

CORONA műholdképek ortokorrekciója: elmélet és gyakorlat

Molnár Gábor

ÓE-AMK-GEO,
LKH-ELTE,
ELKH-CSFK

molnar.gabor@amk.uni-obuda.hu

CORONA Program

- (1958-)1960-1972
- CORONA Panoráma felvételek
- Felbontás: 12m → 2m
- + ARGON mérőkamera (120m)
- + LANYARD (1963) 2m
- ⋮
- GAMBIT, HEXAGON Terrain (1963-1980)
- HEGAGON HighRes (1971-84)

CORONA Program

- (1958-)1960-1972 Titkosítás feloldása
- CORONA Panoráma felvételek 1995
- Felbontás: 12m → 2m
- + ARGON mérőkamera (120m)
- + LANYARD (1963) 2m
- ⋮
- GAMBIT, HEXAGON Terrain (1963-1980) 2002
- HEGAGON HighRes (1971-84) 2013

CORONA

- U2 repülések 1960-ig
- Enyhülés, 1963
- SALT egyezmény (1972)
- ⋮

Al Gore javaslatára Bill Clinton 1995

Antarktisz, Grönland jégtakarója az 1960-as években

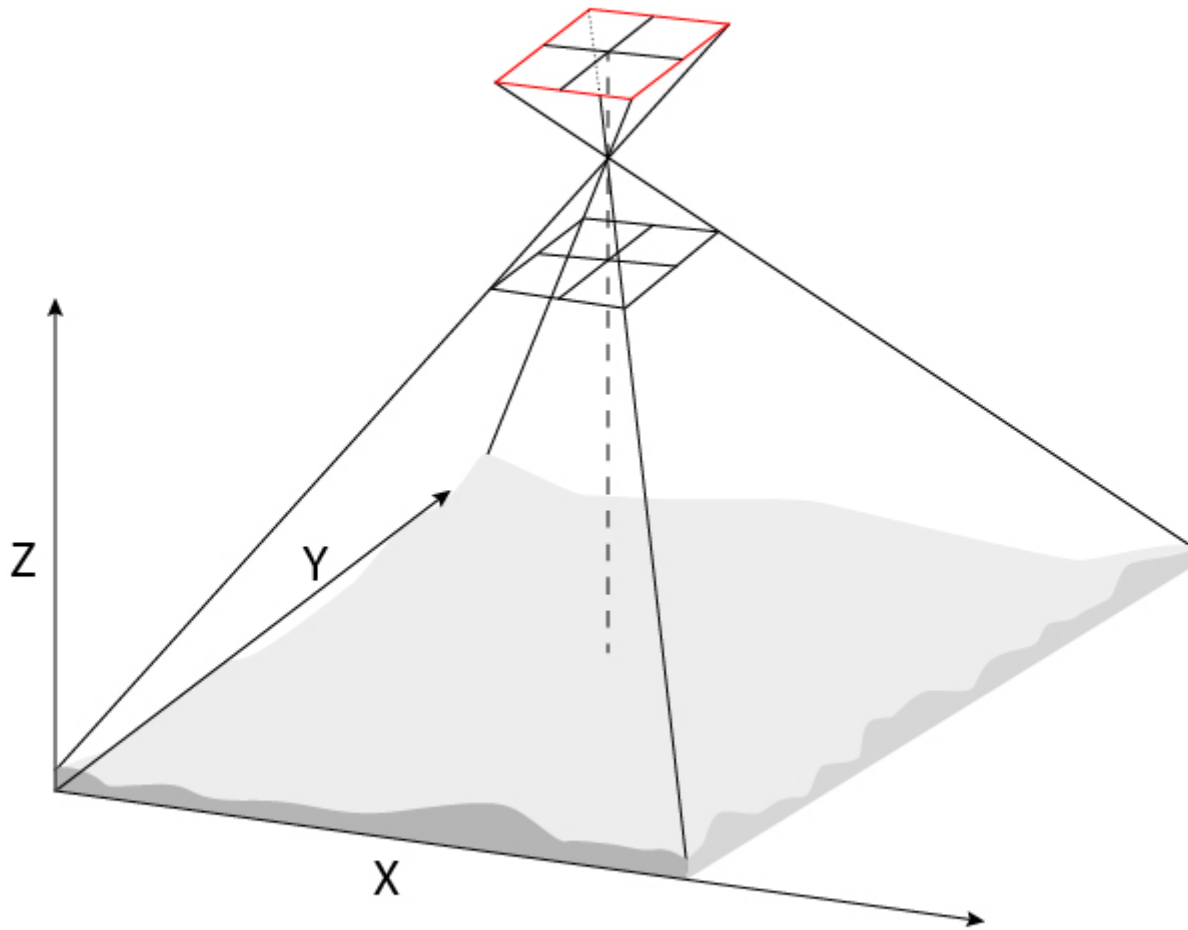
Himalájai gleccserek, Közel keleti régészet, Erdőterületek
becslése

USGS EROS Data Center: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Magyarország: Interspect Kft,

<https://mapire.eu/hu/map/corona-hungary/>

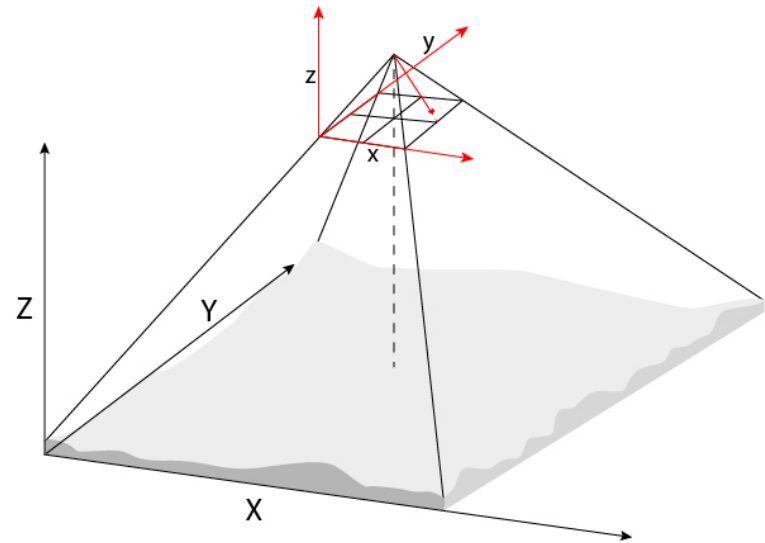
Mérőkamerás műholdkép ortokorrekciója → ARGON (6 küldetés, 1962-1964)



ARGON ortokorrekciója

Képtér és tárgyter
kapcsolatából:

Kollinearitási egyenletek:



$$x = x_0 - c \frac{R_{11}(X - X_0) + R_{21}(Y - Y_0) + R_{31}(Z - Z_0)}{R_{13}(X - X_0) + R_{23}(Y - Y_0) + R_{33}(Z - Z_0)}$$
$$y = y_0 - c \frac{R_{12}(X - X_0) + R_{22}(Y - Y_0) + R_{32}(Z - Z_0)}{R_{13}(X - X_0) + R_{23}(Y - Y_0) + R_{33}(Z - Z_0)}$$

Műholdnál a földgömbület: Lokális koordinátarendszer

CORONA felvételek ortokorrekciója

- Panoráma kamera
- Nem érvényes a centrális leképezés

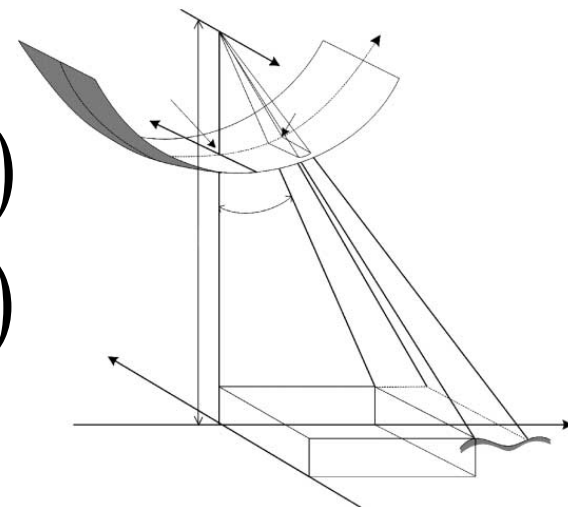
$$x = f(X_0, Y_0, Z_0, \kappa, \varphi, \omega, X, Y, Z)$$

$$y = g(X_0, Y_0, Z_0, \kappa, \varphi, \omega, X, Y, Z)$$

CORONA felvételek ortokorrekciója

- Panoráma kamera
- Nem érvényes a centrális leképezés

$$\begin{aligned}x &= f(X_0, Y_0, Z_0, \kappa, \varphi, \omega, X, Y, Z) \\y &= g(X_0, Y_0, Z_0, \kappa, \varphi, \omega, X, Y, Z)\end{aligned}$$

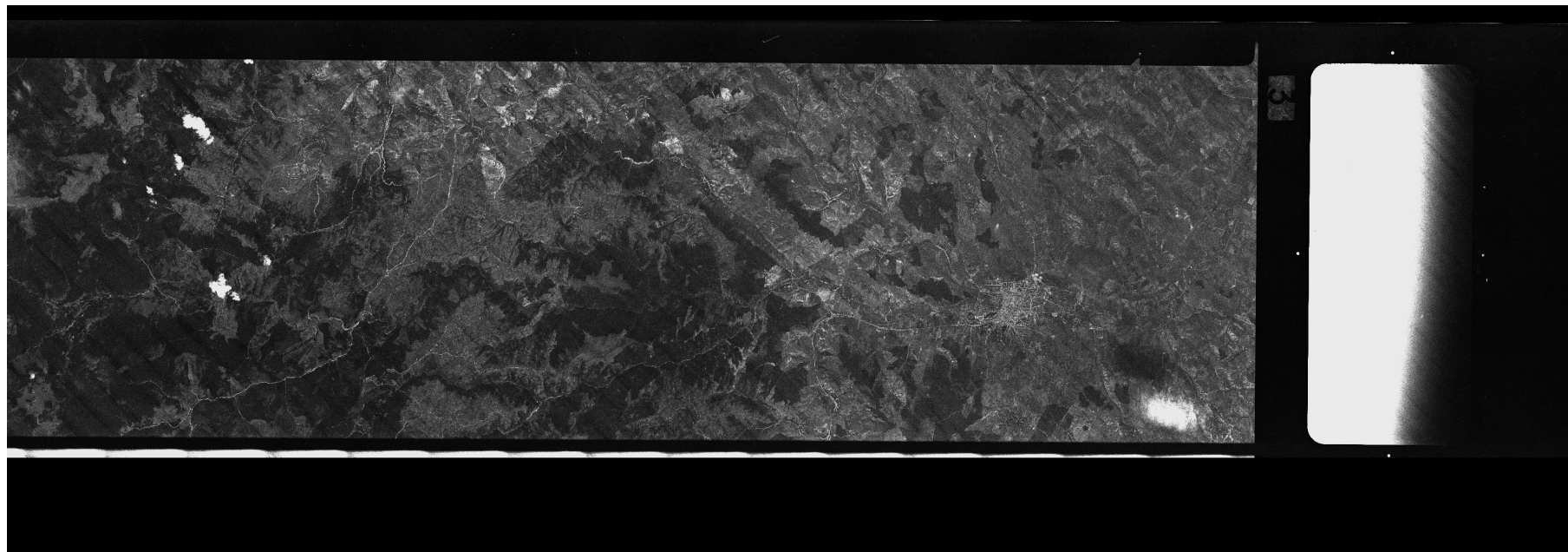


$$\begin{aligned}x &= f(X_0(t), Y_0(t), Z_0(t), \kappa(t), \varphi(t), \omega(t), X, Y, Z) \\y &= g(X_0(t), Y_0(t), Z_0(t), \kappa(t), \varphi(t), \omega(t), X, Y, Z)\end{aligned}$$

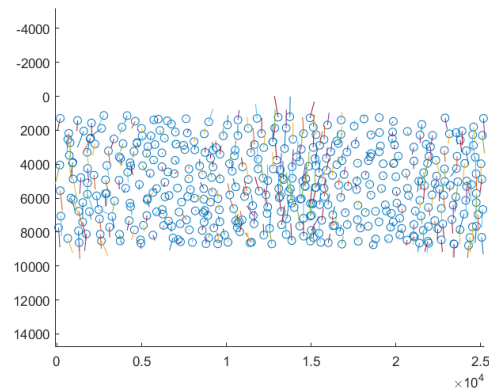
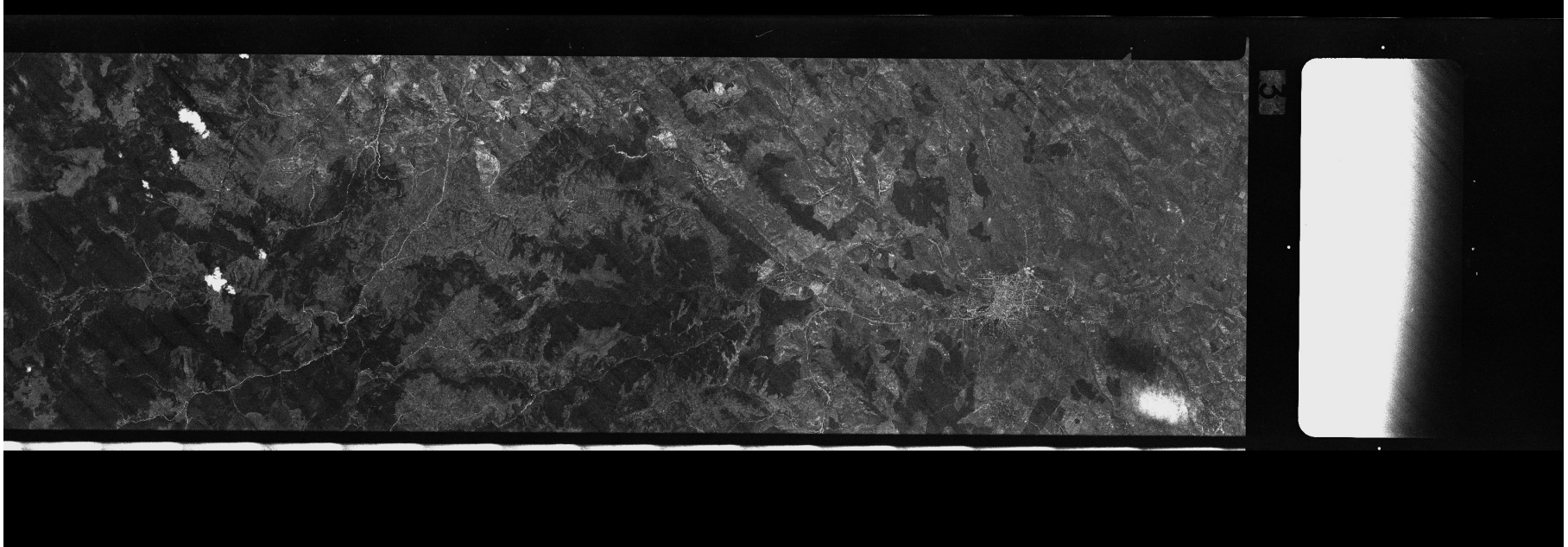
CORONA felvételek ortokorrekciója

	KH-1 (C)	KH-2 (C)	KH-3 (C'')	KH-4 (M)	KH-4A (J-1)	KH-4B (J-3)
Period of operation	18/8/1960	26/10/60-23/10/61	30/8/61-13/1/62	27/2/62-24/3/64	24/8/63-22/9/69	15/9/67-25/5/72
Amount of frames	1432	7246	9918	101743	517688	188526
Mission life (days)	1	2-3	1-4	6-7	4-15	19
Altitude (km)						
Lower (estimated)	192	252	217	211	180	150
Higher (estimated)	817	704	232	415	n/a	n/a
Successful missions	1	3	5	20	49	16
Targets	USSR	Emphasis on USSR		Worldwide/emphasis on denied areas		
Aperture width	5.265°	5.265°	5.265°	5.265°	5.265°	5.265°
Pan angle	71.16°	71.16°	71.16°	71.16°	71.16°	71.16°
Stereo angle				30°	30°	30°
Lens	F/5.0 Tessar	F/5.0 Tessar	F/3.5 Petzval	F/3.5 Petzval	F/3.5 Petzval	F/3.5 Petzval
Focal length (cm)	60.96	~61	60.9602			
Resolution						
Ground (m)	12.20	7.60	3.70-7.60	3.00-7.60	2.70-7.60	1.80-7.60
Film (lp/mm)	50-100	50-100	50-100	50-100	120	160
Nominal ground coverage	15.3x209 to 42x579 (km)	15.3x209 to 42x579 (km)	15.3x209 to 42x579 (km)	15.3x209 to 42x579 (km)	17x232 (km)	13.8x188 (km)
Nominal photoscale in film	1:275,000 to 1:760,000	1:275,000 to 1:760,000	1:275,000 to 1:760,000	1:300,000	1:305,000	1:247,500
Extra imagery	Horizon images only			Stellar, index and horizon images		

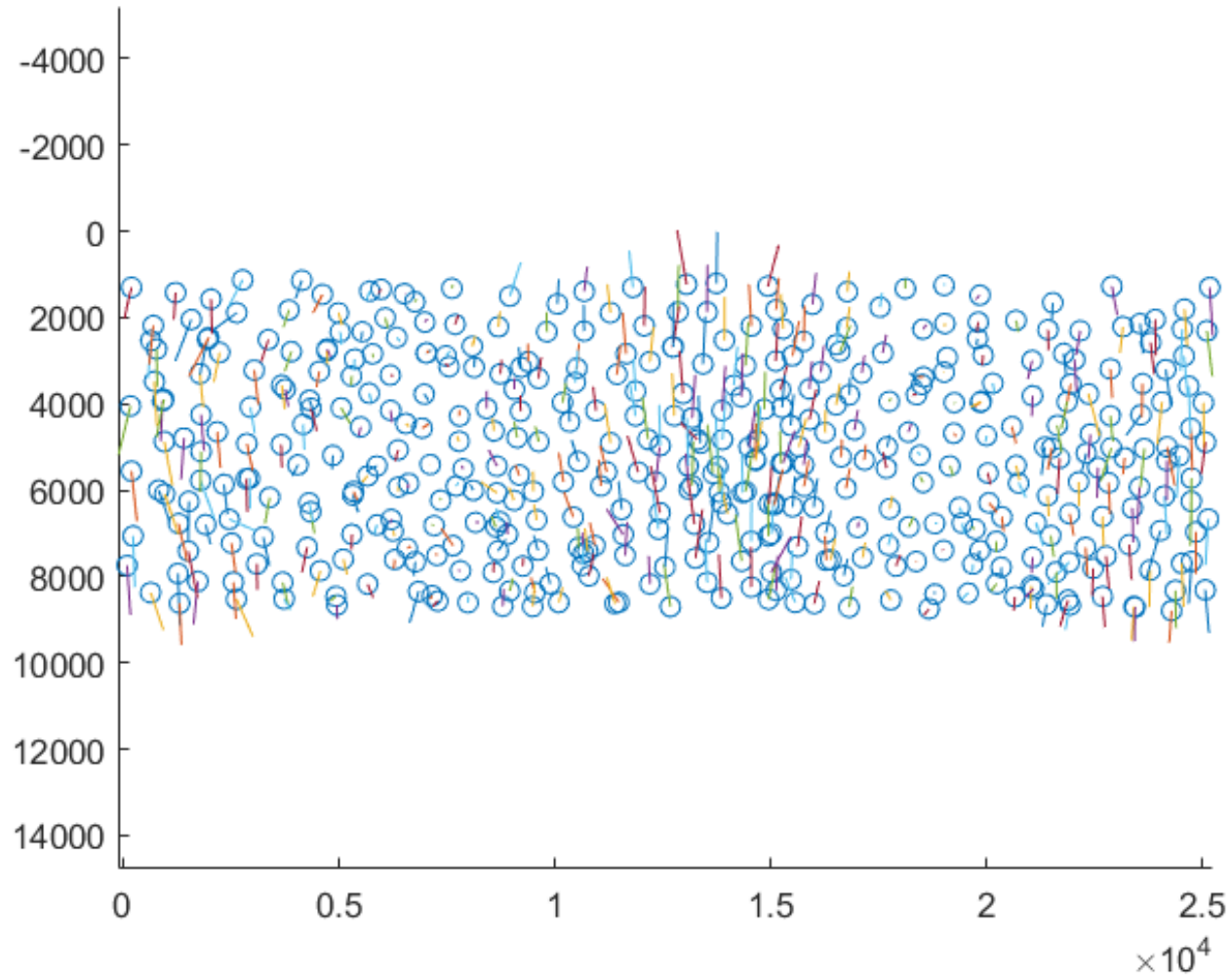
CORONA felvételek ortokorrekciója



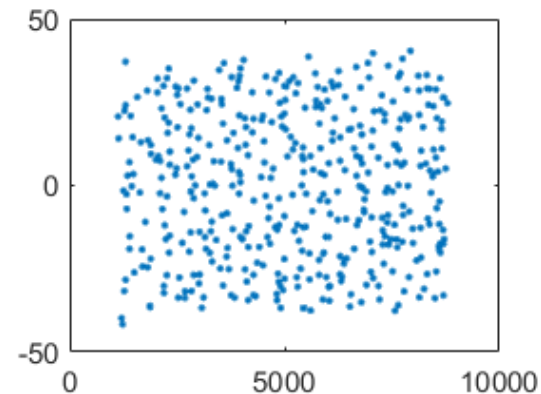
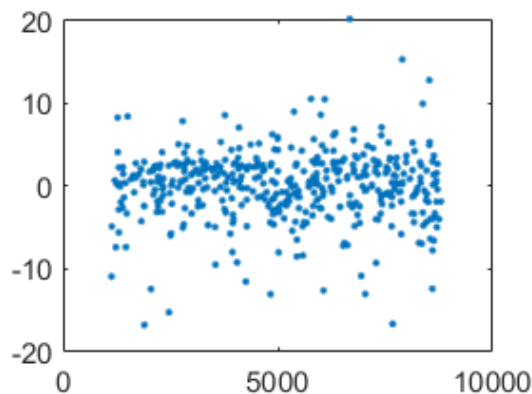
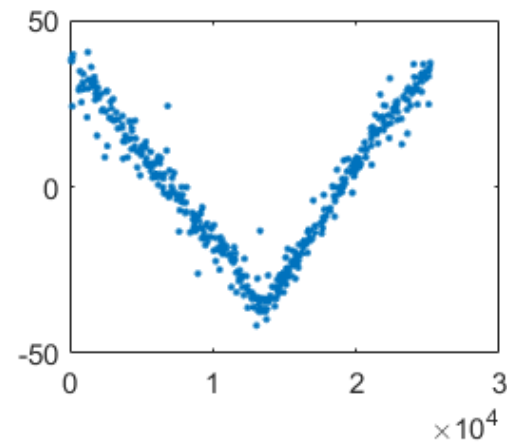
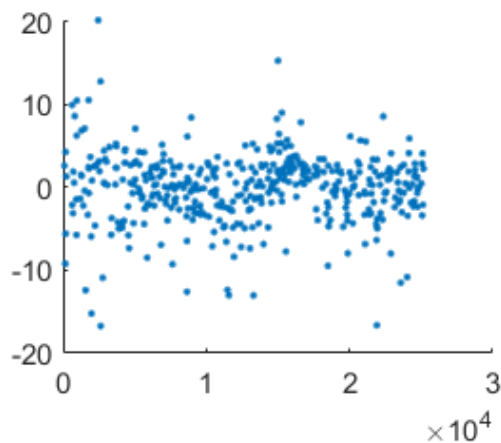
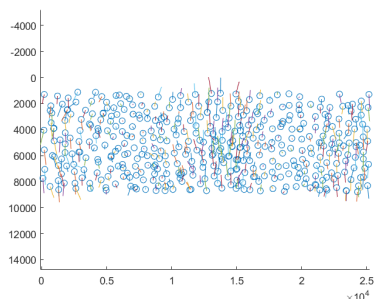
CORONA felvételek ortokorrekciója



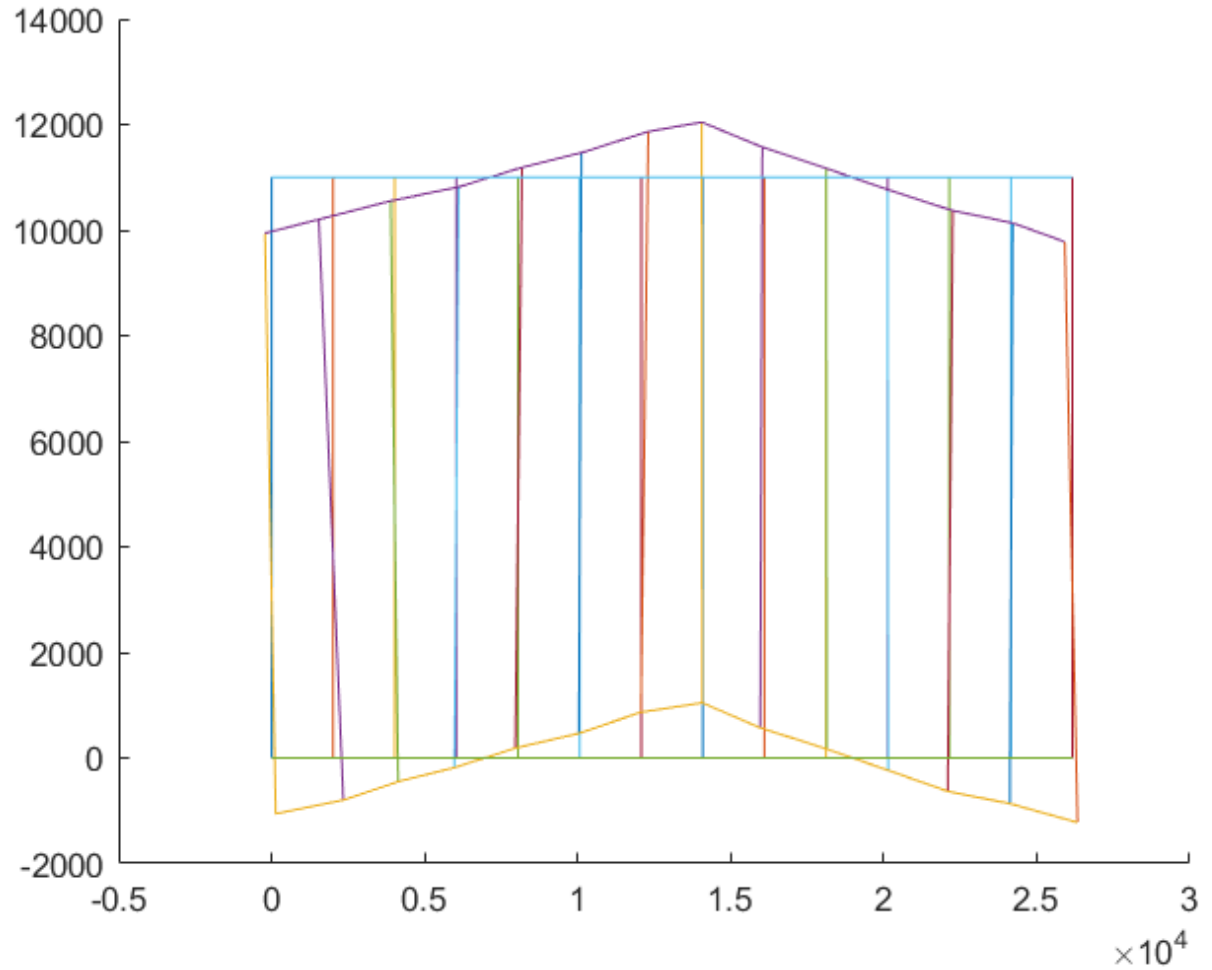
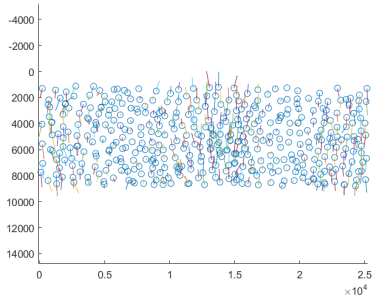
CORONA felvételek ortokorrekciója



CORONA felvételek ortokorrekciója



CORONA felvételek ortokorrekciója



CORONA ortokorrekció

Kép transzformálása 2 lépésben

1. Belső torzulások transzformálása
2. Ortokorrekció

CORONA ortokorrekción

Ortokorrekción szimulált illesztőpontok segítségével

Rational Polynomial Coefficient Camera Model
(RPC)

~ *Polinomhányados együtthatós*

Grodecki és Dial (2003)

- Kiindulás: Légifénykép leképezési geometria módosítása → hányados függvény
- Nem projektív, nem centrális → magasabb fokszámú polinom
- Minden szenzorra alkalmazható

RPC modell

$$X' = \frac{X - X_0}{X_s}$$

$$Y' = \frac{Y - Y_0}{Y_s}$$

$$Z' = \frac{Z - Z_0}{Z_s}$$

Polinom

általános

alakja:

$$x' = \frac{\sum_{i=1}^{20} C_{xi} P(X', Y', Z')}{\sum_{i=1}^{20} D_{xi} P(X', Y', Z')}$$
$$y' = \frac{\sum_{i=1}^{20} C_{yi} P(X', Y', Z')}{\sum_{i=1}^{20} D_{yi} P(X', Y', Z')}$$

$$x = a_0 + a_1 x'$$

$$y = b_0 + b_1 y'$$

$$\sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{k=0}^3 X^i Y^j Z^k$$

RPC

$$x = x_0 - c \frac{R_{11}(X - X_0) + R_{21}(Y - Y_0) + R_{31}(Z - Z_0)}{R_{13}(X - X_0) + R_{23}(Y - Y_0) + R_{33}(Z - Z_0)}$$
$$y = y_0 - c \frac{R_{12}(X - X_0) + R_{22}(Y - Y_0) + R_{32}(Z - Z_0)}{R_{13}(X - X_0) + R_{23}(Y - Y_0) + R_{33}(Z - Z_0)}$$

$$X' = \frac{X - X_0}{X_s}$$

$$Y' = \frac{Y - Y_0}{Y_s}$$

$$Z' = \frac{Z - Z_0}{Z_s}$$

$$x' = \frac{\sum_{i=1}^{20} C_{xi} P(X', Y', Z')}{\sum_{i=1}^{20} D_{xi} P(X', Y', Z')}$$

$$y' = \frac{\sum_{i=1}^{20} C_{yi} P(X', Y', Z')}{\sum_{i=1}^{20} D_{yi} P(X', Y', Z')}$$

$$x = a_0 + a_1 x'$$

$$y = b_0 + b_1 y'$$

Polinom

általános

alakja:

$$\sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{k=0}^3 X^i Y^j Z^k$$

RPC

$$X' = \frac{X - X_0}{X_s}$$

$$Y' = \frac{Y - Y_0}{Y_s}$$

$$Z' = \frac{Z - Z_0}{Z_s}$$

$$x' = \frac{\sum_{i=1}^{20} C_{xi} P(X', Y', Z')}{\sum_{i=1}^{20} D_{xi} P(X', Y', Z')}$$

$$y' = \frac{\sum_{i=1}^{20} C_{yi} P(X', Y', Z')}{\sum_{i=1}^{20} D_{yi} P(X', Y', Z')}$$

$$x = a_0 + a_1 x'$$

$$y = b_0 + b_1 y'$$

X, Y, Z



x, y

RPC...

$$X' = \frac{X - X_0}{X_s}$$
$$Y' = \frac{Y - Y_0}{Y_s}$$
$$Z' = \frac{Z - Z_0}{Z_s}$$

$$x' = \frac{\sum_{i=1}^{20} C_{xi} P(X', Y', Z')}{\sum_{i=1}^{20} D_{xi} P(X', Y', Z')}$$
$$y' = \frac{\sum_{i=1}^{20} C_{yi} P(X', Y', Z')}{\sum_{i=1}^{20} D_{yi} P(X', Y', Z')}$$

$$x = a_0 + a_1 x'$$
$$y = b_0 + b_1 y'$$

- Skálatényezők (10db)

RPC

$$X' = \frac{X - X_0}{X_s}$$
$$Y' = \frac{Y - Y_0}{Y_s}$$
$$Z' = \frac{Z - Z_0}{Z_s}$$

$$x' = \frac{\sum_{i=1}^{20} C_{xi} P(X', Y', Z')}{\sum_{i=1}^{20} D_{xi} P(X', Y', Z')}$$
$$y' = \frac{\sum_{i=1}^{20} C_{yi} P(X', Y', Z')}{\sum_{i=1}^{20} D_{yi} P(X', Y', Z')}$$

$$x = a_0 + a_1 x'$$
$$y = b_0 + b_1 y'$$

- Skálatényezők (10db)
- Együtthatók (4x20=80 db)!

RPC együtthatók

- LINE_OFF: +001135.00 pixels
- SAMP_OFF: +002548.00 pixels
- LAT_OFF: +32.71870000 degrees
- LONG_OFF: -117.13340000 degrees
- HEIGHT_OFF: +0036.000 meters
- LINE_SCALE: +001829.00 pixels
- SAMP_SCALE: +006570.00 pixels
- LAT_SCALE: +00.01710000 degrees
- LONG_SCALE: +000.07090000 degrees
- HEIGHT_SCALE: +0223.000 meters
- LINE_NUM_COEFF_1: -7.528832499211146E-04
- LINE_NUM_COEFF_2: +4.601152253660193E-03
- LINE_NUM_COEFF_3: -1.036420699442561E+00
- LINE_NUM_COEFF_4: -3.939430396366833E-02
- LINE_NUM_COEFF_5: +1.758745697921333E-03
- LINE_NUM_COEFF_6: +2.257622101649762E-04
- LINE_NUM_COEFF_7: +6.474973420688466E-04
- LINE_NUM_COEFF_8: -1.223444180173001E-03
- LINE_NUM_COEFF_9: -1.953865099469903E-03
- LINE_NUM_COEFF_10: +2.707996451436746E-05
- LINE_NUM_COEFF_11: +5.106721127563309E-07
- LINE_NUM_COEFF_12: +2.059656131998472E-06
- LINE_NUM_COEFF_13: -2.187266340724914E-07
- LINE_NUM_COEFF_14: +5.408550970877254E-08
- LINE_NUM_COEFF_15: -3.969967321294387E-06
- LINE_NUM_COEFF_16: +7.193088923189738E-07
- LINE_NUM_COEFF_17: -3.893729108734927E-07
- LINE_NUM_COEFF_18: -4.184439846468367E-06
- LINE_NUM_COEFF_19: +4.508022851487697E-08
- LINE_NUM_COEFF_20: -1.572275337568830E-08
- LINE_DEN_COEFF_1: +1.000000000000000E+00
- LINE_DEN_COEFF_2: -1.687365611911388E-03
- LINE_DEN_COEFF_3: +1.883843946871524E-03
- LINE_DEN_COEFF_4: -6.553403287385857E-04
- LINE_DEN_COEFF_5: +2.119287878616578E-07
- LINE_DEN_COEFF_6: -2.158867917017867E-07
- LINE_DEN_COEFF_7: +6.601943700167489E-08
- LINE_DEN_COEFF_8: +1.299690579269976E-06
- LINE_DEN_COEFF_9: -6.964857498163998E-07
- LINE_DEN_COEFF_10: +3.410306056050380E-07
- LINE_DEN_COEFF_11: +5.172659752921717E-10
- LINE_DEN_COEFF_12: +2.711717432149379E-10
- LINE_DEN_COEFF_13: -1.476332053694697E-10
- LINE_DEN_COEFF_14: +3.595704138248104E-10
- LINE_DEN_COEFF_15: +2.285886747581438E-10
- LINE_DEN_COEFF_16: -1.118640880563040E-10

RPC használata

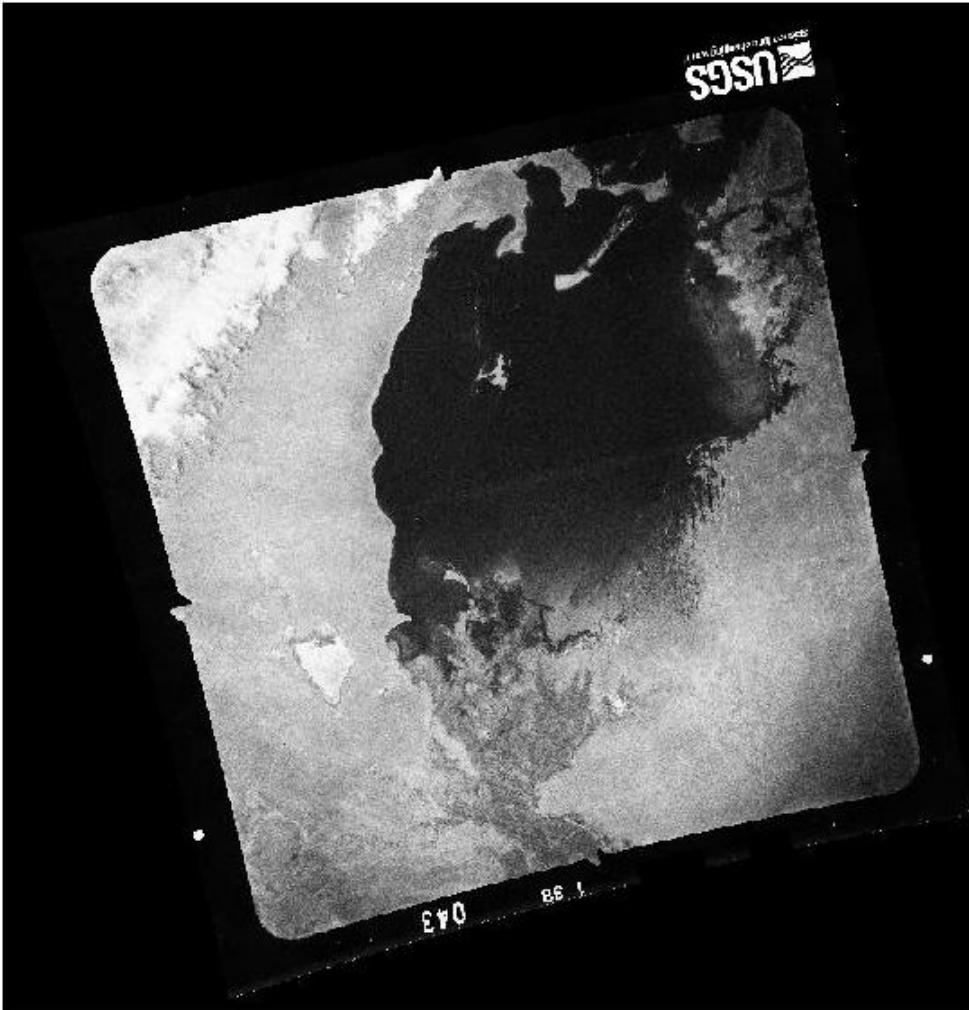
GDAL/OGR programcsomag

Parancssor:

```
>>gdalwarp -rpc raw.tif rectified.tif  
>>gdalwarp -rpc -to RPC_HEIGHT=257 raw.tif  
    rectified.tif  
>>gdalwarp -rpc -to RPC_DEM=srtm.tif raw.tif  
    rectified.tif
```

Grafikus környezet: QuantumGIS

Eredmények: ARGON

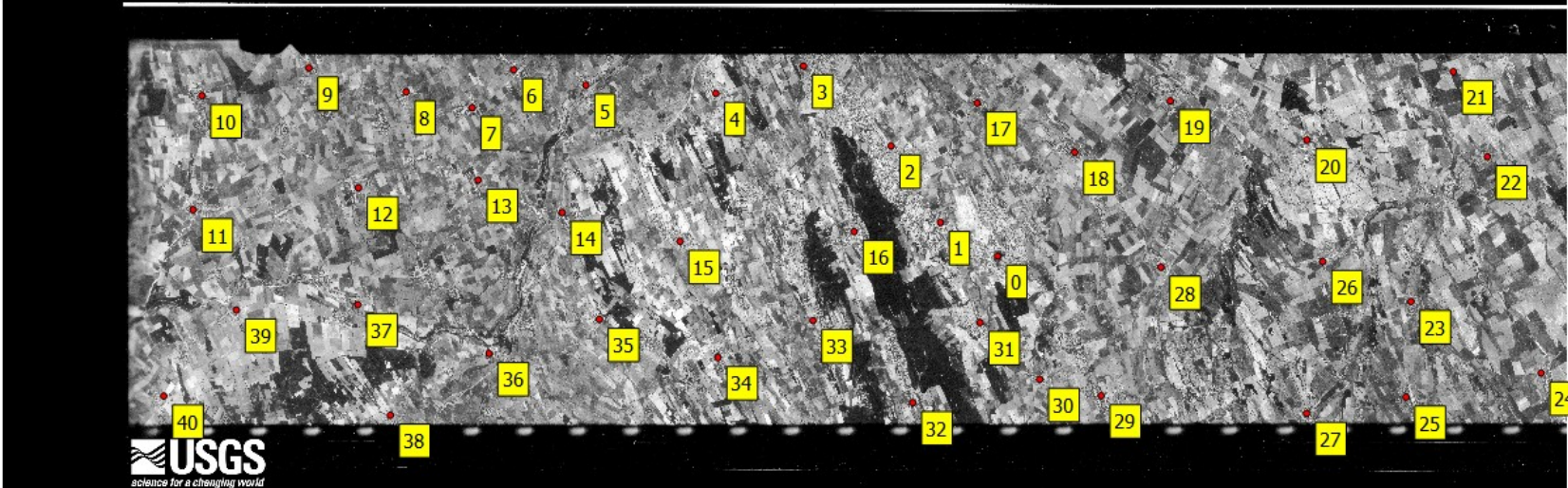


- Mérőkamerás felvéte
- Illesztőpontok (~200 db)
- Átfedő felvételek
- Külső tájékozás becslése
- Kamera együtthatók becslése (képfőpont és kamera paraméterek)
- Kötőpontok
- RMS hiba:120m(!)

CORONA (Dunántúl)

Georeferáló

Fájl Szerkesztés Nézet Beállítások



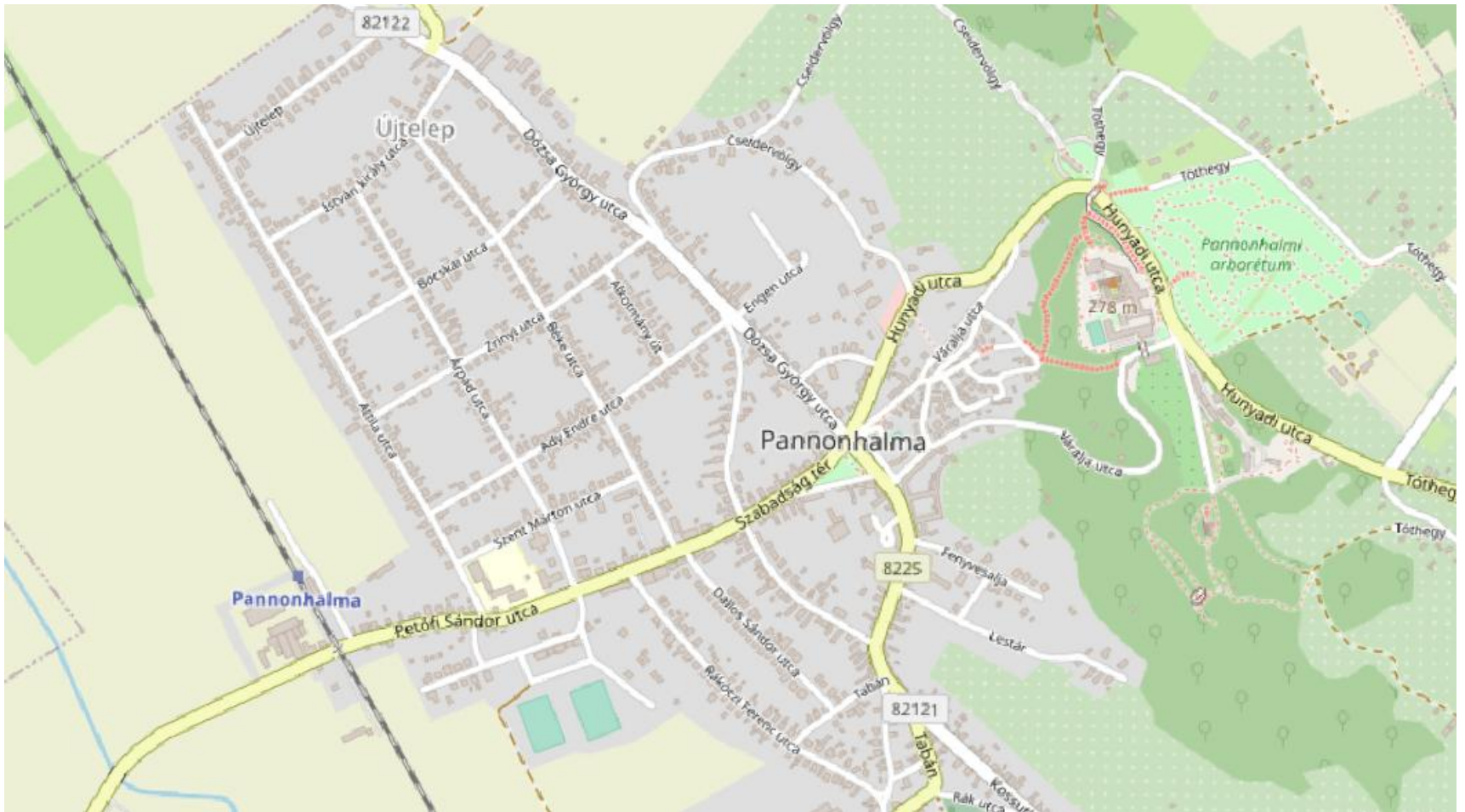
USGS
science for a changing world

GCP tábla

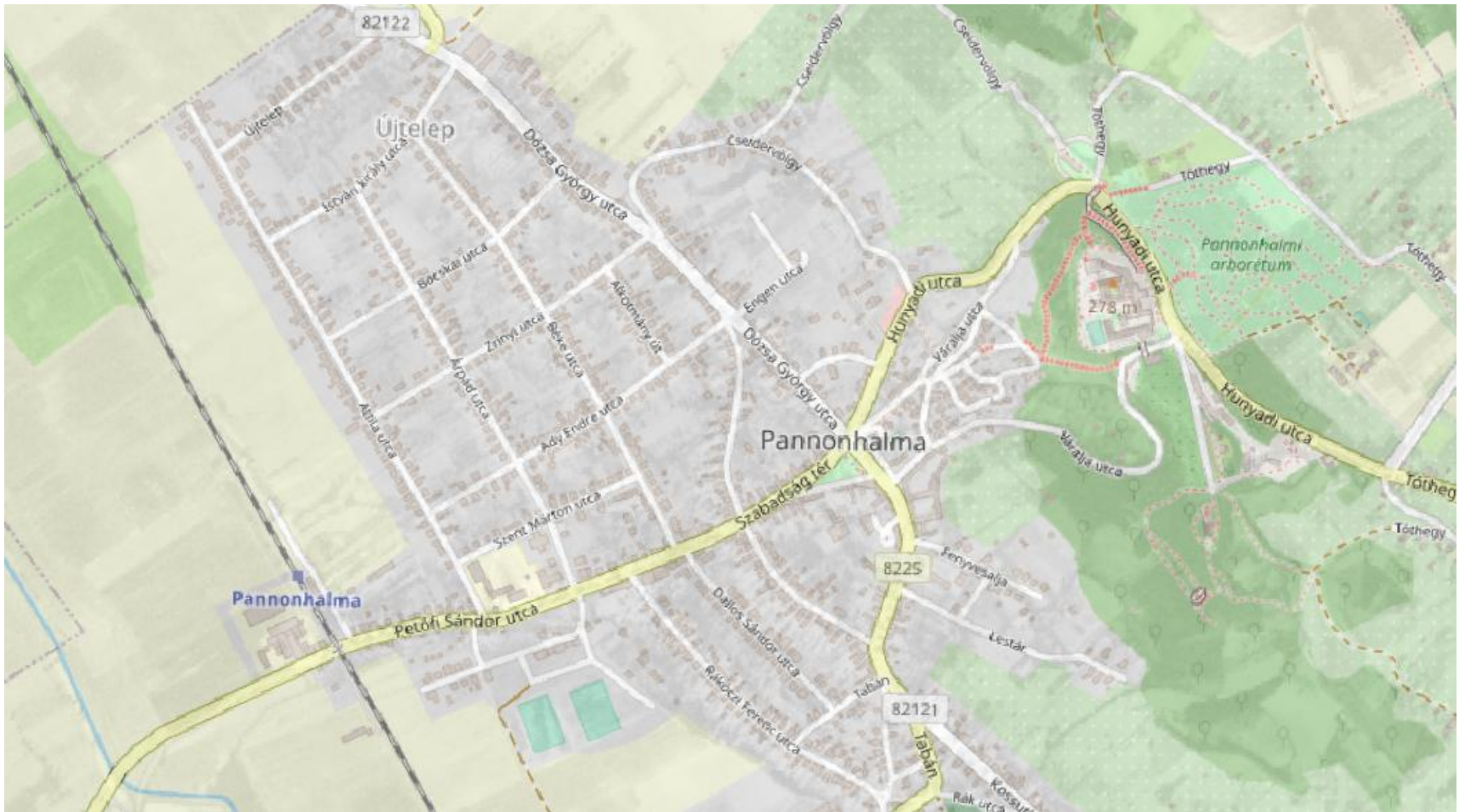
Látható	ID	Forrás X	Forrás Y	Cél X	Cél Y	dX (pixel)	dY (pixel)	Javitás (pixel)
<input checked="" type="checkbox"/>	0	21278,9	-5467,04	553251	246184	0	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	1	20053	-4748,64	549749	247247	0	0	0

Transzformáció: Nincs beállítva 31491,-112 Semmi

CORONA



CORONA



CORONA



CORONA



CORONA



GAMBIT



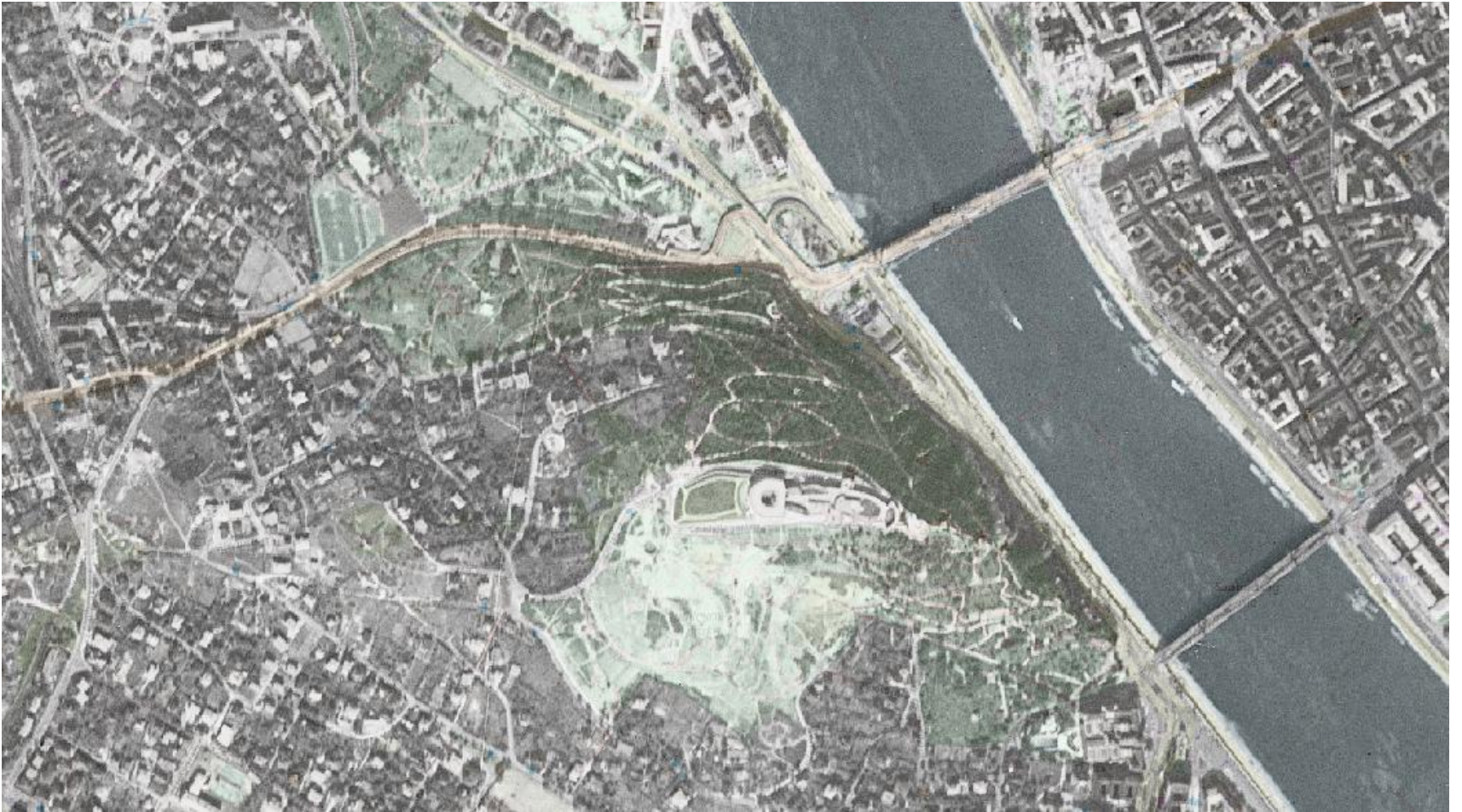
GAMBIT



GAMBIT



GAMBIT



GAMBIT



- Köszönöm a figyelmet!



molnar@sas.elte.hu