

# Felmérés lézeres letapogatással és pilóta nélküli felvevő rendszerekkel

Dr. Jancsó Tamás  
jancso.tamas@amk.uni-obuda.hu



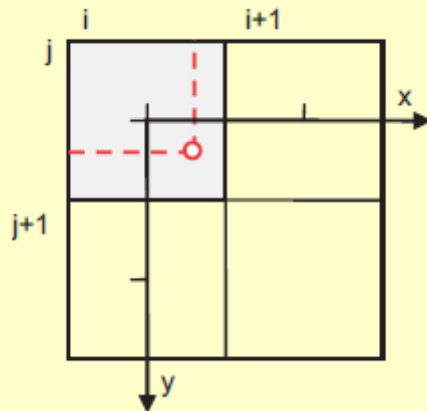
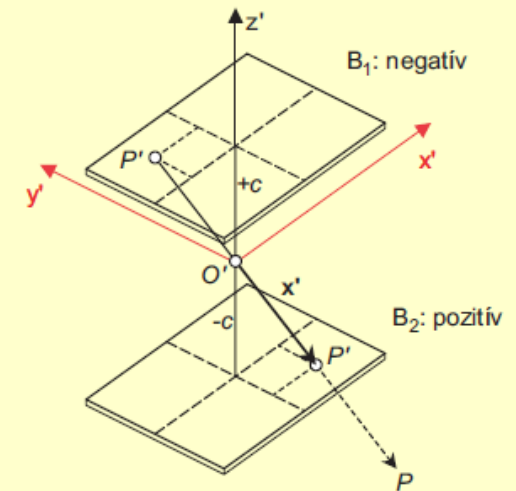
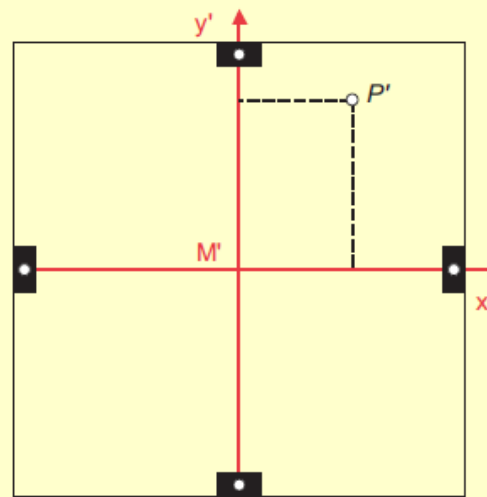
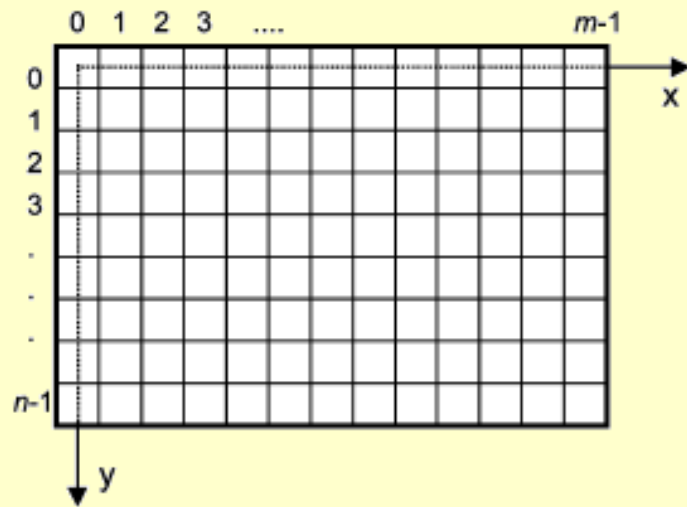
# Tartalom

- Matematika alapok
- Képképzés eszközei az RPAS rendszerekben
- Digitális képek sajátosságai
- Digitális ortofotó
- Pilóta nélküli felvevő rendszerek (RPAS)
- Digitális fotogrammetriai munkaállomások
- Légiháromszögelés
- Felmérés lézeres letapogatással
- Előállítható végtermékek, kiértékelési módok
- Alkalmazási példák



# Matematikai alapok 1.

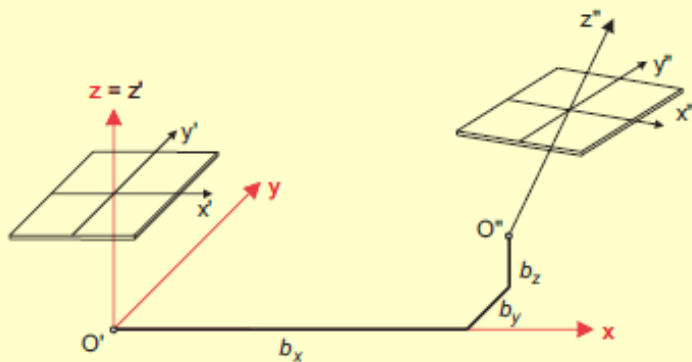
## Koordináta rendszerek – kép (pixel), kamera



Digitális kameránál a kép- és pixel koordináta rendszer egybeeshet.

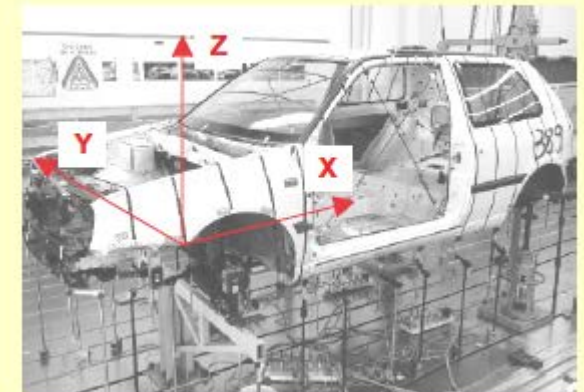
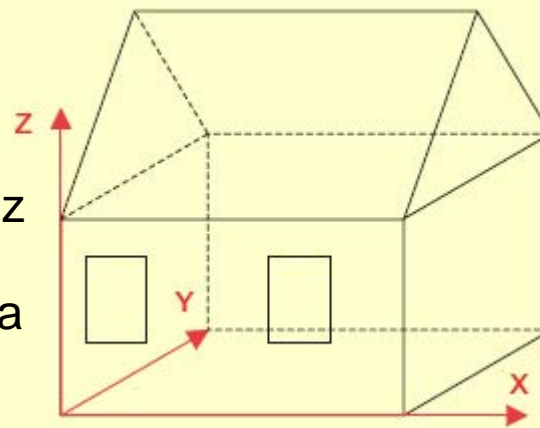
# Matematikai alapok 2.

## Koordináta rendszerek – modell, tárgy



A modell koordináta rendszer célja a térmodell előállításához szükséges képek kölcsönös helyzetének a leírása.

A tárgy koordináta rendszer célja a térmodell beillesztése a térképezéshez használt terepi koordináta rendszerbe (ez legtöbbször a geodéziai koordináta rendszer, de nem feltétlenül).



# Matematikai alapok 3.

## Koordináta transzformációk a fotogrammetriában

### Helmert transzformáció

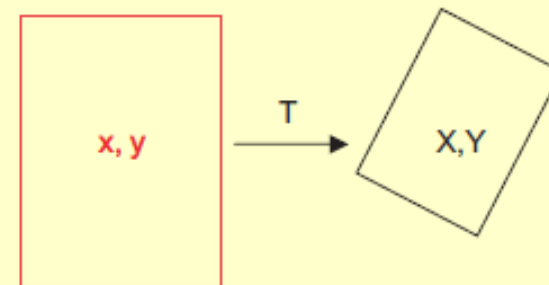
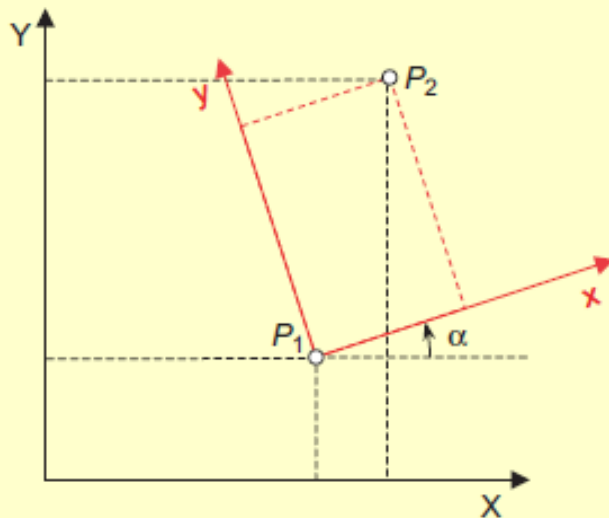
$$X = a_0 + a_1x - b_1y$$

$$Y = b_0 + b_1x + a_1y$$

vagy

$$X = a_0 + m(x \cos \alpha - y \sin \alpha)$$

$$Y = b_0 + m(x \sin \alpha + y \cos \alpha)$$



# Matematikai alapok 4.

## Koordináta transzformációk a fotogrammetriában

### Affin transzformáció

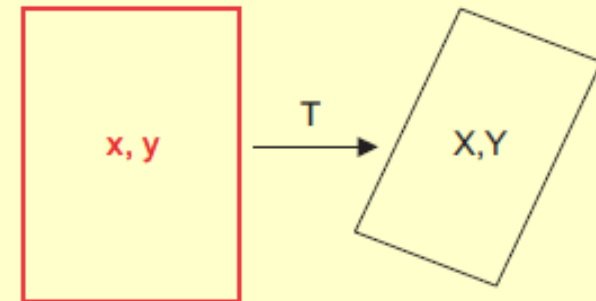
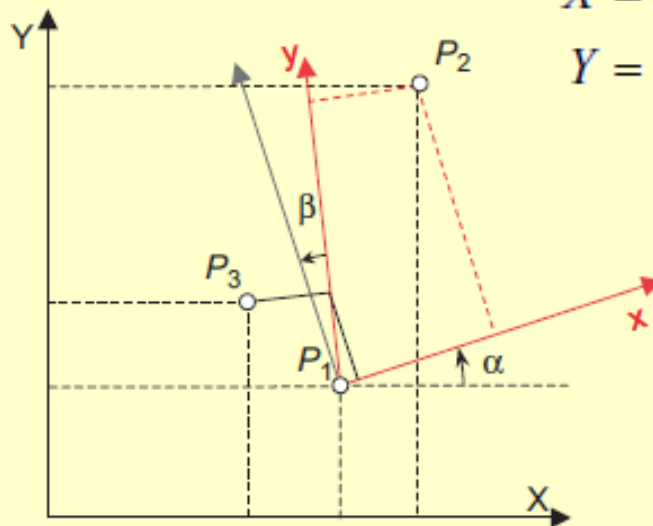
$$X = a_0 + a_1x + a_2y$$

$$Y = b_0 + b_1x + b_2y$$

vagy nem-lineáris formában, ahol  $a_0 = X_0$  and  $b_0 = Y_0$

$$X = X_0 + m_X x \cos \alpha - m_Y y \sin(\alpha + \beta)$$

$$Y = Y_0 + m_X x \sin \alpha + m_Y y \cos(\alpha + \beta)$$

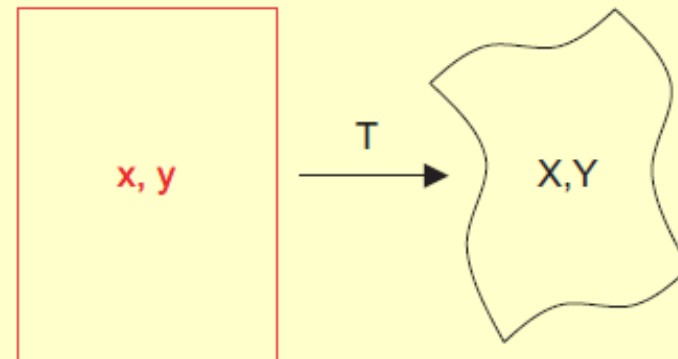


# Matematikai alapok 5.

## Koordináta transzformációk a fotogrammetriában Polinomiális transzformáció

$$X = \sum_{j=0}^n \sum_{i=0}^j a_{ji} x^{j-i} y^i$$

$$Y = \sum_{j=0}^n \sum_{i=0}^j b_{ji} x^{j-i} y^i$$



$$X = a_{00} + a_{10}x + a_{11}y + a_{20}x^2 + a_{21}xy + a_{22}y^2$$

$$Y = b_{00} + b_{10}x + b_{11}y + b_{20}x^2 + b_{21}xy + b_{22}y^2$$

# Matematikai alapok 6.

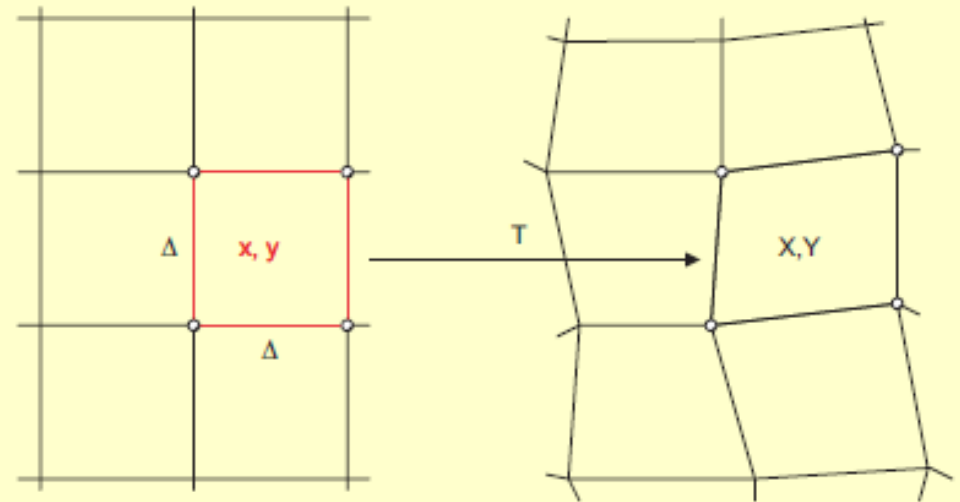
## Koordináta transzformációk a fotogrammetriában

### Bilineáris transzformáció

Nyolc paraméter meghatározásához legalább 4 közös pontra van szükség. Használható pl. digitális felszínmodellek rácshálójának interpolációjánál.

$$X = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy$$

$$Y = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy$$





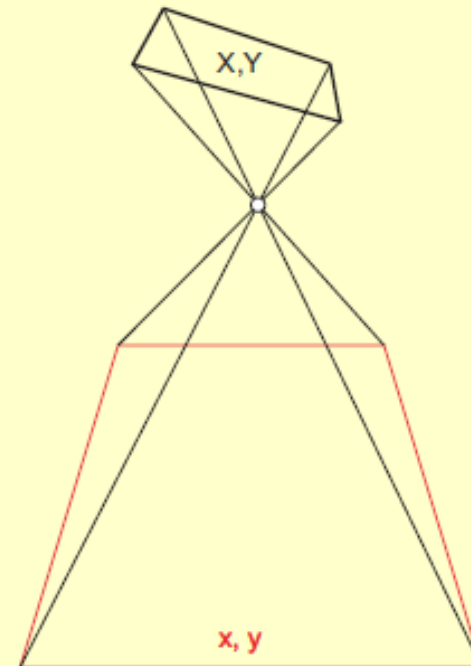
# Matematikai alapok 7.

## Koordináta transzformációk a fotogrammetriában

### Projektív transzformáció

Nyolc paraméter meghatározásához legalább 4 közös pontra van szükség. Ha a terep síknak tekinthető, ezzel a transzformációval a képből közvetlenül számítható az  $X, Y$  terepi koordináták.

$$X = \frac{a_0 + a_1x + a_2y}{1 + c_1x + c_2y}$$
$$Y = \frac{b_0 + b_1x + b_2y}{1 + c_1x + c_2y}$$

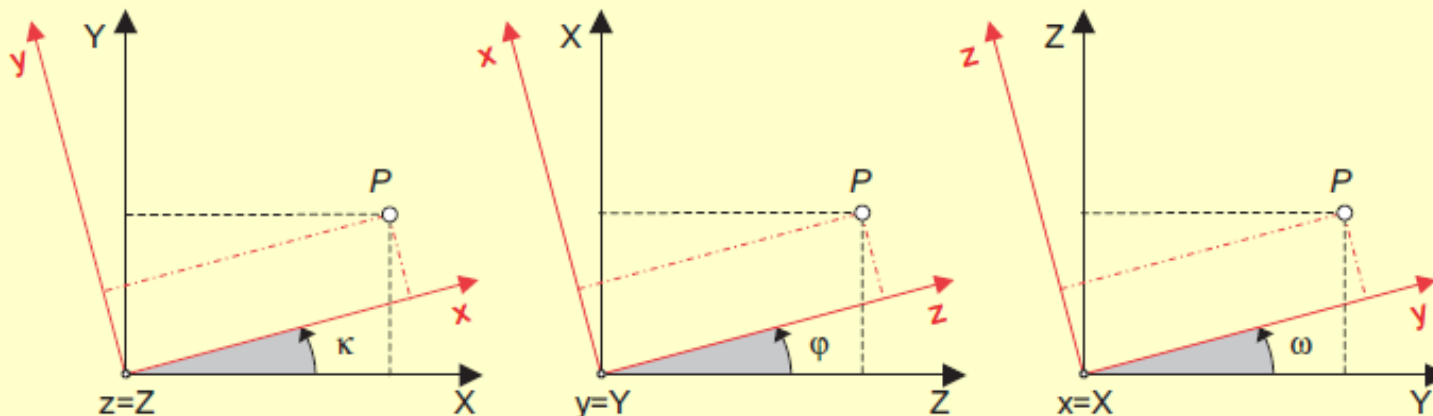


T. Luhmann – S. Robson – S. Kyle – I. Harley: Close Range Photogrammetry, Whittles Publishing, ISBN: 0-470-10633-6, 2006

# Matematikai alapok 8.

## Koordináta transzformációk a fotogrammetriában Térbeli forgatások – forgató mátrix

$$\begin{array}{ccc}
 \mathbf{X} = \mathbf{R}_\kappa \mathbf{x} & \mathbf{X} = \mathbf{R}_\varphi \mathbf{x} & \mathbf{X} = \mathbf{R}_\omega \mathbf{x} \\
 \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \kappa & -\sin \kappa & 0 \\ \sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & -\sin \omega \\ 0 & \sin \omega & \cos \omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}
 \end{array}$$



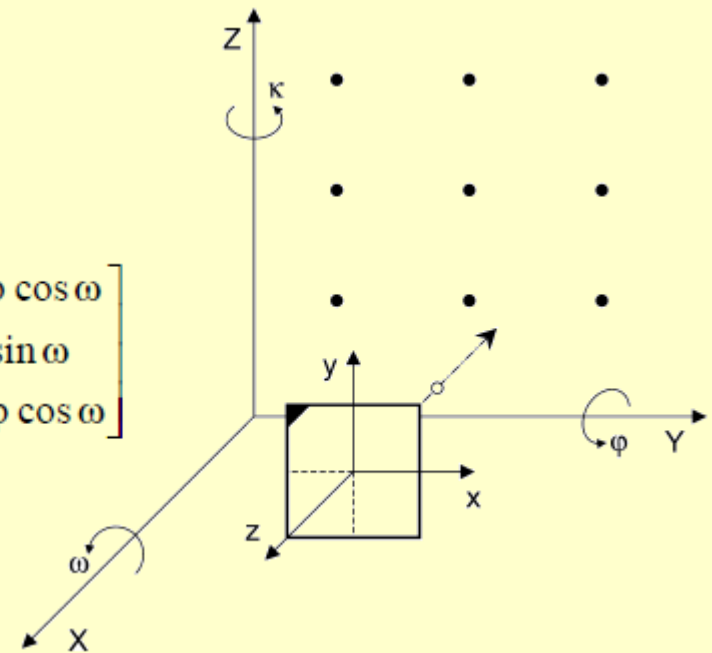
T. Luhmann – S. Robson – S. Kyle – I. Harley: Close Range Photogrammetry, Whittles Publishing, ISBN: 0-470-10633-6, 2006

# Matematikai alapok 9.

## Koordináta transzformációk a fotogrammetriában Térbeli forgatások – forgató mátrix

$$\mathbf{R}_{\varphi\omega\kappa} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \kappa + \sin \varphi \sin \omega \sin \kappa & -\cos \varphi \sin \kappa + \sin \varphi \sin \omega \cos \kappa & \sin \varphi \cos \omega \\ \cos \omega \sin \kappa & \cos \omega \cos \kappa & -\sin \omega \\ -\sin \varphi \cos \kappa + \cos \varphi \sin \omega \sin \kappa & \sin \varphi \sin \kappa + \cos \varphi \sin \omega \cos \kappa & \cos \varphi \cos \omega \end{bmatrix}$$



# Matematikai alapok 10.

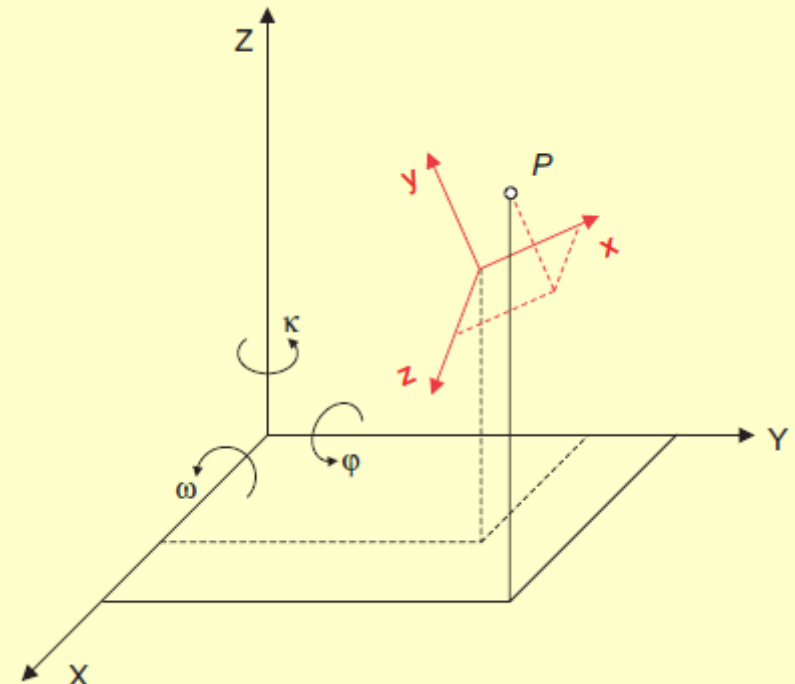
## Koordináta transzformációk a fotogrammetriában

### Térbeli hasonlósági transzformáció

7 paraméter: 3 eltolási érték -  $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$ , 3 forgatási szög -  $\omega$ ,  $\phi$ ,  $\kappa$  (az  $\mathbf{R}$  forgatási mátrix tartalmazza) és egy  $m$  méretarány-tényező.

$$\mathbf{X} = \mathbf{X}_0 + m\mathbf{R}\mathbf{x}$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + m \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$



T. Luhmann – S. Robson – S. Kyle – I. Harley: Close Range Photogrammetry, Whittles Publishing, ISBN: 0-470-10633-6, 2006

# Matematikai alapok 11.

## Kiegyenlítés a fotogrammetriában

Túlhatározott, nem-lineáris egyenletekből álló egyenletrendszer megoldása. Általában, a cél paraméterek meghatározása a mérések alapján. Nincs egyértelmű megoldás, így az ismeretlen paraméterek értékeit becsüljük a funkcionális és sztochasztikus modell alapján.

$$\hat{\mathbf{I}}_{n,1} = \mathbf{I}_{n,1} + \mathbf{v}_{n,1} = \mathbf{A}_{n,u} \hat{\mathbf{X}}_{u,1} \quad : \text{ funkcionális modell}$$

$$\mathbf{K}_{ll} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \rho_{12}\sigma_1\sigma_2 & \dots & \rho_{1n}\sigma_1\sigma_n \\ \rho_{21}\sigma_2\sigma_1 & \sigma_2^2 & \dots & \rho_{2n}\sigma_2\sigma_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{n1}\sigma_n\sigma_1 & \dots & \dots & \sigma_n^2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Q}_{ll} = \frac{1}{s_0^2} \mathbf{K}_{ll} = \mathbf{P}^{-1} \quad : \text{ sztochasztikus modell}$$

$$p_i = \frac{s_0^2}{s_i^2} \quad \mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v} \rightarrow \min!$$

$\sigma_i$  :  $L_i$ ,  $i = 1..n$  mérések középhibája.

$\rho_{ij}$ : korrelációs koeff.  $L_i$  és  $L_j$ ,  $i \neq j$  között.



# Matematikai alapok 12.

## Kiegyenlítés a fotogrammetriában

$$1) \quad \mathbf{P} = \mathbf{Q}_{ll}^{-1}$$

$n,n \quad n,n$

: súly mátrix

$$3) \quad \mathbf{Q} = \mathbf{N}^{-1}$$

$u,u \quad u,u$

: normál egyenletek megoldása, ahol a Q mátrix az ismeretlenek kofaktor mátrixa

$$2) \quad \mathbf{N} \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{n} = \mathbf{0}$$

$u,uu,1 \quad u,1 \quad u,1$

: normál egyenletek

$$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{Q} \mathbf{n}$$

$u,1 \quad u,u \quad u,1$

$$= (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l}$$

$u,n \quad n,nn,u \quad u,n \quad n,nn,1$

ahol

$$\mathbf{N} = \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A}$$

$u,u \quad u,n \quad n,nn,u$

$$4) \quad \mathbf{v} = \mathbf{A} \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{l}$$

$n,1 \quad n,uu,1 \quad n,1$

: javítások

$$\mathbf{n} = \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l}$$

$u,1 \quad u,n \quad n,nn,1$

$$5) \quad \hat{\mathbf{l}} = \mathbf{l} + \mathbf{v}$$

$n,1 \quad n,1 \quad n,1$

: kiegyenlített mérések

$$\hat{\mathbf{L}} = \mathbf{L} + \mathbf{v}$$

$n,1 \quad n,1 \quad n,1$



# Matematikai alapok 13.

## Kiegyenlítés a fotogrammetriában

1)  $\mathbf{P} = \mathbf{Q}_{ll}^{-1}$  : súly mátrix  
 $n,n \quad n,n$

2)  $\mathbf{N} \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{n} = \mathbf{0}$  : normál egyenletek  
 $u,uu,1 \quad u,1 \quad u,1$

ahol

$$\mathbf{N} = \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A}$$

$u,u \quad u,n \quad n,nn,u$

$$\mathbf{n} = \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l}$$

$u,1 \quad u,n \quad n,nn,1$

3)  $\mathbf{Q} = \mathbf{N}^{-1}$  : normál egyenletek megoldása, ahol a Q mátrix az ismeretlenek kofaktor mátrixa  
 $u,u \quad u,u$

$$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{Q} \mathbf{n}$$

$u,1 \quad u,u,1$

$$= (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l}$$

$u,n \quad n,nn,u \quad u,n \quad n,nn,1$

4)  $\mathbf{v} = \mathbf{A} \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{l}$  : javítások  
 $n,1 \quad n,uu,1 \quad n,1$

5)  $\hat{\mathbf{l}} = \mathbf{l} + \mathbf{v}$  : kiegyenlített mérések  
 $n,1 \quad n,1 \quad n,1$

$$\hat{\mathbf{L}} = \mathbf{L} + \mathbf{v}$$

$n,1 \quad n,1 \quad n,1$

6)  $\hat{\mathbf{X}} = \hat{\mathbf{X}}^0 + \hat{\mathbf{x}}$  : ismeretlenek vektora  
 $u,1 \quad u,1 \quad u,1$

7)  $\hat{s}_0 = \sqrt{\frac{\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v}}{n-u}}$  : a posteriori középhiba

8)  $\mathbf{K} = \hat{s}_0^2 \mathbf{Q}$  : variancia-kovariancia mátrix  
 $u,u \quad u,u$

$$\mathbf{X}_{k+1}^0 = \mathbf{X}_k^0 + \hat{\mathbf{x}}_k$$

: iterációs folyamat esetén (pl. sugárnyaláb kiegy.)

# Képképzés eszközei az RPAS rendszerekben 1.

## Mérőkamerák

### Közepes formátumú digitális mérőkamerák



Leica RCD30 közepes  
formátumú RGBN  
mérőkamera (80 Mpixel)

[http://leica-geosystems.com/-/media/files/products/datasheets/leica\\_rcd30\\_ds.ashx?la=en](http://leica-geosystems.com/-/media/files/products/datasheets/leica_rcd30_ds.ashx?la=en)



Phase One iXU 1000  
and the iXU-R 1000:  
100 Megapixeles  
közepes formátumú  
mérőkamerák UAS  
felmérési célokra

<http://www.uasvision.com/2016/01/14/100-megapixel-medium-format-metric-cameras-for-aerial-data-acquisition/>

- Applanix DSS – 439
- Rollei AIC
- DigiCAM-H39
- DiMAC - (Digital Modular Aerial Camera)
- Leica RCD 30 és RCD105
- RMK-D

[http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/1\\_pdf/179.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/1_pdf/179.pdf)  
<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo09/110Doerstel.pdf>



# Képképzés eszközei az RPAS rendszerekben 2.

## Amatőr kamerák

### Követelmények és jellemzők

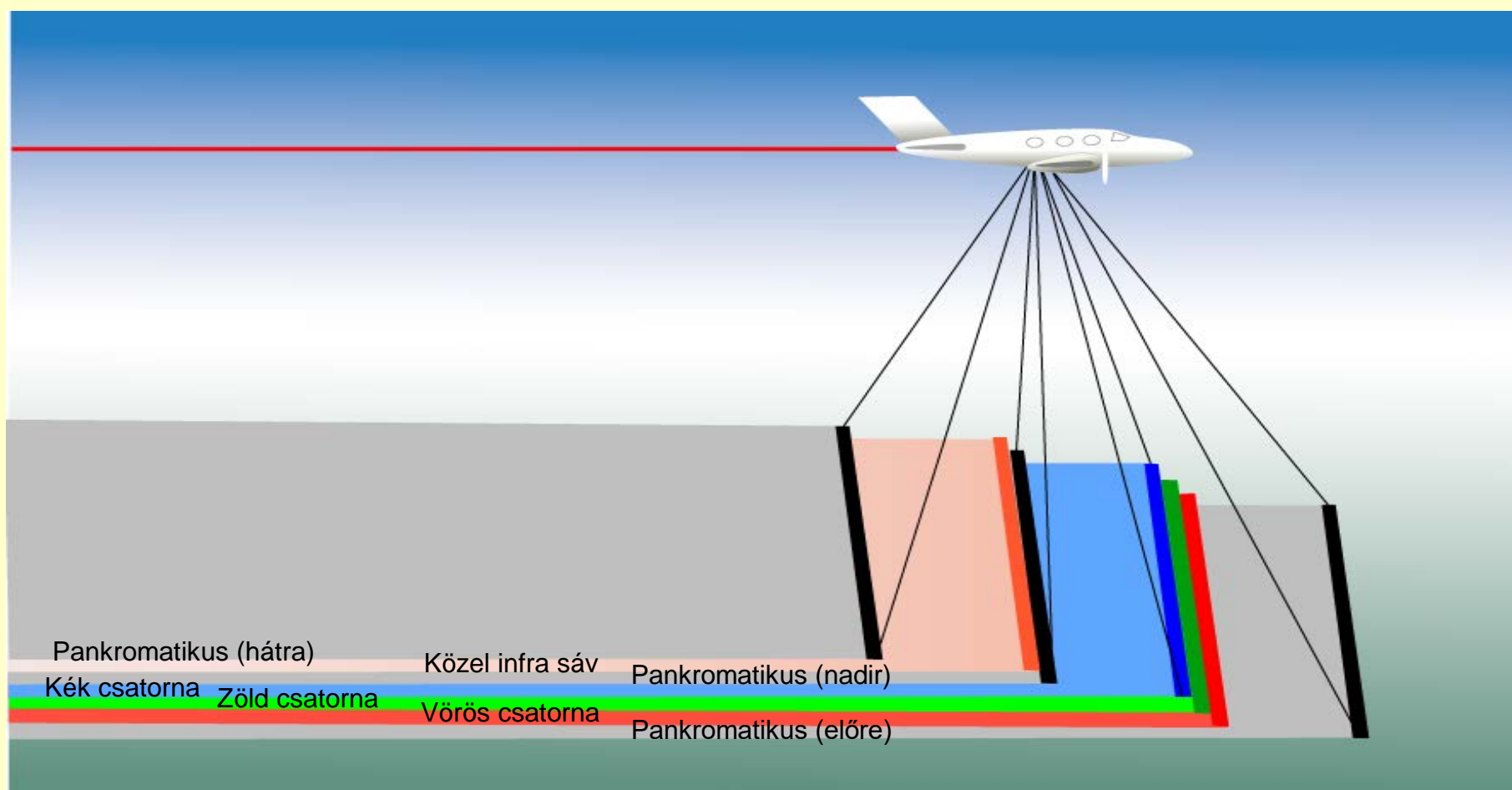
- Az automatikus fókuszt kikapcsolása vagy fix fókuszt.
- Megfelelő felbontás (legalább 3-5 Mpixel).
- Belső adatok idővel lehetőleg ne változzanak.



<https://www.ephotozine.com>

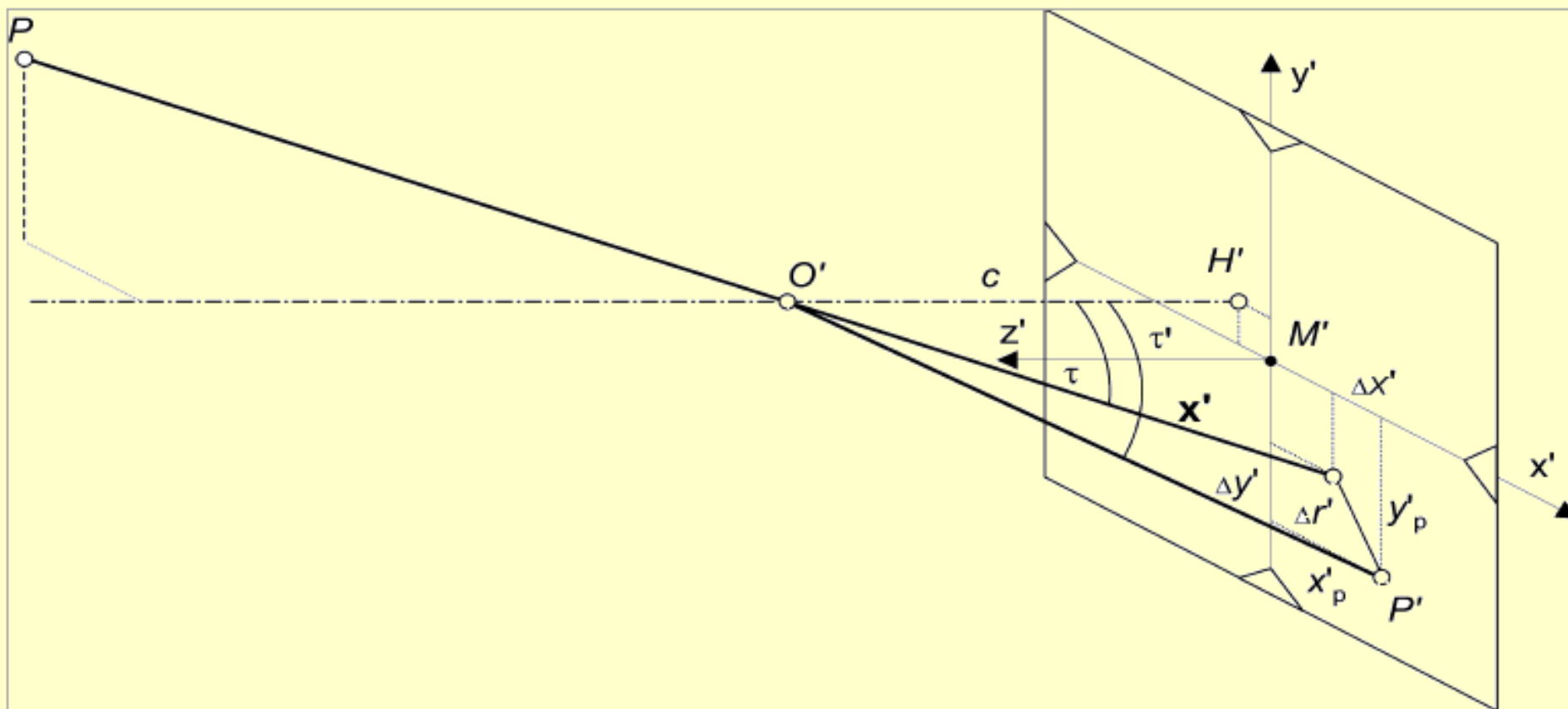
# Képfalkotás eszközei az RPAS rendszerekben 3.

Vonalas képfalkotással működő szenzorok



# Képképzés eszközei az RPAS rendszerekben 4.

## Kamera kalibráció ( $c$ , $H'$ , $\Delta r'$ )

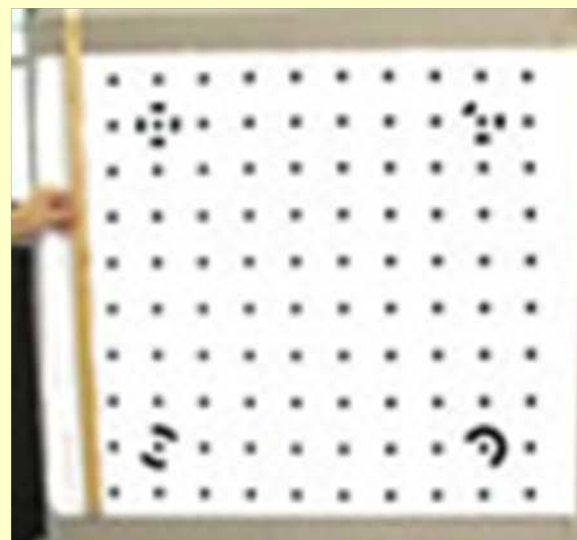
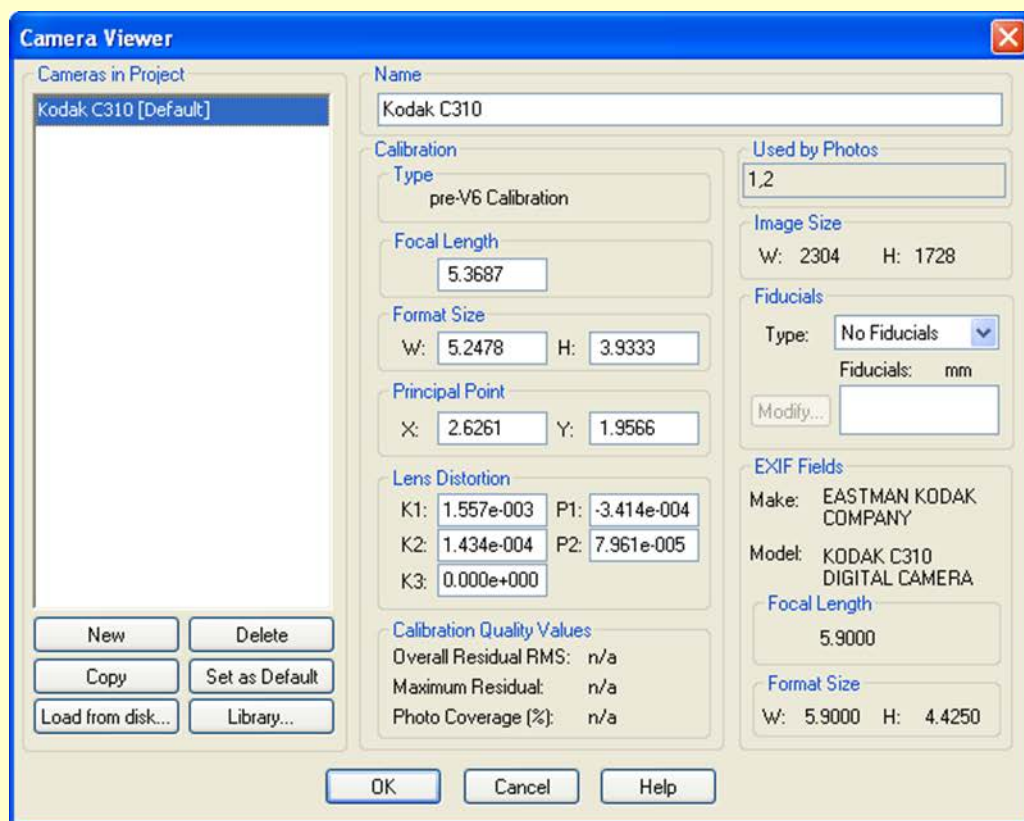


T. Luhmann – S. Robson – S. Kyle – I. Harley: Close Range Photogrammetry, Whittles Publishing, ISBN: 0-470-10633-6, 2006

# Képkötés eszközei az RPAS rendszerekben 5.

## Kamera kalibráció

Kamera kalibráció tesztábrákkal (c, H', K1, K2, K3, P1, P2)

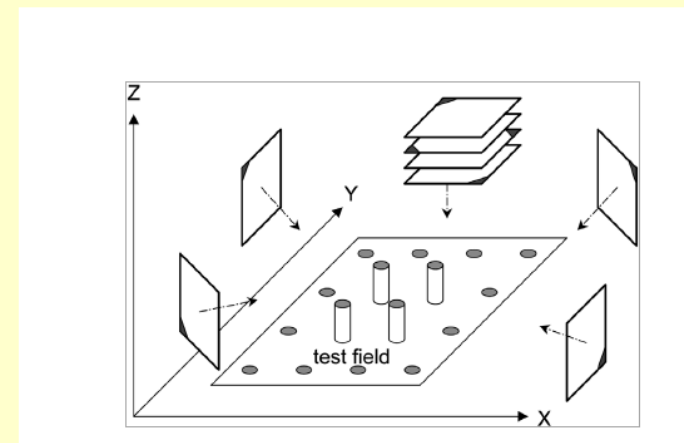
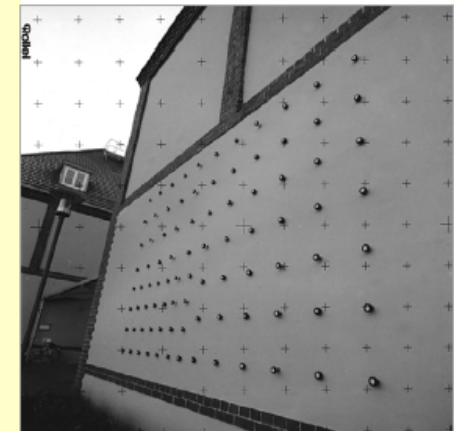
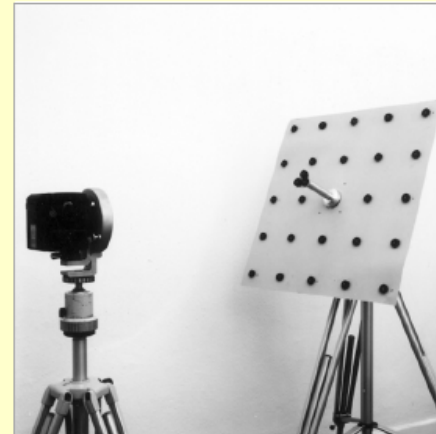


# Képkalkotás eszközei az RPAS rendszerekben 6.

## Kamera kalibráció

### Kamera kalibráció illesztőpont-mezővel

- ❑ Az illesztőpont-mezővel végzett kalibráció során egy teszt területet kell kialakítani a pontok koordinátáit nagy pontosságú geodéziai felméréssel kell meghatározni.
- ❑ A teszt mezőt több álláspontról kell lefotózni (legalább 8 kép) figyelembe véve a kedvező előmetszési szögeket, valamint a kép egészét töltse ki a teszt mező.
- ❑ A teszt mezőt lehet mobil állványra vagy fixen telepíteni.
- ❑ A feldolgozás során a képeken mérjük az illesztőpontokat majd alkalmazzuk a sugárnyaláb kiegyenlítést, mellyel mind a belső, mind a külső tájékozási elemeket pontosítjuk.

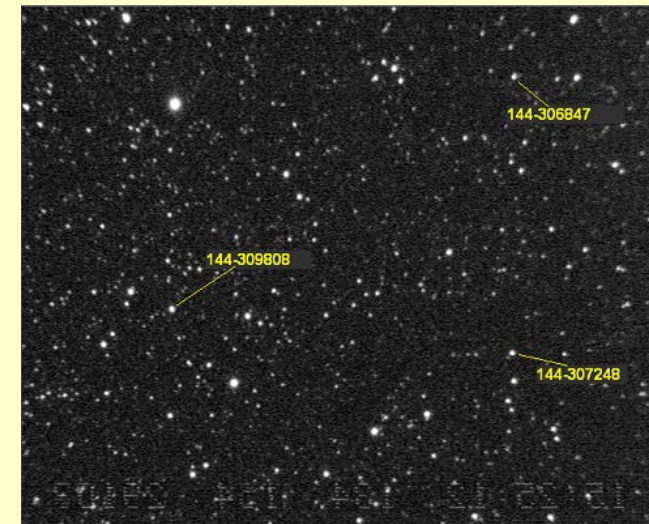


# Képképzés eszközei az RPAS rendszerekben 7.

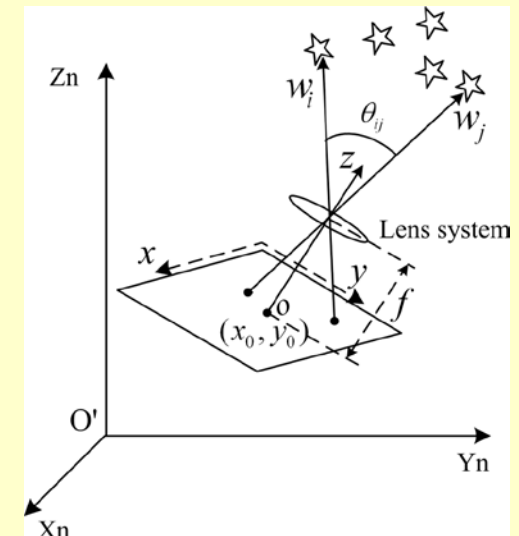
## Kamera kalibráció

### Kamera kalibráció csillagok alapján

- ❑ A csillagok helyzete nagy pontossággal és megbízhatósággal ismert. A módszer hátránya, hogy minden csillagot egyenként kell azonosítani és atmoszférikus korrekcióval ellátni.
- ❑ A nagy mennyiségű adat lehetővé teszi a legkisebb négyzetek szerinti kiegyenlítést.
- ❑ A meghatározható paraméterek: kamera állandó, fókuszpont koordinátái, a radiális és tangenciális elrajzolások.



<http://www.hristopavlov.net/Tangra/Calibration/>



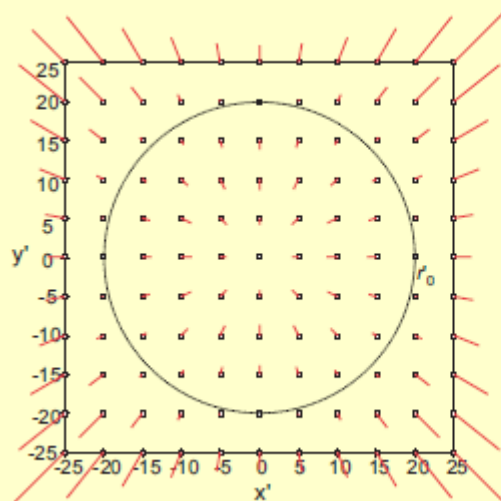
[https://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib\\_doc/papers/DevelopmentCameraCalibrationMethodsModels.pdf](https://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/papers/DevelopmentCameraCalibrationMethodsModels.pdf)

<http://opticalengineering.spiedigitallibrary.org/article.aspx?articleid=1157743>

# Képkötés eszközei az RPAS rendszerekben 8.

## Kamera kalibráció - Radiális elrajzolás

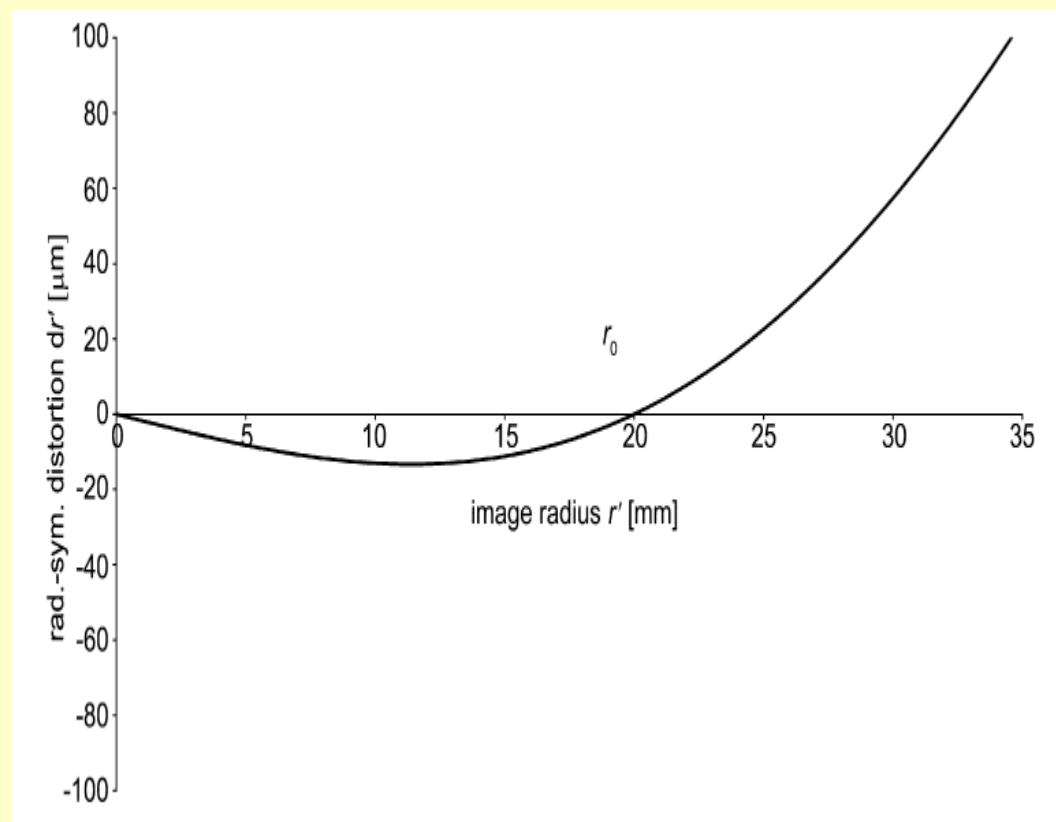
$$\Delta r'_{\text{rad}} = K_0 r' + K_1 r'^3 + K_2 r'^5 + K_3 r'^7 \quad \text{vagy} \quad \Delta r'_{\text{rad}} = A_1 r' (r'^2 - r_0^2) + A_2 r' (r'^4 - r_0^4) + A_3 r' (r'^6 - r_0^6)$$



elrajzolási paraméterek:

$$\begin{aligned} A_1 &= 4.664 \times 10^{-6} \\ A_2 &= -6.456 \times 10^{-10} \\ A_3 &= 0 \end{aligned}$$

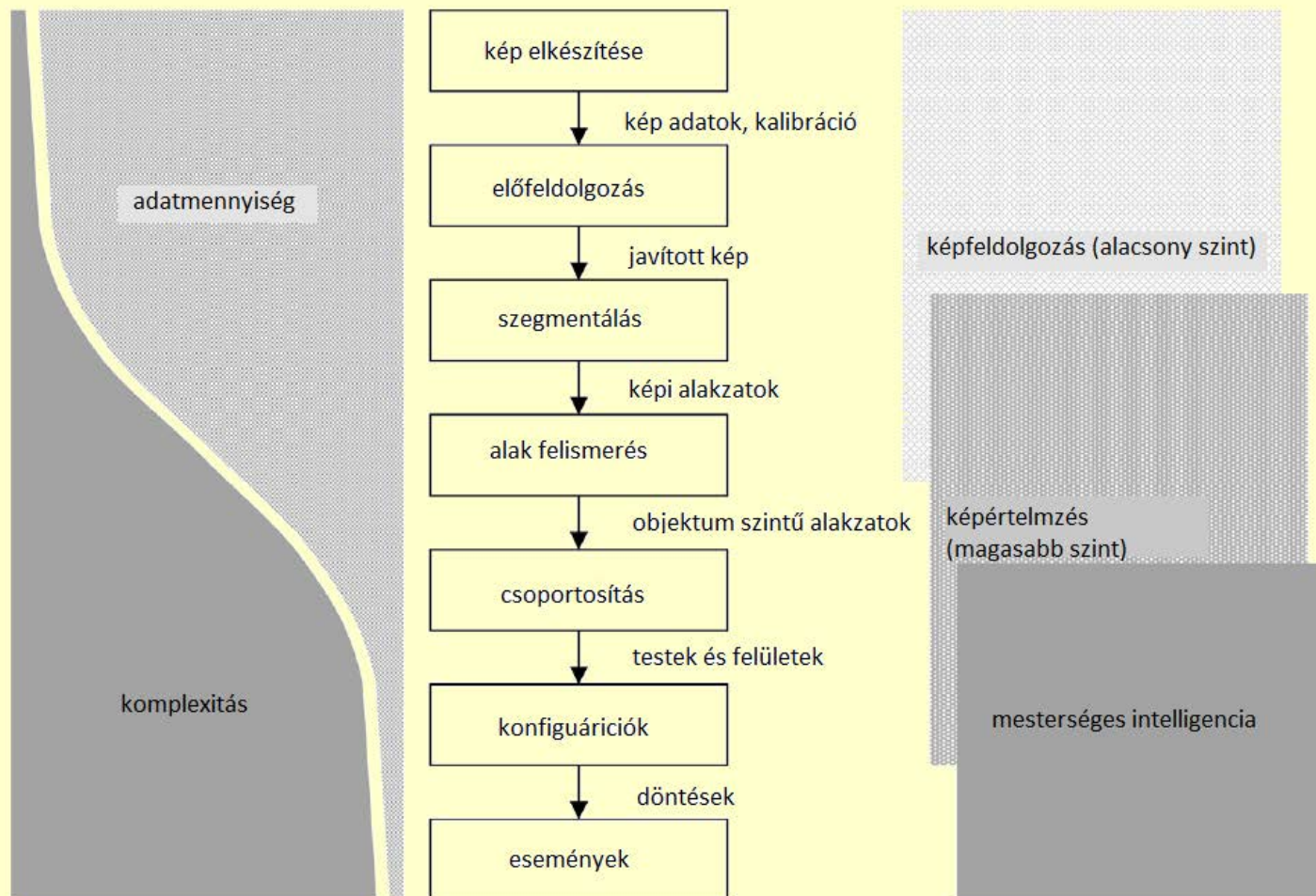
$$r_0 = 20.0 \text{ mm}$$



T. Luhmann – S. Robson – S. Kyle – I. Harley: Close Range Photogrammetry, Whittles Publishing, ISBN: 0-470-10633-6, 2006

# Digitális képek sajátosságai 1.

## Digitális képek előállítása és feldolgozása

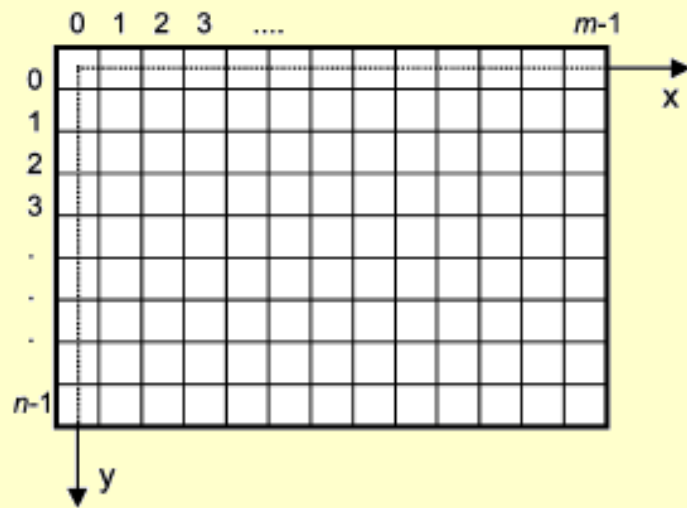


T. Luhmann – S. Robson – S. Kyle – I. Harley: Close Range Photogrammetry, Whittles Publishing, ISBN: 0-470-10633-6, 2006



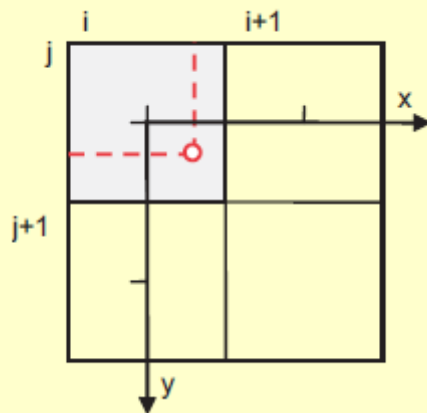
# Digitális képek sajátosságai 2.

## Pixel koordináta rendszer



$$S = s(x, y)$$

A pixel koordináta rendszer a digitális kép koordináta rendszere. A kép koordináta rendszer a kamera fizikailag létező koordináta rendszere. Ha a pixelek pontosan négyzet alakúak, a két koordináta rendszer megegyezik.



Pixel értéke általában 8 bittel tárolódik, vagyis 256 szürkességi érték aható meg: 0 (fekete) and 255 (fehér). A gépi rendszerek számára fontos lehet ennél nagyobb információ tartalom, pl. 10 bit (1024 szürkességi érték), 12 bit vagy 16. A valódi színes képeken 24 bittel tárolják az információt, 8 bit mindegyik szín csatornára (R,G,B).

# Digitális képek sajátosságai 3.

## Képkoordináták mérése

$$\xi = (m + \Delta m) \cdot \Delta$$

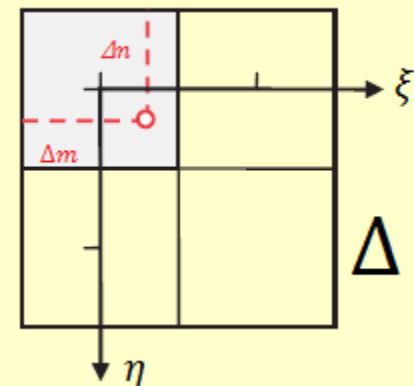
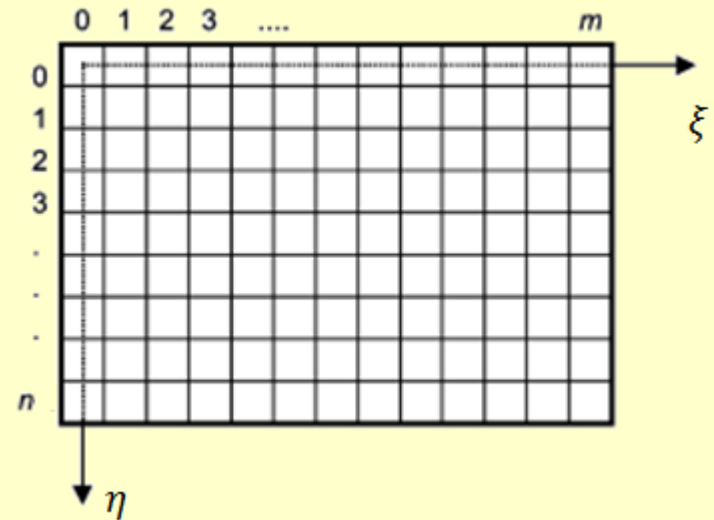
$$\eta = (n + \Delta n) \cdot \Delta$$

$\xi, \eta$  : kép koordináta

$m, n$  : pixel oszlop, sor indexe

$\Delta m, \Delta n$  : pixelen belüli  
(sub-pixel) koordináta

$\Delta$  : pixel mérete

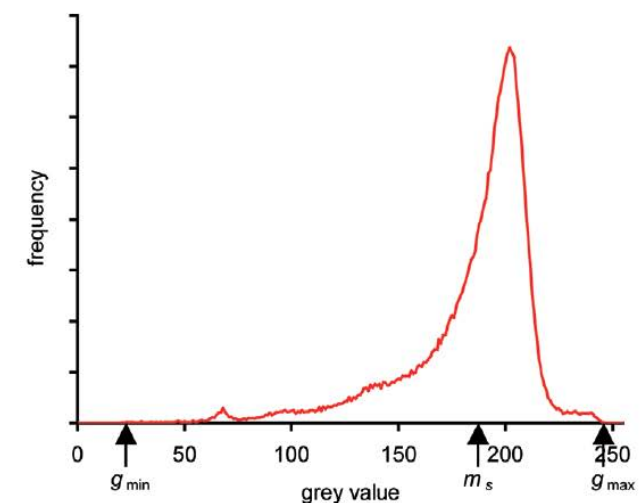
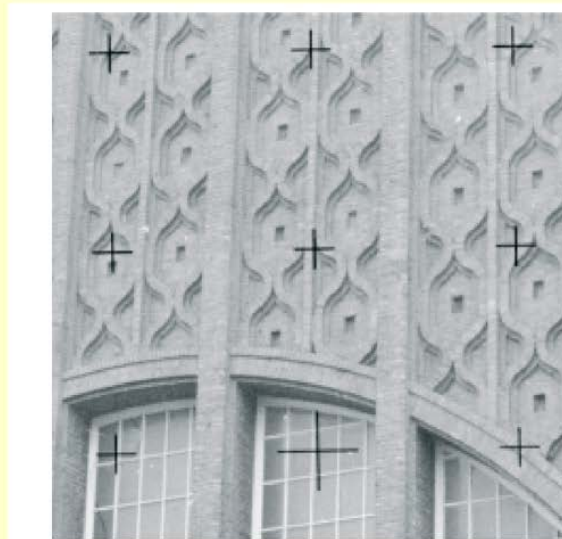


# Digitális képek sajátosságai 4.

## Képminőség javítása – kontraszt fokozás

$$C = \frac{g_{\max} - g_{\min}}{g_{\max} + g_{\min}}$$

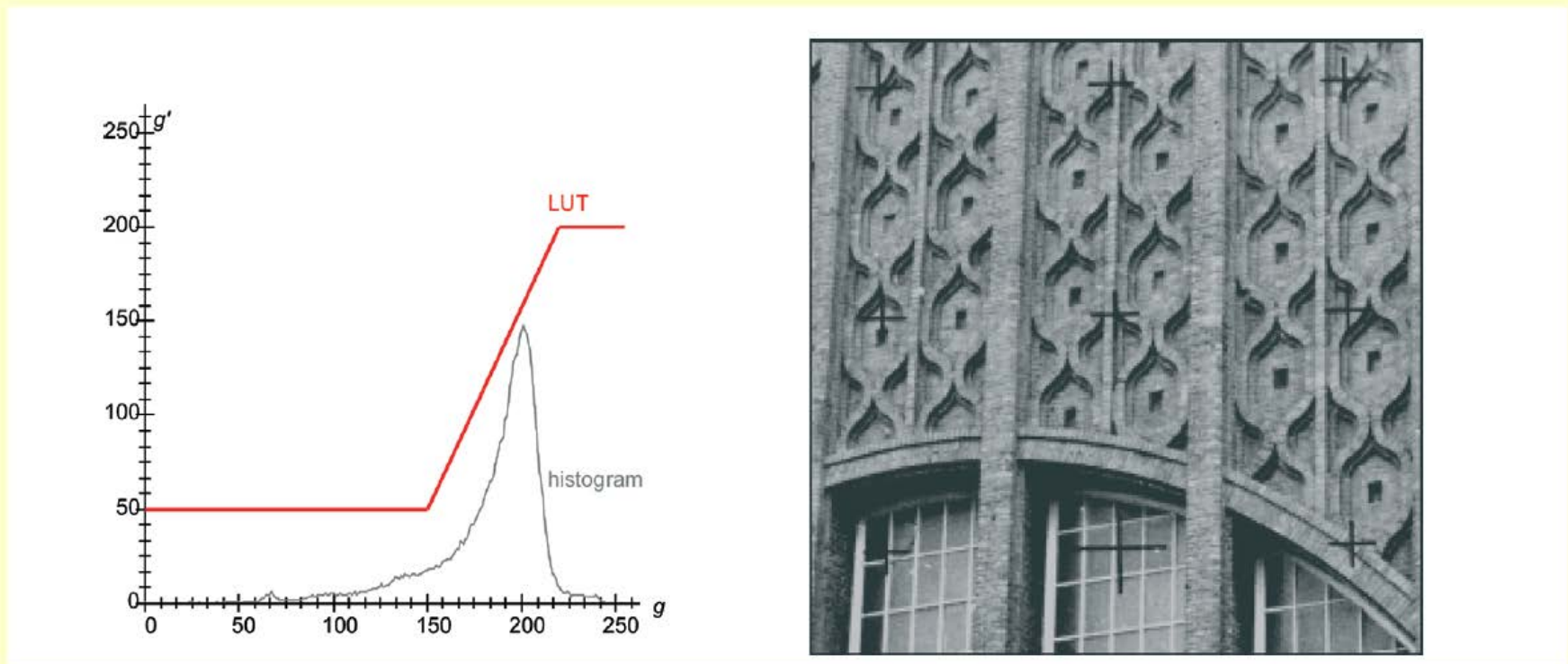
$$m_S = \frac{1}{M} \sum_{u=0}^{m-1} \sum_{v=0}^{n-1} s(u, v)$$



# Digitális képek sajátosságai 5.

## Képminőség javítása – lineáris kontraszt széthúzás

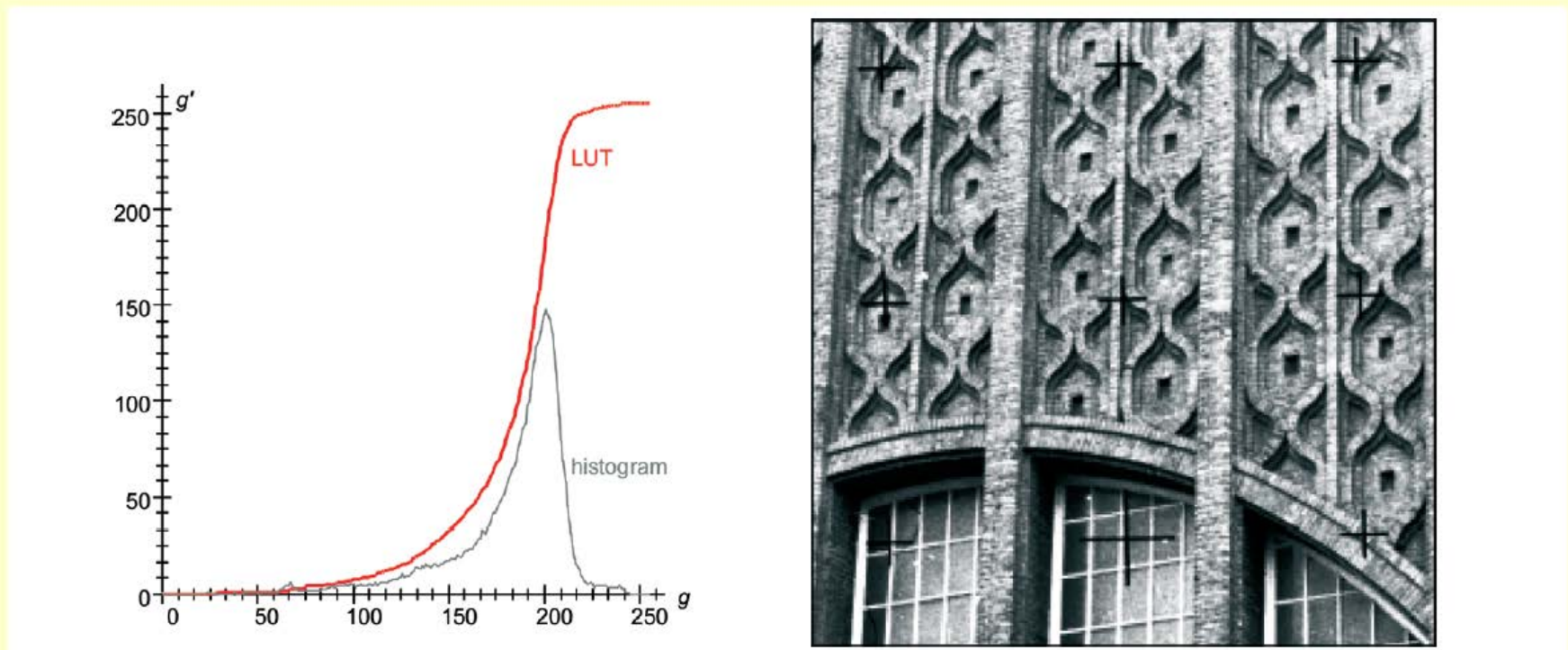
A LUT egy lineáris interpolációt fejez ki a  $g_{min}$  és  $g_{max}$  értékek között. A minimum és maximum értékek kinyerhetők a hisztogramból vagy interaktívan meghatározhatók.



# Digitális képek sajátosságai 6.

## Képminőség javítása – hisztogram kiegyenlítés és gamma korrekció

- ✓ Hisztogram kiegyenlítésnél a függvény a hisztogramtól függ mivel a LUT meredeksége arányos az adott pixel gyakoriságával.
- ✓ A Gamma korrekciónál a LUT logaritmikusan igazított a feketedési görbéhez.



T. Luhmann – S. Robson – S. Kyle – I. Harley: Close Range Photogrammetry, Whittles Publishing, ISBN: 0-470-10633-6, 2006



# Digitális képek sajátosságai 7.

## Képtartalom kiemelése, képszűrők alkalmazása



eredeti kép



mozgó átlag szűrő (5x5)



eredeti kép



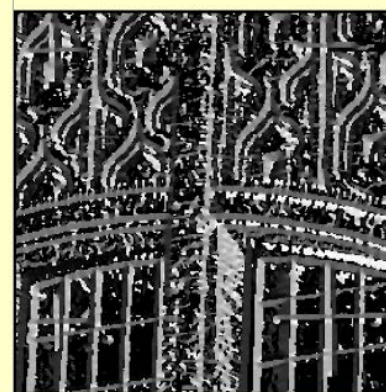
gradiens mértéke szerint



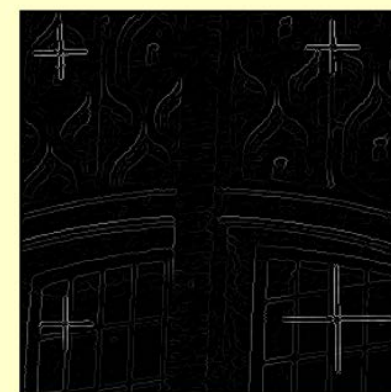
binomiális szűrő (5x5)



medián szűrő



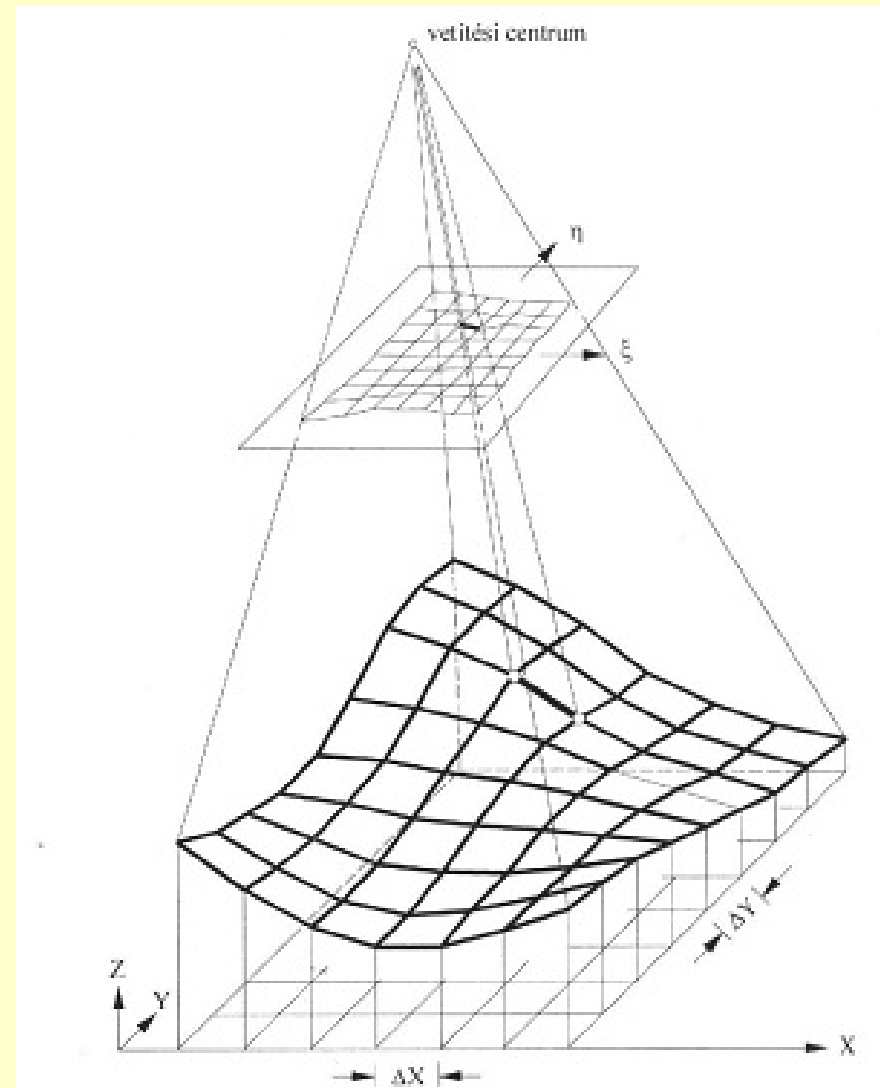
gradiens iránya szerint



vonal vékonyítás

# Digitális ortofotó fogalma

Ortofotó az eredeti fotó átalakításával jön létre. Az átalakítás során megszüntetjük a képen jelenlevő perspektív és magassági torzulásokat, ehhez szükséges ismerni a kép külső tájékozási elemeit és a digitális domborzatmodellt. A torzulások kiküszöbölése pixelenként történik. A kollineár egyenletek segítségével minden pixelt átszámítunk egy torzulásmentes pozícióba és minden pixelhez geodéziai koordinátákat rendelünk, vagyis az ortofotó közvetlenül, önmagában használható térképezési célokra. Az átszámítás után a pixel új színértéket is kap, mivel figyelembe kell venni az új pozícióban már meglévő pixelek színértékét is.



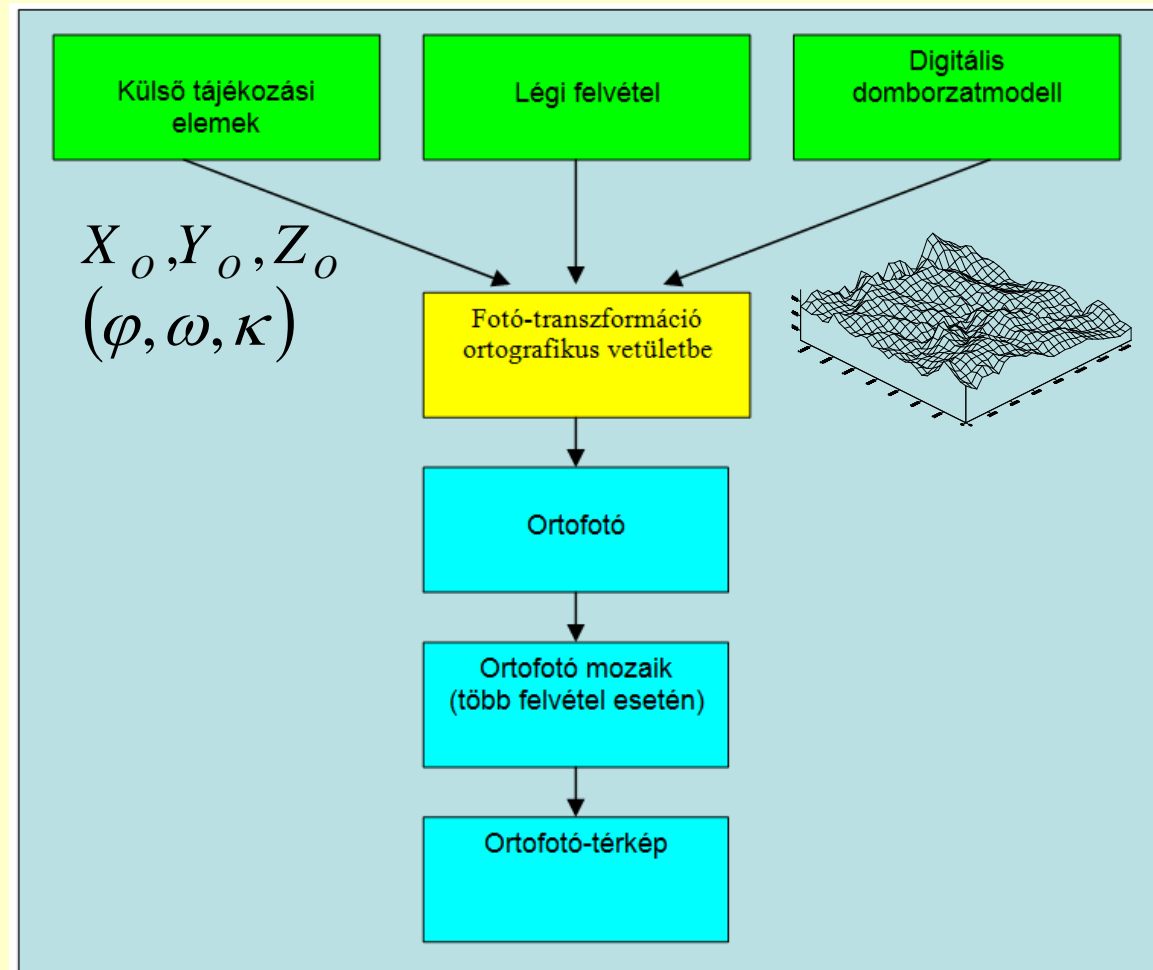
Karl Kraus: Fotogrammetria (Tertia Kiadó, Budapest, 1998)

# Digitális ortofotó előállítása 1.

## Technológiai folyamat

Az ortofotó előállításához a következő három adathalmazra van szükség:

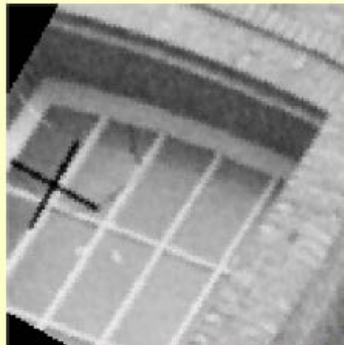
- ✓ Külső tájékozási elemek
- ✓ Légi felvétel
- ✓ Digitális domborzatmodell





# Digitális ortofotó előállítása 2.

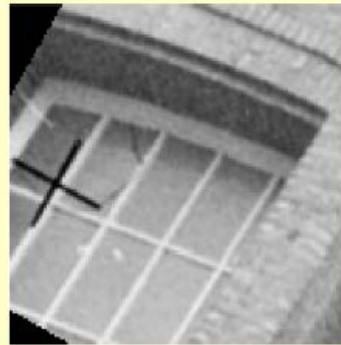
## Újra-mintavételezés



legközelebbi szomszéd

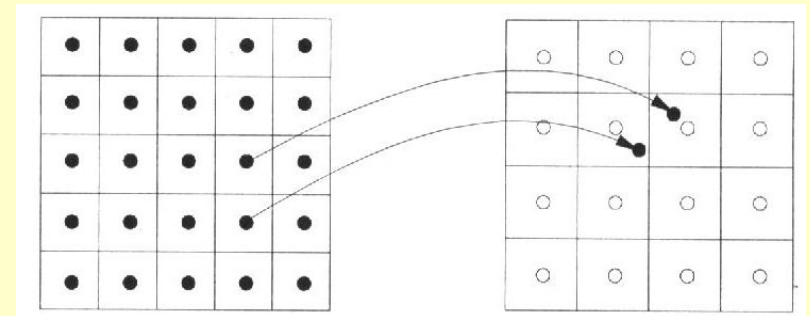


bilineáris interpoláció



harmadfokú konvolúció

- Legközelebbi szomszéd
- Bilineáris interpoláció
- Harmadfokú konvolúció

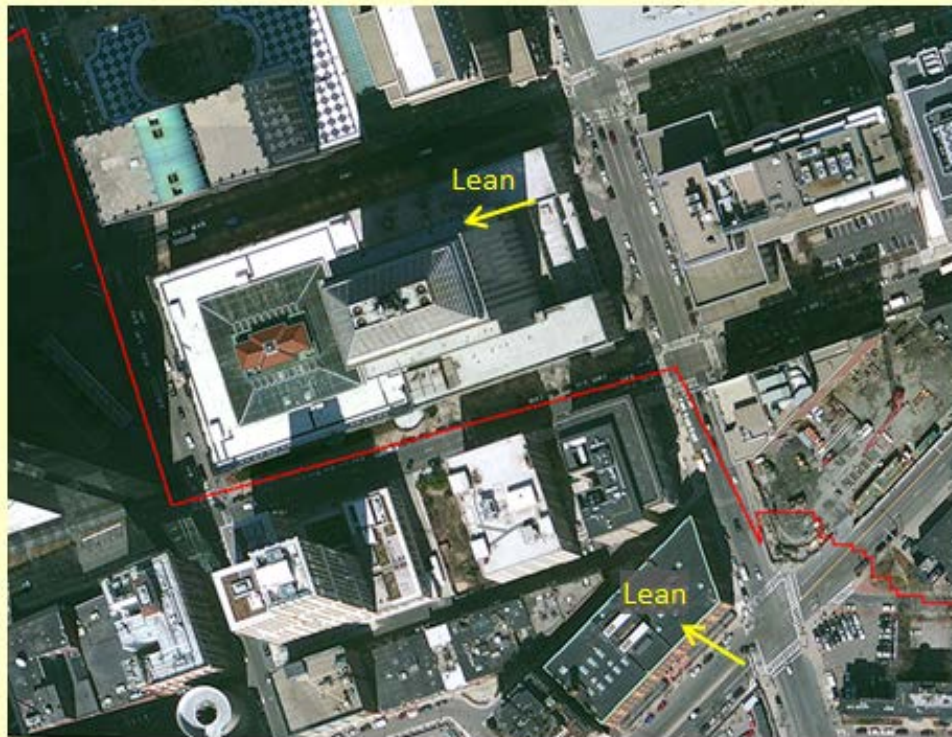


$$g_{\xi'\eta'} = \left(1 - \frac{\xi'}{\Delta} - \frac{\eta'}{\Delta} + \frac{\xi'\eta'}{\Delta^2}\right)g_1 + \left(\frac{\xi'}{\Delta} - \frac{\xi'\eta'}{\Delta^2}\right)g_2 + \left(\frac{\eta'}{\Delta} - \frac{\xi'\eta'}{\Delta^2}\right)g_3 + \frac{\xi'\eta'}{\Delta^2}g_4$$

# Digitális ortofotó előállítása 3.

## Ortofotó-mozaik előállítása

- ❑ Vágó élek kijelölése
- ❑ Kontrasztkiegyenlítés a vágó élek mentén



<http://www.mass.gov/anf/research-and-tech/it-serv-and-support/application-serv/office-of-geographic-information-massgis/datalayers/structures.html>

# Digitális ortofotó előállítása 4.

## Mérés, kiértékelés ortofotón

- ❑ Ortofotó közvetlenül alkalmas síkrajzi kiértékelésre, mivel minden pixel rendelkezik terepi koordinátákkal.
- ❑ Abban az esetben, ha az ortofotóhoz magassági modellt tudunk társítani, akkor a digitális monoplottting módszerével magassági adatokat is tudunk társítani a kiértékelt pontokhoz, vonalakhoz.



[https://www.researchgate.net/profile/Devrim\\_Akca/publication/228701176/figure/fig6/AS:302076765720584@1449032121853/Figure-6-The-record-module-allows-digitizing-the-point-and-line-features.png](https://www.researchgate.net/profile/Devrim_Akca/publication/228701176/figure/fig6/AS:302076765720584@1449032121853/Figure-6-The-record-module-allows-digitizing-the-point-and-line-features.png)

# Pilóta nélküli felvevő rendszerek (RPAS) 1.

UAV – Unmanned Aerial Vehicle (Drone)

Távvezérléssel

Autonóm üzemmódban

UAS – Unmanned Aircraft System

Tartalmazza a földi állomást és egyéb kiegészítő berendezéseket (pl. kamera, GPS, IMU, stb.)



# Pilóta nélküli felvevő rendszerek (RPAS) 2.

## FUNKCIÓ SZERINT

Célpont és csali (célpont szimuláció)

Hadászati felderítő

Harci

Logisztikai

Kutatás-fejlesztési

Civil és kereskedelmi célú UAV-k



<http://www.pto.hu/dji-phantom-3-dron-4k/>



<http://www.au.mobilepundits.com/blog/how-drones-are-new-gateway-app-developers>

# Pilóta nélküli felvevő rendszerek (RPAS) 3.

## HATÓTÁVOLSÁG ÉS MAGASSÁG SZERINT

Kézi vezérlésű - 600 m magasságig, max. 2 km távolság

Közeli típusú - 1,500 m magasságig, hatótávolság 10 km-ig

NATO típusú - 3,000 m magasságig, hatótávolság 50 km-ig

Taktikai - 5,500 m magasság, hatótávolság 160 km-ig

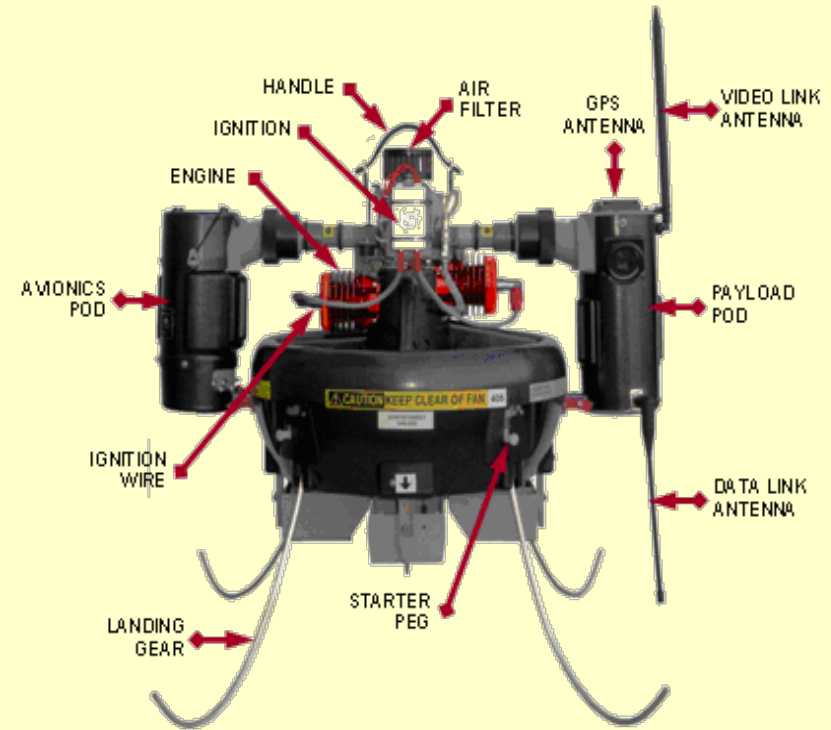
MALE (medium altitude, long endurance) - 9,000 m magasságig, 200 km-nél nagyobb hatótávon

HALE (high altitude, long endurance) - 9,100 m fölött, hatótáv tetszőleges

HYPERSOUNDIC (Mach 1–5+) - 15,200 m fölött, 200 km hatótávon túl

ORBITAL

CIS Lunar Föld-Hold távolságban



# Pilóta nélküli felvevő rendszerek (RPAS) 4.

Légballon

Merev szárnyú repülők

Helikopterek

Több rotoros helyből felszálló kopterek  
(pl. kvadro-, oktokopterek)



# Pilóta nélküli felvevő rendszerek (RPAS) 5.

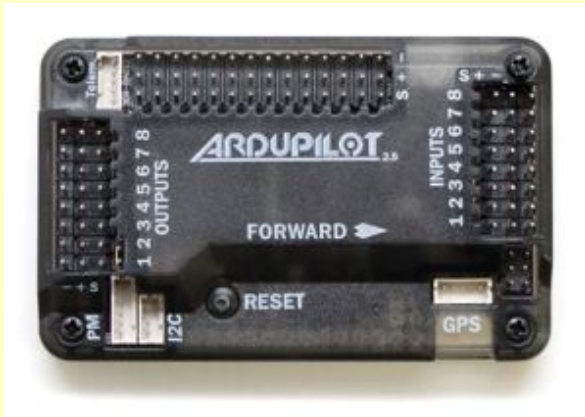
## VEZÉRLÉS

Funkciók: GPS, IMU (INS)

Kamera vezérlés (exponálás, forgatás, zoom)

Egyéb szenzorok jeleinek feldolgozása, rögzítése (pl. magnetométer, infra, radar, mozgásérzékelők, hőmérséklet, stb.)

Földi állomás is szükséges, de lehet „autopilot” is a rendszer.





# Pilóta nélküli felvevő rendszerek (RPAS) 6.

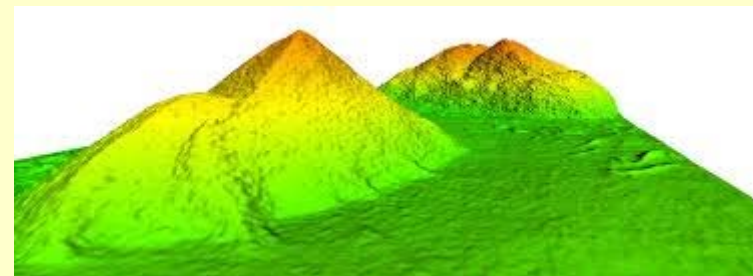
## Technológiai folyamat

- Projekt paraméterek (PP)
- Repülési terv (FP)
- Autonóm légi felmérés (APF)
- Adatok minőségellenőrzése (QCD)
- UAV tömbháromszögelés (UAV BT)
- DSM, Ortofotó, 3D Modell (DO3D)



UAV Photogrammetry  
Henri Eisenbeiß

[http://www.igp-data.ethz.ch/berichte/blaue\\_Berichte\\_PDF/105.pdf](http://www.igp-data.ethz.ch/berichte/blaue_Berichte_PDF/105.pdf)



[www.hbdsolutions.com.au](http://www.hbdsolutions.com.au)

# Pilóta nélküli felvevő rendszerek (RPAS) 7.

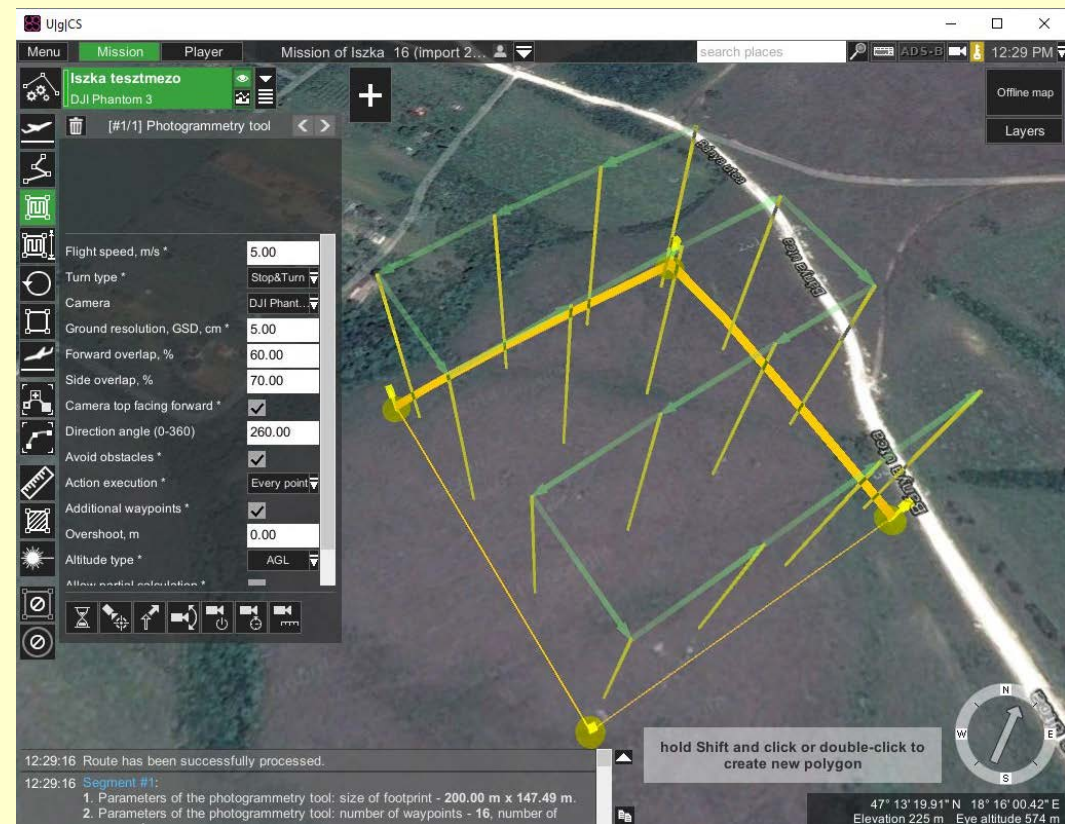
## Repülési terv készítése

Szoftverek:

- Litchi for DJI Phantom/Inspire
- Pix4DCapture
- U|g|CS
- Autopilot – Autoflight
- Map Pilot for DJI
- DJI – PC Ground Station



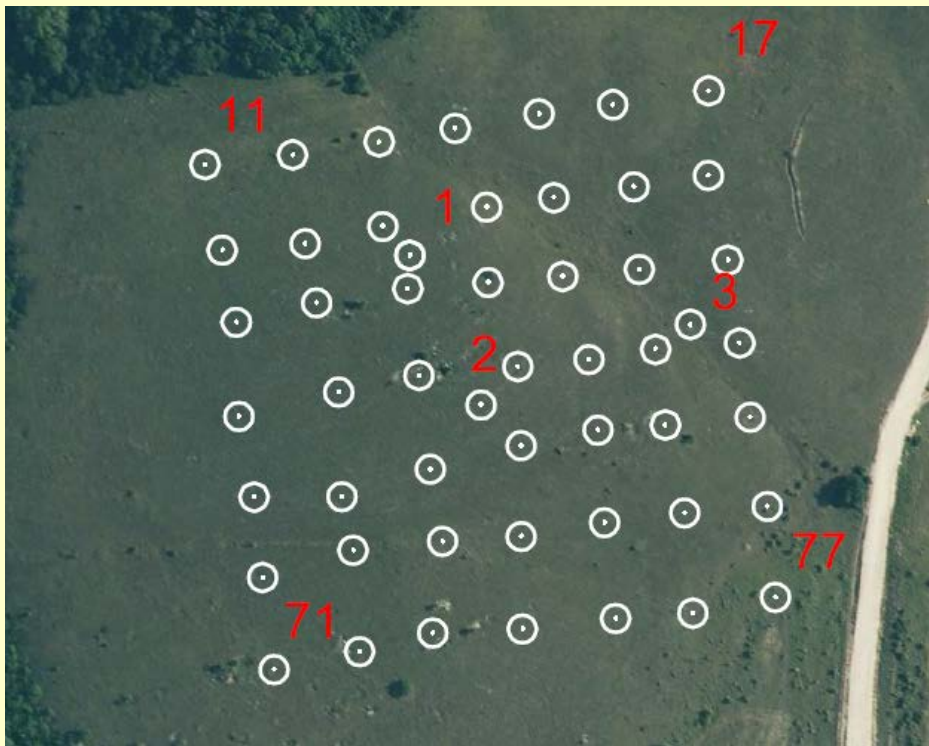
<http://www.droneflyers.com/>



# Pilóta nélküli felvevő rendszerek (RPAS) 8.

## Külső tájékozás módszerei

### Terepi illesztőpontok alkalmazása

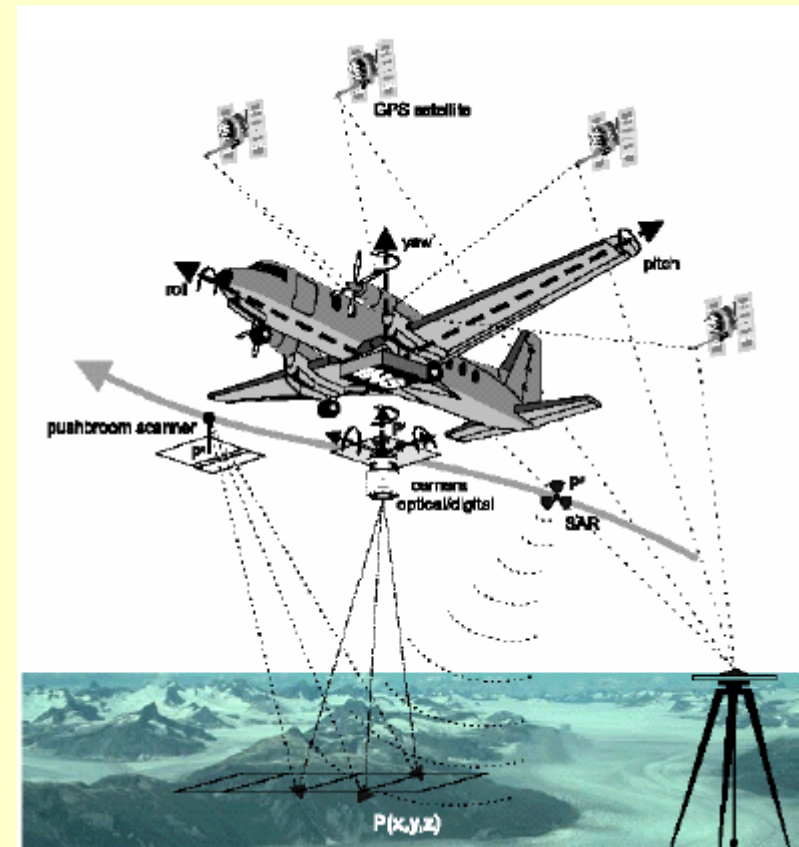


# Pilóta nélküli felvevő rendszerek (RPAS) 9.

## Külső tájékozás módszerei

### Direkt szenzor tájékozás (GPS, IMU)

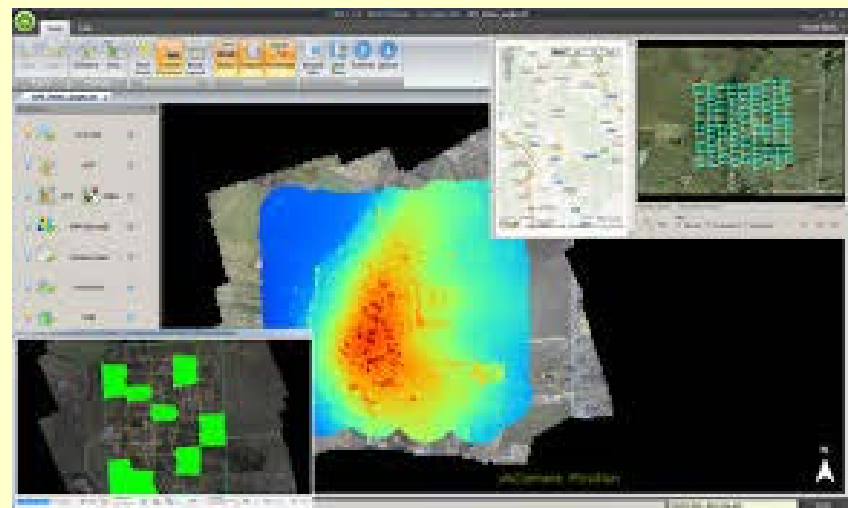
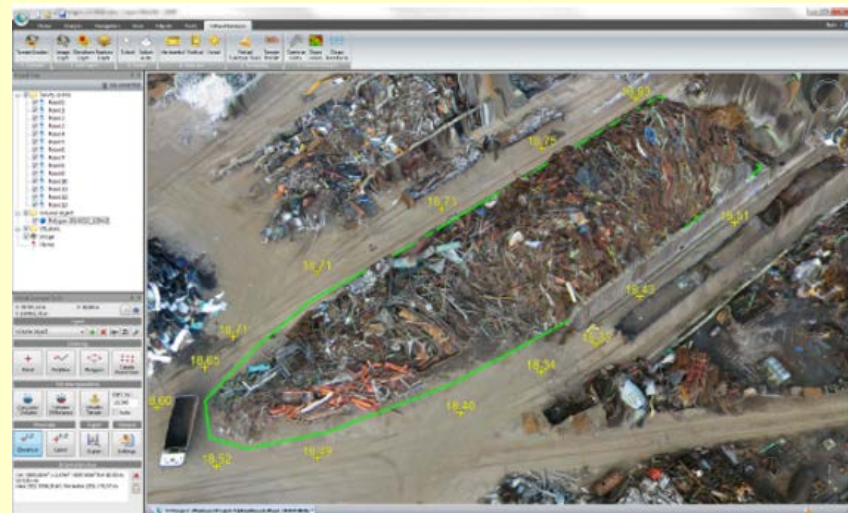
- Külső tájékozási elemek meghatározása közvetlenül a légi felmérés során megtörténik földi illesztő pontok felhasználása nélkül
- Mindegyik pixel a képen rendelkezik geodéziai koordinátával
- Alkalmazások
  - fotogrammetriai pontmeghatározás
  - ortotranszformáció (DTM szükséges)
  - lézeres felmérés
  - SAR, InSAR
  - navigáció (on-line adatfeldolgozást igényel)



# Pilóta nélküli felvevő rendszerek (RPAS) 10.

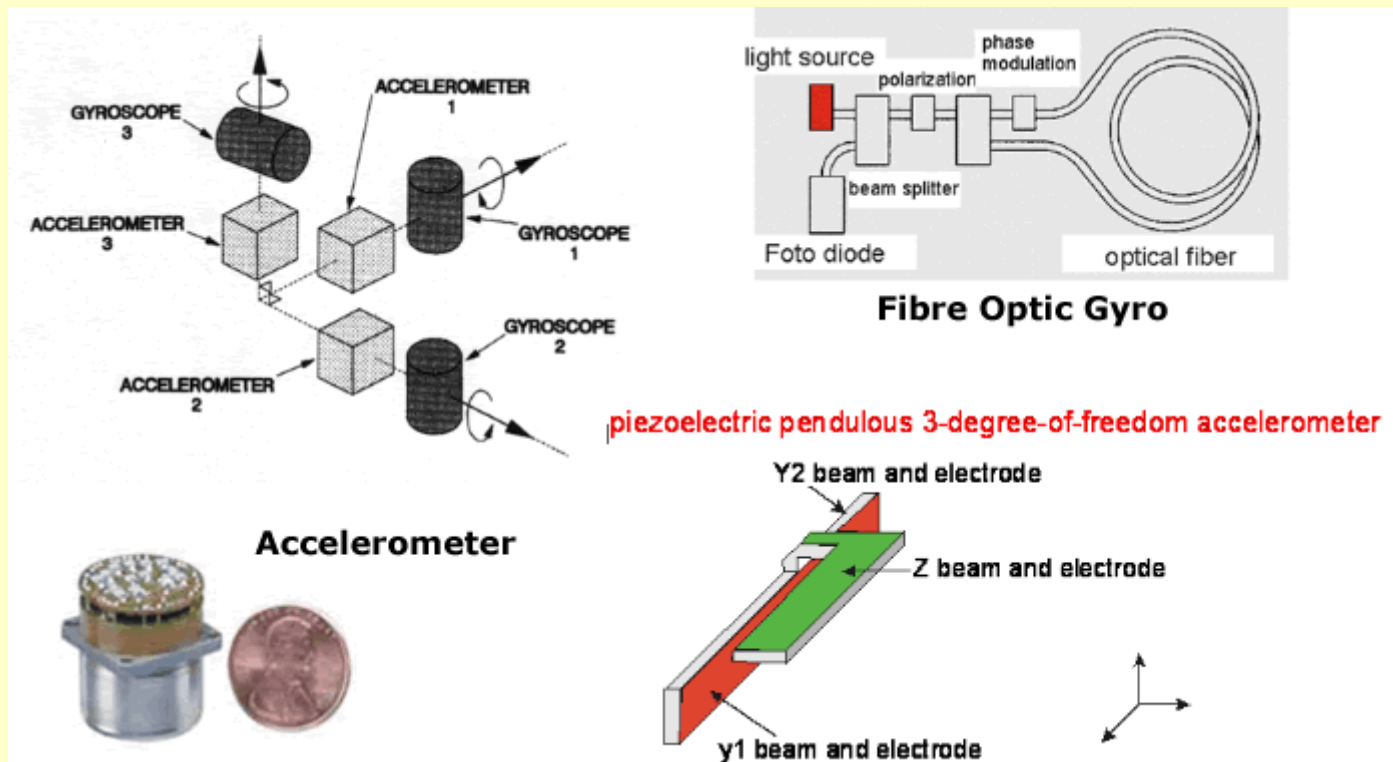
## Feldolgozó szoftverek

- PhotoModeler
- Agisoft PhotoScan
- Pix4D
- Leica LPS + Orima
- ImageStation
- Bingo
- ASP Suite
- Virtual Surveyor
- Stb.

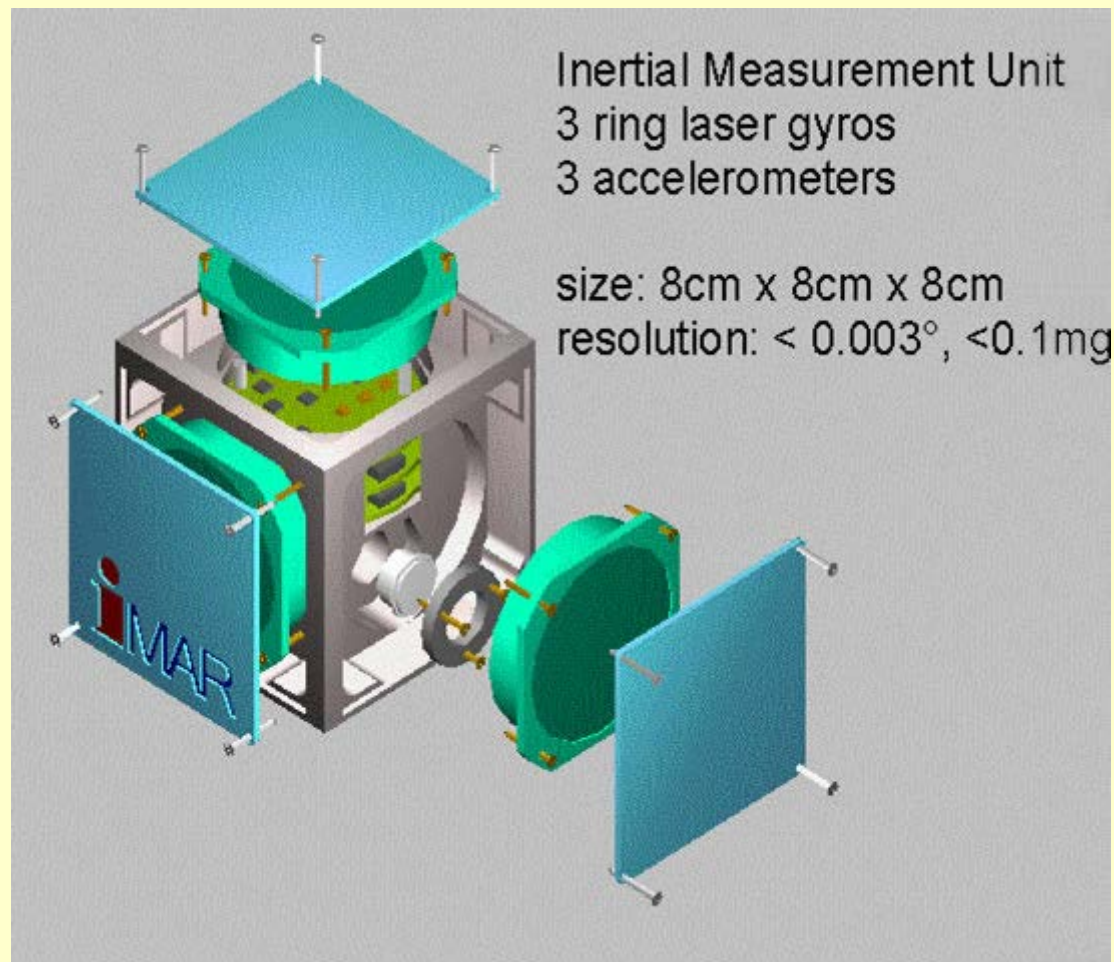


<http://vespadrones.com/2015/11/29/the-best-3d-mapping-software-for-uav-applications/>

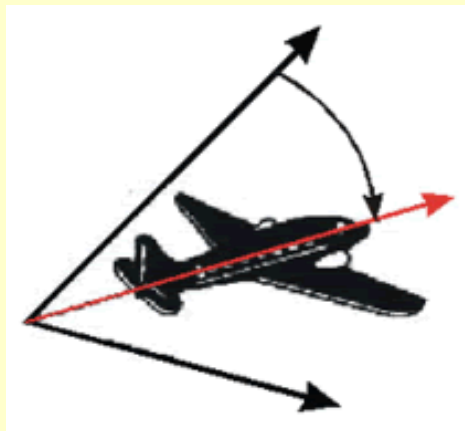
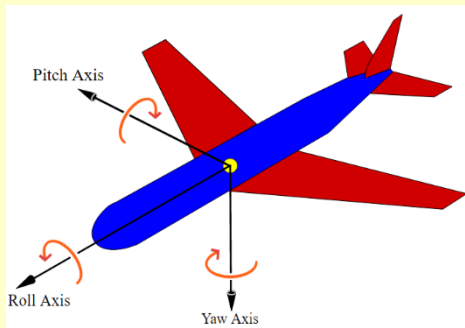
# IMS (Inertial Measuring System)



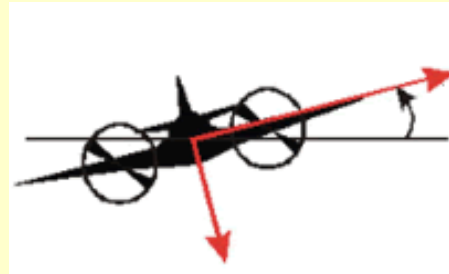
# IMU (Intertial Measurement Unit)



# Inerciális forgatások



Géptörzs elfordulás (Yaw)



Billenés (Roll)



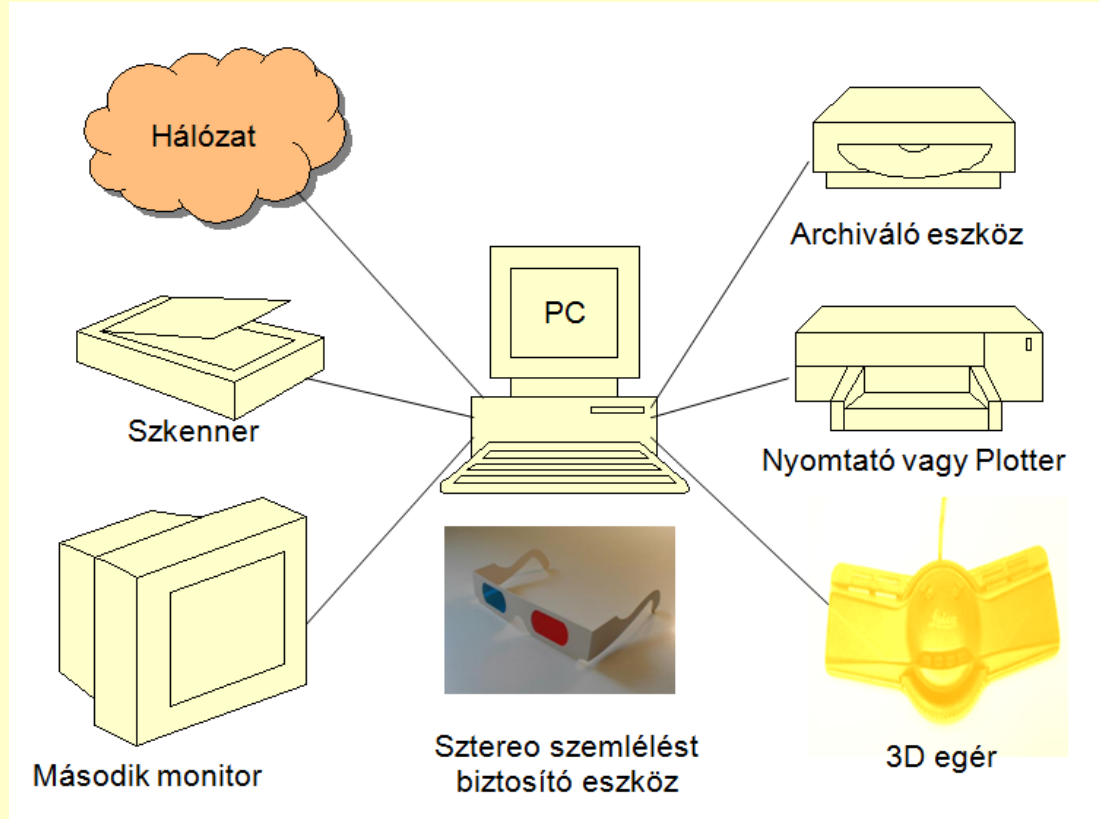
Géptörzs emelkedés (Pitch)

Nem alakíthatók át közvetlenül  $\phi$ ,  $\omega$ ,  $\kappa$  szögekké.  
-Az inerciális forgatások a földrajzi északi irányhoz viszonyítottak,  
-A fotogrammetriai forgatási szögek a vetületi északhoz - eltérés =  
Meridián konvergencia – függ a használt koordinátarendszertől.



# Digitális fotogrammetriai munkaállomások 1.

Hardveres felépítés, a rendszer összetevői,  
szemléségi módok





# Digitális fotogrammetriai munkaállomások 2.

## Kiértékelés folyamata

A kiértékelés folyamata alapvetően a  
feldolgozandó képek számától függ.  
Ennek megfelelően beszélhetünk:

- Egyképes kiértékelésről
- Sztereó kiértékelésről
- Képsor, illetve tömb-kiértékelésről

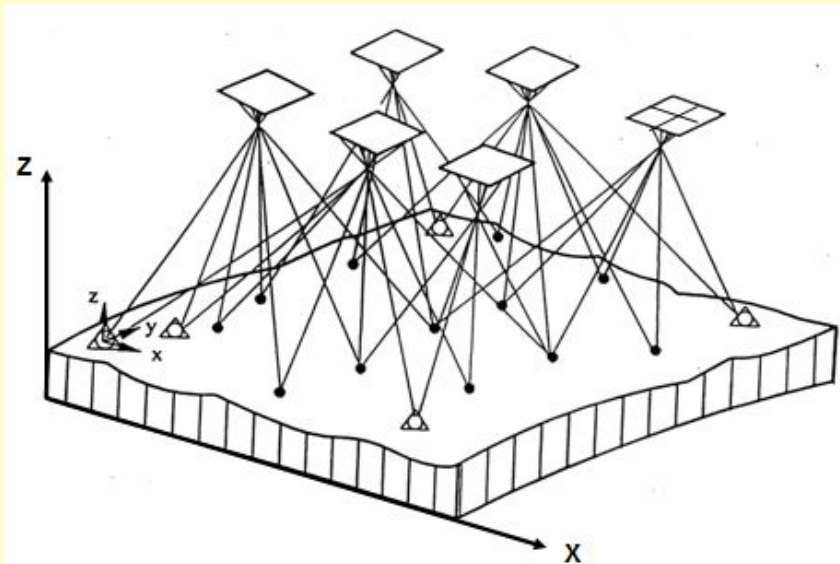
A kiértékelés megkezdése előtt el kell  
végezni képenként a belső tájékozást,  
majd ezután el kell végezni a kép, a  
sztereó-képpár vagy a képsor (ill. tömb)  
külső tájékozását.



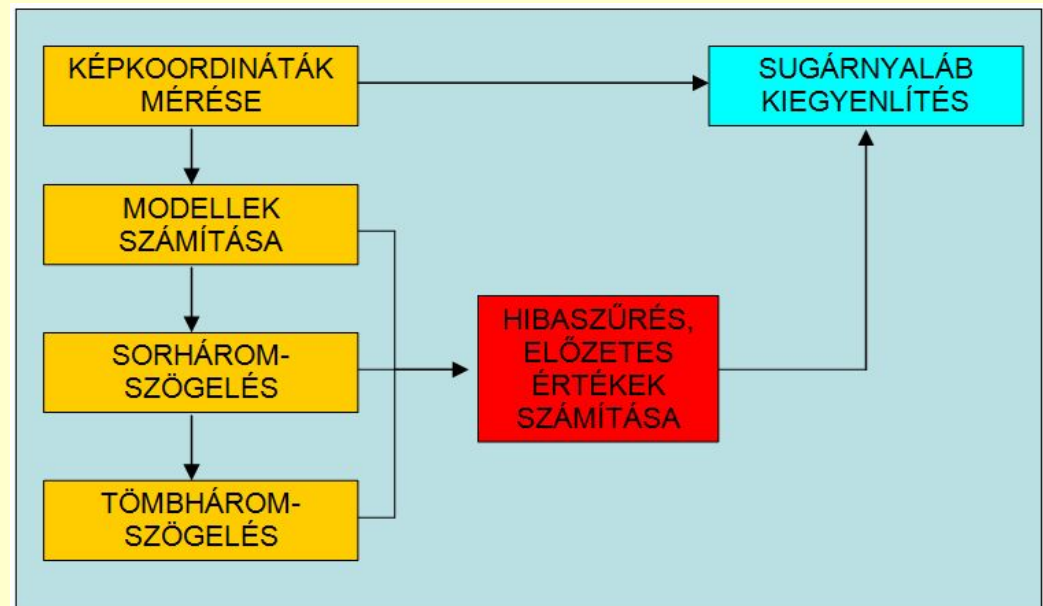
- Tájékozások
- DTM mérés és ellenőrzés
- Ortofotó készítése
- Képek kiértékelése
- Légiháromszögelés
- Digitális monoplotting

# Légiháromszögelés 1.

A légiháromszögelés célja a tömböt alkotó képek **külső tájékozási elemeinek** kiszámítása, valamint a képeken belül **illesztő pontok** meghatározása, vagyis **fotogrammetriai pontsűrítés** végrehajtása. A háromszögeléshez szükséges **kapcsoló pontok** mérése történhet manuálisan vagy automatikusan. Az automatikus mérésnél a program maga választja ki a kapcsoló pontok helyét a képeken és mintaillesztéssel elvégzi a kapcsolópontok beazonosítását az átfedési területeken.



Karl Kraus: Fotogrammetria (Tertia Kiadó, Budapest, 1998)



# Légiháromszögelés 2.

## Légiháromszögelés modellek alapján

Sorháromszögelés

vagy

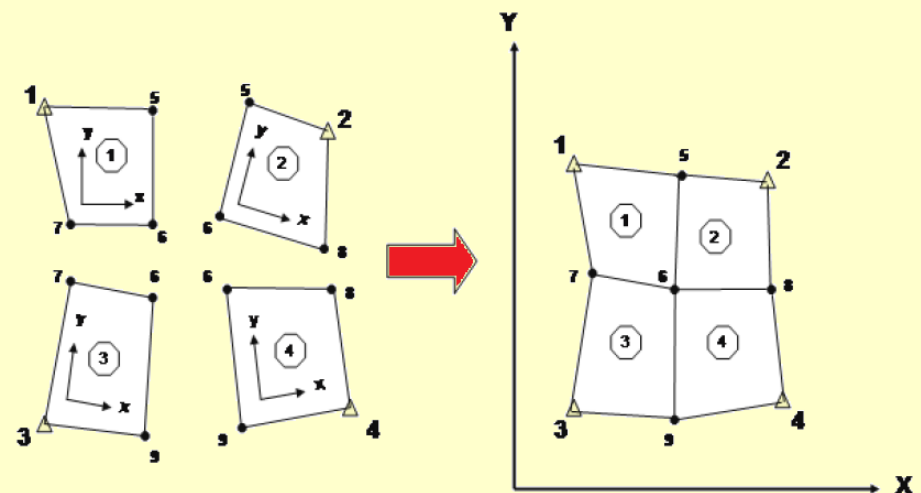
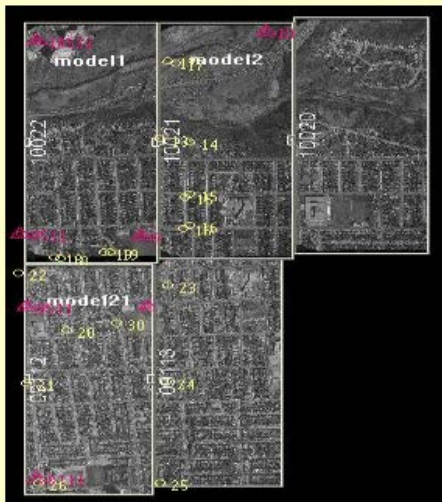
tömbháromszögelés

**Sorháromszögelés**

A mért képkoordináták alapján először a program számítja a modelleket relatív tájékozással, ahol már lehetőség nyílik a **maradék harántparallaxisok** ellenőrzésére, ami alapján egy elsődleges hibaszűrés végezhető. A tájékozott modelleket a program modellsorokká kapcsolja, vagyis **sorháromszögeléshez** készíti elő a képeket. A sorháromszögelés célja az ismeretlenek előzetes értékeinek meghatározása.

**Tömbháromszögelés**

A **sorháromszögelés** alapján elvégezhető a tömb előzetes kiegyenlítése, valamint a program ebben a fázisban ellenőrizheti, hogy a **kapcsoló** és egyéb pontokhoz mindegyik előforduló képen van-e mért koordináta, vagyis a lehetséges **vetítési sugarak** mind rendelkezésre állnak-e. A **tömbháromszögelés** másik módoszata, amikor a különálló modelleket kapcsoljuk össze egy tömbbé hasonlósági transzformációval (**független modellek tömbkiegyenlítése**).



# Légiháromszögelés 3.

## Légiháromszögelés sugárnyaláb kiegyenlítéssel

### Sugárnyaláb kiegyenlítés

A **sugárnyaláb kiegyenlítés** lényege, hogy minden vetítési sugár egyenletét felírjuk a **kollineár egyenletek** alapján, majd az egyenletrendszer kiegyenlítéssel megoldjuk az ismeretlenekre. A sugárnyaláb kiegyenlítés előfeltétele, hogy az ismeretlenek előzetes értékeit ismerjük. Ezeket az előzetes értékeket a **sorháromszögelés** vagy a **tömbháromszögelés** szolgáltatja.

$$\xi = -c_k \frac{r_{11}(X_G - X_o) + r_{21}(Y_G - Y_o) + r_{31}(Z_G - Z_o)}{r_{13}(X_G - X_o) + r_{23}(Y_G - Y_o) + r_{33}(Z_G - Z_o)}$$

$$\eta = -c_k \frac{r_{12}(X_G - X_o) + r_{22}(Y_G - Y_o) + r_{32}(Z_G - Z_o)}{r_{13}(X_G - X_o) + r_{23}(Y_G - Y_o) + r_{33}(Z_G - Z_o)}$$

### Jelölések:

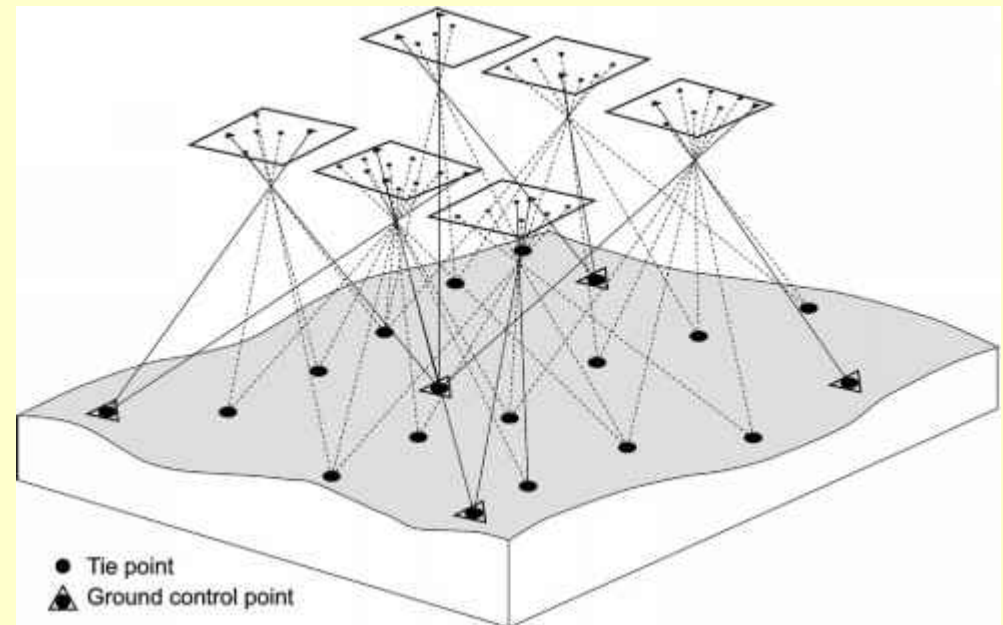
$\xi, \eta$ : a képfőpontra redukált képkordináták.

$X_G, Y_G, Z_G$ : terepi koordináták.

$X_o, Y_o, Z_o$ : vetítési centrum koordinátái.

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

$c_k$ : kamera állandó, ismertnek vesszük.

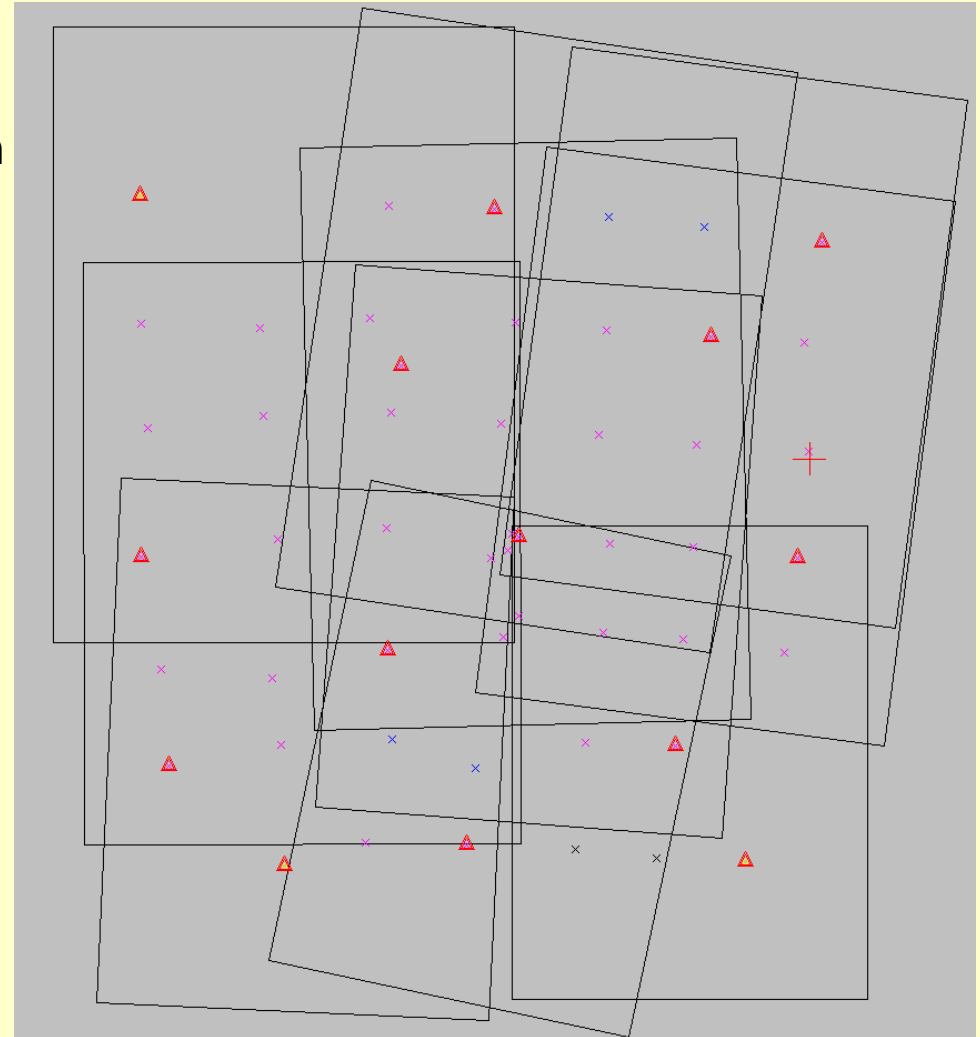


[http://www.tanguayphotomag.biz/aerial-photography/images/2464\\_24\\_43-aerial-triangulation.jpg](http://www.tanguayphotomag.biz/aerial-photography/images/2464_24_43-aerial-triangulation.jpg)

# Légiháromszögelés 4.

## Légiháromszögelés sajátosságai UAV felvételeknél

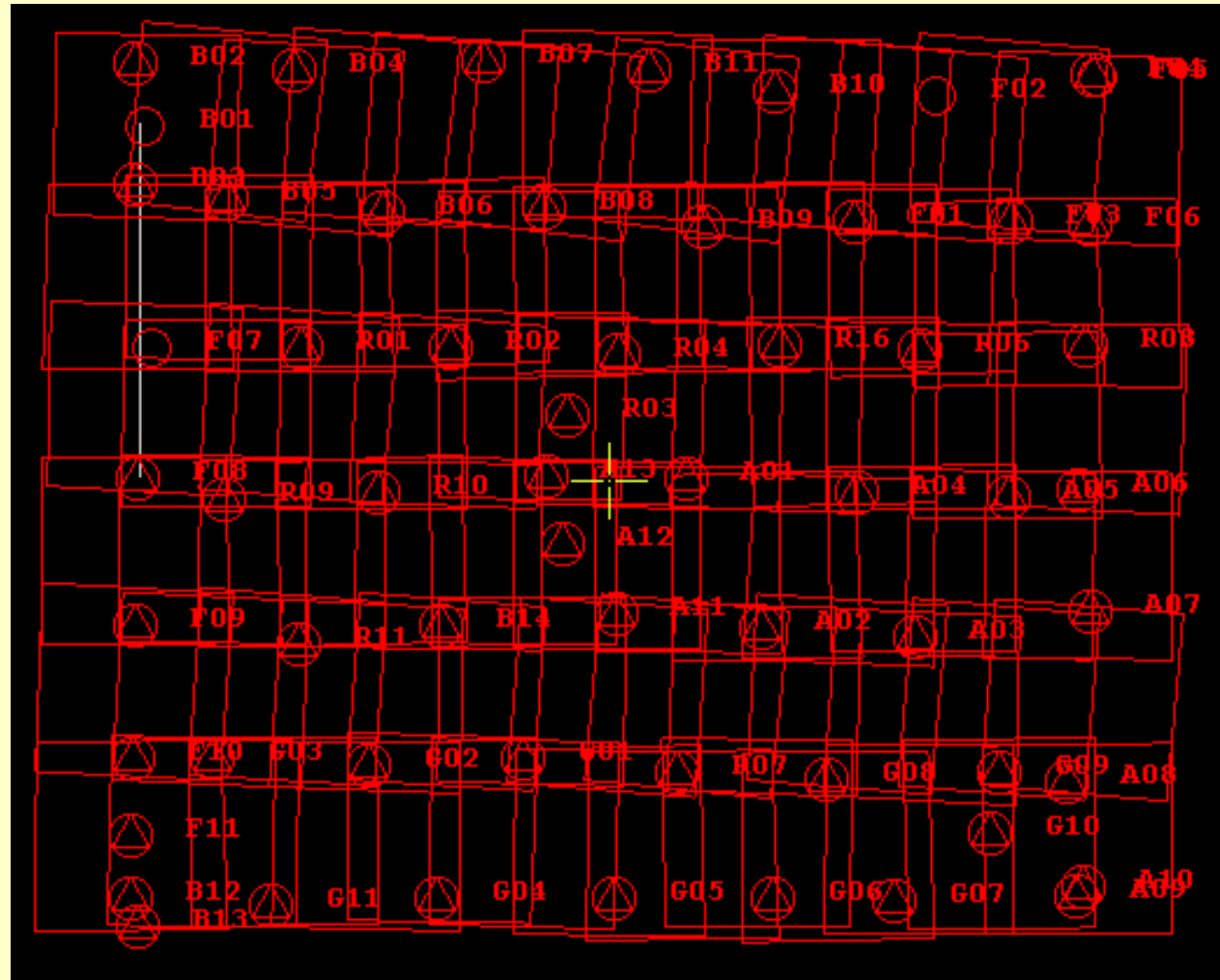
- Nincsenek mindig szabályos sorok.
- A felvételek tájékozási szögei nagymértékben eltérhetnek egymástól.
- Alacsony repülés, képvándorlás veszélye.
- Rövid üzemidő, emiatt gyakran több etapos a repülés.
- A légiháromszögelés nem mindig lehet modell alapú.
- A sugárnyaláb kiegyenlítés előnyt élvez.
- A járulékos paramétereknek nagy szerepe van.
- Fontos a kamera kalibráció végrehajtása.
- Kapcsolópontok mérése csak automatikus vagy fél-automatikus üzemmódban gazdaságos.
- Előre jelölt illesztőpontokkal a légiháromszögelés teljesen automatizálható.
- Sok mért pont van, ezért a hibaszűrés lényeges momentum.



# Légiháromszögelés 5.

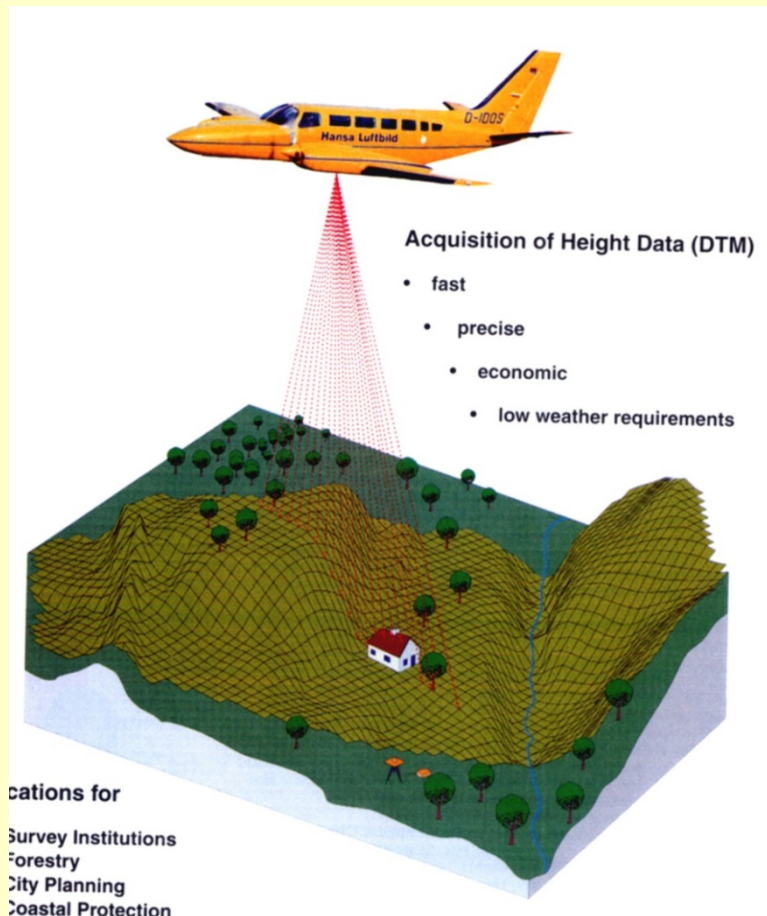
## Automatikus digitális légiháromszögelés

- Automatikus belső és relatív tájékozás
- Direkt szenzor tájékozás vagy jelölt illesztőpontok automatizált mérése
- Kapcsolópontok automatizált mérése
- Sugárnyalábkiegyenlítés



# Felmérés lézeres letapogatással 1.

## Technológia bemutatása

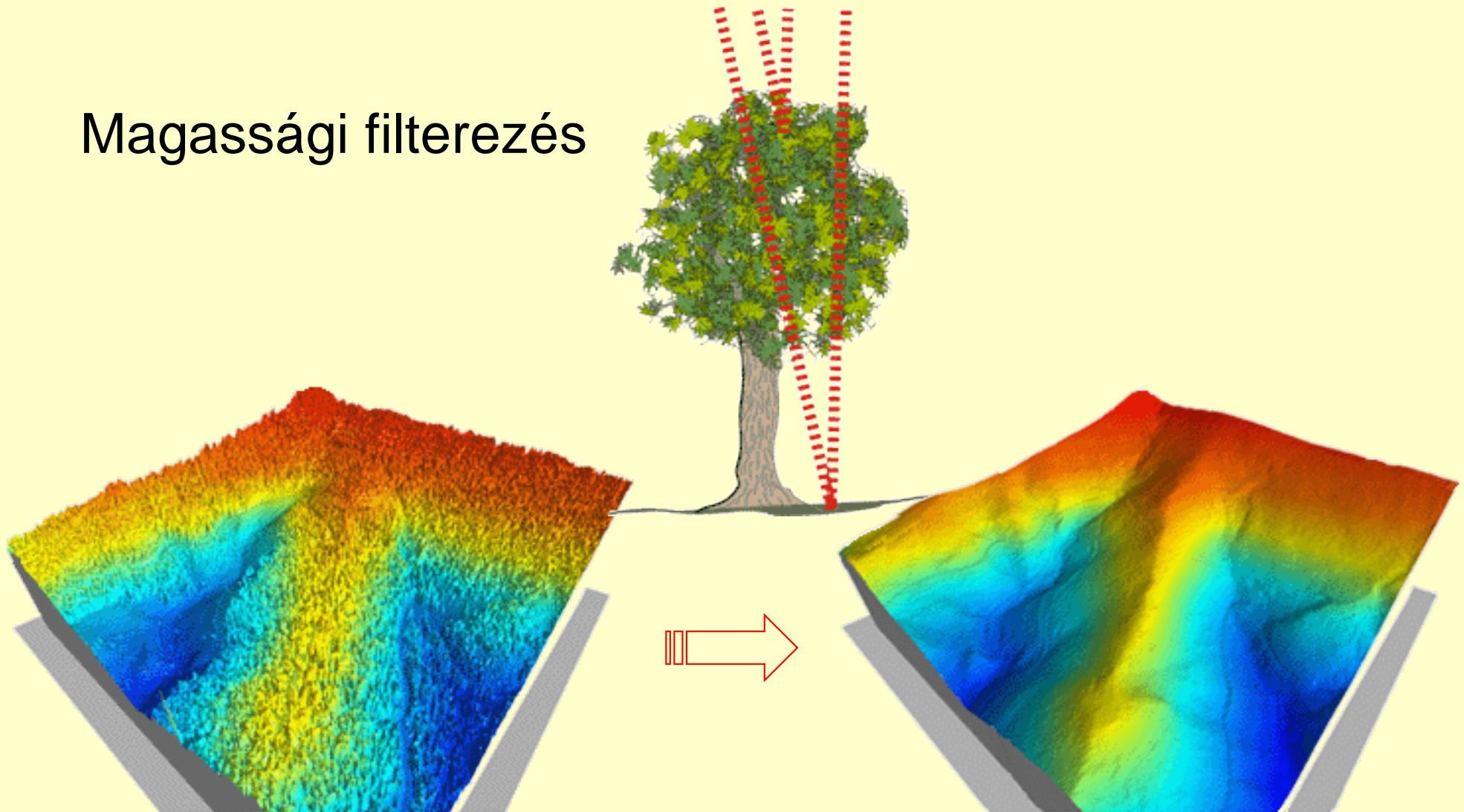






# Felmérés lézeres letapogatással 2.

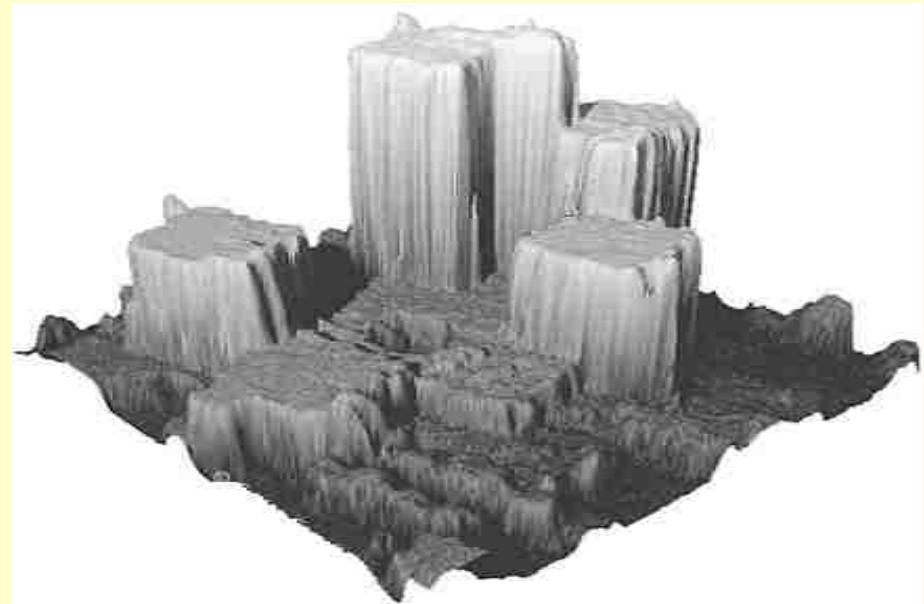
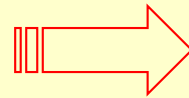
Magassági filterezés





# Alkalmazási területek 1.

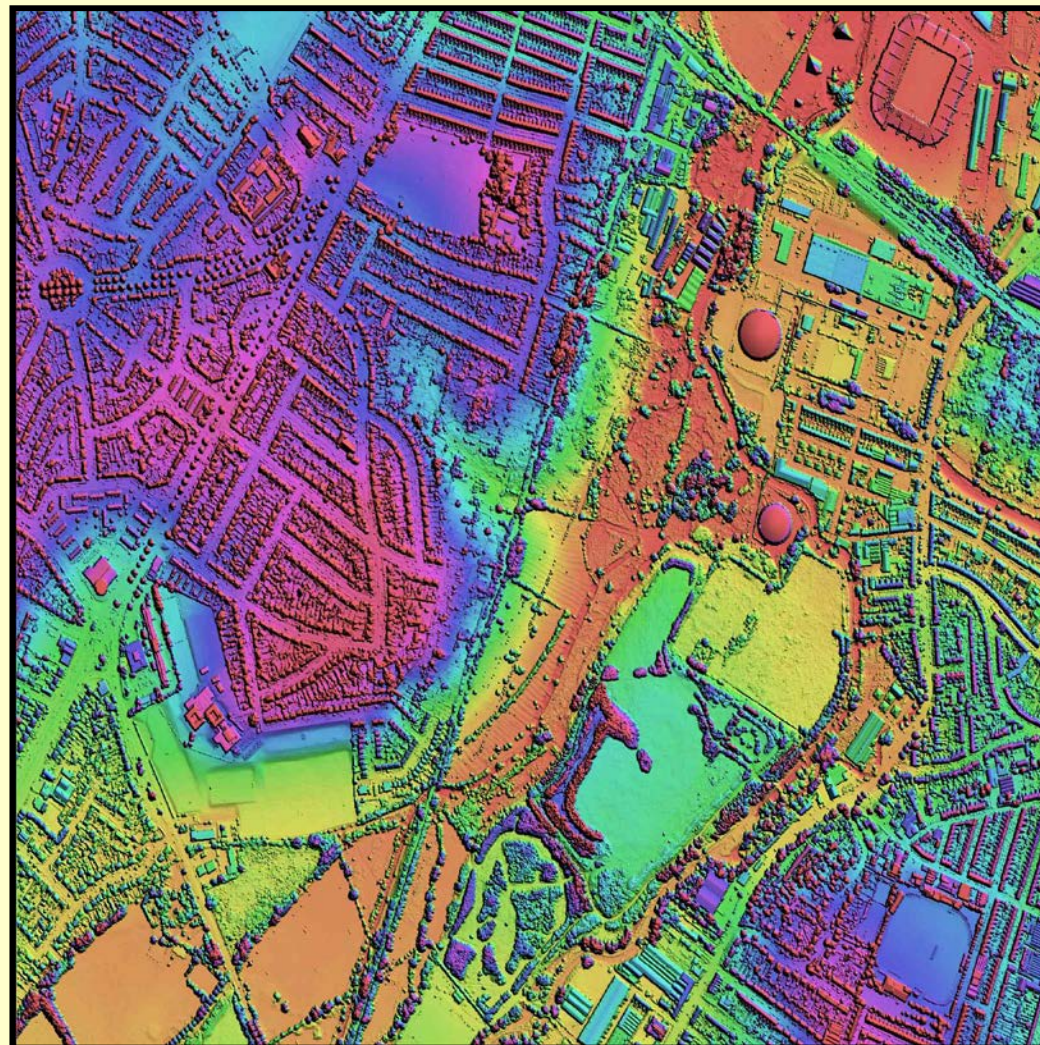
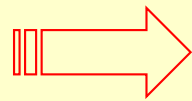
3D városmodellezés





# Alkalmazási területek 2.

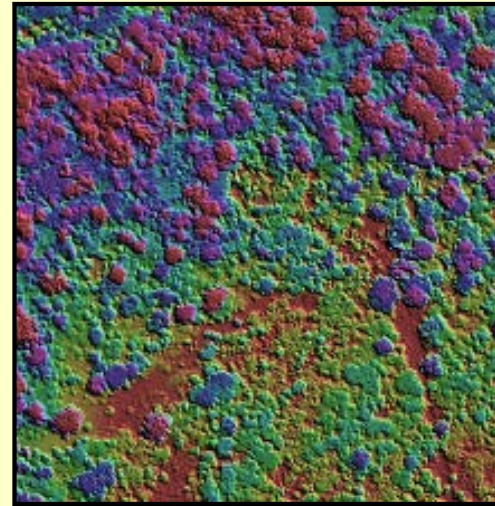
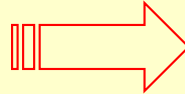
Felszínmodellek  
készítése lakott  
területen



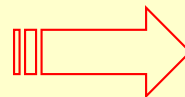
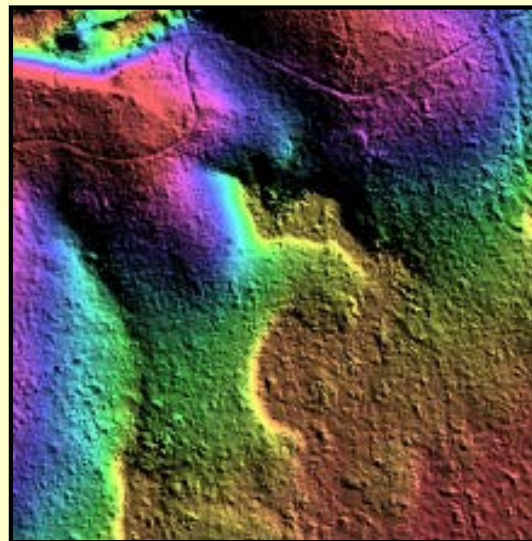


# Alkalmazási területek 3.

## Domborzatmodellezés növényzettel borított területen



Lidar  
(Első visszaverődés,  
növényzettakaró)



Lidar  
(utolsó visszaverődés:  
földfelszín a növényzet  
alatt)

# Felmérés lézeres letapogatással 3.

## Földi lézerszkennerek alkalmazása

A piacon kapható lézerszkennerek eltérhetnek:

- Működésük fizikai elveiben
- Mérési frekvenciában
- Mérési pontosságban
- Hatótávolságban
- Lézersugár átmérőjében
- Belátható tér szögtartományában (pl. lehet körpanorámás)
- Árban



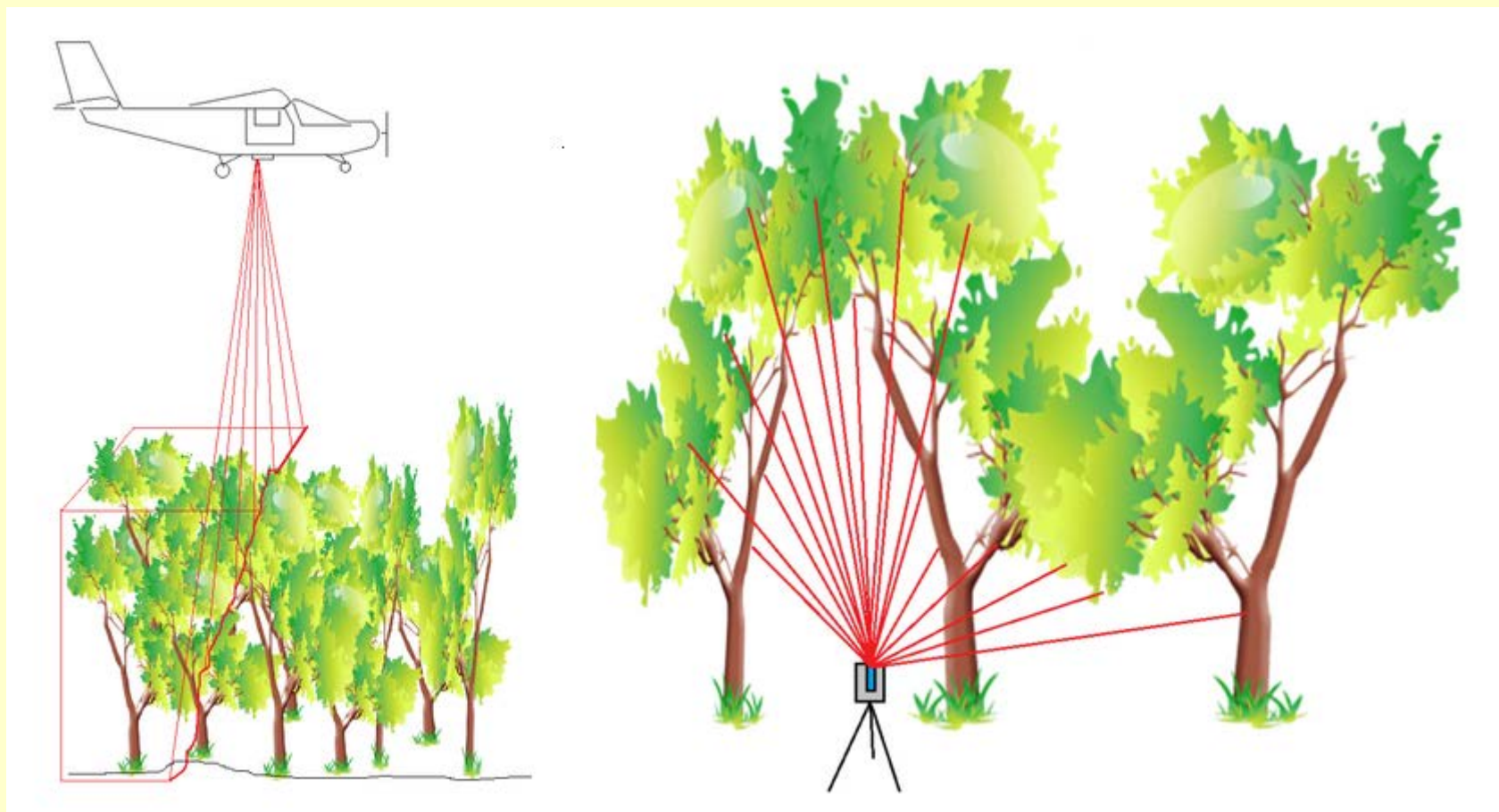
[http://wiki.awf.forst.uni-goettingen.de/wiki/index.php/3D-\\_Terrestrial\\_laser\\_scanning](http://wiki.awf.forst.uni-goettingen.de/wiki/index.php/3D-_Terrestrial_laser_scanning)



<http://www.directindustry.com/prod/leica-geosystems/product-14324-889203.html>

# Felmérés lézeres letapogatással 4.

Légi lézeres felmérés kiegészítője lehet



[http://wiki.awf.forst.uni-goettingen.de/wiki/index.php/3D-\\_Terrestrial\\_laser\\_scanning](http://wiki.awf.forst.uni-goettingen.de/wiki/index.php/3D-_Terrestrial_laser_scanning)

# Felmérés lézeres letapogatással 5.

## Pontfelhő integrálása a fotogrammetriai képalkotással

- ❑ Fontos szempont egy megfelelő szoftver beszerzése
- ❑ Az integrálással könnyebbé válhat az interpretáció és a szegmentálás



<http://www.skylineglobe.com/SkylineGlobe/corporate/Default.aspx?>



<https://youtu.be/co6bTyBKRrs>



# Felmérés lézeres letapogatással 6.

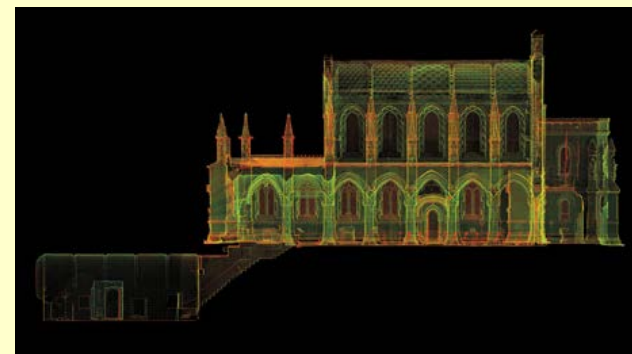
## Alkalmazási példák



[https://www.youtube.com/watch?v=\\_NxCfYkPYBI](https://www.youtube.com/watch?v=_NxCfYkPYBI)  
<https://www.youtube.com/watch?v=qFl9gJ4s1BY>  
[https://www.youtube.com/watch?v=F58yK9\\_wFMo](https://www.youtube.com/watch?v=F58yK9_wFMo)  
<https://www.youtube.com/watch?v=pvavxnWmvMM>  
<https://www.youtube.com/watch?v=d9Se95CavSs>  
[https://www.youtube.com/watch?v=Pfl\\_VHTpNSk](https://www.youtube.com/watch?v=Pfl_VHTpNSk)



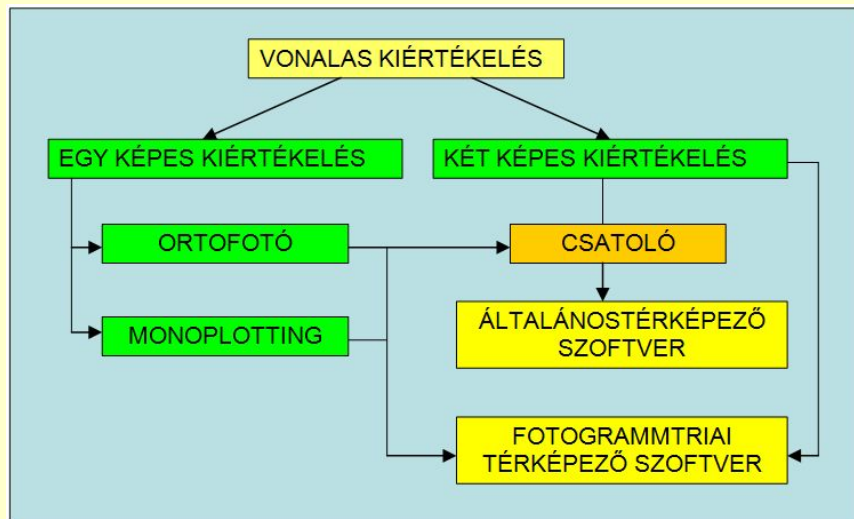
<http://medievalnews.blogspot.hu/2010/01/rosslyn-chapel-scanned-in-3d.html>





# Előállítható végtermékek, kiértékelési módok 1.

- ❑ Ahhoz, hogy a képek kiértékelését elkezdhessük el kell végezni a tájékozások sorát, vagyis minden képre a belső tájékozást, majd a külső tájékozást. Alapvetően két csoportra oszthatók a kiértékelési eljárások:
  - ❑ Pontonkénti kiértékelés
  - ❑ Vonalas kiértékelés (térképezés)
- ❑ A pontonkénti kiértékelés során egy pontlista készül a megmért pontokról. A mért pontokhoz kiegészítő, magyarázó **(attribútum) adatokat** is rendelhetünk, melyek segítségével megállapítható a pont típusa. Pl. **kataszteri térképekhez** a pontokat kódokkal láthatjuk el attól függően, hogy telekhatár-pontok, épület töréspontok, út pontjai, stb. Az elkészült pontlistát egy külső **CAD térképező programba** lehet betölteni, ahol megrajzolható a végleges térkép.

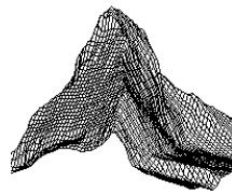
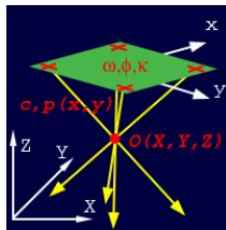
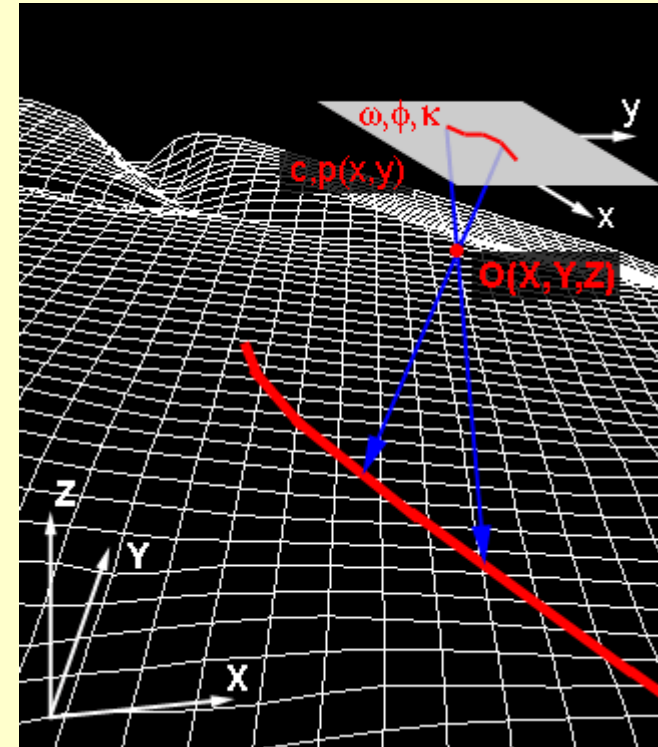


- ❑ A vonalas kiértékelés gyakorlatilag térképezési munkát takar. A térkép előállításához vagy a fotogrammetriai program térképező programmodulját használhatjuk vagy külső programként valamilyen **CAD programot** kapcsolunk a rendszerhez. Ilyen külső térképező programok tipikusan: ArcGIS, Microstation, AutoCad.

# Előállítható végtermékek, kiértékelési módok 2.

## Digitális monoplotting

A **Digitális Monoplotting** kényege, hogy egy kép és a hozzá tartozó **digitális terepmodell** segítségével minden pixelhez hozzárendelhetjük az X,Y,Z terepi koordinátákat. A Z értéket a DTM szolgáltatja, az XY koordinátákat pedig a **centrális vetítés alapegyenlete** alapján számolhatjuk ki. A számoláshoz természetesen ismernünk kell a kép **belső és külső tájékozási elemeit** is vagy egy tájékozott **ortofotóval** kell rendelkezünk.



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

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



# Előállítható végtermékek, kiértékelési módok 3.

## Összetartozó pontok automatizált kiértékelése Képpiramisok



faktor 4



faktor 16



eredeti kép



Gauss aluláteresztő szűrés



faktor 2



4



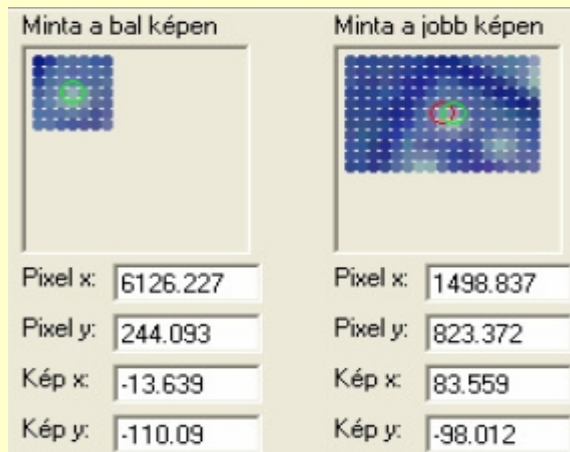
8



16

# Előállítható végtermékek, kiértékelési módok 4.

## Összetartozó pontok automatizált kiértékelése Képkorreláció



$$\rho = \frac{\sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (g_1(r,c) - \mu_1)(g_2(r,c) - \mu_2)}{\sqrt{\sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (g_1(r,c) - \mu_1)^2 \sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (g_2(r,c) - \mu_2)^2}}$$

$g_1$ : mintaterület szürkeségi értéke

$g_2$ : célterület szürkeségi értéke

$r,c$ : sor, oszlop index

$R,C$ : sorok, oszlopok száma

$\mu_1, \mu_2$  : szürkeségi értékek átlaga a minta- és célterületen



# Előállítható végtermékek, kiértékelési módok 5.

## Digitális domborzat- és felszínmodellek előállítása

- Automatizált folyamat.
- Lehet felhő szolgáltatás is.
- Szintvonalak származtathatók.



<http://www.menci.com/topics/remote-drone>



# Előállítható végtermékek, kiértékelési módok 6.

## 3D modellezés – légi felvételekkel

- A többképes (rézsút) kamerák lehetővé teszik a valódi 3D modell előállítását egy adatforrásból



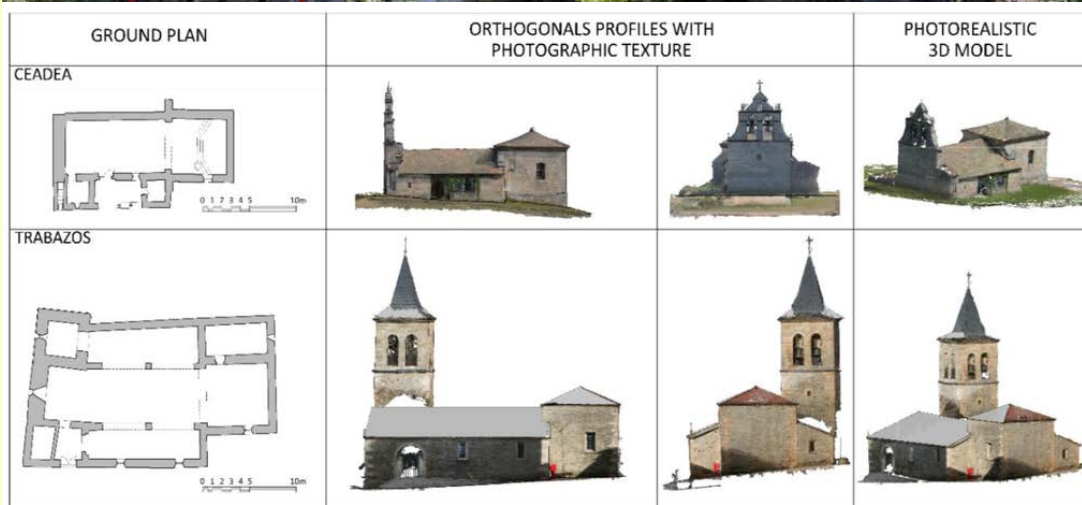
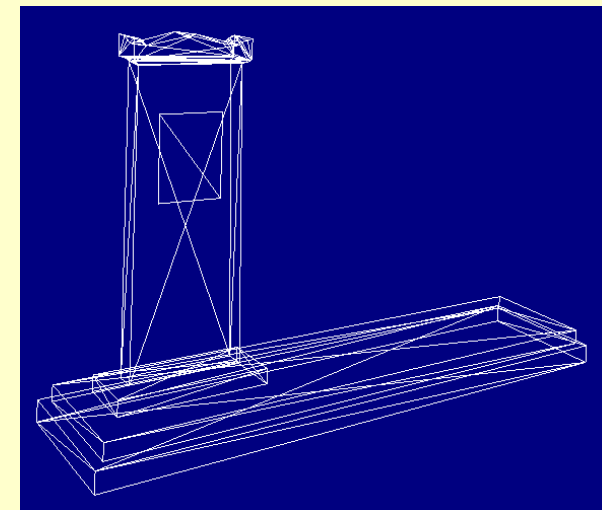
<https://www.youtube.com/watch?v=mSp4Jhq67vM>

# Előállítható végtermékek, kiértékelési módok 7.

## 3D modellezés – földi felvételekkel



3dmeans.com



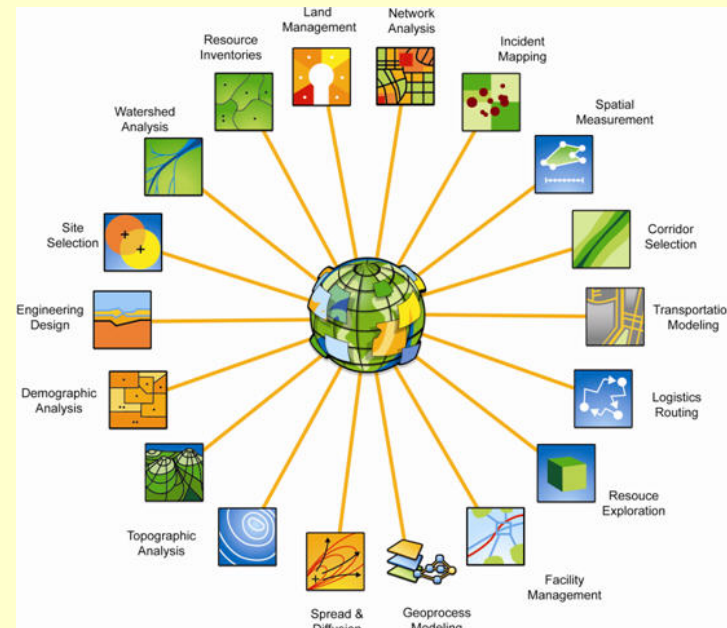
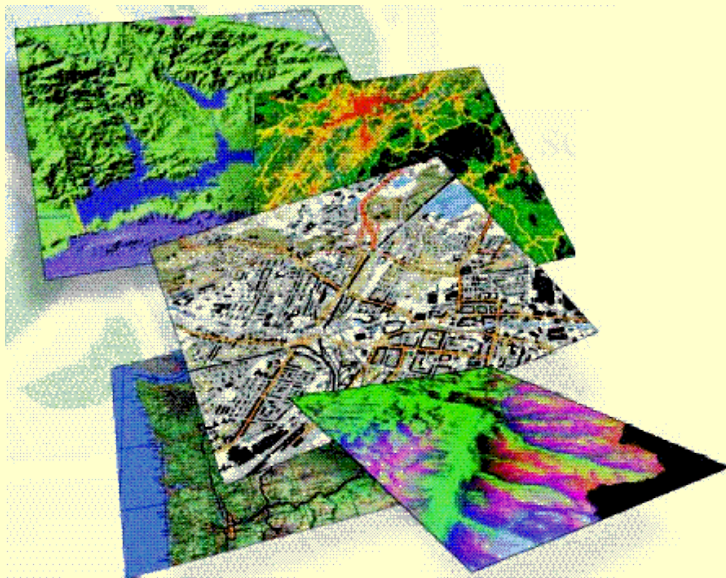
www.mdpi.com



# Alkalmazási példák 1.

## Fotogrammetria és a GIS kapcsolata

- ❑ Térképre és képre szükség van.
- ❑ A térinformatika részére szolgáltat elsődleges és másodlagos adatot, azzal egyre szorosabb a kapcsolat.
- ❑ A szakági feladatokhoz mérnöki tudás szükséges, ami nem automatizálható.



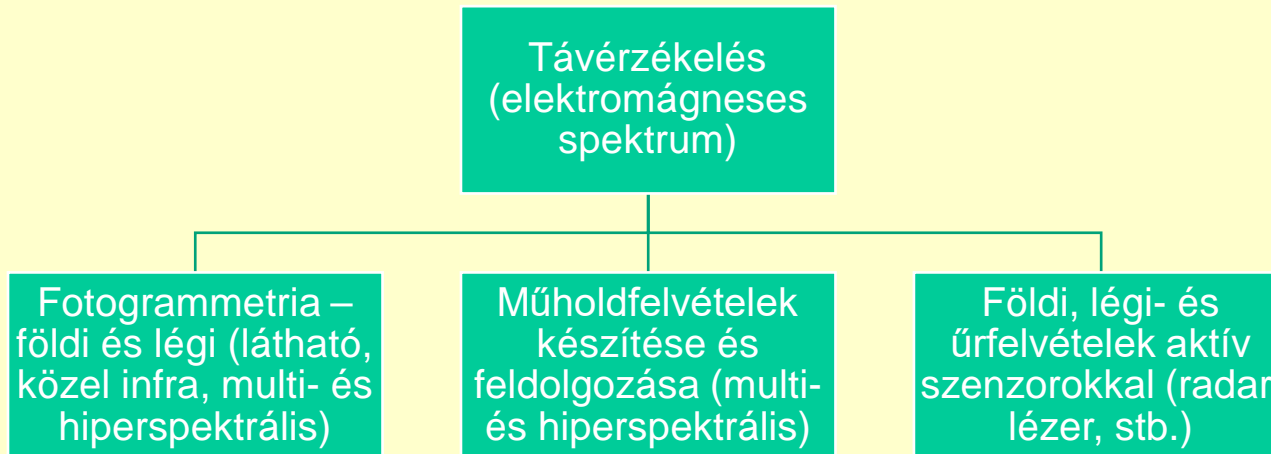


# Alkalmazási példák 2.

## Fotogrammetriai és a távérzékelés kapcsolata

Távérzékelés általánosabb fogalom, ennek része a fotogrammetria. A távérzékelés szót először mégis a földfelszínt pásztázó vagy fényképező műholdakra szerelt berendezések munkába állítása kapcsán kezdtük használni, és csak ezután terjesztettük ki a rokon adatfelvételezési technikákra is.

A fotogrammetriát megkülönbözteti és külön tudományággá minősíti: a mérőkép fogalma, földi és légi felvételezés, képfeldolgozási és kiértékelési módszerek sajátosságai.

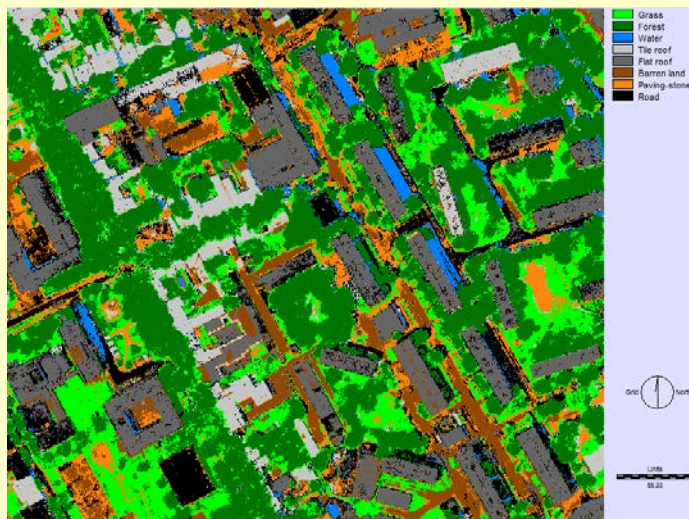
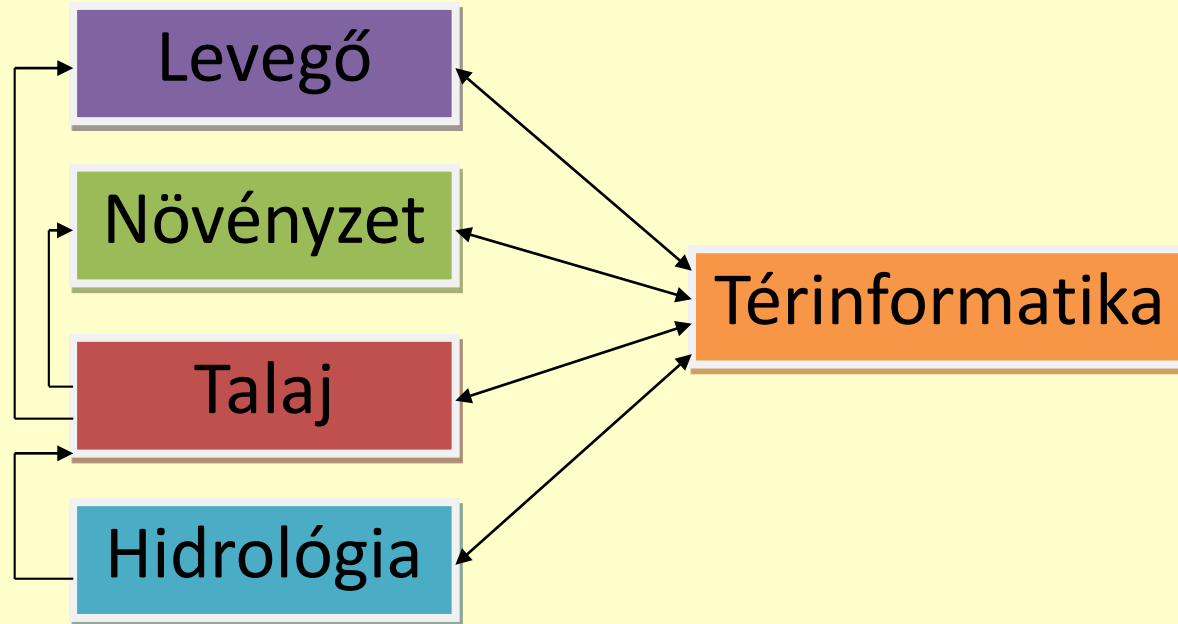




# Információgazdagság



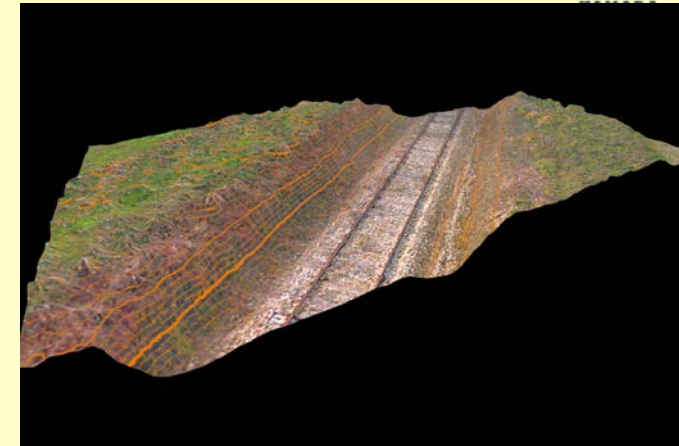
# Egy példa - városökológia



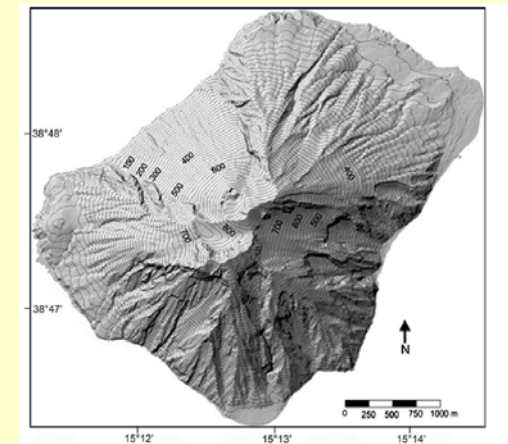
1. Metaadatbázis feltöltése
2. Ortofotók készítése légi- és űrfelvételekből
3. Tematikus térképek elkészítése
4. Ponszerű adatok feldolgozása
5. Adatintegrálás térinformatikai rendszerbe
6. Tanulmányok elkészítése

# Egyéb alkalmazási területek

- építészet
- mérnökgeodézia
- vonalas létesítmények felmérése
- vízgazdálkodás
- mezőgazdaság, erdészet
- környezetvédelem, természetvédelem
- geológia, geokartográfia
- régészet
- talajtan, talajtérképezés
- közlekedés
- bűnügyek felderítése



<http://new.dronemetrex.com/dronemetrex-maps-a-railway-with-unsurpassed-accuracy-from-its-topodrone-100/>



[https://www.researchgate.net/figure/223424117\\_fig3\\_Fig-3-A-shaded-relief-view-of-Stromboli-Island-derived-from-a-5-A-5-m-grid-DEM](https://www.researchgate.net/figure/223424117_fig3_Fig-3-A-shaded-relief-view-of-Stromboli-Island-derived-from-a-5-A-5-m-grid-DEM)



<http://www.metrology.com.au/reverse-engineering/>

# KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!

[jancso.tamas@amk.uni-obuda.hu](mailto:jancso.tamas@amk.uni-obuda.hu)

