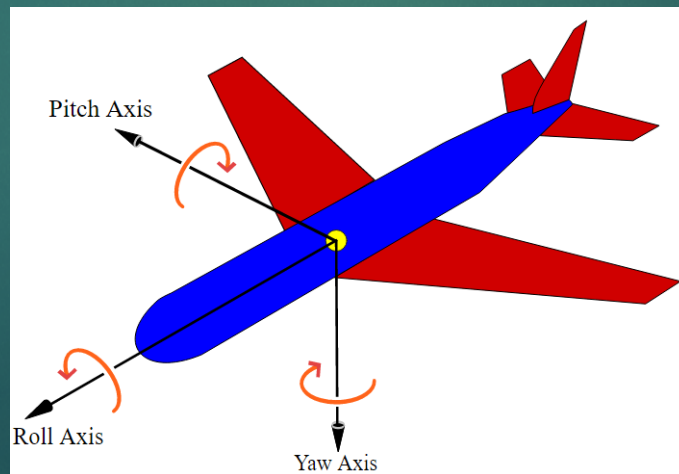
k4: p4:

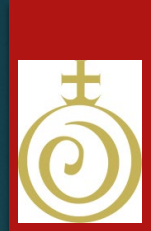


Összegzés



- ▶ A képek terepi felbontása 5, illetve 2.35 cm volt, a kiegyenlítés után az illesztőpontokon a vízszintes RMS hiba 0,5-1 pixel közötti, a magassági RMS értéke 1 pixel.
- ▶ A kamera kalibráció elvégzése elengedhetetlen, de ehhez megfelelő számú és elrendezésű illesztőpont-mezőre van szükség.
- ▶ A képekhez tartozó külső tájékozási elemek kiolvasása EXIF adatokból lehetséges, de nem mindig pontosak az adatok. Ezek félrevihetik a kiegyenlítő számításokat.
- ▶ Járulékos paramétereket vonjunk be a kiegyenlítésbe.





KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!

E-mail: jancso.tamas@amk.uni-obuda.hu

