ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar

Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT

Külső tájékozási módszerek összehasonlítása

OE-AMK Hallgató neve: Bankó Zsófia Katalin

2022 Hallgató törzskönyvi száma: T000565/FI12904/A-G

ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Bankó Zsófia Katalin
Szakdolgozat száma: SZD22011414074014
Törzskönyvi száma: T000565/FI12904/A-G **Neptun kódja:** [redacted]

Szak: földmérő és földrendező mérnök
Specializáció: Geoinformatika specializáció

A dolgozat címe: Külső tájékozási módszerek összehasonlítása
A dolgozat címe angolul: Comparison of Exterior Orientation Methods
A feladat részletezése:
1. Szakirodalom és Internetes források alapján ismertesse a külső tájékozás lehetséges megoldásait és alkalmazási területeit.
2. Szerezze be a kiértékeléshez használandó légi felvételeket, a kamera belső adatait.
3. Mérje meg a külső tájékozáshoz szükséges illezstőponto EOV koordinátáit GNSS vevővel.
4. Végezze el a kijelölt felvételek tájékozását a rendelkezésre álló mérőszoftver segítségével.
5. Hasonlítsa össze a kapott eredményeket pontossági szempontból.
6. Az elvégzett munkát műszaki leírásban összegezze.

Intézményi konzulens neve: Dr. habil Jancsó Tamás

A kiadott téma elévülési határideje: 2024. 12. 15.
Beadási határidő: 2022. 12. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2022. 10. 12. P.H. .....
Intézetigazgató

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

Dr. Jancsó Tamás
.....
belső konzulens

.....
külső konzulens

ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott Bankó Zsófia Katalin szigorló hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat/diplomamunka saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem.

Egyéb jelentős segítséget nem vettem igénybe.

Az elkészült szakdolgozatban/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. 01.

.....Bankó Zsófia.....
hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés 5

1. Külső tájékozás lehetséges megoldásai és alkalmazási területei 7

2.1 Külső tájékozás megoldásai 8

2.1.1 Relatív tájékozás 11

2.1.2 Abszolút tájékozás 17

2.1.3 Külső tájékozás kollineár egyenletekkel 19

2.1.4 Külső tájékozás iteráció nélkül 20

2.1.5 Térbeli előmetszés 23

2.2 Alkalmazási területek 25

2. A kiértékelt légi felvétel és a kamera belső adatai 28

3. Az illesztőpontok mérése 30

4. Felvételek tájékozása 32

5. Műszaki leírás 54

6. Összefoglaló 56

7. Summery 57

8. Irodalomjegyzék 58

9. Ábrajegyzék 59

10. Mellékletek 60

1. BEVEZETÉS

A szakdolgozatomban a külső tájékozási módszerek összehasonlítását hajtottam végre egy sztereó képpár segítségével. A teljes kép érdekében szakdolgozatom elején a felvételek feldolgozásának elméleti hátterére helyezem a hangsúlyt.

A belső és külső tájékozás elengedhetetlen a képek feldolgozásánál, hiszen e kettő nélkül nem ismerhetjük meg az egyes felvételek belső és külső tájékozási elemeit. Ezek pedig létfontosságúak, ha esetleg további felhasználásra várnak a képek. Ilyen további alkalmazási terület, ami nem létezhetne külső tájékozás nélkül, a digitális ortofotó, digitális monoplotting, pontonkénti kiértékelés, vonalas kiértékelés, térképezés, digitális domborzat-és felszínmodellek (DDM, DFM) előállítása, 3D modellezés és fotogrammetriai pontsűrítés. Ezek alapján világosan láthatjuk, hogy a képek tájékozása tényleg nélkülözhetetlen lépés.

Többféle külső tájékozási módszer létezik a gyakorlatban, ezek közül néhányat részletesen tárgyalok a dolgozatban. A tájékozási eljárásokat három csoportba sorolhatjuk. Az első csoport az, amikor a két képet külön szeretnénk tájékozni, a második csoport a kettős kép- vagy kettős pontkapcsolás, a harmadik pedig a két kép együttes tájékozása két lépésben (relatív és abszolút tájékozás). Ezek mellett a külső tájékozást képenként a kollineár egyenletekkel képkoordináták mérésére támaszkodva is ki lehet számítani, emellett egy iteráció nélküli megoldás is lehetséges.

Célom, hogy kiderítsem melyik a legmegbízhatóbb és legpontosabb eredményt adó alkalmazás, ehhez pedig öt fotogrammetriai szoftver lesz a segítségemre.

Tehát a különböző külső tájékozási módszereket nem csak elméleti síkon, de a gyakorlatban is összehasonlítottam. Láthatunk példát relatív és abszolút tájékozásra (DVP Orientation, Photomod 6 Lite), kollineár egyenletek alapján végrehajtott számolásra (E-foto), iteráció nélküli hátrametszésre képenként, illetve térbeli fotogrammetriai hátrametszésre iterációval.

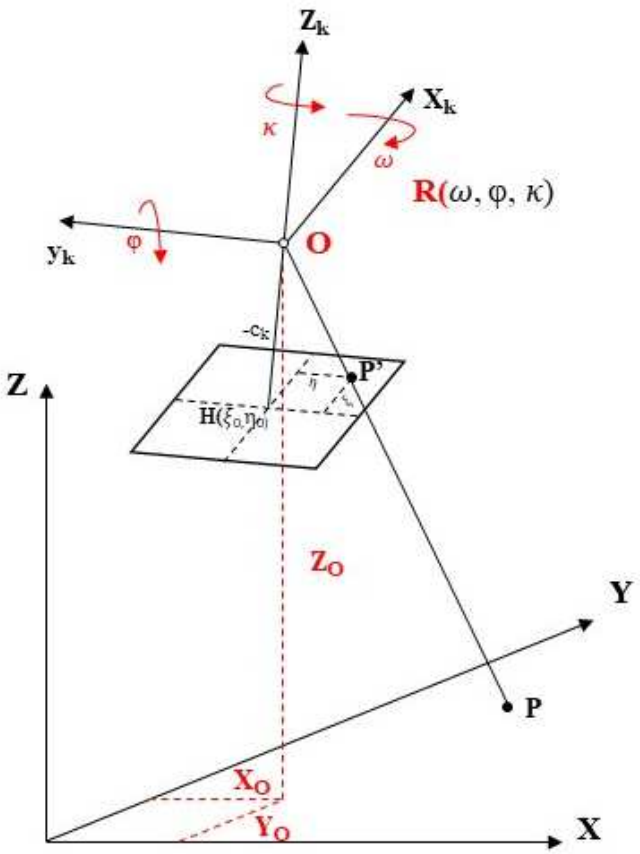
Ahhoz, hogy végre tudjam hajtani a külső tájékozást ezekkel a programokkal, először egy terepi mérést kellett megvalósítanom, ahol a feladathoz szükséges illesztőpontokat mértem meg egy GPS vevő segítségével. Végezetül kilenc pontot mértem, amiből egy

sajnos használhatatlannak bizonyult (a pont nem volt fénykép-terep azonos pont), így nyolc illesztőpontot tudtam felhasználni a külső tájékozásban.

Az 5. fejezet végén találhatnak egy nagy összefoglaló táblázatot, amely tartalmazza majd a tájékozási elemeket a különböző külső tájékozási módszerek eredményeként. Ezek összehasonlítása is megtekinthető ugyanitt.

1. KÜLSŐ TÁJÉKOZÁS LEHETSÉGES MEGOLDÁSAI ÉS ALKALMAZÁSI TERÜLETEI

Mielőtt a lehetséges megoldásokat és alkalmazási területeket ecsetelni kezdeném, szeretném tisztázni, melyek a külső tájékozás elemei. Hat darab elemről beszélhetünk, ezek a következők: X_O, Y_O, Z_O, ω, φ, κ (1. ábra).



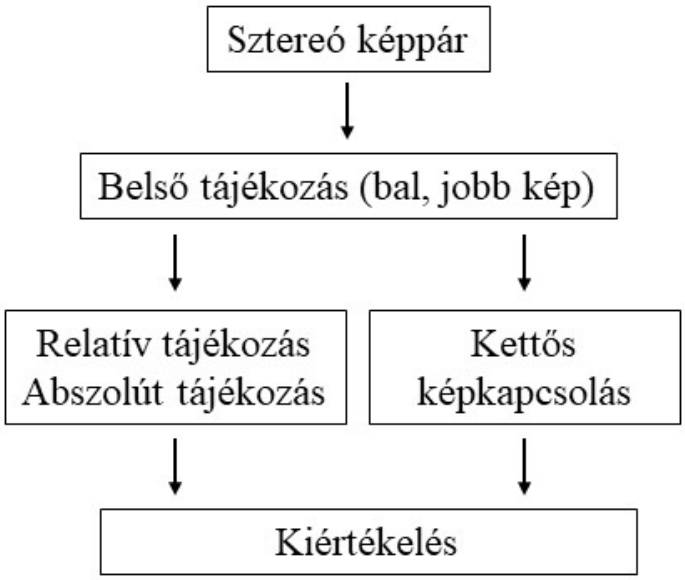
1. ábra - Külső tájékozási elemek [1]

A külső tájékozási elemek a vetítési centrum pontos helyzetét mutatják meg (ezek az O pont koordinátái), a szögek pedig leírják az R forgatási mátrixot, amely megadja nekünk, hogy a kamera koordináta-rendszere mennyire fordult el a tárgykoordináta-rendszerhez viszonyítva.

Ezekkel az elemekkel elvégezhetjük a külső tájékozást, nem csak egy képre, de akár egy képpárra, képsorra, illetve egy tömb képeire is. [1]

2.1 Külső tájékozás megoldásai

A képek külső tájékozására akkor van szükség, ha kiértékelést akarunk végezni a tárgykoordináta-rendszerben. Természetesen ez előtt a metódus előtt ismernünk kell a belső tájékozási elemeket is, ha ez nem teljesül, akkor ezen elemeket nélkülözhetetlen definiálnunk (2. ábra). [1]



2. ábra - Egy képpár tájékozása [1]

Visszatérve a külső tájékozásra, mivel két képünk van ezért tizenkét elemet kell meghatároznunk valamilyen eljárás segítségével. Hivatalosan ezeket tájékozási eljárásoknak hívjuk, és három csoportba sorolhatók. [7]

Az első csoport az, amikor két képet szeretnénk tájékozni, de külön-külön. Ebben az esetben három illesztőpontra lesz szükségünk, amelyek segítségével a képekre minimum hat különböző összefüggés írható fel, és mindez azért, hogy a hat ismeretlenünket be tudjuk azonosítani (1). [7]

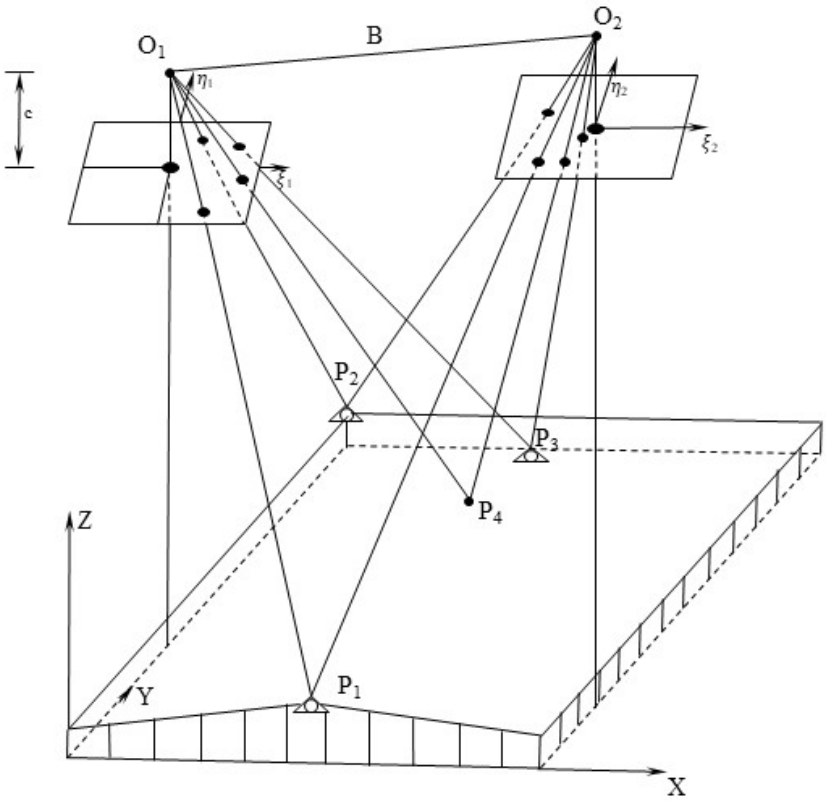
$$\xi_i = f(\xi_0, c, \underline{X_O}, \underline{Y_O}, \underline{Z_O}, \underline{\omega}, \underline{\varphi}, \underline{\kappa}, X_i, Y_i, Z_i) \qquad i = 1, 2, 3 \qquad (1)$$

$$\eta_i = f(\eta_0, c, \underline{X_O}, \underline{Y_O}, \underline{Z_O}, \underline{\omega}, \underline{\varphi}, \underline{\kappa}, X_i, Y_i, Z_i)$$

Ha felírtuk a megfelelő egyenleteket, akkor a számunkra még ismeretlen elemek értékét csak linearizálás után tudjuk definiálni, mégpedig úgy, hogy előzetes értékeket helyettesítünk be. Ezt az eljárást térbeli hátrametszésnek nevezzük. Ennek a folyamatnak vannak hátulütői is, ezek a következők:

1. Ez a módszer analóg műszeren nem végezhető el.

2. A metódus véghezviteléhez legalább három 3 dimenziós illesztőpontra van szükség, kiegyenlítés esetén 4 illesztőpont megléte szükséges. (3. ábra) [7] [4]



3. ábra - Térmodell három illesztőponttal [4]

A második csoport az, amikor két képet együttesen szeretnénk tájékozni egy lépésben, ezt az eljárást hivatalosan kettős képkapcsolásnak vagy kettős pontkapcsolásnak nevezzük. Ebben a folyamatban az illesztőpontjaink mellé új pontokat is hozzáadunk a számításunkhoz, ezen pontok tárgykoordinátái nem ismertek. Tehát a számoláshoz adott a három vagy több illesztőpont, amelyeknek tudjuk az X, Y, és Z tárgykoordinátáit. A mérés során megkapjuk az illesztőpontok képkoordinátáit is mind a két képen, ezeket ξ-vel és η-val jelöljük, illetve ismertté válnak az új pontok képkoordinátái is. A keresett értékek a képek külső tájékozási adatai, amelyeket már az előzőekben ismertettem (X_{O1}, Y_{O1}, Z_{O1}, ω_1, φ_1, κ_1, X_{O2}, Y_{O2}, Z_{O2}, ω_2, φ_2, κ_2). Mindemelett a számolás során szeretnénk megismerni az új pontok tárgytérbeli koordinátáit is (X, Y, Z). [7]

Mivel van tizenkét ismeretlenünk ezek meghatározására négy egyenlet írható fel, egyesével minden illesztőpontra (2). [7]

$$\xi_{i1}=f(\xi_0, c, \underline{X_{O1}}, \underline{Y_{O1}}, \underline{Z_{O1}}, \underline{\omega_1}, \underline{\varphi_1}, \underline{\kappa_1}, X_i, Y_i, Z_i)$$

1. kép

$$\eta_{i1}= f(\eta_0, c, \underline{X_{O1}}, \underline{Y_{O1}}, \underline{Z_{O1}}, \underline{\omega_1}, \underline{\varphi_1}, \underline{\kappa_1}, X_i, Y_i, Z_i) \qquad (2)$$

$$\xi_{i2}=f(\xi_0, c, \underline{X_{O2}}, \underline{Y_{O2}}, \underline{ZO2}, \underline{\omega 2}, \underline{\varphi_2}, \underline{\kappa_2}, X_i, Y_i, Z_i)$$

2. kép

$$\eta_{i2}= f(\eta_0, c, \underline{X_{O2}}, \underline{Y_{O2}}, \underline{Z_{O2}}, \underline{\omega_2}, \underline{\varphi_2}, \kappa 2, Xi, Y_i, Z_i)$$

Minden egyes új ponttal hárommal növekszik azoknak a koordinátáknak a száma, amelyeket nem ismerünk (X_i, Y_i, Z_i). Ezekre az új pontokra pontonként négy új összefüggést tudunk felírni, egyszóval ez azt jelenti, hogy mindegyik új pont egy fölös mérést is indukál. Ezt akár metszési feltételként is értelmezhetjük. [7]

Ahogy az előző módszernél, az egyenleteket itt is szükséges linearizálnunk, majd ezt elvégezve ki kell egyenlítenünk közvetítő egyenletek segítségével. Az eredményünk nem lesz más, mint a tizenkét tájékozási állandó, illetve az új pontok X, Y, Z koordinátái a tárgykoordináta-rendszerben. [4]

Ebben a módszerben szabadon megválaszthatjuk hány illesztőpontot és új pontot vonunk be, mindemelett az előbb felírt összefüggések olyan kapcsolatot hoznak létre a képkoordináta-rendszer és a tárgykoordináta-rendszer között, amely közvetlen, így ezt a metódust a legpontosabb tájékozási eljárásnak is nevezhetjük. [7] [4]

Végezetül a harmadik módszer a két kép együttes tájékozása két lépésben. Az első lépés a kölcsönös (relatív) tájékozás, amikor is egy térmodellt hozunk létre egy modellkoordináta-rendszerben (most ez legyen xyz), és ezt a modellkoordináta-rendszert tetszőlegesen elhelyezhetjük a térben. A második lépést abszolút tájékozásnak szokás nevezni. Ebben a szakaszban a térmodellt áttranszformáljuk egy geodéziai koordináta-rendszerbe, (amely most legyen XYZ). [7]

A relatív tájékozás során előre kiszámított vagy definiált adatra nincs igény, ugyanis ez a lépés azért szükséges, hogy két kép egymáshoz viszonyított helyzetét megismerhessük. Ez a kapcsolat már a fényképezés pillanatában létrejön, de ezt vissza kell állítani. Ehhez a visszaállításhoz öt közös képpont kell, amelyek nélkül nem tudnánk definiálni a relatív tájékozás öt paraméterét. Ennek a feladatnak a befejeztével megkapjuk eredményként a két kép együttes területének térmodelljét. [3] [1]

A kölcsönös tájékozás végeztével megkezdődhet az abszolút tájékozás, amikor is az előbb kapott térmodellt áttranszformáljuk egy külső, geodéziai koordináta-rendszerbe. Ez egy térbeli hasonlósági transzformáció, ugyanis a fentiekben említett xyz és XYZ derékszögű koordináta-rendszerek között lesz elengedhetetlen kapcsolatot teremtenünk. A térbeli hasonlósági transzformációnak hét paraméterrel írható le, ezek a következők: három eltolás, három elforgatás, egy méretarány tényező. Ezt a hét paramétert illesztőpontok használatával számolhatjuk ki. Legalább három illesztőpontra van szükség a feladat elvégzéséhez, kettőnek X, Y és Z koordinátával is kell rendelkeznie, egynek viszont elég, ha csak a magassága ismert, tehát a Z koordinátája. Kiegyenlítéssel történő számításhoz viszont legalább 3 teljes, azaz X, Y, Z koordinátákkal rendelkező illesztőpontra van szükség. [4]

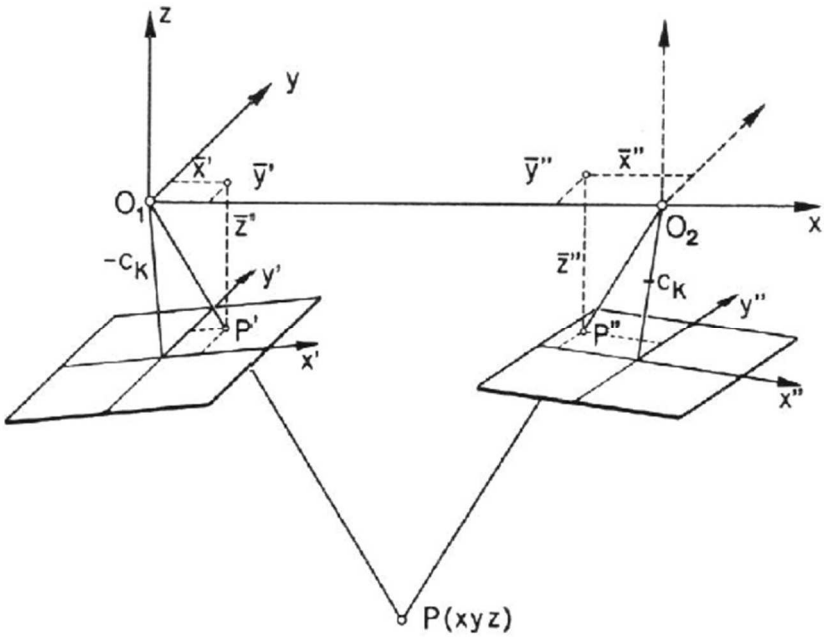
A kölcsönös tájékozás során megismerünk öt paramétert, az abszolút tájékozás során pedig hetet, ezt a kettőt összeadva pedig 12 paramétert kapunk, amelyek mindenképpen szükségesek a külső tájékozási elemek meghatározásához. [4]

2.1.1 Relatív tájékozás

Tehát a relatív tájékozás folyamán azért nem lesz szükség illesztőpontra, mert ekkor a két sugárnyaláb egymáshoz viszonyított állapotát definiáljuk, de nem kell tekintettel lennünk az YXZ tárgykoordináta-rendszerre, ugyanis nem a két koordináta-rendszer közötti kapcsolatot akarjuk biztosítani. [3]

Ha ezt nem végeznénk el, akkor nem szemlélhetnénk sztereoszkópikusan a két képet, ez nem lenne lehetséges. A relatív tájékozás eredménye egy térmodell lesz. Ebben a térmodellben a sztereó-képpár vetítési sugarait – amelyek képei egymásnak – szeretnénk egymással elmetszeni, valamint definiálni kell a P pont koordinátáit is. [1] [2]

Ezt szemlélhetjük a 4. ábrán. Itt meg is kérdőjelezhetünk rögtön pár dolgot, például azt, hogy szükséges-e egyáltalán a pontok modell-koordináta-rendszerbeli elhelyezkedését ismerni. Emellett a számítások alatt bonyolult gondolatmeneteken kell végig haladnunk, amelyeket lehetne egyszerűsíteni. A hatékonyság növeléséhez kollineár egyenleteket is használhatunk, ennek leírása a későbbiekben bővebben olvasható. [4]



4. ábra - Relatív tájékozás koordináta rendszerei [3]

Viszont mégis végre kell hajtanunk a kölcsönös tájékozást, mert szükségünk van rá a sztereoszkópikus szemlélés és irányzás során.

A kiválasztott koordináta-rendszert modell koordináta-rendszernek hívjuk, aminek a kezdőpontja a bal kép vetítési centruma lesz. Mivel a modell koordináta-rendszer tengelyeinek iránya kétféle lehet, ezért kétféle módszer létezik a relatív tájékozás elvégzésére. Az első módszert hozzátájékozásnak nevezzük. Ekkor a Z_M tengely iránya egyenlő a bal kép kamera tengelyével, és a számítások során a jobb kép vetítési centrumát,

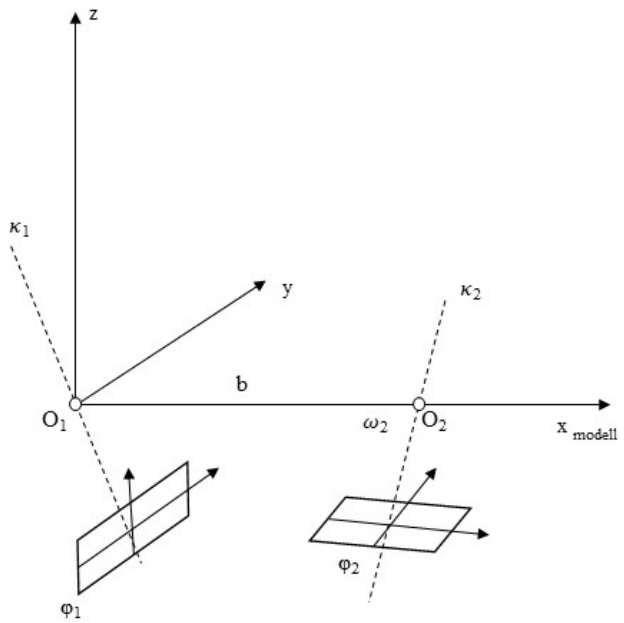
illetve a jobb kép forgatási szögeit ismerhetjük meg. Ebben az esetben a bal kép forgatási szögeit nullának vesszük. A másik módszert független modell kölcsönös tájékozásának hívjuk, ekkor a X_M tengely a jobb kép vetítési centrumában halad, erre pedig merőleges lesz a két másik tengely. Ha ezt a módozatot választjuk, akkor mind a két képet forgatnunk kell φ és κ szögekkel, illetve az ötödik paraméterünket úgy kapjuk meg, hogy vesszük a két kép ω-jának különbségét, és ezt a jobb képhez rendeljük. [1][2][4][8]

Bővebben kifejtve a kölcsönös tájékozás módszere a következőképpen néz ki. A modell koordináta-rendszer megválasztása során vegyük figyelembe, hogy az x tengely mindenképpen essen egybe a felvételi bázissal. Ekkor a db_y és db_z irányú komponensek értéke nulla lesz. Az ω forgatási szög pedig egyezzen meg az x tengellyel, így el tudjuk érni, hogy ez mindkét kép bázisával legyen azonos. Mivel a két kép forgástengelye ezzel ugyanaz lesz, és a képek között csak szög különbségeket szeretnénk beállítani, ezért elég csupán az egyik képet elforgatnunk. A másik kép ω forgatási szöge ekképp lehet nulla (3). [4] Így:

$$db_x=1,\ db_y=db_z=0,\ \omega=0 \tag{3}$$

Ez azt jelenti, hogy a kilenc paraméterből négyet már definiáltunk is, ennek következtében maradt öt szabad paraméter (4), amelyek szükségesek ahhoz, hogy p vektorok komponenseit kiszámíthassuk (5. ábra). [4]

Az öt szabad paraméter: φ_1, κ_1, φ_2, κ_2, ω_2. [4] (4)



5. ábra - Kölcsönös tájékozás szögforgásokkal [4]

A determináns: [4]

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ X_{M1} & Y_{M1} & Z_{M1} \\ X_{M2} & Y_{M2} & Z_{M2} \end{vmatrix} = 0 \tag{5}$$

Ha a fenti determinánst (5) kifejtjük, akkor a következő feltételi egyenletet (6) kell kapnunk: [4]

$$Y_{M1} * Z_{M2} - Y_{M2} * Z_{M1} = 0 \tag{6}$$

Ezt a feltételi egyenletet alkalmazni kell minimum öt pontra, így az öt ismeretlen paraméter meghatározhatóvá válik. [4]

E módszer használatának lesznek bizonyos hatásai a modellre nézve, most ezeket fejtem ki a következőkben. Mikor rögzítjük a két felvételen az adott tárgyat, és elvégezzük a relatív tájékozást, majd létrehozzuk a térmodellünket, a vetítő sugarak metszeni fogják egymást. Ezek a vetítő sugarak a térbeli pontokra és az ezeknek megfelelő képpontokra illeszkednek. [4]

A két kép által alkotott modell megjelenítésekor és szemlélésekor észrevehető (ekkor még a tájékozás paraméterei nem ismertek), hogy a vetítő sugarak nem metszik egymást, tehát kitérő egyenesek lesznek. Ha például két sugarat egy horizontális elhelyezkedésű síkra vetítünk ki, akkor két egymástól különálló pont lesz látható. Ennek a két pontnak a különbségéből nyerjük a parallaxist, amelynek két komponense ismert a X_M és Y_M. A X_M a bázisirányú, míg a Y_M a harántirányú alkotórész. Amit tudni lehet e kettő összetevőről, hogy a bázisirányú parallaxis a tárgypont távolságával lesz arányos, a harántirányú parallaxis pedig zavarja a térlátást. [4]

Ha változtatjuk a vetítési sík magasságát, akkor képesek lehetünk egy olyan pozíciót elérni, amellyel megszűnik a bázisirányú parallaxis. A harántparallaxis eltűntetése nem ilyen egyszerű, mert ehhez metszenie kell egymást a két vetítősugárnak. Abban az esetben, amint ezt öt vetítősugárnál létre tudjuk hozni, és mind az öt vetítősugár metszi egymást, akkor a képek együttes területén létrejön a térmodell. A sugárnyalábok elhelyezkedését úgy tudjuk változtatni, hogy a forgatjuk a képeket, vagy bázisösszetevőket változtatjuk meg. [4]

Pontosan meg kell vizsgálnunk a különböző beállítások miatt keletkezett változásokat, hogy ezek miképpen gyakorolnak hatást a kivetített képek elhelyezkedésére. Meg kell figyelni, hogy az elmozdulásoknak mekkora az x és y irányú komponense. [4]

Amikor két kép tájékozását végezzük, a műveletben egy képnek nem a teljes területe (körülbelül 60%-a) vesz részt. Ezért a forgatások következményeit csak a felvételek együttes területén vizsgáljuk. [4]

A relatív tájékozás elvégzése alatt olyan helyeken érdemes pontokat kiválasztani és megszüntetni itt a harántparallaxist, ahol a harántirányú parallaxisra a maximális hatást fejti ki a szög forgatása. Ezt a hat pontot GRUBER-pontoknak hívjuk. [4]

A kölcsönös tájékozást kezdetben analóg műszerekre dolgozták ki, ahol biztosították a képtartók elforgatását. A létrejövő hat pozicionálási eshetőségből ötöt kell mindenképpen kiválasztanunk, mert ezek szükségesek ahhoz, hogy el tudjuk végezni a feladatot. A Gruber-pontokon való forgatások sorrendje is nagyon fontos, mivel ezt úgy kell megválasztanunk, hogy a különböző beállítási értékek ne rontsanak el egy korábban konfigurált helyzetet. [4]

A feladat elvégzéséhez a megfelelő stratégia a következő: az adott Gruber-pont közelében kiválasztunk egy olyan pontot, amely mindkét felvételen megfelelően látszódik, és a mérőjelet állítva (magasságilag) elérjük, hogy megszűnjön a bázis irányú parallaxis. Ezután következhet a harántparallaxis megszüntetése, amelyhez ki kell választanunk egy forgatást, amelynek hatása is megfelelő. [4]

Az ajánlott sorrend a következő:

Lépés	Gruber-pont (hely)	Forgatás
1.	1.	κ_2
2.	2.	κ_1
3.	3.	φ_2
4.	4.	φ_1
5.	5 vagy 6	$\Delta\omega$, $\omega 1$ vagy ω_2

Mivel az ötödik lépés, vagyis az ω forgatása a legtöbb pontban újból harántparallaxis kreál, így az egész metódust meg kell ismételni. Ez azt jelenti, hogy ez egy iterációs eljárás, ami konvergens eredményt tud szolgáltatni. Ez a konvergencia felgyorsítható, ha a ω forgatását túljavítással végezzük el. Ez azt jelenti, hogy megszűnik a harántparallaxis, emellett pedig 1.5- szer nagyobb értéket is beállítunk. [4]

Az analitikus és digitális fotogrammetriában a hozzátájékozás módszere terjedt el, ez bővebben kifejtve a következőképpen néz ki (6. ábra). A modell koordináta-rendszert úgy kell megválasztanunk, hogy az első kép képkoordináta-rendszerével párhuzamos legyen. A bal kép összes forgási szöge nullával lesz egyenlő, így a már definiált komponensek (7) a következők: [4][7]

$$db_x=1,\ \varphi_1=\kappa_1=\omega_1=0 \tag{7}$$

Tehát ismertté válik négy paraméter, szabad paraméterből öt darab maradt: db_y, db_z, φ_2, κ_2, ω_2.

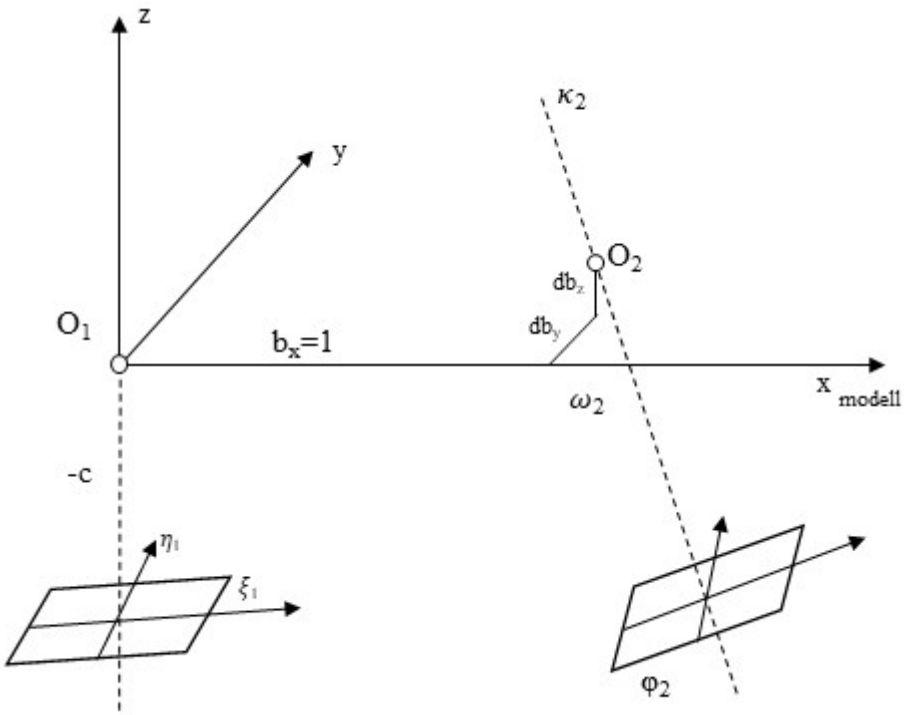
Ebben az esetben a determináns kinézete: [4]

$$\begin{vmatrix} 1 & db_y & db_z \\ \xi_1 & \eta_1 & -c \\ X_{M2} & Y_{M2} & Z_{M2} \end{vmatrix} = 0 \tag{8}$$

Ha a fenti determinánst (8) kifejtjük, akkor a következő feltételi egyenletet kell (9) kapnunk:

$$(\eta_1 * Z_{M2} + c * Y_{M2}) - db_y * (\xi_1 * Z_{M2} + c * X_{M2}) + db_z * (\xi_1 * Y_{M2} - \eta_1 * X_{M2}) = 0 \tag{9}$$

Ezt a feltételi egyenletet alkalmazni kell minimum öt pontra, így az öt ismeretlen paraméter definiálhatóvá válik. [4]



6. ábra - Kölcsönös tájékozás képforgásokkal [4]

Az alábbiakban a relatív tájékozás veszélyes felületeiről olvasható pár mondat.

Miután végeztünk a kölcsönös tájékozással, meg kell vizsgálni, hogy az összes tárgyfelület és a felvételi elrendezés is megfelelő és biztos eredményeket kapunk általa. [7]

A κ_1, κ_2, φ_1 és φ_2 esetében nem léphet fel olyan helyzet, amely kritikusnak mondható, tehát a nevező nem lehet nulla. Az ω_2 esetében ez viszont előfordulhat, mégpedig abban az esetben, ha az 1, 3, 5 és 2, 4, 6 profilok ugyanolyan formájúak. Leginkább akkor fordulhat

elő, hogy a nevező nulla, mikor az 1. és 2. ponthoz viszonyítva a többi profil szimmetrikus elhelyezkedésű. Mindezek szerint az alábbi négy egyenlet (10) esetében alakulhat ki ilyen veszélyes felület: [7]

$$h_2=h_4*R$$

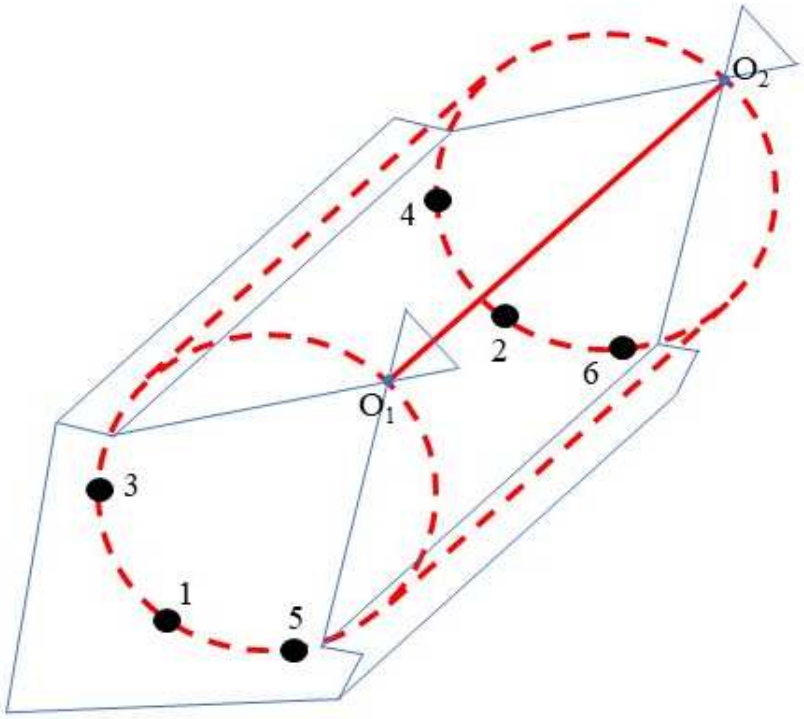
$$h_2= h_4*(1+r^2) \qquad (10)$$

$$h_2= h_4*(1+y_4^2/h_4^2)$$

Átalakítás: $$y_4^2= h_4*(h_2- h_4) \qquad (11)$$

Ez az úgynevezett „magassági szabály” (11). Egy derékszögű háromszögben gondolkodunk, az y_4 lesz a magassága, a h_4 és a (h_2- h_4) távolságokat pedig a befogók vetületeinek vesszük. [7]

A veszélyes felületet úgy lehetne leírni, hogy egy kör alapú henger, és ennek a hengernek a felületére az O_1 és O_2 felvételi pontok illeszkednek. Természetesen ennél több veszélyes felület létezik, de ez a legegyszerűbben definiálható (7. ábra). [1][2][4]



7. ábra - Veszélyes henger [1]

2.1.2 Abszolút tájékozás

Az analóg műszeren végzett abszolút tájékozás a mai fotogrammetriai gyakorlatban visszaszorult, ezért ezt nem is fogom kifejteni az alábbiakban. Helyette analitikus módszerrel kiegyenlítést alkalmazunk, mégpedig a legkisebb négyzetek módszerén alapulót, tehát az analóg műszeren való tájékozást egy számításos módszer váltja fel. A kiegyenlítés a legpontosabb eljárás, mivel ehhez annyi illesztőpontot használunk fel, amennyit csak szeretnénk, de legalább három illesztőpontra szükségünk lesz. [7]

Az abszolút tájékozást a relatív tájékozás megléte nélkül nem lehet véghez vinni. Ez a metódus kapcsolatot teremt két derékszögű térbeli koordináta-rendszer között (a már említett modell- és tárgykoordináta-rendszerek között). Ez azt jelenti, hogy a feladatunk a két koordináta-rendszer között a transzformációs paraméterek meghatározása. Ehhez a legegyszerűbben egy hét paraméterből álló hasonlósági transzformációt alkalmazhatunk (más néven térbeli Helmert transzformáció) [5]. Alapegyenlete a következőképpen néz ki (12): [1][2][3]

$$\begin{pmatrix} X_G \\ Y_G \\ Z_G \end{pmatrix} = m * R_{\Phi\Omega K} * \begin{pmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_{O1} \\ Y_{O1} \\ Z_{O1} \end{pmatrix} \tag{12}$$

A jelölések pedig a következőket takarják:

X_G, Y_G, Z_G: a P pont tárgykoordinátái

m: méretaránytényező

$R_{\Phi\Omega K}$: a modellkoordináta-rendszerből a tárgykoordináta-rendszerbe történő térbeli forgatás R forgatási mátrixa (elemei a Φ, Ω és K szögek segítségével definiálhatók)

X_{O1}, Y_{O1}, Z_{O1}: a bal kép vetítési középpontjának tárgykoordinátái, a modellkoordináta-rendszer kezdőpontja

X_M, Y_M, Z_M: a P pont modellkoordinátái

A hét paraméter - amelyet transzformációs állandónak is szokás nevezni - meghatározásához szükségünk van minimum hét egyenletre, illetve közös pontokra, amelyeket szakszóval illesztőpontoknak hívunk. Ezeknek az úgynevezett illesztőpontoknak ismerjük a tárgykoordináta-rendszerbeli koordinátáikat. Tehát eme pontoknak a sztereoszkópikus megmérése a cél. Ahhoz, hogy a feladatot el tudjuk végezni, a közös pontok modellkoordinátáit kell elsődlegesen kiszámítanunk. Ha ezzel végeztünk, jöhet a transzformációs állandók definiálása. Ehhez használhatunk háromdimenziós (X, Y, Z), vízszintes (X, Y), illetve magassági (Z) illesztőpontokat. A kiegyenlítéshez minimum két darab háromdimenziós és egy darab magassági illesztőpontra lesz szükségünk, de a feladat elvégezhető két vízszintes és három magassági illesztőponttal is. Természetesen a gyakorlati megoldásban több közös pontot

fogunk bevonni a megszabott minimumnál. Ha jobban megfigyeljük az előbb felírt alapegyenletet, észrevehetjük, hogy az nem lineáris az ismeretlen összetevőkre nézve. Így ezt a feladatot, csakúgy, mint a relatív tájékozást, a fokozatos közelítés, vagyis az iteráció módszerével tudjuk csak megoldani, mégpedig az ismeretlenek kezdő értékeiből kiindulva. Emellett létezik olyan módszer is, ahol nem kell az előzetes értékeket megadni, illetve az iterációra sincs szükség. [1][2][3][8]

Bővebben leírva a fokozatos közelítés módszerével elvégzett kiegyenlítés három közös pont esetén a következőképpen néz ki. Az első lépés a feladat megoldásában, hogy véghez visszük a hasonlósági transzformáció alapegyenletének parciális deriválását, így meghatározható az a kilenc egyenletből összeálló javítási egyenletrendszer, amely mátrix alakban ekképpen írható fel: Ax + l = v. [1][2][3]

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} & a_{17} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} & a_{27} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & a_{36} & a_{37} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} & a_{46} & a_{47} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} & a_{56} & a_{57} \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} & a_{67} \\ a_{71} & a_{72} & a_{73} & a_{74} & a_{75} & a_{76} & a_{77} \\ a_{81} & a_{82} & a_{83} & a_{84} & a_{85} & a_{86} & a_{87} \\ a_{91} & a_{92} & a_{93} & a_{94} & a_{95} & a_{96} & a_{97} \end{bmatrix}; x = \begin{bmatrix} \delta m \\ \delta\Phi \\ \delta\Omega \\ \delta K \\ \delta X_{01} \\ \delta Y_{01} \\ \delta Z_{01} \end{bmatrix}; l = \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ l_3 \\ l_4 \\ l_5 \\ l_6 \\ l_7 \\ l_8 \\ l_9 \end{bmatrix}; v = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v \\ v_4 \\ v_5 \\ v_6 \\ v_7 \\ v_8 \\ v_9 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Az alakmátrixban (13) foglalnak helyet a parciális deriváltak, például $a_{12} = \frac{\partial X_G}{\partial \Phi}$. Az x mátrixban találhatóak a javítások az ismeretlenek közelítő értékeihez. Az l mátrix a tisztatag, itt a kiszámolt és adott tárgykoordináták különbségét láthatjuk. A v vektorban pedig a javítások figyelhetők meg. [1][2][3]

A fentebb leírt egyenletrendszert megoldjuk x-re. Először is az x oszlopvektor eredményeit össze kell adnunk az ismeretlenek közelítő értékeivel, majd megismételjük a folyamatot. Minden egyes iteráció elvégeztével végrehajtjuk a paraméterek korrigálását. Ezt a metódust kell mindaddig csinálnunk, ameddig nem kapunk olyan értékeket, amelyekben az értékes tizedesjegy már nem változik. Így meghatároztuk tehát a térbeli hasonlósági transzformáció korrigált értékeit. [1][2][3]

A számítás végeztével definiálnunk kell a súlyegység középhibáját (14): [1][2][3]

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{\sum v^2}{f}} \quad (14)$$

Illetve az ismeretlenek középhibái (15) is számíthatóak: [1][2][3]

$$m_m = \sigma_0 * \sqrt{q_{1,1}}; m_\Phi = \sigma_0 * \sqrt{q_{2,2}}; \quad (15)$$

$$m_\Omega = \sigma_0 * \sqrt{q_{3,3}};\ m_\mathrm{K} = \sigma_0 * \sqrt{q_{4,4}};\ m_{X_{O1}} = \sigma_0 * \sqrt{q_{5,5}};$$

$$m_{Y_{O1}} = \sigma_0 * \sqrt{q_{6,6}};\ m_{Z_{O1}} = \sigma_0 * \sqrt{q_{7,7}}$$

Összefoglalva az abszolút tájékozás során is felmerülhet az a probléma, hogy tényleg szükséges-e végrehajtanunk a relatív tájékozás és abszolút tájékozás párosát, hiszen ezt a módszert még akkor fejlesztették ki, mikor analóg térkiértékelő műszereket alkalmaztunk. Ma már viszont, az analitikus és digitális fotogrammetria korszakában már nem kell valóban, fizikálisan forgatnunk a képeket, nem szükséges a méretaránytényező, hiszen minden megoldható digitális módon.

2.1.3 Külső tájékozás kollineár egyenletekkel

A külső tájékozást kollineár egyenletekkel és képkoordinátákkal (16) is ki lehet számítani, tehát definiálható belőlük a kép vetítési centrumának koordinátái (X_O, Y_O, Z_O), valamint a felvétel elfordulását megadó forgatási szögek is (φ, ω, κ). [1][2][3]

$$x = -c_k \frac{r_{11}(X - X_O) + r_{21}(Y - Y_O) + r_{31}(Z - Z_O)}{r_{13}(X - X_O) + r_{23}(Y - Y_O) + r_{33}(Z - Z_O)}$$
$$y = -c_k \frac{r_{12}(X - X_O) + r_{22}(Y - Y_O) + r_{32}(Z - Z_O)}{r_{13}(X - X_O) + r_{23}(Y - Y_O) + r_{33}(Z - Z_O)} \qquad (16)$$

A jelölések a következők:

x, y: a képfőpontra redukált képkoordináták

X, Y, Z: a terepen mért koordináták

X_O, Y_O, Z_O: a vetítési középpont koordinátái

r_{ij}: irány koszinusz, ahol minden $r_{ij} = f(\varphi, \omega, \kappa)$

c_k: fókusztávolság, vagy más néven kamera állandó

Ha megfigyeljük a kollineár egyenleteket, akkor észrevehetjük, hogy ez lényegében egy geodéziai térbeli hátrametszési feladat, amely igazából csak annyiban különbözik a tényleges geodéziai hátrametszéstől, hogy nemcsak az álláspont helyét kell hátrametszeni, hanem használnunk kell a három forgatási szögünket is, mégpedig arra, hogy a térben meghatározhassuk a képsík elhelyezkedését. Ha két felvételről (sztereó-képpárról) beszélünk, akkor 12, vagy 2*6 paramétert kell megállapítani. [1][2][3]

A kollineár egyenletek az ismeretleneket tekintve nem lineárisok, emiatt parciális deriválást kell alkalmaznunk, hogy Taylor-polinommá tudjuk őket alakítani. Ahhoz, hogy kiegyenlítéssel megoldhatóvá váljon az egyenlet 4 közös pontra van szükség. Azonban, mindenekelőtt definiálnunk kell az ismeretlenek közelítő értékeit (X_O^0, Y_O^0, Z_O^0, φ^0, ω^0, κ^0). A kollineár egyenletbe be kell helyettesítenünk a közelítő értékeket, illetve az illesztőpontok tárgykoordinátáit, és így meg tudjuk állapítani a képkoordinátákat. Ezeket

ezután kivonjuk a mért képkoordinátákból, így kaphatjuk meg az l tisztatag vektort. A parciális deriváltakat az A alakmátrix tartalmazza. [1][2][3]

A javítási egyenletrendszert a következőképpen lehet felírni mátrixosan: Ax + l = v. [1][2][3]

Ebben az esetben az egyenletpárokkal felírva pedig így néz ki (17): [1][2][3]

$$\begin{aligned} &\frac{\partial \xi}{\partial X_O}\delta X_O + \frac{\partial \xi}{\partial Y_O}\delta Y_O + \frac{\partial \xi}{\partial Z_O}\delta Z_O + \frac{\partial \xi}{\partial \varphi}\delta\varphi + \frac{\partial \xi}{\partial \omega}\delta\omega + \frac{\partial \xi}{\partial \kappa}\delta\kappa + l_\xi = v_\xi \\ &\frac{\partial \eta}{\partial X_O}\delta X_O + \frac{\partial \eta}{\partial Y_O}\delta Y_O + \frac{\partial \eta}{\partial Z_O}\delta Z_O + \frac{\partial \eta}{\partial \varphi}\delta\varphi + \frac{\partial \eta}{\partial \omega}\delta\omega + \frac{\partial \eta}{\partial \kappa}\delta\kappa + l_\eta = v_\eta \end{aligned} \tag{17}$$

A fentebb leírt egyenletrendszert megoldjuk x-re. Először is az x oszlopvektor eredményeit össze kell adnunk az ismeretlenek közelítő értékeivel, majd megismételjük a folyamatot. Minden egyes iteráció elvégeztével végrehajtjuk a paraméterek korrigálását. Ezt a metódust kell mindaddig csinálnunk, ameddig nem kapunk olyan értékeket, amelyekben a tizedesjegy már nem változik. Az eredmény a külső tájékozás kiegyenlítéssel pontosított értékei lesznek. [1][2][3]

Ha a kiegyenlítéssel végeztünk és megfelelő eredményt kaptunk, akkor kiszámíthatjuk a súlyegység középhibáját (18): [1][2][3]

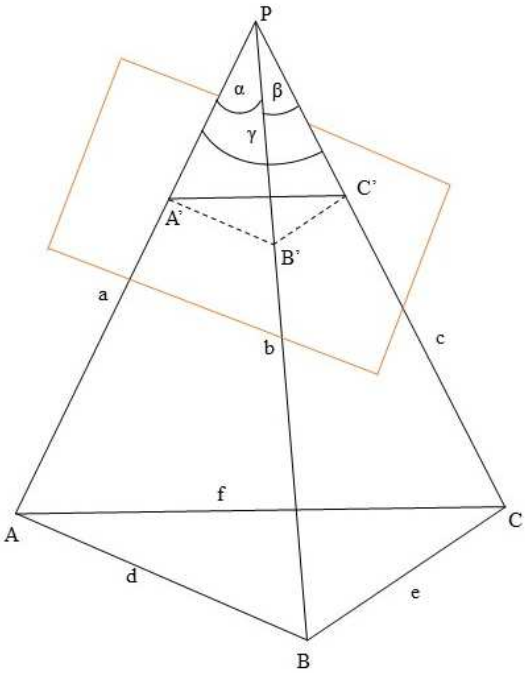
$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{\sum v^2}{f}} \tag{18}$$

Emellett számíthatók lesznek az ismeretlenekhez tartozó középhibák (19) is: [1][2][3]

$$\begin{aligned} &m_{X_{O_1}} = \sigma_0 * \sqrt{q_{1,1}}; m_{Y_{O_1}} = \sigma_0 * \sqrt{q_{2,2}};\ m_{Z_{O_1}} = \sigma_0 * \sqrt{q_{3,3}} \\ &m_{\varphi_1} = \sigma_0 * \sqrt{q_{4,4}};\ m_{\omega_1} = \sigma_0 * \sqrt{q_{5,5}};\ m_{\kappa_1} = \sigma_0 * \sqrt{q_{6,6}} \\ &m_{X_{O_2}} = \sigma_0 * \sqrt{q_{7,7}}; m_{Y_{O_2}} = \sigma_0 * \sqrt{q_{8,8}};\ m_{Z_{O_2}} = \sigma_0 * \sqrt{q_{9,9}} \\ &m_{\varphi_2} = \sigma_0 * \sqrt{q_{10,10}};\ m_{\omega_2} = \sigma_0 * \sqrt{q_{11,11}};\ m_{\kappa_2} = \sigma_0 * \sqrt{q_{12,12}} \end{aligned} \tag{19}$$

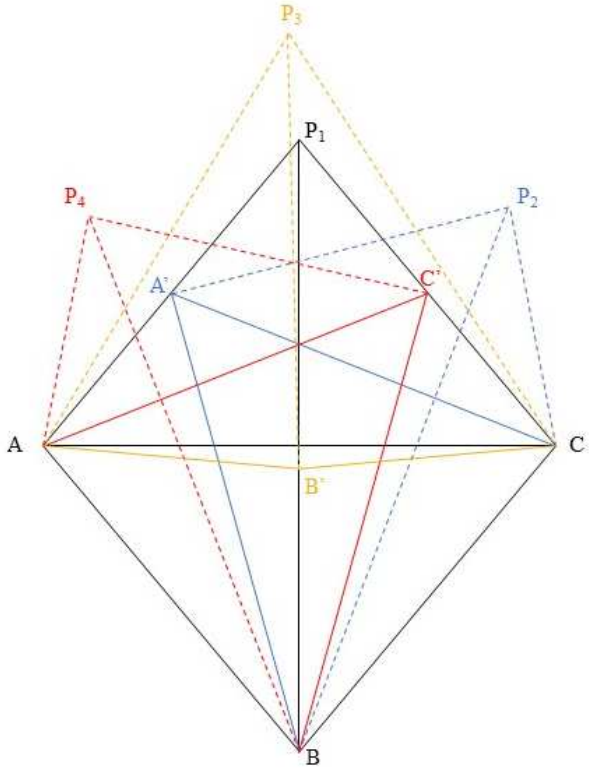
2.1.4 Külső tájékozás iteráció nélkül

A legegyszerűbben úgy lehet bemutatni ezt a fajta módszert, hogy egy tetraédert alkalmazunk, amelyet a vetítési sugarak formálnak (8. ábra). Ezt az alakzatot a képsík elmetszi. Első látszatra azt láthatjuk, hogy csak egy vetítési centrum lehet a térben, de ha jobban megvizsgáljuk, akkor kiderül, hogy akár nyolc vetítési középpont is lehet. Azért, hogy áttekinthetőbb legyen most a tetraéder alapja és az oldalát alkotó háromszögek is egyenlő oldalúak lesznek (9. ábra). [1][2]



8. ábra - Térbeli fotogrammetriai hátrametszés három pont alapján [1]

Az ábrán láthatjuk, hogy az egyik oldalélen lévő A' pontnál az alakzat alapja is egyenlő oldalú lesz. Ez egyaránt vonatkozik a B' és C' vessző pontokra. Így lesz összesen négy vetítési centrumunk, a másik négyet tükrözéssel érjük el. [1][2]



9. ábra - Lehetséges megoldások térbeli fotogrammetriai hátrametszéskor [1]

Az A', B' és C' pontok illesztőpontoknak tekinthetők, ezeknek a képkoordinátáit megmérjük. Ezekből és a kamera belső adataiból ki lehet számítani a tetraéder csúcsánál lévő α, β, γ lapszögeket. Definiálni szeretnénk a P pontot, ez pedig a következőképpen történik. Először kiszámítjuk a vetítési középpont koordinátáit, majd meg kell határoznunk a φ, ω és κ szögeket. Az α, β, γ szögek definiálhatók a képkoordinátákból. [1][2]

A tetraéder alapja is számítható (d, e, f), mégpedig az ismert koordinátákból, távolságképlettel. Meg kell állapítanunk az alakzat oldaléleinek a hosszát, ezt a koszinusz-tétellel tudjuk megtenni, amely segítségével létrehozunk egy háromismeretlenes másodfokú egyenletrendszert (20). [1][2]

$$\begin{aligned} d^2 &= a^2 + b^2 - 2ab * cos\alpha \\ e^2 &= b^2 + c^2 - 2bc * cos\beta \\ f^2 &= c^2 + a^2 - 2ca * cos\gamma \end{aligned} \tag{20}$$

Ezt vissza tudjuk vezetni egy negyedfokú egyenletre. Be kell hoznunk az n és m méretarányszámokat, az a oldalt pedig tekintsük alaphosszúságúnak. A b és c ismeretlenek helyére behelyettesítünk (b=a*n; c=a*m), majd felírva az új egyenleteket az a^2-et is ki tudjuk fejezni egy másik egyenlettel (21). [1][2]

$$\begin{aligned} a^2(1 + n^2 - 2n * cos\alpha) &= d^2 \\ a^2(n^2 + m^2 - 2nm * cos\beta) &= e^2 \\ a^2(m^2 + 1 - 2m * cos\gamma) &= f^2 \end{aligned} \tag{21}$$

Rendezzük az új egyenleteket m szerint, így két kétismeretlenes másodfokú egyenletrendszert kapunk (22). [1][2]

$$\begin{aligned} d^2m^2 - 2 * cos\gamma * d^2m - 2 * cos\alpha * f^2n + d^2 - f^2 &= 0 \\ (e^2 - f^2)m^2 + (2 * cos\beta * f^2n - 2 * cos\gamma * e^2)m + e^2 - f^2n^2 &= 0 \end{aligned} \tag{22}$$

A két méretaránytényező közül elég egyet meghatároznunk, ehhez be kell vezetni új együtthatókat (23). [1][2]

$$\begin{aligned} a_{11} &= d^2 = D \\ a_{12} &= -2cos\gamma * d^2 = E \\ a_{13} &= -f^2n^2 + 2 * cos\alpha * f^2n + d^2 - f^2 = Fn^2 + Gn + H \\ a_{31} &= e^2 - f^2 = J \\ a_{32} &= 2cos\beta * f^2n - 2cos\gamma * e^2 = Kn + L \\ a_{33} &= e^2 - f^2n^2 = M + Nn^2 \end{aligned} \tag{23}$$

A megoldáshoz fel kell jegyeznünk a rendszer rezultánsát (24). [1][2]

$$R = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & 0 \\ 0 & a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & 0 \\ 0 & a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = 0 \qquad (24)$$

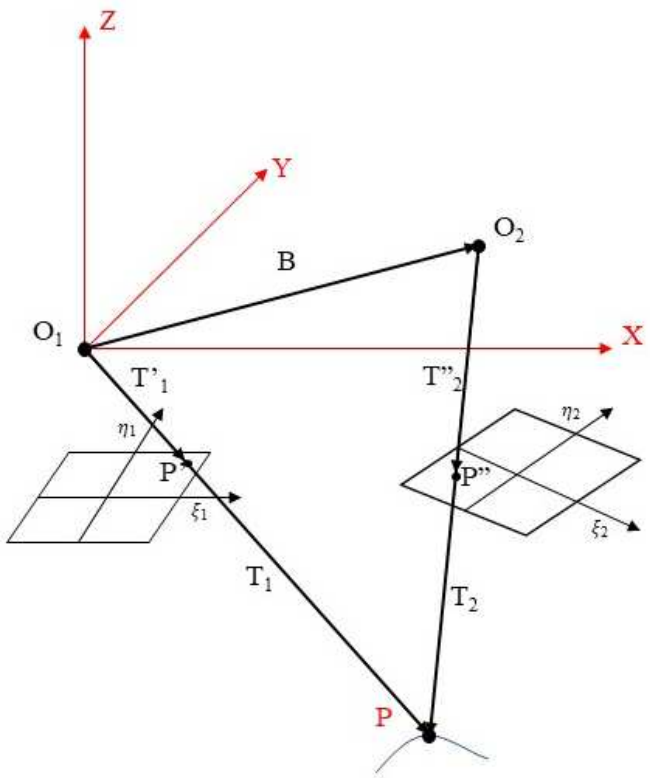
A determinánsból levezetett negyedfokú egyenlet segítségével kiszámíthatjuk az előbb bevezetett paraméterek pontos értéket, amelyeket már csak vissza kell helyettesítenünk. A továbbiakban az ismert oldalélek lapján számíthatók a vetítési centrum koordinátái. A teljes számítási folyamat részletei [1]-ben és [3]-ban olvashatók.

2.1.5 Térbeli előmetszés

Térbeli előmetszéssel kiszámíthatók a pontjaink tárgykoordinátái. Ahhoz, hogy ezt elvégezhessük, meg kell mérnünk a tárgypont képét mind a kettő felvételen, ezt akár egyesével is megtehetjük, de egyszerűbb sztereószkópikus irányzással. [1]

Már definiáltak a következő paraméterek: belső és külső tájékozási elemek (c_k, ξ_0, η_0, X_{O1}, Y_{O1}, Z_{O1}, φ_1, ω_1, κ_1, X_{O2}, Y_{O2}, Z_{O2}, φ_2, ω_2, κ_2), illetve a megmért pont képkoordinátái (ξ_1, η_1, ξ_2, η_2). Ezek a tényezők mind a két képen ismertek. Az X, Y és Z tárgykoordinátákat szeretnénk megállapítani. [1]

A térbeli előmetszést két módon lehet megoldani. Az egyik módszerben térbeli vektorokat alkalmazunk, a második lehetséges megoldási eljárásban pedig kollineár egyenletek segítségével hajtjuk végre a feladatot. [1]



10. ábra - Térbeli előmetszés [1]

A térbeli vektoros megoldás esetén ismerjük a B felvételi bázist, illetve a T'_1 és T'_2 vektorokat, ezek a képpontokba mutatnak. [1]

$$B = \begin{bmatrix} B_X \\ B_Y \\ B_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{O2} - X_{O1} \\ Y_{O2} - Y_{O1} \\ Z_{O2} - Z_{O1} \end{bmatrix}$$

$$T_1' = \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = R_1 \begin{bmatrix} \xi_1 - \eta_0 \\ \eta_1 - \eta_0 \\ -c_k \end{bmatrix} \tag{25}$$

$$T_2' = \begin{bmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{bmatrix} = R_2 \begin{bmatrix} \xi_2 - \eta_0 \\ \eta_2 - \eta_0 \\ -c_k \end{bmatrix}$$

Az R1 és az R2 azokat a forgatási mátrixokat jelölik, amelyek a képekhez tartoznak, és a φ_1, ω_1, κ_1, φ_2, ω_2, κ_2 szögekből lehet megalkotni őket. [1]

A 10. ábrán megfigyelhetjük, hogy a T_1 T'_1 vektor egy egyenesbe esik, csak a hosszúságok különbözik. Ezért fel tudjuk írni a (26)-os képlet. [1]

$$T_1 = N_1 * T_1' \tag{26}$$

Az N_1 a két vektor közötti méretarányt fejezi ki, ezért N_1 kiszámítása lesz a fő cél a későbbiekben. A 10. ábra szerint T_2=T_1-B, így a T_2 kollineár helyzetben van a T''_2 vektorral. A két vektor vektoriális szorzata nulla. [1]

$$(T_1 - B) * T_2'' = 0 \tag{27}$$

Ha elvégezzük a szorzást, és behelyettesítjük a (26) egyenletet, akkor a (28) egyenletet kapjuk. [1]

$$N_1\left(T_1' * T_2''\right) = B * T_2'' \tag{28}$$

Mivel a (28) egyenletben csak olyan értékek szerepelnek, amelyeket ismerünk, ezért egyszerűen ki lehet számolni N_1-et. Ehhez először a vektorokat ki kell vetítenünk a tárgykoordináta-rendszer koordináta tengelyeire, ennek eredményeképpen N_1-et háromféle módon is meg lehet adni (29). [1]

$$N_1 = \frac{B_Y Z'' - B_Z Y''}{Y'Z'' - Z'Y''} = \frac{B_Z X'' - B_X Z''}{Z'X'' - X'Z''} = \frac{B_X Y'' - B_Y X''}{X'Y'' - Y'X''} \tag{29}$$

Ezután a P pont tárgykoordinátái is kiszámíthatók (30). [1]

$$X_1 = N_1 X';\ Y_1 = N_1 Y'; Z_1 = N_1 Z' \tag{30}$$

Az előbb leírt egyenleteket levezetjük T_2 vektorra is, hogy ki tudjuk számítani N_2-t, így a P pont koordinátáit újra meg tudjuk határozni (31). [1]

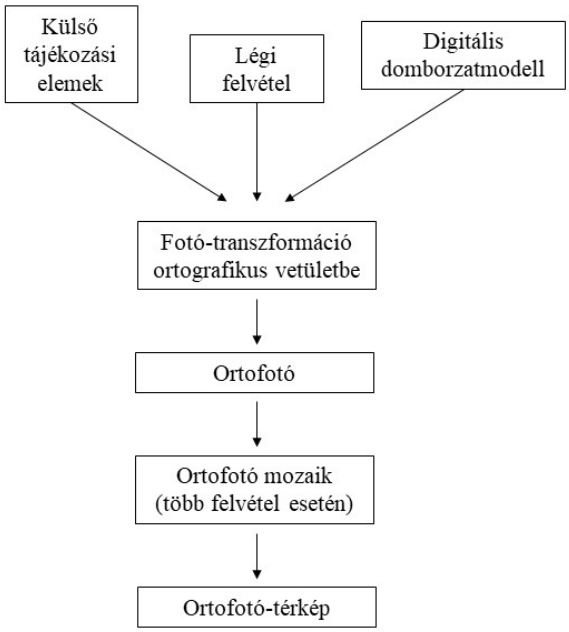
$$X_2 = X_{O2} + N_2 X'';\ Y_2 = Y_{O2} + N_2 Y''; Z_2 = Z_{O2} N_2 Z'' \tag{31}$$

Mivel 3 koordináta megismeréséhez 4 egyenletünk van több megoldás születik. A T1 és T2 vektorok kitérőek, nem metszik egymást a térben. A gyakorlatban a két számítás átlagát vesszük, így kapjuk meg a P pont végleges koordinátáit.

2.2 Alkalmazási területek

Többféle végtermék is készülhet, amelyek előállításához szükség van a külső tájékozás elemeire. Ezek a végtermékek a következők.

Digitális ortofotó: a digitális ortofotó úgy jön létre, hogy a légi felvételeket, amelyeket centrális vetítéssel kaptunk, ortogonális vetületbe transzformáljuk át. A centrális és ortogonális vetítés között vannak bizonyos különbségek, ezek akkor látszódnak meg ténylegesen, ha nagy magasságkülönbségek vannak a terepen. Az ortofotó előállítása alatt kettő torzulást szeretnénk kiküszöbölni, ez a perspektív és magassági torzulás. A perspektív torzulás a mai mérési technológiák miatt elhanyagolható. Ahhoz, hogy a magassági torzulást csökkenthessük vagy megszüntethessük tisztában kell lennünk a digitális domborzatmodellel, amely a felvétel területét lefedi, vagy ismernünk kell a magassági adatokat, illetve természetesen a külső tájékozási elemeket.



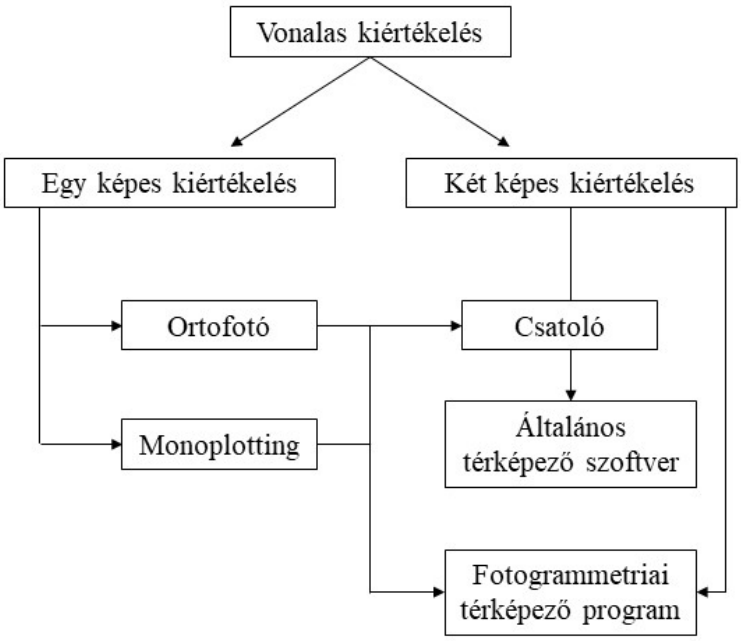
11. ábra - Ortofotó-térkép elkészítésének folyamata vázlatosan [6]

Miután az ortofotót létrehoztuk további folyamatok várhatnak ránk, például ortofotó mozaikot, illetve ortofotó-térképet is készíthetünk. Ez a folyamat látszik a 11. ábrán is. [6]

Digitális monoplotting: ez egy egyképes kiértékelési metódus, amely megvalósításával definiálhatjuk a térbeli koordinátákat. Ehhez tudnunk kell a belső és külső tájékozási elemeket, valamint itt is szükséges ismernünk a digitális domborzatmodellt, amely lefedi a képet. [6]

Pontonkénti kiértékelés: ehhez a metódushoz szükségünk lesz először is az ortofotóra, mert erről állapíthatjuk meg a mérendő pont X és Y koordinátáit. Ennek az eljárásnak van egy pontosabb megoldása is, ekkor a sztereo-képpárból nyerhetjük ki a szükséges koordinátákat. A megmért pontokhoz akár leírást is csatolhatunk, így megkönnyítve a későbbi térképezési munkát. [1]

Vonalas kiértékelés, térképezés: Egy kép vagy sztereo-képpár alapján is megvalósíthatjuk. Ha egy képet szeretnénk kiértékelni, akkor választhatjuk a digitális monoplotting eljárását, (amelyhez kelleni fog a digitális terepmodell), de az ortofotón alapuló megoldást is. Amennyiben a sztereo-képpárral szeretnénk elvégezni a kiértékelést ismernünk kell a belső és külső tájékozási elemeket. Magához a térképezéshez használhatunk egy általános térképező szoftvert vagy azt a térképező programot, amely a fotogrammetriai rendszert szállító cég sajátja (12. ábra). [6]



12. ábra - A vonalas kiértékelés módozatai [6]

Digitális domborzat – és felszínmodellek előállítása: A DDM és DMF elkészítése során maga a kiértékelési eljárás tovább is automatizálható különféle sztereo-korrelációs metódusokkal. Ezek korrelációs eljárások megadják annak a lehetőségét, hogy a terepi pontok koordinátáit ismertté tehetjük. Ezeknek a metódusoknak van egy közös jellemzője, mégpedig az, hogy a pontpárok keresése különböző képrészletek közbenjárásával megy végbe. A képrészleteket össze kell hasonlítani, ezt véghez vihetjük az eredeti képkoordináta-rendszerben, vagy akár normál helyzetű képeken, de az ortofotó raszteres terében is. Ebben az esetben természetesen előzőleg el kell készítenünk az ortofotót. Az autokorrelációval előállított DDM vagy DMF sosem ad teljesen megbízható eredményt, emiatt érdemes megalkotnunk a korrelációs képet, így kiszűrhetjük azokat a helyeket, amelyek gyengén korrelálódnak. Van egy másik kellemetlenség ezzel az eljárással kapcsolatban, ezek pedig a homogén területek, mivel ezek automatizált

kiértékelése igencsak nehézkes, hiszen ezeken a helyeken a különféle szoftverek téveszthetnek, hibákat ejthetnek. Ezeket a hibákat úgy lehet megszüntetni, hogy ezeket a homogén területeket kizárjuk a korrelációs folyamatból (maszkolási eljárás). Van egy másik lehetőség is ezeknek a hibáknak a csökkentésére. Ilyen például az utólagos szűrés vagy a domborzatsimító eljárások. [6]

3D modellezés: A modellezés során leggyakrabban megelégszünk azzal, hogy sikerült előállítani a modellt, esetleg a képeket feszíthetjük rá még a modellünkre. Hogy objektumokká tehessük az elkészült végterméket, ahhoz egy térinformatikai rendszerre lesz szükségünk. Az így elkészült modelleket további területeken is felhasználhatjuk. [6]

Fotogrammetriai pontsűrítés: Célunk a légiháromszögelés kapcsán, hogy a felvételek külső tájékozási elemeit megtudhassuk, illetve az illesztőpontok megállapítása, vagyis a fotogrammetriai pontsűrítés. A háromszögeléshez kapcsoló pontokat kell megmérnünk, ezt megtehetjük manuálisan vagy automatikusan. [1]

2. A KIÉRTÉKELT LÉGI FELVÉTEL ÉS A KAMERA BELSŐ ADATAI

Az illesztőpontok mérésének megkezdése előtt először is szükségem volt a kamera belső adataira, illetve a kiértékelt légi felvételre. A két légifelvételt, amellyel dolgoznom kellett, egy RC20-as típusú kamera készítette (13. ábra), ennek belső adatai pedig a következők (8. melléklet).

13. ábra - Wild RC20 kamera

A kameraállandó (c_k), amely a mi esetünkben 153.00 mm, a főpont koordinátái, amelyek itt ξ_0= 0.007 mm, η_0= 0.001 mm, és a keretjelek koordinátái a képközépponttól számítva (1. táblázat).

	x [mm]	y [mm]
1	106.006	-106.006
2	-106.003	-106.002
3	-103.003	106.003
4	106.007	106.006

	x [mm]	y [mm]
5	0.000	-110.008
6	-110.002	-0.001
7	-0.001	110.004
8	110.005	0.000

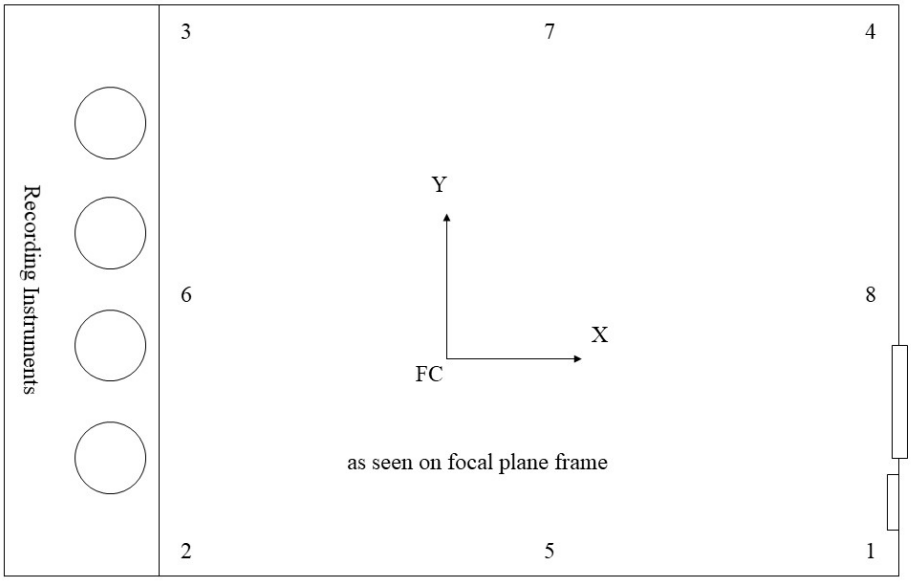
1. táblázat - Keretjelek koordinátái a főponttól számítva

Természetesen nem hagyható el a szimmetria főpont sem, amelynek értékei ξ= 0.005 mm, η= 0.002 mm. Emellett meg kell említenem a kamera radiális elrajzolását is. A 2. táblázatban láthatóak ennek értékei, amelyek a képközépponthoz vannak vonatkoztatva.

Sugár [mm]	Oldalak				Átlag
	1	2	3	4	
10	0.8	0.3	0.9	0.5	0.6
20	1.1	0.4	1.7	1.0	1.0
30	0.8	0.5	2.3	1.0	1.1
40	1.0	1.1	2.5	1.6	1.5
50	1.0	0.8	2.6	1.7	1.5
60	0.3	0.9	3.0	1.3	1.3
70	0.8	0.8	2.7	1.4	1.4
80	0.2	1.0	2.6	1.4	1.3
90	0.9	0.7	2.0	1.0	1.1
100	0.0	-0.6	1.6	0.6	0.4
110	-0.3	-1.6	1.3	0.2	-0.1
120	-0.7	-3.5	-1.0	-0.9	-1.5
130	-2.2	-2.7	-1.8	-1.3	-2.0
140	-3.1	-1.5	-2.6	-1.6	-2.2
148	-2.2	-0.2	-1.7	0.3	0.9

2. táblázat - Radiális elrajzolás

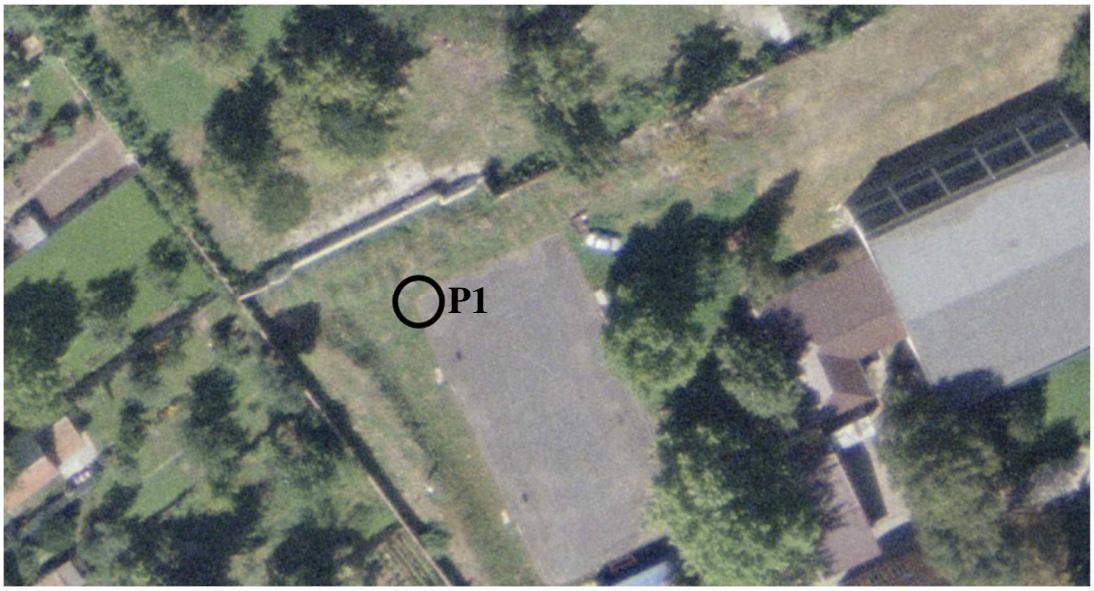
A két felvétel, amellyel dolgoznom kellett egy Székesfehérvár feletti repülésből származik 2011-ből. 248 képet készítettek ekkor 9363-tól 9646-ig tartó számozással. Én a 9551-es és 9552-es felvételeket kaptam meg, így ezeket értékeltem ki. A két kép a székesfehérvári vasútállomás és a Berényi utca – Szegfű Gyula utca közötti területről készült.



14. ábra - Keretjelek elrendezése

3. AZ ILLESZTŐPONTOK MÉRÉSE

Az illesztőpontok megmérését először is a terepen végeztem el. Ehhez kiválasztottam kilenc illesztőpontot, amely mind a két képen jól látható és ránézésre mérhető helyen voltak. Ezeket a pontokat a Google Maps segítségével is ellenőriztem [9]. Nehéz helyzetben voltam Székesfehérvár utóbbi években történt útfelújításai miatt, így tényleg körültekintően kellett választanom.



15. ábra - A képen a P1-es illesztőpont tervezett helye látható

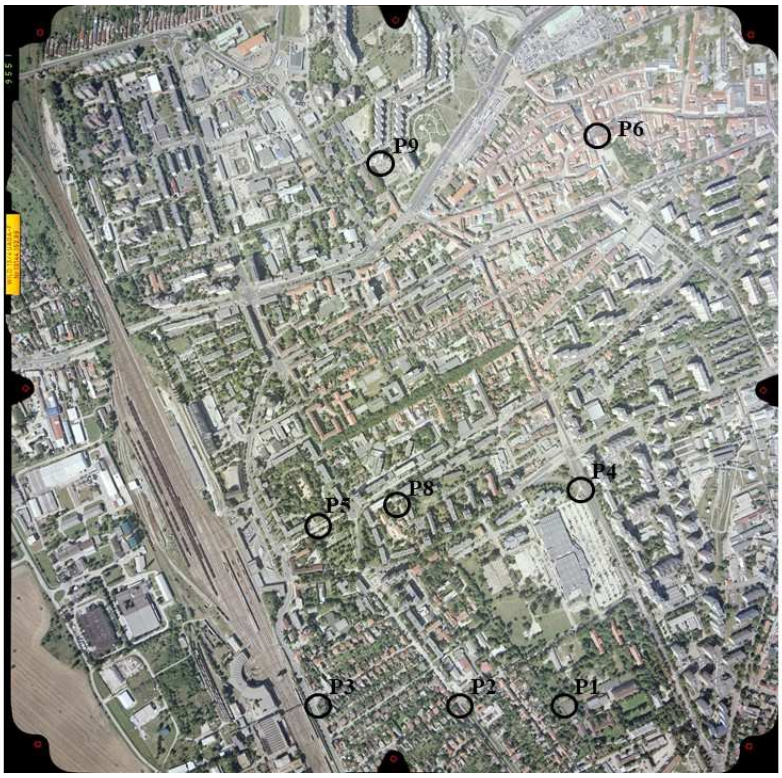
Végül magát a mérést az iskolától kölcsönkapott GPS-szel végeztem el, amely egy Hightarget v 100 típusú műszer. Ezzel először az egyetem épületének udvarán csináltunk egy próbamérést, hogy minden megfelelő-e a munka megkezdéséhez. Az első illesztőpont a Budai úti K épület mögötti sportpályán helyezkedett el, ezt a várt gördülékenységgel sikerült megmérnünk. A második pont az Erzsébet utcában található, a harmadik pedig a Mártírok útja és a Gyár utca sarkán. A P4-es illesztőpontot a Budai úton az Intersparnál található járdaszigeten mértük. Eleinte a felfestést szerettem volna a negyedik pontnak, de az útfelújítás miatt ez megváltozott. Az ötödik pontot végül a Deák Ferenc utca és az Erkel Ferenc utca kereszteződésében létesítettük. A hatodikat azon a téren mértük, amelyen az Országalma is található, név szerint a Városház téren. A hetedik pont is megmérésre került, de ezt végül nem tudtam felhasználni a későbbiek során, mivel a felvételeken nem látszódott az a csatornafedő, amelyen a pontot mértük. A nyolcadik pont a Deák Ferenc utca egyik kereszteződésében található, míg a kilencedik a Tolnai utca melletti parkolóban.

Az alábbi táblázatban (3. táblázat) a kilenc illesztőpont, ezek EOV koordinátái, illetve magasságuk látható.

Pontszám	Y	X	m
P1	603168.40	205360.35	114.31
P2	603157.10	205093.41	113.06
P3	603153.84	204714.12	111.82
P4	602600.03	205405.51	111.45
P5	602695.91	204716.70	110.72
P6	601690.61	205454.79	111.23
P7	601628.73	205857.61	110.80
P8	602632.68	204922.28	111.09
P9	601753.39	204900.03	109.07

3. táblázat - Illesztőpontok EOV koordinátái

Az alábbi felvételen (16. ábra) pedig a felhasználható nyolc illesztőpont és ezek elhelyezkedése tekinthető meg a képen.

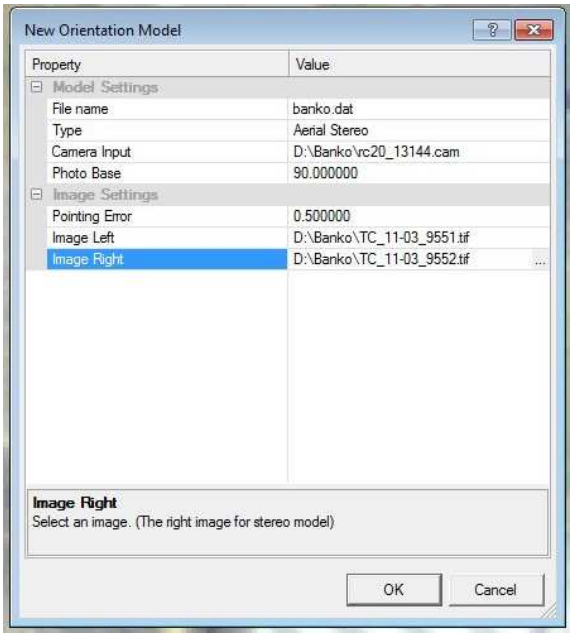


16. ábra - A képen a nyolc illesztőpont látható

4. FELVÉTELEK TÁJÉKOZÁSA

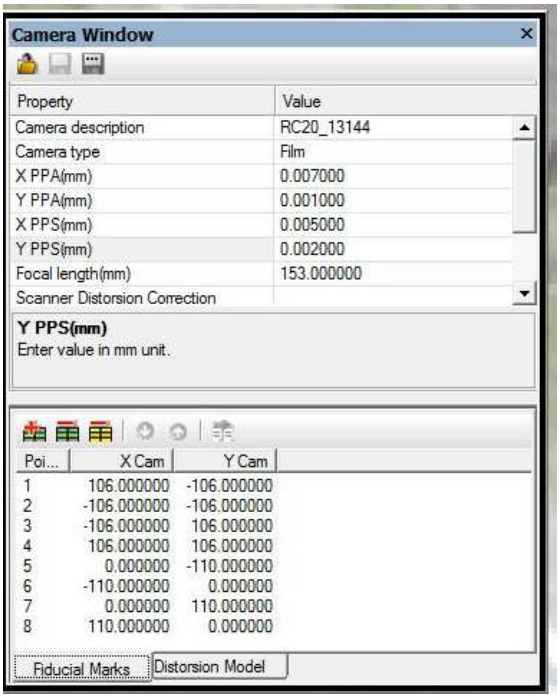
A felvételek tájékozását 3 mérőszoftverrel végeztem el (DVP Orientation, efoto, Photomod6). Ezek mellett használtam még két egyéb programot, az egyik iteráció nélküli, míg a másik iterációs hátrametszéssel dolgozik, melyet konzulensem, Dr. habil. Jancsó Tamás készített és bocsátott rendelkezésemre. A kapott eredményeket a későbbiekben táblázatosan összefoglalom a nagyobb áttekinthetőség érdekében.

Tehát az első szoftver, amivel a feldolgozást elvégeztem a DVP Orientation nevezetű volt. Ez volt számomra a legkomplexebb, ezzel a programmal ezt megelőzően sem nagyon foglalkoztunk. Első lépésként megszerkesztettem a mérés során kapott EOV koordinátákat, hogy megfelelő sorrendben legyen az x és y összetevő, emellett figyelnem kellett az értékeket elválasztó karakterekre is. Ez azért fontos, mert minden program más-más karaktereket fogad el. Ez jelen esetben a tabulátor volt. A program megnyitása után egy új fájlt kellett létrehoznom (17. ábra), ennek neve banko.dat lett. Beállítottam a képek típusát, illetve behívtam a kamera belső adatait tartalmazó fájlt. Emellett szükségem volt a két légi felvételre, amellyel dolgoznom kellett.



17. ábra - A képen a behívott adatok láthatók

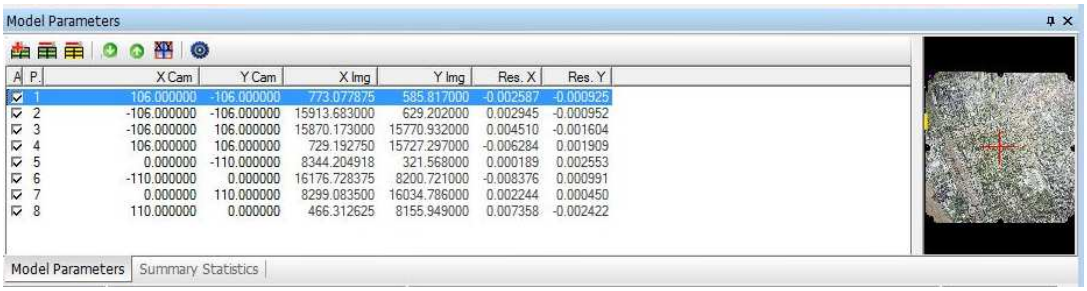
A következő ablakban legfőképpen a kamera adataival kellett foglalkoznom (18. ábra).



18. ábra - A képen a beírt adatok láthatók

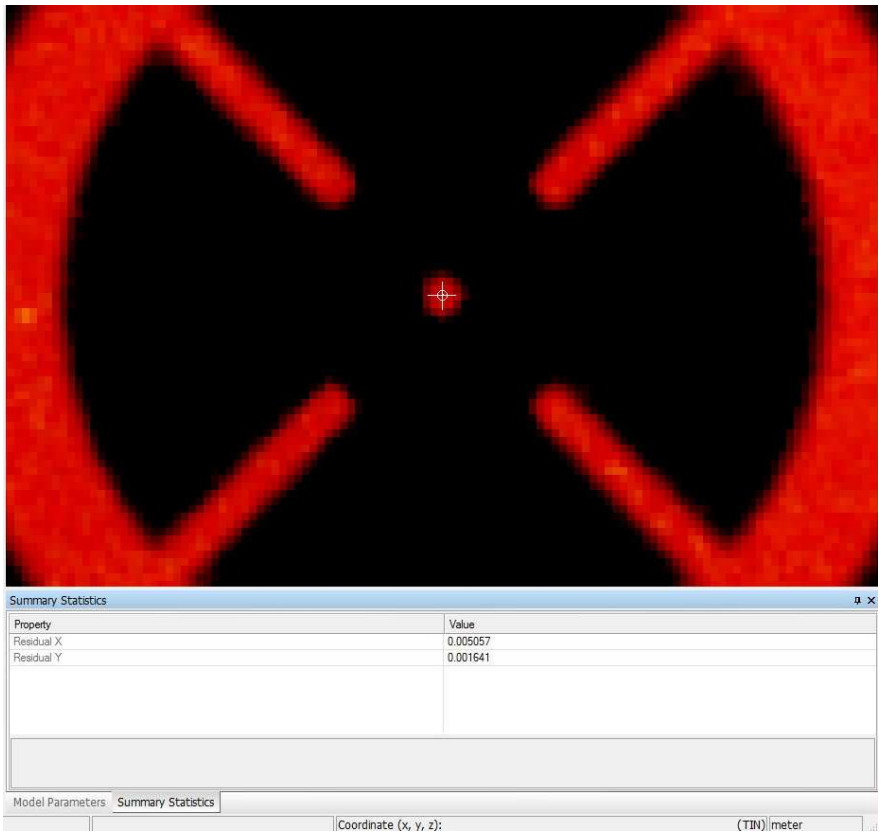
Ezt a kamera pontos típusának meghatározásával kezdtem, majd beírtam a kamera főpont, illetve a szimmetria főpont koordinátáit is. Alább a kameraállandó látható, ezután pedig a keretjelek képkoordinátái előjelhelyesen.

Legelső lépésként ezután elvégeztem a belső tájékozást mind a két képre, ehhez megmértem a keretjeleket a megfelelő sorrendben. Képenként 8 keretjel volt összesen, ezek sorrendjéről a 19. ábrán látható bővebb információ.



19. ábra - A bal kép keretjeleinek kép-, illetve pixelkoordinátái

A kép- és pixelkoordináták megmérésén kívül a program kiszámolta, hogy milyen maradék hibák keletkeztek az affin transzformációval végzett kiegyenlítés után mind az x és mind az y összetevőt figyelembe véve. Erről készített egy átlagos értéket is (középhiba), ami x-re nézve 0.005057, míg y-ra nézve 0.001641 volt (20. ábra).

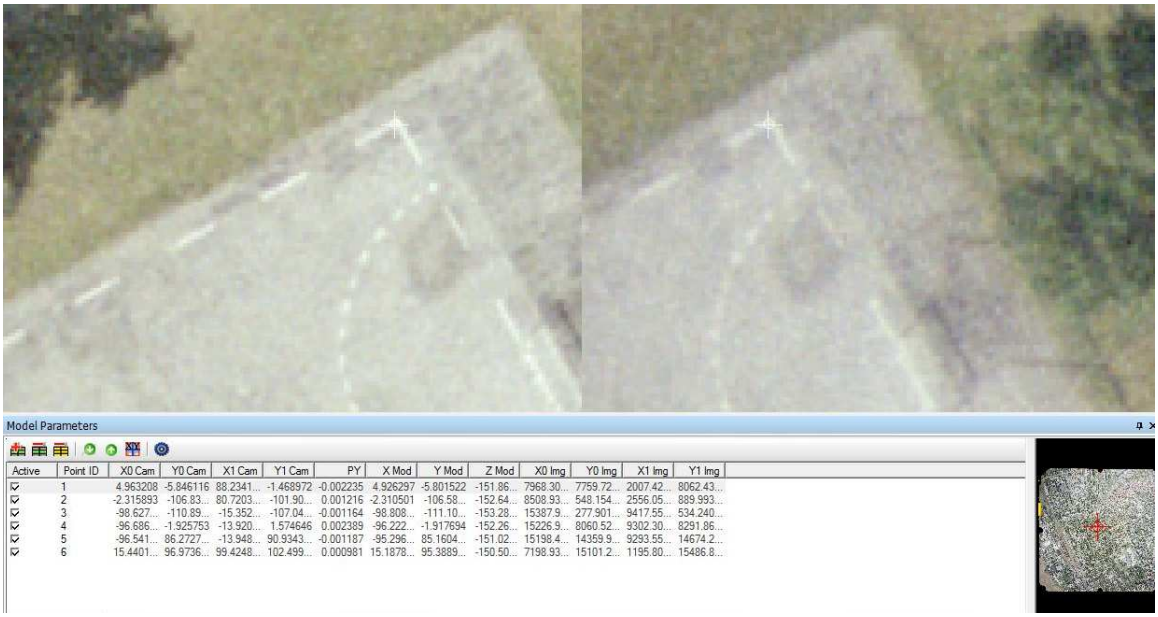


20. ábra - A bal kép középhibái a kiegyenlítés után

Ezután következhetett a relatív tájékozás, amelyet már a képpáron végeztem el. Ekkor a hat Gruber-pont megmérésén van a lényeg. Olyan pontokat kellett választanom, amelyek jól mérhetőek, de nem feltétlenül azonosak az illesztőpontjaimmal.

A 21. ábrán látható a mérés eredménye. Az első két oszlopban tekinthető meg a bal kép Gruber-pontjainak képkoordinátái (X0 Cam, Y0 Cam), a harmadik és negyedik oszlopban pedig a jobb képre nézve figyelhetjük meg ugyanezt (X1 Cam, Y1 Cam). A következő oszlop (PY) megmutatja a maradék harántparallaxisok értékét, a hatodikban, a hetedikben és a nyolcadikban (X Mod, Y Mod, Z Mod) pedig a modellkoordináták egyes összetevőit láthatjuk. A kilencedik és tizedik oszlopban a bal kép képkoordinátái találhatóak (X0 Img, Y0 Img), a következőkben pedig a jobb kép képkoordinátái (X1 Img, X2 Img).

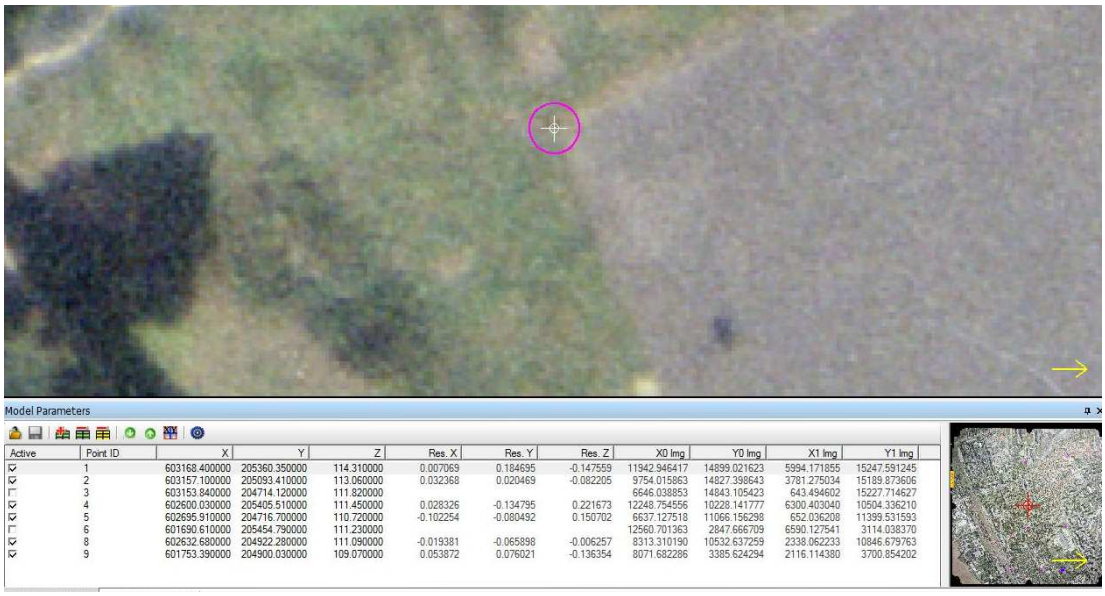
A középhiba értéke 0.001628 lett.



Active	Point ID	X0 Cam	Y0 Cam	X1 Cam	Y1 Cam	PY	X Mod	Y Mod	Z Mod	X0 Img	Y0 Img	X1 Img	Y1 Img
☑	1	4.963208	-5.846116	88.2341...	-1.468972	-0.002235	4.926297	-5.801522	-151.86...	7968.30...	7759.72...	2007.42...	8062.43...
☑	2	-2.315893	-106.83...	80.7203...	-101.90...	0.001216	-2.310501	-106.58...	-152.64...	8508.93...	548.154...	2556.05...	889.993...
☑	3	-98.627...	-110.89...	-15.352...	-107.04...	-0.001164	-98.808...	-111.10...	-153.28...	15387.9...	277.901...	9417.55...	534.240...
☑	4	-96.686...	-1.925753	-13.920...	1.574646	0.002389	-96.222...	-1.917694	-152.26...	15226.9...	8060.52...	9302.30...	8291.86...
☑	5	-96.541...	86.2727...	-13.948...	90.9343...	-0.001187	-95.296...	85.1604...	-151.02...	15198.4...	14359.9...	9293.55...	14674.2...
☑	6	15.4401...	96.9736...	99.4248...	102.499...	0.000981	15.1878...	95.3889...	-150.50...	7198.93...	15101.2...	1195.80...	15486.8...

21. ábra - A Gruber-pontok mérésének eredménye (relatív tájékozás)

A relatív tájékozás elvégzése után következhetett az abszolút tájékozás, ahol az illesztőpontokat mértem meg a képeken. Ennek eredményei a 22. ábrán figyelhetőek meg.



Active	Point ID	X	Y	Z	Res. X	Res. Y	Res. Z	X0 Img	Y0 Img	X1 Img	Y1 Img
☑	1	603168.400000	205360.350000	114.310000	0.007069	0.184695	-0.147559	11942.946417	14899.021623	5994.171855	15247.591245
☑	2	603157.100000	205093.410000	113.060000	0.032368	0.020469	-0.082205	9754.015863	14827.398643	3781.275034	15189.873606
☐	3	603153.840000	204714.120000	111.820000				6646.038853	14843.105423	643.494602	15227.714627
☑	4	602600.030000	205405.510000	111.450000	0.028326	-0.134795	0.221673	12248.754556	10228.141777	6300.403040	10504.336210
☑	5	602695.910000	204716.700000	110.720000	-0.102254	-0.080492	0.150702	6637.127518	11066.156298	652.036208	11399.531593
☐	6	601690.610000	205454.790000	111.230000				12560.701363	2847.666709	6590.127541	3114.038370
☑	8	602632.680000	204922.280000	111.090000	-0.019381	-0.065898	-0.006257	8313.310190	10532.637259	2338.062233	10846.679763
☑	9	601753.390000	204900.030000	109.070000	0.053872	0.076021	-0.136354	8071.682286	3385.624294	2116.114380	3700.854202

22. ábra - Az illesztőpontok mérésének eredménye

Itt az első három oszlopban az illesztőpontok EOV (Egységes Országos Vetület) koordinátái láthatóak magassággal együtt (X, X, Z). A következő három oszlop pedig ezek kiegyenlítés utáni maradék hibáit tartalmazza (Res. X, Res. Y, Res. Z). Az egyes illesztőpontok képkoordinátái a bal és jobb képre nézve az utolsó négy oszlopban található meg (bal kép: X0 Img, Y0 Img; jobb kép: X1 Img, Y1 Img).

Legelől megfigyelhető, hogy nem minden sor van bepipálva. Csak a legjobb értékek maradhattak benn a számolásban, hogy a kiegyenlítés után a legtökéletesebb középhibát kaphassam. Ezt úgy értem el, hogy megnéztem, melyek a legrosszabb, legnagyobb maradék hibák, és ezeket kivettem a számolásból.

A középhibák így végül az X értékekre nézve 0.051 m, Y-ra 0.107 m, Z-re pedig 141 m lettek (23. ábra)

23. ábra - Az abszolút tájékozás középhibái

Összegezve ezzel a programmal végzett munkámat alább láthatóak a kapott eredmények (4. táblázat).

Bx	-83.154
Bx	-1.684
Bz	-0.753
φ	0°15’50.4”
ω	0°43’22.8”
κ	0°29’27.6”

Pontszám	X Model	Y Model	Z Model	Py
1.	4.926	-5.802	-151.862	-0.002
2.	-2.311	-106.589	-152.644	-0.002
3.	-98.809	-111.100	-153.282	-0.001
4.	-96.222	-1.918	-152.265	0.002
5.	-95.296	85.160	-151.026	-0.001
6.	15.188	95.389	-150.501	0.001

4. táblázat - Relatív tájékozás eredményei

A relatív tájékozás eredményei a következők (az első táblázatban a vetítési középpontok távolságának komponensei, valamint a szögelemek, a második táblázatban a Gruber-pontok méréséből származó koordináták láthatók).

Az abszolút tájékozásból kapott értékek pedig a 5. táblázatban láthatók. A táblázatban az illesztőpontok geodéziai koordinátáit láthatjuk maradék hibákkal együtt.

Pontszám	X	Dx	Y	Dy	Z	Dz
1	603168.400	0.007	205360.350	0.185	114.310	-0.148
2	603157.100	0.032	205093.410	0.020	113.060	-0.082
4	602600.030	0.028	205405.510	-0.135	111.450	0.222
5	602695.910	-0.102	204716.700	-0.080	110.720	0.151
8	602632.680	-0.019	204922.280	-0.066	111.090	-0.006
9	601753.390	0.054	204900.030	0.076	109.070	-0.136

5. táblázat - Illesztőpontok mérésének eredménye

A koordináták négyzetes középhibái a következők: Mx=0.051 m, My=0.107 m, Mz=0.141m, Mxy=0.119 m.

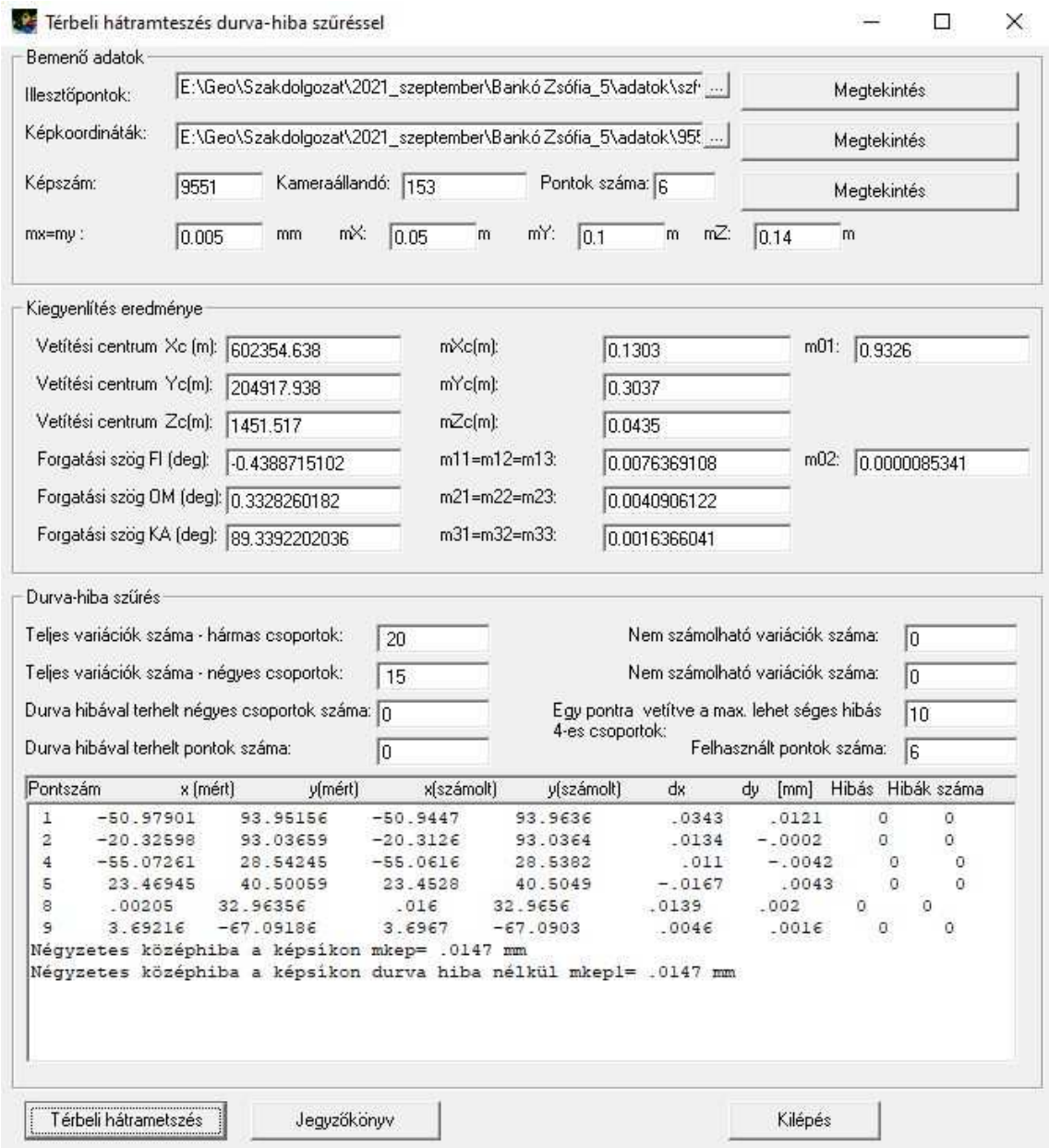
Ha a 6. táblázatra tekintünk, akkor láthatók lesznek a bal és jobb kép szögelemei, illetve a vetítési középpont koordinátái.

Bal kép		Jobb kép	
φ	0°26’6.36”	φ	1°8’15.36”
ω	0°20’38.04”	ω	0°6’6.12”
κ	89°20’6.36”	κ	88°51’1.08”

	X_O	Y_O	Z_O
Bal kép	602354.564	204917.695	1451.313
Jobb kép	602347.426	205652.893	1449.218

6. táblázat - Abszolút tájékozás eredményei

Az iteráció nélküli hátrametszés során egy a konzulensem által készített alkalmazást használtam. Első lépésben itt is adatok megadásával indítottam. Ennek a programnak is szüksége volt a kamera belső adataira, a két képre (bal: 9551, jobb: 9552), valamint a GPS-szel mért illesztőpontokra. Itt az előzőleg használt hat darab illesztőpontot vettem bele a számításba, hogy minél összehasonlíthatóbb eredmények szülessenek. A program kezelése nem volt nehézkes számomra, a megfelelő gombok megnyomásával hamar végeztem az alkalmazás használatával.



24. ábra - Iteráció nélküli hátrametszés

A végeredmények ezzel az alkalmazással a következők lettek. A bal képre nézve a mérési középhibák: m_x=m_y=0.005 mm, m_X=0.05 m, m_Y=0.05 m, m_Z=0.1 m. Jobb kép mérési középhibái: m_x=m_y=0.005 mm, m_X=0.05 m, m_Y=0.05 m, m_Z=0.1 m.

	X_O [m]	m_{XO} [m]	Y_O [m]	m_{YO} [m]	Z_O [m]	m_{ZO} [m]	m_O
Bal kép	602354.861	0.1559	204917.678	0.3337	1451.479	0.0531	1.3157
Jobb kép	602348.345	0.1558	205653.632	0.3450	1449.059	0.2019	1.0936

7. táblázat - A képpár vetítési centrumának geodéziai koordinátái és ezek középhibái

Bal kép		Jobb kép	
φ	0°26’50.72”	φ	1°10’26.02”
ω	0°20’37.54”	ω	0°4’24.46”
κ	89°20’22.97”	κ	88°50’55.37”

8. táblázat - A bal és jobb képek forgatási szögei

A durva hibával terhelt pontok száma a bal képen 0, a jobb képen pedig 1 lett. A négyzetes középhiba a képsíkon a bal képen 0.0143 mm, a jobb felvételen 0.0267 mm, illetve a négyzetes középhiba a képsíkon durva hiba nélkül a bal képen 0.0143 mm, míg a jobbon 0.0173 mm.

	PSz	x (mért)	y (mért)	x (számolt)	y (számolt)	dx	dy [mm]	Hibás	Hibák száma
Bal	1	-50.979	93.952	-50.947	93.967	0.0321	0.0152	0	0
	2	-20.326	93.037	-20.313	93.043	0.0129	0.0061	0	0
	4	-55.073	28.543	-55.063	28.534	0.0099	-0.0085	0	0
	5	23.470	40.501	23.456	40.505	-0.0139	0.0039	0	0
	8	0.002	32.964	0.016	32.963	0.0137	-0.0003	0	0
	9	3.692	-67.092	3.693	-67.095	0.0007	-0.0031	0	0
Jobb	1	32.239	99.038	32.301	99.069	0.0617	0.0305	1	3
	2	63.228	98.281	63.270	98.298	0.0426	0.0164	0	0
	4	28.063	32.621	28.066	32.618	0.0033	-0.0024	0	0
	5	107.135	45.285	107.128	45.293	-0.0073	0.0075	0	0
	8	83.539	37.506	83.549	37.510	0.0106	0.0046	0	0
	9	86.815	-62.538	86.822	-62.539	0.0068	-0.0009	0	0

9. táblázat - A durva hiba szűrés eredménye

A RESEC névre hallgató program, amely térbeli fotogrammetriai hátrametszéssel dolgozik, szintén egy egyszerűbb használatú szoftver volt. Először is megadtam a munkám nevét, majd behívtam a kamera belső adatait (25. ábra).

Kamara belsô adatainak kiválasztása

Típus vagy toldat	fókusz [mm]	xo[mm]	yo[mm]
Wild P31	99.46	0.00	0.00
UAG3029	152.13	0.00	0.00
MAKETI	75.00	0.00	0.00
Szent	152.48	0.00	0.00
Swidevski	150.00	0.00	0.00
Iszka	152.99	0.002	0.005
RC20	153.00	0.00	0.00

25. ábra - A durva hiba szűrés eredménye

Kellett a program számára a külső tájékozási elemeket tartalmazó fájl is (26. ábra).

A közelítô külsô tájékozási elemek adatállománya

Ksz	Xo[m]	Yo[m]	Zo[m]	ý[rad]	ŕ[rad]	L[rad]
1	602354.000	204917.000	1451.000	0.000	0.000	1.570
2	602348.000	205653.000	1449.000	0.000	0.000	1.570

26. ábra - Külső tájékozási elemeket tartalmazó fájl behívása

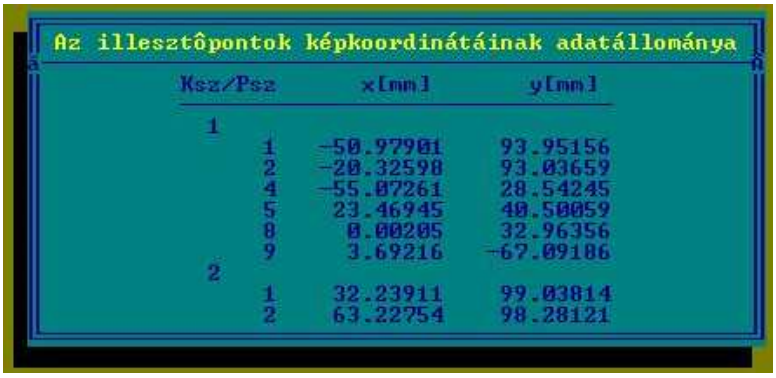
Valamint az illesztőpontokat tartalmazó fájlra is szüksége volt a programnak (27. ábra). Az illesztőpontok közül természetes az előzőleg használtakkal végeztem el a számítást.

Az illesztôpontok adatállománya

Psz	Xg[m]	Yg[m]	Zg[m]
1	603168.40	205360.35	114.310
2	603157.10	205093.41	113.060
4	602600.03	205405.51	111.450
5	602695.91	204716.70	110.720
8	602632.68	204922.28	111.090
9	601753.39	204900.03	109.070

27. ábra - Illesztőpontok adatállománya

Ezek mellett szükségem volt az illesztőpontok képkoordinátáit tartalmazó fájlra is (mind a bal, mind a jobb képre) (28. ábra).



Az illesztôpontok képkoordinátáinak adatállománya

Ksz/Psz		x[mm]	y[mm]
1			
	1	-50.97901	93.95156
	2	-20.32598	93.03659
	4	-55.07261	28.54245
	5	23.46945	40.50059
	8	0.00205	32.96356
	9	3.69216	-67.09186
2			
	1	32.23911	99.03814
	2	63.22754	98.28121

28. ábra - Illesztőpontok képkoordinátái

Az adatok behívása után következhetett a kiegyenlítés folyamata. Ezt az alkalmazás szintén elvégezte. A 29. ábrán látható, hogy milyen küszöbérték volt beállítva, illetve az iterációk száma is.

Kiegyenlítés folyamata

Eps1 küszöbérték=1 cm
Eps2 küszöbérték=1''
Iteráció: 3
Az ismeretlenek száma: 12
Ebbôl pontosan ismert: 12

Vége a kiegyenlítésnek

Tovább: <Enter> billentyû!

29. ábra - Kiegyenlítés folyamata

A kiegyenlítés eredményei (mind a két képre nézvést) pedig a 30. ábrán tekinthető meg.

A KIEGYENLITÉS EREDMÉNYEI

Képszám: 1
Xo= 602354.882 m [ñ=" 52.26 cm]
Yo= 204917.371 m [ñ=" 94.53 cm]
Zo= 1451.435 m [ñ=" 17.35 cm]
ý =+ 0°26'53.16'' [ñ=" 71.38 '']
ý =+ 0°21'20.89'' [ñ=" 140.52 '']
L =+ 89°20'10.60'' [ñ=" 21.13 '']

A KIEGYENLITÉS EREDMÉNYEI

Képszám: 2
Xo= 602348.429 m [ñ=" 47.50 cm]
Yo= 205652.494 m [ñ=" 61.87 cm]
Zo= 1449.626 m [ñ=" 33.47 cm]
ý =+ 1°10'23.77'' [ñ=" 54.46 '']
ý =+ 0° 7'16.36'' [ñ=" 91.20 '']
L =+ 88°50'44.40'' [ñ=" 30.99 '']

30. ábra - Kiegyenlítés eredményei

A 31. ábrán a jegyzőkönyv látható, amely tartalmazza a behívott adatokat és a számolásokat egyaránt.

```
A térbeli fotogrammetriai hátrametszés jegyzôkönyve

Térbeli fotogrammetriai hátrametszés jegyzôkönyve
A jegyzôkönyv neve:BANKO.LST
**********************************************************
A fényképezô kamara típusa:RC20
Fókusztávolság:  -153.000 mm
xo képfôpont:     0.0000 mm
yo képfôpont:     0.0000 mm
----------------------------------------------------------
A külsô tájékozási elemeket tartalmazó fájl:BANKO.PRI

Kép        Xo[m]       Yo[m]       Zo[m]  ý[rad]   ź[rad]   L[rad]
----------------------------------------------------------
  1  602354.000  204917.000    1451.000    0.000    0.000    1.570
  2  602348.000  205653.000    1449.000    0.000    0.000    1.570
----------------------------------------------------------
Az illesztôpontokat tartalmazó fájl:BANKO.GEO
```

31. ábra - RESEC jegyzőkönyv

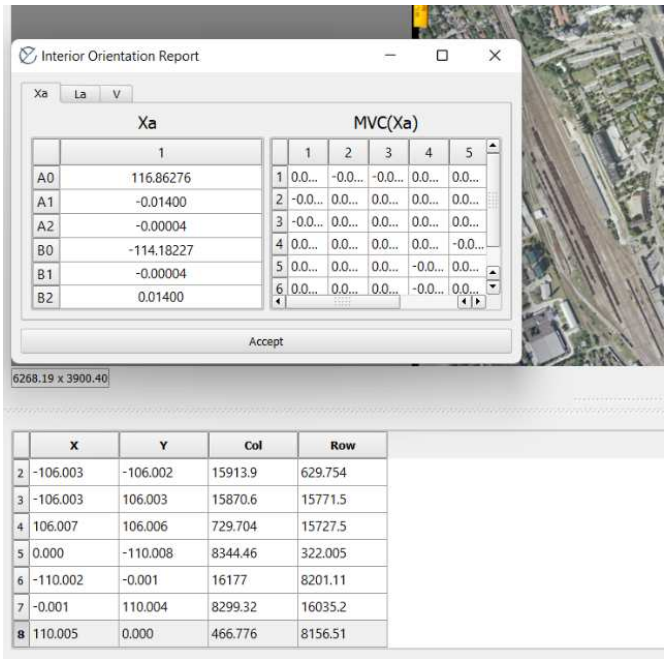
A hátrametszés eredményei alább olvasható (10. táblázat).

A képek száma, ami részt vett a számításban természetesen kettő, az iterációk száma három volt. A számolásban mind a hat illesztőpont fel lett használva.

	X_O	Y_O	Z_O	φ	ω	κ
Bal kép	602354.882	204917.371	1451.435	0°26’53.16”	0°21’20.89”	89°20’10.60”
Jobb kép	602348.429	205652.494	1449.626	1°10’23.77”	0°7’16.36”	88°50’44.40”

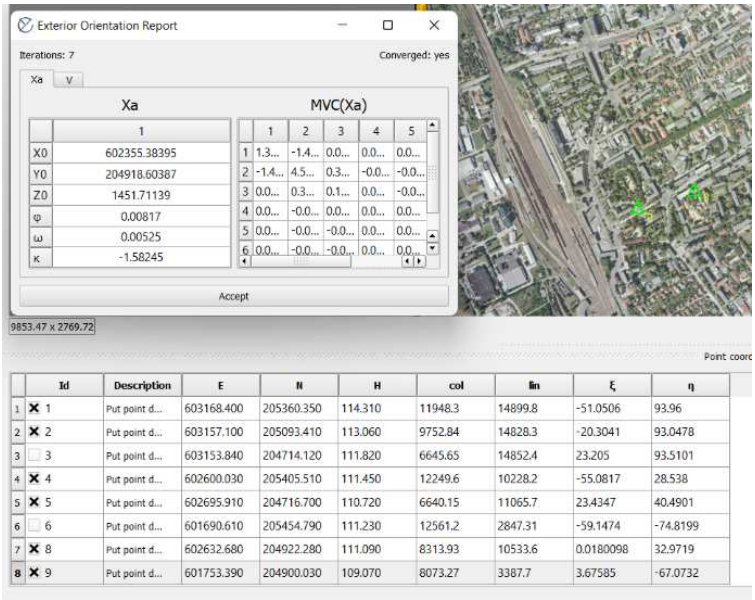
10. táblázat - A durva hiba szűrés eredménye

A következő program, amivel dolgoztam az e-foto nevezetű volt. A szoftver nyílt forráskódú és ingyenesen telepíthető. Először ebben az esetben is az adatok megadásával kezdtem, ezt eléggé részletes módon kellett elvégeznem. Az alkalmazásnak olyan adatokra volt szüksége, mint például a terület minimális és maximális tengerszint feletti magassága, déli földrajzi szélessége és keleti földrajzi hosszúsága, a kamera belső adatai (kameraállandó, keretjelek, főpont koordinátái) vagy a repüléssel kapcsolatos fontosabb információk (tengerszint feletti magasság, átfedés, méretarány, repülés ideje, repülést végző cég neve). Ezeket az adatokat a kamera kalibrációs jegyzőkönyvéből és a repülési tervből szedtem. Ezeken kívül természetes meg kellett adnom a két képet, illetve az illesztőpontokat tartalmazó fájlt. Ezután következhetett a munka java része, amelyet a belső tájékozással kezdtem. A bal képen a keretjelek mérése után a program kiszámolta a transzformációs paramétereket kiegyenlítéssel. Az Xa fülnél láthatóak az affin transzformáció kiszámított paraméterei és az MVC(Xa) mátrix, amely a kiegyenlítés alatt számolt súlykoefficiens mátrix. Az La fül alatt a tisztatag vektort nézhetjük meg, míg a V fül alatt a kapott javítások V vektorára tekinthetünk rá. Az egész folyamatot elvégeztem a jobb képre is (32. ábra).



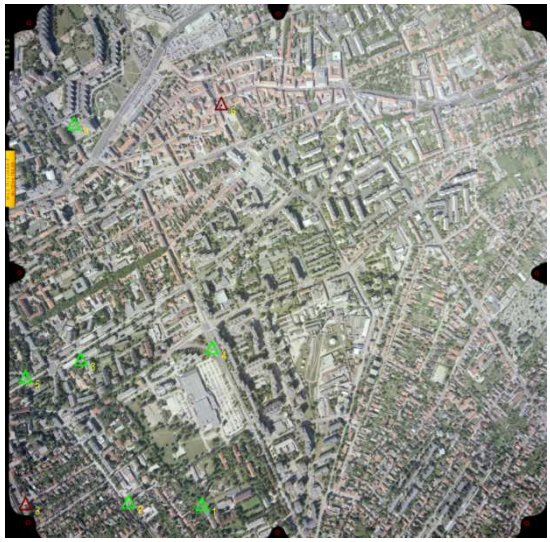
32. ábra - Belső tájékozás eredménye a bal képen

Következhetett a képek külső tájékozása. Ez az alkalmazás az illesztőpontok megmérése után a kollineár egyenletek alapján, iterációval végzett kiegyenlítéssel, a legkisebb négyzetek módszerével számolja ki a kép külső tájékozási elemeit. A mérést a bal képpel kezdtem. Az Xa ablakban láthatóak a külső tájékozási elemek, emellett az MVC(Xa) ablak mutatja a súlykoefficiens mátrixot. A V fül alatt a kapott javítások V vektorját tekinthetjük meg, valamint a súlyegység középhiba értékét mm-ben (33. ábra).



33. ábra - A külső tájékozás eredménye a bal képen

Az egész műveletet elvégeztem a jobb felvételen is. Az előzőleg használt illesztőpontokat hagytam csak benne a számolásban (34. ábra).



34. ábra - Illesztőpontok a jobb felvételen

Az eredményeket az alábbi két táblázat összegzi (11. és 12. táblázat):

	a0	a1	a2	b0	b1	b2
Bal kép	116.8628	-0.0141	$-4.0286*e^{-5}$	-114.1823	$-4.0190*e^{-5}$	0.0140
Jobb kép	116.5467	-0.0140	$-2.3564*e^{-5}$	-114.3172	$-2.3140*e^{-5}$	0.0140

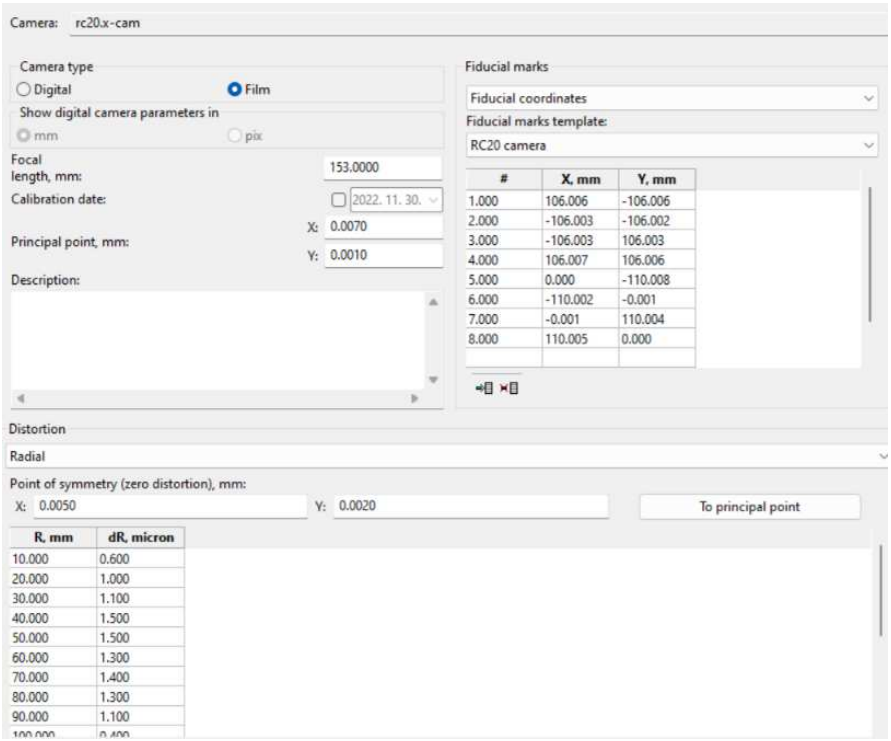
11. táblázat - Belső tájékozás elemei

	X_O	Y_O	Z_O	φ	ω	κ
Bal kép	602355.384	204918.604	1451.711	0°28’5.88”	0°18’2.16”	89°19’55.56”
Jobb kép	602349.008	2653.649	1449.525	1°11’33.72”	0°5’41.64”	88°50’35.52”

12. táblázat - Külső tájékozás elemei

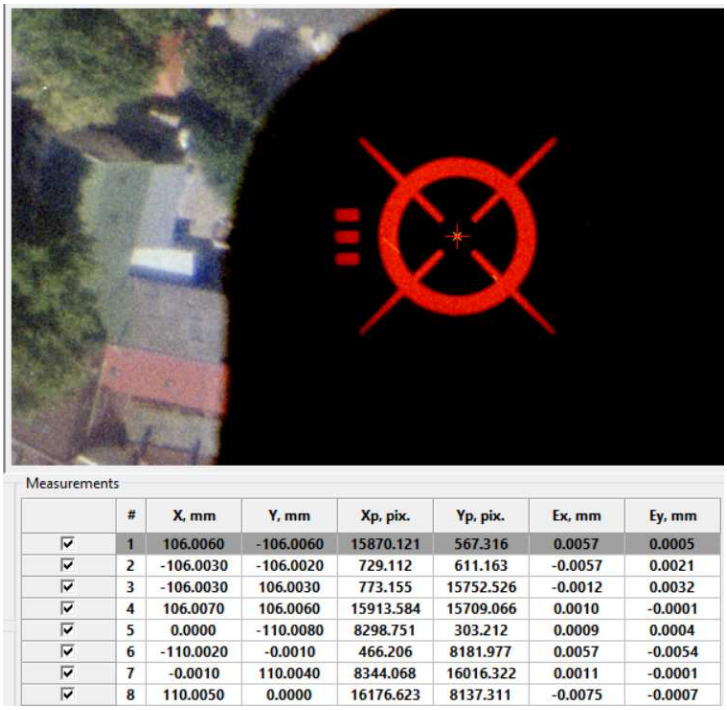
Az alkalmazás lementhető jegyzőkönyve rendkívül részletesen mutatott meg minden adatot, például a különböző illesztőpontokkal kapcsolatban. Többek között ki van írva az illesztőpont kódja, a geodéziai koordinátái, amit a mérés során kaptam, illetve a képkoordináták mind a két felvételre nézve. Emellett megtekinthető az affin transzformációhoz szükséges minden mérés és a számolások eredménye is. Ez igaz a külső tájékozási elemek meghatározásához szükséges mérésekre és számolásokra egyaránt.

Az utolsó alkalmazás, amellyel el kellett végeznem a belső és külső tájékozást, a Photomod 6 Lite volt. A telepítést követően elindítva a programot először egy új projektet hoztam létre. Itt az előző szoftverekhez hasonlóan adatok megadásával kezdtem. Létrehoztam a blokkot, amit jelen esetben két kép alkot. Ahhoz, hogy el lehessen kezdeni a belső tájékozást definiálni kell egy kamerát mind a két képnél, ezt meg is tettem (35. ábra).



35. ábra - 9551-es képhez rendelt RC20-as kamera adatai

A keretjelek megmérése sem maradhatott el, ezt akár manuálisan, és automatikusan is megtehetjük. Automatikus mérés esetén a program korrelációt keres, hogy hol vannak a keretjelek, a transzformáció típusát pedig affinként adtam meg. A 36. ábrán látható ennek eredménye.

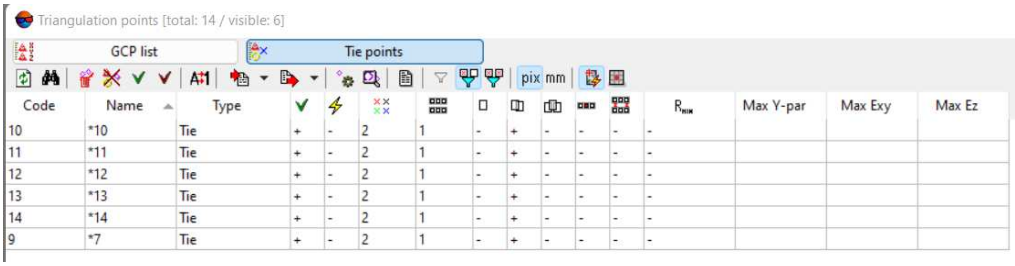


Measurements

	#	X, mm	Y, mm	Xp, pix.	Yp, pix.	Ex, mm	Ey, mm
☑	1	106.0060	-106.0060	15870.121	567.316	0.0057	0.0005
☑	2	-106.0030	-106.0020	729.112	611.163	-0.0057	0.0021
☑	3	-106.0030	106.0030	773.155	15752.526	-0.0012	0.0032
☑	4	106.0070	106.0060	15913.584	15709.066	0.0010	-0.0001
☑	5	0.0000	-110.0080	8298.751	303.212	0.0009	0.0004
☑	6	-110.0020	-0.0010	466.206	8181.977	0.0057	-0.0054
☑	7	-0.0010	110.0040	8344.068	16016.322	0.0011	-0.0001
☑	8	110.0050	0.0000	16176.623	8137.311	-0.0075	-0.0007

36. ábra - Keretjelek mérésének eredménye

A relatív tájékozás a következő lépés, ekkor hat Gruber-pontot kellett megmérnem. Ugyanúgy, ahogy a DVP alkalmazásban, itt sem egyeztek meg ezek a pontok az illesztőpontokkal, illetve olyan pontokat választottam, melyek jól irányozhatók voltak.



Code	Name	Type											Max Y-par	Max Exy	Max Ez
10	*10	Tie	+	-	2	1	-	+	-	-	-	-			
11	*11	Tie	+	-	2	1	-	+	-	-	-	-			
12	*12	Tie	+	-	2	1	-	+	-	-	-	-			
13	*13	Tie	+	-	2	1	-	+	-	-	-	-			
14	*14	Tie	+	-	2	1	-	+	-	-	-	-			
9	*7	Tie	+	-	2	1	-	+	-	-	-	-			

37. ábra - Gruber-pontok listája

A kiegyenlítés után ezen pontok geodéziai koordinátái alább megtekinthetők táblázatosan összefoglalva (13. táblázat).

	X	Y	Z
10	601629.163	205567.801	113.776
11	603066.933	205030.36	112.432
12	602940.978	205577.089	112.508
13	602333.530	204991.590	108.186
14	602334.191	205657.401	109.352
7	601704.379	205072.386	108.923

13. táblázat - Gruber-pontok geodéziai koordinátái

Az illesztőpontok mérése volt az utolsó lépés a tájékozás során. Ezt az előzőkhöz hasonlóan tettem meg, megmérve a hármas és hatos illesztőpontokat is, de ezeket nem vettem bele a számításba (38. ábra). A külső tájékozás lefuttatás előtt be kellett állítani, hogy a közelítést a blokk szerint végezze, valamint a számítás sugárnyaláb kiegyenlítésével történjen.

38. ábra - Gruber-pontok (sárga rombusz) és illesztőpontok (piros háromszög) a képeken

Végezetül táblázatosan megtekinthetőek a számolás eredményei (14. táblázat):

	X_O	Y_O	Z_O	φ	ω	κ
Bal kép	602354.7600	204916.7548	1451.2793	0°26’40.61”	0°22’59.22”	89°20’9.02”
Jobb kép	602348.5469	205653.3333	1449.6048	1°10’36.41”	0°6’24.61”	88°51’4.22”

14. táblázat - Külső tájékozás eredménye

Befejezve az öt programmal végzett külső tájékozást a 15. táblázatban foglaltam össze a kapott külső tájékozási elemeket.

	Külső tájékozási elemek	DVP Orientation	Iteráció nélküli hátrametszés	RESEC	E-foto	Photomod 6 Lite
Bal kép	X_O	602354.564	602354.861	602354.882	602355.384	602354.760
	Y_O	204917.695	204917.678	204917.371	204918.604	204916.755
	Z_O	1451.313	1451.479	1451.435	1451.711	1451.279
	φ	0°26’6.36”	0°26’50.72”	0°26’53.16”	0°28’5.88”	0°26’40.61”
	ω	0°20’38.04”	0°20’37.54”	0°21’20.89”	0°18’2.16”	0°22’59.22”
	κ	89°20’6.36”	89°20’22.97”	89°20’10.60”	89°19’55.56”	89°20’9.02”
Jobb kép	X_O	602347.426	602348.345	602348.429	602349.008	602348.547
	Y_O	205652.893	205653.632	205652.494	205653.649	205653.333
	Z_O	1449.218	1449.059	1449.626	1449.525	1449.605
	φ	1°8’15.36”	1°10’26.02”	1°10’23.77”	1°11’33.72”	1°10’36.41”
	ω	0°6’6.12”	0°4’24.46”	0°7’16.36”	0°5’41.64”	0°6’24.61”
	κ	88°51’1.08”	88°50’55.37”	88°50’44.40”	88°50’35.52”	88°51’4.22”

15. táblázat - Külső tájékozási elemek összesítése

A külső tájékozási elemek szórását és átlagát is kiszámoltam mind a két képre nézve, valamint a különböző elemek terjedelmét, mediánját, mediántól való eltérésük abszolútértékét, átlagát, átlagtól való eltérésük abszolútértékét és szórásukat. Egyszóval a szóródási mutatókat. Az értékek a 16., 17. és 18. táblázatban tekinthetők meg.

	Külső tájékozási elemek	Terjedelem	Medián	Átlag	Szórás
Bal kép	X_O	0.82	602354.861	602354.890	0.271
	Y_O	1.849	204917.678	204917.621	0.598
	Z_O	0.432	1451.435	1451.443	0.153
	φ	0°1’59.52”	0°26’50.72”	0°26'55.34"	0°0'39.03"
	ω	0°4’57.06”	0°20’37.54”	0°20'43.56"	0°1'35.82"
	κ	0°0’27.40”	89°20’9.02”	89°20'8.30"	0°0'8.79"
Jobb kép	X_O	1.582	602348.429	602348.351	0.516
	Y_O	1.155	205653.333	205653.200	0.399
	Z_O	0.567	1449.525	1449.407	0.227
	φ	0°3’18.36”	1°10’26.02”	1°10'15.05"	0°1'5.06"
	ω	0°2’51.90”	0°6’6.12”	0°5'58.63"	0°0'56.44"
	κ	0°0’28.70”	88°50’55.37”	88°50'52.11"	0°0'10.69"

16. táblázat - Külső tájékozási elemek szóródási mutatói I.

	X_O	Y_O	Z_O	Szoftver
Mediántól való eltérések abszolútértéke (bal kép)	0.297	0.017	0.122	DVP
	0	0	0.044	Iteráció nélkül
	0.021	0.307	0	RESEC
	0.523	0.926	0.276	E-foto
	0.101	0.923	0.156	Photomod 6
Átlag	0.1884	0.4346	0.1196	
Mediántól való eltérések abszolútértéke (jobb kép)	1.003	0.44	0.307	DVP
	0.084	0.299	0.3476	Iteráció nélkül
	0	0.839	0.101	RESEC
	0.579	0.316	0	E-foto
	0.118	0	0.08	Photomod 6
Átlag	0.3568	0.3788	0.16712	

	φ	ω	κ	Szoftver
Mediántól való eltérések abszolútértéke (bal kép)	0°0’44.36”	0°0’0.50”	0°0’2.66”	DVP
	0	0	0°0’13.95”	Iteráció nélkül
	0°0’2.44”	0°0’43.35”	0°0’1.57”	RESEC
	0°1’15.16”	0°2’35.37”	0°0’13.45”	E-foto
	0°0’10.10”	0°2’21.68”	0	Photomod 6
Átlag	0°0’26.41”	0°1’8.17”	0°0’6.32”	
Mediántól való eltérések abszolútértéke (jobb kép)	0°2’10.66”	0	0°0’5.71”	DVP
	0	0°1’41.65”	0	Iteráció nélkül
	0°0’2.25”	0°1’10.24”	0°0’10.97”	RESEC
	0°1’7.69”	0°0’24.48”	0°0’19.85”	E-foto
	0°0’10.39”	0°0’18.48”	0°0’8.85”	Photomod 6
Átlag	0°0’42.19”	0°0’42.96”	0°0’9.07”	

17. táblázat - Külső tájékozási elemek szóródási mutatói II.

	X_O	Y_O	Z_O	Szoftver
Átlagtól való eltérések abszolútértéke (bal kép)	0.3262	0.0744	0.1304	DVP
	0.0292	0.0574	0.0356	Iteráció nélkül
	0.0082	0.2496	0.0084	RESEC
	0.4938	0.9834	0.2676	E-foto
	0.1302	0.8656	0.1644	Photomod 6
Átlag	0.19752	0.44608	0.12128	
Átlagtól való eltérések abszolútértéke (jobb kép)	0.925	0.3072	0.1886	DVP
	0.006	0.4318	0.3476	Iteráció nélkül
	0.078	0.7062	0.2194	RESEC
	0.657	0.4488	0.1184	E-foto
	0.196	0.1328	0.1984	Photomod 6
Átlag	0.3724	0.40536	0.21448	

	φ	ω	κ	Szoftver
Átlagtól való eltérések abszolútértéke (bal kép)	0°0’48.97”	0°0’5.51”	0°0’1.94”	DVP
	0°0’4.61”	0°0’6.01”	0°0’14.67”	Iteráció nélkül
	0°0’2.17”	0°0’37.33”	0°0’2.29”	RESEC
	0°1’10.54”	0°2’41.39”	0°0’12.73”	E-foto
	0°0’40.61”	0°2’15.66”	0°0’0.72”	Photomod 6
Átlag	0°0’33.37”	0°1’9.17”	0°0’6.46”	
Átlagtól való eltérések abszolútértéke (jobb kép)	0°1’55.69”	0°0’7.49”	0°0’8.97”	DVP
	0°0’14.97”	0°1’34.16”	0°0’3.26”	Iteráció nélkül
	0°0’12.72”	0°1’17.73”	0°0’7.71”	RESEC
	0°1’22.66”	0°0’16.98”	0°0’16.58”	E-foto
	0°0’25.36”	0°0’25.98”	0°0’12.11”	Photomod 6
Átlag	0°0’50.27”	0°0’44.46”	0°0’9.72”	

18. táblázat - Külső tájékozási elemek szóródási mutatói III.

A következőkben arra törekedtem, hogy mindegyik módszernél megkapjam, illetve kiszámoljam az illesztőpontokon jelentkező ellentmondások alapján az mX, mY, mXY és mZ középhibákat. A DVP és Photomod 6 esetében ezeket a középhibákat a kiegyenlítés végén a program a jegyzőkönyvben megjelenítette. Viszont a másik három módszer esetén ezt a számítást nekem kellett elvégeznem. Ehhez a 2.1.5 fejezetben leírt térbeli előmetszéssel az iteráció nélküli, a RESEC és az E-foto esetében a kapott külső tájékozás elemek segítségével az illesztőpontok számított koordinátáit megkaptam. Ezeket összehasonlítva az illesztőpontok terepen mért koordinátáival, képeztem a dX, dY és dZ ellentmondásokat (19., 20., 21. táblázat), majd ezekből számítottam a középhibákat.

Psz	Xg [m]	Yg [m]	Zg [m]	Xsz [m]	Ysz [m]	Zsz [m]
1	603168.400	205360.350	114.310	603168.502	205360.626	113.827
2	603157.100	205093.410	113.060	603157.223	205093.468	112.710
4	602600.030	205405.510	111.450	602600.042	205405.442	111.458
5	602695.910	204716.700	110.720	602695.831	204716.577	110.808
8	602632.680	204922.280	111.090	602632.617	204922.342	111.235
9	601753.390	204900.030	109.070	601753.257	204899.972	108.867

Psz	dX [m]	dY [m]	dZ [m]
1	0.102	0.276	-0.483
2	0.123	0.058	-0.350
4	0.012	-0.068	0.008
5	-0.079	-0.123	0.088
8	-0.063	0.062	0.145
9	-0.133	-0.058	-0.203

19. táblázat - Iteráció nélküli program alapján számított ellentmondások a terepen

Psz	Xg [m]	Yg [m]	Zg [m]	Xsz [m]	Ysz [m]	Zsz [m]
1	603168.400	205360.350	114.310	603168.416	205360.519	114.248
2	603157.100	205093.410	113.060	603157.176	205093.412	112.905
4	602600.030	205405.510	111.450	602600.078	205405.362	111.793
5	602695.910	204716.700	110.720	602695.872	204716.519	110.582
8	602632.680	204922.280	111.090	602632.637	204922.322	111.252
9	601753.390	204900.030	109.070	601753.352	204900.043	108.957

Psz	dX [m]	dY [m]	dZ [m]
1	0.016	0.169	-0.062
2	0.076	0.002	-0.155
4	0.048	-0.148	0.343
5	-0.038	-0.181	-0.138
8	-0.043	0.042	0.162
9	-0.038	0.013	-0.113

20. táblázat - RESEC program alapján számított ellentmondások a terepen

Psz	Xg [m]	Yg [m]	Zg [m]	Xsz [m]	Ysz [m]	Zsz [m]
1	603168.400	205360.350	114.310	603167.993	205360.731	114.797
2	603157.100	205093.410	113.060	603157.293	205093.094	112.736
4	602600.030	205405.510	111.450	602600.175	205405.525	111.010
5	602695.910	204716.700	110.720	602695.776	204716.531	110.332
8	602632.680	204922.280	111.090	602632.848	204922.204	111.477
9	601753.390	204900.030	109.070	601753.673	204900.271	109.620

Psz	dX [m]	dY [m]	dZ [m]
1	-0.407	0.381	0.487
2	0.193	-0.316	-0.324
4	0.145	0.015	-0.440
5	-0.134	-0.169	-0.388
8	0.168	-0.076	0.387
9	0.283	0.241	0.550

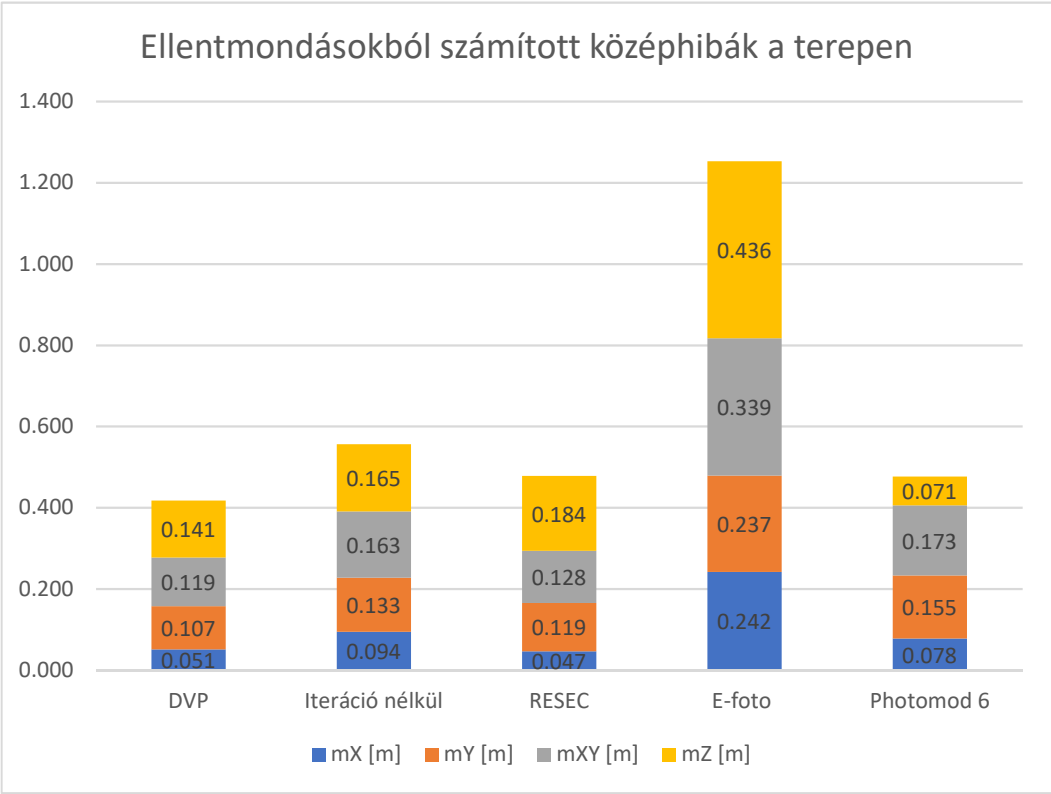
21. táblázat - E-foto program alapján számított ellentmondások a terepen

A 22. táblázat foglalja össze a kapott középhibákat.

	DVP	Iteráció nélkül	RESEC	E-foto	Photomod 6
mX [m]	0.051	0.094	0.047	0.242	0.078
mY [m]	0.107	0.133	0.119	0.237	0.155
mXY [m]	0.119	0.163	0.128	0.339	0.173
mZ [m]	0.141	0.165	0.184	0.436	0.071

22. táblázat - Az illesztőpontokon jelentkező ellentmondásokból számított középhibák a terepen

Az 22. táblázatban kapott középhibák alapján egy grafikon is készíthető, melyet az 39. ábra mutat. A grafikonról egyértelműen leolvasható, hogy a legjobb eredményt a DVP program szolgáltatta, bár a RESEC és a Photomod 6 nem sokban marad el ettől. Az iteráció nélküli megoldásnál az mZ hibák nagyobbak a vártnál. Az e-foto esetében viszont elmondható, hogy mindegyik középhiba nagyobb a többi módszerhez képest.



39. ábra - A maradék ellentmondásaiból számított középhibák a terepen

5. MŰSZAKI LEÍRÁS

Szakdolgozatom témája tehát a külső tájékozási módszerek összehasonlítása volt. Célom ezzel a témával kapcsolatban az volt, hogy mely módszer (és e módszer alapján működő szoftver) adja a legmegbízhatóbb és legpontosabb eredményt.

Dolgozatom 2. fejezetében részletes elméleti leírás található a külső tájékozásról. A fejezet elején a külső tájékozási elemekről számoltam be részletesebben, ezeket az 1. ábra mutatja be. Az 2.1 alfejezetben a külső tájékozás lehetséges megoldásai olvashatók tágabb értelemben. Ebben a fejeztben írok a belső tájékozás szükségességéről, illetve azokról a csoportokról, amelyekbe a külső tájékozás különféle módszerei sorolhatók (3. ábra és 1-2).

A relatív tájékozás bővebb kifejtésével kezdem a 2.1.1 alfejezetet. A koordináta rendszereit láthatjuk a 4. ábrán. A kölcsönös tájékozás egyenletei is megtekinthetők ebben a részben (3-11), valamint készítettem két további ábrát, egy a szögforgásokat (5. ábra), egy pedig a képforgásokat (6. ábra) mutatja be. Az alfejezet végén írok a veszélyes felületekről (7. ábra).

A 2.1.2 alfejezetben az abszolút tájékozás kerül kitárgyalásra. Az analitikus módszerrel kezdtem, de szó esett a Helmert- transzformációról (12), az iterációról, a javítási egyenletrendszerről (13), illetve az abszolút és relatív tájékozás szükségességéről.

A 2.1.3 alfejezet a kollineár egyenletekkel való megoldás kifejtéséről szólt. Itt leginkább az egyenletekkel való leírást alkalmaztam (16-19).

A 2.1.4 alfejezetben az iteráció nélküli megoldásról írtam. A módszer szöveges bemutatásával kezdtem (8-9. ábra), de nem maradhatott el az egyenletek ismertetése sem (20-24).

Utoljára a térbeli metszés került előtérbe a 2.1.5 alfejezetben (10. ábra). Írtam a térbeli előmetszés két lehetséges megoldásáról, a vektoros megoldás pedig bővebb kifejtés alá került (25-31).

A 2.2 alfejezetben a külső tájékozás alkalmazási területeiről került pár sor dolgozatomba (11-12. ábra).

A 3. fejezet kitér a kiértékelt légi felvételeimre és az ezeket a felvételeket készítő kamera belső adataira (8. melléklet). A kameráról kép is megtekinthető (13. ábra), illetve táblázatosan láthatók a belső adatok (1-2. táblázat). A keretjelek elrendezését ábra mutatja (14. ábra).

A 4. fejezet az illesztőpontok terepi méréséről számol be (7. melléklet), ehhez ábrákat is csatoltam (15-16. ábra). A mért illesztőpontok koordinátáit táblázatosan foglaltam össze (3. táblázat).

Az 5. fejezet a felvételek tájékozását foglalja össze. Itt 5 programmal végeztem el a számításokat. Az első a DVP Orientation volt, ennek folyamatát ábrákkal is próbáltam

szemléltetni (17-23. ábra). A végeredményeket táblázatokban jelenítettem meg (4-6. táblázat). Ezekhez az információkat az 1. melléklet szolgáltatta. A második program iteráció nélküli hátrametszést alkalmazott (24. ábra). Az eredményeket itt is táblázatban lehet megtekinteni (7-9. táblázat). Az információkat a 2. melléklet szolgáltatta. A harmadik alkalmazás a RESEC nevezetű volt. Itt szintén ábrákkal tarkítva próbáltam a munkafolyamatot megjeleníteni (25-31. ábra). A végeredményt a 10. táblázat mutatja be. Az információkat ennek elkészültéhez a 3. melléklet adta. A negyedik program az e- foto volt (32-34. ábra). A 4. mellékletből kiemeltem a nekem lényeges információkat, és ez alapján szerkesztettem meg a 11. és 12. táblázatot, amelyek az eredményeket mutatják. Utolsó szoftverként a Photomod 6-ot használtam, ennek folyamatáról a 35-37. ábra számol be. Az 5. mellékletből szedett információkat a 13. táblázatban jelenítettem meg.

Az 5. fejezet végén kiértékeltem a kapott eredményeket. Az eredmények összefoglalását a 15. táblázat mutatja be. A 16., 17. és 18. táblázatokban a szóródási mutatókat láthatjuk minden külső tájékozási elemre nézve. Ezután következnek a kiszámított ellentmondások a 19-21. táblázatokban. A 22. táblázat pedig a kapott értékeket foglalja össze, ezeket a 39. ábrán grafikusan is megjelenítem.

6. ÖSSZEFOGLALÓ

Szakdolgozatom témája tehát a külső tájékozási módszerek összehasonlítása volt. Azért szerettem volna kidolgozni ezt a témát, mert kíváncsi voltam, mely fotogrammetriai program adja a legpontosabb választ a külső tájékozás kérdésére.

Dolgozatom elején a különféle módszerek elméleti hátterét taglaltam, kiegészítve a programok alapjául szolgáló számolásokkal. Szó volt a külső tájékozás elemeiről, a tájékozási eljárásokról és ezek csoportjairól, valamint arról, hogy a külső tájékozás lépése mennyi további feladat elkészítéséhez elengedhetetlen.

A szakdolgozat következő szakaszában ismertettem a feldolgozni kívánt képeket, ezek főbb tulajdonságait, továbbá a képeket készítő kamera fontosabb adatait is.

A terepi mérés folyamata is részletes bemutatásra került, a mérés során keletkező pontok leírása is megtalálható ezen fejezetben.

A leghosszabb és legfontosabb fejezet azonban a Felvételek tájékozás volt, ahol teljeskörű leírás található a használt programokról, illetve magának a tájékozásoknak a végrehajtásáról. Öt alkalmazást használtam a munkám során, ez az öt pedig a következő: DVP Orientation, iteráció nélküli hátrametszést alkalmazó szoftver (ezt konzulensem bocsátotta rendelkezésemre), RESEC, e-foto, Photomod 6 Lite. A fejezet végén a kapott értékek összehasonlítása olvasható táblázatok és grafikonok formájában.

A továbbiakban megtekinthető az irodalom- és ábrajegyzék, valamint a mellékletek, ahol a programokból kimentett jegyzőkönyvek is találhatóak.

7. SUMMERY

The topic of my thesis was therefore the comparison of external information methods. I wanted to develop this topic because I was curious which photogrammetry program would provide the most accurate answer to the question of external information.

At the beginning of my theses, I discussed the theoretical background of the various methods, supplemented by the calculations underlying the programs. We talked about the elements of external orientation, the information procedures and their groups, and how the external orientation step is essential for the preparation of many additional tasks.

In the next section of the thesis, I described the images to be processed, their main properties, as well as the most important data of the camera that took the pictures.

The process of field measurement is also described in detail, the points generated during the measurement can also be described in this chapter.

The longest and most important chapter, however, was the Recordings information, where there is a complete description of the programs used and the implementation of the briefings themselves. I used five applications in my work, and these five are: DVP Orientation, software using back-cutting without iteration (provided to me by my consultant), RESEC, e-photo, Photomod 6 Lite. At the end of the chapter, a comparison of the obtained values can be read in the form of tables and graphs.

The bibliography and figures, as well as the annexes, where the minutes rescued from the programmes can also be found below.

8. IRODALOMJEGYZÉK

[1] Dr. habil. Jancsó Tamás: Digitális fotogrammetria jegyzet (2017)

[2] Dr. habil. Jancsó Tamás: Fotogrammetria 10 – Tájékozások (2011)

[3] Dr. habil. Jancsó Tamás: Nemlineáris modellek fotogrammetriai alkalmazása a geokörnyezettudományban (Doktori (Ph.D.) értekezés) (2006)

[4] Dr. Mélykúti Gábor: Fotogrammetria (2007)

[5] Dr. Závoti, J.; Dr. habil. Jancsó; T.: Closed from solution the 7-parameter datum transformation problem (2005)

[6] Fotogrammetria TÁMOP Jegyzet. (Dr. Jancsó T., Dr. Engler P., Balázsik V. 2010)

[7] Karl Kraus: Photogrammetrie (1998) – Fordította és kiegészítette: Detrekői, Á.; Mélykúti, G.; Budapesti Műszaki Egyetem Fotogrammetriai Tanszék

[8] Paul R. Wolf; Bon A. Dewitt; Benjamin E. Wilkinson: Elements of Photogrammetry with Applications in GIS (2014)

[9] „Székesfehérvár – Google Maps" [Online] – https://tinyurl.com/5c2ykc5a (megtekintve: 2022. 08. 21.)

9. ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra - Külső tájékozási elemek [1] 7
2. ábra - Egy képpár tájékozása [1] 8
3. ábra - Térmodell három illesztőponttal [4] 9
4. ábra - Relatív tájékozás koordináta rendszerei [1] 11
5. ábra - Kölcsönös tájékozás szögforgásokkal [4] 12
6. ábra - Kölcsönös tájékozás képforgásokkal [4] 15
7. ábra - Veszélyes henger [1] 16
8. ábra - Térbeli fotogrammetriai hátrametszés három pont alapján [1] 21
9. ábra - Lehetséges megoldások térbeli fotogrammetriai hátrametszéskor [1] 21
10. ábra - Térbeli előmetszés [1] 23
11. ábra - Ortofotó-térkép elkészítésének folyamata vázlatosan [1] 25
12. ábra - A vonalas kiértékelés módozatai [1] 26
13. ábra - Wild RC20 kamera 28
14. ábra - Keretjelek elrendezése 29
15. ábra - A képen a P1-es illesztőpont tervezett helye látható 30
16. ábra - A képen a nyolc illesztőpont látható 31
17. ábra - A képen a behívott adatok láthatók 32
18. ábra - A képen a beírt adatok láthatók 33
19. ábra - A bal kép keretjeleinek kép-, illetve pixelkoordinátái 33
20. ábra - A bal kép középhibái a kiegyenlítés után 34
21. ábra - A Gruber-pontok mérésének eredménye (relatív tájékozás) 35
22. ábra - Az illesztőpontok mérésének eredménye 35
23. ábra - Az abszolút tájékozás középhibái 36
24. ábra - Iteráció nélküli hátrametszés 38
25. ábra - A durva hiba szűrés eredménye 40
26. ábra - Külső tájékozási elemeket tartalmazó fájl behívása 40
27. ábra - Illesztőpontok adatállománya 40
28. ábra - Illesztőpontok képkoordinátái 41
29. ábra - Kiegyenlítés folyamata 41
30. ábra - Kiegyenlítés eredményei 41
31. ábra - RESEC jegyzőkönyv 42
32. ábra - Belső tájékozás eredménye a bal képen 43
33. ábra - A külső tájékozás eredménye a bal képen 43
34. ábra - Illesztőpontok a jobb felvételen 44
35. ábra - 9551-es képhez rendelt RC20-as kamera adatai 45
36. ábra - Keretjelek mérésének eredménye 45
37. ábra - Gruber-pontok listája 46
38. ábra - Gruber-pontok (sárga rombusz) és illesztőpontok (piros háromszög) a képeken 47
39. ábra - A maradék ellentmondásaiból számított középhibák a terepen 53

10. MELLÉKLETEK

1. DVP Orientation jegyzőkönyv

```
                    RESULTS OF THE DVP STEREO ORIENTATIONS
                            (22-09-2022  10:14:48)
                          D:\Banko\szfvar9551_52.dat

DESCRIPTION :

IMAGES USED
   Image Name : D:\Banko\TC_11-03_9551.tif
   Image date : 2011/9/5
   Image time : 4:20:2
   Image size : 808565436

   Image Name : D:\Banko\TC_11-03_9552.tif
   Image date : 2011/9/5
   Image time : 4:22:48
   Image size : 808565808

SCANNER CORRECTION
   Title        :
   Description  :
   DPI          :
   Manufactuer  :
   Model        :
   Serial Number :

RESULTS OF INTERIOR ORIENTATION
   Date : 22-09-2022
   Time : 10:42:16
```

Results of Transformations

Left image

No	Xmm	Ymm	OrthoX	OrthoY	AffineX	AffineY
1	106.000	-106.000	0.003	0.003	-0.003	-0.001
2	-106.000	-106.000	-0.001	0.005	0.003	-0.001
3	-106.000	106.000	-0.001	-0.006	0.005	-0.002
4	106.000	106.000	-0.002	-0.004	-0.006	0.002
5	0.000	-110.000	0.001	0.008	0.000	0.003
6	-110.000	0.000	-0.014	0.002	-0.008	0.001
7	0.000	110.000	0.001	-0.005	0.002	0.000
8	110.000	0.000	0.013	-0.003	0.007	-0.002

Right image

No	Xmm	Ymm	OrthoX	OrthoY	AffineX	AffineY
1	106.000	-106.000	0.006	0.003	-0.003	-0.003
2	-106.000	-106.000	-0.004	0.007	0.002	-0.002
3	-106.000	106.000	-0.003	-0.008	0.005	-0.002
4	106.000	106.000	0.001	-0.005	-0.005	0.004
5	0.000	-110.000	0.001	0.014	-0.000	0.006
6	-110.000	0.000	-0.014	0.003	-0.006	0.001
7	0.000	110.000	-0.003	-0.008	-0.002	-0.001
8	110.000	0.000	0.016	-0.005	0.009	-0.004

```
RESULTS (MM) OF RELATIVE ORIENTATION
   Date                  : 22-09-2022
   Time                  : 11:04:54

   Focal length Image #0 :   153.000
   Focal length Image #1 :   153.000

   Bx                    :   -83.154
   By                    :    -1.684
   Bz                    :    -0.753
   Phi                   :    -0.264
   Omega                 :    -0.723
   Kappa                 :    -0.491
```

```
    Number        Xmodel        Ymodel        Zmodel           Py
         1         4.926        -5.802      -151.862       -0.002
         2        -2.311      -106.589      -152.644        0.001
         3       -98.809      -111.100      -153.282       -0.001
         4       -96.222        -1.918      -152.265        0.002
         5       -95.296        85.160      -151.026       -0.001
         6        15.188        95.389      -150.501        0.001

                          Standard error :     0.002


RESULTS OF ABSOLUTE ORIENTATION
   Date : 22-09-2022
   Time : 12:00:32

    Number          Xgnd         Dx           Ygnd         Dy          Zgnd         Dz
         1    603168.400      0.007      205360.350      0.185       114.310     -0.148
         2    603157.100      0.032      205093.410      0.020       113.060     -0.082
         4    602600.030      0.028      205405.510     -0.135       111.450      0.222
         5    602695.910     -0.102      204716.700     -0.080       110.720      0.151
         8    602632.680     -0.019      204922.280     -0.066       111.090     -0.006
         9    601753.390      0.054      204900.030      0.076       109.070     -0.136

   Standard Deviation : Mx =     0.051  My =     0.107  Mz =     0.141
   Standard Deviation : Mxy=     0.119

   Ground Coordinates of Principal Points of Exposures
    Left  :   602354.564      204917.695       1451.313 [   0.122    0.138    0.062]
    Right :   602347.426      205652.893       1449.218 [   0.122    0.146    0.059]

    Left  Phi   :       0.4351 [      0.0001]
          Omega :       0.3439 [      0.0001]
          Kappa :     269.3351 [      0.0000]
    Right Phi   :       1.1376 [      0.0001]
          Omega :       0.1017 [      0.0001]
          Kappa :     268.8503 [      0.0000]


GROUND CONTROL POINTS READ
   Date :
   Time :

    Number        Used         Xgnd         Ygnd       Zgnd
```

2. Iteráció nélküli hátrametszés jegyzőkönyvei

```
Illesztőpontok:C:\adatok\Banko\banko.geo
Psz              X               Y              Z
-------------------------------------------------------
 1   603168.4   205360.35   114.31
 2   603157.1   205093.41   113.06
 4   602600.03   205405.51   111.45
 5   602695.91   204716.7   110.72
 8   602632.68   204922.28   111.09
 9   601753.39   204900.03   109.07
Képkoordináták:C:\adatok\Banko\9551.xyi
Psz              x               y
-------------------------------------------
 1  -50.97901   93.95156
 2  -20.32598   93.03659
 4  -55.07261   28.54245
 5   23.46945   40.50059
 8   .00205   32.96356
 9   3.69216  -67.09186

Képszám: 9551
Kameraállandó (ck): 153 mm
Pontok száma: 6
Mérési középhibák:
mx=my= .005 mm
mX= .05 m
mY= .05 m
mZ= .1 m

***** Kiegyenlítés eredménye *****
Vetítési centrum
mo= 1.31565
Xo= 602354.8607 m   mXo= .15587 m
Yo= 204917.6779 m   mYo= .33369 m
Zo= 1451.4793 m   mZo= .05311 m
Forgatási szögek
mo= .0000081025
Fi=-.4474211115 fok   m11=m12=m13= .0072506865
Om= .343762196 fok   m21=m22=m23= .0038837361
Ka= 89.339713259 fok   m31=m32=m33= .0015538355
```

```
***** Durva hiba szűrés eredménye *****
Durva hibával terhelt pontok száma:0
Kiegyenlítéskor felhsznált pontok száma:6
Pontszám        x (mért)        y(mért)        x(számolt)       y(számolt)      dx      dy [mm]  Hibás  Hibák száma
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
 1    -50.97901    93.95156    -50.9469     93.9668       .0321    .0152     0     0
 2    -20.32598    93.03659    -20.3131     93.0426       .0129    .0061     0     0
 4    -55.07261    28.54245    -55.0627     28.5339       .0099    -.0085     0     0
 5     23.46945    40.50059     23.4556     40.5045      -.0139     .0039     0     0
 8      .00205    32.96356      .0157     32.9632       .0137    -.0003     0     0
 9     3.69216   -67.09186     3.6928    -67.095        .0007    -.0031     0     0
Négyzetes középhiba a képsíkon mkep= .0143 mm
Négyzetes középhiba a képsíkon durva hiba nélkül mkep1= .0143 mm
```

```
Illesztőpontok:C:\adatok\Banko\banko.geo
Psz              X               Y              Z
-----------------------------------------------------
 9   601753.39   204900.03   109.07
 2   603157.1   205093.41   113.06
 4   602600.03   205405.51   111.45
 5   602695.91   204716.7   110.72
 8   602632.68   204922.28   111.09
 1   603168.4   205360.35   114.31
Képkoordináták:C:\adatok\Banko\9552.xyi
Psz              x               y
-----------------------------------------
 9   86.81469  -62.53785
 2   63.22754   98.28121
 4   28.06245   32.62083
 5   107.13516   45.28506
 8   83.53883   37.5056
 1   32.23911   99.03814

Képszám: 9552
Kameraállandó (ck): 153 mm
Pontok száma: 6
Mérési középhibák:
mx=my= .005 mm
mX= .05 m
mY= .05 m
mZ= .1 m

***** Kiegyenlítés eredménye *****
Vetítési centrum
mo= 1.09364
Xo= 602348.3447 m   mXo= .15582 m
Yo= 205653.6316 m   mYo= .34502 m
Zo= 1449.059 m   mZo= .20193 m
Forgatási szögek
mo= .0000115308
Fi=-1.1738952687 fok   m11=m12=m13= .0112959113
Om= .0734619207 fok   m21=m22=m23= .0058115025
Ka= 88.8487148911 fok   m31=m32=m33= .006109847
```

```
***** Durva hiba szűrés eredménye *****
Durva hibával terhelt pontok száma:1
Kiegyenlítéskor felhsznált pontok száma:5
Pontszám          x (mért)         y(mért)        x(számolt)       y(számolt)      dx      dy [mm]  Hibás  Hibák száma
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
 9     86.81469   -62.53785     86.8215    -62.5387       .0068   -.0009     0     0
 2     63.22754    98.28121     63.2701     98.2976       .0426     .0164     0     0
 4     28.06245    32.62083     28.0657     32.6184       .0033     -.0024     0     0
 5     107.13516    45.28506    107.1278     45.2925      -.0073     .0075     0     0
 8     83.53883    37.5056     83.5494     37.5102       .0106     .0046     0     0
 1     32.23911    99.03814     32.3008     99.0687       .0617     .0305     1     3
Négyzetes középhiba a képsíkon mkep= .0267 mm
Négyzetes középhiba a képsíkon durva hiba nélkül mkep1= .0173 mm
```

3. RESEC jegyzőkönyv

```
        Térbeli fotogrammetriai hátrametszés jegyzőkönyve
                A jegyzőkönyv neve:BANKO.LST
*****************************************************************
A fényképező kamera típusa:RC20
            Fókusztávolság:   153.000 mm
              xo képfőpont:     0.0000 mm
              yo képfőpont:     0.0000 mm
-----------------------------------------------------------------
A külső tájékozási elemeket tartalmazó fájl:BANKO.PRI

K,p        Xo[m]       Yo[m]       Zo[m]  í[rad]   ę[rad]   ‘[rad]
-----------------------------------------------------------------
  1  602354.000  204917.000    1451.000    0.000    0.000    1.570
  2  602348.000  205653.000    1449.000    0.000    0.000    1.570
-----------------------------------------------------------------
Az illesztőpontokat tartalmazó fájl:BANKO.GEO
Melyből a következő pontokat használtuk fel:

  Psz         Xg[m]       Yg[m]       Zg[m]
-------------------------------------------
      1  603168.400  205360.350     114.310
      2  603157.100  205093.410     113.060
      4  602600.030  205405.510     111.450
      5  602695.910  204716.700     110.720
      8  602632.680  204922.280     111.090
      9  601753.390  204900.030     109.070
-----------------------------------------------------------------
Az illesztőpontok képkoordinátáit tartalmazó fájl:BANKO.XYG
Melyből a következő adatokat használtuk fel:
```

```
Ksz/Psz      x[mm]       y[mm]
--------------------------------
  1
      1   -50.97901    93.95156
      2   -20.32598    93.03659
      4   -55.07261    28.54245
      5    23.46945    40.50059
      8     0.00205    32.96356
      9     3.69216   -67.09186
  2
      1    32.23911    99.03814
      2    63.22754    98.28121
      4    28.06245    32.62083
      5    107.13516   45.28506
      8    83.53883    37.50560
      9    86.81469   -62.53785
-------------------------------------------------------------
                        A hátrametszés eredménye
-------------------------------------------------------------
A képek száma: 2
A felhasznált illesztőpontok száma összesen: 6
Az iterációk száma: 3
Eps1=1 cm    Eps2=1''
A kiegyenlített külső tájékozási elemek fájlja:BANKO.RST
-------------------------------------------------------------
Képszám: 1
Xo= 602354.882 m    [Ÿ=  52.26 cm]
Yo= 204917.371 m    [Ÿ=  94.53 cm]
Zo=   1451.435 m    [Ÿ=  17.35 cm]
Phi=+  0ř26'53.16''   [Ÿ=  71.38 '']
Om=+  0ř21'20.89''   [Ÿ= 140.52 '']
Kappa=+ 89ř20'10.60''   [Ÿ=  21.13 '']
Képszám: 2
Xo= 602348.429 m    [Ÿ=  47.50 cm]
Yo= 205652.494 m    [Ÿ=  61.87 cm]
Zo=   1449.626 m    [Ÿ=  33.47 cm]
Phi=+  1ř10'23.77''   [Ÿ=  54.46 '']
Om=+  0ř 7'16.36''   [Ÿ=  91.20 '']
Kappa=+ 88ř50'44.40''   [Ÿ=  30.99 '']
-------------------------------------------------------------
                        Vége a jegyzőkönyvnek
-------------------------------------------------------------
```

4. E-foto jegyzőkönyv

```
Begin of E-Foto Photogrammetric Report


========================================
Project Header:

Name: Szakdolgozat
Description: 9551 és 9552 képek külső tájékozása
Creation Date: 2022-11-29T12:27:59
Modification Date: 2022-11-29T15:10:42
Owner: Bankó Zsófia
========================================

========================================
Terrain:

Mean Altitude: 135.000
Minimum Altitude: 90.000
Maximum Altitude: 185.000
GRS: WGS84
CPS: UTM
Work Area Center Coordinates:47° 11' 19.28'' S | 18° 25' 5.48'' E | 34 UTM
========================================

========================================
Sensors:

Sensor Id: RC20
Description: Wild RC20 kamera
Focal Distance: 153.000
========================================

========================================
Flights:

Flight Id: 211904
Execution Date: 2011-08-15
Nominal Scale: 1:8000
Longitudinal Overlap: 60
Transversal Overlap: 30
========================================
```

```
Images:

----------------------------------------

Image Id: 9551
Dimension: 16495x16339 px
Filename: TC_11-03_9551.tif
Filepath: C:/Adatok
Resolution: 300 dpi


Interior Orientation - Affine:

        Xa
|   a0   |   116.8627589966308
|   a1   |   -0.01400304813302404
|   a2   |   -4.028638451554814e-005
|   b0   |   -114.1822682692831
|   b1   |   -4.018955798962938e-005
|   b2   |   0.01400169321986063

Exterior Orientation - :

            Xa
|    X0       |   602355.3839491389
|    Y0       |   204918.6038656718
|    Z0       |   1451.711394373994
|    Omega    |   0.005246428776949703
|    Phi      |   0.008173227137253658
|    Kappa    |   -1.582453354443096
----------------------------------------

Image Id: 9552
Dimension: 16495x16339 px
Filename: TC_11-03_9552.tif
Filepath: C:/Adatok
Resolution: 300 dpi
```

```
Interior Orientation - Affine:

        Xa
|   a0   |   116.546681961767
|   a1   |   -0.0140035459606849
|   a2   |   -2.356364014820914e-005
|   b0   |   -114.3171987945987
|   b1   |   -2.314076266876588e-005
|   b2   |   0.01400156242198227

Exterior Orientation - :

            Xa
|    X0       |   602349.0078261889
|    Y0       |   205653.6493878222
|    Z0       |   1449.52528073346
|    Omega    |   0.001656247149211019
|    Phi      |   0.02081700115082195
|    Kappa    |   -1.590986201594979
----------------------------------------

========================================

========================================
Points:

----------------------------------------

Point Id: 1
Type: control

 Spatial Coordinates
|    X    |   603168.4
|    Y    |   205360.35
|    Z    |   114.31
|   Uom   |   Meters

Image Coordinates
```

```
Image Id: 9551
Row: 14899.80031122105
Column: 11948.33462844344
Uom:

Image Id: 9552
Row: 15247.82928738162
Column: 5991.038879091799
Uom: pixels

-----------------------------

Point Id: 2
Type: control

 Spatial Coordinates
|    X    |   603157.1
|    Y    |   205093.41
|    Z    |   113.06
|   Uom   |   Meters

Image Coordinates


Image Id: 9551
Row: 14828.34903802838
Column: 9752.841345744102
Uom:

Image Id: 9552
Row: 15190.03224811487
Column: 3775.294036777299
Uom: pixels
```

```
Point Id: 3
Type: control

 Spatial Coordinates
|    X    |   603153.84
|    Y    |   204714.12
|    Z    |   111.82
|   Uom   |   Meters

Image Coordinates


Image Id: 9551
Row: 14852.44852077195
Column: 6645.654688956516
Uom:

Image Id: 9552
Row: 15230.75415485449
Column: 637.6663360960598
Uom: pixels

---------------------------

Point Id: 4
Type: control

 Spatial Coordinates
|    X    |   602600.03
|    Y    |   205405.51
|    Z    |   111.45
|   Uom   |   Meters

Image Coordinates


Image Id: 9551
Row: 10228.23320317173
Column: 12249.64621020022
Uom:
```

```
Image Id: 9552
Row: 10503.4372875189
Column: 6298.964951626544
Uom: pixels

---------------------------

Point Id: 5
Type: control

 Spatial Coordinates
|    X    |  602695.91
|    Y    |  204716.7
|    Z    |  110.72
|   Uom   |  Meters

Image Coordinates


Image Id: 9551
Row: 11065.7476762329
Column: 6640.146081697042
Uom:

Image Id: 9552
Row: 11396.06925174808
Column: 650.9825332336835
Uom: pixels

---------------------------

Point Id: 6
Type: control

 Spatial Coordinates
|    X    |  601690.61
|    Y    |  205454.79
|    Z    |  111.23
|   Uom   |  Meters

Image Coordinates
```

```
Image Id: 9551
Row: 2847.309728766724
Column: 12561.22677504824
Uom:

Image Id: 9552
Row: 3113.874831654089
Column: 6590.24779417687
Uom: pixels

---------------------------

Point Id: 8
Type: control

 Spatial Coordinates
|    X    |  602632.6800000001
|    Y    |  204922.28
|    Z    |  111.09
|   Uom   |  Meters

Image Coordinates


Image Id: 9551
Row: 10533.60779863453
Column: 8313.931872413761
Uom:

Image Id: 9552
Row: 10849.36468172156
Column: 2333.55017128739
Uom: pixels

---------------------------

Point Id: 9
Type: control
```

```
 Spatial Coordinates
|    X    |  601753.39
|    Y    |  204900.03
|    Z    |  109.07
|   Uom   |  Meters

Image Coordinates


Image Id: 9551
Row: 3387.698588104694
Column: 8073.273238301283
Uom:

Image Id: 9552
Row: 3703.198173973801
Column: 2113.631337603714
Uom: pixels

-------------------------------------

=====================================

=====================================
Affine Transformation:

-------------------------------------

Image Id: 9551
Calculation Mode: With Fiducial Marks

Fiducial Marks:


Fiducial Mark No: 1
|    X     |  106.006
|    Y     |  -106.006
|   Row    |  586.335913822156
| Column   |  773.5321737107108
```

```
Fiducial Mark No: 2
|    X     |  -106.003
|    Y     |  -106.002
|   Row    |  629.7535429907225
| Column   |  15913.92474364848

Fiducial Mark No: 3
|    X     |  -106.003
|    Y     |  106.003
|   Row    |  15771.52208794093
| Column   |  15870.55836073973

Fiducial Mark No: 4
|    X     |  106.007
|    Y     |  106.006
|   Row    |  15727.51241292181
| Column   |  729.7041587860118

Fiducial Mark No: 5
|    X     |  0
|    Y     |  -110.008
|   Row    |  322.0046011427232
| Column   |  8344.455207968467

Fiducial Mark No: 6
|    X     |  -110.002
|    Y     |  -0.001
|   Row    |  8201.106724595766
| Column   |  16177.0299130904

Fiducial Mark No: 7
|    X     |  -0.001
|    Y     |  110.004
|   Row    |  16035.18552662496
| Column   |  8299.319962111198

Fiducial Mark No: 8
|    X     |  110.005
|    Y     |  0
|   Row    |  8156.507104185508
| Column   |  466.775934685554
```

```
Matrix V
| 0.000013 |
| -0.000000 |
| -0.000000 |
| 0.000000 |
| 0.000000 |
| 0.000000 |

Sigma Xa
| 0.000013 | -0.000000 | -0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| -0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| -0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000013 | -0.000000 | -0.000000 |
| 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | -0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | -0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
```

```
Sigma La
| 0.000011 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000000 | -0.000005 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000000 |
| 0.000000 | 0.000011 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000000 | -0.000005 | 0.000000 | 0.000003 |
| 0.000003 | 0.000000 | 0.000011 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000000 | -0.000005 | 0.000000 |
| 0.000000 | 0.000003 | 0.000000 | 0.000011 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000000 | -0.000005 |
| -0.000005 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000000 | 0.000011 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000000 |
| 0.000000 | -0.000005 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000000 | 0.000011 | 0.000000 | 0.000003 |
| 0.000003 | 0.000000 | -0.000005 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000000 | 0.000011 | 0.000000 |
| 0.000000 | 0.000003 | 0.000000 | -0.000005 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000000 | 0.000011 |
| 0.000007 | 0.000000 | 0.000007 | 0.000000 | -0.000001 | 0.000000 | -0.000001 | 0.000000 |
| 0.000000 | 0.000007 | 0.000000 | 0.000007 | 0.000000 | -0.000001 | 0.000000 | -0.000001 |
| -0.000001 | 0.000000 | 0.000007 | 0.000000 | 0.000007 | 0.000000 | -0.000001 | 0.000000 |
| 0.000000 | -0.000001 | 0.000000 | 0.000007 | 0.000000 | 0.000007 | 0.000000 | -0.000001 |
| -0.000001 | 0.000000 | -0.000001 | 0.000000 | 0.000007 | 0.000000 | 0.000007 | 0.000000 |
| 0.000000 | -0.000001 | 0.000000 | -0.000001 | 0.000000 | 0.000007 | 0.000000 | 0.000007 |
| 0.000007 | 0.000000 | -0.000001 | 0.000000 | -0.000001 | 0.000000 | 0.000007 | 0.000000 |
| 0.000000 | 0.000007 | 0.000000 | -0.000001 | 0.000000 | -0.000001 | 0.000000 | 0.000007 |

Sigma0Squared: 2.525329152456316e-005
----------
```

```
Image Id: 9552
Calculation Mode: With Fiducial Marks

Fiducial Marks:


Fiducial Mark No: 1
|    X     |  106.006
|    Y     |  -106.006
|   Row    |  595.0751562378106
| Column   |  751.4903499033454

Fiducial Mark No: 2
|    X     |  -106.003
|    Y     |  -106.002
|   Row    |  619.9466887097217
| Column   |  15891.7218043102

Fiducial Mark No: 3
|    X     |  -106.003
|    Y     |  106.003
|   Row    |  15761.88185531988
| Column   |  15866.00387798287

Fiducial Mark No: 4
|    X     |  106.007
|    Y     |  106.006
|   Row    |  15736.50439782506
| Column   |  726.0904002457089

Fiducial Mark No: 5
|    X     |  0
|    Y     |  -110.008
|   Row    |  321.3964009552103
| Column   |  8321.981376432472
```

```
Fiducial Mark No: 6
|    X     |  -110.002
|    Y     |  -0.001
|   Row    |  8191.259000761178
| Column   |  16163.74268152724

Fiducial Mark No: 7
|    X     |  -0.001
|    Y     |  110.004
|   Row    |  16034.83850510569
| Column   |  8295.697592054121

Fiducial Mark No: 8
|    X     |  110.005
|    Y     |  0
|   Row    |  8165.494059212437
| Column   |  453.776906379057

Matrix V

| 0.000009 |

| -0.000000 |

| -0.000000 |

| 0.000000 |

| 0.000000 |

| 0.000000 |
```

```
Sigma Xa
| 0.000009 | -0.000000 | -0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| -0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| -0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000009 | -0.000000 | -0.000000 |
| 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | -0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | -0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
```

```
Sigma La
| 0.000008 | 0.000000 | 0.000002 | 0.000000 | -0.000003 | 0.000000 | 0.000002 | 0.000000 |
| 0.000000 | 0.000008 | 0.000000 | 0.000002 | 0.000000 | -0.000003 | 0.000000 | 0.000002 |
| 0.000002 | 0.000000 | 0.000008 | 0.000000 | 0.000002 | 0.000000 | -0.000003 | 0.000000 |
| 0.000000 | 0.000002 | 0.000000 | 0.000008 | 0.000000 | 0.000002 | 0.000000 | -0.000003 |
| -0.000003 | 0.000000 | 0.000002 | 0.000000 | 0.000008 | 0.000000 | 0.000002 | 0.000000 |
| 0.000000 | -0.000003 | 0.000000 | 0.000002 | 0.000000 | 0.000008 | 0.000000 | 0.000002 |
| 0.000002 | 0.000000 | -0.000003 | 0.000000 | 0.000002 | 0.000000 | 0.000008 | 0.000000 |
| 0.000000 | 0.000002 | 0.000000 | -0.000003 | 0.000000 | 0.000002 | 0.000000 | 0.000008 |
| 0.000005 | 0.000000 | 0.000005 | 0.000000 | -0.000001 | 0.000000 | -0.000001 | 0.000000 |
| 0.000000 | 0.000005 | 0.000000 | 0.000005 | 0.000000 | -0.000001 | 0.000000 | -0.000001 |
| -0.000001 | 0.000000 | 0.000005 | 0.000000 | 0.000005 | 0.000000 | -0.000001 | 0.000000 |
| 0.000000 | -0.000001 | 0.000000 | 0.000005 | 0.000000 | 0.000005 | 0.000000 | -0.000001 |
| -0.000001 | 0.000000 | -0.000001 | 0.000000 | 0.000005 | 0.000000 | 0.000005 | 0.000000 |
| 0.000000 | -0.000001 | 0.000000 | -0.000001 | 0.000000 | 0.000005 | 0.000000 | 0.000005 |
| 0.000005 | 0.000000 | -0.000001 | 0.000000 | -0.000001 | 0.000000 | 0.000005 | 0.000000 |
| 0.000000 | 0.000005 | 0.000000 | -0.000001 | 0.000000 | -0.000001 | 0.000000 | 0.000005 |

SigmaOSquared: 1.685427534423323e-005
```

```
Matrix V
| 0.001329 |
| 0.002339 |
| -0.003066 |
| -0.002226 |
| -0.005811 |
| 0.004915 |
| 0.004072 |
| -0.005791 |
| 0.001979 |
| -0.001019 |
| 0.006638 |
| -0.002036 |
| 0.001982 |
| -0.000066 |
| -0.007123 |
| 0.003882 |
```

```
=====================================
Interior Orientation:

-------------------------------------

-------------------------------------
Image Id: 9551
IO Type: Affine

        Xa
|  a0  |  116.8627589966308
|  a1  |  -0.01400304813302404
|  a2  |  -4.028638451554814e-005
|  b0  |  -114.1822682692831
|  b1  |  -4.018955798962938e-005
|  b2  |  0.01400169321986063
```

```
Sigma Xa
| 0.000013 | -0.000000 | -0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| -0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| -0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000013 | -0.000000 | -0.000000 |
| 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | -0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | -0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
----------------------------------------
Image Id: 9552
IO Type: Affine

        Xa
|   a0   |   116.546681961767
|   a1   |   -0.0140035459606849
|   a2   |   -2.356364014820914e-005
|   b0   |   -114.3171987945987
|   b1   |   -2.314076266876588e-005
|   b2   |   0.01400156242198227
```

```
Matrix V
| 0.003130 |
| 0.003393 |
| -0.005383 |
| -0.002723 |
| -0.002040 |
| 0.003622 |
| 0.001032 |
| -0.004352 |
| 0.001860 |
| -0.001724 |
| 0.005953 |
| 0.000184 |
| 0.000660 |
| -0.000375 |
| -0.005213 |
| 0.001975 |
```

```
Sigma Xa
| 0.000009 | -0.000000 | -0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| -0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| -0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000009 | -0.000000 | -0.000000 |
| 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | -0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | -0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
========================================
========================================
Exterior Orientation:
----------------------------------------

Image Id: 9551
EO Type:
Number Of Iterations: unknow

            Xa
|   X0       |   602355.3839491389
|   Y0       |   204918.6038656718
|   Z0       |   1451.711394373994
|   Omega    |   0.005246428776949703
|   Phi      |   0.008173227137253658
|   Kappa    |   -1.582453354443096
```

```
Matrix V
| -0.055030 |
| -0.021780 |
| 0.040191 |
| 0.001805 |
| 0.014723 |
| 0.009074 |
| -0.003069 |
| -0.003424 |
| 0.018337 |
| 0.016747 |
| -0.015167 |
| -0.002338 |
```

```
Sigma Xa
| 1.393489 | -1.424608 | 0.026155 | 0.000916 | 0.001039 | 0.000083 |
| -1.424608 | 4.572809 | 0.394621 | -0.000973 | -0.003288 | -0.000175 |
| 0.026155 | 0.394621 | 0.152865 | 0.000027 | -0.000290 | -0.000009 |
| 0.000916 | -0.000973 | 0.000027 | 0.000001 | 0.000001 | 0.000000 |
| 0.001039 | -0.003288 | -0.000290 | 0.000001 | 0.000002 | 0.000000 |
| 0.000083 | -0.000175 | -0.000009 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
----------------------------------------


Image Id: 9552
EO Type:
Number Of Iterations: unknow

            Xa
|   X0      |  602349.0078261889
|   Y0      |  205653.6493878222
|   Z0      |  1449.52528073346
|   Omega   |  0.001656247149211019
|   Phi     |  0.02081700115082195
|   Kappa   |  -1.590986201594979
```

```
Matrix V
| -0.035870 |
| -0.005028 |
| 0.021309 |
| -0.001220 |
| -0.010159 |
| 0.005456 |
| -0.005978 |
| -0.050957 |
| 0.028275 |
| 0.041466 |
| 0.002627 |
| 0.010560 |
```

```
Sigma Xa
| 1.310936 | 0.260950 | 0.009991 | 0.000711 | -0.000133 | -0.000322 |
| 0.260950 | 2.223188 | -1.039457 | 0.000025 | -0.001573 | -0.000235 |
| 0.009991 | -1.039457 | 0.653068 | 0.000081 | 0.000786 | 0.000073 |
| 0.000711 | 0.000025 | 0.000081 | 0.000000 | 0.000000 | -0.000000 |
| -0.000133 | -0.001573 | 0.000786 | 0.000000 | 0.000001 | 0.000000 |
| -0.000322 | -0.000235 | 0.000073 | -0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
----------------------------------------

========================================

========================================
Stereo Pairs:
----------------------------------------

Stereo Pair:  Image Id 9551 |  Image Id 9552 |
----------------------------------------

========================================

End of E-Foto Photogrammetric Report
```

5. Photomod 6 Lite jegyzőkönyv

```
== 2022. október 12., szerda == 23:46:09 ==
Block adjustment report

-----------------------------------------------------------------
-----------------------------------------------------------------

Block: 9552-9551
Number of strips: 1
Number of stereopairs: 1

Adjustment parameters:
  external adjustment
  coordinate system:  Cartesian Right
Measurement units: metre


-----------------------------------------------------------------
-----------------------------------------------------------------

Exterior orientation parameters

-----------------------------------------------------------------
-----------------------------------------------------------------

Image: TC_11-03_9551
projection center
       602354.760044     204916.754884       1451.279296
rotation matrix
        0.0116430697     -0.9999021080      0.0077597294
        0.9999104619      0.0115912758     -0.0066865942
        0.0065959945      0.0078368871      0.9999475367
Alpha, Omega, Kappa (°)
       -0.4446141472      0.3831164844     89.3358390981

-----------------------------------------------------------------

Image: TC_11-03_9552
projection center
       602348.546856     205653.333254       1449.604791
rotation matrix
        0.0200835648     -0.9995873518      0.0205371996
        0.9997972503      0.0200494714     -0.0018646587
        0.0014521293      0.0205704847      0.9997873506
Alpha, Omega, Kappa (°)
       -1.1767796411      0.1068371363     88.8511709347
```

```
Point catalog

-------------------------------------------------------------------------------
-------------------------------------------------------------------------------

                N              X              Y              Z         Exy          Ez (metre)

ground control

                1      603168.492      205360.669        114.307       0.332      -0.003
                2      603157.017      205093.266        113.164       0.166       0.104
                3      603153.840      204714.120        111.820       0.000       0.000
                4      602600.008      205405.309        111.366       0.203      -0.084
                5      602695.771      204716.573        110.594       0.188      -0.126
                6      601690.610      205454.790        111.230       0.000       0.000
                8      602632.785      204922.375        111.147       0.142       0.057
                9      601753.436      204900.088        109.123       0.074       0.053
            total  8 points

check

            total  0 points

targeted

            total  0 points

tie

               *10      601629.163      205567.801        113.776
               *11      603066.933      205030.360        112.432
               *12      602940.978      205577.089        112.508
               *13      602333.530      204991.590        108.186
               *14      602334.191      205657.401        109.352
                *7      601704.379      205072.386        108.923
            total  6 points
```

```
Exterior orientation angles correction

-----------------------------------------------------------------------
-----------------------------------------------------------------------

Check data

                Image           Alpha           Omega           Kappa (°)


      mean absolute:    0.0000000000    0.0000000000    0.0000000000
                 RMS:    0.0000000000    0.0000000000    0.0000000000
             maximum:    0.0000000000    0.0000000000    0.0000000000
  number of images (differences):
                   0 (             0               0               0)

-----------------------------------------------------------------------
-----------------------------------------------------------------------

Camera parameters self-calibration results

-----------------------------------------------------------------------
-----------------------------------------------------------------------

Camera parameters self-calibration was not performed.

-----------------------------------------------------------------------
-----------------------------------------------------------------------

Estimation of block adjustment accuracy
Unacceptable residuals are marked with "*".

-----------------------------------------------------------------------
-----------------------------------------------------------------------

Generalized adjustment residuals information



Ground control point residuals

                   N           Xm-Xg           Ym-Yg           Zm-Zg             Exy (metre)

              limit:           0.200           0.200           0.200           0.200

                   1           0.092           0.319*         -0.003           0.332*
                   2          -0.083          -0.144           0.104           0.166
                   3               -               -               -               -
                   4          -0.022          -0.201*         -0.084           0.203*
                   5          -0.139          -0.127          -0.126           0.188
                   6               -               -               -               -
                   8           0.105           0.095           0.057           0.142
                   9           0.046           0.058           0.053           0.074

      mean absolute:           0.081           0.157           0.071           0.184
                 RMS:           0.090           0.179           0.082           0.200
             maximum:           0.139           0.319*          0.126           0.332*
  number of points (differences):
                   8 (             6               6               6               6)

Control projection centers residuals

                   N           Xm-Xg           Ym-Yg           Zm-Zg             Exy (metre)

              limit:           0.200           0.200           0.200           0.200


      mean absolute:           0.000           0.000           0.000           0.000
                 RMS:           0.000           0.000           0.000           0.000
             maximum:           0.000           0.000           0.000           0.000
  number of points (differences):
                   0 (             0               0               0               0)
```

Check points residuals

N	Xm-Xg	Ym-Yg	Zm-Zg	Exy (metre)
limit:	0.200	0.200	0.200	0.200
mean absolute:	0.000	0.000	0.000	0.000
RMS:	0.000	0.000	0.000	0.000
maximum:	0.000	0.000	0.000	0.000
number of points (differences):				
0 (	0	0	0	0)

Check projection centers residuals

N	Xm-Xg	Ym-Yg	Zm-Zg	Exy (metre)
limit:	0.200	0.200	0.200	0.200
mean absolute:	0.000	0.000	0.000	0.000
RMS:	0.000	0.000	0.000	0.000
maximum:	0.000	0.000	0.000	0.000
number of points (differences):				
0 (	0	0	0	0)

```
Tie point residuals (between stereopairs)

                    N          X1-X2          Y1-Y2          Z1-Z2            Exy (metre)

                limit:         0.200          0.200          0.200          0.200


        mean absolute:         0.000          0.000          0.000          0.000
                   RMS:        0.000          0.000          0.000          0.000
               maximum:        0.000          0.000          0.000          0.000
  number of points (differences):
                   12 (            0              0              0              0)

inside strips

                    N          X1-X2          Y1-Y2          Z1-Z2            Exy (metre)

                limit:         0.200          0.200          0.200          0.200


        mean absolute:         0.000          0.000          0.000          0.000
                   RMS:        0.000          0.000          0.000          0.000
               maximum:        0.000          0.000          0.000          0.000
  number of points (differences):
                    0 (            0              0              0              0)

between strips

                    N          X1-X2          Y1-Y2          Z1-Z2            Exy (metre)

                limit:         0.200          0.200          0.200          0.200


        mean absolute:         0.000          0.000          0.000          0.000
                   RMS:        0.000          0.000          0.000          0.000
               maximum:        0.000          0.000          0.000          0.000
  number of points (differences):
                    0 (            0              0              0              0)


Targeted point residuals (between stereopairs)

                    N          X1-X2          Y1-Y2          Z1-Z2            Exy (metre)

                limit:         0.200          0.200          0.200          0.200


        mean absolute:         0.000          0.000          0.000          0.000
                   RMS:        0.000          0.000          0.000          0.000
               maximum:        0.000          0.000          0.000          0.000
  number of points (differences):
                    0 (            0              0              0              0)

-------------------------------------------------------------------------------

Tie point residuals - projection centers (between stereopairs)

                    N          X1-X2          Y1-Y2          Z1-Z2            Exy (metre)

                limit:         0.200          0.200          0.200          0.200


        mean absolute:         0.000          0.000          0.000          0.000
                   RMS:        0.000          0.000          0.000          0.000
               maximum:        0.000          0.000          0.000          0.000
  number of points (differences):
                    0 (            0              0              0              0)

-------------------------------------------------------------------------------

Tie point residuals (on images)

                    N     x_pr-x_meas     y_pr-y_meas            Exy (mm)

                limit:         0.023          0.023          0.023


        mean absolute:         0.001          0.001          0.002
                   RMS:        0.002          0.001          0.002
               maximum:        0.003          0.003          0.004
  number of points (differences):
                   14 (           24             24             24)
```

```
Targeted point residuals (on images)

                    N     x_pr-x_meas     y_pr-y_meas             Exy (mm)

               limit:           0.023           0.023           0.023


      mean absolute:           0.000           0.000           0.000
                RMS:           0.000           0.000           0.000
            maximum:           0.000           0.000           0.000
  number of points (differences):
                    0 (             0               0               0)

--------------------------------------------------------------------------------
--------------------------------------------------------------------------------

Detailed adjustment residuals information

--------------------------------------------------------------------------------
--------------------------------------------------------------------------------

Ground control point residuals

                    N            X-Xg            Y-Yg            Z-Zg             Exy (metre)

               limit:           0.200           0.200           0.200           0.200

1
TC_11-03_9551-TC_11-03_9552           0.124           0.336*         -0.050           0.358*
2
TC_11-03_9551-TC_11-03_9552          -0.135          -0.139           0.185           0.194
4
TC_11-03_9551-TC_11-03_9552          -0.015          -0.207*         -0.123           0.208*
5
TC_11-03_9551-TC_11-03_9552          -0.122          -0.170          -0.215*          0.209*
8
TC_11-03_9551-TC_11-03_9552           0.102           0.110           0.094           0.150
9
TC_11-03_9551-TC_11-03_9552           0.073           0.077           0.110           0.106

Control projection centers residuals

                    N            X-Xg            Y-Yg            Z-Zg             Exy (metre)

               limit:           0.200           0.200           0.200           0.200


Check points residuals

                    N            X-Xg            Y-Yg            Z-Zg             Exy (metre)

               limit:           0.200           0.200           0.200           0.200

Check projection centers residuals

                    N            X-Xg            Y-Yg            Z-Zg             Exy (metre)

               limit:           0.200           0.200           0.200           0.200

--------------------------------------------------------------------------------

Tie point residuals (between stereopairs)

                    N           X1-X2           Y1-Y2           Z1-Z2             Exy (metre)

               limit:           0.200           0.200           0.200           0.200

--------------------------------------------------------------------------------

Targeted point residuals (between stereopairs)

                    N           X1-X2           Y1-Y2           Z1-Z2             Exy (metre)

               limit:           0.200           0.200           0.200           0.200

--------------------------------------------------------------------------------

Tie point residuals - projection centers (between stereopairs)

                    N           X1-X2           Y1-Y2           Z1-Z2             Exy (metre)

               limit:           0.200           0.200           0.200           0.200
```

Tie point residuals (on images)

N	x_pr-x_meas	y_pr-y_meas	Exy (mm)
limit:	0.023	0.023	0.023
*10			
TC_11-03_9551	0.000	-0.000	0.000
TC_11-03_9552	-0.000	0.000	0.000
*11			
TC_11-03_9551	-0.000	0.002	0.002
TC_11-03_9552	0.000	-0.002	0.002
*12			
TC_11-03_9551	0.000	-0.002	0.002
TC_11-03_9552	-0.000	0.002	0.002
*13			
TC_11-03_9551	0.000	-0.002	0.002
TC_11-03_9552	-0.000	0.002	0.002
*14			
TC_11-03_9551	-0.000	0.003	0.003
TC_11-03_9552	0.000	-0.003	0.003
*7			
TC_11-03_9551	-0.000	0.001	0.001
TC_11-03_9552	0.000	-0.001	0.001
1			
TC_11-03_9551	0.000	-0.001	0.001
TC_11-03_9552	0.003	0.000	0.003
2			
TC_11-03_9551	0.002	0.001	0.002
TC_11-03_9552	-0.003	-0.001	0.003
4			
TC_11-03_9551	-0.002	0.000	0.002
TC_11-03_9552	0.000	0.000	0.000
5			
TC_11-03_9551	-0.003	-0.001	0.004
TC_11-03_9552	0.002	0.003	0.004
8			
TC_11-03_9551	0.002	-0.000	0.002
TC_11-03_9552	-0.001	-0.001	0.001
9			
TC_11-03_9551	0.002	-0.000	0.002
TC_11-03_9552	-0.001	-0.000	0.001

Targeted point residuals (on images)

N	x_pr-x_meas	y_pr-y_meas	Exy (mm)
limit:	0.023	0.023	0.023

Exterior orientation angles residuals

Check data

Image	Alpha	Omega	Kappa (°)
mean absolute:	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
RMS:	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
maximum:	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
number of images (differences):			
0 (	0	0	0)

---

6. GPS mérés

P	602359.98	205109.60	108.75	HSIG:0.006	VSIG:0.012	STATUS:FIX
P1	603168.40	205360.35	114.31	HSIG:0.008	VSIG:0.015	STATUS:FIX
P2	603157.10	205093.41	113.06	HSIG:0.003	VSIG:0.006	STATUS:FIX
P3	603153.84	204714.12	111.82	HSIG:0.006	VSIG:0.011	STATUS:FIX
P4	602600.03	205405.51	111.45	HSIG:0.004	VSIG:0.007	STATUS:FIX
P5	602695.91	204716.70	110.72	HSIG:0.014	VSIG:0.019	STATUS:FIXED
P6	601690.61	205454.79	111.23	HSIG:0.006	VSIG:0.008	STATUS:FIXED
P7	601628.73	205857.61	110.80	HSIG:0.015	VSIG:0.023	STATUS:FIXED
P8	602632.68	204922.28	111.09	HSIG:0.007	VSIG:0.008	STATUS:FIXED
P9	601753.39	204900.03	109.07	HSIG:0.013	VSIG:0.020	STATUS:FIX

SATS:10 AGE:1.0	PDOP:2.310	HDOP:0.926	VDOP:2.116	TDOP:2.202	GDOP:3.191	NSIG:0.004	ESIG:0.004
SATS:11 AGE:1.0	PDOP:2.224	HDOP:0.945	VDOP:2.013	TDOP:2.151	GDOP:3.094	NSIG:0.006	ESIG:0.006
SATS:13 AGE:1.0	PDOP:1.475	HDOP:0.796	VDOP:1.242	TDOP:1.339	GDOP:1.992	NSIG:0.003	ESIG:0.002
SATS:12 AGE:1.0	PDOP:1.655	HDOP:0.845	VDOP:1.424	TDOP:1.659	GDOP:2.344	NSIG:0.005	ESIG:0.004
SATS:11 AGE:1.0	PDOP:1.893	HDOP:1.023	VDOP:1.592	TDOP:1.887	GDOP:2.673	NSIG:0.003	ESIG:0.002
SATS:11 AGE:1.0	PDOP:1.848	HDOP:1.062	VDOP:1.513	TDOP:1.698	GDOP:2.509	NSIG:0.011	ESIG:0.008
SATS:10 AGE:1.0	PDOP:2.116	HDOP:1.213	VDOP:1.734	TDOP:2.086	GDOP:2.972	NSIG:0.006	ESIG:0.003
SATS:9 AGE:1.0	PDOP:4.091	HDOP:2.301	VDOP:3.382	TDOP:4.406	GDOP:6.012	NSIG:0.014	ESIG:0.006
SATS:9 AGE:1.0	PDOP:2.447	HDOP:1.321	VDOP:2.060	TDOP:2.381	GDOP:3.414	NSIG:0.006	ESIG:0.004
SATS:13 AGE:1.0	PDOP:1.885	HDOP:1.032	VDOP:1.577	TDOP:1.735	GDOP:2.561	NSIG:0.011	ESIG:0.008

7. Illesztőpontokat tartalmazó Word-fájl

Székesfehérvári magassági illesztőpontok koordinátái és fényképei (földi, légi)

Pontszám	Y	X	m
P1	603168.40	205360.35	114.31
P2	603157.10	205093.41	113.06
P3	603153.84	204714.12	111.82
P4	602600.03	205405.51	111.45
P5	602695.91	204716.70	110.72
P6	601690.61	205454.79	111.23
P7	601628.73	205857.61	110.80
P8	602632.68	204922.28	111.09
P9	601753.39	204900.03	109.07

P1	603168.40	205360.35	114.31

Képszám: 9551

P2	603157.10	205093.41	113.06

Képszám: 9551

P3	603153.84	204714.12	111.82

Képszám: 9551

P4	602600.03	205405.51	111.45

Képszám: 9552

P5	602695.91	204716.70	110.72

Képszám: 9551

P6	601690.61	205454.79	111.23

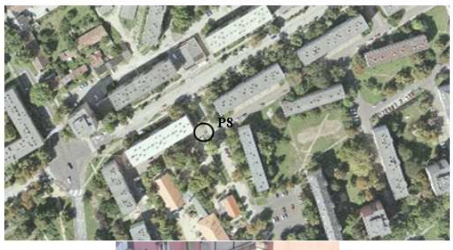
Képszám: 9552

P7	601628.73	205857.61	110.80

Képszám: 9552

P8	602632.68	204922.28	111.09

Képszám: 9551



P9	601753.39	204900.03	109.07

Képszám: 9551

8. Kamera kalibrációs jegyzőkönyv

Camera Calibration Certificate

Object

Aerial Survey Camera Type	Lens Cone Type	Lens Serial-No	Remarks
RC20	15/4 UAGA-F	13144	

Acceptance

Characteristics	Acceptance	Remarks
Radial distortion	yes	
Photographic resolution	yes	
Principal point of autocollimation (PPA)	yes	
Principal point of symmetry (PPS)	yes	
Fiducial marks	yes	
Mean radial distortion	yes	
Radial distortion for semi-diagonals referred to PPS	yes	

Inspection

			Signature / Remarks
Date of calibration		21.05.2008	Lens cone operating hours
Inspector	Name	Dietsche Paul	
	Position	Supervisor	Signature: P. Dietsche
	Inspection-No	SO112	
Inspection plan	Identification-No	487872	
	Version	14.04.1989	
Lens cone calibration	No	870105	
Process specification	Version	24.07.2006	

Maintenance

The last date, when service/ overhaul of this lens cone was performed.	01.03.2004	Lens cone operating hours ---
Overhaul urgently required:	no	

This Camera Calibration Certificate contains five pages. It may not be reproduced other than in full. Camera Calibration Certificates without signature and seal are not valid.

RC20 **15/4 UAGA-F** **No.13144** **21.05.2008**

Calibrated Focal Length (CFL)

Aperture	4.0
Filter on goniometer	VIS (400 - 700 nm)
Filter on camera	--
C.F.L. :	153.00 mm

Radial distortion [micrometers]

Referred to principal point of symmetry (PPS)
Positive values denote image displacement away from center

Radius [mm]	Half - Sides 1	3	2	4	Mean
10	0.8	0.3	0.9	0.5	0.6
20	1.1	0.4	1.7	1.0	1.0
30	0.8	0.5	2.3	1.0	1.1
40	1.0	1.1	2.5	1.6	1.5
50	1.0	0.8	2.6	1.7	1.5
60	0.3	0.9	3.0	1.3	1.3
70	0.8	0.8	2.7	1.4	1.4
80	0.2	1.0	2.6	1.4	1.3
90	0.9	0.7	2.0	1.0	1.1
100	0.0	-0.6	1.6	0.6	0.4
110	-0.3	-1.6	1.3	0.2	-0.1
120	-0.7	-3.5	-1.0	-0.9	-1.5
130	-2.2	-2.7	-1.8	-1.3	-2.0
140	-3.1	-1.5	-2.6	-1.6	-2.2
148	-2.2	-0.2	-1.7	0.3	-0.9

Photographic resolution [line pairs per millimeter]

Internal 3-line test-chart contrast log 2.0

Apertur:	4,0
Filter:	VIS(400-700nm)
Film:	KODAK PANATOMIC X 2412
Developer:	KODAK HC110

Angle: [deg]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Radial:	131	131	65	51	44	53	72	96	90	59
Tangential:	131	116	72	61	58	68	70	79	55	33

RC20 15/4 UAGA-F No.13144 21.05.2008

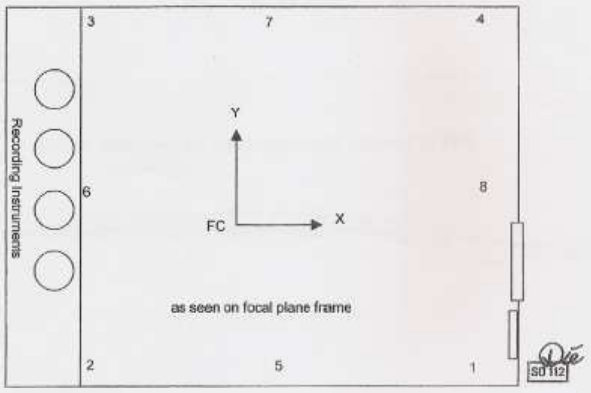
Principal point of autocollimation (PPA)
Principal point of symmetry (PPS)
Referred to central cross (FC), see diagram

	x[mm]	y[mm]
PPA	0.007	0.001
PPS	0.005	0.002

Fiducial marks
Referred to central cross (FC)

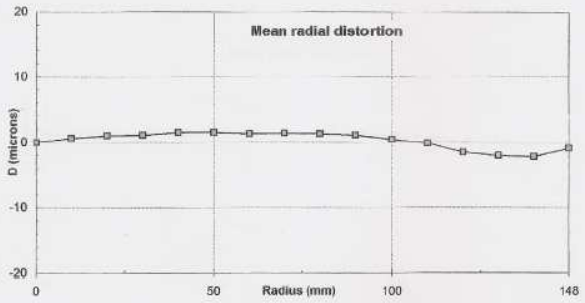
	x[mm]	y[mm]
1	106.006	-106.006
2	-106.003	-106.002
3	-106.003	106.003
4	106.007	106.006

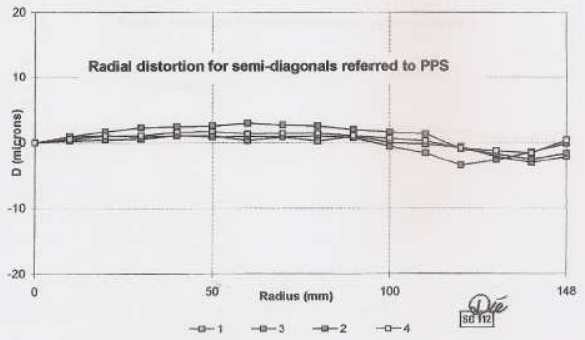
	x[mm]	y[mm]
5	0.000	-110.008
6	-110.002	-0.001
7	-0.001	110.004
8	110.005	0.000



RC20 15/4 UAGA-F No. 13144 21.05.2008

Aperture:	4.0
Filter on goniometer:	VIS (400 - 700 nm)
Filter on camera:	--
C.F.L. :	153.00 mm

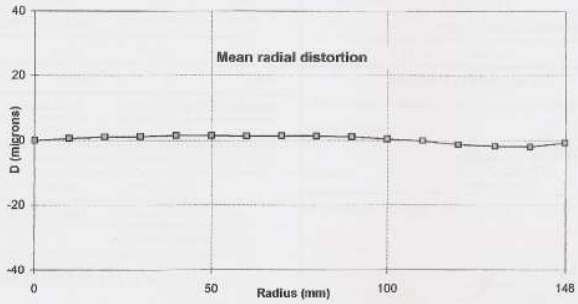


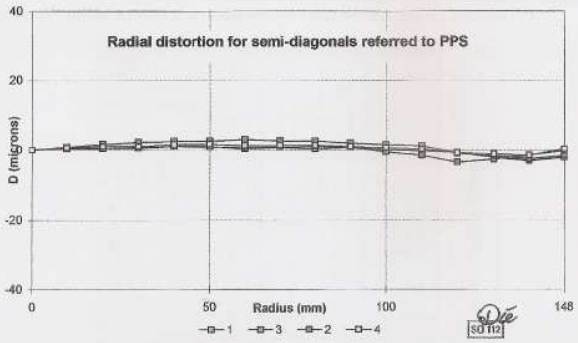


SO 112

RC20 15/4 UAGA-F No. 13144 21.05.2008

Aperture:	4.0
Filter on goniometer:	VIS (400 - 700 nm)
Filter on camera:	--
C.F.L. :	153.00 mm





TELECOPTER

A negatívanyag repülési, és nyt.adatai:

ISO 9001

Munkaszám: 211904 GEOSZ PLH: HU.ME-0097 Munkaterül Székesfehérvár

Felszállás dátuma:	2011.08.15.	TC 11-03 9363 -tól	248 db
Fotó kezdete:	9:48 Össz fotó idő:	9646 -ig	0 db
Fotó befejezése:	11:17 1:29	Össz mért: 0 m	248 db

Pilóta:	Takács, Attila	Repülőgép:	HA-SVA
Navigáció:	CCNS4	V vál:	200 km/óra
TERVEZETT ADATOK:		Méretarány:	1:8000
Bx :	732 m	Átfedés :	60 %
By :	1280 m	H rel :	1224
Fotós:	Váradi Zsolt	Kamara:	RC 30 angol
Szűrő:	400	f =	152,9
Film típus :	AGFA COLOR	Érzékenység:	200 EAFS
Mért fényérték :	PEM2A	Emulzió szám :	
Exp. idő:	1/ 400-500	Rekesz:	4
Látás Km:	30	Felhőzet :	felhőtlen

Sorok sorrendje:
14,13,12,11,10,9,8,7,6,5,4,3,2,1,15

Labor munka ideje:	2011.08.27.
Hívási módszer:	AGFA C-41
Hívási mód :	Gépi COLENTA 30W-6N
Hívási idő: 3:20 mp	Hívási hőfok: 38 fok

Készítette a Telecopter kft

1112 Budapest Kőérberki út 36. Postacím: 1518 Bp. Pf 56

Telefon: 249-9815

Budapest:

Váradi Sándor
Ügyvezető igazgató

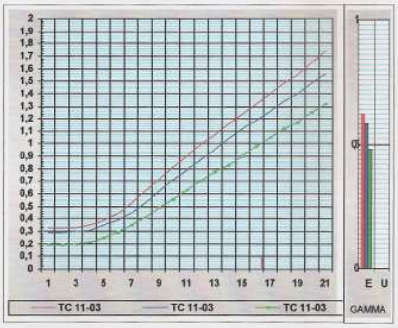
A MH Geoinformációs Sz 46/220 . nyt.sz. alapján:

"Szabadon felhasználható"

Dátum:.....

Váradi Sándor
Ügyvezető igazgató

A fényképező repülés, a DAT 1 szabályzat szerinti minőségbiztosításnak megfelel.



Minősítés az L1. utasítás szerint:

Oldalfedés(By):kiváló	Hosszfedés(Bx) kiváló	Elfordulás : jó	Keretadatok leképz: jó	Magasságtartás: jó	Fotográfiai minőség: jó

TELECOPTER — **A negatívanyag repülési, és nyt.adatai:** — ISO 9001

Munkaszám: 211904 TÉSZ LÜI HU.ME-0097 Munkaterület: Székesfehérvár

Felszállás dátuma:	2011.08.15.	TC 11-03	9363 -tól	Éles:	248 db
Fotó kezdete:	9:48	Össz fotó idő:	9646 -ig	Próba:	0 db
Fotó befejezése:	11:17	1:29	pilóta: Takács, Attila	Össz:	248 d

Sorok 14,13,12,11,10,9,8,7,6,5,4,3,2,1,15

MAGYAR HONVÉDSÉG GEOINFORMÁCIÓS SZOLGÁLAT

Nyt. szám: 46/2220 — KÉPSZÁMOK — 1. sz. példány

-TÓL	-IG	Megjegyzés:	-TÓL	-IG	Megjegyzés:
9553	9556	(4) Bizalmas	2030.12.31.-ig		
9571	9574	(4) Bizalmas	2030.12.31.-ig		
A minősített felvételeket az MH GEOSZ tárolja / archívja					
Szkennelés után a minősített felvételek digitális más-					
kolása megtörtént, a másolat állományok szaba-					
don felhasználhatók.					
A kezdő és záró képszám közötti felvételek					
9363	9646	a fenti minősített	információt		
tartalmazók kivételével szabadon felhasználhatók.					

Dátum: 2011. szept. 06-án — aláírás

1oldal. Összesen: 1