

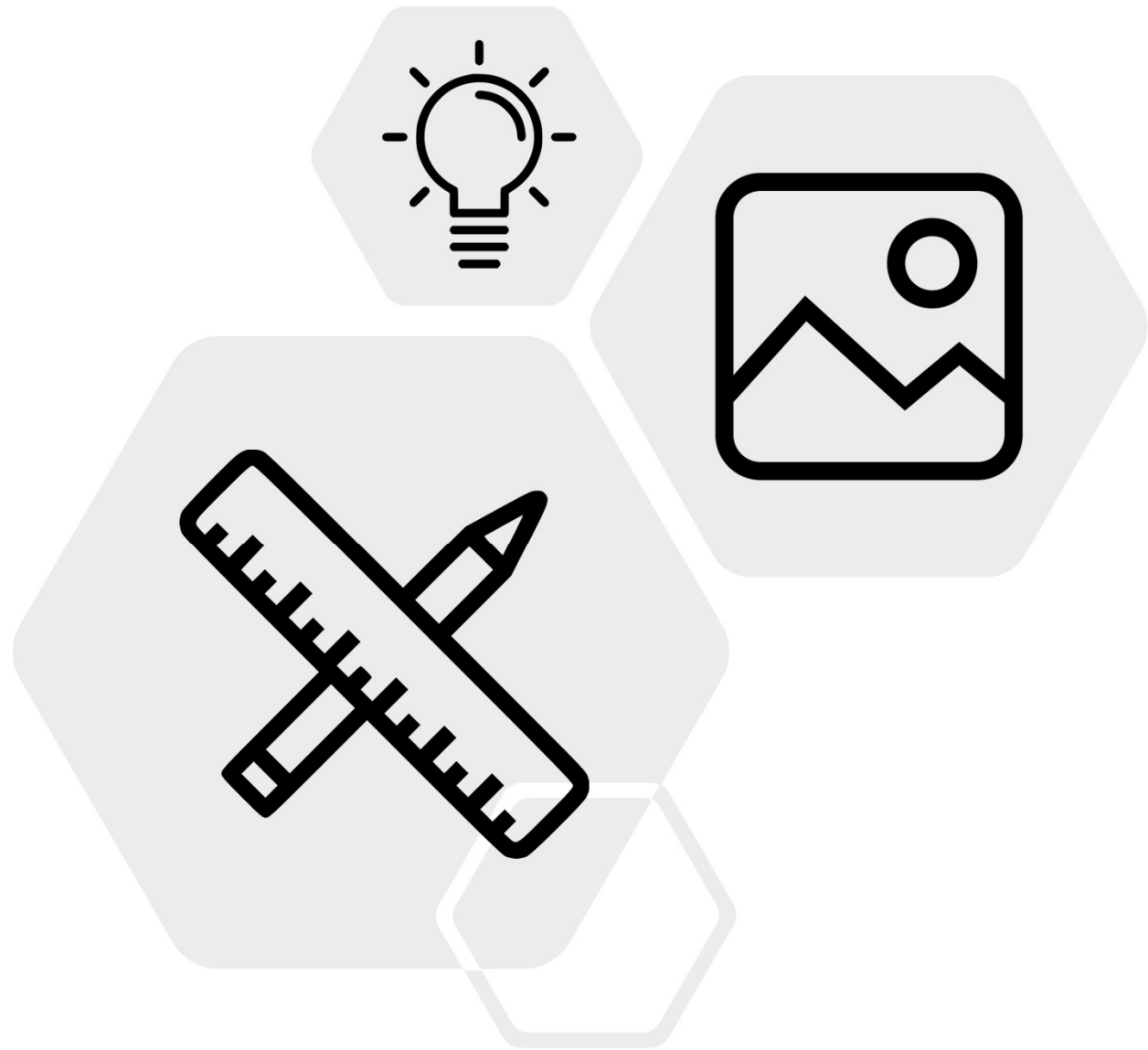


Fotogrammetriai alapok

Gadó Béla
Térinformatika II.

Jelentése

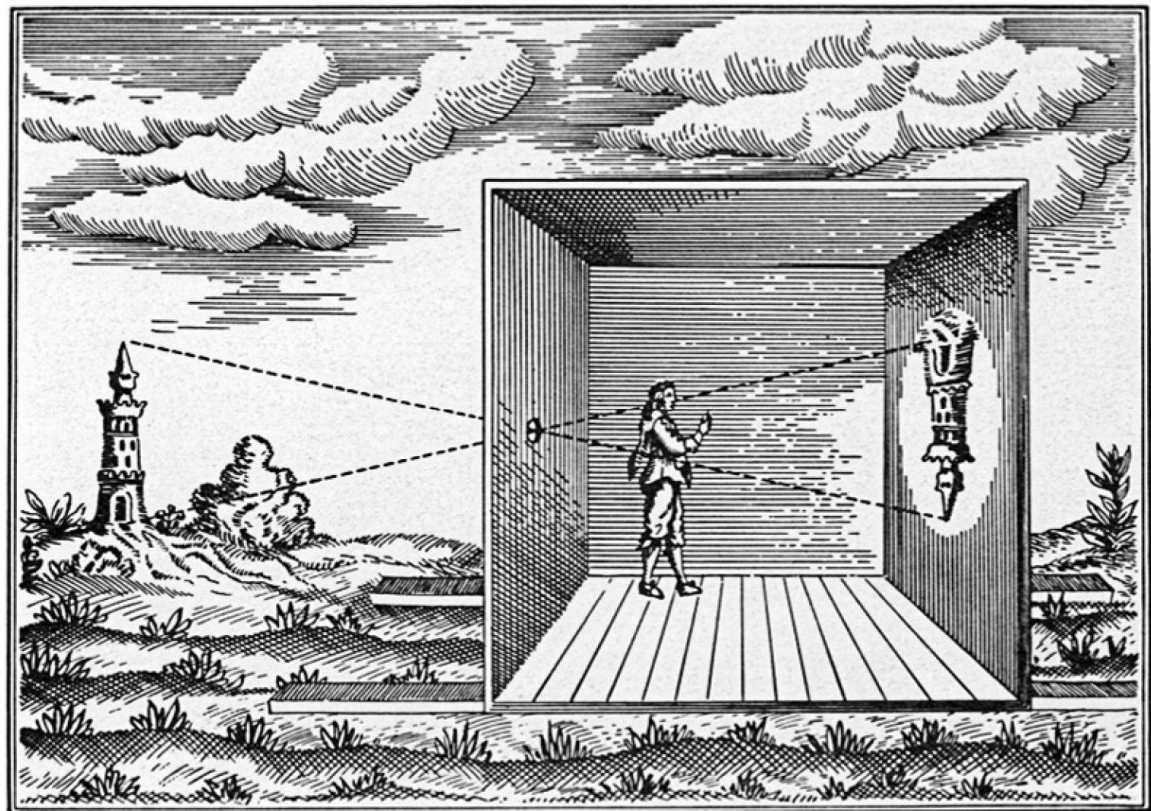
- FOTO – fény
- GRAM – kép
- METRIA – mérés





Történeti áttekintés

Lyukkamera 1500 körül Leonardo da Vinci



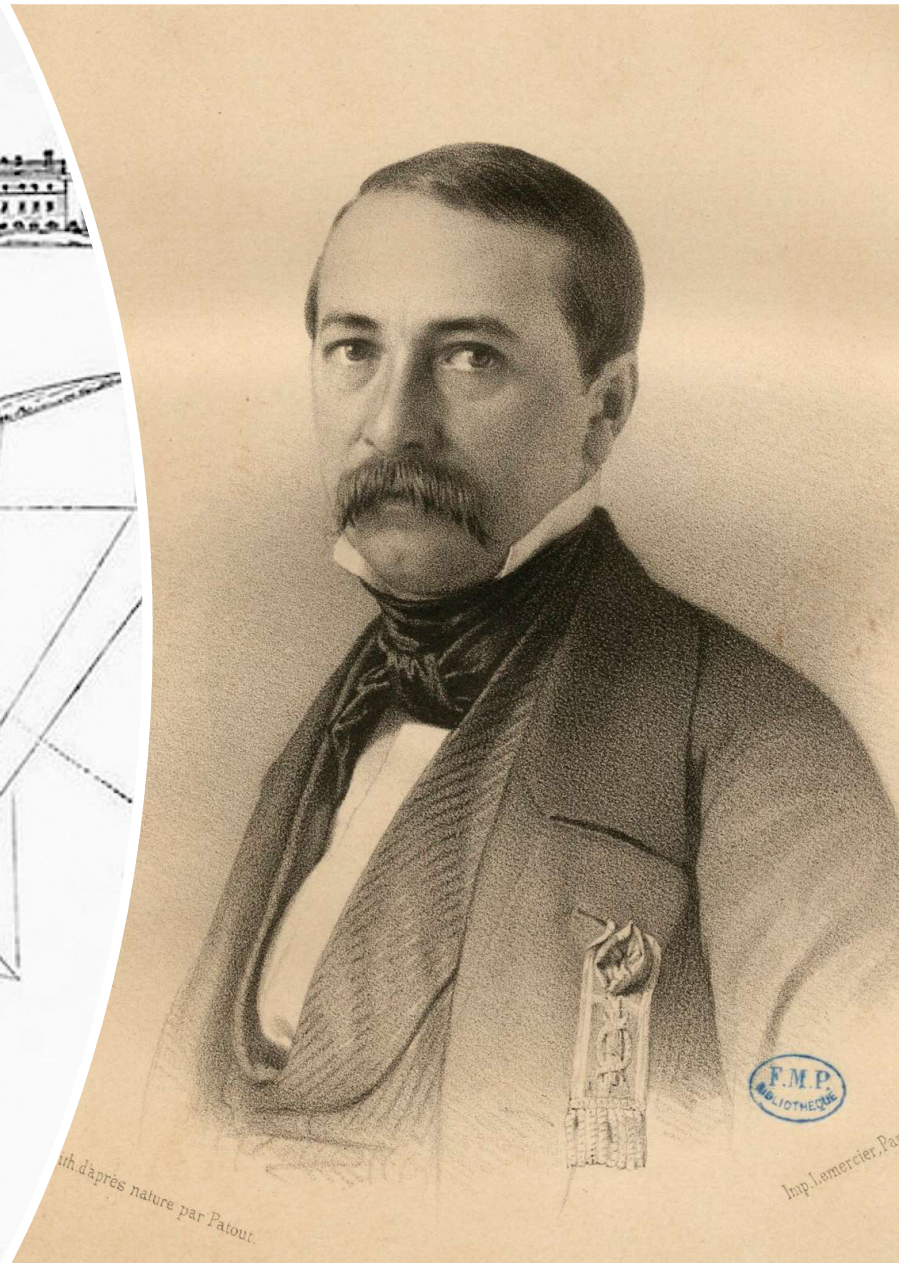
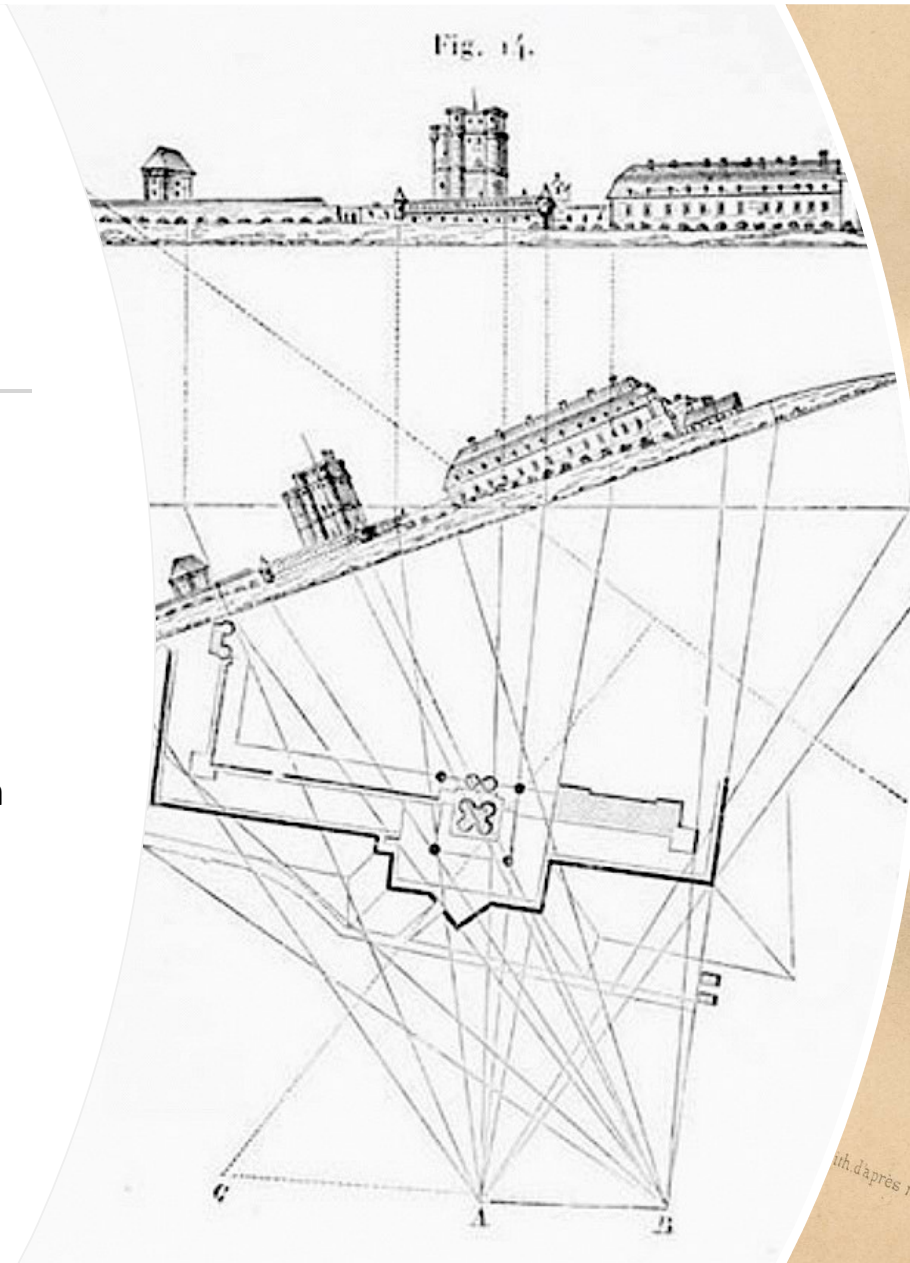
Daquerre: “daguerrotípia”

Nedves állapotban lévő jódezüst
lemezre készítették a képet



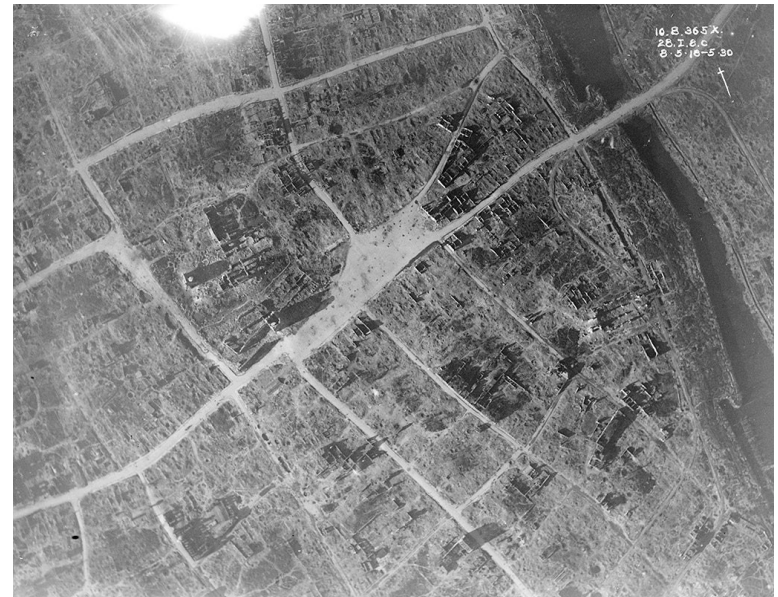
1859

- Laussedat:
konvergens tengelyű
fényképfelvételből térbeli
előmetszéssel térképet
szerkesztett
- Meyenbauer:
épületek felmérése
fényképfelvételek alapján
- Párizs:
kötött hőlégballonról



Világháborúk

- Repülőkre szerelt kamera
- Sorozatfényképező kamera
- Felvevő és kiértékelő gépek fejlődése, gyártása





The background is a topographic map showing contour lines, roads, and various landmarks. Key labels include 'Ipari park', 'Rkt.', 'Gép', 'Gkj', 'Szőlészeti Kúint.', 'Kisszenő', 'Földalatti', 'Olajgyűjtő', and 'Hűtő'. Elevation points are marked with triangles and numbers such as 231,1, 198,6, 230,9, 189,1, 148,5, 103,1, and 240. A prominent road or railway line runs horizontally across the middle of the map.

Fotográfiai alapok

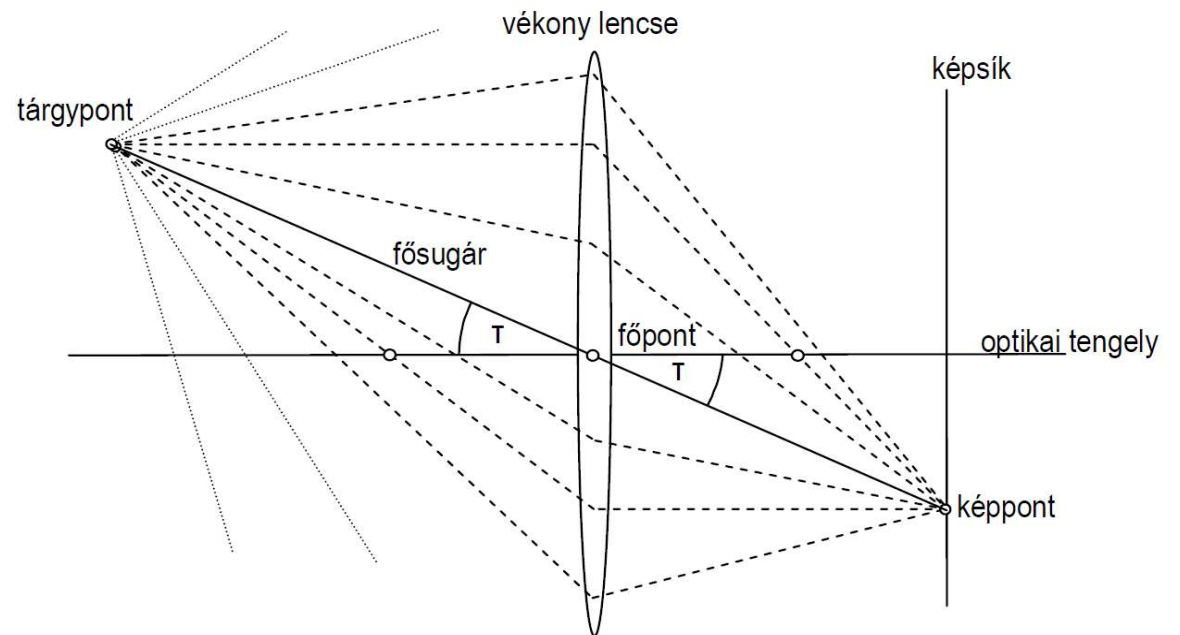
Fotográfiai alapok

- Az optika alapegyenlete biztosítja az éles leképezést

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{k} + \frac{1}{t}$$

Ahol:

- f az optika fókusz távolsága
- k a képtávolság (képsík-optika)
- t a tárgytávolság (tárgy-optika)



Fénykép készítésének helye

Földi

Légi

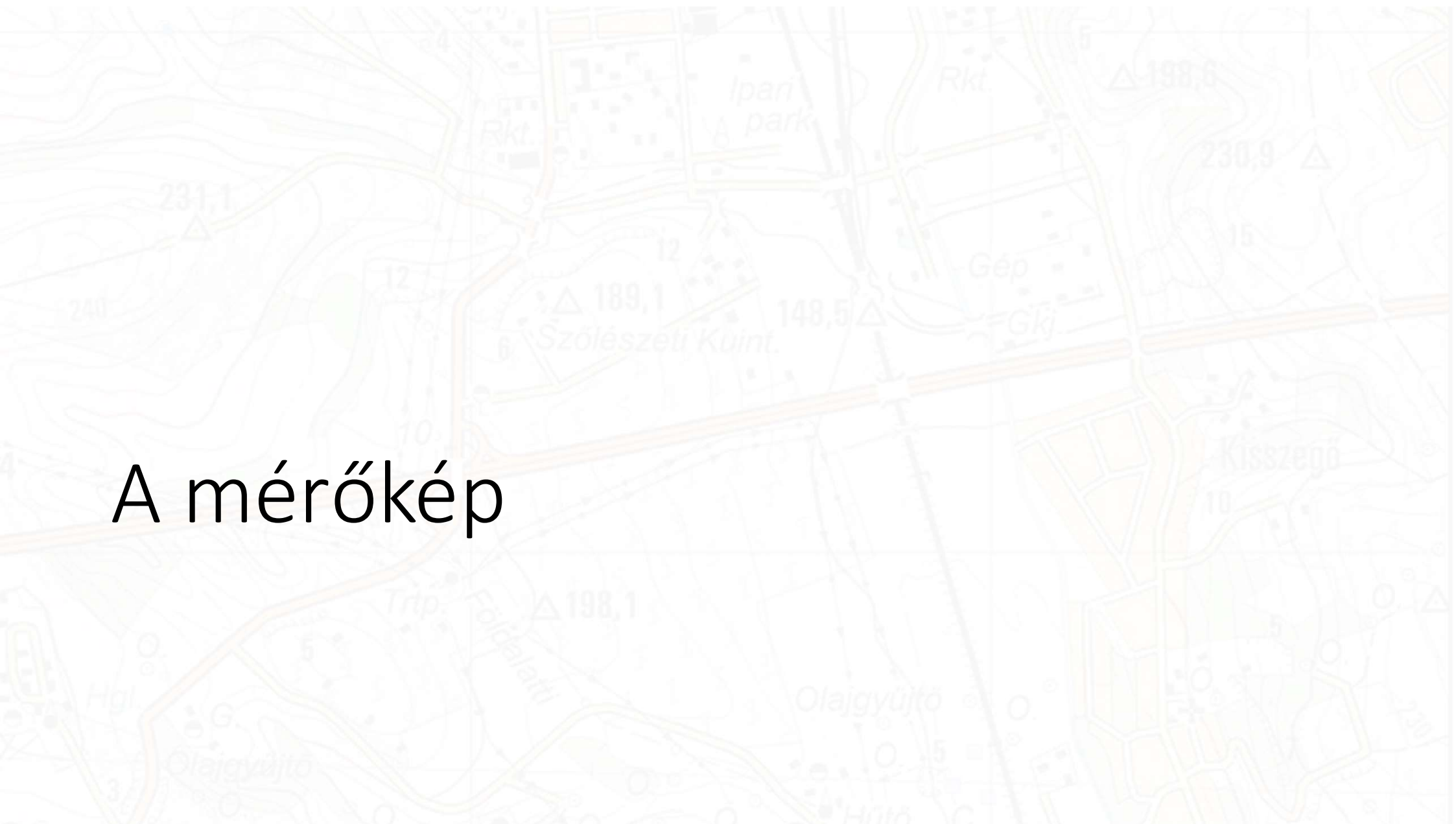
Fényérzékeny felület

Film: analóg

CCD érzékelő: digitális

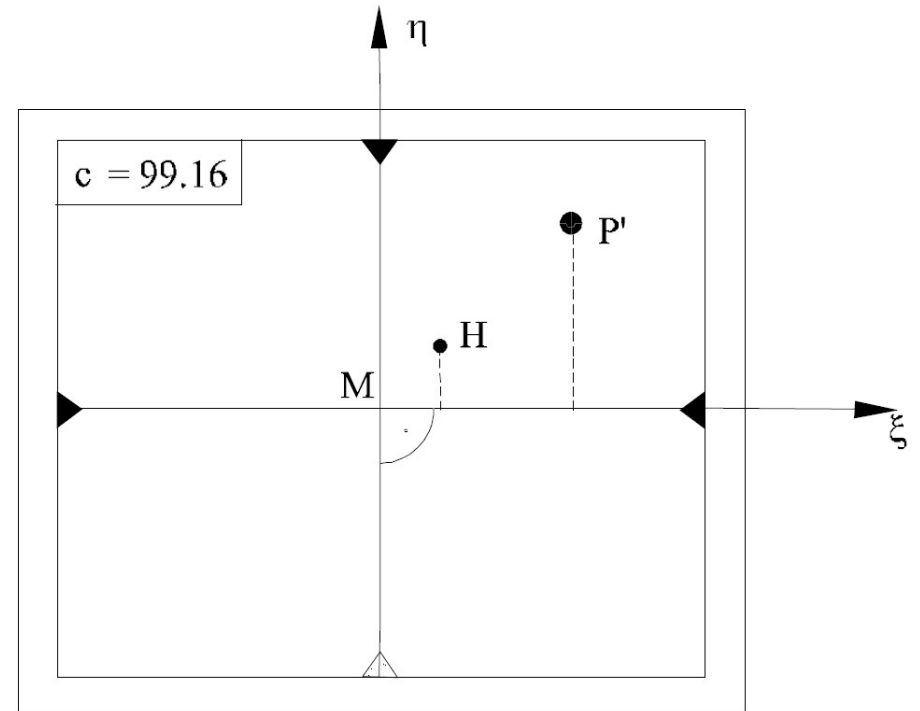


A mérőkép



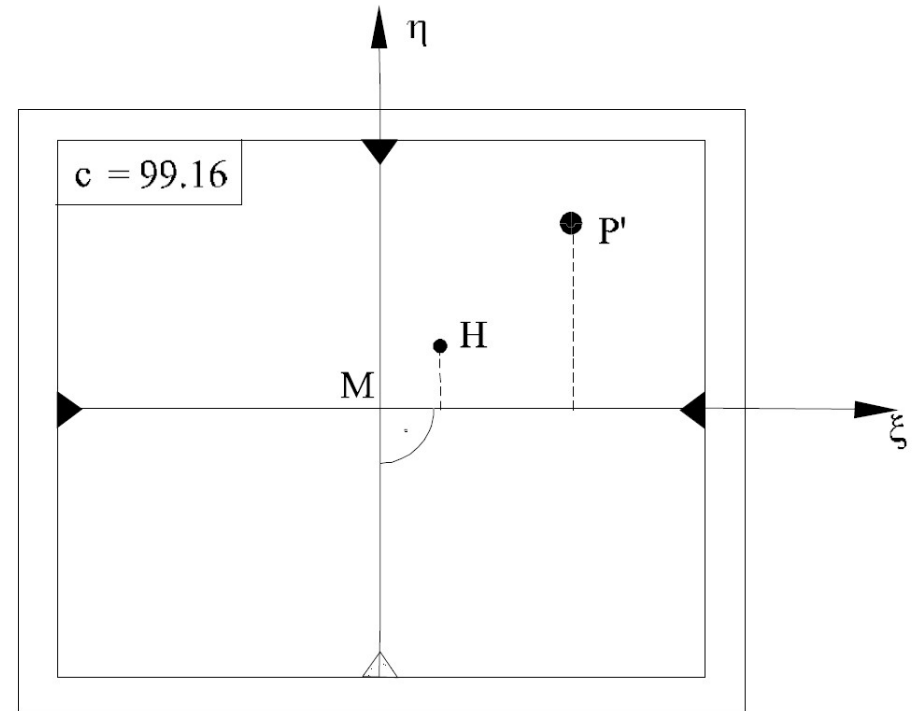
A mérőkép

- A fényképfelvétel a mérőkép az ún. mérőkamerával készül, mely biztosítja a vetítési centrum és a kép egymáshoz viszonyított helyzetének egyértelmű visszaállíthatóságát a vetítés során.



A mérőkép

- A vetítési centrum képsíkhöz viszonyított helyzetét a kamera **belső tájékozási adatai** határozzák meg, melyek a vetítési centrum térbeli koordinátái a képkordináta rendszerben. A vetítési centrum talppontja a képsíkon a **képfőpont** (H), ennek **két képkordinátája** (ξ_0 , η_0), valamint a vetítési centrum és a képsík távolsága az ún. **kameraállandó** (c) alkotja a kamera három belső tájékozási adatát. A derékszögű képkordináta rendszer tengelyei a ξ , η és M a képkordináta rendszer kezdőpontja.

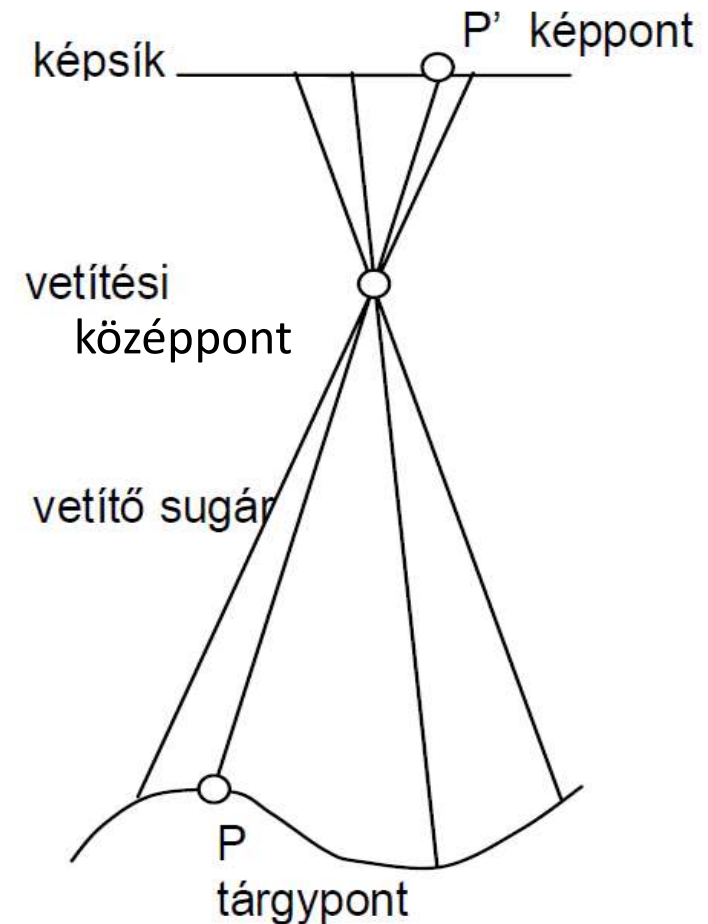




A centrális vetítés

Centrális vetítés

- **Vetítő sugár:** a tárgy bármely pontjára és egy tetszőleges helyzetű térbeli pontra (vetítési középpont) illesztett egyenes
- **Sugárnyaláb:** egy vetítési centrumra és a tárgy pontjaira illeszkedő vetítő sugarak összessége
- Ha ezt a vetítő sugárnyalábot egy síkkal elmetsszük, akkor megkapjuk a tárgynak erre a képsíkra vetített centrális vetítésű képét. A képet létrehozó sugárnyaláb a **képkötő sugárnyaláb**



A centrális vetítés kétféle alkalmazása a fotogrammetriában

- **Leképzés**: fényképezés pillanatában a tárgyról beérkező sugárnyaláb
- **Vetítés**: a képet egy vetítőberendezésben helyezük és kivetítjük egy ernyőre (asztal, fal, vászon, képernyő) és felfogjuk

A topographic map of a region, likely in Hungary, showing contour lines, roads, and various landmarks. The map is faded and serves as a background for the text. Key features include a road network, a railway line (Rkt.), and several elevation points marked with triangles and numbers. Labels on the map include 'Ipari park', 'Gép', 'Gk', 'Szőlészeti Kúnt.', 'Kisszegő', 'Földalatti', 'Olajgyűjtő', and 'Hűtő'.

Centrális vetítés alapösszefüggései

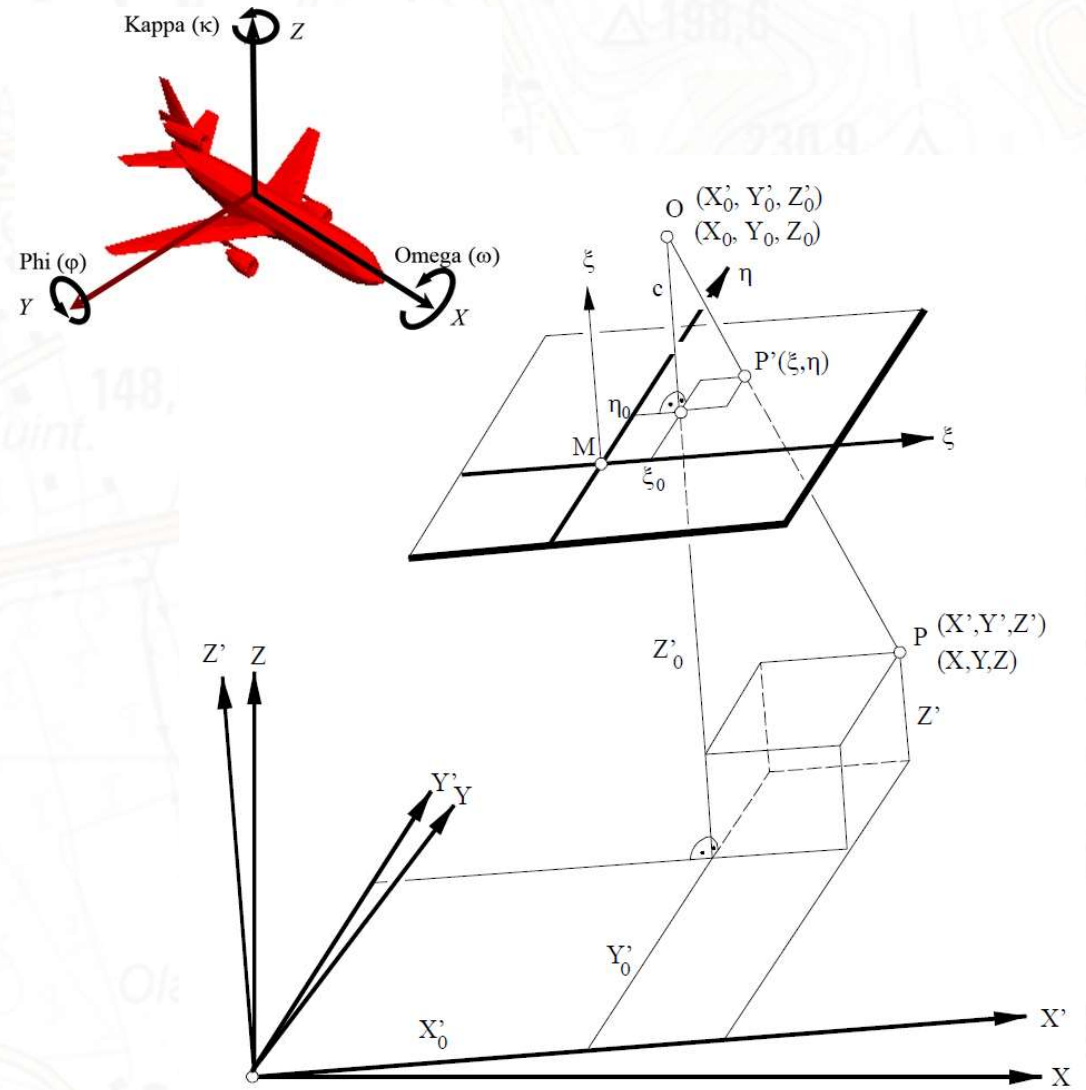
Centrális vetítés alapegyenlete

$$\frac{\xi - \xi_0}{c} = \frac{X' - X_0}{Z_0 - Z'}$$

$$\frac{\eta - \eta_0}{c} = \frac{Y' - Y_0}{Z_0 - Z'}$$

$$\xi = \xi_0 - c \frac{X' - X_0}{Z' - Z_0}$$

$$\eta = \eta_0 - c \frac{Y' - Y_0}{Z' - Z_0}$$



Centrális vetítés alapegyenlete

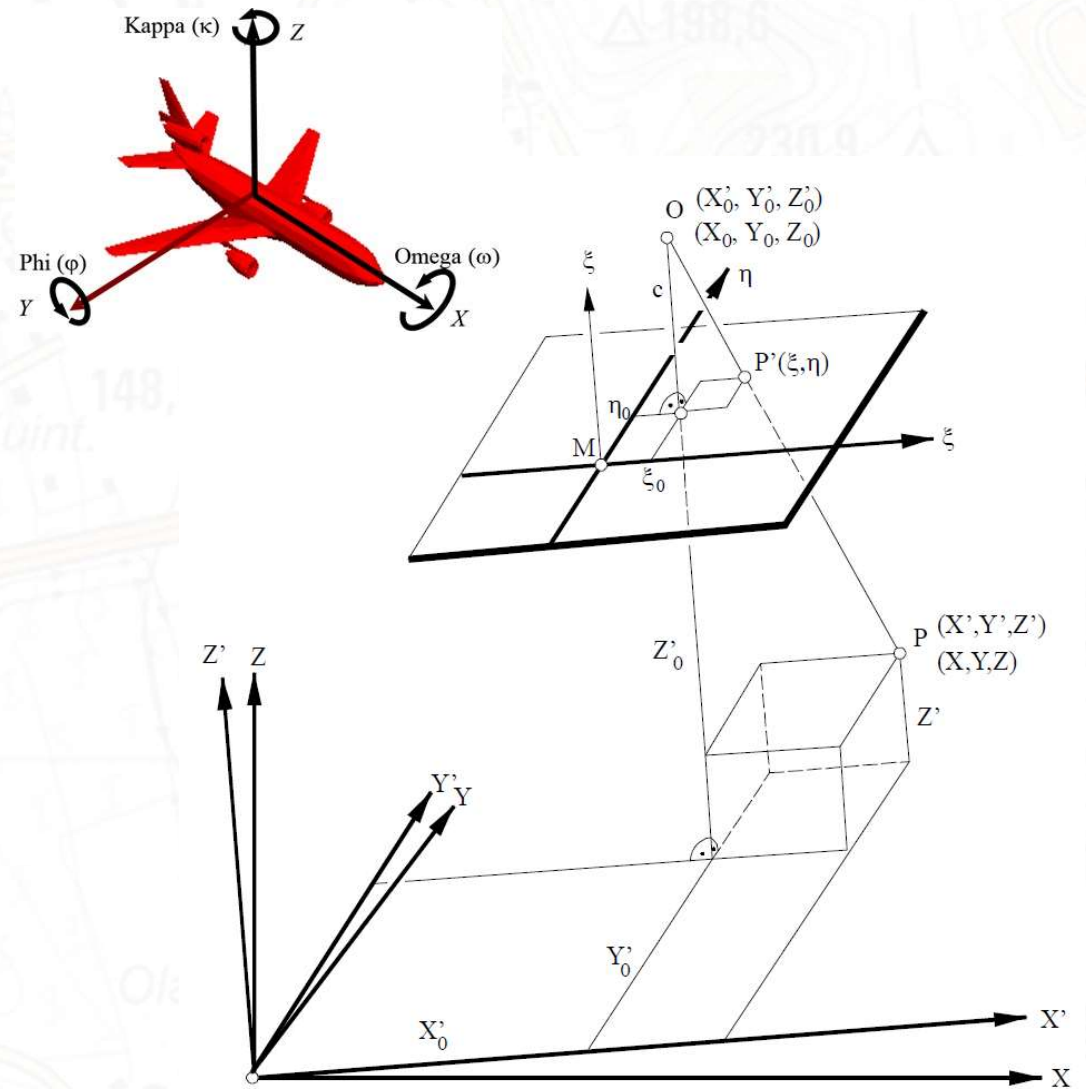
$$\begin{pmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X' - X'_0 \\ Y' - Y'_0 \\ Z' - Z'_0 \end{pmatrix}$$

$$\xi = \xi_0 - c \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

$$\eta = \eta_0 - c \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

$$X = X_0 + (Z - Z_0) \frac{r_{11}(\xi - \xi_0) + r_{12}(\eta - \eta_0) - r_{13}c}{r_{31}(\xi - \xi_0) + r_{32}(\eta - \eta_0) - r_{33}c}$$

$$Y = Y_0 + (Z - Z_0) \frac{r_{21}(\xi - \xi_0) + r_{22}(\eta - \eta_0) - r_{23}c}{r_{31}(\xi - \xi_0) + r_{32}(\eta - \eta_0) - r_{33}c}$$



Centrális vetítés alapegyenlete

Paraméterek (ismeretlenek)

- **Belső tájékozási elemek (3)**

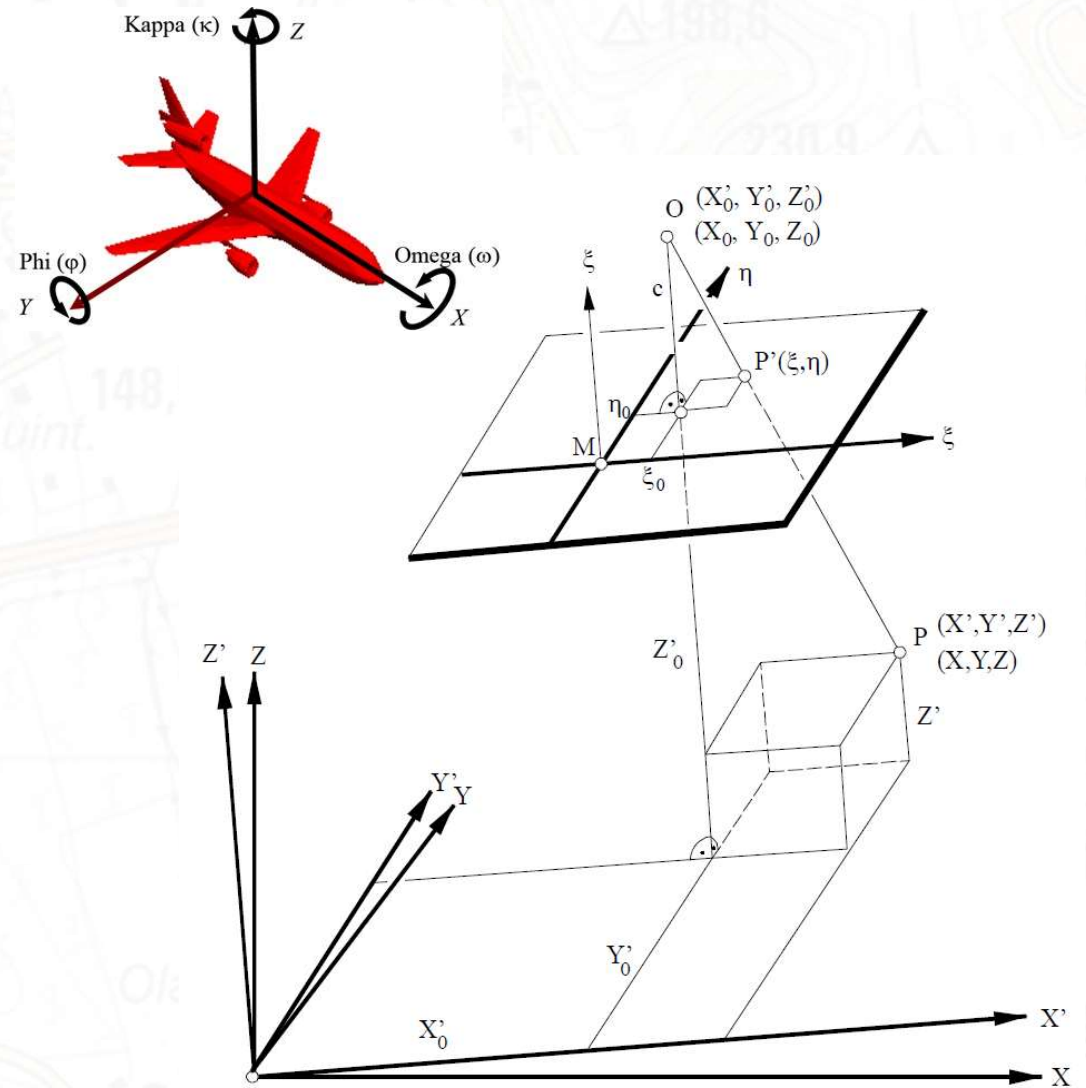
- ξ_0, η_0 : a képfpont koordinátái
- c - a kameraállíndó

- **Külső tájékozási elemek (6)**

- X_0, Y_0, Z_0 - vetítési centrum helyzete a felvétel pillanatában
- 3 képforgatási elem: ω, φ, κ

- Számításhoz szükséges még egy tetszőleges P tereppontnak az

- X, Y, Z terepi koordinátáira és
- ξ, η képkoordinátáira



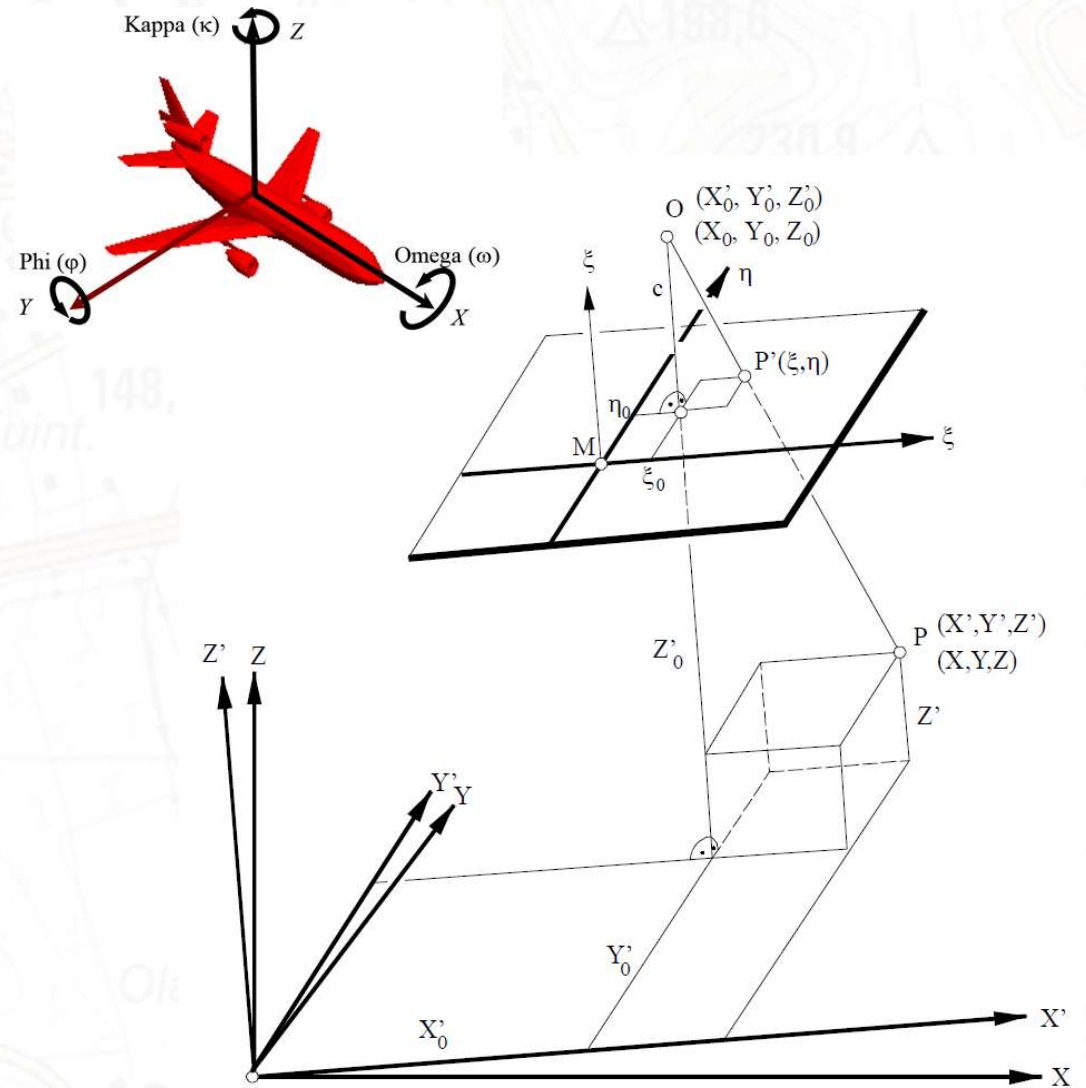
Centrális vetítés alapegyenlete

Összesen tehát (3+6) 9 paramétert
kell meghatározni

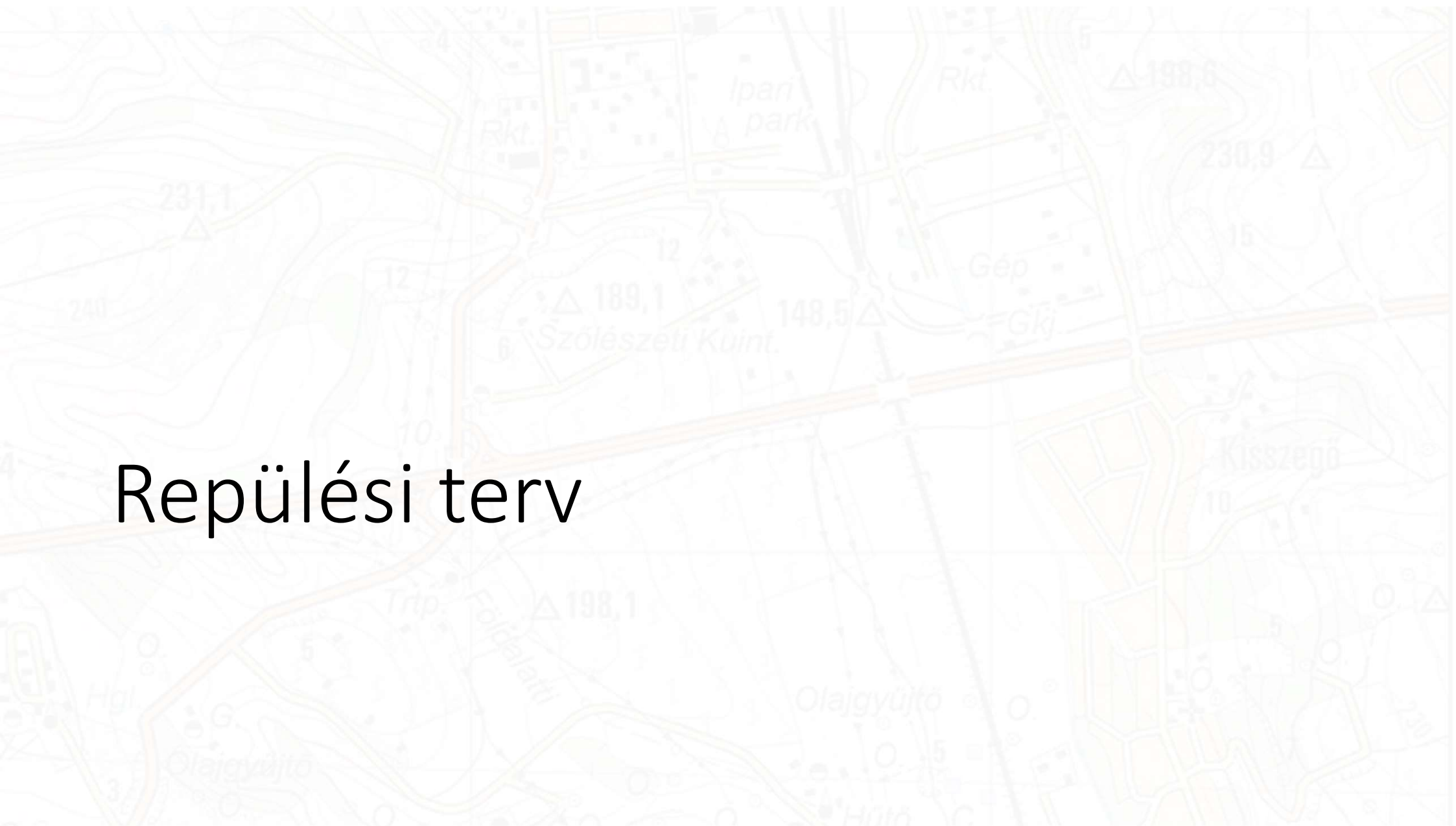
Ismert belsőtájékozás esetén a hat
külső tájékozási elem
meghatározásához **három**
illesztőpontra van szükség, mivel
minden illesztőpontra két egyenlet
írható fel ($\xi = \dots, \eta = \dots$)

$$X = X_0 + (Z - Z_0) \frac{r_{11}(\xi - \xi_0) + r_{12}(\eta - \eta_0) - r_{13}c}{r_{31}(\xi - \xi_0) + r_{32}(\eta - \eta_0) - r_{33}c}$$

$$Y = Y_0 + (Z - Z_0) \frac{r_{21}(\xi - \xi_0) + r_{22}(\eta - \eta_0) - r_{23}c}{r_{31}(\xi - \xi_0) + r_{32}(\eta - \eta_0) - r_{33}c}$$

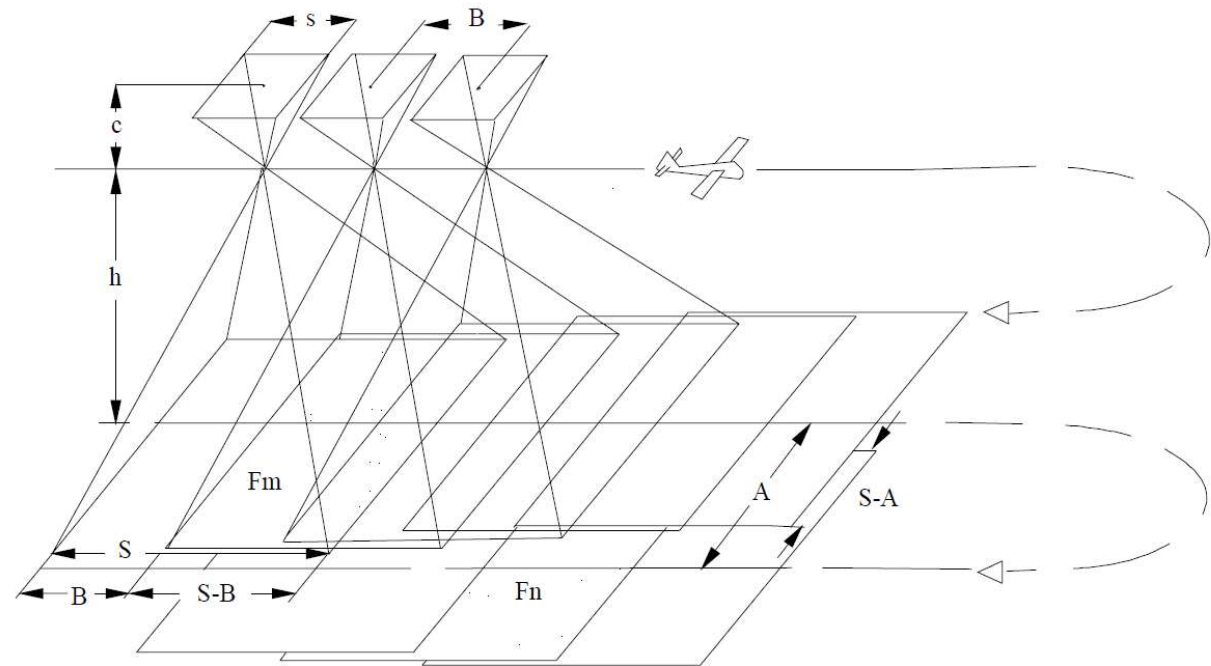


Repülési terv



Repülési terv

- A = a repülési tengelyek távolsága, sortávolság;
- B = a felvételek bázisa;
- c = kameraállandó
- s = kép oldalhossza;
- S = a képoldal hossza a terepre vetítve
- $S-B$ = közös képterület hossza a terepen (átfedés)
- h = repülési magasság a terep fölött;
- Z = terepmagasság
- Z_0 = abszolút repülési magasság;
- v = repülési sebesség a terephez viszonyítva
- L = egy sornak, vagy a munkaterületnek (tömb) a hossza
- Q = a munkaterület keresztirányú kiterjedése



Repülési terv számítása

Képméretarány	$m_b = h / c$ 1
Képméret a terepen	$S = s \cdot m_b$ 2
Bázishossz a képen	$b = B / m_b$ 3
Repülési magasság a terep felett	$h = c \cdot m_b$ 4
Abszolút repülési magasság	$Z_0 = h + Z$ 5
Soron belüli átfedés (l %)	$l = \frac{S - B}{S} 100 = \left(1 - \frac{B}{S}\right) 100$ 6
Keresztirányú átfedés (q %)	$q = \frac{S - A}{S} 100 = \left(1 - \frac{A}{S}\right) 100$ 7

Egy kép által lefedett terület

$$F_b = S^2 = s^2 \cdot m_b^2$$
 8

Bázishossz
 l % soron belüli átfedés esetén

$$B = S \left(1 - \frac{l}{100}\right)$$
 9

Sortávolság
 q % keresztirányú átfedés esetén

$$A = S \left(1 - \frac{q}{100}\right)$$
 10

Modellszám soronként
(hossz L)

$$n_m = \frac{L}{B}$$
 11

Képek száma soronként

$$n_b = n_m + 1$$
 12

Sorok száma a tömbben (szélesség
 Q)

$$n_s = \left[\frac{Q}{A} + 1\right]$$
 13

Sztereoszópkópusan kiértékelhető
modellterület

$$F_m = (S - B) \cdot S$$
 14

A modellenkénti tiszta (nettó) terület

$$F_n = A \cdot B$$
 15

Ciklusidő [sec]

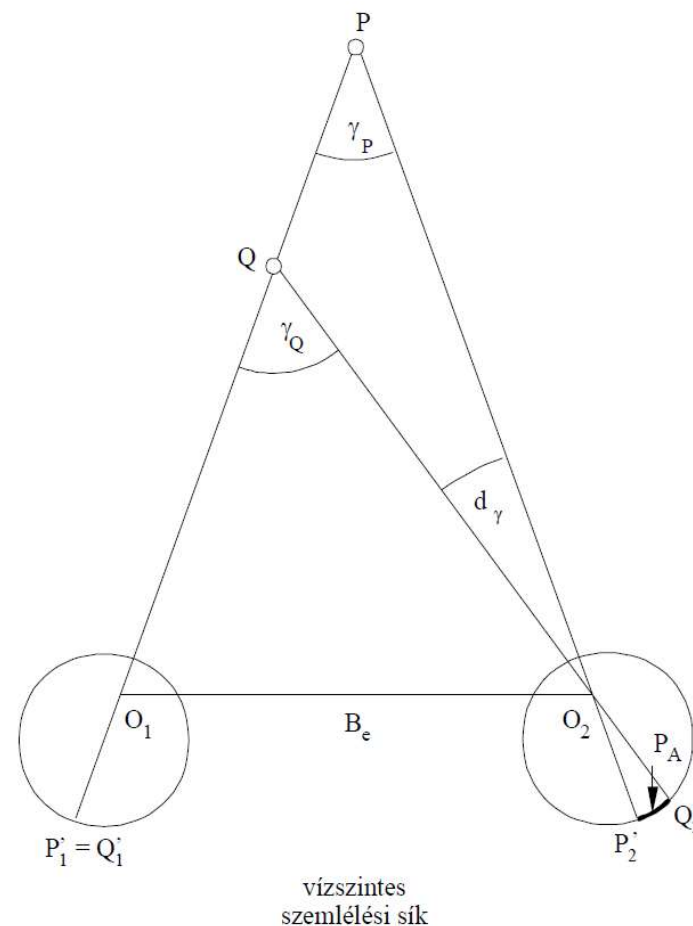
$$\Delta t = \frac{B [m]}{v [m/s]} \geq 2.0$$

Térbeli mérések



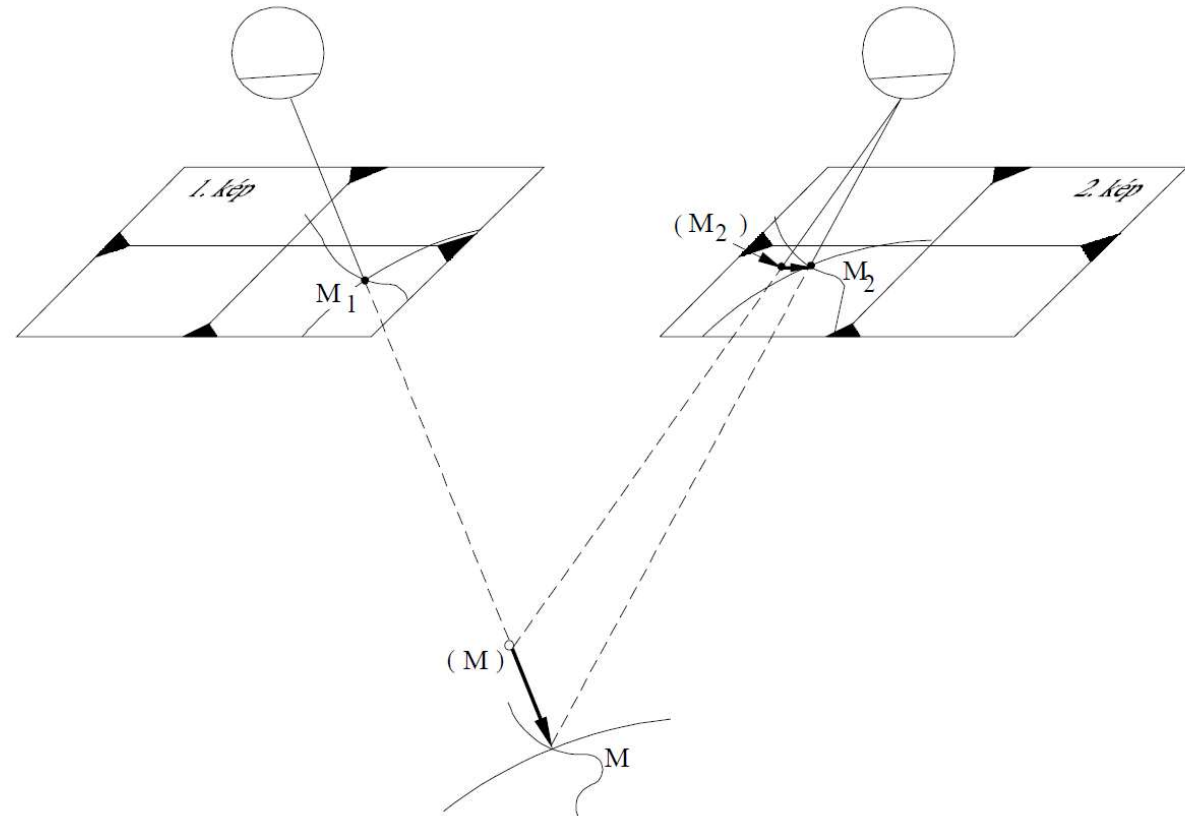
Térbeli mérések

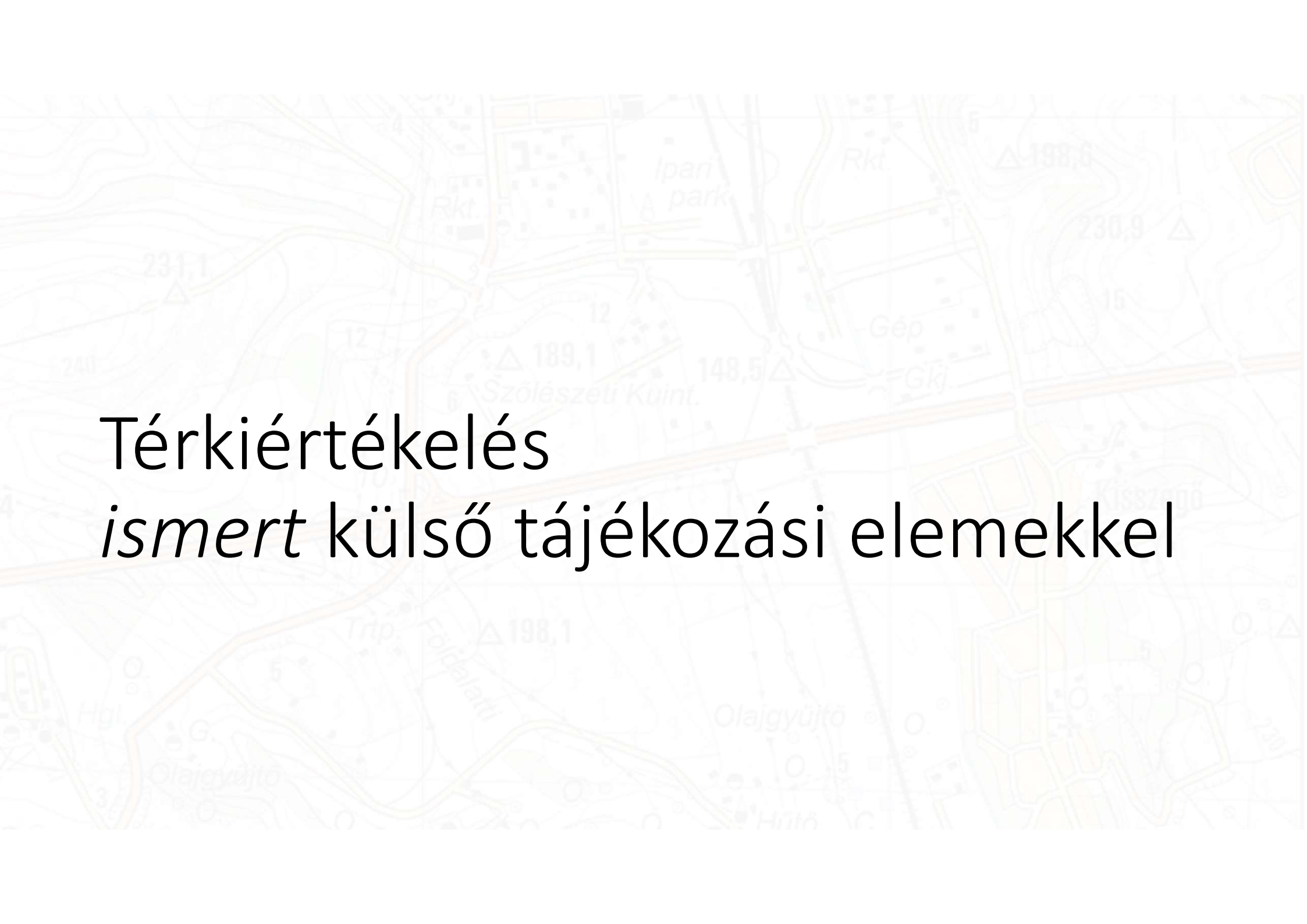
- Alapvető adottságok
 - Két sík kép segítségével a háromdimenziós modell előállítható
 - A körülöttünk lévő tárgyakat két szemmel szemlélve, agyunkban térérzet keletkezik, a térbeli látás, a sztereoszkópia segít a jobb tájékozódásban
- Feltételek
 - Közel függőleges kameratengely
 - A felvételi bázist úgy választjuk meg, hogy legalább 60%-os legyen a képek közötti átfedés a repülési irányban
- A természetes térlátás
 - B_e - (szem)bázis
 - P_A - (bázis irányú) parallaxis



Térbeli mérések

- Alapvető adottságok
 - Két sík kép segítségével a háromdimenziós modell előállítható
 - A körülöttünk lévő tárgyakat két szemmel szemlélve, agyunkban térérzet keletkezik, a térbeli látás, a sztereoszkópia segít a jobb tájékozódásban
- Feltételek
 - Közel függőleges kameratengely
 - A felvételi bázist úgy választjuk meg, hogy legalább 60%-os legyen a képek közötti átfedés a repülési irányban
- A természetes térlátás
 - B_e - (szem)bázis
 - P_A - (bázis irányú) parallaxis





Térkiértékelés
ismert külső tájékozási elemekkel

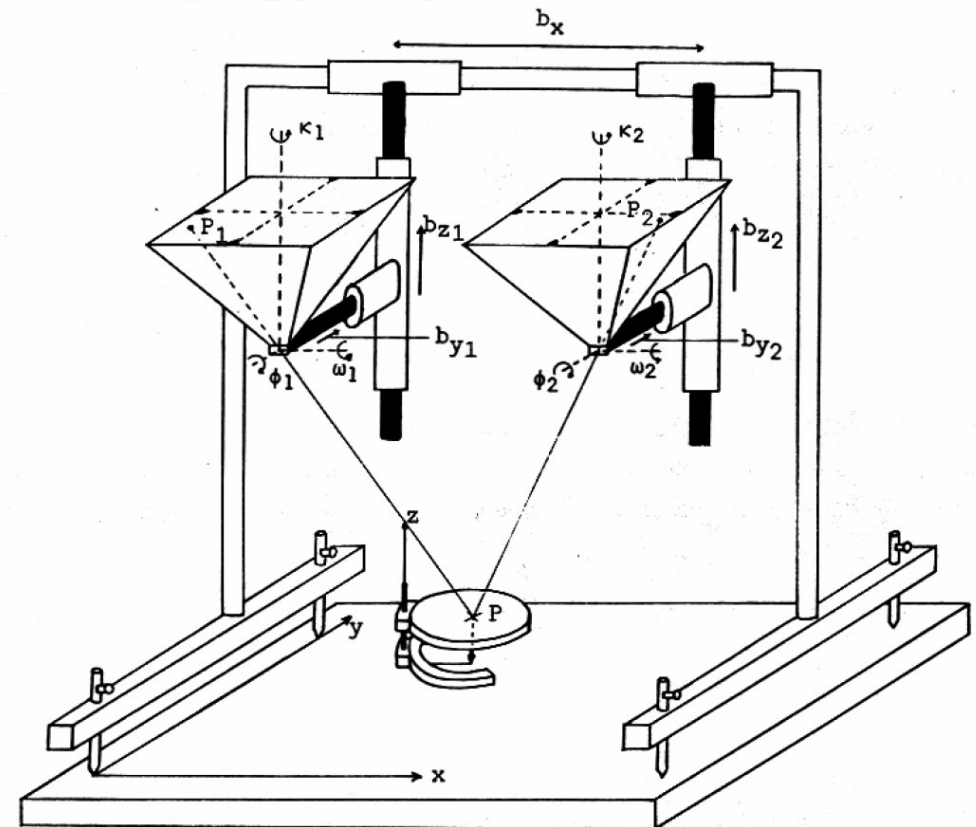
Térkiértékelés

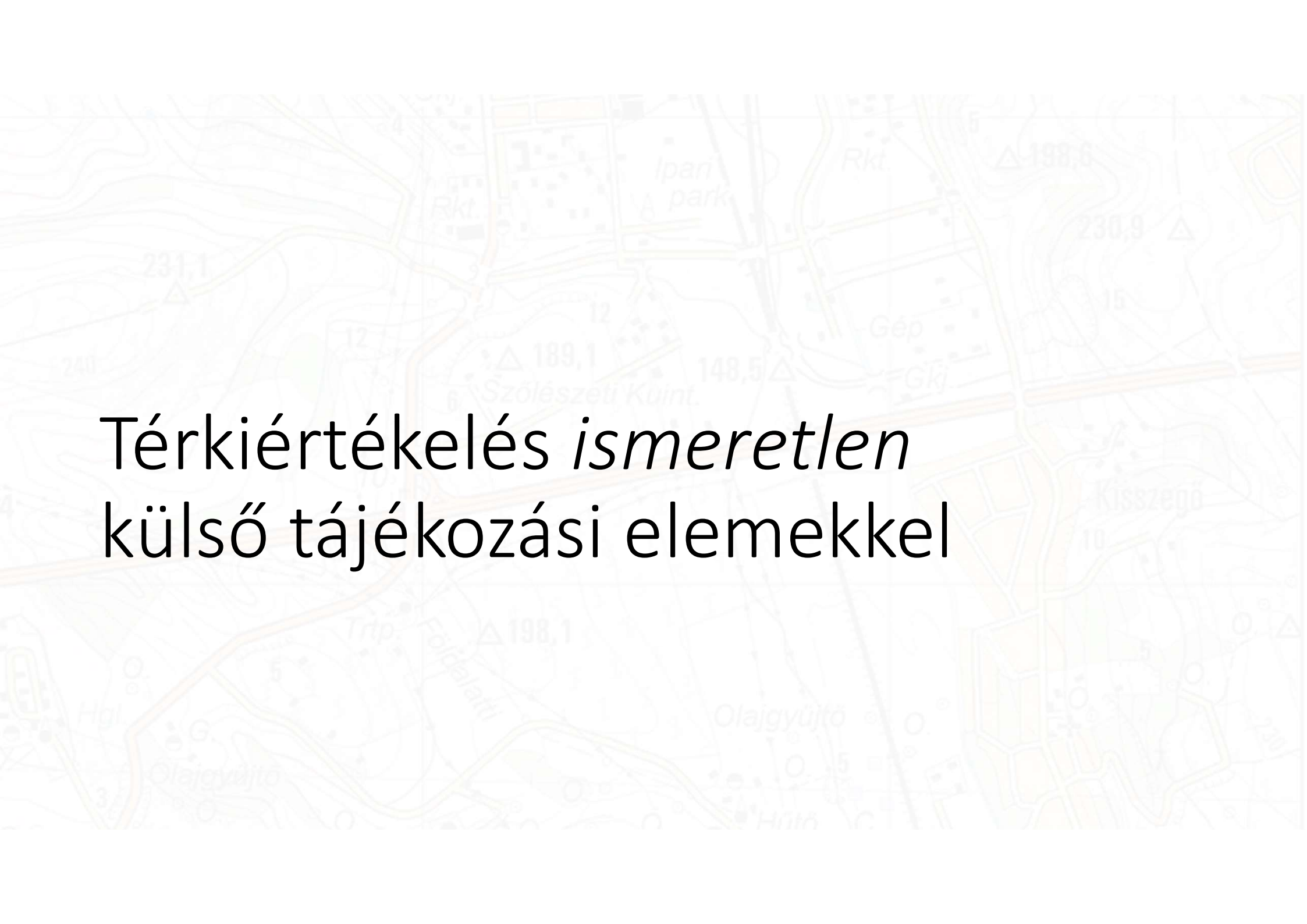
ismert külső tájékozási elemekkel

- Ismerjük: két kép külső tájékozási adatait (vetítési centrumok koordinátái, kameratengelyek dőlésszögei, összesen 6+6 paramétert)
- Mérjük: P1, P2 pontok képi koordinátáit ($\xi_1, \eta_1, \xi_2, \eta_2$)
- Keressük: tetszőleges helyzetű képen található P pontok X, Y, Z tárgytérbeli koordinátáit
- Analóg műszerrel
 - A felvétel pillanatát állítjuk elő a műszerben
 - A gyakorlatban ma már nem használjuk

Térkiértékelés *ismert* külső tájékozási elemekkel

- Analóg műszerrel
 - A felvétel pillanatát állítjuk elő a műszerben
 - A gyakorlatban ma már nem használjuk



A topographic map of a region, likely in Hungary, showing contour lines, roads, and various landmarks. The map is faded and serves as a background for the text. Labels on the map include 'Ipari park', 'Rkt.', 'Gép', 'Gk', 'Szőlészeti Kúint.', 'Kisszegő', 'Földalatti', 'Olajgyűjtő', and 'Hűtő'. Elevation points are marked with triangles and numbers such as 231,1, 189,1, 148,5, 198,6, and 230,9. The text 'Térkiértékelés ismeretlen külső tájékozási elemekkel' is overlaid in the center in a black, sans-serif font.

Térkiértékelés *ismeretlen*
külső tájékozási elemekkel

Térkiértékelés

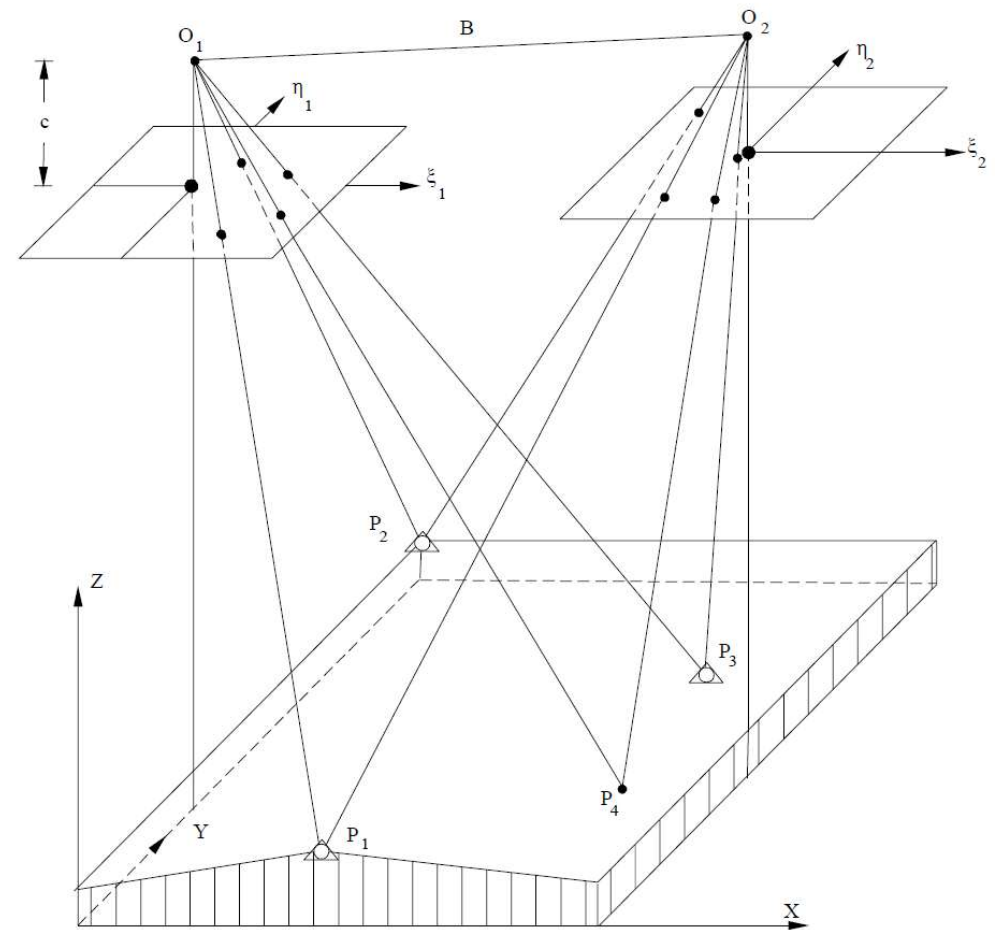
ismeretlen külső tájékozási elemekkel

- Keressük a külső tájékozási adatokat: 6+6
 - 2 db képen: $X_{01}, Y_{01}, Z_{01}, \omega_1, \phi_1, \kappa_1, X_{02}, Y_{02}, Z_{02}, \omega_2, \phi_2, \kappa_2$
- Meghatározása:
 - Földi felvételek esetén: geodéziai mérésekkel
 - Légifelvételek esetén: GPS + INS (inerciális mérőrendszer)
- Illesztőpontok
 - Azon pontok, amelyeknek koordinátái ismertek a tárgytérben és jól azonosíthatók a képen
- Tájékozási eljárások
 1. Két képen külön-külön: *térbeli hátrametszés*
 2. Együttesen, egy lépésben: *kettős térbeli pontkapcsolás*
 3. Együttesen, két lépésben: *kölcsönös és abszolút tájékozás*

*Térkiértékelés
ismeretlen külső tájékozási elemekkel*

1. Térbeli hátrametszés

- Adott: 3 illesztőpont X, Y, Z tárgyterbéli koordinátája
- Mért: három illesztőpont képkoordinátája mindkét képen
- Keressük: képek külső tájékozási adatai
- Ebben az esetben mindkét képre 6 összefüggés írható fel, a 6 ismeretlen meghatározására.



Térkiértékelés

ismeretlen külső tájékozási elemekkel

2. Kettős térbeli pontkapcsolás

- Ennél az eljárásnál az illesztőpontok mellett új pontokat (ismeretlen tárgytérbeli koordinátákkal) is bevonunk a számításba
- Adott: 3 illesztőpont X,Y,Z koordinátái
- Mért: illesztőpontok képkoordinátái mindkét képen és új pontok képkoordinátái mindkét képen
- Keressük: képek külső tájékozási adatai és az új pontok X,Y,Z tárgytérbeli koordinátái
- Új pontonként hárommal növekedik az ismeretlenek száma (X,Y,Z)
- Azonban az új pontokra pontonként négy egyenletet lehet felírni a két kép segítségével (2+2), tehát minden pont egyidejűleg fölös mérést is eredményez.
- Ezt értelmezhetjük úgy, mint egy metszési feltételt, hiszen az új pontokról csak annyit tudunk, hogy a ponthoz tartozó vetítősugárnak a térben egy pontban kell metsződnie, hiszen ugyanahhoz a tárgyponthoz tartoznak.

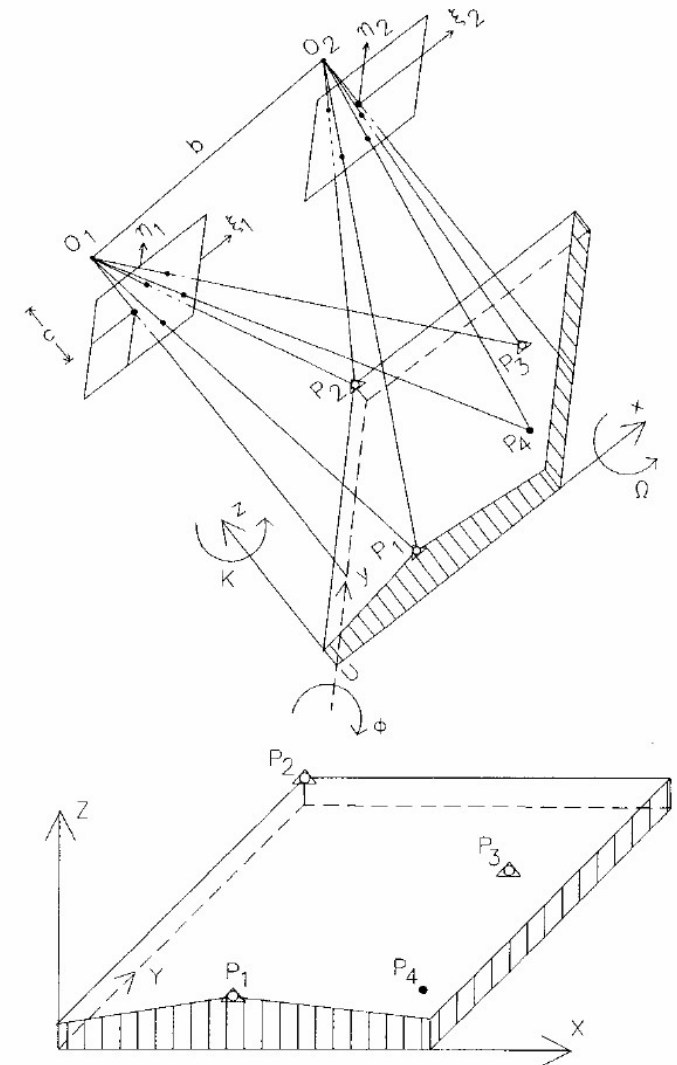
Térkiértékelés

ismeretlen külső tájékozási elemekkel

3. Kölcsönös és abszolút tájékozás

A tájékozás két lépésből tevődik össze:

- **Kölcsönös, vagy relatív tájékozás:** térmodell előállítása egy tetszőleges elhelyezkedésű xyz modellkoordinátarendszerben
 - A kölcsönös tájékozásnak 5 paramétere (ismeretlene) van, így 5 közös ponttal a két kép relatív helyzetének visszaállítása elvégezhető



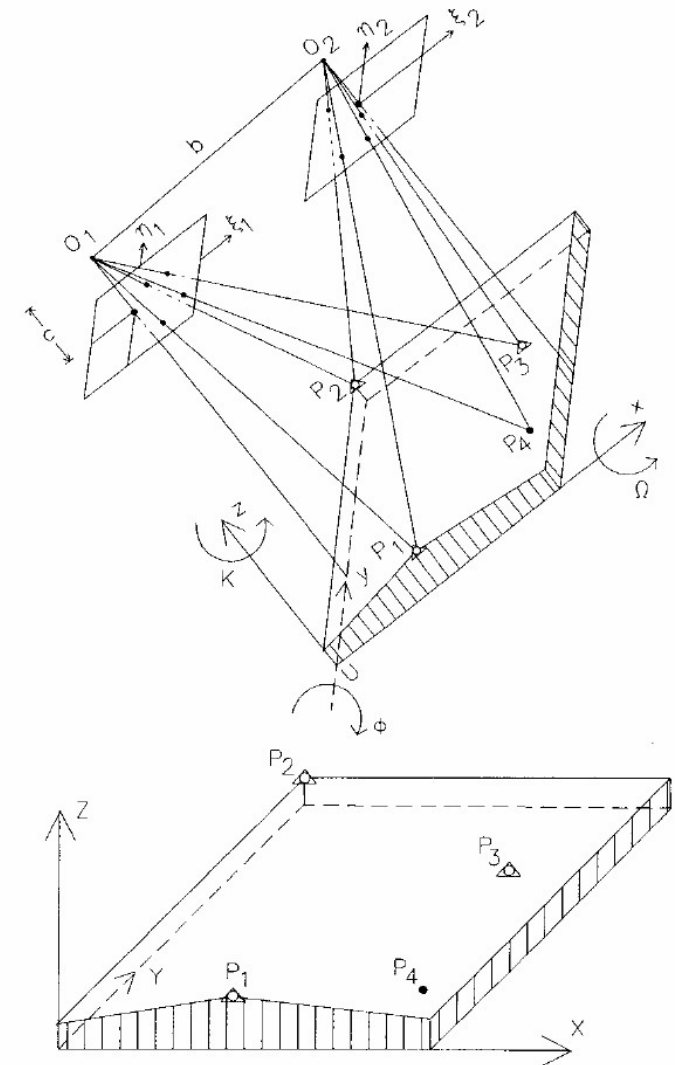
Térkiértékelés

ismeretlen külső tájékozási elemekkel

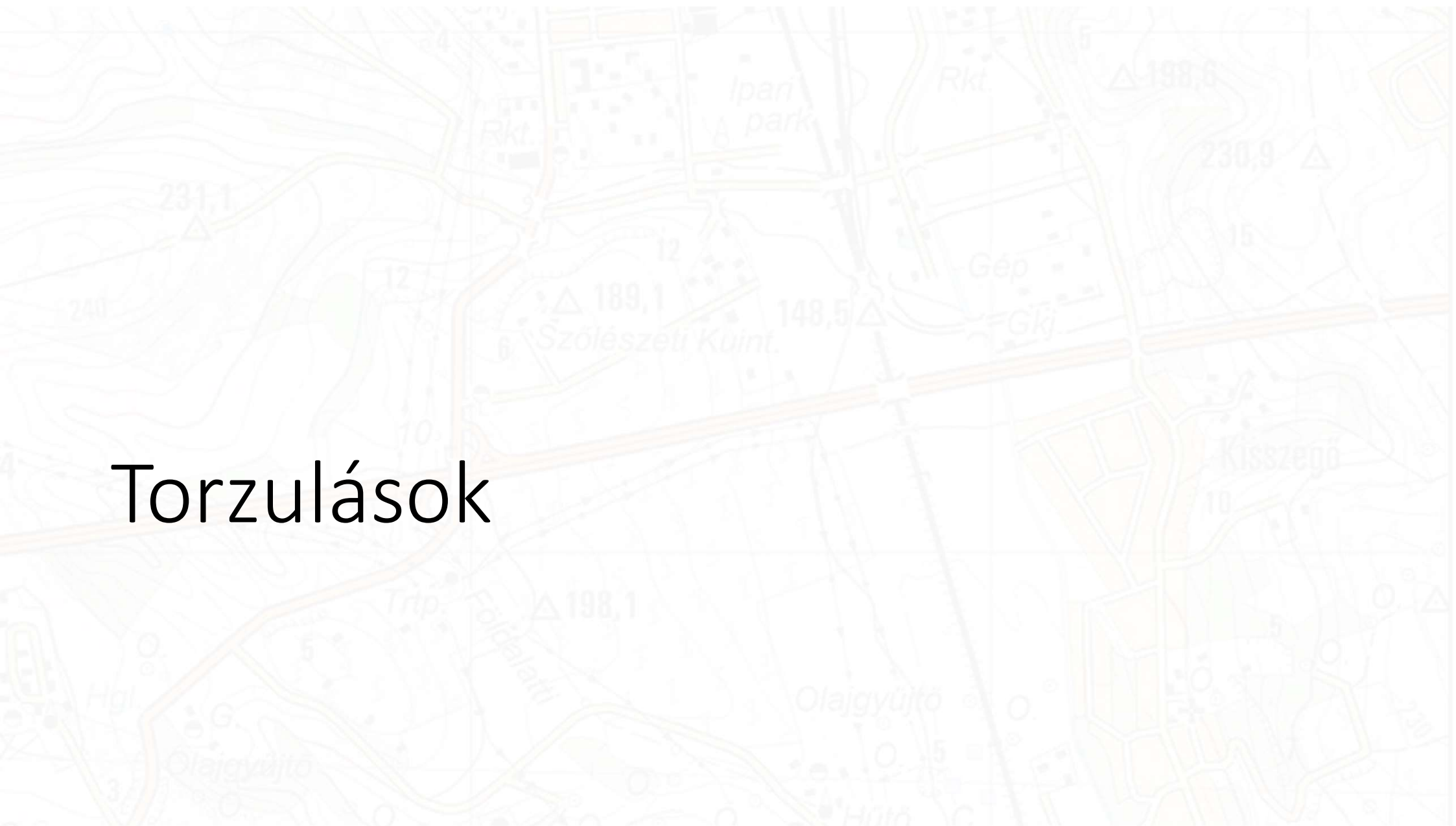
3. Kölcsönös és abszolút tájékozás

A tájékozás két lépésből tevődik össze:

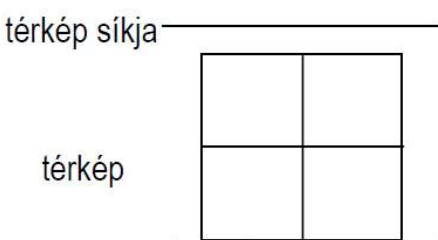
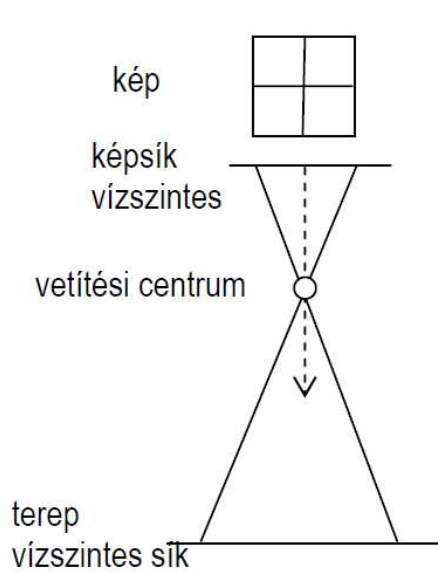
- **Abszolút tájékozás:** a térmodellt beillesztjük egy külső XYZ geodéziai koordinátarendszerbe
 - Térbeli hasonlósági transzformáció: kapcsolatot teremt a térmodell xyz 3D koordinátarendszere és a térképezés XYZ 3D koordinátarendszere között
 - A térbeli transzformáció hét paraméter segítségével leírható: 3 eltolás, 3 elforgatás, 1 méretarány
 - Az abszolút tájékozás paramétereit illesztőpontok segítségével határozzuk meg
 - A kölcsönös tájékozás öt és az abszolút tájékozás hét paramétere összesen megfelel annak a 12 paraméternek, amely a két kép térbehelyezéséhez szükséges



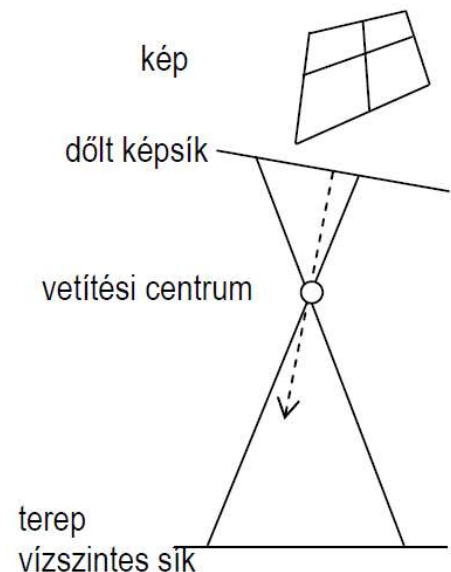
Torzulások



Torzulások

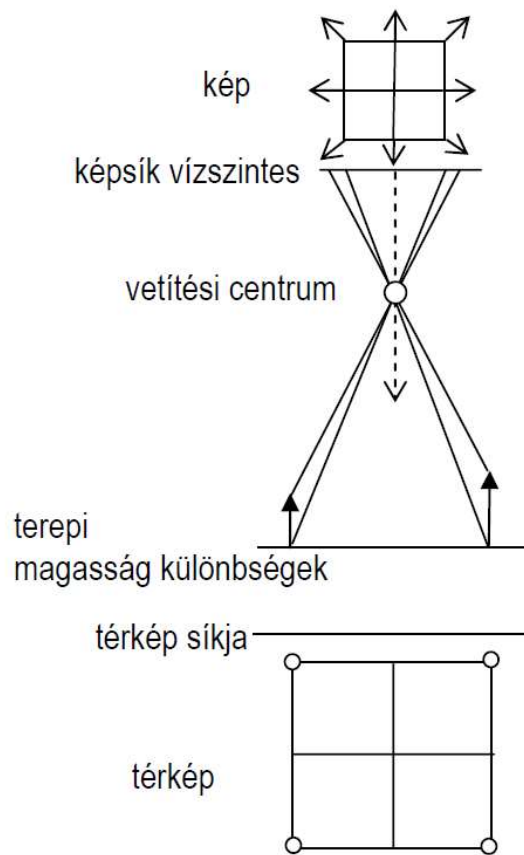


a) a képsík és a terepsík is párhuzamos a térképezés síkjával:
csak méretarány különbség

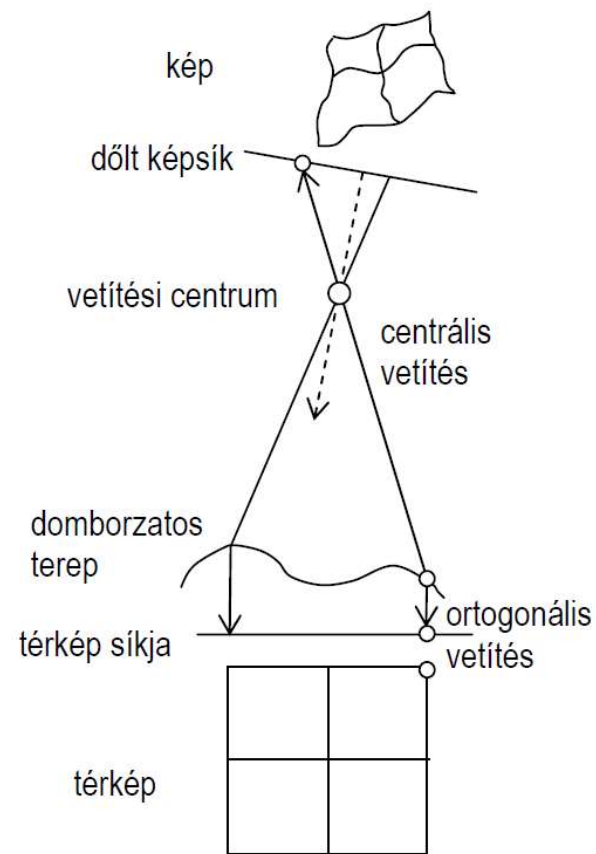


b) a képsík dőlt helyzetű, a terepsík párhuzamos a térképezés síkjával:
képdőlésből származó perspektív torzulás

Torzulások



c) terepi magasságkülönbségekből származó, minden esetben **radiális irányú torzulás**



d) dőlt képsík, terepi mag.különbségek, **képdőlésből és mag.különbségből származó torzulások együttesen**



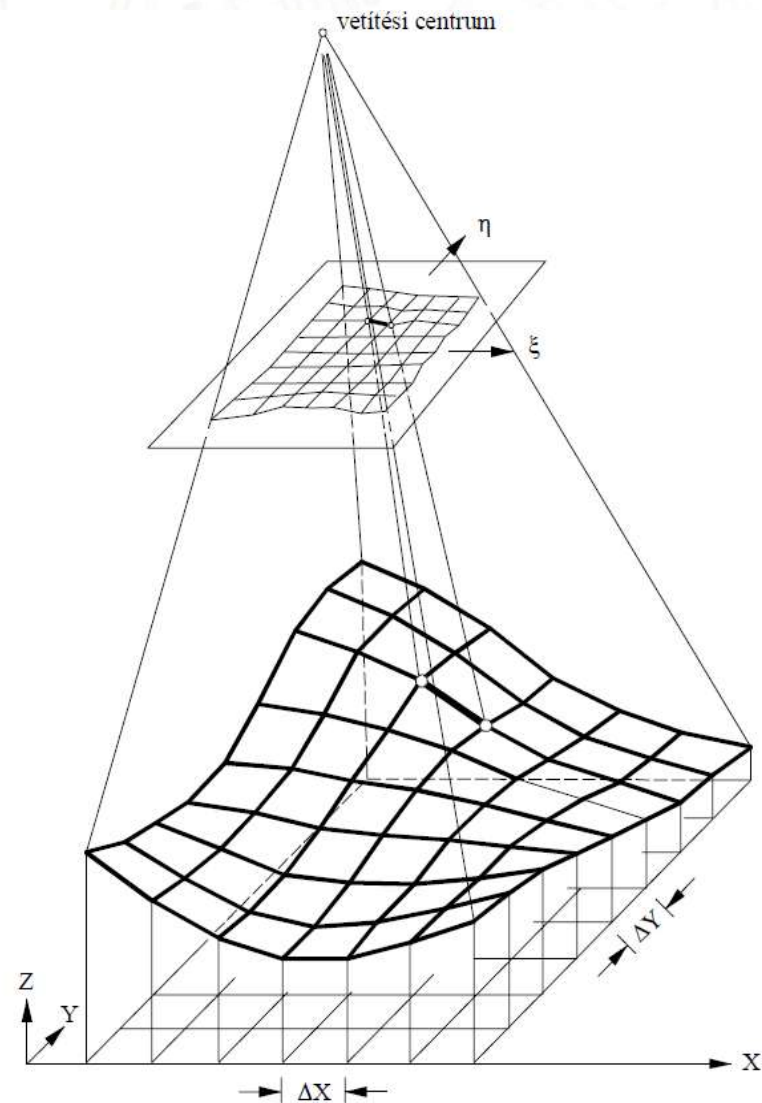
Ortofotó készítése

Ortofotó készítése

Problémafelvetés

- A kameratengely nem függőleges
- A terep nem sík
- Ismerni kell
 - A kép külső tájékozási adatait
 - A terep magassági adatait

Ha ismert, akkor számítható a mért képkoordinátából a tárgyterbeli síkkordniáta differenciális képátalakítás módszerével





Köszönöm a figyelmet!