

# **Fotogrammetria 4.**

## **Mérőfénykép fogalma, jellemzői, mérőfénykép torzulások**

**Balázsik, Valéria**

---

# **Fotogrammetria 4.: Mérőfénykép fogalma, jellemzői, mérőfénykép torzulások**

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 ismerteti a mérőfényképpel kapcsolatos fogalmakat, nevezetes pontokat, vonalakat, a mérőkép belső- és külső adatait. Bemutatja az analóg fénykép és a digitális kép torzulásait, a digitális kép előállításának közvetlen és közvetett módját. Rámutat az analóg fénykép és a digitális kép felbontóképességét befolyásoló tényezőkre.

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

---

# Tartalom

4. Mérőfénykép fogalma, jellemzői, mérőfénykép torzulások .....	1
1. 4.1 Bevezetés .....	1
2. 4.2 Mérőfényképek .....	1
2.1. 4.2.1 A mérőkép belső adatai .....	1
2.2. 4.2.2 A mérőkép külső adatai .....	3
3. 4.3 Mérőfénykép méretaránya .....	4
4. 4.4 A mérőfénykép nevezetes pontjai, vonalai .....	6
5. 4.5 Keretadatok .....	7
6. 4.6 A mérőkép torzulásai .....	8
6.1. 4.6.1 A képalkotó sugár torzulása .....	9
6.2. 4.6.2 A képsíknak síktól való eltérése - filmbelógás .....	9
6.3. 4.6.3 A film méretváltozása .....	10
6.4. 4.6.4 A tárgysík síktól való eltérése .....	11
6.5. 4.6.5 Perspektív torzulás .....	12
7. 4.7 Digitális képek .....	14
7.1. 4.7.1 Mi a digitális kép? .....	14
7.2. 4.7.2 A digitális kép torzulásai .....	15
8. 4.8 Összefoglalás .....	15



---

# 4. fejezet - Mérőfénykép fogalma, jellemzői, mérőfénykép torzulások

## 1. 4.1 Bevezetés

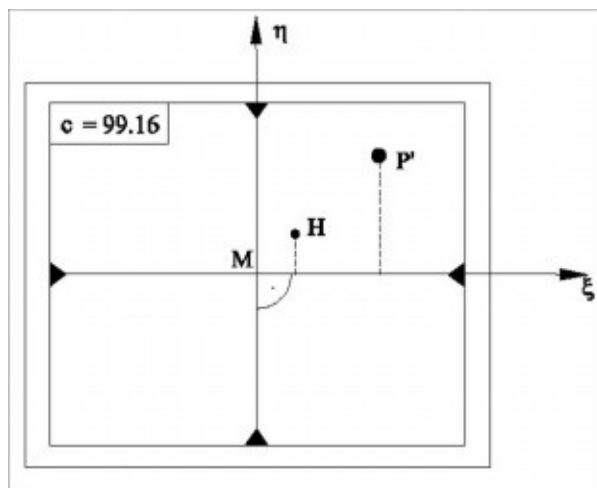
A fotogrammetriai műveletek során analóg és digitális felvételek feldolgozásával, kiértékelésével jutunk terepi rendszerre vonatkoztatott adatokhoz, grafikus termékekhez, torzulásmentes analóg vagy digitális képekhez. Ezek lehetnek vízszintes és magassági koordináták, távolságok, tárgyak valódi méretei, stb., vonalas térképek, különböző rajzi termékek, tónusos analóg képek, raszteres vagy vektoros digitális állományok. Mindezeket olyan képek alapján kell meghatározni, előállítani, amelyek a felvétel helye, helyzete és a lefényképezett tereptárgy alakjától függően torzulásokkal, (esetenként leképezési hibával) terheltek. A számítástechnikai eszközök fejlődésének köszönhetően egyre inkább elterjedt a nem mérőképek, ún. amatőr felvételek fotogrammetriai kiértékelése is, mivel az így készített képek pontos geometriája ismeretének hiányában a feldolgozás általában bonyolultabb matematikai összefüggések alapján történik. Mégis a fotogrammetria elsősorban **mérőfényképek** vagy röviden **mérőképek** kiértékelésével foglalkozik. Mérőfényképet fotogrammetriai kamerával készíthetünk. A mérőfényképre leginkább jellemző tulajdonság, hogy a felvevő kamera bizonyos paramétereinek - így a vele készült felvételek belső adatainak - ismeretében lehetséges a felvételt létrehozó sugárnyalábbal egybevágó sugárnyaláb visszaállítása optikai vagy matematikai úton. A modul tartalmazza a mérőfényképekkel kapcsolatos fogalmakat, a mérőképek jellemző tulajdonságait és különböző torzulásait.

## 2. 4.2 Mérőfényképek

Fotogrammetriai leképzéssel a terepnek és tereptárgyaknak a felvevő objektívje által megvalósított centrális vetítésű képét állítjuk elő (lásd I. modul, 1.3.1 fejezet). **A fotogrammetriai felvevővel, mérőkamerával készült fényképfelvétel, a mérőfénykép**, mely alapján visszaállítható a felvételi sugárnyalábbal egybevágó sugárnyaláb optikai úton vagy matematikai módszerrel. Ehhez a művelethez ismernünk kell a **mérőkép belső adatait**.

### 2.1. 4.2.1 A mérőkép belső adatai

A mérőkép **belső adatai** egyértelműen megadják a vetítési centrum és a kép egymáshoz viszonyított helyzetét. Ezek a **képfőpont** koordinátái ( $\xi_0; \eta_0$ ) a képkoordináta-rendszerben és a **kameraállandó** ( $C_k$ ). A mérőkamerával készült felvételeken a kamera részét képező ún. **jelkeret** a fényképezés pillanatában leképeződik a fényképezett tereppel, objektummal együtt. Ezen a jelkereten kameratípustól függően - számos más jel és adat mellett - olyan jelformákat alakítottak ki, amelyek egy síkbeli koordináta-rendszer tengelyeit ( $\xi$  és  $\eta$ ) egyértelműen kijelölik a képen. A koordinátatengelyeket meghatározó jelek lehetnek kis átmérőjű furatok (optikai keretjelek) vagy finom megmunkálású ék alakzatok (mechanikai keretjelek) a jelkereten, leképeződésük a kép oldalfelezőinek közelében vagy a kép sarkaiban jön létre. A  $\xi$ ,  $\eta$  képkoordináta-rendszer kezdőpontját, a tengelyek metszését nevezzük **képközéppontnak** és **M**-mel jelöljük. A **képfőpont** (**H**) a kameratengely képsíkkal alkotott dőféspontja (a vetítési centrum merőleges vetülete a képsíkon), melynek koordinátái a képi rendszerben  $\xi_0$  és  $\eta_0$ . A kameraállandó értéke ( $C_k$ ), a vetítési centrum és a képsík távolsága. A kamera belső adatai értelmezhetőek úgy is, mint a vetítési középpont térbeli koordinátái a képkoordináta-rendszerben. A térbeli koordináta-rendszer harmadik tengelye ( $z$ ) a képközéppontból **M**-ből kiinduló,  $\xi, \eta$  síkra merőleges tengely.



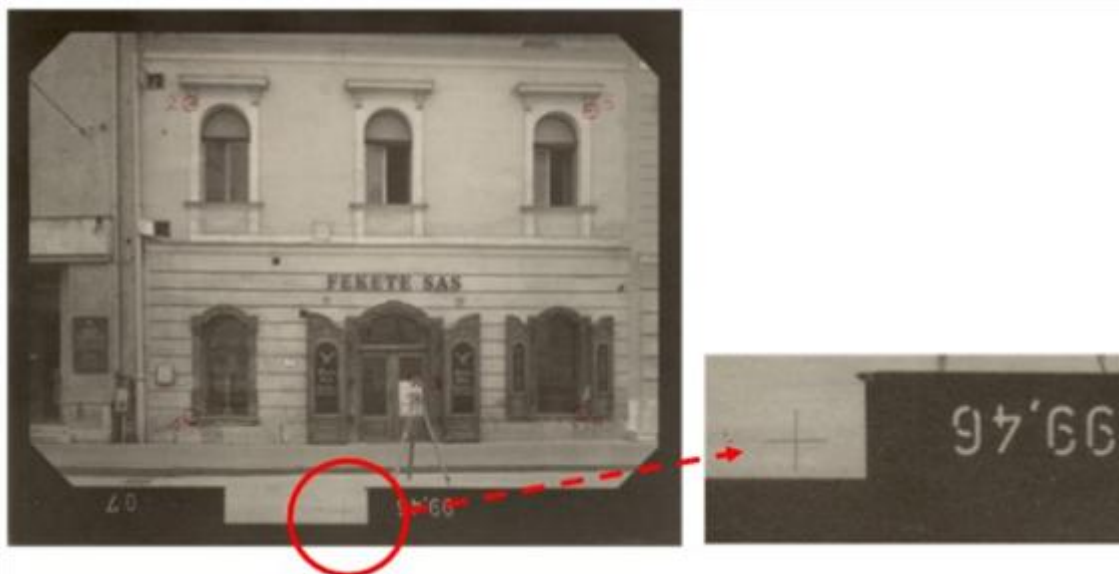
4-1. ábra Képpkoordináta-rendszer

forrás: Kraus (1998)

Amennyiben a **képfőpont megegyezik a képközépponttal**, vagyis a kameratengely éppen a képközéppontban metszi a képsíkot, akkor azt mondjuk, hogy a **kamera igazított**. Ebben az esetben  $\xi_0=0$  és  $\eta_0=0$ .

A mérőképeken a  $\xi, \eta$  koordináta-tengelyeket nem minden esetben adják meg közvetlenül a tengelyeket jelölő pontokkal, gyakoribb megoldás, amikor a képpkoordináta-rendszerben ismert koordinátájú pontok (4, újabb típusú kameráknál 8 db) állnak a rendelkezésünkre, amelyek egyértelműen meghatározzák a koordináta-rendszert. Ezek az ún. **keretjelek**, amelyek a jelformák és elhelyezkedésük szerint kameratípusonként szintén különbözőek lehetnek.

A légifényképek jellemzően négyzet alakúak és a koordináta-tengelyeket jelölő ék alakú mechanikai jelek mellett általában a kép sarkaiban elhelyezkedő optikai keretjeleket is találunk. Ahogy előzőekben említettük, a keretjelek és egyéb jeleknek a képe a kamera fizikai részét képező jelkeretnek a leképződésével jön létre, így az ugyanazon kamerával készült felvételek mindegyikén a **keretjelek** helyzete – vagyis **képpkoordinátái** – a „terepi tartalomtól” függetlenül **állandó értékek**. Így a keretjelek képpkoordinátáit valamint a kameraállandó értékét a fotogrammetriai kamerákhoz, így a mérőképekhez is gyári adatként szolgáltatják. A keretjelekkel szemben támasztott fontos követelmény, hogy helyzetük a jelkereten – így a képen - állandó legyen és képpkoordinátáit 3-5  $\mu\text{m}$  pontossággal ismerjük.



4-3. ábra Keretjelek és jelforma földi felvételen

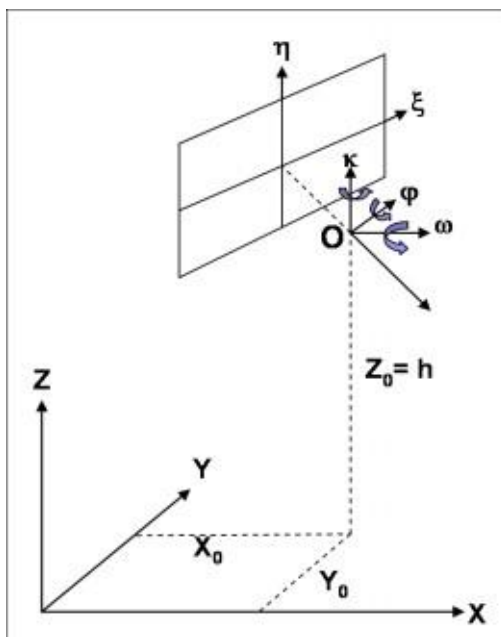
A földi felvevővel készült mérőképek többnyire téglalap alakúak. Amennyiben a felvevő szerkezeti kialakítása megengedi, lehetőség van álló vagy fekvő téglalap formátumú kép készítésére. Ennek előnye, hogy a

fényképezett objektumot – alakjának, kiterjedésének figyelembe vételével – optimális elrendezéssel jeleníthetjük meg a képen.

A fotogrammetriai feldolgozás során a mérőfénykép belső adatait a **belső tájékozás műveleténél** használjuk. A belső adatok ismeretével lehetséges a felvételi sugárnyalábbal egybevágó sugárnyaláb visszaállítása optikai úton. Matematikai megoldás esetén a **keretjелек** gyári adatként ismert **képkoordinátái** és az analitikus mérőműszer saját rendszerében mért **műszerkoordinátái** (digitális képeknél pixelkoordinátái) között írhatunk fel **síktranszformációs összefüggéseket**, és annak alapján számíthatjuk valamennyi képi pont képsíkbeli koordinátáit ( $\xi; \eta$ ). (részletesen 10-es modul). A légi és földi felvételek – a felvételkészítést jellemző eltérő helyzetük miatt – eltérő koordináta-tengely jelöléseivel találkozhatunk. Mivel a kameratengely és a képsík egymáshoz képest merőlegesen rögzítettek, ezért a légifényképezést jellemző közel függőleges kameratengely esetén a képsík közel vízszintes. A földi felvétel készítésére a vízszintes helyzetű kameratengely jellemző, így ekkor a képsík függőleges. Ezek alapján a képkoordináta-rendszer tengelyeinek helyzetét és szokásos jelöléseit a 4-4. ábra mutatja.

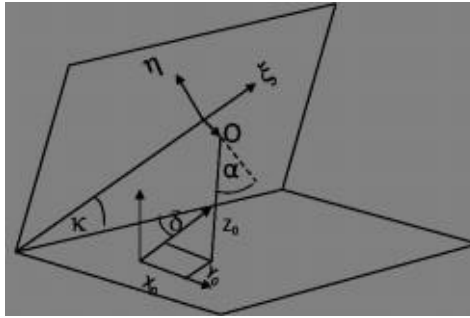
## 2.2. 4.2.2 A mérőkép külső adatai

A fotogrammetriai felvételek feldolgozásához a mérőképek belső adatai mellett szükséges a felvételkészítés helyének és a kép térbeli helyzetének ismerete is, amelyeket a mérőkép **külső adatai** határoznak meg. A mérőkép külső adatai (6db) minden esetben tartalmazzák a felvételkészítés helyének, a **vetítési centrumnak a tárgyterbeli koordinátáit** ( $X_0; Y_0; Z_0$ ) és a vetítési középpont- mérőkép együttesének térbeli helyzetét jellemző **3 szögértéket**. A 3 szögérték különböző módon adható meg.



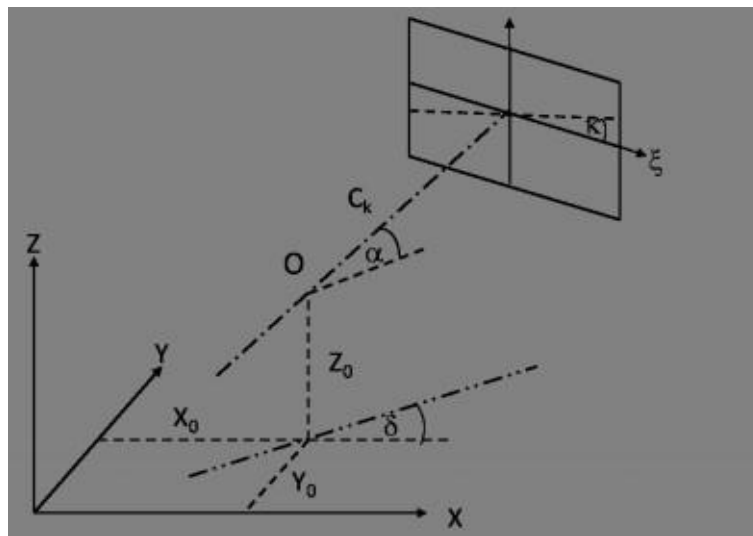
4-5. ábra Légifénykép külső adatai

**Légifénykép** esetében a tárgysíkot a térbeli, terepi koordináta-rendszer XY síkja, a terepsík jelöli ki.  $X_0$ ,  $Y_0$  a tárgysíkon, vagyis a terepsíkon értelmezett síkkoordináták,  $Z_0$  pedig a vetítési centrum terepsík feletti magassága, vagyis a relatív repülési magassággal azonos érték ( $Z_0=h_r$ ). Nem sík terep esetén a relatív repülési magasságot az átlagos terepmagassághoz képest adjuk meg. A  $\kappa$ ,  $\varphi$  és  $\omega$  tájékozási szögelemek a képsík felvételkori helyzetét határozzák meg a tárgyterbeli koordináta-rendszer tengelyeihez viszonyítva. A  $\kappa$  szög a Z tengely körüli,  $\varphi$  az Y tengely körüli és  $\omega$  az X tengely körüli elfordulási szögértékek. (4-5. ábra) Légifényképek külső adataiként, a vetítési centrum koordinátái mellett, a  $\kappa$ ,  $\varphi$ ,  $\omega$  forgatási, döntési szögek helyett megadható a képsík helyzete a kameratengely dőlésével ( $\square$ ), a felvételi sugárnyaláb elfordulásával ( $\kappa$ ) és a tárgysík koordináta-tengelyeinek irányszögével ( $\delta$ ) is. (4-6. ábra)



4-6. ábra Légifénykép külső adatainak megadása más módon

**Földi felvételek külső adatait** szintén a vetítési középpont tárgyterbeli koordinátaival,  $X_0$ ,  $Y_0$  és  $Z_0$ , valamint a képsík helyzetét jellemző 3 db szögértékkel,  $\kappa$ ,  $\alpha$  és  $\delta$  szögekkel adhatjuk meg.  $\kappa$  a  $\xi$  képkoordináta-tengely vízszintessel bezárt szöge,  $\alpha$  a kameratengely magassági szöge és  $\delta$  a kameratengely vízszintes vetületének az irányszöge. (4-7. ábra)



4-7. ábra Földi felvétel külső adatai

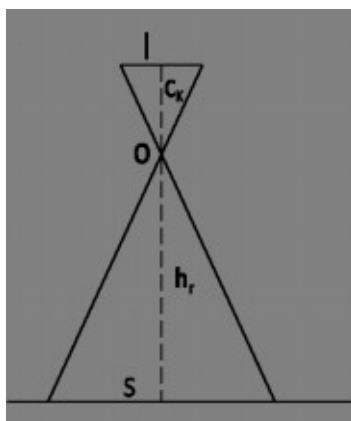
Akár légifényképről, akár földi felvételtől van szó, a mérőképet jellemző felvételi helyzetet minden esetben **6** adattal adhatjuk meg, 3 térbeli koordinátával és 3 darab szögértékkel. Ennek a 6 külső adatnak az ismerete szükséges a mérőfénykép kiértékeléséhez, terepre vonatkoztatott adatok fotogrammetriai úton történő meghatározásához.

### 3. 4.3 Mérőfénykép méretaránya

A teljes mérőfényképre vonatkozó egységes méretarány megadása csak abban az esetben lehetséges, ha a fényképezett objektum felülete sík és a kameratengely erre a síkra merőleges helyzetű a felvétel készítésének pillanatában. Ez a kívánalom légifényképezéskor függőleges helyzetű kameratengely és sík terep esetén teljesül. Földi felvételi készítésnél a teljes képre érvényes, pontról pontra azonos méretarány feltétele a sík tárgyfelület síkra merőleges helyzetű kameratengellyel történő fényképezése. Amennyiben épülethomlokzatról, arra merőleges irányú kameratengellyel készítünk felvételt, a falsík mélységbeli eltéréseinek következtében a kép méretaránya különböző értékű lehet a kép egyes részeinél. Miután a légifényképezéskor sem tudjuk minden esetben a tökéletesen függőleges irányú felvételezést biztosítani, illetve az előző példa alapján, földi felvétel készítésénél is gyakran különböző tárgy távolság mellett fényképezünk, ezért a fotogrammetria közvetlen - még nem feldolgozott - termékeinél az egész képre megadott méretaránynál gyakran csak közelítő értékről beszélhetünk. Ez természetesen nem jelenti azt, hogy valamely képponthez tartozó méretarányt ne tudnánk az adott pontra vonatkozóan pontosan meghatározni. A tárgysíkkal  $90^\circ$ -tól eltérő szöget bezáró kameratengellyel készült felvétel méretaránya pontról pontra változó érték, kivéve az *állandó méretarányú vonalakat*. (bővebben 4-es modul, 4.4 fejezet)

- Méretarány számítása *sík terep és nadírfelvétel* (függőleges kameratengelyű felvétel) esetén:



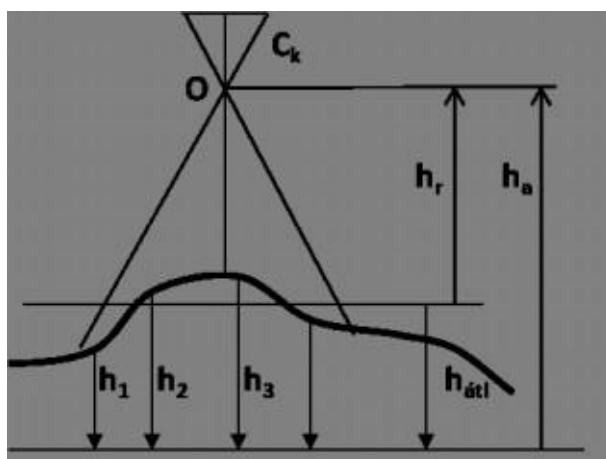


4-8. ábra Sík terep, Nadírfelvétel

$$M = \frac{1}{m} M = \frac{1}{m};$$

ahol  $m$  a méretarány szám és  $m = \frac{h_r}{c_k} = \frac{s}{l} = \frac{t_r}{t_f} m = \frac{h_r}{c_k} = \frac{s}{l} = \frac{t_r}{t_f}$

A méretarány meghatározására több lehetőség is van. Értékét megadhatjuk a relatív repülési magasság ( $h_r$ ) és a kameraállandó ( $C_k$ ) értékének arányával, a kép által lefedett terepi terület oldalhosszának ( $s$ ) és a kép oldalméretének ( $l$ ) hányadosával vagy valamely vízszintes terepi távolság ( $t_r$ ) és a neki megfelelő fényképi távolság ( $t_f$ ) hányadosával.



4-9. ábra Dombvidék, Nadírfelvétel

- Méretarány számítása nem sík terep és nadírfelvétel esetén:

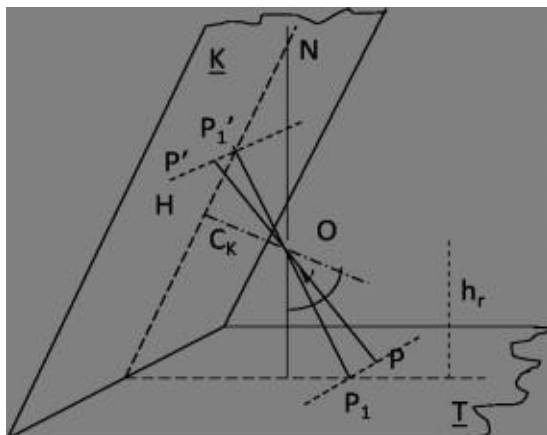
Amennyiben a fényképezett terep nem sík, a magasságkülönbségekből eredően a képet nem egységes méretarány jellemzi. Ilyenkor a teljes képre vonatkozó „közelítő” méretarányt az abszolút repülési magasság és az átlagos terepmagasság figyelembe vételével adhatjuk meg.

$$h_{\text{átl}} = \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{n}$$

$$h_r = h_a - h_{\text{átl}} \quad h_r = h_a - h_{\text{átl}}; \quad m = \frac{h_r}{C_k} m = \frac{h_r}{C_k}$$

- Méretarány számítása sík terep és dőlt tengelyű felvétel esetén

Amennyiben a kameratengely a fényképezett tárgysíkkal  $90^\circ$ -tól eltérő szöget zár be (légifényképezéskor a kameratengely nem függőleges), akkor a kép méretaránya az alábbi összefüggés alapján számítható.



4-10. ábra Dőlt tengelyű felvétel

$$m = \frac{h_r \cdot \cos v}{C_k - x \cdot \sin v \cdot \cos v} \quad m = \frac{h_r \cdot \cos v}{C_k - x \cdot \sin v \cdot \cos v}; \quad M = \frac{1}{m} M = \frac{1}{m}$$

$i$  - a kameratengely dőlése

$h_r$  - a relatív repülési magasság

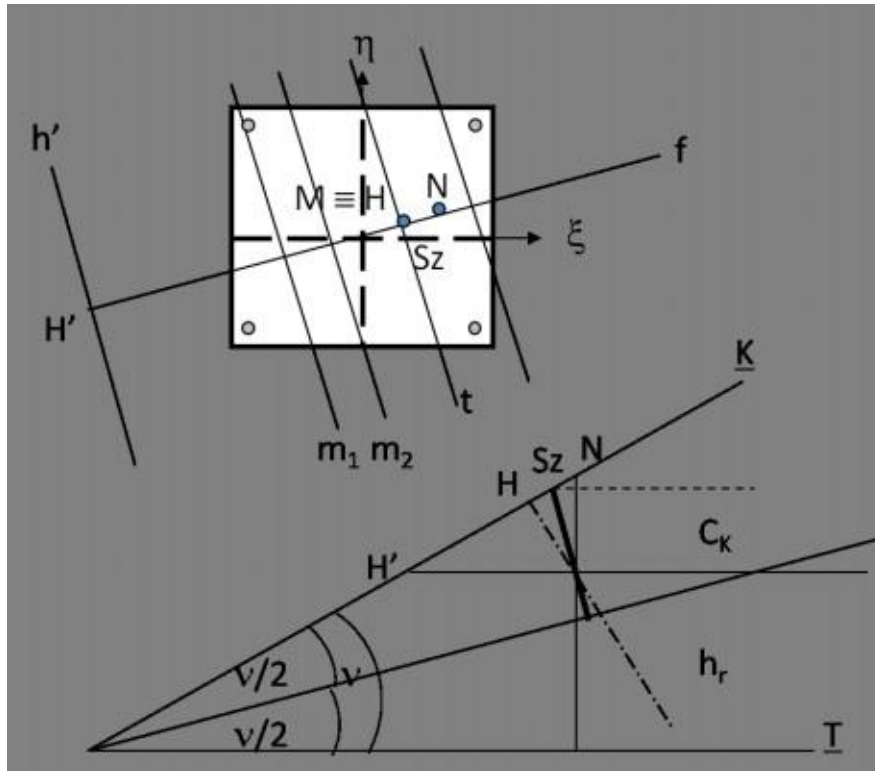
$C_k$  - kameraállandó

$x$  - a képpontnak a képsíkon a fővonalától mért távolsága

A képen értelmezett méretarány pontról pontra változó érték lehet. Kivételt képeznek az ún. állandó méretarányú vonalak, erről bővebben a modul következő alfejezetében lesz szó.

#### 4. 4.4 A mérőfénykép nevezetes pontjai, vonalai

A mérőképekkel kapcsolatosan előzőekben olvashattunk a **képkoordináta-tengelyeket** jelölő pontokról, a **képfőpontról** és a **képközéppontról**. Ezek mellett egy mérőképnek számos más nevezetes vonala és pontja is van. A 4-11. ábrán két nézetben jelenítettünk meg további nevezetes pontokat, vonalakat. Az ábra felső része a képsíkra merőleges irányból, míg az ábra alsó része a képsík-tárgysík metszésvonalának (kollineáció tengelye) irányából jeleníti meg ezeket.



4-11. ábra A mérőkép nevezetes pontjai, vonalai

- **horizontvonal ( $h'$ ):** a tárgysíkkal párhuzamos vetítősík képsíkkal alkotott metszésvonala. Párhuzamos a két sík metszésvonalával, a kollineáció tengelyével. Amennyiben a fényképezéskor a tárgysík és a képsík párhuzamos (általában erre törekszünk), a horizontvonal a végtelenben van. Az ábra alsó részén képe  $H'$ -ban (a horizontpontban) látszik.
- **fővonal ( $f$ ):** a profil vetítősík (a vetítési középponton, „O”-n áthaladó, a kollineáció tengelyére merőleges sík) és a képsík metszésvonala. Merőleges a kollineáció tengelyére és a horizontvonalra.
- **horizontpont ( $H'$ ):** vagy más néven iránypont, a fővonalnak és a horizontvonalnak a metszéspontja. Ebből adódóan a horizontpont illeszkedik a fővonalra.
- **nadirpont ( $N$ ):** a tárgysíkra merőleges vetítősugar dőféspontja a képsíkon. Légifényképezéskor a vetítési középponton áthaladó függőleges egyenes képsíkkal illetve tárgysíkkal való dőféspontja. Ennek megfelelően megkülönböztetünk képi és terepi nadirpontot.
- **szögtartópont ( $Sz$ ):** a képsík és a tárgysík szögfelező síkjára bocsátott merőleges vetítősugar dőféspontja a képsíkkal. A szögtartó pontból más képpontokba húzott irányok által bezárt szög megegyezik a terepi megfelelőik által meghatározott szögértékkel dőlt tengelyű felvétel esetében is.
- **torzulásmentes vonal vagy méretarány-tartó vonal ( $t$ ):** a szögtartó ponton áthaladó, horizontvonallal párhuzamos egyenes. Ezen egyenes mentén, dőlt tengelyű felvétel esetében is a méretarányszám minden pontban állandó ( $h_r/C_k$ ).
- **állandó méretarányú vonalak ( $m_1, m_2, \dots$ ):** a torzulásmentes vonallal párhuzamos valamennyi egyenes. A szomszédos vonalak méretaránya egymástól eltérő értékek.

A torzulásmentes és állandó méretarányú vonalakkal kapcsolatos megállapítások sík terep esetén érvényesek. Hegy- és dombvidéki területen a terep magasságkülönbségeiből adódóan (a relatív repülési magasság nem állandó) a méretarány pontonként változhat.

## 5. 4.5 Keretadatok

A műszaki feldolgozás és archiválás számára számos adatot kell rögzíteni minden egyes képre vonatkozóan. Ezeket összefoglalóan keretadatokként szoktuk emlegetni. A földi felvételek külső körülményeinek

meghatározása, azokra vonatkozó adatok rögzítése és képhez rendelése egyszerűbb feladatot jelent, mint ugyanez légifényképek esetében. A következőkben a légifényképezéskor szokásosan rögzített keretadatokat ismertetjük. A különböző kameratípusokra – gyártótól függően - különböző keretadat elrendezés és megjelenési forma jellemző, de többségében az itt felsorolt adatok mindegyikét tartalmazzák. A régebbi típusú analóg fotogrammetriai felvevők analóg mérőműszereinek adatait, "számlapját" a jelkerettel együtt fényképezték a filmre. Vannak kamerák, amelyeknek analóg és digitális kijelzővel rendelkező mérőműszerei egyaránt vannak, ezeknél inkább a féle kijelző képe látható a kereten kívül. Korszerű kamerák a képszéleken, két sorban digitális információkat rögzítenek. A legfontosabb ilyen adatok:

- a képszám
- a felvétel pontos ideje (az árnyékok segítségével az északi irány meghatározható)
- a repülési magasság +/-50 m pontosan (ma már GPS segítségével nagyobb pontossággal is rögzíthető), a repülési magasság ismeretében a közepes képméretarány számítható
- a vetítési centrum koordinátái
- szelencés libella képe, csak közelítőleg mutatja a kameratengely függőlegestől való eltérését, a külső tájékozási adatok meghatározásánál közelítő adatként felhasználhatjuk
- a dátum, a kamera, a filmkazetta és a leszorító lemez gyári száma
- munkaterület
- kameraállandó (belső tájékozáshoz, méretarány számításához felhasznált adat)
- a külső tájékozás adatai, amennyiben a kamera rendelkezik inerciális navigációs rendszerrel és/vagy GPS-szel
- sztatoszópjó kijelző, ha a kamerát magasságmérő berendezéssel is összekapcsolták
- az aktuális megvilágítási adatok: rekesznyílás, megvilágítási idő, képvándorlás kompenzáció



4-14-2. ábra A Leica RC 30-as kamera keretadatai

## 6. 4.6 A mérőkép torzulásai

A mérőkép a tárgy, terep centrális vetítéssel előállított képe, amely a tárgy, terep ortogonális vetületű térképéhez képest különböző torzulásokkal terhelt. Ezek a torzulások nem tekinthetők hibáknak, hanem a vetítési eljárások geometriai törvényszerűségéből adódnak. Az alábbiakban az egyes torzulásokat egy-egy képi pontra mutatjuk be, hangsúlyozva a fellépő képpont eltolódás irányát és kiküszöbölési lehetőségét. A képtorzulásokat a következő csoportosításban tárgyaljuk:

- A képközpont sugár torzulásai
  - Az objektív elrajzolásából eredő torzulás
  - A refrakció okozta torzulás
- A képsíkhoz való eltérése - filmbelógás
- A képsík (film) méretváltozásából származó torzulás

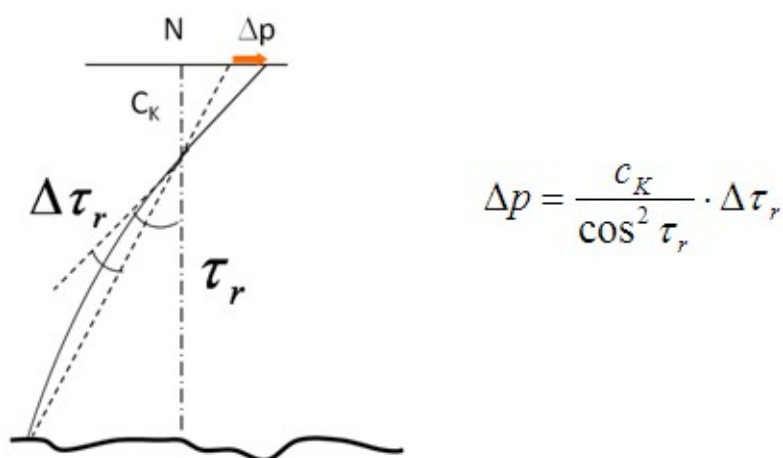
- A tárgysíknak a síktól való eltérése
  - a földgömbület okozta torzulás
  - magasságkülönbségből eredő torzulás
- A képsík tárgysík nem párhuzamos voltából adódó látszati, vagy perspektív torzulás.

### 6.1. 4.6.1 A képkötő sugár torzulása

- *Az objektív elrajzolásából eredő torzulás*

Ennek részletes leírása a 3-as modul 3.2.1.2 alfejezetében megtalálható. Ebben a csoportosításban az objektív elrajzolásával kapcsolatban azt emelnénk ki, hogy jellemzően *radiális irányú* eltérése a képkötő sugárnak és *szabályos* jellegű. Amikor a kameraállandó értékét határozzák meg, többek között azt is figyelembe veszik, hogy a képterületen észlelt elrajzolások abszolút értéke minimális legyen.

- *A refrakció okozta torzulás*



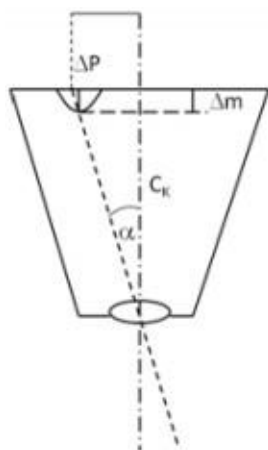
4-14-3. ábra Refrakció

A refrakció jelenségéről a geodéziai műszerek, mérések kapcsán is olvashatunk. Azt a jelenséget nevezzük **refrakciónak**, amikor a fény sugar a különböző sűrűségű levegő-rétegeken való áthaladása közben, a fénytörés következtében kismértékben elgörbül. A fény sugar homorú része „fordul” a földfelszín felé, így a 4-14. ábrán látható módon a képpont a Nadírponttól kifelé  $\Delta p$  értékkel tolódik el az elméletileg hibátlan ponthelytől.

A refrakció jellemzői: körszimmetrikus, szabályos és N-re radiális irányú.

### 6.2. 4.6.2 A képsíknak síktól való eltérése - filmbelógás

Fényképezéskor gondoskodni kell a film síkba fektetéséről. Ennek különösen nagy jelentősége van légifénykép készítésekor, hiszen a közel vízszintes helyzetű film saját súlyánál fogva is „belóghat”. Ennek elkerülésére vákuumos berendezést alkalmaznak. Időnként így is előfordul, hogy valamilyen apró szennyeződés kerül a felvevőbe és amellett, hogy geometriai torzulást okoz, a „belógás” környezetében az eltérő képtávolság miatt képéletlenség jelentkezhet.



$$\Delta p = \Delta m \cdot \frac{p'}{c_K} = \Delta m \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

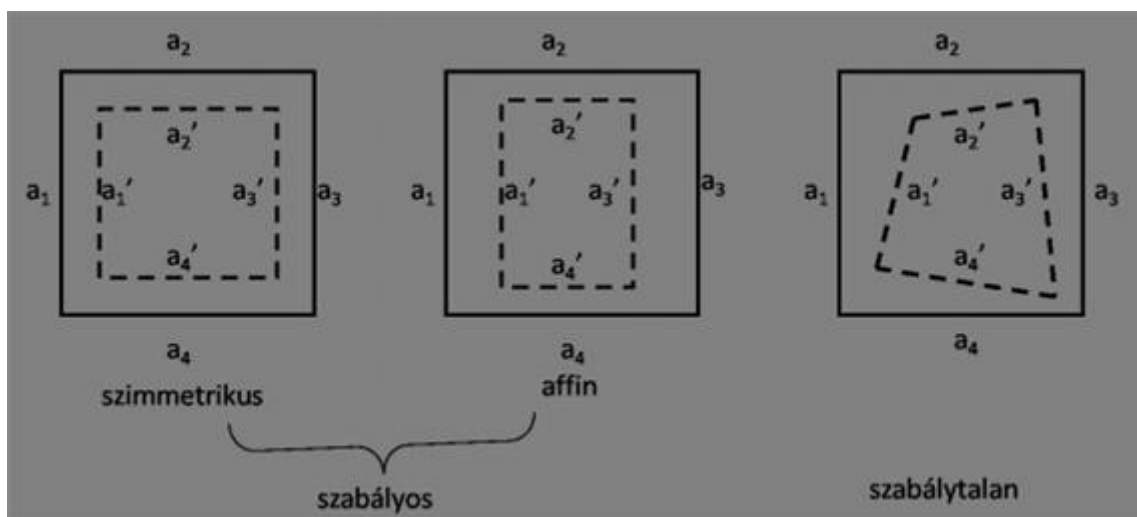
4-14. ábra Filmbelógás

A filmbelógás *véletlen* jellegű hiba, a kiértékeléssel nyert terepi adatok pontosságára csakis a belógás környezetében hat.

### 6.3. 4.6.3 A film méretváltozása

A keretjelek a felvételkedzés pillanatában fényképeződnek a mérőképre. A *keretjelek* a felvevőkamera *jelkeretén* lévő furatok vagy ék alakú mechanikai jelek képi megjelenései. Ezek elhelyezkedése a képkoordináta-rendszerben, vagyis képkoordinátái, ugyanazon kamerával készült mérőképek esetén állandó értékeknek kellene lenni. (4.2.1 fejezet) Analóg fényképek fotográfiai előhívása közben (másodnegatívok és nagyítások előállításakor) a filmeket hosszabb-rövidebb ideig különböző folyadékokban tartjuk, majd szárítjuk. Ennek következtében az analóg képek méretváltozást szenvedhetnek. Ennek ellenőrzése a keretjelek gyári adatként megadott képkoordinátái alapján lehetséges. A gyári adat a jelkeret keretjeleire vonatkozó koordináta értékek. A fényképen mért koordináták eltérése a filmen bekövetkezett méretváltozásból adódik. A méretváltozás lehet:

- szabályos, ezen belül szimmetrikus
- szabálytalan



4-15. ábra Film méretváltozása

*Szimmetrikus* méretváltozásról akkor beszélünk, ha a keretjelek közötti távolságok változása mindkét tengely irányában azonos mértékű. (4-15. ábra)

$$\frac{a_1}{a'_1} = \frac{a_2}{a'_2} = \frac{a_3}{a'_3} = \frac{a_4}{a'_4}$$

Az összefüggésben  $a_1, a_2, a_3$  és  $a_4$  a keretjelek távolságának névleges értékei és  $a'_1, a'_2, a'_3, a'_4$  a képen mért keretjel-távolságok.

*Affin* méretváltozás akkor következik be, ha a torzulás a két tengely irányában eltérő, de egy-egy tengely irányát tekintve állandó. (4-15. ábra)

$$\left(\frac{a_1}{a'_1} = \frac{a_3}{a'_3}\right) \neq \left(\frac{a_2}{a'_2} = \frac{a_4}{a'_4}\right)$$

A filmek torzulására leginkább az affin torzulás jellemző.

*Szabálytalannak* nevezzük azt a méretváltozást, amikor a négy keretjel-távolság változásának mértéke eltérő. (4-15. ábra)

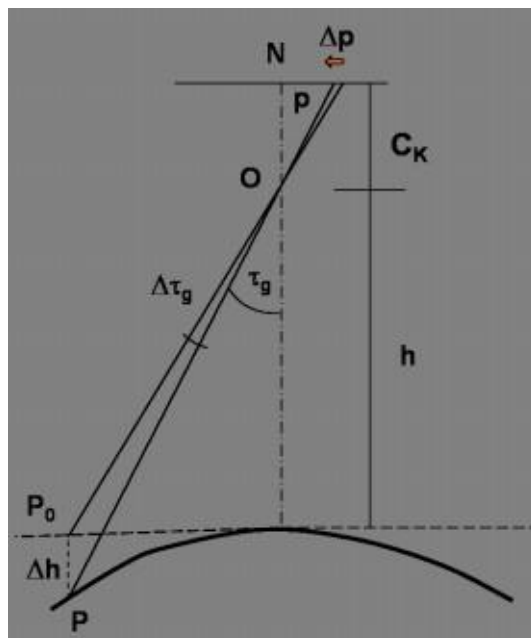
$$\frac{a_1}{a'_1} \neq \frac{a_2}{a'_2} \neq \frac{a_3}{a'_3} \neq \frac{a_4}{a'_4}$$

A szimmetrikus és az affin torzulás figyelembe vehető analóg kiértékeléseknél a műszeres munkáknál, analitikus és digitális eljárás esetén számítással. A szabálytalan torzulású képek fotogrammetriai feldolgozásra csak akkor alkalmasak, ha a kiértékelés pontossági igénye azt megengedi.

#### 6.4. 4.6.4 A tárgysík síktól való eltérése

A tárgysík síktól való eltérését a földgömbület, illetve a terepi magasságkülönbség okozhatja.

- *A földgömbület okozta torzulás*



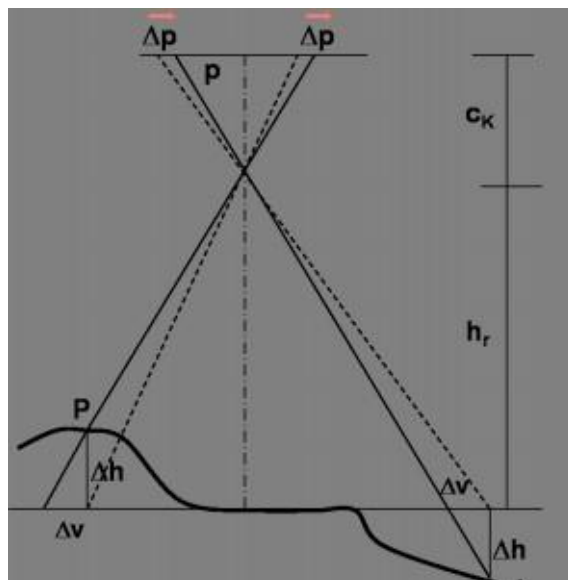
4-16. ábra Földgömbület

A földgömbület okozta torzulással csak az 5000 m-t meghaladó, nagy relatív repülési magasság mellett készült légifényképek esetén kell számolnunk. Mivel a fotogrammetriai kiértékelések az elméleti gömb Nadírpontban érintő síkjára vonatkoznak, ezért a 4-16. ábra szerint a Nadírponttól a kép szélei felé haladva a képpont eltolódásának értéke,  $\Delta p$  nő.

$$\Delta p = \frac{h \cdot p^3}{2 \cdot R \cdot c_K}$$

A földgömbület okozta torzulás *szabályos* jellegű, a Nadírpontra *radiális irányú* hiba. A nagy magasságban készült felvételeknél a refrakció és a földgömbület okozta torzulás közel azonos nagyságú, de ellentétes irányú, így ezek egymást kiejtő, de legalábbis csökkentő hibák, a gyakorlatban ezeket figyelmen kívül hagyjuk.

- A magasságkülönbség okozta torzulás



4-17. ábra Magasságkülönbség okozta torzulás

Hegy- és dombvidéki területekről készült felvételen csak a vonatkozási síkon lévő pontok leképződése tekinthető hibátlanak. Az ettől eltérő magasságban lévő pontok nem megfelelő helyen képződnek le. A vonatkozási alapsíkhöz képest magasabban lévő pontok a Nadírponttól kifelé, az alacsonyabban lévő pontok befelé tolnak el. A Nadírpontban a képpont eltolódása nulla, a képszélek felé haladva mértéke arányos a Nadírtól mért távolsággal.

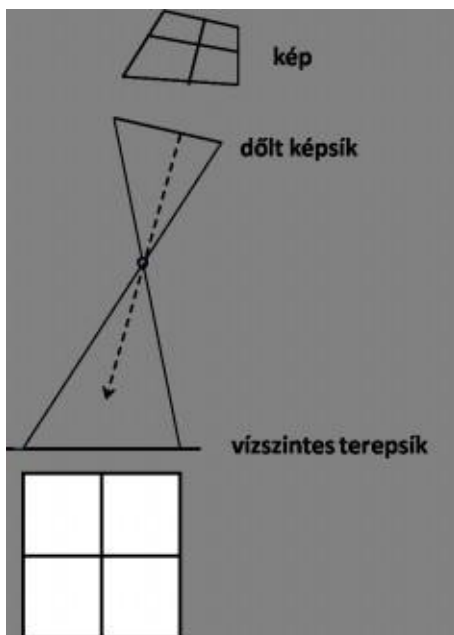
$$\Delta p = \frac{\Delta h \cdot p}{h_r}$$

A magasságkülönbség okozta torzulás *szabályos* jellegű, N-re *radiális* irányú.

## 6.5. 4.6.5 Perspektív torzulás

Párhuzamos helyzetű tárgysík-képsík esetén a tárgysíkon lévő alakzatok képe hasonló lesz az eredeti alakzathoz, a képsík egészét azonos méretarány jellemzi. Amennyiben a centrális vetítés nem párhuzamos síkok között történik (4-18. ábra), a képsíkon a képdőlésből származó perspektív vagy látszati torzulás jelentkezik és pontról pontra változó hossz és szögtorzulások lépnek fel.





4-18. ábra Perspektív torzulás

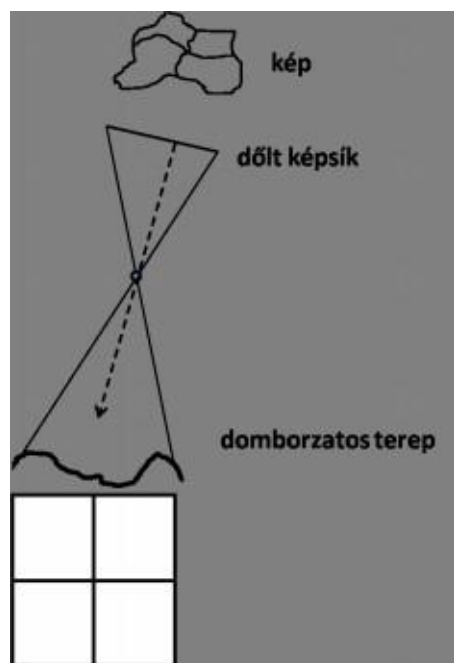
A képpont eltolódás mértékét az alábbi összefüggésből határozhatjuk meg:

$$\Delta p = \frac{p^2 \cdot \sin v}{(c_k \cdot r \cdot \sin v) \cdot \sin \alpha}$$

ahol  $r$  a képi pont radiális távolsága a szögtartó ponttól (4.4 fejezet),  $v$  a kameratengely dőlésszöge,  $\alpha$  a torzulásmentes egyenes és a szögtartó pontról az adott pontra menő irány egymással bezárt szöge.

A perspektív torzulás *szabályos* jellegű, a *szögtartópontra radiális irányú*.

Légifényképezéskor gyakorlatilag nem biztosítható, hogy a kép síkja tökéletesen vízszintes legyen, tehát csak közel függőleges tengelyű felvételeket készítünk. Általában a terepre sem jellemző, hogy tökéletesen sík, így az esetek többségében a mérőképen a képdőlésből és a terep magasságkülönbségeiből eredő, valamint az előzőekben említett valamennyi torzulás együttes hatásával találkozunk.(4-19. ábra)



4-19. ábra Perspektív és magasságkülönbségből eredő torzulás együttes hatása

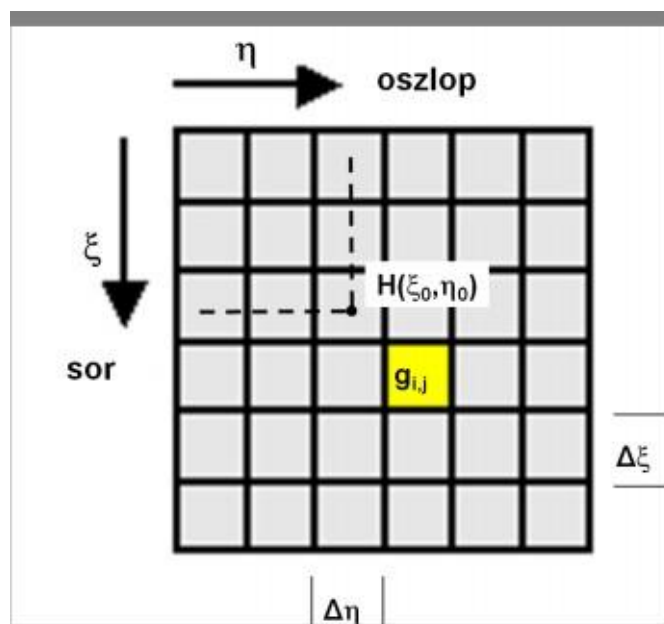
A fotogrammetria feladata, hogy a képen előálló, többszörösen torzult alakzatból a tárgyak ortogonális vetületű képét előállítsa.

## 7. 4.7 Digitális képek

Fotogrammetriai kiértékelésekkor analóg és digitális képekkel egyaránt találkozhatunk. Az analóg képekkel kapcsolatos fogalmakat a modul előző fejezeteiben tárgyaltuk, ebben a fejezetben a digitális mérőképére vonatkoztatjuk az ott megismerteket.

### 7.1. 4.7.1 Mi a digitális kép?

A digitális kép, vagy digitalizált kép felfogható  $g_{ij}$  elemekből álló kétdimenziós mátrixként. (4-20. ábra) Minden elem egy  $\Delta\xi \cdot \Delta\eta$  nagyságú felület, ezért nem képpontról, hanem képelemről vagy **pixelről** (**picture x element**) beszélünk. Az elemeknek ismert a helye (sora és oszlopa), és ezt az  $i, j$  sor- és oszlopindexekkel adjuk meg. Az elemekhez tartozó értékkészlet 0-tól 255-ig terjed, és az elemek szürkességi fokozatának értékét tartalmazza bináris kódolással. A 0-s érték a fekete, a 255-ös érték a fehér árnyalatnak felel meg. Színes képek esetében a pixelek szürkességi fokozatát több spektrális sávban is rögzítjük.



4-20. ábra Digitális kép

- *Digitális kamerával készült képek*

Digitális képet készíthetünk digitális kamerával, amely ugyanúgy, mint az analóg fényképezés esetében, lehet fotogrammetriai felvétel, vagy ún. digitális amatőrkamera. A digitális felvétel készült képek is az objektív által megvalósított *centrális vetítésű képek*, melyek rögzítése nem fényérzékeny filmen, hanem a vetítési középponttól kameraállandó távolságban elhelyezett **szenzorok** segítségével valósul meg. A fotogrammetriai felvétel készült **digitális kép** mérőkép, ismerjük a **belső adatait**, így a felvételi sugárnyaláb matematikai értelemben visszaállítható. A digitális fotogrammetria is lehetőséget biztosít amatőrkamerával készült képek kiértékelésére. Ma már számos szoftver támogatja az amatőrkamerás felvételek belső adatainak utólagos meghatározását. **Digitális képek esetében a külső adatok** - akárcsak az analóg képeknél - a felvételi hely térbeli koordinátái (3), valamint a képet létrehozó sugárnyaláb térbeli helyzetét rögzítő 3 szögérték.

- *Analóg képek digitalizálása*

Digitális képet létrehozhatunk *közvetett* módon, analóg kép digitalizálásával, szkennelésével. Az analóg és digitális fotogrammetriai kamerákkal készült felvételek felbontóképességét ( $\Delta V$ ) összehasonlítva, előbbinél a fényérzékeny réteg szemcsemérete (0,5-2,0 $\mu$ m), utóbbinál a képsíkban elhelyezett szenzorelem mérete (~4 $\cdot$ 4 $\mu$ m) a meghatározó. A jelenlegi technika még nem képes olyan kisméretű szenzorelemek és azokból kialakított hibamentes érzékelő felület előállítására, amely az analóg fényképezéssel elérhető felbontást meghaladná. Mivel a fotogrammetriai feldolgozással nyert adatok pontosságát elsődlegesen a kép

*felbontóképessége* befolyásolja, és azért, mert nem mindig áll rendelkezésre digitális felvevő, gyakran a felvételeket analóg kamerával készítik, és csak utólag digitalizálják. A fotogrammetriában az analóg képek digitalizálásánál alkalmazott **szkennereket** kétféle módon csoportosíthatjuk:

a. A szenzorok elhelyezkedése szerint

- egyes detektorok (soron belüli letapogatás)
- soros detektorok (sor egyidejű letapogatása)
- négyzet alakú detektormátrix (képrészek letapogatása, képrészek egyesítése a sarokpontok segítségével)

b. Pontosság szerint

- fotogrammetriai szkennerek (~1µm pontosság, magas ár)
- irodai vagy asztali szkennerek (kisebb pontosság, alacsony ár)

Analóg képek digitalizálásánál az eredeti kép felbontóképességének „megőrzése” érdekében rendkívül fontos a megfelelő **digitalizálási intervallum (ΔD)** megválasztása. Szkenneléskor a digitalizálási intervallum megadása a DPI (Dots Per Inch - az inch-enként előforduló képpontok száma) érték beállításával történik. (Példa: egy 250 DPI-s felbontással ~0,1mm-es képpontot kapunk.) A túl nagy digitalizálási intervallum információvesztéssel eredményezhet. Ha a DPI értékével túl kicsi digitalizálási intervallumot állítunk be, akkor a digitális képen a *zaj* megnövekedhet. Ideális esetben a digitalizálás intervalluma megegyezik a szenzorelem méretével.

Összefüggés a felbontóképesség és a digitalizálási intervallum között:

$$\Delta D [mm] < \frac{1}{2AV} \quad \text{vagy} \quad \Delta D = \frac{0,7}{2AV}$$

## 7.2. 4.7.2 A digitális kép torzulásai

A digitális felvevővel készült képeket és az utólagosan digitalizált képeket is terhelik a centrális vetítésből és az optikai leképzésből eredő torzulások. Emellett azokkal a torzulásokkal kell számolnunk, amelyek a digitális felvevőkkel történő érzékelésből és a szkennelés sajátosságaiából fakadnak. A 4.6 fejezetben sorolt torzulások közül digitális képek esetében nem beszélhetünk filmbelógásról és a film méretváltozásáról, viszont a torzulások kiegészülnek az alábbiakkal:

- A szenzorelemek elhelyezkedési szabálytalanságai az érzékelő felületen (digitális kameráknál és szkennerekben)
- Digitális átalakításnál a letapogatási sebesség nem szinkronizált a szenzor méretével → affín torzulást eredményez (szkennereknél)

## 8. 4.8 Összefoglalás

A modul tartalmazza a fotogrammetriai kiértékeléseknél használt analóg és digitális mérőfényképekkel valamint amatőr kamerával készült képekkel kapcsolatos alapfogalmakat. A mérőképekhez tartozó belső- és külső adatok mellett megismerhettük a mérőképek vezetés pontjait, vonalait. Egy példán keresztül bemutattuk a mérőképek kereten kívüli adatait. Ismertettük a digitális képek létrehozásának közvetlen és közvetett lehetőségeit, az analóg és digitális képeket terhelő torzulásokat. A modul ismeretanyagának elsajátításával könnyebben követhetőek lesznek a későbbiekben leírásra kerülő kiértékelési eljárások.

Ellenőrző kérdések:

1. Mít nevezünk mérőképnek?
2. Mik a mérőkép belső és külső adatai?
3. Mi a Nadírpont?

4. Nagy pontossági igény esetén miért készítünk analóg mérőképet?

## Irodalomjegyzék

Engler , Péter *Fotogrammetria I.*, FVM KSZI, 2007.

Fister F.-, Gerencsér M.-, Végső F.: *Fotogrammetria I.*, Székesfehérvár, 1984.

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

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

<http://www.isprshighlights.org>

<http://www.noobeed.com>