

Fotogrammetria 8.

Ortofotoszkófia

Balázsik, Valéria

Fotogrammetria 8.: Ortofotoszkópia

Balázsik, Valéria

Lektor: Dr. Barsi , Árpád

Ez a modul a TÁMOP - 4.1.2-08/1/A-2009-0027 „Tananyagfejlesztéssel a GEO-ért” projekt keretében készült. A projektet az Európai Unió és a Magyar Állam 44 706 488 Ft összegben támogatta.

v 1.0

Publication date 2010

Szerzői jog © 2010 Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar

Kivonat

A modul az egyképes fotogrammetriai eljárásokat tartalmazza. Csoportosításban ismerteti a síkvidékről és a hegy- és dombvidékről készült felvételek analóg, analitikus és digitális feldolgozási technológiáit. Bemutatja az ortofotoszkópia termékeit, az ortofotók analóg és digitális változatait, azok jellemző tulajdonságait.

Jelen szellemi terméket a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény védi. Egészének vagy részeinek másolása, felhasználás kizárólag a szerző írásos engedélyével lehetséges.

Tartalom

8. Ortofotószkópia	1
1. 8.1 Bevezetés	1
2. 8.2 Az ortofotószkópiái eljárások osztályozása	1
2.1. 8.2.1 Síkfotogrammetria	1
2.1.1. 8.2.1.1 A síkfotogrammetria analóg megoldásai	1
2.1.2. 8.2.1.2 A síkfotogrammetria analitikus megoldása, analitikus képátalakítás	7
2.1.3. 8.2.1.3 Síkfotogrammetria digitális eljárással	7
2.2. 8.2.2 Ortofotószkópia domb- és hegyvidéken	7
2.2.1. 8.2.2.1 Analóg eljárások	8
2.2.2. 8.2.2.2 Analitikus eljárás	12
2.2.3. 8.2.2.3 Digitális eljárások	13
2.3. 8.2.3 Ortofotótérképek	17
3. 8.3 Összefoglalás	17

8. fejezet - Ortofotoszkópia

1. 8.1 Bevezetés

A fotogrammetriai úton történő adatnyerésről már korábban írtuk, hogy egyetlen kép alapján a térbeli tárgy rekonstruálása nem lehetséges. Vannak feladatok, amikor célunk csupán terepi síkkoordináták meghatározása, ez sík terep esetén egy mérőkép vagy fénykép alapján megoldható. Ahhoz, hogy fotogrammetriai kiértékeléssel térbeli adatokhoz jussunk, szükséges, hogy az objektumról, terepről legalább két felvétel álljon a rendelkezésünkre. Egy kép alapján csak abban az esetben lehetséges a térbeli adatnyerés, ha rendelkezésünkre áll a tárgy vagy terep geometriai alakját leíró digitális modell. Az **ortofotoszkópia** témakörébe tartoznak mindazok az eljárások, melynek során sík vagy domborzatos terepről készült **egyetlen analóg vagy digitális kép** kiértékelésével, feldolgozásával jutunk olyan adatokhoz, analóg vagy digitális termékekhez, melyek az ortogonális vetítés szempontjából geometriailag helyesek, a perspektív és magasságkülönbségekből adódó torzulásoktól mentesek.

2. 8.2 Az ortofotoszkópiai eljárások osztályozása

Az egyképes fotogrammetriai eljárásokat a terep jellege és a kiértékelési eljárás szerint a következőképpen csoportosíthatjuk:

Egyképes fotogrammetriai eljárások

(Ortofotoszkópia)

sík terep/felület	domb- és hegyvidék
<ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> <i>analóg eljárás</i><ul style="list-style-type: none">▪ perspektív vagy optikai képátalakítás<input type="checkbox"/> <i>analitikus eljárás</i><ul style="list-style-type: none">▪ analitikus képátalakítás<input type="checkbox"/> <i>digitális eljárás</i><ul style="list-style-type: none">▪ képátalakítás (= digitális ortofoto)	<ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> <i>analóg eljárás</i><ul style="list-style-type: none">▪ képátalakítás illesztőpont korrekcióval▪ övenkénti képátalakítás▪ poliédersíkos képátalakítás▪ differenciális képátalakítás<input type="checkbox"/> <i>analitikus eljárás</i><ul style="list-style-type: none">▪ analitikus monoplotting<input type="checkbox"/> <i>digitális eljárás</i><ul style="list-style-type: none">▪ digitális ortofotó▪ digitális monoplotting

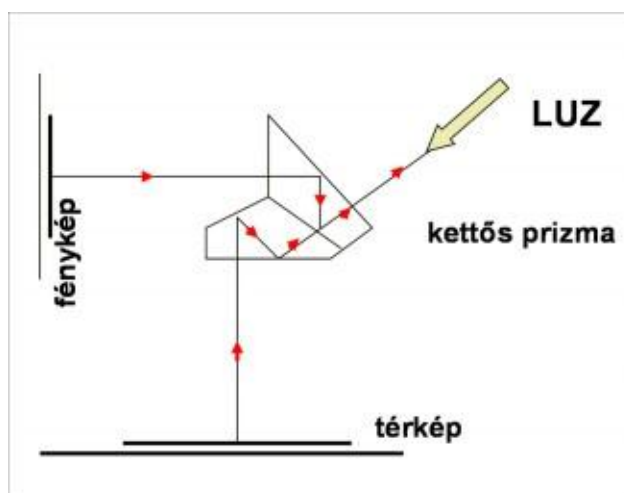
2.1. 8.2.1 Síkfotogrammetria

Síkfotogrammetriai eljárások során sík terepről készült egyetlen kép fotogrammetriai feldolgozását végezzük, melynek eredménye egy perspektív torzulástól mentes, adott méretarányú tónusos kép az ún. ortofotó vagy adott vetületi síkra vonatkozó síkkoordináták. A pontossági igényeket és az előállítandó termék (ortofotó) méretarányát figyelembe véve néhány m-es terepi szintkülönbség általában véve még megengedett. Ahogyan már említettük, légifényképezéskor sík terepről csak akkor kapunk torzulásmentes, egész képre nézve egységes méretarányú felvételt, ha a kameratengely függőleges helyzete mellett fényképeztünk. A gyakorlatban azonban még az ún. nadírfelvételek esetében is a kameratengely a függőlegessel néhány fokos szöget zár be. (4-5°-os szögértékig soroljuk a közel függőleges tengelyű vagy közel nadírfelvételek kategóriájába.) A fényképezés pillanatában a terepsík és a képsík egymással kollineár helyzetben van. (2.2.1.3 fejezet) A felvételi sugárnyaláb és az eredeti kollineár helyzet visszaállításával a kameratengely dőlése miatti perspektív torzulás megszüntethető lenne, és egy tárgyasztalon a torzulásmentes képet felfoghatnánk. Légifényképek feldolgozásánál ez műszerteknikailag nem kivitelezhető, hiszen az eredeti sugárnyalábbal az eredeti kollineár helyzet mellett csak a felvételkori kameraállandó-repülési magasság arány (C_0/h_0) biztosítaná pontról pontra az éles képet. (8-4. ábra)

2.1.1. 8.2.1.1 A síkfotogrammetria analóg megoldásai

Feladatunk egy az eredetinek *megfelelő kollineár* helyzet visszaállításával a perspektív torzulás megszüntetése, geometriailag helyes, adott méretarányú, minden pontban éles kép előállítása. Az így előállt kép megfelel az

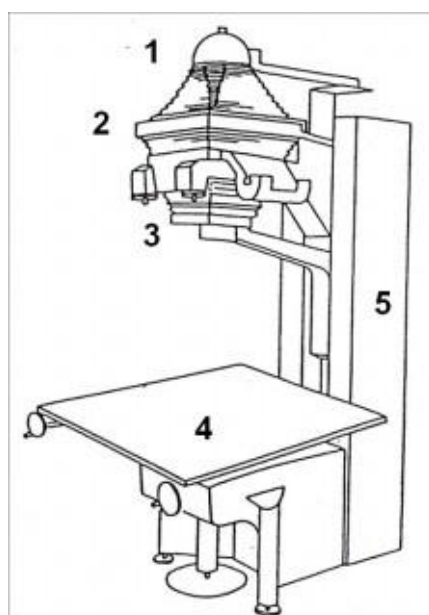
ortogonális vetítés szabályainak. Ezt a műveletet nevezzük **perspektív vagy optikai képátalakításnak**, melynek műszerei a képátalakítók. A műszerek lehetnek **képzetes** (8-1. ábra). vagy **valós vetítésűek** (8-2. ábra) A képzetes vetítésű képátalakítókat egyszerűbb feladatokra, térképi változások átvezetésére, térképek kiegészítésére használjuk.



8-1. ábra Képzetes vetítésű képátalakító

A műszer egy kettős prizma segítségével biztosítja a térkép és a légifénykép illesztését és egyidejű szemlélését.

A valós vetítésű képátalakítókkal történő fotogrammetriai feldolgozás során a tárgyasztalra helyezett fényérzékeny filmet az ott előállt, geometriailag helyes, optikailag éles képpel megvilágítjuk, és ilyen módon rögzítjük az **ortofotót**.



8-2. ábra Valós vetítésű képátalakító

A képátalakító műszer főbb elemei:

1. megvilágító berendezés
2. képtartó
3. vetítő objektív
4. tárgyasztal
5. automatikák

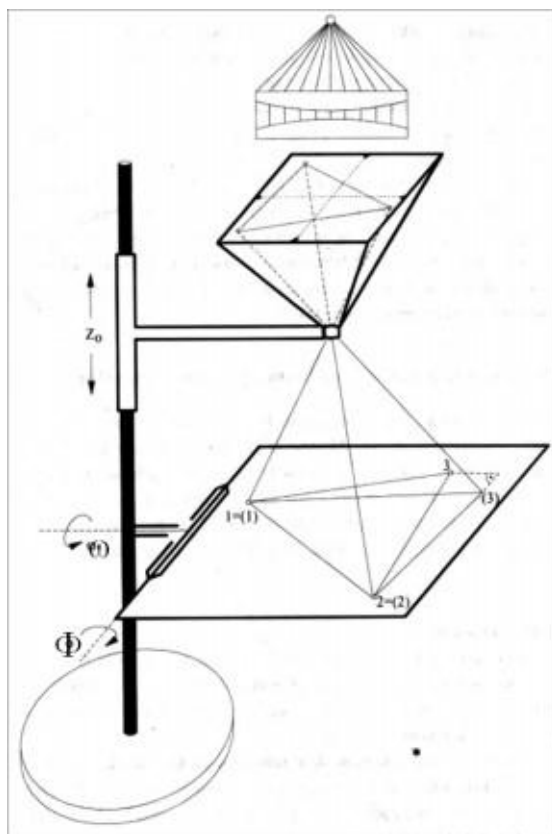
- inverzor
- metszövonal-vezérlőmű
- főpont-vezérlőmű

Az automatikák nem részei minden képátalakítónak.

A valós vetítésű képátalakítókkal a perspektív képátalakítás két módon hajtható végre: a képátalakítást elvégezhetjük a belső tájékozás visszaállításával, és elvégezhetjük a belső tájékozás visszaállításával nélkül.

-Perspektív képátalakítás a belső tájékozás visszaállításával

Léteznek olyan képátalakító berendezések, amelyek a három belső tájékozási adat (C_k, ξ_0, η_0) és három külső adat (Z_0, ω, φ) ismeretében lehetővé teszik a kollineár helyzettel megegyező helyzet visszaállítását. A három külső adat ismeretében hiányában három illesztőponttal is elvégezhető a képátalakítás. A szükséges külső adatokat ismerve, azokat a képátalakító berendezésen egyszerűen beállítjuk. Ha a külső adatok helyett három illesztőpont áll rendelkezésünkre, akkor a kivetített képi pontokat a szükséges mozgások segítségével hozzuk fedésbe az alaplapra méretarányosan felszerkesztett megfelelőikkel.



8-3. ábra Képátalakítás illesztőpontokkal

-Perspektív képátalakítás a belső tájékozás visszaállításával nélkül

Ennél a módszernél úgy állítjuk elő az eredeti sík terep vagy sík alakzat torzulásmentes, kerek méretarányú, minden pontjában éles képét a tárgyszíkon, hogy azok között a kollineár helyzettel egyenértékű helyzetet teremtünk. Ehhez a következő optikai és geometriai feltételek teljesülése szükséges:

- Scheimpflug feltétel: a képsíknak, az objektív egyesített fősíkjának és a tárgysíknak (vetítési v. térképezési sík) közös metszövonalra legyen.
- távolságtétel: az optika alapegyenletének a képsík és a vetítési sík minden homológ pontjára teljesülnie kell. (éles leképezés minden pontban)
- A kollineár helyzet feltételei (geometriai feltétel; 2.2.1.3 fejezet)

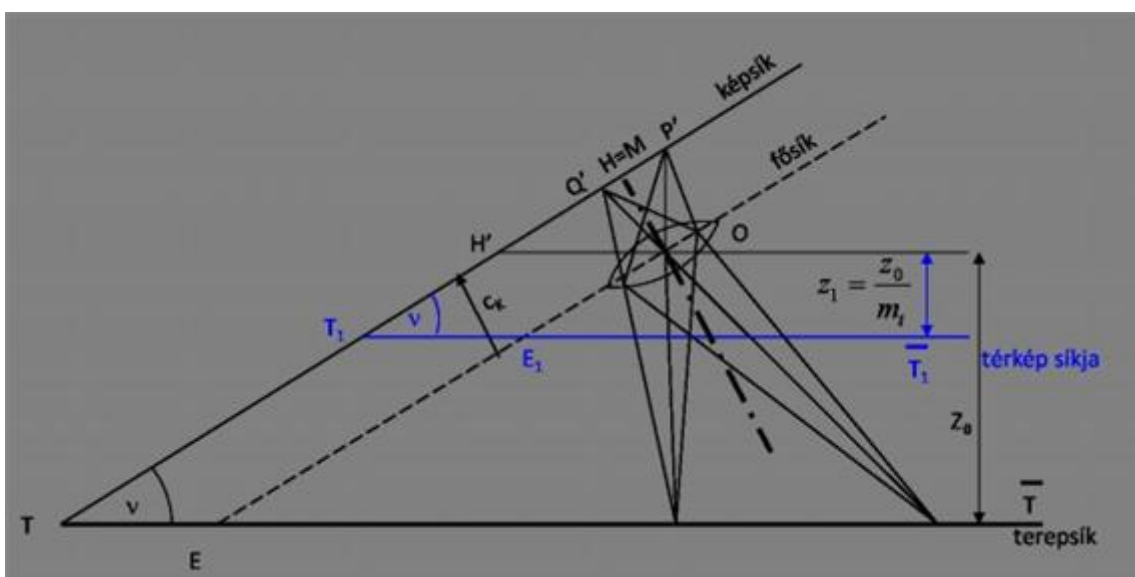
Előzőeket együttesen figyelembe véve, azokat két feltételben megfogalmazhatjuk, mely feltételek eleget tesznek valamennyi optikai és geometriai követelménynek.

A képátalakítás egyesített optikai és geometriai feltételei:

- Scheimpflug feltétel teljesülése
- a horizontvonal az objektív egyesített fősíkjától f_c távolságra legyen:

$$f_c \neq C_k$$

Az f_c érték a horizontpontnak (H') az objektív egyesített fősíkjától (H_{e1}) való távolsága, amely különbözik a kameraállandó (C_k) értékétől. (8-5. ábra, jobb oldal) Ennek teljesülése az **eltolási tétel** (8-4. ábra) és a **forgatási tétel** (8-5. ábra) egymást követő alkalmazásával lehetséges.

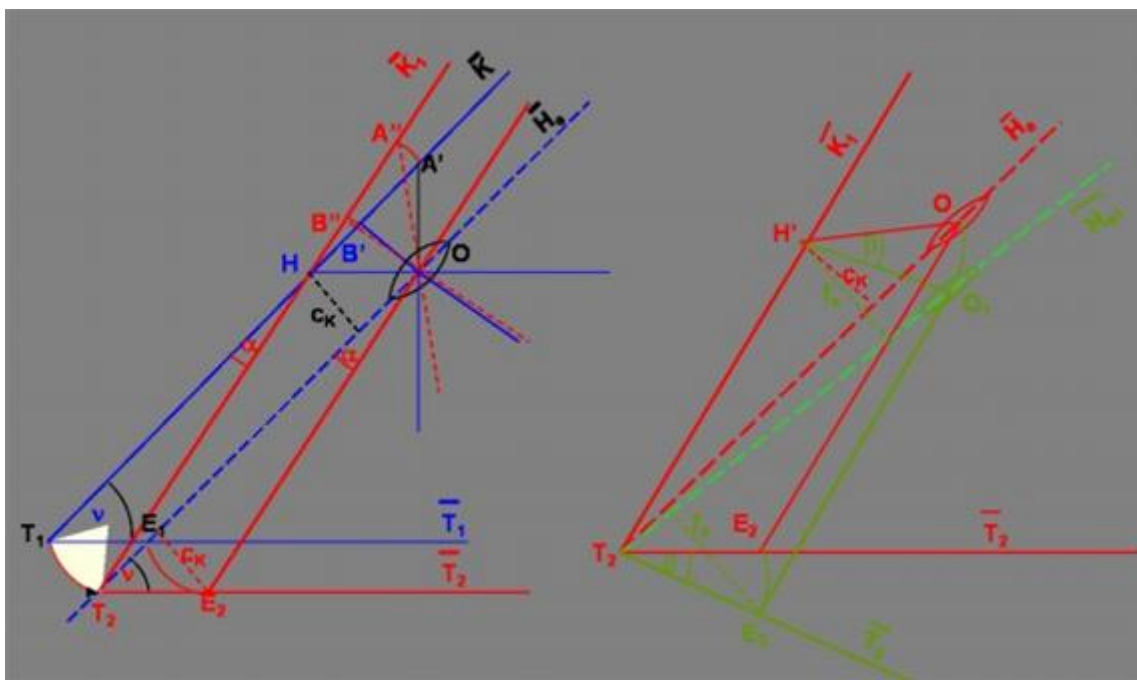


8-4. ábra Eltolási tétel alkalmazása

Emlékeztetőül:

- Kollineár helyzetű síkoknál a tárgysík eltolása csak a pontmező méretarányát változtatja meg... (8-4. ábra)
- Kollineár helyzetű síkok hajlásszöge megváltoztatható a kollineár helyzet megbontása nélkül... (8-5. ábra)

Az eltolási és forgatási tételekről bővebben a 2-es modul 2.2.1.4 fejezetében olvashatunk.



8-5. ábra Forgatási tétel alkalmazása

A képátalakító berendezésben a *tárgytávolság* a repülési magasság (h), helyett a vetítési középpont-kivetített képpont távolsága (t) lesz. (eltolási tétel alkalmazása; 8-4. ábra) Amennyiben a műszer rendelkezik az automatikák közül **inverzorr**al, az gondoskodik a kép és tárgytávolság automatikus beállításáról, vagyis az éles leképzésről. A forgatási tétel alkalmazásánál, a képsík-tárgysík hajlásszögének megváltoztatása esetén a Scheimpflug feltétel biztosítása az automatikák közül a **metszővonal-vezérlőmű** feladata, a szükséges f_s érték beállítása pedig a **főpont-vezérlőmű** segítségével történik. A képátalakító berendezések nem mindegyike rendelkezik mindhárom automatikával. Vannak műszerek, amelyekbe csak egy vagy kettő automatika került beépítésre. Ezek hiányában a szükséges beállításokat a kiértékelő személynek kell megtennie. Az automatikával nem rendelkező műszereknél a független állítási lehetőségek száma 8, automatikával rendelkező műszereknél az automatikák számától függően ennél kevesebb, de legalább 5.

A 8-6. ábrán jelölt mozgatási lehetőségek a műszeren:

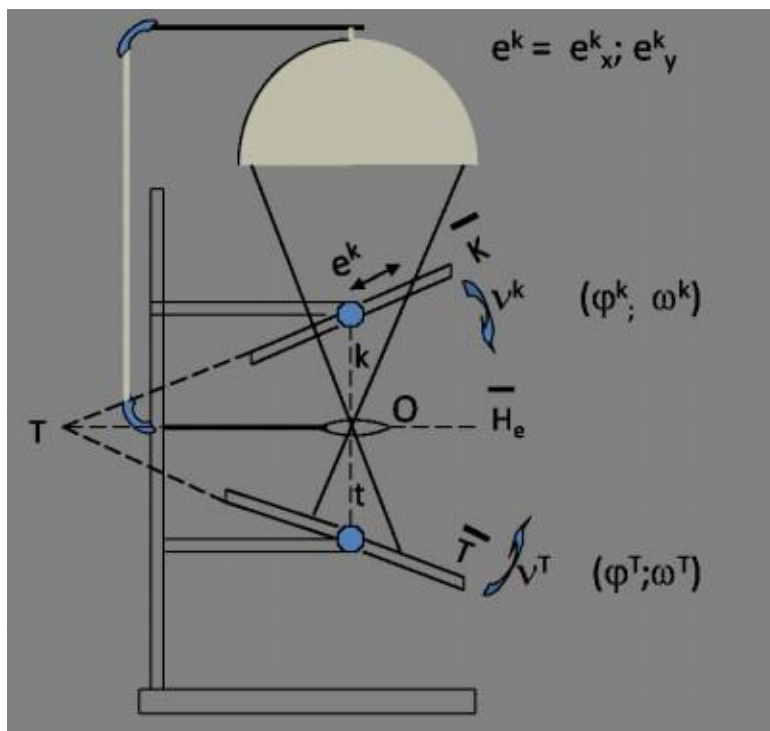
$e_x^k; e_y^k$ - képeltolás komponensei

$\varphi^k; \omega^k$ - képdöntés két egymásra merőleges tengely körül

$\varphi^T; \omega^T$ - tárgyasztal döntése két egymásra merőleges tengely körül

k - képtávolság

t - tárgytávolság

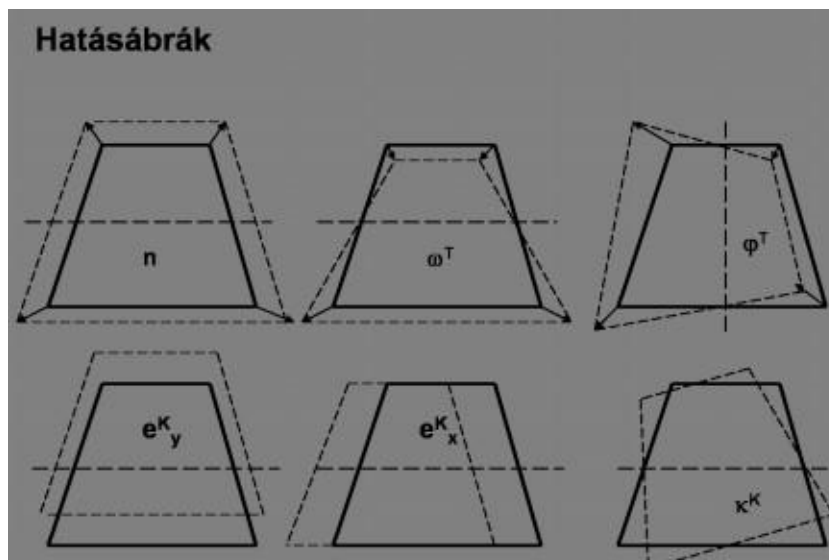


8-6. ábra Képatalakító műszer metszete és mozgási lehetőségei

A valós vetítésű képatalakító műszereket szerkezeti felépítésük jellemzi, úgy mint:

- Döntési tengelyszám (a képtartó és a tárgyasztal döntési tengelyeinek száma)
 - egy döntési tengelyű
 - két döntési tengelyű
- Képelesség biztosítása
 - automatikus (inverzor+metszővonal-vezérlőmű)
 - félautomatikus (inverzor vagy metszővonal-vezérlőmű)
 - nincs automatikája
- A szerkezeti elemek elrendezése (mely sík rögzített vízszintesen)
 - képsík szerinti
 - optikai tengely szerinti

A szerkezeti elemek – így műszertípusok - szerint a képatalakításnak különböző végrehajtási technológiái vannak. A kollineár helyzetet 8 adattal vagy 4 elempárral rögzíthetjük, ennek megfelelően a képatalakítás 4 illesztőpont alapján elvégezhető. A kívánt méretarányú alaplapon felszerkesztett 4 db illesztőpontot empirikus úton hozzuk fedésbe kivetített megfelelőikkel. Így tudjuk a képsíkot és a tárgysíkot megfelelő kollineár helyzetbe állítani, és ezzel áll elő a terepsík vagy tárgysík geometriailag torzítatlan, kerek méretarányú képe a tárgyasztalon, melynek fotográfiai rögzítésével jön létre az ortofotó. Az egyes mozgatások hatásait egy négyzög alakjának és helyzetének változásain keresztül mutatjuk be a 8-7. ábrán.



8-7. ábra Az egyes mozgások hatásai

n : a tárgyávolság változtatásával a méretarány változik

ω^T : a tárgyasztal X tengely körüli döntésének hatása

ϕ^T : a tárgyasztal Y tengely körüli döntésének hatása

e^k_y : a kép y irányú eltolásának hatása

e^k_x : a kép x irányú eltolásának hatása

κ^k : a kép z tengely körüli elforgatásának hatása

Az illesztőpontokon ellenőrzött mozgások egymás utáni, többszöri ismétlésével érhetjük el azok „illeszkedését”, így a kollineár helyzetnek megfelelő helyzetet.

2.1.2. 8.2.1.2 A síkfotogrammetria analitikus megoldása, analitikus képtá alakítás

Csakúgy, mint az előbbieken ismertetett analóg, empirikus megoldás, ez a módszer is **4 illesztőpontot** igényel. A képsíkon és tárgysíkon egyaránt ismert 4 db közös pont, vagyis illesztőpont, centrális vetítés esetén lehetővé teszi a síkok közötti projektív transzformáció matematikai összefüggéseinek felírását:

$$X = \frac{a_1\xi + a_2\eta + a_3}{c_1\xi + c_2\eta + 1} \quad \begin{array}{l} X, Y: \text{ terepi síkkordináták} \\ \xi, \eta: \text{ képkordináták} \\ a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, c_1, c_2: \\ \text{ átszámítási együtthatók} \end{array}$$

$$Y = \frac{b_1\xi + b_2\eta + b_3}{c_1\xi + c_2\eta + 1}$$

Az illesztőpontok alapján meghatározott 8 db együttható ismeretében bármely képi pont terepi koordinátái számíthatóak.

2.1.3. 8.2.1.3 Síkfotogrammetria digitális eljárással

Ennek során sík terepről készült dőlt tengelyű, digitális felvétel ortogonális vetületét állítjuk elő, tetszőleges magasságú alapszintre vonatkoztatva. Ezt a fotogrammetriai munkaállomások digitális képfeldolgozó programjainak segítségével végezzük. A külső- és belső adatok ismeretében matematikai összefüggések segítségével meghatározzuk a vetítősugár metszését a választott alapszinttel és a torzulásmentes kép pixeljeihez az eredeti, perspektív torzult kép szürkességi értékeiket rendeljük.

2.2. 8.2.2 Ortofotoszakópa domb- és hegyvidéken

Ha nem sík területről készítünk felvételt, azt a magasságkülönbségből eredő torzulások terhelik. A repülés sajátosságaiból adódóan emellett a perspektív torzulással is számolnunk kell. Ezeknek a felvételeknek a feldolgozási technológiái között, akárcsak a síkfotogrammetriai eljárásoknál, megtaláljuk az analóg, az analitikus és a digitális módszereket. Az analóg megoldásokat ma már a gyakorlatban nem alkalmazzák, ezekkel az eljárásokkal ortofotót nem állítanak elő, de termékeivel még találkozhatunk, korábbi állapotokra vonatkozó nagy mennyiségű információkat tartalmaznak, digitalizált változataik térinformatikai rendszerek adatbázisába illeszthetőek. Ezeket az eljárásokat is röviden ismertetjük.

2.2.1. 8.2.2.1 Analóg eljárások

- *képátalakítás illesztőpont korrekcióval*

Ennél az eljárásnál figyelembe vesszük az illesztőpontok magasságkülönbségből eredő képpont eltolódását. Az illesztőpontokat ennek megfelelő korrekcióval látjuk el az alaplapon és ezt követően hozzuk fedésbe a képi és alaplap pontokat.

- *övenkénti képátalakítás*

Akkor alkalmazhatjuk ezt az eljárást, ha a lefényképezett terület felosztható magassági tartományokra, övekre, melyeken belül a magasságkülönbség okozta torzulás már elhanyagolható. Az egyes tartományokra, (ezeket síknak tekinthetjük), az optikai képátalakítás módszerével elvégzett illesztést követően történhet a megvilágítás úgy, hogy közben a film többi részét gondosan kitakarjuk. Ez az eljárás akkor alkalmazható gazdaságosan, ha az övek száma a nyolcat nem haladja meg.

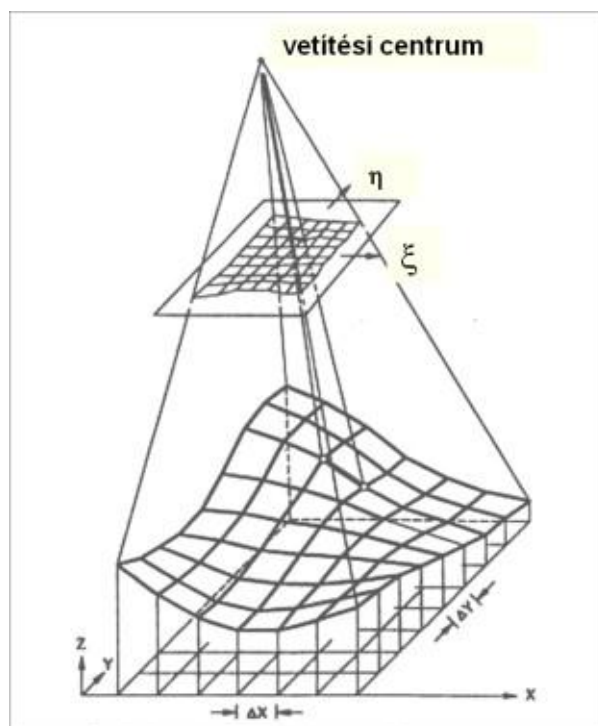
- *poliédersíkos képátalakítás*

Ez az eljárás annyiban hasonlít az előzőekben ismertetett övenkénti képátalakítás eljáráshoz, hogy itt is részterületekre osztjuk a teljes képterületet, ám az illesztést az egyes részekre nézve nem egy közepes magasságú, vízszintes síkra végezzük el, hanem az adott részterülethez jól illeszkedő dőlt helyzetű érintő síkra.

Az övenkénti és a poliédersíkos képátalakítás eljárások mindegyikére jellemző, hogy az elérhető pontosságot a magassági tartományok száma erősen befolyásolja.

- *differenciális képátalakítás (analóg ortofotó eljárás)*

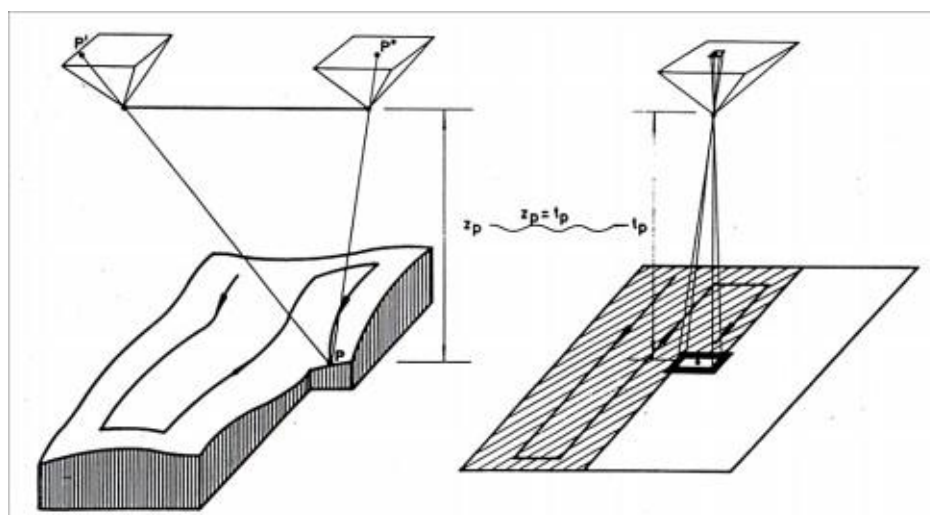
Nagyobb magasságkülönbséggel rendelkező terep esetén nem elég a képet csupán néhány magassági tartományra osztani. Bizonyos magasságkülönbséget meghaladó érték felett a képet olyan egységes elemi részekre kell felbontani, ahol minden egyes elemen belül a torzulás mértéke már bizonyosan elhanyagolható. Nem sík területről készült képeknél a képi pontok torzulásai a perspektív torzulásból és a magasságkülönbségből eredő torzulásokból együttesen adódnak.



8-8. ábra Torzulások dombvidéki területéről készült képen

A 8-8. ábra mutatja egy - a vetületi síkon - szabályos X, Y rács ξ, η képsíkon fellépő torzulásait dombvidéki területen, centrális vetítés esetén. A vetületi síkon szabályos négyszögek a képen szabálytalan négyszögekben képződnek le. Differenciális képátalakításkor feladatunk tehát a ξ, η képsíkon jelentkező torzulások elemenkénti megszüntetése, majd a torzulásmentes képelemek kívánt méretarányban egymás mellé fényképezésével az ortogonális vetületnek megfelelő kép előállítás. Ehhez szükséges a mérőkép **belső** és **külső adatainak**, valamint a kép által lefedett terület **magassági adatainak** ismerete.

A differenciális képátalakítás műszerei az ortoprojektorok, melyek lehetnek közvetlen és közvetett vezérlésűek.



8-9. ábra Közvetlen vezérlésű ortoprojektor

A *közvetlen vezérlésű ortoprojektorok* (8-9.ábra) egy térfotogrammetriai műszerből és egy vetítő kamerából állnak. A térfotogrammetriai műszeren végzett folyamatos térbeli irányzás biztosítja az adott vonalelemhez tartozó terepi magasság ismeretét, amely alapján a torzulás kiküszöbölhető.

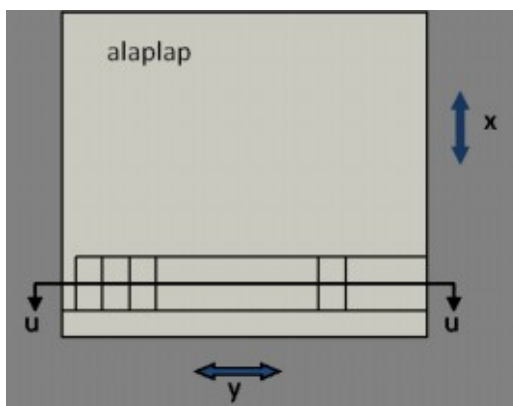
A *közvetett vezérlésű ortoprojektorok* a vonalelemre vonatkozó torzulás megszüntetését egy **digitális magassági modell** alapján valósítják meg a következőképpen: az x, y síkban vagyis az ortofotó síkjában egy nagyon keskeny, de a négyzetrács méretével megegyező hosszúságú rést vezetünk y irányban és ezen keresztül folyamatos mozgás közben vetítjük át a ξ, η képsík megfelelő vonalelemét a szükséges korrekciók mellett. Az

így előállt sorokat x irányú sorváltással egymás mellé fényképezzük. (8-10. ábra) A magassági modellben csak a rácspontok magassága ismert. A rács „belsejében” lévő részletekhez tartozó magasságot számítással határozzuk meg. Abban az esetben, ha a rácsvonalak mentén lineáris összefüggést alkalmazunk, a képen szabálytalan négyyszög fotográfiai átalakítása matematikailag egy bilineáris transzformációval írható le.

$$\xi = a_{01} + a_{11}x + a_{21}y + a_{31}xy$$

$$\eta = a_{02} + a_{12}x + a_{22}y + a_{32}xy$$

A nyolc paraméter számítása rácsnégyszögenként a sarokpontok x,y és a nekik megfelelő ξ,η koordináták alapján történik. Ezek ismeretében lehetséges a négyyszögön belüli elemi képrészek (vonalelemek) torzulásait „korrigálni” és egy résen keresztül egymás mellé fényképezve az ortofotót előállítani.

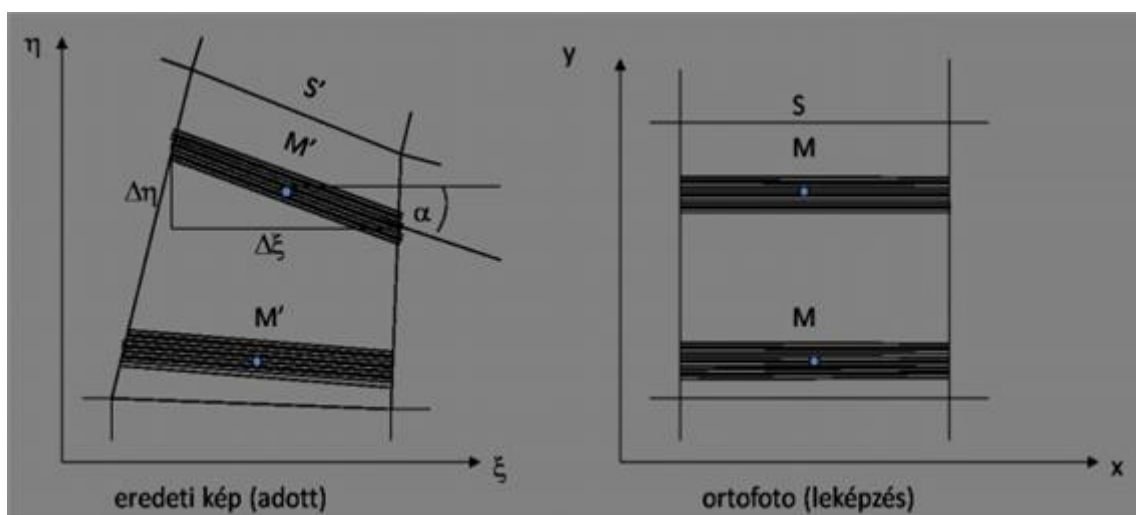


8-10. ábra Az ortofotó síkján megjelenő torzulásmentes négyszögek

Minden egyes vonalelemre a következő korrekciót kell elvégezni a műszer vezérlésével:

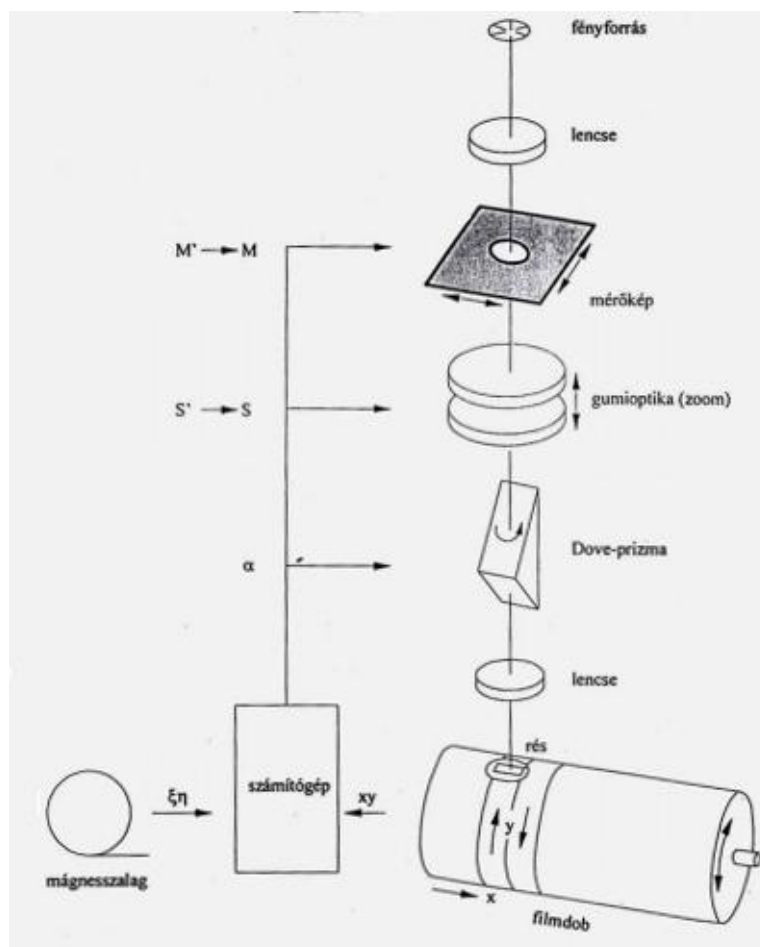
- két eltolás, amely a vonalelem mindenkor középcentjára vonatkozik ($M' \rightarrow M$)
- forgatás α szöggel
- méretarány-változtatás ($S' \rightarrow S$)

(8-11. ábra)



8-11. ábra Vonalelemekkel történő differenciális képátalakítás

A műszer vezérlésénél a két eltolást a mérőkép kétirányú elmozgatásával, a forgatást egy Dove-prizma beépítésével és a méretarány-változtatást gumioptika alkalmazásával oldották meg. A digitális vezérlésű optikai képátvitellel működő képátalakító berendezések szerkezeti vázlatát mutatja a 8-12. ábra az egyes korrekciók megvalósítását biztosító műszerelemekkel.



8-12. ábra Digitális vezérlésű differenciális képátalakító elvi felépítése

A vezérlési adatokat rácsnégyszögenként számítjuk. Ehhez felhasználjuk a terepet leíró magassági modellt, mely valójában a rácsnégyszög sarokpontjainak térbeli koordinátái. Ezek többféle adatforrásból származhatnak:

- magassági adatbázis
- profilmérés sztereoképpáron
- szintvonalkiértékelés sztereoképpáron
- térkép magassági tartalmának digitalizálása

A különböző forrású magassági adatokból kerül előállításra a digitális felületmodell, egy szabályos rácsháló, amelyből rácsnégyszögenként számítjuk a differenciális képátalakításhoz szükséges paramétereket.

Itt említjük meg, hogy *sík felületről készült, erősen dőlt tengelyű felvételek* torzulásai is megszüntethetők *differenciális képátalakítással*. Az optikai képátalakítás eljárása nem minden felvétel feldolgozásánál alkalmazható. A perspektív képátalakító műszerek tárgyszalának döntési lehetősége korlátos ($\pm 10^\circ$), így a differenciális képátalakítás adhat megoldást nagyobb dőlésű képek ortogonális vetületűvé alakítására. Az így előállított ortofotók pontossága megfelel a perspektív képátalakítással készült ortofotókénak.

A differenciális képátalakítás hibaforrásai

A differenciális képátalakításnál előforduló hibákat, hibalehetőségeket három csoportba sorolhatjuk. A csoportokon belül is többféle hibával számolhatunk.

1. A magassági adatok hibái:

- magasságkülönbségből eredő hiba; a terepszintből kiemelkedő magas objektumok (épület, fa) oldalát látjuk az ortofotón, kivéve a Nadirpont és környezetében lévő tárgyak esetében

- a digitális magassági modell támpontjainak mérésénél elkövetett hiba
- a terepmodell valódi magasságát nem ismerjük; a DTM a felület matematikai leírása csupán
- a rácspontok Z koordinátáinak interpolációjában elkövetett hiba

1. A kiértékelő műszer és a képanyag hibái

- műszerhibák és az eredeti képanyag hibái
- a differenciális képátalakító műszer interpolációs hibája (csak lineáris interpoláció)

1. A kiértékelés sajátosságaiból eredő hiba

- a képek beállítási hibái a képátalakító műszerben
- a folyamatos részvezetésből származó hiba
- a vízszintes síkokkal való felülethelyettesítésből eredő hiba
 - képkiesés (domb- és hegyoldalakat ábrázoló részeken tapasztalható, amikor a vetítősugarak a terepi lejtővel kis szöveget zárnak be, vagyis a lejtésirány a kép széle felé mutat)
 - képduplázódás (a lejtőirány a Nadírpont felé mutat)
 - fűrészfogas leképzés (vonalas létesítményeknél tapasztalható az ortofotón)

Az analóg ortofotók további feldolgozása

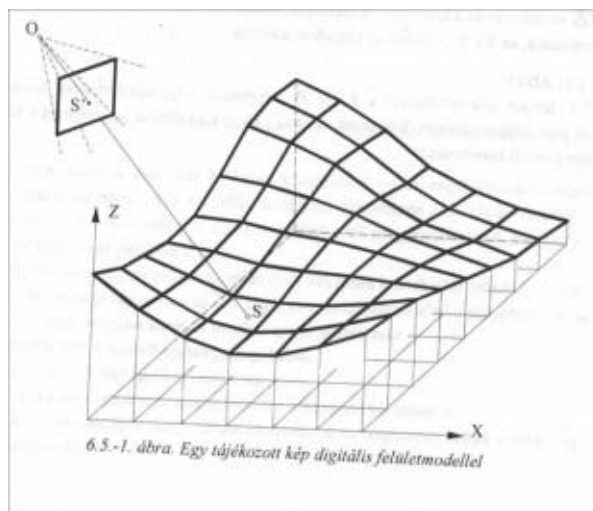
Az ortofotó további kiértékelése lehetséges oly módon, hogy annak tartalmát bizonyos tematika szerint grafikusán értékeljük ki, ezt nevezzük analóg módszernek. Mivel ez a termék egy kerek méretarányú, merőleges vetületű, vagyis torzulásmentes tónusos kép, arról – akár csak egy térképről – távolságot, területet határozhatunk meg.

Az ortofotó további kiértékelésének analitikus módszere a pontonkénti digitalizálás. Így előállíthatunk egy analóg ortofotó alapján egy digitális vektoros térképet.

2.2.2. 8.2.2.2 Analitikus eljárás

-Analitikus monoplotting

Dombvidékről készült egyetlen kép analitikus kiértékelése az ún. analitikus monoplotting. A feladathoz adott egy magassági torzulásokkal terhelt kép és ismerjük a terepet leíró digitális magassági modellt. A modell rácshálójának olyan sűrűnek kell lenni, hogy a rácspontok között lineárisan lehessen interpolálni. Feltétel még a mérőkép belső és külső tájékozási adatainak ismerete. A 8-13. ábra alapján a mérőképen azonosított pontokhoz (ilyen képpont S') tartozó vetítősugarak egy térbeli sugárnyalábot határoznak meg. Ennek a sugárnyalábnak a digitális felületmodellel alkotott dőféspontjai (S' -höz tartozó vetítősugár dőféspontja S) megadják a képpontoknak megfelelő tárgyterbeli X, Y és Z koordinátákat.



8-13. ábra Analitikus monoplotting

Egy ilyen S dőféspont koordinátának számítása a térbeli hasonlósági transzformáció összefüggésének felhasználásával történik.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + m R \begin{bmatrix} \xi - \xi_0 \\ \eta - \eta_0 \\ -c_k \end{bmatrix}$$

ahol:

X,Y,Z: S pont tárgytérbeli (terepei) koordinátái

X₀, Y₀, Z₀: a vetítési középpont koordinátái (külső adatok)

m: méretarányszám

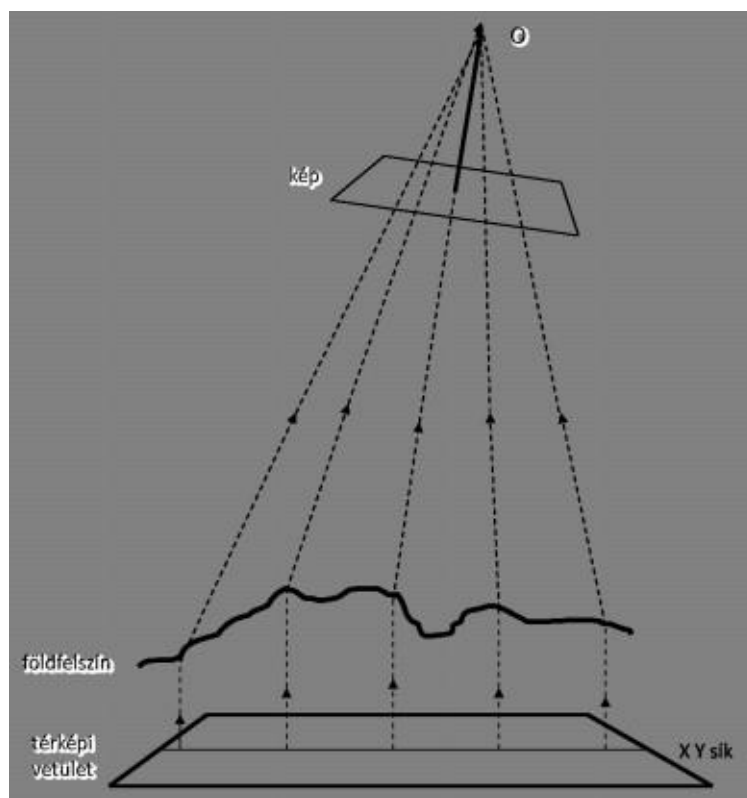
ξ₀, η₀, -C_k: a mérőkép belső adatai

ξ, η: S' képkoordinátái

2.2.3. 8.2.2.3 Digitális eljárások

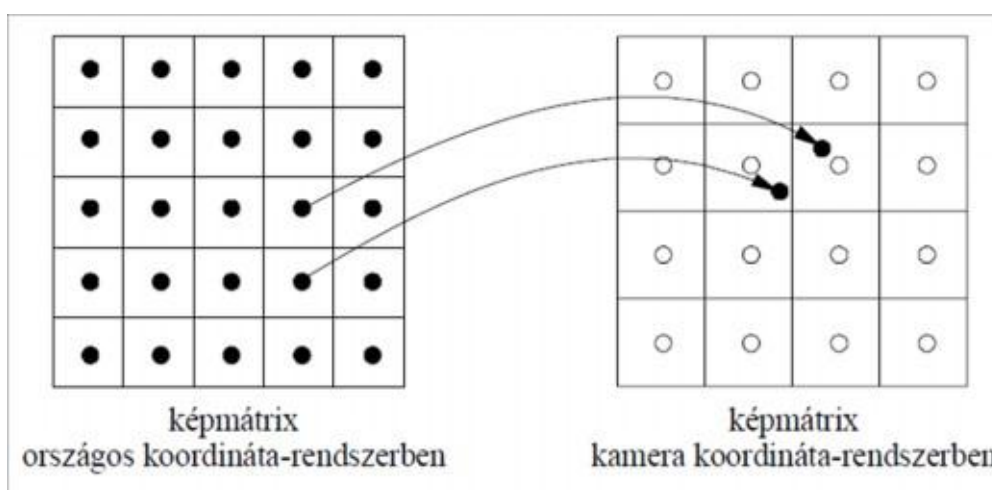
-Digitális ortofotó

Adott egy nem sík terepről készült kép, amely a kamera képsíkjában került rögzítésre. (8-14. ábra) Ennek a digitális képnek a pixelszáma megegyező a kamerában elhelyezett érzékelőknek, szenzorelemeknek a számával és ismerjük a belső és külső tájékozási adatait. Az egyes képelemek szűrkeségi fokozatai - a centrális vetítéssel megvalósított képalkotás szerint - a terepfelszínről érkező elektromágneses sugárzásértékeknek megfelelőek (az adott terepet ábrázolják), ám geometriai értelemben a pixelek elhelyezkedése hibás. Feladatunk tehát egy merőleges vetületnek megfelelő képmátrix létrehozása az eredeti kép szűrkeségi fokozatainak felhasználásával.



8-14. ábra Ortoprojekció

Ehhez először definiálunk egy képmátrixot a terepi (országos) koordináta-rendszer XY síkjában. (8-15. ábra) Fontos, hogy ebben a képmátrixban a pixelszám meghaladja a kamerában rögzített kép pixelszámát, kizárva így az eredeti kép adatvesztésének lehetőségét. (Így minden eredeti pixel szűrkeségi értéke felhasználásra kerül az ortofotó előállításánál!) Ezután a definiált kép képelemeinek középpontjait a kamera vagy mérőkép koordináta-rendszerébe transzformáljuk. A **Z** terepi magasság felhasználásával a centrális vetítés alapösszefüggését írhatjuk fel. (2-es modul) Az ilyen módon transzformált pont az eredeti képen, a kamera koordináta-rendszerében valamelyik pixel területére, de nem feltétlenül annak középpontjára esik.



8-15. ábra A képmátrix transzformálása a vetületi rendszerből az eredeti kép rendszerébe

A transzformációval kapott képi hely ismeretében kell azt a pixelt „kiválasztanunk”, amelynek a szűrkeségi fokozatát a terepen definiált képmátrix adott képeleméhez rendeljük. Az újramintavételezés legismertebb módszere a **legközelebbi szomszéd** szerinti hozzárendelés. Eszerint a transzformált ponthoz az eredeti képen található legközelebbi pixel szűrkeségi fokozatát rendeljük. Előnye a viszonylag kevés számításidő-szükséglet, hátránya, hogy ennél az eljárásnál a vonalas elemek megjelenése az ortofotón lépcsős, töredezett lesz. Alkalmazzák még a **bilinéaris interpolációt**, mely munkaigényesebb módszer, mint a legközelebbi szomszéd módszere, viszont a vonalas elemek kevésbé töredeztettek, „simábbak” az ortofotón. nem torzítja. A **magasabb**

rendű interpoláció alkalmazásánál a szűrkeségi fokozat hozzárendelése a szomszédos 16 pixel szűrkeségi fokozatainak figyelembe vételével történik.

A digitális ortofotó jellemzői:

- a képi ábrázolás objektív, a pillanatnyi állapotot rögzíti (földhasználat, környezetállapot),
- gyorsan, nagy területről szolgáltat adatot,
- nagymennyiségű minőségi és mennyiségi információt tartalmaz,
- a képtartalom egyszerű kontrasztműveletekkel módosítható, a képminőség javítható, képrészek jól illeszthetők (mozaikolás)
- a tárolt adatok számítógéppel mérhetők, elemezhetők,
- térbeli elemzést tesz lehetővé, a minőségi információkhoz koordinátákat rendel,
- nem terheli a generalizálás problémája,
- a felhasználó mindig a számára éppen szükséges méretarányban szemlélheti a képet (nincs információvesztés),
- térinformatikai rendszerek adatbázisának önálló információs rétegeként használható,
- tartalmi feldolgozásuk a digitális képfeldolgozó szoftverek osztályozási, alakfelismerési stb. funkciói segítségével elvégezhető.

A digitális ortofotókat az előzőekben felsorolt tulajdonságai miatt számos szakterület hasznosítja. Rendkívüli előnyei vannak akár a vektoros térképekkel, akár a csupán számadatokkal (koordinátákkal) történő dokumentálási eljárásokkal szemben. Torzulásmentesen ábrázolják a terepet, tereptárgyat, rendkívül részletgazdagok és bármikor újabb adatok, információk kinyerését teszik lehetővé, hogy csak néhányat említsünk.

Felhasználási területei:

- topográfiai térképezés,
- kataszteri térképezés,
- környezetállapot felmérése, különféle szennyezések felderítése, felmérése,
- talajminőség, növényzetállapot felmérése,
- általános rendezési tervek készítése,
- területrendezés, birtokrendezés, földhasználat meghatározása,
- komplex információs rendszerek alapját képezheti, együtt kezelve más szakterületek adataival
- építészet (épülethomlokzatok dokumentálása, rekonstrukciók előkészítése).

Magyarország Digitális Ortofotó Programja (MADOP)

A Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium (mai nevén Vidékfejlesztési Minisztérium) Földügyi és Térinformatikai Főosztálya EU Harmonizációs programjának keretében 2000-ben sikeresen megtörtént az ország teljes területének légifényképezése. Az 1:30 000-es méretarányú légifelvételéből (7746 db színes diapozitív) elkészítették Magyarország teljes területére az 1:10 000 méretarányú megfelelő digitális ortofotókat. Az ehhez szükséges digitális domborzatmodell (DDM) 5 m x 5 m-es rácssűrűséggel, 1m-es magassági pontossággal, az ország teljes területét lefedő 4098 db 1:10000-es méretarányú analóg topográfiai térképek magassági tartalmának digitalizálásával állították elő. A DDM magassági pontosságának megállapítását célzó vizsgálatokban, mérések elvégzésében az NyME Geoinformatikai Kara is részt vett. Az EOVB-ba illesztett légifelvétel, valamint az ugyancsak EOVB-ban meghatározott DDM alapján az eredeti,

perspektív leképezésű légifelvételeket ortogonális vetítésű, térképi rendszernek megfelelő, szelvényhatáros felvételekké alakították át. Az így kapott digitális ortofotók tartalma megegyezik az eredeti légifelvételek tartalmával, ugyanakkor mentesek a légifelvételek dőlésszöge és a domborzat hatása okozta geometriai torzulásoktól. Az EU-s agrártámogatások odaítélésére és a támogatások felhasználásának ellenőrzésére létrehozott Mezőgazdasági Parcella azonosító rendszerben (MePAR) sikerrel hasznosítják ezeket az ortofotókat. Ezt követően, több ütemben, a 2000-es felvételek közel azonos felvételi helyeivel történtek légifényképezések, melyek alapján szintén előállították az 1:10 000-es ortofotókat. Ezeket a munkálatokat meggyorsította, hogy a digitális domborzatmodell már rendelkezésre állt. Az egyszerűen olvasható, mindenki számára sokféle információt nyújtó digitális ortofotók egységes térinformatikai alapot képeznek a különböző felhasználói területek számára.

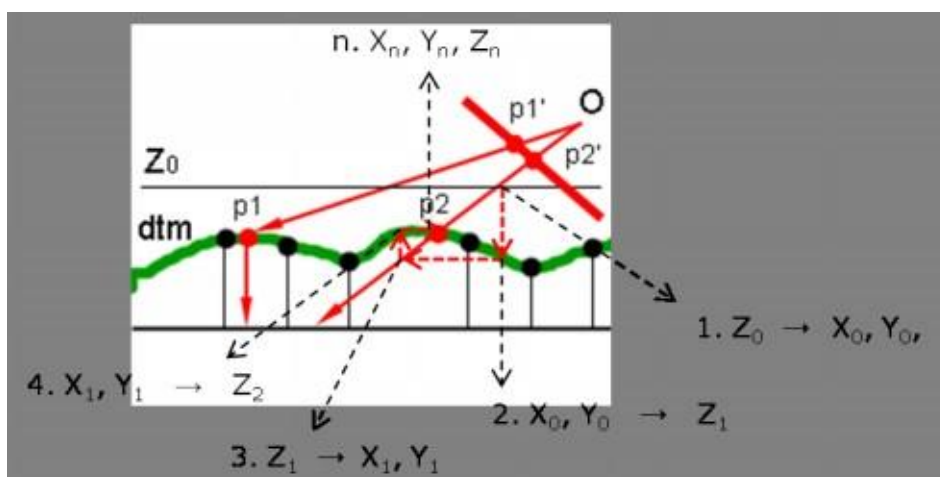


8-16. ábra A Fertődi kastély 1:10 000-es ortofotón

Forrás: <http://www.fomi.hu/honlap/magyar/Projektek/leirasok/MADOP/20030912MADOP>

-Digitális monoplotting

Az eljárás hasonló az analitikus monoplotting eljáráshoz. Célunk, dombvidéki területről készült kép kiválasztott pontjaihoz tartozó terepi 3D-s koordináták meghatározása. Rendelkezünk egy magassági és perspektív torzulásokkal terhelt digitális mérőképpel, annak belső és külső tájékozási adataival valamint a terepet leíró digitális felületmodellel. Keressük a képpontokhoz tartozó vetítésugarak metszését a felületmodellel, vagyis a képpontnak megfelelő X, Y, Z terepi koordinátákat.



8-16. ábra Digitális monoplotting

A 8-16. ábra jelölései szerint a következő lépésekkel jutunk egy kiválasztott képi pont terepi koordinátáihoz. Tetszőlegesen felvesszünk egy kezdő alapszintet, Z_0 -t. A belső, külső adatok ismeretében felírjuk a kiválasztott képpont (esetünkben $p2'$) ξ, η képkoordinátáira a centrális vetítés alapegyenletét Z_0 értéke mellett. Az összefüggésekből meghatározzuk X_0, Y_0 értékét, vagyis, hogy a vetítésugar mely pontban metszi a Z_0 alapsíkot. Ezután a kapott X_0, Y_0 vízszintes koordinátákhoz tartozó terepfelszíni Z_1 értéket határozzuk meg a digitális

felületmodell alapján. A következő lépésben a vetítősugar Z_1 -gyel, mint új alapszinttel való metszését számítjuk ki, ebből kapjuk X_1 , Y_1 értékét, amihez tartozó magasságot (Z_2 -t) a DTM-ből nyerjük. Ezt a műveletsort addig ismételjük, míg a koordináták változása kellően kis értékű lesz, vagyis a Z_0 kezdőértékből kiindulva a terepi koordinátákat (X_n , Y_n , Z_n) iterációval határozzuk meg.

Ennek az eljárásnak a pontosságát a légifénykép minősége, felbontása mellett elsősorban a digitális felületmodell rácsmérete és rácspontjainak pontossága határozza meg, így olyan területeken alkalmazzák, ahol a nagy pontosság nem alapkövetelmény. Előnyei azonban megmutatkoznak a nehezen megközelíthető területeken végzett ismételt megfigyeléseknél. Ilyen például a gleccsermonitoring, földcsuszamlások megfigyelése, terület-, térfogatszámítás, földtömegbecslés stb...

2.3. 8.2.3 Ortofotótérképek

Akár az analóg, akár a digitális ortofotókat tekintjük, mindkettőre érvényes, hogy torzulásmentes síkvetületi tónusos kép, az analóg ortofotónál a méretarány ismeretében, a digitális ortofotó esetében pedig anélkül is síkrajzi adatnyerésre alkalmas termékek. Egy analóg vagy digitális vektoros térképpel összehasonlítva, annak információtartalmát messze felülműlják. Az ortofotókat a szükséges térképi tartalommal kiegészítve jutunk az **ortofotótérképek**hez. Így az ortofotóra szelvénykeretet, örkereszthálót, névrajzot és a szükséges megírásokat felrakva olyan rendkívül hasznos termékhez jutunk, mely számos szakterületen kerül felhasználásra.

3. 8.3 Összefoglalás

A modul azokat a fotogrammetriai eljárásokat ismerteti, amelyeknél egyetlen analóg vagy digitális kép feldolgozása, kiértékelése történik. Ennek eredményeképpen egy ortogonális vetületű tónusos analóg vagy digitális ún. ortofotót kapunk, néhány megoldás esetében pedig terepre vonatkoztatott koordinátákat. A sík terepről készült felvételek feldolgozása magassági adatok ismerete nélkül is elvégezhető, ezek a termékek (ortofotó vagy terepi síkkoordináták) a továbbiakban sem szolgáltatnak a magasságra vonatkozó adatokat. A domb- és hegyvidékről készült képek feldolgozása analóg és digitális esetben is igényli a terep vagy térbeli tárgy alakját leíró magassági modell ismeretét. Az ebből előállított termék, az ortofotó magassági adatot csak a készítéséhez felhasznált DTM-mel együtt szolgáltat. A képpont tereppont matematikai kapcsolatán alapuló monoplotting eljárások (analitikus és digitális) a terepre vonatkoztatott térbeli koordinátákat eredményeznek. A modul az egyképes fotogrammetriai eljárásokat a terep jellege (sík vagy domborzatos) és a kiértékelési eljárás módja (analóg, analitikus vagy digitális) szerinti csoportosításban mutatja be az egyes eljárásokat jellemző sajátosságokkal.

Ellenőrző kérdések:

1. Mi az ortofotó?
2. Milyen ortofotoszakópai eljárásokat ismer?
3. Milyen forrásból származhatnak a differenciális képátalakításhoz szükséges magassági adatok?
4. A digitális ortofotó jellemzői?
5. Mi a digitális monoplotting eljárás lényege?

Irodalomjegyzék

Domokos Györgyné, - Homoródi Lajos: *Fotogrammetria I.*, Tankönyvkiadó, Budapest, 1977.

Engler Péter: *Fotogrammetria II.*, FVM KSZI, 2007.

Karl Kraus: *Fotogrammetria*, Tertia Kiadó, Budapest, 1998.

Mélykúti G.: *BME Építőmérnöki Kar*, Fotogrammetria segédlet, Budapest, 2004.

<http://www.isprshighlights.org>

<http://www.fgi.fi/osastot/projektisivut>

http://www.geo.u-szeged.hu/~joe/fotogrammetria/Fotogrammetria_jegyzet

<http://www.fomi.hu/honlap/magyar/Projektok/leirasok/MADOP.htm>

<http://ortofoto.lap.hu/>