

NAGY PONTOSSÁGÚ LOKÁLIS HÁLÓZATOK KIALAKÍTÁSA GNSS TECHNIKÁVAL

Mérnökgeodézia Konferencia

Rózsa Szabolcs, Égető Csaba, Siki Zoltán, Tuchband Tamás, Ambrus Bence, Juni Ildikó, Turák Bence, Takács Bence

2020. november 6.



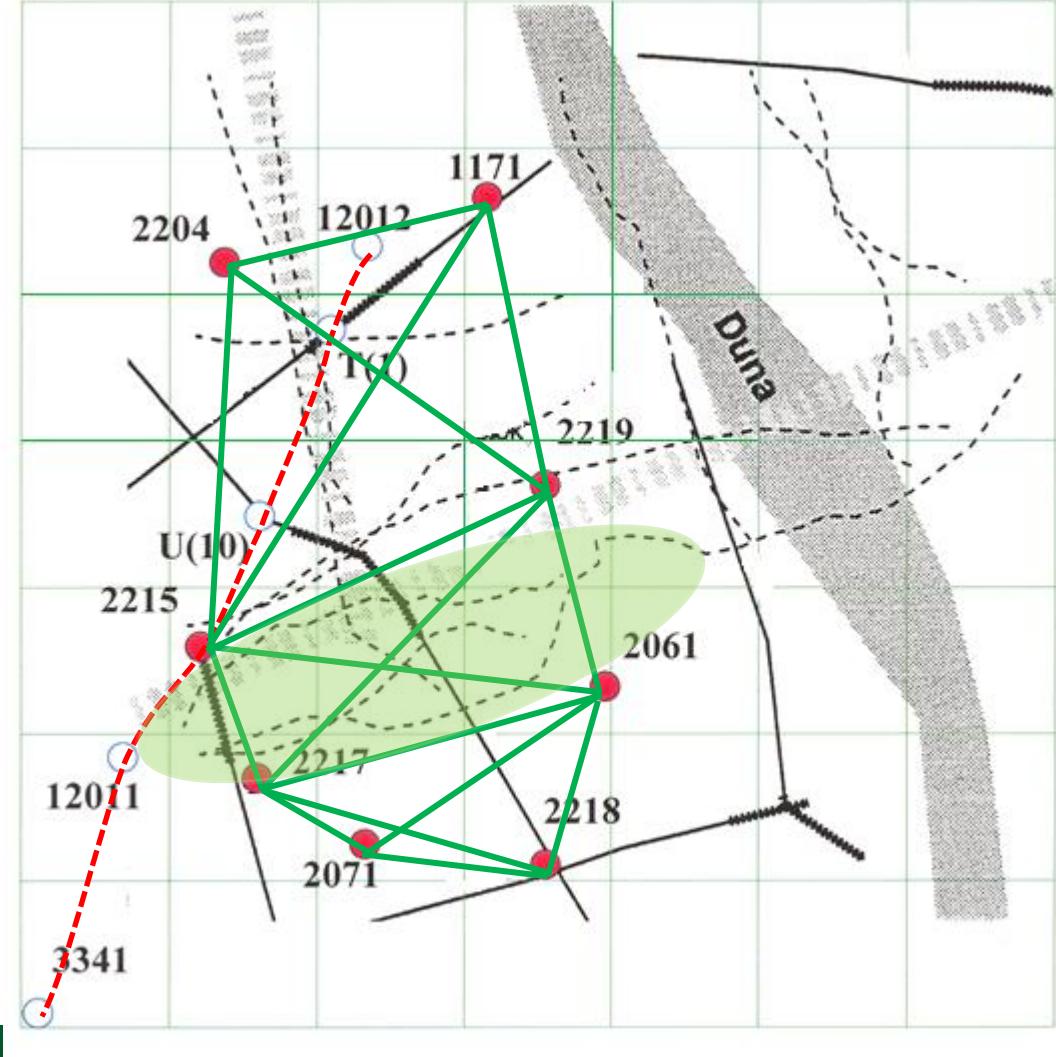
BUDAPESTI MŰSZAKI
ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
Építőmérnöki Kar - építőmérnöki képzés 1782 óta

Általános és Felsőgeodézia Tanszék

A FELADAT



GPS mérések:
1996, 2002, 2005, 2009



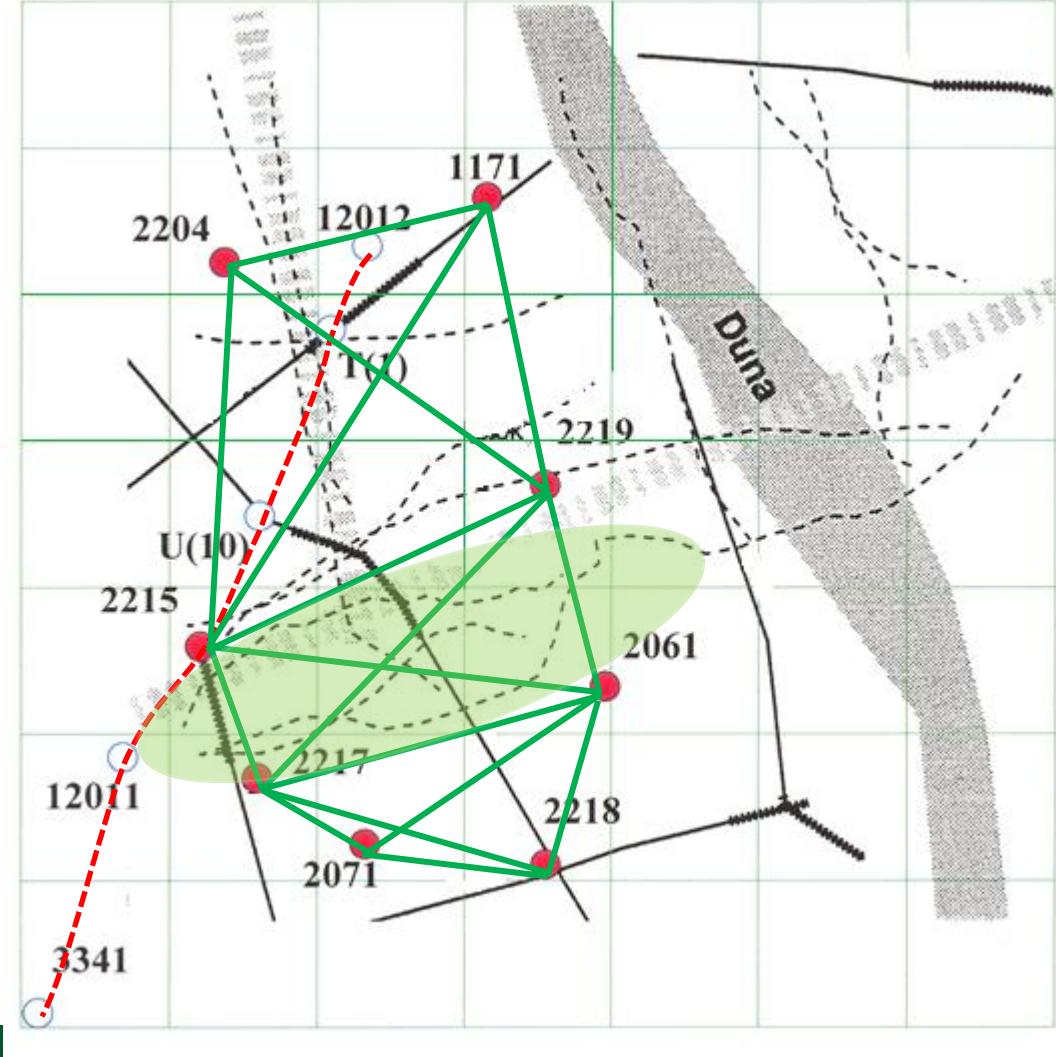
A FELADAT

Színtezés:

1987, 88, 89, 90, 92, 96,
98, 2002, 05, 09

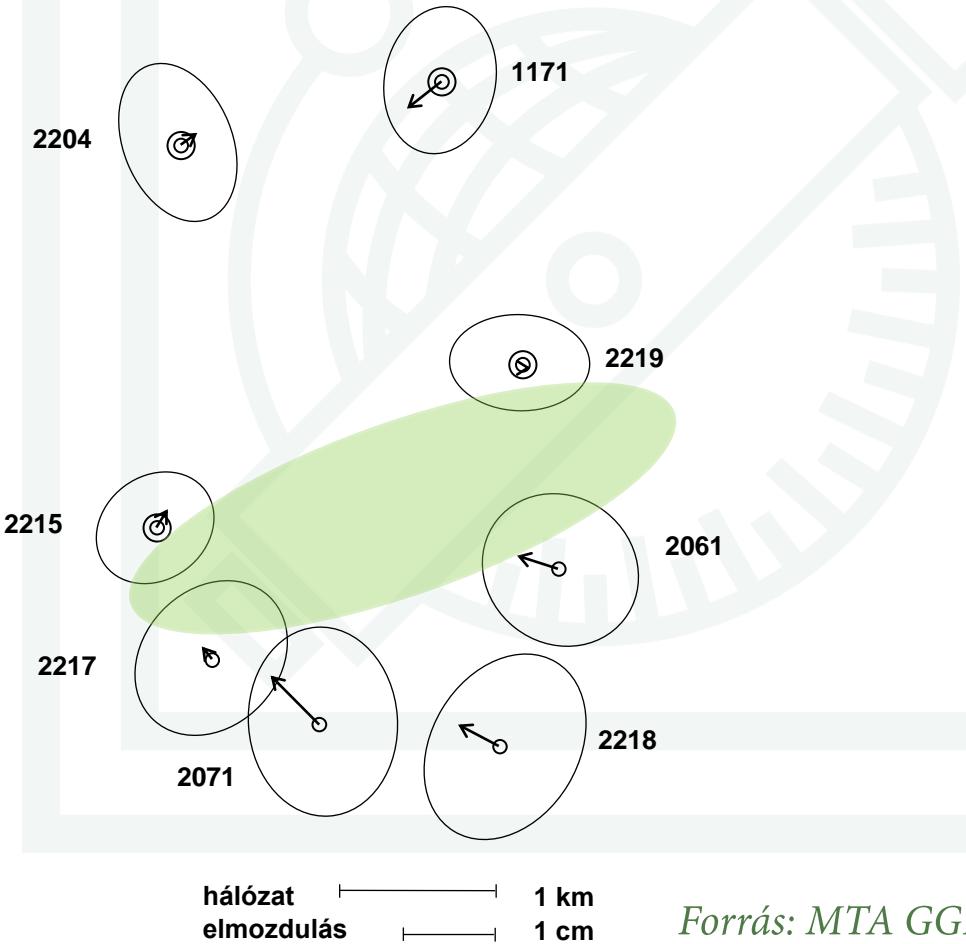
GPS mérések:

1996, 2002, 2005, 2009

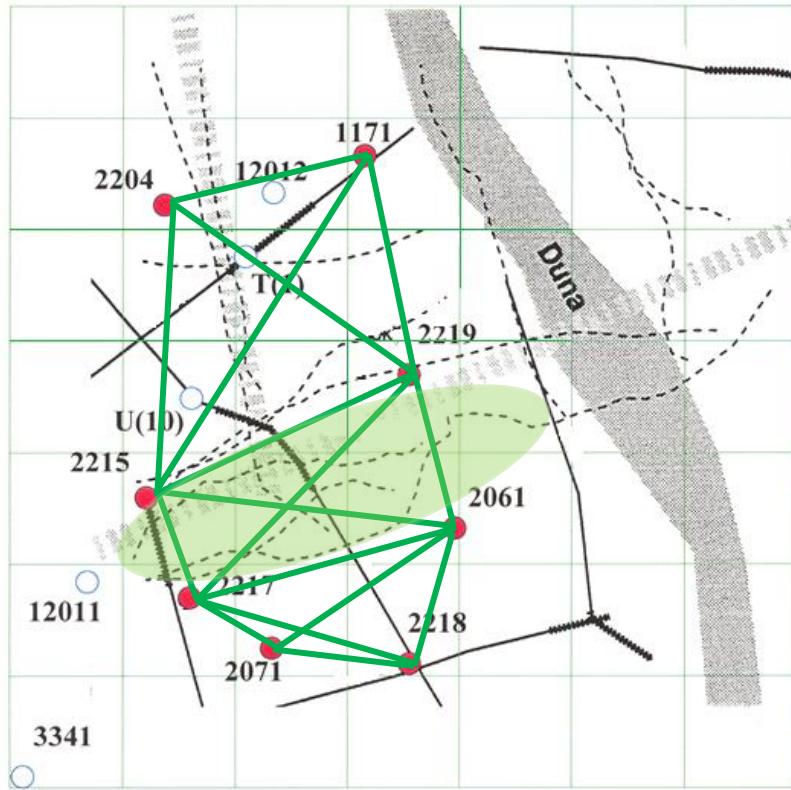


KORÁBBI EREDMÉNYEK

A törési zónától délre



BEJÁRÁS



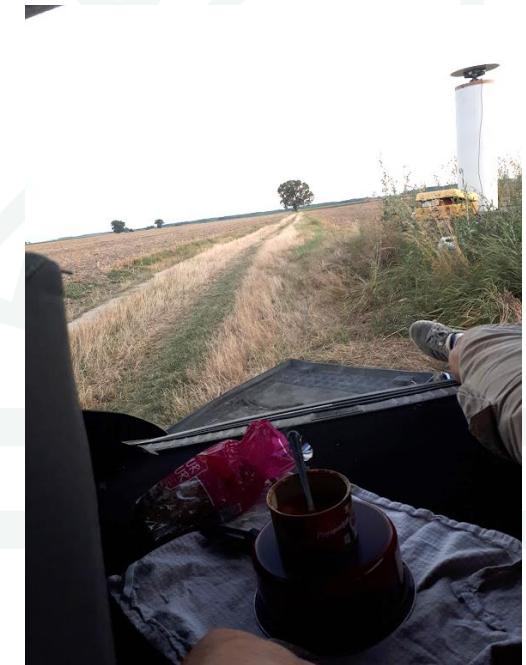
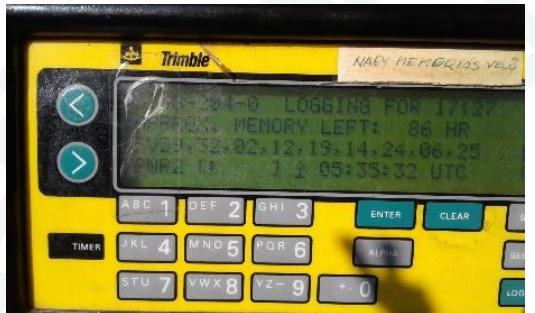
GPS MÉRÉSEK

- 24 h
- antennák / vevők
- akkumulátorok
- felügyelet



GPS MÉRÉSEK

- 24 h
- antennák / vevők
- akkumulátorok
- felügyelet



GPS MÉRÉSEK

- 24 h
- antennák / vevők
- akkumulátorok
- felügyelet
- pillérdőlések

Pillérdőlések
mérése



ERedmények GPS

- bázisvonalankénti feldolgozás Bernese-vel (L1 és L3)
- 28 bázisvonal
- teljes variancia-kovariancia mátrix a bázisvonalakra

1171	2217	3224.6536	-537.5989	-2731.6276
0.0031	17471			
3.847514e-03	1.167280e-03	1.529899e-03		
	2.384635e-03	1.093969e-03		
		4.497390e-03		

1 iono skálatényező



ERedmények

GPS – 3D KIEGYENLÍTÉS

- MATLAB szoftver,
- szabad hálózatos kiegyenlítés
- durva-hiba kimutatással
- L1 és L3 megoldások akár együttes feldolgozására (ionoszféra skála-tényező becsléssel)
- később is felasználható (pl. RTKLIB)

```
for i=1:OBSNUM
    OBS = L(i,:);
    % Finding the point ID indices
    ST1 = find(PID == OBS(1,1));
    ST2 = find(PID == OBS(1,2));
    DH(i) = (X_ST(ST2,5)-X_ST(ST1,5));
    %Filling the design matrix
    %Delta X
    A((floor(i-1)*3+1),(floor((ST1-1)*3)+1)) = -1;
    A((floor(i-1)*3+1),(floor((ST2-1)*3)+1)) = +1;
    VECCOMP((floor(i-1)*3+1)) = OBS(1,3);
    %The vector needs to be scaled or not?
    if (vectorscale == 1)
        if (OBS(1,14) == 1)      % The vector needs to be sca
            A((floor(i-1)*3+1),PNUM*3+1) = (X_ST(ST2,2)-X_ST
            QLL(floor(i-1)*3+1),(floor(i-1)*3+1)) = OBS(1,6)*
            QLL(floor(i-1)*3+1),(floor(i-1)*3+2)) = OBS(1,6)*
            QLL(floor(i-1)*3+1),(floor(i-1)*3+3)) = OBS(1,6)*
        else
            A((floor(i-1)*3+1),PNUM*3+1) = 0;
            QLL(floor(i-1)*3+1),(floor(i-1)*3+1)) = OBS(1,6)*
            QLL(floor(i-1)*3+1),(floor(i-1)*3+2)) = OBS(1,6)*
            QLL(floor(i-1)*3+1),(floor(i-1)*3+3)) = OBS(1,6)*
        end
    else
        QLL(floor(i-1)*3+1),(floor(i-1)*3+1)) = OBS(1,6)*OBS(1
        QLL(floor(i-1)*3+1),(floor(i-1)*3+2)) = OBS(1,6)*OBS(1
        QLL(floor(i-1)*3+1),(floor(i-1)*3+3)) = OBS(1,6)*OBS(1
    end
```



ERedmények

GPS – 3D KIEGYENLÍTÉS

Point	X [m]	Y [m]	Z [m]	mX [m]	mY [m]	mZ [m]	LAT [DMS]	LON [DMS]	h [m]
2204	4156136.16487	1417332.79541	4610520.87629	0.00077	0.00048	0.00083	46-35-17.18299	18-49-49.77203	143.36484
1171	4155252.50581	1418913.14020	4610827.17711	0.00065	0.00036	0.00067	46-35-31.66705	18-51-13.43568	141.90578
2215	4157989.83102	1417801.06290	4608716.20383	0.00047	0.00030	0.00048	46-33-52.18955	18-49-42.48963	142.53415
2219	4156406.51010	1419904.79067	4609490.93219	0.00037	0.00023	0.00038	46-34-28.69714	18-51-39.99334	142.15378
2217	4158477.15912	1418375.54108	4608095.54848	0.00063	0.00039	0.00066	46-33-23.16328	18-50-00.63211	136.52074
2061	4157281.40324	1420468.48515	4608529.30006	0.00038	0.00028	0.00041	46-33-43.53142	18-51-51.75889	138.28865
2071	4158548.45806	1419173.85982	4607789.49326	0.00046	0.00026	0.00047	46-33-08.70013	18-50-35.01994	137.98293
2218	4158243.80598	1420373.75838	4607695.06807	0.00046	0.00030	0.00049	46-33-04.26050	18-51-32.94443	137.77968

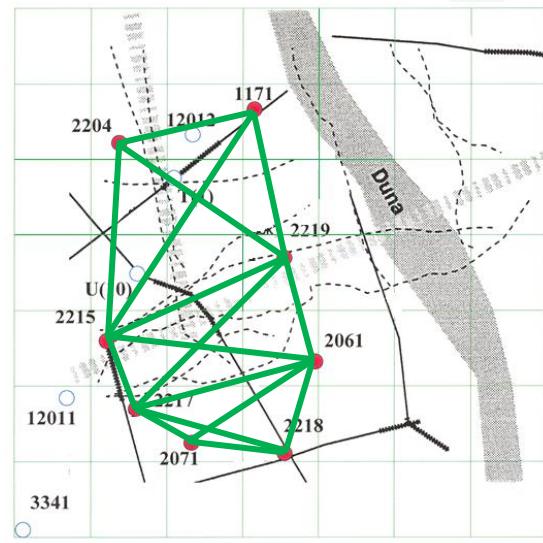
Ionospheric scale factor of L1 observations: 2.64075e-07 +/- 1.49147e-07

Baseline observations and their corrections

A priori mean error of unit weight: 0.0010
 A priori mean error of scaled vectors: 0.0010
 Baseline var/covariance scale factor: 2
 A posteriori mean error of unit weight: 0.005
 Degree of freedom (network) 83
 tau stat. value at 95 p.c. probability level : 1.646

Pt1	Pt2	obsDX [m]	obsDY [m]	obsDZ [m]
		vDX [m]	vDY [m]	vDZ [m]
L1	a post	mvDX	mvDY	mvDZ
1171	2215	2737.32650	-1112.07800	-2110.97290
v		-0.00057	0.00041	-0.00094
m_vv		0.00132	0.00077	0.00135
Tau		0.433	0.531	0.693

időpont	méretarány tényező (mm/km)
1996.09.25	+0.8107 ± 0.18
2002.06.13	+0.9432 ± 0.06
2005.06.13	-0.1903 ± 0.13
2009.06.03	-0.5664 ± 0.09
2019.07.24	+0.2641 ± 0.15



ERedmények

Vízszintes mozgásvizsgálatok

- „kiegyenlítés” tisztán távmérési hálózatként

P1	P2	slopedist	Hdiff	Hdist	Hmean	Reduction	Hdist:
1171	2215	3631.23579	0.58200	3631.23575	98.18400	-0.00059	3631.23516
1171	2204	1836.34506	1.40900	1836.34452	98.59750	-0.00042	1836.34410
1171	2219	2025.00544	0.25100	2025.00542	98.01850	-0.00028	2025.00515
2217	2218	2051.27049	1.23700	2051.27012	93.08150	0.00131	2051.27143
2217	2219	2928.01766	5.68100	2928.01215	95.30350	0.00085	2928.01299
2061	2217	2449.16056	-1.78400	2449.15991	93.35500	0.00146	2449.16137
2061	2215	2766.21481	4.22800	2766.21158	96.36100	0.00034	2766.21192
2061	2071	1956.73114	-0.31700	1956.73111	94.08850	0.00094	1956.73205
2061	2218	1277.15904	-0.54700	1277.15892	93.97350	0.00064	1277.15956
2061	2219	1417.01299	3.89700	1417.00764	96.19550	0.00021	1417.00785
2215	2217	976.07732	-6.01200	976.05880	95.46900	0.00026	976.05906
2215	2218	2779.56536	-4.77500	2779.56125	96.08750	0.00046	2779.56172
2215	2219	2744.59098	-0.33100	2744.59096	98.30950	-0.00050	2744.59046
2204	2215	2629.10542	-0.82700	2629.10529	98.88850	-0.00072	2629.10457
2204	2219	2783.70814	-1.15800	2783.70790	98.72300	-0.00069	2783.70721
2071	2217	857.94297	-1.46700	857.94172	93.19650	0.00053	857.94225
2071	2218	1241.56577	-0.23000	1241.56575	93.81500	0.00065	1241.56640
2071	2219	2831.44758	4.21400	2831.44444	96.03700	0.00049	2831.44494



ERedmények

VÍZSZINTES MOZGÁSVIZSGÁLATOK

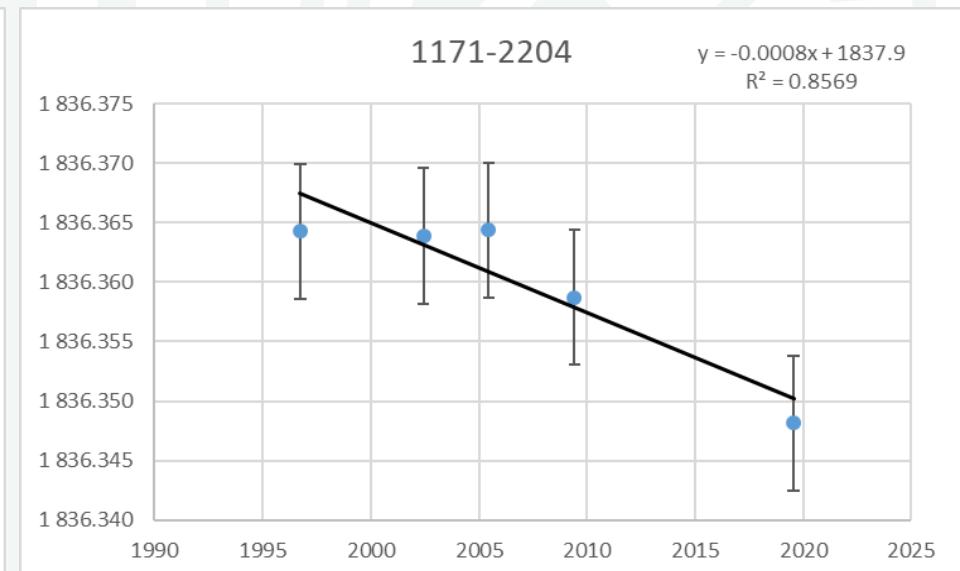
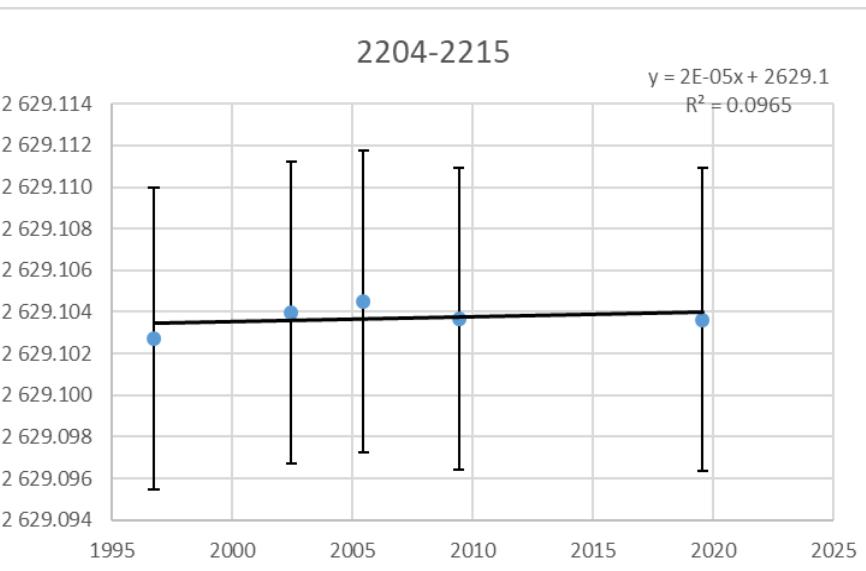
- pillérdőlések figyelembevétele -> újra ki kellett egyenlíteni 1996-tól az összes korábbi mérést

pillér	1171		2204		2219		2215	
időpont	y (K)	x (É)						
1996.738	0.00	0.00	0.00	0.00	–	–	0.00	0.00
2002.370	–0.14	–0.08	+0.26	–0.05	0.00	0.00	+0.00	–0.37
2005.420	–0.48	–0.13	+0.29	+0.09	–0.28	–0.18	+0.39	–0.60
2009.386	–1.17	–0.18	+0.37	–0.03	–0.51	–2.42	+0.42	–0.86
2019.581	–3.60	–1.18	+0.38	–0.29	–0.37	–4.12	+1.01	–1.26



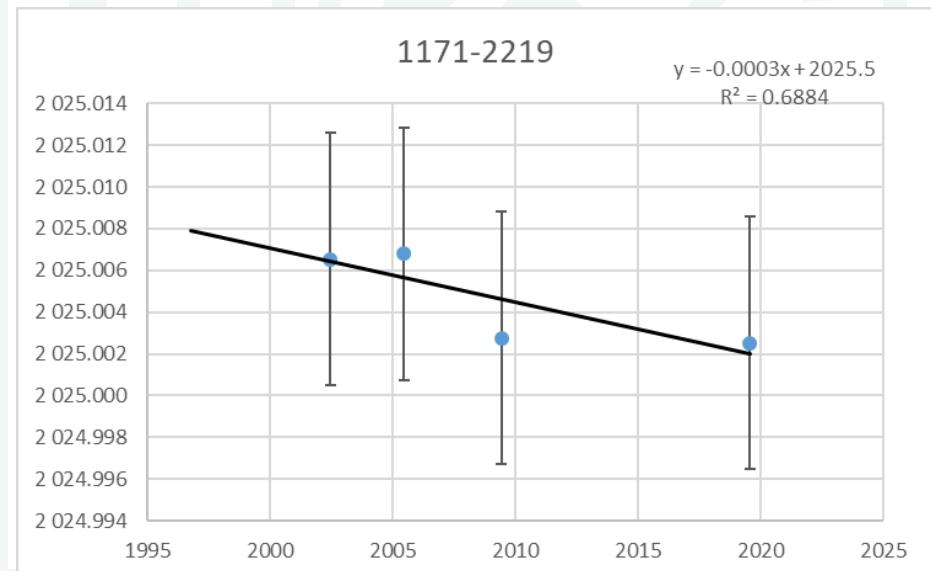
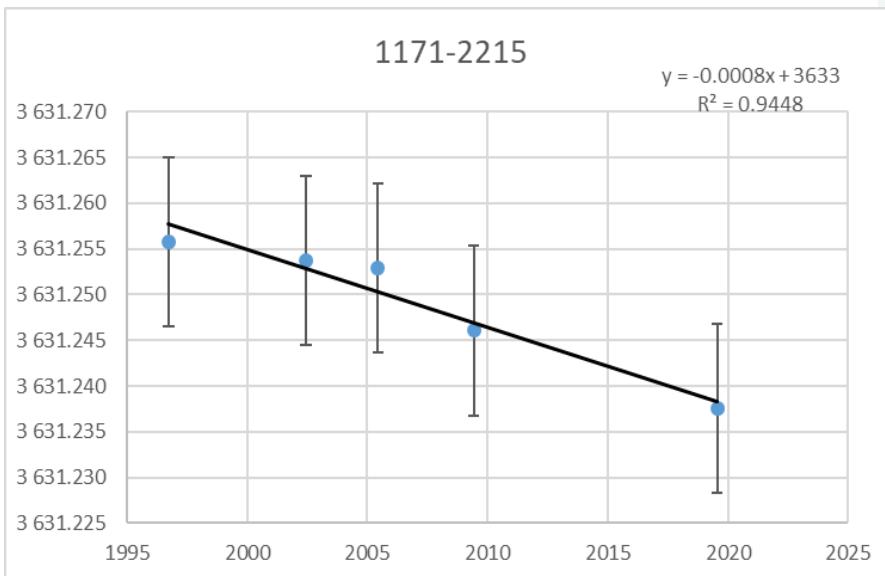
ERedmények

VÍZSZINTES MOZGÁSVIZSGÁLATOK - TÁVMÉRÉSEK



ERedmények

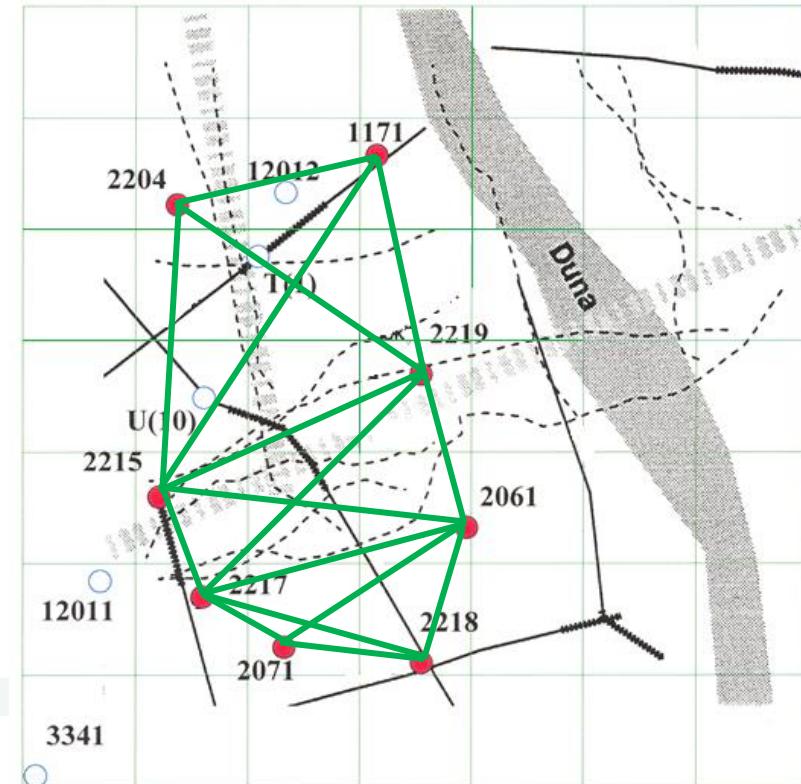
VÍZSZINTES MOZGÁSVIZSGÁLATOK - TÁVMÉRÉSEK



Előzetes vizualizációra jó, de nem ad egyértelmű eredményt vízszintes értelemben.

ERedmények: Vízszintes mozgás vizsgálatok - Deformációanalízis

- „Fix” pontok – dátum pontok
- korábban:
 - törési zónától északra 4 pont
- 1171 dőlése, mozgása?
- több változat:
 - 8 pontos
 - 4 pontos (2204, 1171, 2215, 2219)
 - 3 pontos (2204, 2215, 2219)



ERedmények: Vízszintes mozgásvizsgálatok - Deformációanalízis

- GNU Gama: hálózatkiegyenlítés -> CRD + COV
- MATLAB: deformációanalízis + deformációs tenzorelemek számítása

```
<?xml version="1.0" ?>
<!DOCTYPE gama-xml SYSTEM "gama-xml.dtd">
<gama-local version="2.0">
<network axes-xy="ne" angles="left-handed">
<description>
GeoEasy 2D network
</description>
<parameters sigma-apr = "1" conf-pr = "0.95" tol-abs = "1000" sigma-act = "apriori"
<points-observations distance-stdev="1 1" direction-stdev="3" angle-stdev="4" zenith
<point id="1171" y="1347.79720" x="13543.04960" adj="xy" />
<point id="2215" y="-596.98050" x="10476.48210" adj="XY" />
<point id="2204" y="-434.45800" x="13100.55920" adj="XY" />
<point id="2219" y="1908.37910" x="11597.18200" adj="XY" />
<point id="2061" y="2155.57840" x="10201.90160" adj="xy" />
<point id="2217" y="-213.07440" x="9579.09440" adj="xy" />
<point id="2071" y="518.24440" x="9130.48280" adj="xy" />
<point id="2218" y="1751.85940" x="8990.23120" adj="xy" />
<obs from="1171">
<distance to="2215" val="3631.23756" stdev="4.63125" />
<distance to="2204" val="1836.34818" stdev="2.83636" />
<distance to="2219" val="2025.00253" stdev="3.02501" />
```

```
% Program for the 2D deformation analysis utilizing variance covariance
% information and adjusted coordinate using GNU-Gama 2D network adjustment
% output:
%
% Input variables:
%
% coordfn1      : filename containing the adjusted coordinates of epoch #1
% covmatfn1     : filename of the covmat of epoch #2
% dof1          : degree-of-freedom epoch #2
% coordfn2      : filename containing the adjusted coordinates of epoch #2
% covmatfn2     : filename of the covmat of epoch #1
% dof2          : degree-of-freedom epoch #1
% P              : probability level
%
%
coordfn1="2019coord.txt";
covmatfn1="2019covmat.txt";
dof1=5;
coordfn2="2009coord.txt";
covmatfn2="2009covmat.txt";
dof2=5;
P = 0.95
conf = norminv(P,0);
outputfn="pks0919out7.txt";
% Calculating the displacements, error ellipses and statistical analysis
% parameters
```



ERedmények: Vízszintes mozgásvizsgálatok - deformációanalízis

- kongruencia (mozdulatlanság) teszt:

- Pontonként:
 - Koordinátairányonként
 - Vízszintes értelemben (2D)
 - Teljes hálózatra.

Pelzer (1971):

$$T = \frac{\hat{d}^T Q_d^+ \hat{d}}{h\hat{\sigma}_0^2} \sim F_{h,f}$$

$$\hat{d} = \hat{x}_2 - \hat{x}_1$$

elmozdulások

$$Q_{\hat{d}} = Q_{\hat{x}_1} + Q_{\hat{x}_2}$$

elmozdulások kofaktormátrixa

$$h = \text{rank}(Q_{\hat{d}})$$

$$f = f_1 + f_2$$

szabadságfok



ERedmények: Vízszintes mozgásvizsgálatok - Deformációanalízis

Deformation analysis results

Probability level: 0.95

Epoch #1:

Adjusted coordinates: 2009coord.txt

Var-cov. matrix : 2009covmat.txt

degree-of-freedom : 5

Epoch #2:

Adjusted coordinates: 2019coord.txt

Var-cov. matrix : 2019covmat.txt

degree-of-freedom : 5

Points in the network: 8

Displacements, confidence intervals and
confidence ellipses:

P.ID	DX	DY	cDX	cDY	a	b	alfa
1171	-3.2	-10.1	6.8	6.5	6.9	6.4	149.8
2061	-0.2	-4.4	6.5	6.5	6.6	6.5	33.9
2071	-0.9	-2.8	7.5	6.9	7.7	6.7	153.4
2204	-0.0	0.1	4.6	3.7	4.9	3.4	155.5
2215	0.1	0.2	4.0	3.7	4.0	3.7	5.0
2217	-3.1	-1.6	6.1	6.9	6.9	6.0	71.0
2218	-2.1	-1.0	7.8	7.5	8.7	6.4	40.7
2219	-0.1	-0.3	3.3	4.4	4.4	3.2	97.9



DEFORMÁCIÓANALÍZIS

Significance test of the displacements

Global congruence test limit, $F(0.95, 16, 10)$: 2.828

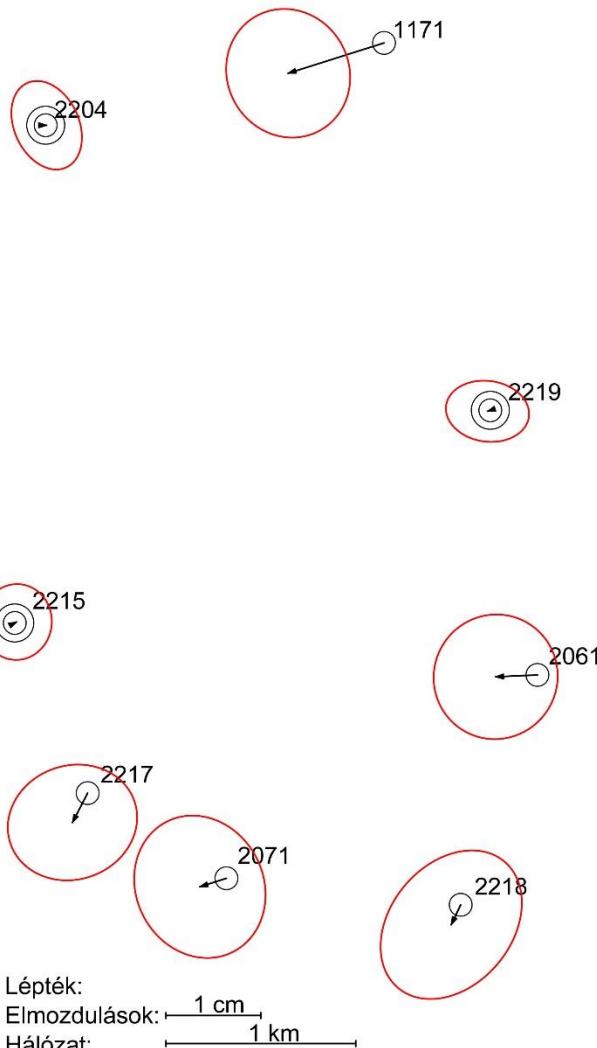
Pointwise congruence test limit, $F(0.95, 2, 10)$:

4.103

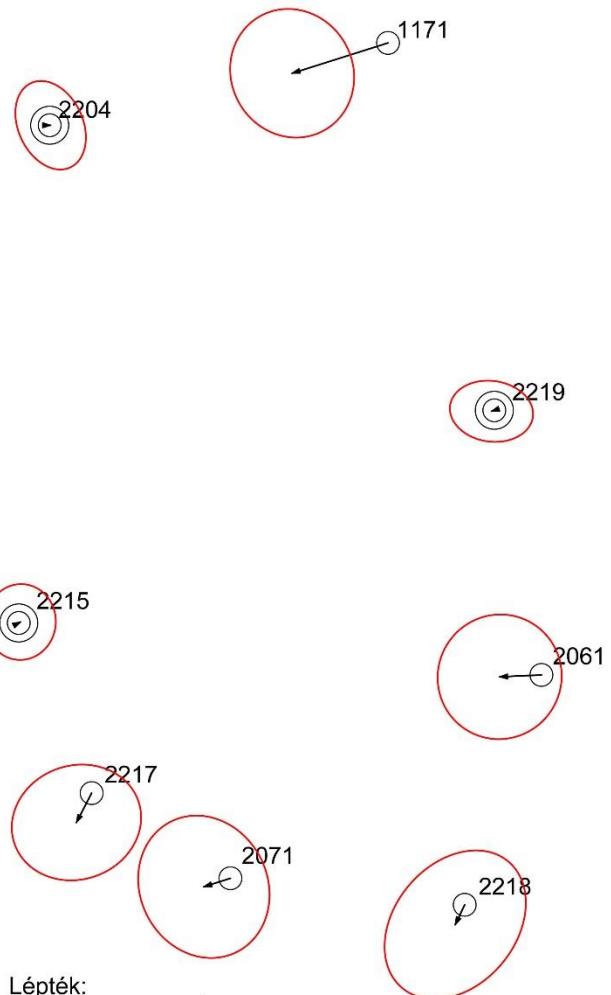
Pointwise congruence test limit, $F(0.95, 1, 10)$:

4.965

Global congruence test result F-test: $0.627 < 2.828$



DEFORMÁCIÓANALÍZIS



Lépték:
Elmozdulások: 1 cm
Hálózat: 1 km



DEFORMÁCIÓS TENZOR

ELEMEI

Strain parameters (all units are in micro-strain)

Rigid displacement parameters

Translation in X direction: -6.05 mm +/- 9.94

Translation in Y direction: -8.02 mm +/- 7.54

Rotation angle: -138.62 +/- 113.66

Fisher-test significance limit $F(0.95, 1, 11) = 4.844$

Deformation tensor elements:

$E_y = 0.63717 \pm 0.94 | 0.462 |$ rel. hosszv. y

$E_x = -0.43713 \pm 0.93 | 0.219 |$ rel. hosszv. x

$N_u = 0.20939 \pm 0.59 | 0.125 |$ 2. szögfordulás

$\epsilon_0 = 0.10002 \pm 0.66 | 0.023 |$ átl. rel hosszv.

$t = 0.53715 \pm 1.15 | 0.219 |$ 1. szögfordulás

$t_0 = 0.57652 \pm 1.09 | 0.280 |$ teljes szögfordulás

$\epsilon_1 = 0.67654 \pm 0.93 | 0.528 |$ rel hosszv 1. főért.

$\epsilon_2 = -0.47650 \pm 0.93 | 0.263 |$ rel hosszv 2. főért.

$az = 34.4 \pm 34.37 | 0.999 |$ el irányszöge

2204

2215

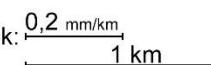
2217

2071

2219

2061

2218

Lépték:
Elmozdulások: 

Hálózat: 

ÖSSZEGZÉS

- Vízszintes értelemben nem tapasztaltunk szignifikáns elmozdulásokat, sem deformációkat.
- A 1171-es pont instabil, ennek pótlása célszerű lenne.
- Több olyan szoftvert is kifejlesztettünk, amit a későbbiekbén is tudunk használni (3D GPS hálózat kiegyenlítés, deformációanalízis)



KÖSZÖNJÜK A FIGYELMET!

