



Krauter Erika

## Az ortofotoszkópia alapjai



A követelménymodul megnevezése:  
**Fotogrammetria feladatai**

A követelménymodul száma: 2241-06 A tartalomlelem azonosító száma és célcsoportja: SzT-008-50



## AZ ORTOFOTOSZKÓPIA ALAPJAI

### ESETFELVETÉS – MUNKAHELYZET

A különféle fotogrammetriai módszerek egyik leggyakoribb terméke napjainkban az úgynevezett ortofotó vagy ortofotótérkép, amely az informatika rohamos fejlődésének eredményeként digitális formában egyre inkább része mindennapi életünknek. Ortofotókkal találkozhat bármilyen műszaki területen dolgozó szakember, mivel ezek az ortofotók gyakran jelennek meg a különféle földrajzi információs rendszerek (GIS) háttéréként. Magánszemélyként is találkozhatunk vele különféle internetre épülő szolgáltatások vagy érdekességek kapcsán (pl. Google Térkép alkalmazása: <http://maps.google.com/>).

Ezért a mai érdeklődő ember számára kívánatos és érdekes lehet az a szaktudás, ami az ortofotó készítésére vonatkozik. Milyen alapelveken nyugszik az ortofotó készítése? Milyen tulajdonságokkal rendelkezik egy ilyen ortofotó? Mely szakterületek használják?

### SZAKMAI INFORMÁCIÓTARTALOM

#### MI AZ ORTOFOTÓ ?

Az ortofotó megjelenésében a hagyományos fényképre hasonlít, de mentes annak minden geometriai (perspektív és magasságkülönbségből eredő) torzulásától, egységes méretarányal rendelkezik, így rajta pontos mérések végezhetőek.

A legtöbb térképhez hasonlóan az ortofotó is a földfelszín merőleges (ortogonális) vetülete.

*Ortofoto természetesen nemcsak a földfelszínről, hanem bármilyen egyéb objektumról (pl. épület, régészeti lelőhely stb.) is készülhet.*





1. ábra. Budapest, Andrassy u. 20. épület ortofotója<sup>1</sup>

## MI AZ ORTOFOTOSZKÓPIA ?

Első megközelítésben azt mondhatjuk, hogy az az eljárás, amikor a hagyományos fényképből ortofotót állítunk elő. Szakszerűbben megfogalmazva: az ortofotoszkópia a centrális vetítéssel készített felvételtől képátalakítással egy geometriailag helyes, torzulásmentes, adott méretarányú képet, úgynevezett ortofotót, vagy átalakított képet állít elő.

Egyetlen mérőképből nem lehetséges egy térbeli tárgy visszaállítása, mégis léteznek olyan eljárások, melyek csak egy képet dolgoznak fel. Ezek az eljárások mindig feltételezik, hogy vagy a tárgy sík, vagy a tárgy digitális felületmodellje ismert. Az egyképes kiértékelés lépései:

1. A centrális vetítéssel készült felvételtől képátalakítással egy geometriailag helyes, torzulásmentes, adott méretarányú képet, úgynevezett ortofotót, vagy átalakított képet állítunk elő.

---

<sup>1</sup> <http://epiteszet.terve.hu/?p=19> (2010.07.15.)

2. Az ortofotót analóg vagy analitikus módszerrel kiértékeljük.

### MI AZ ORTOFOTOTÉRKÉP ?

Ha az ortofotót szelvényhálózattal, örkeresztekkel és megírásokkal egészítjük ki, akkor kapjuk az ortofotótérképet.



2. ábra. Ortofotótérkép a Bodrogközről<sup>2</sup>

Az ortofotótérkép sokkal szemléletesebb képet ad a vonalas térképnél. Az ortofotón a fényképi tónusok megmaradnak, a fénykép tartalmát teljes egészében visszaadja, így sokkal több információt szolgáltat, mint a vonalas térkép. Ez különösen a természetes földfelszín vizsgálatánál lehet szempont.

*Éppen az előbbi tulajdonsága miatt néhány felhasználó pl. régészek, erdő- és mezőgazdászok, talajtani, földrajzi szakemberek, geológusok, ökológusok stb. az ortofotót jobban tudják használni, mint a vonalas térképet.*

<sup>2</sup> Forrás: <http://www.otk.hu/cd19xx/1999/szek2/licskobela.htm> (2010.07.14.)

## MIRE HASZNÁLHATÓ AZ ORTOFOTÓ?

Az ortofotóknak és ortofototérképeknek számos felhasználási területe létezik. Két fő csoportot különböztethetünk meg a felvétel készítésének helye alapján:

1. Légi fotók alapján készített ortofotók a föld felszínét ábrázolják egy adott méretarányban. Ez alapján aktualizálni lehet a meglévő tematikus térképeket, vagy különféle térinformációs rendszerek képi háttér információit is adhatják.
2. Földi (közel) fotogrammetriai felvételekből készített ortofotók tipikus felhasználási területe az építészet és a régészet. Pl. megkönnyíti az épületek homlokzatrajzainak elkészítését, a régészeti kutatások dokumentálását, falfreskók felmérését. Az épület homlokzatokról készített ortofotó mozaikról pontosan lemérhetők a szükséges méretek, bármilyen épület egyetlen fotón ábrázolható, ami a hagyományos fényképezés során pl. a szűk utcák miatt nem oldható meg.

## A FÉNYKÉPEK TORZULÁSAI

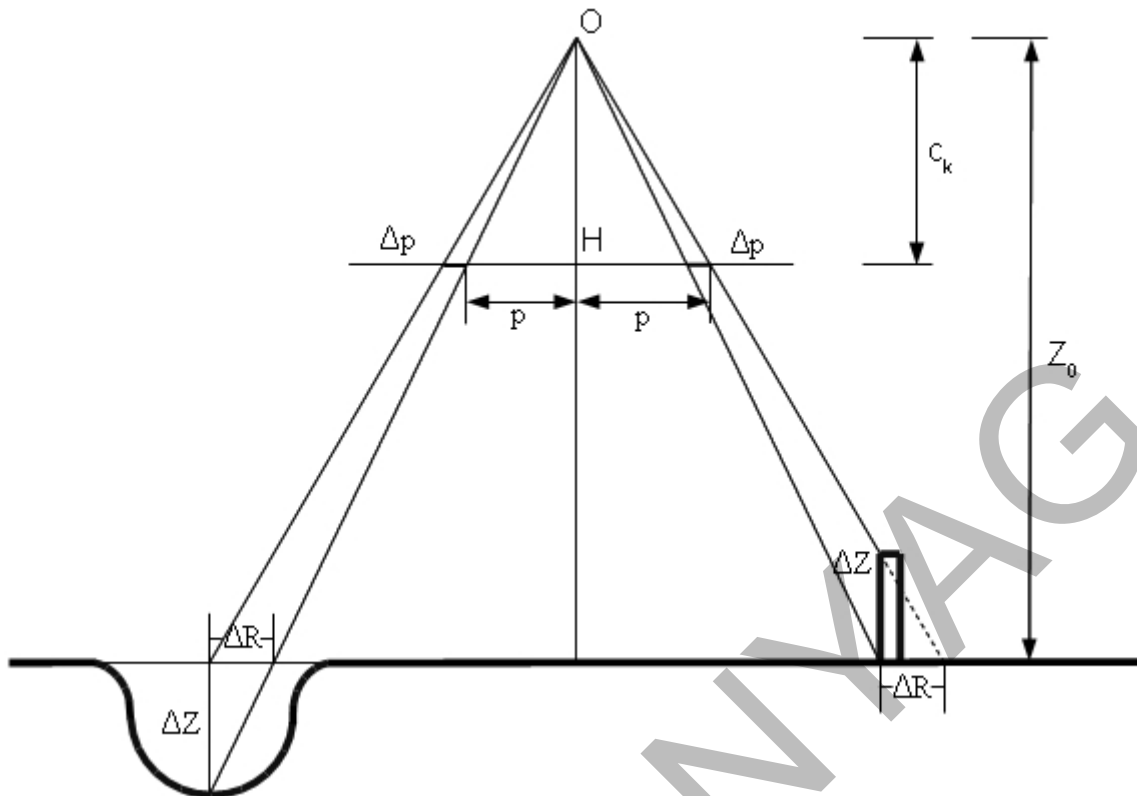
A kiértékelés szempontjából különbséget kell tennünk aszerint, hogy a felvétel sík, vagy síknak tekinthető terepről, illetve nem sík terepről készült.

### 1. Perspektív torzulás

Ha a tárgy, terep sík, akkor a felvételen a képsík és tárgysík nem párhuzamos voltából eredő perspektív, vagy látszati torzulás jelentkezik. A kameratengely dőlésének mértékétől és irányától függően egy szabályos rácsháló képe egy általános négyszög lesz. A képet a kiértékelés során úgy alakítjuk át, hogy a térképen a rácsháló újra szabályos legyen. A perspektív, vagy látszati torzulást **perspektív képátalakítással** tudjuk megszüntetni.

### 2. Magassági torzulás (radiális képtorzulás)

Abban az esetben, ha a lefényképezett felület magasságkülönbségekkel rendelkezik, akkor a keletkezett kép pontjai és a terepi pontok között nincs kölcsönösen egyértelmű megfeleltetés. Ha dombvidéki területről készült képet egy síkra visszavetítjük, akkor csak azok a pontok kerülnek a helyükre, amelyek egy képzeletbeli síkba, a **vonatkozási síkba** esnek, a többi pont a magasságkülönbségből eredő torzulás miatt az elméleti ponthelyhez képest eltolva képződik le a síkon. Magassági torzulás nincs a nadírpontban, attól távolodva azonban a sugárirányú távolság ( $p$ ) és a  $\Delta Z$  magasságkülönbség függvényében változó mértékű. Irányát tekintve a nadírpontra nézve radiális irányú. A tereptárgyak magasságából eredő torzulással az egyképes, síkfotogrammetriai kiértékeléseknél, illetve az ortofotó készítésénél számolnunk kell. Ez utóbbi esetben a képet olyan kis részekre kell bontanunk, amelyen belül a magasságkülönbségből eredő torzulás már elhanyagolható, majd ezeket a képrészeket folyamatos vezérlés mellett transzformáljuk (alakítjuk át) és fotográfiai úton rögzítjük. Ezt az eljárást **differenciális képátalakításnak** nevezzük. Digitális fotogrammetriában ortoprojekcióról beszélünk.



3. ábra. A magassági torzulás összefüggése<sup>3</sup>

A magassági torzulás (radiális képtorzulás) értéke a következő összefüggéssel számítható:

$$\Delta p = \Delta R * \left( \frac{c_k}{Z_0} \right) = \Delta Z * \left( \frac{p}{Z_0} \right) = \Delta Z * \left( \frac{p}{c_k * m} \right)$$

4. ábra

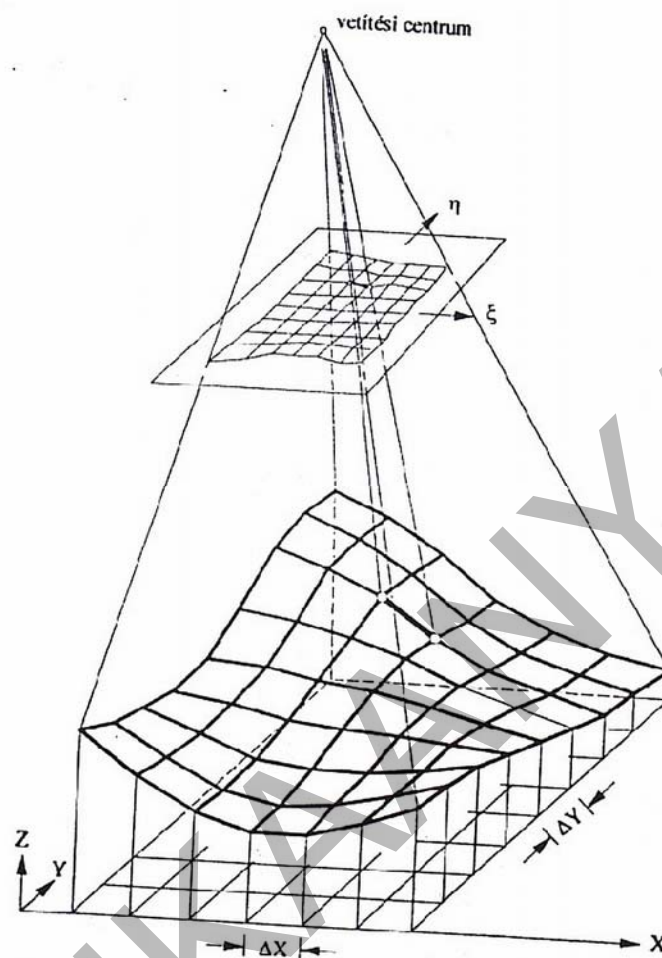
Ahol:

- $\Delta p$ : radiális képtorzulás értéke
- $p$ : a pont távolsága a képen a nadírponttól
- $\Delta R$ : a radiális torzulás terepi mértéke
- $c$ : kamara állandó
- $Z_0$ : vetítési centrum magassága a vonatkozási sík felett
- $\Delta Z$ : a terep magasságkülönbsége a vonatkozási síkhoz képest
- $m$ : képméretarány

<sup>3</sup> Forrás: Karl Kraus: Fotogrammetria, 286. oldal

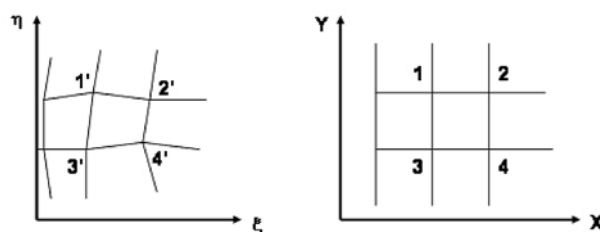


Általános esetben, mivel a terep nem sík, a képi pontok mind a perspektív torzulással, mind a magasságkülönbségből adódó torzulásokkal terheltek lesznek.



5. ábra. Az XY síkban szabályos rács képe a terep felszínén és a képen

A rácsáló torzulásai (szögek, hosszak, területek) a képen pontról pontra, irányról irányra, rácsnégyzetekként változnak a képen.



6. ábra. Rácsáló a képen és a térképen

## KÉPTORZULÁSOK MEGSZÜNTETÉSE CENTRÁLIS PERSPEKTÍV ÁTALAKÍTÁSSAL

### 1. Perspektív képátalakítás a belső tájékozás visszaállításával

A képátalakítás egyik megoldása lehet, ha van egy olyan vetítő berendezésünk, amely lehetővé teszi az eredeti kép belső és külső tájékozási elemeinek a visszaállítását.

A belső tájékozás visszaállítása, a belső adatok beállítása olyan módon történik, hogy a műszer képtartójában, ami rendelkezik keretjelekkel, a képet központosan helyezzük el, majd képtávolsággént beállítjuk a felvevőkamera kameraállandójának megfelelő értéket. Ezekkel a lépésekkel meghatároztuk mindhárom belső adatot. A központosítással a  $\xi_0$  és  $\eta_0$ , a képtávolság beállításával a  $c_k$  értékeket. Annak érdekében azonban, hogy a műszer asztalán éles képet kapjunk, **a képátalakító műszer objektívje gyújtótávolságának különböznie kell a felvevőkamera gyújtótávolságától.**

A hat külső tájékozási elem közül a képátalakításhoz elegendő a  $Z_0$ , a  $\phi$  és az  $\omega$  forgatási értékek ismerete, mivel a többi elemnek itt nincs jelentősége. Ezek a fotográfiai végtermék, az ortofotó két eltolása ( $X_0, Y_0$ ) és elforgatása ( $\kappa$ ) az országos koordináta-rendszerben.

Amennyiben ismerjük ezeket az adatokat, akkor a műszeren beállítva megkapjuk az eredeti kollineár helyzet megfelelőjét.

**A külső tájékozási adatokat azonban gyakran nem ismerjük.** Ekkor a beállítási elemeket **három illesztőpont segítségével** a következő lépésekben határozhatjuk meg:

1. 1-es és 2-es pontok fedésbe hozása ( $Z_0$  beállítása, kétirányú eltolás és egy elforgatás a tárgyasztalon). Ezzel négy állítási lehetőséget használtunk ki.
2. a 3-as pontban az  $x$  és  $y$  irányú eltérések kiküszöbölése, a tárgy asztal  $\omega$  és  $\phi$  irányú döntésével.

A  $Z_0$  a kivetített háromszög méretarányát, a  $\phi$  és  $\omega$  szögek a háromszög alakját határozzák meg. Ebből következik, hogy **egy olyan képátalakító műszernek, mely a belső tájékozási adatokat visszaállítja, csak három független állítási lehetőségre van szüksége, és ezek három illesztőpont segítségével meghatározhatók.**

A három független állítás a  $Z_0$ , az  $\omega$  és a  $\phi$ .

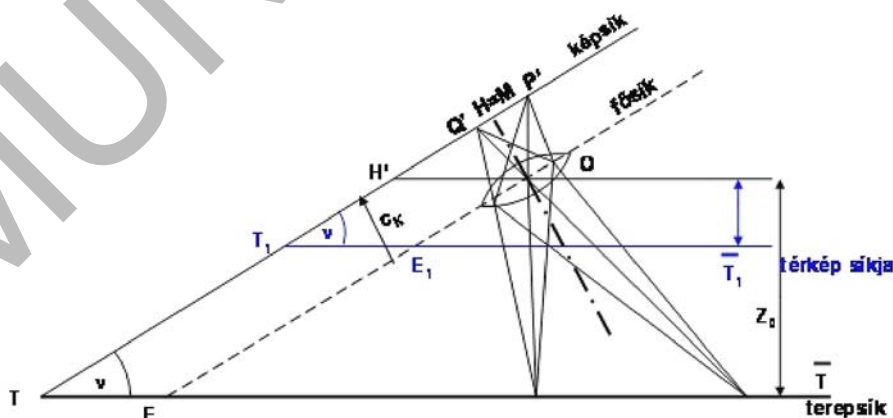
Ez a geometriai értelemben jó megoldás nagyobb képdőlések esetén többnyire életlen ortofotót hoz létre, mivel **az optika alaptörvényeinek ellentmond.** Emiatt az alkalmazása nem jellemző.



## 2. Perspektív képátalakítás a belső tájékozás visszaállítása nélkül

A belső tájékozás visszaállítása nélküli perspektív képátalakítást **optikai képátalakításnak** is nevezzük. Optikai képátalakításkor egy képátalakító műszer segítségével a vetítési folyamat megfordításával, a fényképezéskor fennálló kollineár helyzetnek azt a geometriai megfelelőjét állítjuk elő, amely a meghatározott méretarány-kicsinyítést és az optikai éles leképezést is figyelembe veszi. Ebből a definícióból látszik, hogy a képátalakítás során optikai és geometriai feltételeket kell kielégítenünk. Az optikai feltételekkel azért szükséges foglalkozni, mert a képátalakítás során a vetítési távolság véges, továbbá a kép és tárgysík dőlt helyzetű, azaz nem párhuzamos síkokról van szó, a geometriai feltételekkel pedig azért, mert az eredeti kollineár helyzet megfelelőjét állítjuk vissza, ami geometriai értelemben jól definiált, meghatározott követelményeket támaszt.

A feltételek tárgyalása előtt vizsgáljuk meg milyen helyzet áll fenn a mérőfénykép készítésekor a képsík, tárgysík és a vetítési centrum között mind geometriai, mind optikai szempontból (6. ábra). Légifényképezéskor a repülési magasság, azaz a tárgytávolság a felvevőkamera fókusztávolságához ( $c_k$ ) képest optikailag végtelennek tekinthető. Ha a  $h$  magasságból készült felvételt behelyezzük egy olyan vetítőkamerába, amelynek fókusztávolsága megegyezik a felvevőkamera fókusztávolságával és az optika középponttól  $h$  távolságra vetítjük, továbbá a vetítőkamerát a felvétel pillanatában fennállt adatok szerint állítjuk be, a vetítési síkon (terep) visszaáll a terep eredeti képe. Képátalakításkor a térkép méretarányának megfelelő  $h/m_f$  távolságban a vetítő sugárnyalábot egy, a terepsíkkal párhuzamos síkkal elmetsszük (az eltolási tételt alkalmazzuk). Ekkor a geometriai feltételek nem változnak, a terepalakzathoz hasonló idomok jönnek létre, de a síkban nem keletkezik éles kép. Ha az egyes pontok leképezésében csak egy-egy sugár, és nem sugárnyaláb venne részt, a kép éles lenne. Mivel a sugárnyaláb sugarai csak az optika alapegyenletének megfelelő, a  $h$  távolságban lévő terep síkjában egyesülnek egy-egy pontban, a térkép síkjában azonban nem metszik egymást.



7. ábra. Az optikai képátalakítás elve

A képátalakítást tehát úgy kell megoldani, hogy az eredeti tárgytávolságtól eltérő vetítési távolságban is éles kép jöjjön létre, és az a perspektív torzulástól mentes legyen.

## Optikai feltételek

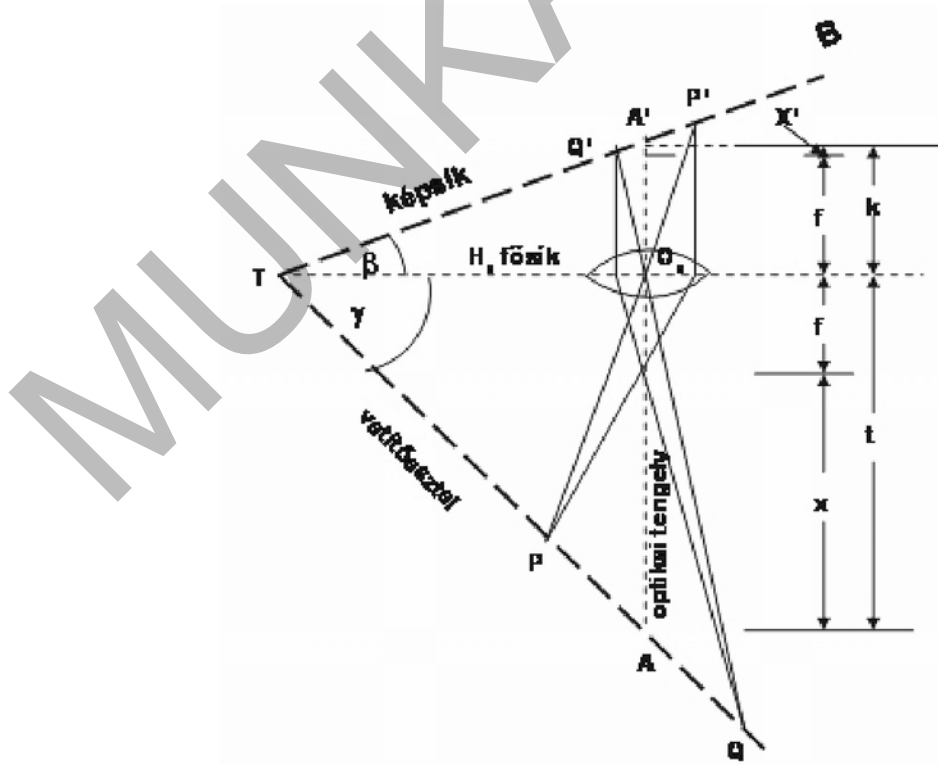
Általános helyzetű síkok esetén az **éles leképezés optikai feltételeit** (6. ábra) Ernst Carl Abbe állította fel.

*Ernst Carl Abbe (1840–1905) német matematikus, fizikus, a Jénai Egyetem tanára volt. Abbe 1866-ban, Carl Zeiss felkérésére kezdett optikával foglalkozni, aki megbízta azzal, hogy kísérletezzen ki éles és torzításmentes képet adó lencserendszert mikroszkópok számára. Abbe sikerrel birkózott meg a feladattal, és feltalálta az apokromatikus lencserendszert. Zeiss azzal honorálta Abbe munkásságát, hogy bevette a cégébe társnak, és 1866-tól Abbe a Zeiss Optikai Művek kutatásért felelős igazgatója lett. A Zeiss műhely ettől kezdve piacvezető lett a szakmában, és viharos fejlődésnek indult.*

Az **Abbe-féle feltételek** kimondják, hogy

- a tárgysík és képsík egyetlen egymásnak megfelelő pontpárjának ki kell elégítenie az optika Newton-féle alapegyenletét (legegyszerűbb, ha ez a pont az optikai tengelyre esik). Ezt másképpen **távolságfeltételnek** nevezzük.
- a képsíknak olyan szöget kell bezárnia az optika egyesített főtávjával, hogy a tárgysíkot éppen a főtávjában messe.

A második feltétel egyszerűbben úgy szól, hogy a B képsíknak, a  $H_e$  főtávjának és a T vetítési (térképezési) síknak közös metszésvonalban kell metsződnie. A szakirodalmakban ezt **Scheimpflug-feltételnek** hívjuk (7. ábra).



8. ábra. A képátalakítás optikai feltételei

*Theodor Scheimpflug (1865–1911) osztrák tengerésztiszt volt, térképészeti feladatokat látott el az Osztrák–Magyar Monarchia idején a Haditengerészetnél. Munkája abból állt, hogy légbalonról fényképeket készített. A fő problémája ezeknek a felvételeknek az volt, hogy a képeinek csak egy része – egészen pontosan egy vonala – volt éles, hasonlóan a 8. ábrához.*



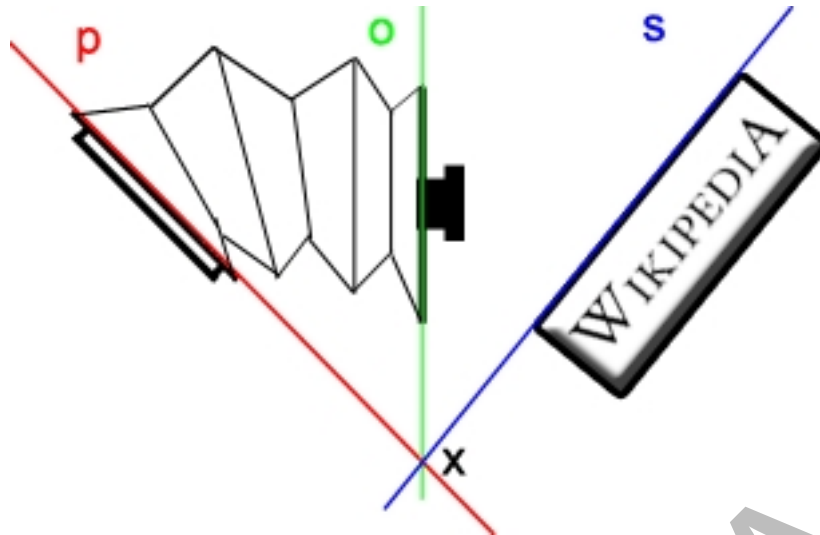
9. ábra. Ún. Scheimpflug felvétel a San Diego-i autópálya Long Beach-hez közeli részén<sup>4</sup>

*Kísérletezései közben rájött, hogyha a fényképezőgépe hátfalát megdönti egy olyan szögben, amellyel eléri a három sík találkozását (9. ábra), akkor nyitott rekeszsel is teljesen éles képet kap. Ezzel elsőként ismerte fel a fotografiai perspektív képátalakítás során ennek a feltételnek a fontosságát.*

---

<sup>4</sup> Forrás: <http://www.insidesocal.com/gritchen/scheimpflug/> (2010. július 14.)





10. ábra. Scheimpflug-feltétel<sup>5</sup>

A két feltétel együttes teljesítése után a lencseegyenlet ( $x'x = f^2$ ) a képsík és a vetítési sík minden homológ (egymásnak megfelelő) pontjára nézve teljesül.

#### Geometriai feltételek

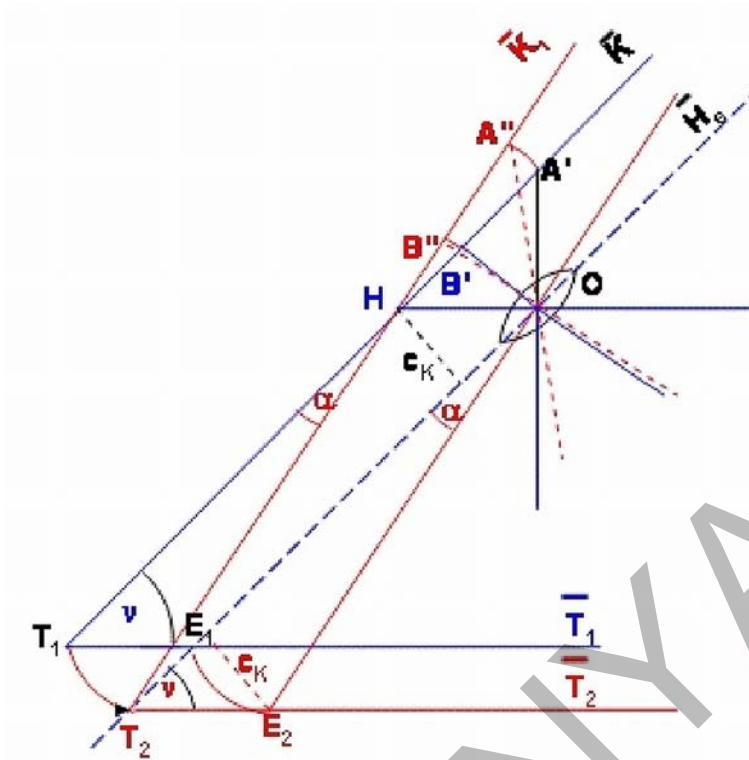
Általános helyzetű tárgysíkról éles képet csak akkor kapunk egy képsíkon, ha a két sík egymással centrális-axiális helyzetben van. A képátalakítás tisztán geometriai feltételei megegyeznek a korábbi tanulmányokban már megismert kollineár helyzet feltételeivel:

- az ellentengelyek és a kollineáció tengelye párhuzamos egyenesek legyenek,
- a tengelyre egymásnak megfelelő egyenesek illeszkedjenek,
- a fővonalak a profil vetítősíkra illeszkedjenek,
- a vetítési centrum (O) és a tengelypontok (T, H, E) paralelogrammát alkotnak.

#### Egyesített optikai és geometriai feltételek

Mint az 5. sz. ábrán jól látszik, a  $T_1$  síkban a geometriai feltételek teljesülnek, az optikai feltételek azonban nem. Ha a H pont körül elforgatjuk a képsíkot  $\alpha$  szöggel, majd a forgatási tételnek megfelelően, hogy a kollineár helyzet mindegyik feltétele teljesüljön az O pont körül ugyancsak  $\alpha$  szöggel elforgatjuk az  $E_1$  pontot is, akkor a  $T_2$  tengelypont és az elforgatott  $E_2$  pont megadja a  $T_2$  síkot. A geometriában megismert vetítési centrum forgatási tételének alkalmazásával a  $T_2$  sík már eleget tesz az Abbe-féle feltételeknek (10. sz. ábra).

<sup>5</sup> Forrás: <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/1243845> (2010. 07. 15.)



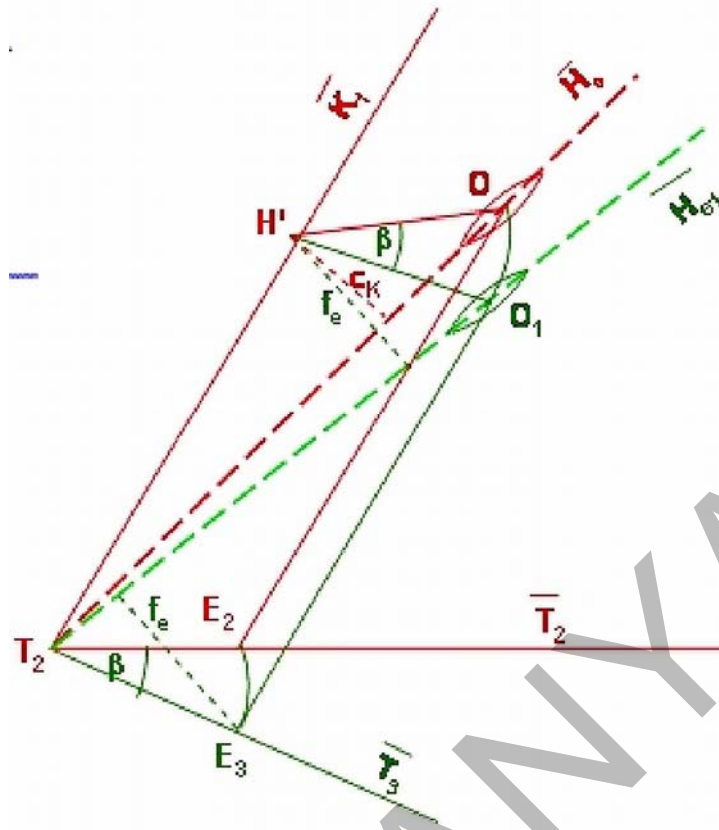
11. ábra. Az optikai és a geometriai feltételek teljesítése

Ezzel tulajdonképpen biztosítottuk az optikai és a geometriai feltételeket. Azonban eddig feltételeztük, hogy a képátalakító műszer objektívjének fókusz távolsága megegyezik a felvevőkamera objektívjének a fókusz távolságával, azaz a  $c_k$ -val. A gyakorlatban használt műszereknél azonban az a jellemző, hogy a felvevő kamera kameraállandója és a képtranszformátor objektívjének fókusz távolsága nem egyezik meg. Ha ugyanis ezek eltérnek egymástól, akkor továbbra sem kapunk éles képet, mivel egy pont vetítését nem egy vetítősugár, hanem egy sugárnyaláb végzi. Scheimpflug felismerve ezt a problémát a fotogrammetria szempontjából az Abbe-féle feltételeket átfogalmazta:

- az objektív  $H_e$  egyesített fősíkja a kollineáció  $T_1$  tengelyére (a két sík metszéspontjára) illeszkedik (ez a Scheimpflug feltétel),
- az ellentengelyek (a H horizontvonal és az E eltűnési vonal) a vetítő objektív fókusz távolságára legyenek a  $H_e$  egyesített fősíktól.

Ezt nevezzük **Scheimpflug egyesített optikai-geometriai tételének**.

A következő lépésben azt kell biztosítanunk tehát, hogy a képátalakítás során akkor is éles képet kapjunk, ha a képátalakító műszer objektívjének fókusz távolsága eltér a felvevőkamera kameraállandójától. Induljunk ki a 10. ábra végeredményéből. Teljesülnek az optikai és geometriai feltételek, a  $H_e$  síktól a H pont  $c_k$  távolságra van. Ha a képátalakító műszer objektívjének fókusz távolsága nem egyenlő a fényképező kamara fókusz távolságával  $f_e \neq c_k$ , akkor a vetítési centrum forgatási tételének egy következő alkalmazásával biztosíthatjuk, hogy Scheimpflug második feltétele is teljesüljön (11. ábra).



12. ábra. Egyesített optikai-geometriai feltételek

A H pont körül az O vetítési középpontot  $\beta$  szöggel  $O_1$  helyzetbe forgatjuk úgy, hogy ezzel a  $H_e$  főtávolság  $H_{e1}$  helyzetbe kerül. Ekkor H távolsága  $H_{e1}$ -től megegyezik  $f_e$ -vel. Annak érdekében, hogy a kollineár helyzet feltételei teljesüljenek,  $T_2$  körül az  $E_2$  pontot is el kell forgatnunk  $\beta$  szöggel. Az így kapott  $T_3$ , a  $H_{e1}$  és a  $K_1$  síkok helyzete, valamint a  $H_{e1}$  sík és a H pont távolsága teljes mértékben kielégíti a Scheimpflug tételben foglaltakat.

Ezzel biztosítható, hogy egy képátalakító műszeren bármilyen fókusztávolságú, kameraállandójú kamerával készített felvétel képátalakítását elvégezhetjük. Ezeknél a megoldásoknál a felvételi sugárnyaláiban nem egybevágó (nem kongruens) sugárnyalábot alkalmazunk.

A képátalakítás optikai és geometriai feltételeinek egyidejű betartását az analóg műszerek optikai-finommechanikai műszerelemek segítségével automatikusan biztosítják. A megfelelő helyzet beállítása után az asztal lapjára fényérzékeny papírt helyezünk, és azt a megfelelően beállított képpel megvilágítjuk, majd előhívjuk. Ezzel előáll a terep átalakított képe, mely megfelel az ortogonális vetítés szabályainak.

Magasságkülönbségből származó torzulás



$$\Delta p = \Delta Z * \left( \frac{p}{c_k * m} \right)$$

13. ábra

nem jelentkezhethet a képen, mert annak hatása a domborzat függvényében pontról pontra változna, a képet ennél a megoldásnál pedig csak egyszerre, egyben tudjuk kivetíteni. Az analóg képátalakítás tehát, ahogy a téma tárgyalásának kezdetekor felvetettük, **csak vízszintes sík terep esetén ad jó megoldást.**

## KÉPTORZULÁSOK MEGSZÜNTETÉSE DIFFERENCIÁLIS KÉPÁTALAKÍTÁSSAL

A perspektív képátalakítás már nem ad megfelelő eredményt dombos területen, vagy ha mélységében tagolt a felszín. Ilyenkor a képet kis elemi, differenciális felületekre bontjuk és az ortofotót a felületelemek transzformált képeiből állítjuk elő. Abban az esetben, ha a fényérzékeny alaplapon egy meghatározott nagyságú rés csak mozaikszerűen engedi meg a megvilágítást, és mindig biztosítjuk, hogy a rés által nyitva hagyott területrész középmagasságára állítjuk be a vetítési távolságot, azaz a vonatkozási síkot, akkor nemcsak a látszati torzulást, hanem a magasságkülönbségből eredő torzulásokat is a lehető legkisebbre szorítjuk. Ez úgy érhető el, hogy az átalakítandó területre vonatkozó magassági modellt előállítjuk, és a rés mozgatásával szinkronban a modell felületén haladva folyamatosan változtatjuk a kivetítés távolságát úgy, hogy a Z irányú mozgást átvisszük a projektorba. Ez a differenciális képátalakítás módszere.

### 1. Alapelvek

Rendelkezésünkre áll egy fénykép, amely általános terepről készült, vagyis nemcsak perspektív, hanem magassági torzulással is terhelt. Ezen a felvételen a deformációk egy torzult rácsháló  $\xi$  és  $\eta$  sarokponti koordinátákkal adottak. Célunk az, hogy egy olyan új felvételt kapjunk, amelyen ez a rácsháló derékszögű, vagyis az a feladatunk, hogy egy tetszőleges négyszög fotográfiai tartalmát egy négyzetbe vigyük át. Ha a rácsvonalak mentén lineáris összefüggést alkalmazunk, akkor egy rácsnégyszög fotográfiai átalakítását matematikailag egy bilineáris transzformáció nyolc paraméterével ( $a_{ik}$ ) írhatjuk le.

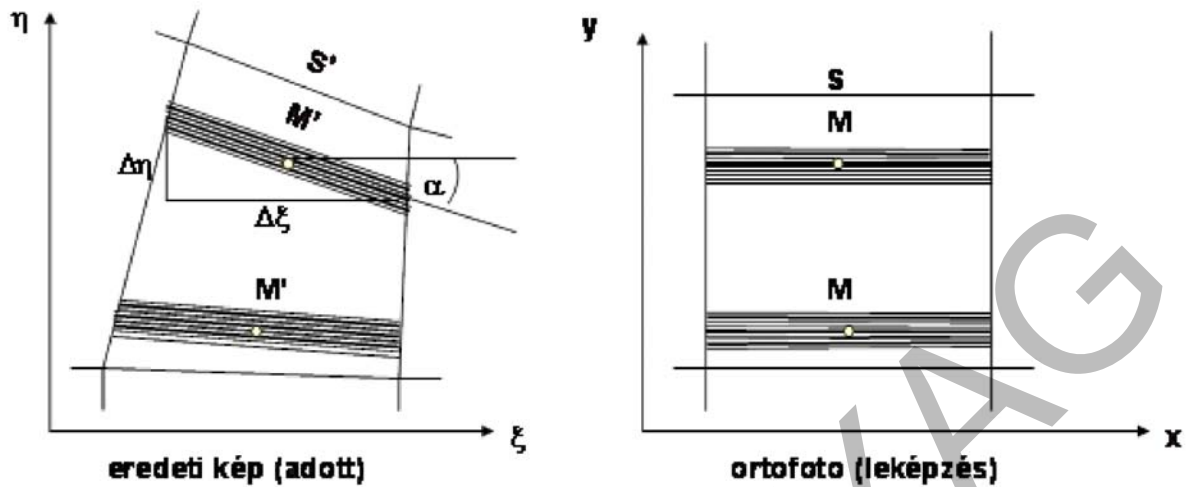
*Kiegészítésként a bilineáris transzformáció képletei:*

$$\xi = a_{01} + a_{11}X + a_{21}Y + a_{31}XY \quad \text{és} \quad \eta = a_{02} + a_{12}X + a_{22}Y + a_{32}XY$$

### 2. Műszertechnikai megoldás

A bilineáris transzformáción alapuló átalakítás műszeres megoldása többféleképpen is elképzelhető. Most csak a **digitális vezérlésű optikai képátvitel** elnevezésű megoldásra fogunk koncentrálni, mely alapján a **Wild OR1 Avioplan** és a **Zeiss Z2 Orthocomp** rendszerek működnek.

Az  $xy$  síkban (mely az ortofotó síkja) egy nagyon keskeny, a négyzetrács méretével megegyező hosszúságú rést ( $S$ ) vezetünk  $y$  irányban.



14. ábra. Vonalelemekkel történő differenciális képátalakítás

E folyamatos mozgás közben vetítjük át a  $\xi\eta$  sík megfelelő vonalelemét az  $xy$  síkra. A mérőkép vonalelemét eközben az alábbiak szerint kell vezérelni:

3. két eltolás, amely a vonalelem mindenkorai középpontjára vonatkozik ( $M' \rightarrow M$ ),
4. forgatás  $\alpha$  szöggel,
5. méretarány-változtatás ( $S' \rightarrow S$ ).

A vezérlő adatok egy rácselem sarokpontjainak  $\xi\eta$  és  $xy$  koordinátáiból számíthatók. Az éppen feldolgozás alatt álló vonalelem  $\xi\eta$  és  $xy$  koordinátái segítségével a következő vezérlő adatok számíthatók:

6. vonalközéppont:  $\xi_M$  és  $\eta_M$  koordináták számítása a baloldali és a jobb oldali hosszszelvényen egymásnak megfelelő pontok koordinátáinak közepelésével,
7.  $b$ , forgatási szög:  $\alpha = \arctg(\Delta\eta/\Delta\xi)$ ,
8.  $c$ , méretarányszorzó

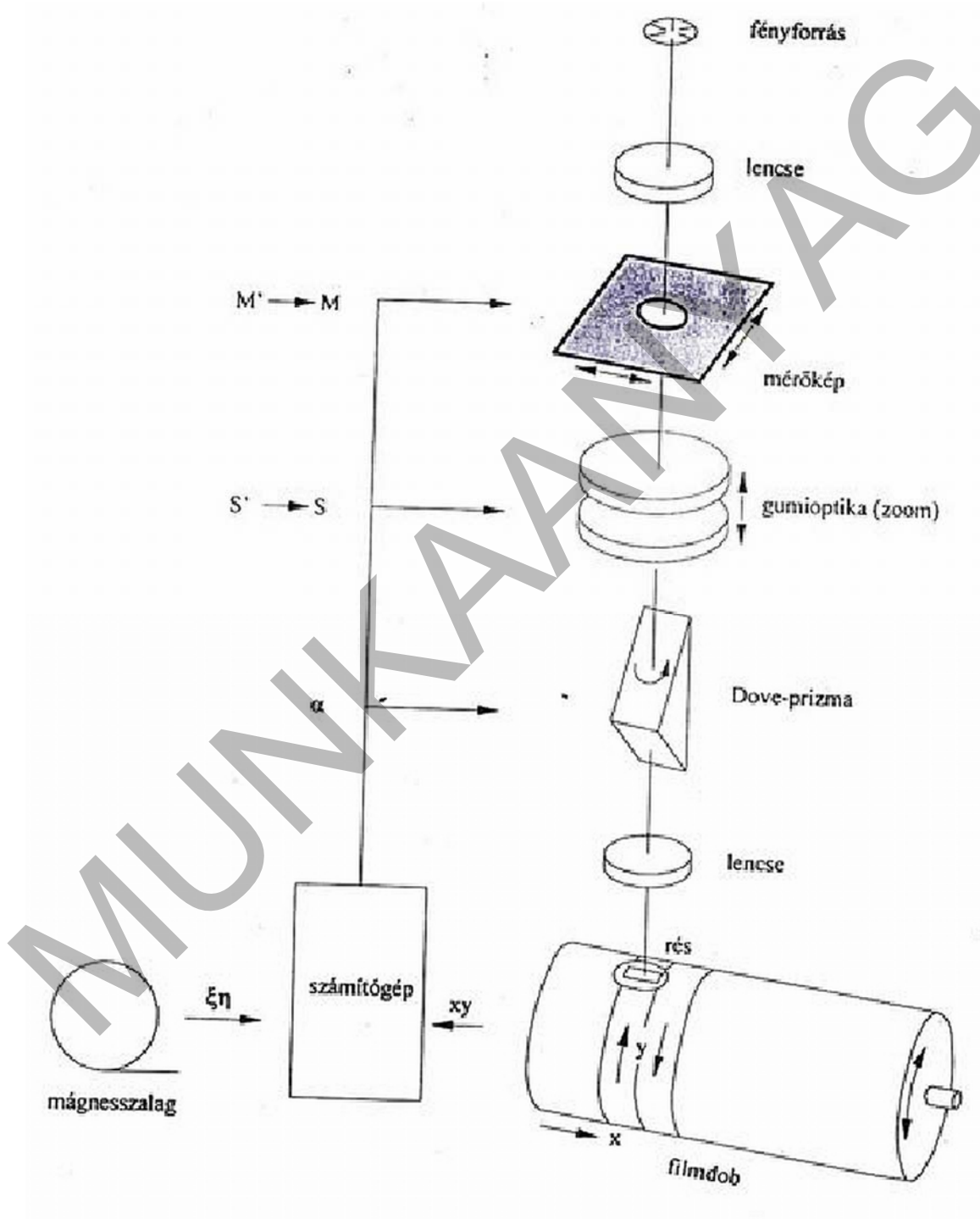
Ha egy rácsnégyszöggel végeztünk, a következő rácselemet ugyanígy dolgozzuk fel. Ha a sor végére értünk, következik a szomszédos sor rácselemeinek hasonló feldolgozása.

Az OR1 Avioplan műszerben egy folyamatvezérlő számítógép mágnesszalagról olvassa be a torzult rácsháló sarokpontjainak  $\xi\eta$  koordinátáit, és járulékos információkból kiszámítja az azoknak megfelelő  $xy$  koordinátákat. A számítógép az  $xy$  koordináták segítségével egy mozdulatlan helyzetű rés alatt forgat ( $y$  irányban), és eltol ( $x$  irányban) egy dobot, amelyre a fényérzékeny anyagot, pl. filmet felhelyezünk. Az elmozdulás növekménye (inkrementuma)  $y$  irányban nagyon kicsi, pl. 0,1 mm. Ennek az elmozdulásnak az ütemében számítja és vezérli a beállítást:

- az  $\alpha$  szöveget, amellyel egy Dove-prizmát forgat,

- a méretarányozót, amellyel egy gumioptika gyújtótávolságát változtatja
- a két eltolásértéket, amellyel a mérőképet hordozó képtartót egy keretszánon eltolja.

E folyamat közben a fényforrás egy állandó lencserendszer segítségével a mérőkép egy részletét a filmdobra vetíti, amelyen a résen keresztül a kivetített vonalelem leképződik. Ez az optikai képátvitellel történő képátalakítás, amit a 13. ábra szemléltet.



15. ábra. Optikai képátvitellel történő képátalakítás



Természetesen differenciális képátalakítással sík felvételek dőlt kamaratengellyel készült felvételeinek torzulásai is megszüntethetők.

## DIGITÁLIS ORTOPROJEKCIÓ

A digitális ortofotók előállításakor abból az elképzelésből indulunk ki, hogy az országos koordináta-rendszer XY síkján előállítható egy képmátrix a kamera koordinátarendszerében adott képmátrixból. A digitális ortofotók előállítása a kívánt képmátrixnak az országos koordináta-rendszer XY síkján történő definíciójával kezdődik. Ezek után az itt létrehozott kép képelemeinek középpontjait a kamera koordináta-rendszerébe transzformáljuk. **A vetítés számítás, analitikusan történik, amelynek végrehajtásához ismernünk kell a kép belső és külső tájékozási adatait és a terep domborzati viszonyait meghatározó digitális felületmodellt.** Vagyis a transzformáció feltétele az XY síkban található raszterpontok Z koordinátáinak ismerete. A Z koordinátákat általában digitális magassági modellekből vezetik le úgy, hogy a terep jellemző vonalait is figyelembe veszik. Szigorúan véve minden egyes pixelhez XYZ terepi koordinátákkal kellene rendelkezünk, de ez gyakorlatilag megvalósíthatatlan. Ehelyett diszkrét pontok halmazával közelítjük a terepet, ahol a szükséges közbülső pontokat interpolációval számítjuk ki.

**Az ortofotó előállításához a centrális vetítés alapegyenleteit használjuk fel.** Ezek teremtik meg a kapcsolatot a képpont (pixel) képkoordinátái és a neki megfelelő tereppont geodéziai koordinátái (vetületi ponthely) között.

## TANULÁSIRÁNYÍTÓ

1. Rajzolja le emlékezetből a 6. 10. és 11. ábrákat.

2. Végezzen kutatómunkát az Interneten, esetleg az Arany Oldalak között vagy a könyvtárban. Keressen olyan magyarországi céget, amelyek ortofotó készítésével foglalkoznak. Tanulmányozza át szervezeti felépítésüket, műszerezettségüket és főbb referenciamunkáikat.
3. Látogasson el diáktársaival tanára szervezésében és irányítása mellett egy olyan céghez, ahol foglalkoznak ortofotó készítésével, és rendelkezésre állnak az ehhez szükséges eszközök, műszerek. Figyelje meg az ott folyó munkát, készítsen jegyzeteket a látottakról, beszélgesse az alkalmazottakkal, majd válaszoljon a következő kérdésekre:
  - Milyen típusú ortofotókat készítenek a cégnél? Földi képekből, építészeti, régészeti vagy egyéb alkalmazásokhoz készünek ortofotók, vagy légifelvételekből térképészeti célra készítenek ortofotó termékeket?
  - Perspektív vagy differenciális képátalakítással foglalkoznak a cégnél? Esetleg mindkettővel?
  - Hagyományos vagy digitális ortofotók készítését végzik?
  - Milyen képzettségű szakemberek készítenek ortofotó termékeket? Milyen gyakorlattal rendelkeznek?
  - Milyen a felszereltség, milyen erőforrásokkal rendelkezik a cég? Régebbi típusú vagy új műszerek, esetleg számítógépes munkaállomások?
  - Kik a főbb megrendelők? Milyen célra kívánják hasznosítani az elkészített ortofotó termékeket?

## ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK

### 1. feladat

Húzza alá az állítások tartalmának megfelelően, hogy IGAZ vagy HAMIS állításokról van-e szó!

Az ortofotoszkópia geometriailag helyes képet állít elő. IGAZ HAMIS

Az ortofototérkép nem tartalmazza a fénykép eredeti tónusait. IGAZ HAMIS

A fénykép általános esetben mind perspektív, mind magassági torzulással terhelt.

IGAZ HAMIS

A magassági torzulás a nadírpontban nulla.

IGAZ HAMIS

A magassági torzulást az ortofoto térkép készítésénél nem kell figyelembe venni.

IGAZ HAMIS

Az ortofoto térkép tartalmazza a megírásokat, a szelvényhálózatot és az őrkereszteket.

IGAZ HAMIS

### 2. feladat

Írja le a differenciális képátalakítás lényegét!

---



---



---



---

### 3. feladat

Számítsa ki a magassági torzulás (radiális képtorzulás) értékeit a kép sarkában, ha a felvételt normál látószögű kamarával ( $c_k = 150\text{mm}$ , képméret  $23 \times 23 \text{ cm}$ ) készítették, a kép méretaránya  $M = 1: 5000$ , a terep magasságkülönbségei a vonatkozási síkhoz képest pedig a következők:  $\Delta Z = 1\text{m}; 5\text{m}; 10\text{m}; 25\text{m}; 100\text{m}; 250\text{m}$ .

#### 4. feladat

Egészítse ki a következő hiányos mondatokat a megfelelő fogalmakkal, szakkifejezésekkel!

A belső tájékozás visszaállítása nélküli perspektív képátalakítást \_\_\_\_\_ is nevezzük.

A képátalakítás során \_\_\_\_\_ és \_\_\_\_\_ feltételeket kell kielégítenünk.

A képátalakítást tehát úgy kell megoldani, hogy az eredeti tárgytávolságtól eltérő vetítési távolságban is \_\_\_\_\_ kép jöjjön létre, és az a \_\_\_\_\_ torzulástól mentes legyen.

Általános helyzetű síkok esetén az éles leképezés optikai feltételeit \_\_\_\_\_ állította fel.

A képsíknak, az objektív egyesített főtávolságának és a vetítési (térképezési) síknak közös metszéspontban kell metsződnie. A szakirodalomban ezt \_\_\_\_\_-féle feltételnek hívjuk.

Dombos területen, vagy ha mélységében tagolt a felszín, akkor a képet kis elemi, differenciális felületekre bontjuk és az ortofotót a felületelemek \_\_\_\_\_ képeiből állítjuk elő.

## MEGOLDÁSOK

## 1. feladat

Az ortofotoszkópia geometriailag helyes képet állít elő.	<u>IGAZ</u>	HAMIS
Az ortofototérkép nem tartalmazza a fénykép eredeti tónusait.	IGAZ	<u>HAMIS</u>
A fénykép általános esetben mind perspektív, mind magassági torzulással terhelt.	<u>IGAZ</u>	HAMIS
A magassági torzulás a nadírpontban nulla.	<u>IGAZ</u>	HAMIS
A magassági torzulást az ortofoto térkép készítésénél nem kell figyelembe venni.	IGAZ	<u>HAMIS</u>
Az ortofoto térkép tartalmazza a megírásokat, a szelvényhálózatot és az örkereszteket.	<u>IGAZ</u>	HAMIS

## 2. feladat

A differenciális képátalakítási eljárásnál a képet olyan kis részekre bontjuk, amelyen belül a magasságkülönbségből eredő torzulás már elhanyagolható, majd ezeket a képrészeket folyamatos vezérlés mellett transzformáljuk (alakítjuk át) és fotografiai úton rögzítjük.

## 3. feladat

A magassági torzulás számítási képletét nem tudjuk rögtön alkalmazni, mivel  $p$  értéke a képsarokban ismeretlen. Tudjuk azonban, hogy a  $p$  értékét a nadírponttól mérjük, ez pedig függőleges kamaratengely esetén a képkoordináta-rendszer kezdőpontjával megegyezik,  $p$  érték pontosan a képátló fele lesz. Ezt a Pithagorasz-tételből ki tudjuk számolni:  $2p = (23^2 + 23^2)^{1/2} = 325,26\text{mm}$ ;  $p = 162,63\text{mm}$ . Mivel most már az egyetlen ismeretlen a magassági torzulás, a keresett mennyiségek kiszámíthatók az eredeti összefüggésbe

$$\Delta p = \Delta Z * \left( \frac{p}{c_k * m} \right)$$

16. ábra

való egyszerű behelyettesítéssel. Az eredményeket az alábbi táblázat tartalmazza:



$\Delta Z$ [m]	1	5	10	25	100	250
$\Delta p$ [mm]	0,2	1,1	2,2	5,4	21,7	54,2

#### 4. feladat

A belső tájékozás visszaállítása nélküli perspektív képátalakítást **optikai képátalakításnak** is nevezzük.

A képátalakítás során **optikai** és **geometriai** feltételeket kell kielégítenünk.

A képátalakítást tehát úgy kell megoldani, hogy az eredeti tárgytávolságtól eltérő vetítési távolságban is **éles** kép jöjjön létre, és az a **perspektív** torzulástól mentes legyen.

Általános helyzetű síkok esetén az éles leképezés optikai feltételeit **Ernst Carl Abbe** állította fel.

A képsíknak, az objektív egyesített főtávolságának és a vetítési (térképezési) síknak közös metszéspontban kell metsződni. A szakirodalomban ezt **Scheimpflug**-féle feltételnek hívjuk.

Dombos területen, vagy ha mélységében tagolt a felszín, akkor a képet kis elemi, differenciális felületekre bontjuk és az ortofotót a felületelemek **transzformált** képeiből állítjuk elő.

## IRODALOMJEGYZÉK

## FELHASZNÁLT IRODALOM

Karl Kraus: Fotogrammetria, Tertia Kiadó, Budapest, 1988.

Dr. Engler Péter: Fotogrammetria II. FVM Vidékfejlesztési, Képzési és Szaktanácsadási Intézet, Budapest, 2007.

Czímber Kornél: Geoinformatika, Elektronikus jegyzet, 2001. <http://www.geo.u-szeged.hu/~joe/fotogrammetria/GeoInfo/geoinfo4.htm> (2010.05.28.)

Dr. Mélykúti Gábor: Fotogrammetria, BMEOFTAG12 segédlet a BME Építőmérnöki Kar hallgatói részére, 2007.

[http://hu.wikipedia.org/wiki/Ernst\\_Abbe](http://hu.wikipedia.org/wiki/Ernst_Abbe) (2010.07.13.)

<http://www.fotohaz.hu/cikkek/nagyformafenykalapok-scheimpflug.html> (2010.07.13)

A(z) 2241-06 modul 008-as szakmai tankönyvi tartalomeleme felhasználható az alábbi szakképesítésekhez:

A szakképesítés OKJ azonosító száma:	A szakképesítés megnevezése
54 581 01 0100 51 02	Fotogrammetriai kiértékelő
54 581 01 0010 54 01	Földmérő és térinformatikai technikus
54 581 01 0010 54 02	Térképésztechnikus

A szakmai tankönyvi tartalomelem feldolgozásához ajánlott óraszám:  
12 óra

MUNKANYAG

MUNKANYAG

A kiadvány az Új Magyarország Fejlesztési Terv  
TÁMOP 2.2.1 08/1-2008-0002 „A képzés minőségének és tartalmának  
fejlesztése” keretében készült.

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap  
társfinanszírozásával valósul meg.

Kiadja a Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet

1085 Budapest, Baross u. 52.

Telefon: (1) 210-1065, Fax: (1) 210-1063

Felelős kiadó:

Nagy László főigazgató