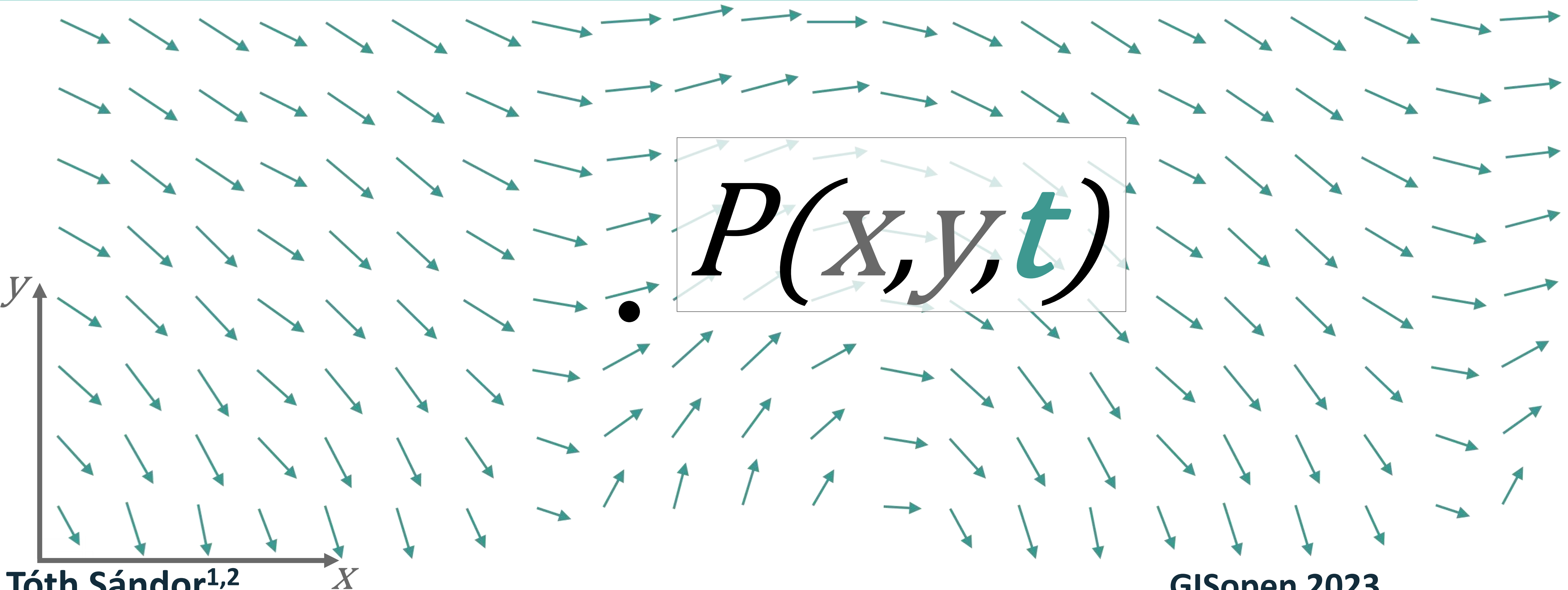


LEMEZ- ÉS FELSZÍNMOZGÁSOK HATÁSAI GEODÉZIAI SZEMSZÖGBŐL



Tóth Sándor^{1,2}

¹Kozmikus Geodéziai Obszervatórium, Lechner Nonprofit Kft.

²Általános- és Felsőgeodézia Tanszék, Építőmérnöki Kar, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

GISopen 2023

Székesfehérvár, 2023.04.28.

**1 KINEMATIKUS
VONATKOZTATÁSI
RENDSZEREK**

2 ITRS-IGS-WGS84

**3 ITRS-ETRS89
KAPCSOLATA**

**LEMEZMOZGÁS HATÁSAI
FELSZÍNMOZGÁSOK HATÁSAI**

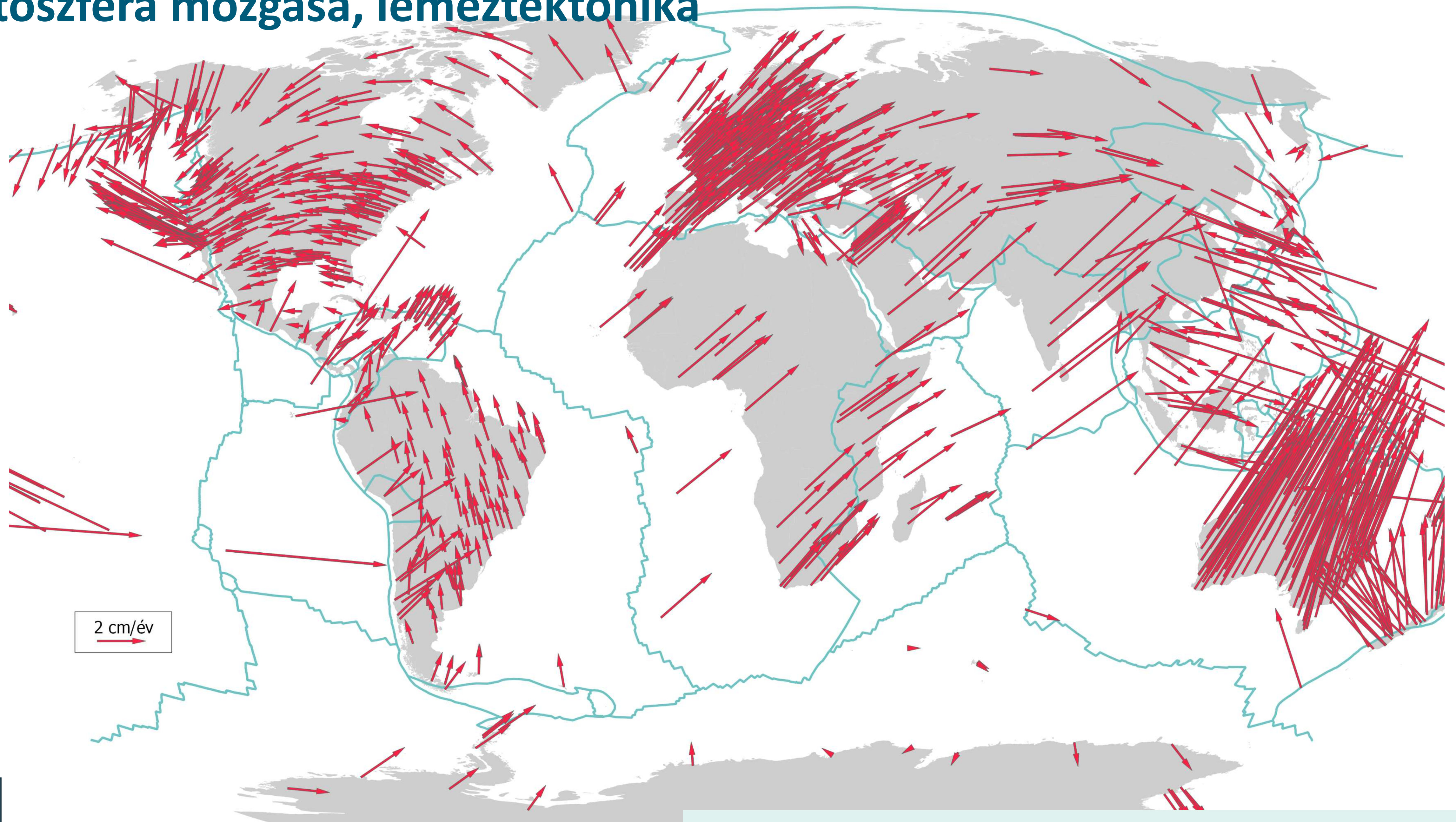
**4 HAZAI VÍZSZINTES
FELSZÍNMOZGÁSOK**

**5 AZ ORSZÁG
TERÜLETÉNEK
VÁLTOZÁSA**

**6 HAZAI MAGASSÁGI
FELSZÍNMOZGÁSOK
(EOMA 2)**

Lemezmozgás

A litoszféra mozgása, lemeztektonika

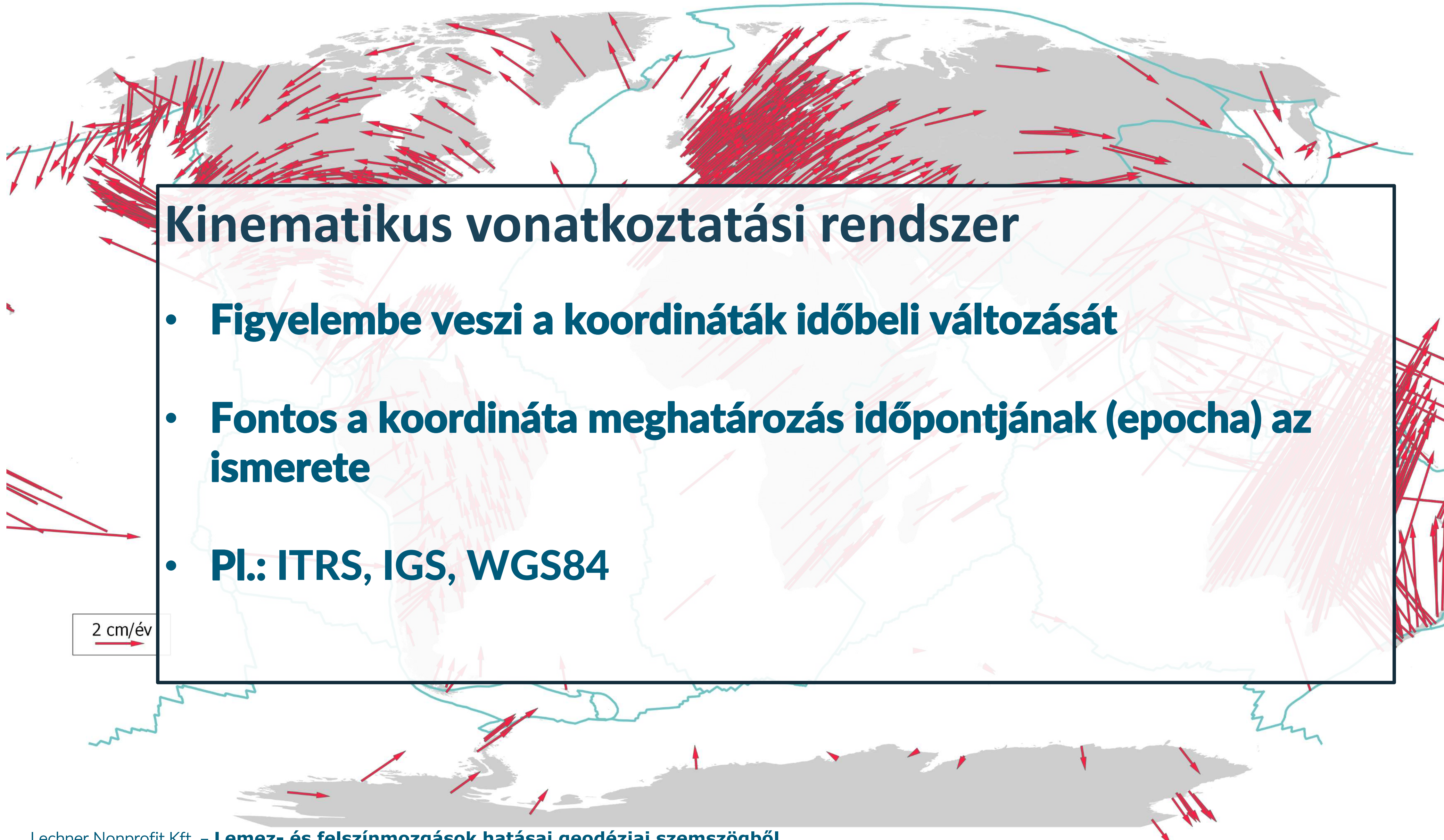


2 cm/év

GNSS állomások ITRF2020 sebesség adatai

ITRF2020_GNSS.SSC



A world map with red arrows indicating the direction and relative speed of tectonic plate movement. The arrows are more densely packed in some areas, such as the mid-Atlantic ridge and the western Pacific, and more sparse in others. The map is centered on the Atlantic Ocean.

Kinematikus vonatkoztatási rendszer

- **Figyelembe veszi a koordináták időbeli változását**
- **Fontos a koordináta meghatározás időpontjának (epocha) az ismerete**
- **Pl.: ITRS, IGS, WGS84**

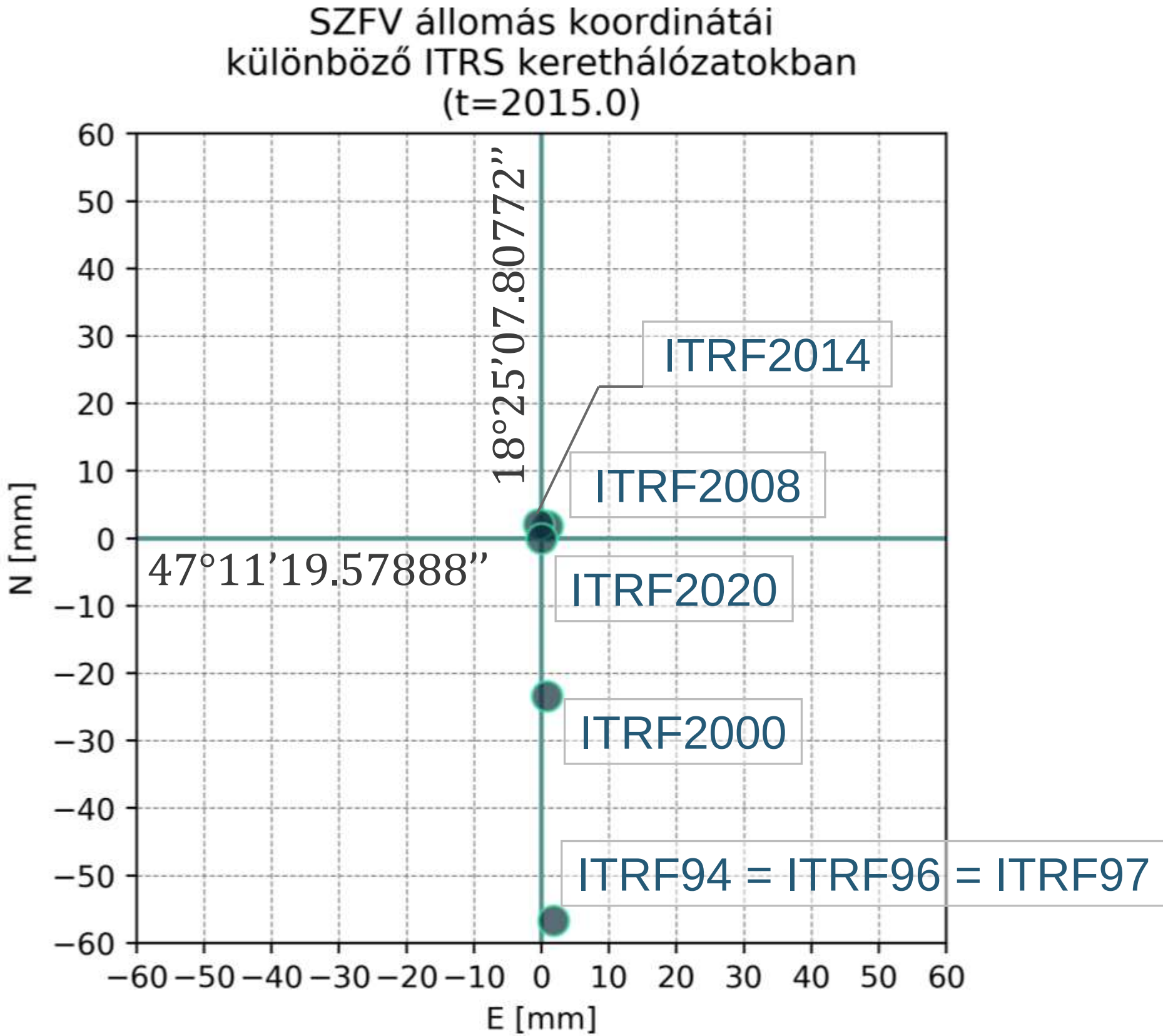
2 cm/év



ITRS – IGS – WGS 84

ITRS–International Terrestrial Reference System–*Nemzetközi Földi Vonatkoztatási Rendszer*
IGS – International GNSS Service – *Nemzetközi GNSS Szolgálat*

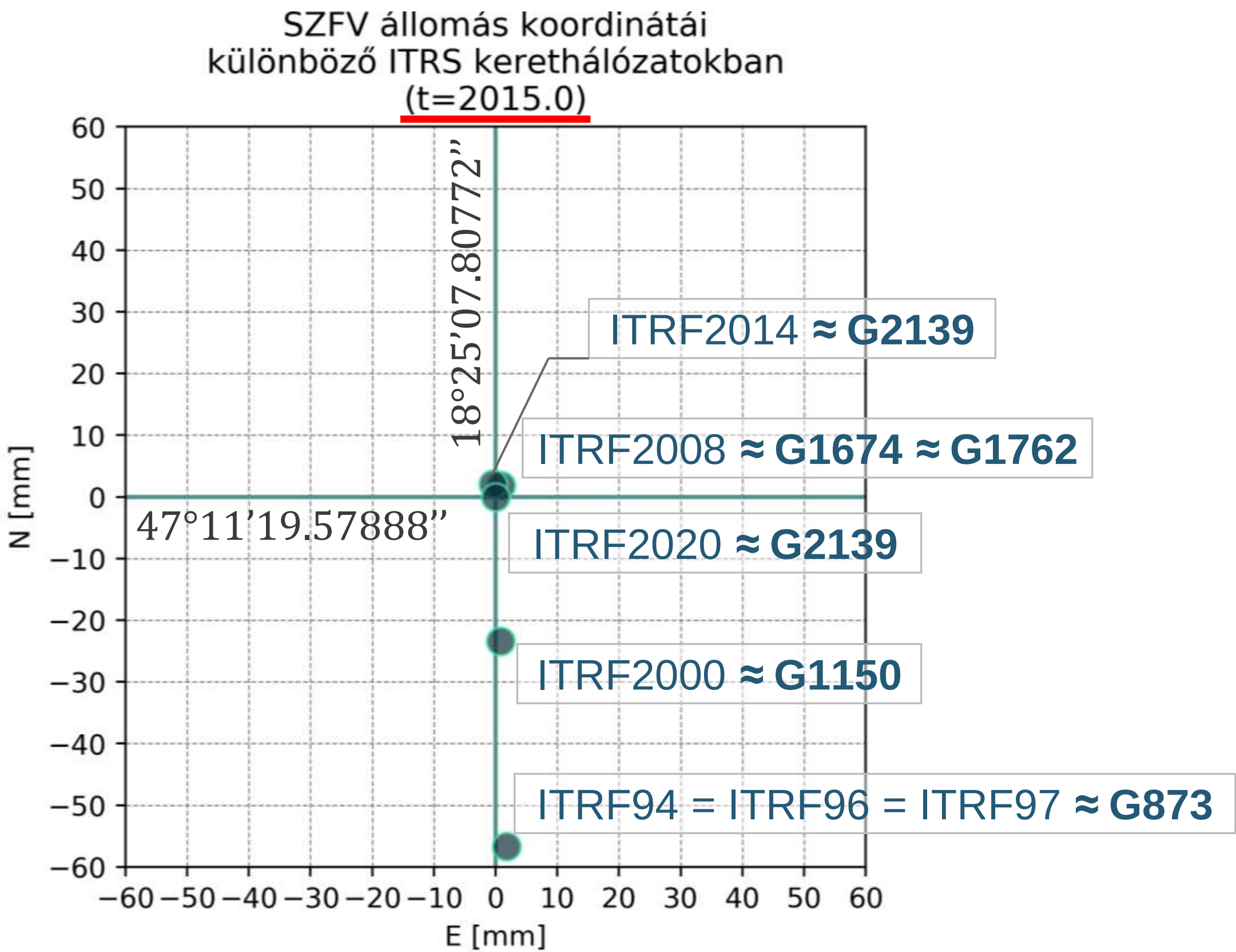
ITRS, IGS kerethálózati megoldások



ITRS kerethálózat	IGS kerethálózat	Érvényesség [GPS hét]	Bevezetés időpontja	Eltérés
ITRF88	-	0512 – 0586	1989.11.01	Transzformációs paraméterek tekintetében zérus (Az IGS kerethálózatban kevesebb állomás, néhány esetben új antenna modell alapján korrigált pozíciók.)
ITRF89	-	0587 – 0620	1991.04.01	
ITRF90	-	0621 – 0664	1991.12.01	
ITRF91	-	0665 – 0729	1992.10.01	
ITRF92	ITRF92	0730 – 0781	1994.01.02	
ITRF93	ITRF93	0782 – 0859	1995.01.01	
ITRF94	ITRF94	0860 – 0946	1996.06.30	
ITRF94 maradt	ITRF96	0947 – 1020	1998.03.01	
ITRF94 maradt	ITRF97	1021 – 1064	1999.08.01	
ITRF97	IGS97	1065 – 1142	2000.06.04	
ITRF2000	IGS00	1143 – 1252	2001.12.02	
ITRF2000 maradt	IGb00	1253 – 1399	2004.01.11	
ITRF2005	IGS05	1400 – 1631	2006.11.05	
ITRF2008	IGS08	1632 – 1708	2011.04.17	
ITRF2008 maradt	IGb08	1709 – 1933	2012.10.07	
ITRF2014	IGS14	1934 – 2105	2017.01.29	
ITRF2014 maradt	IGb14	2106 – 2237	2020.05.17	
ITRF2020	IGS20	2238 –	2022.11.27	

ITRS – IGS – WGS 84

ITRS–International Terrestrial Reference System–*Nemzetközi Földi Vonatkoztatási Rendszer*
IGS – International GNSS Service – *Nemzetközi GNSS Szolgálat*
WGS 84 – World Geodetic System 1984 – *Geodéziai Világrendszer 1984*



WGS 84 – ITRS kerethálózati eltérések

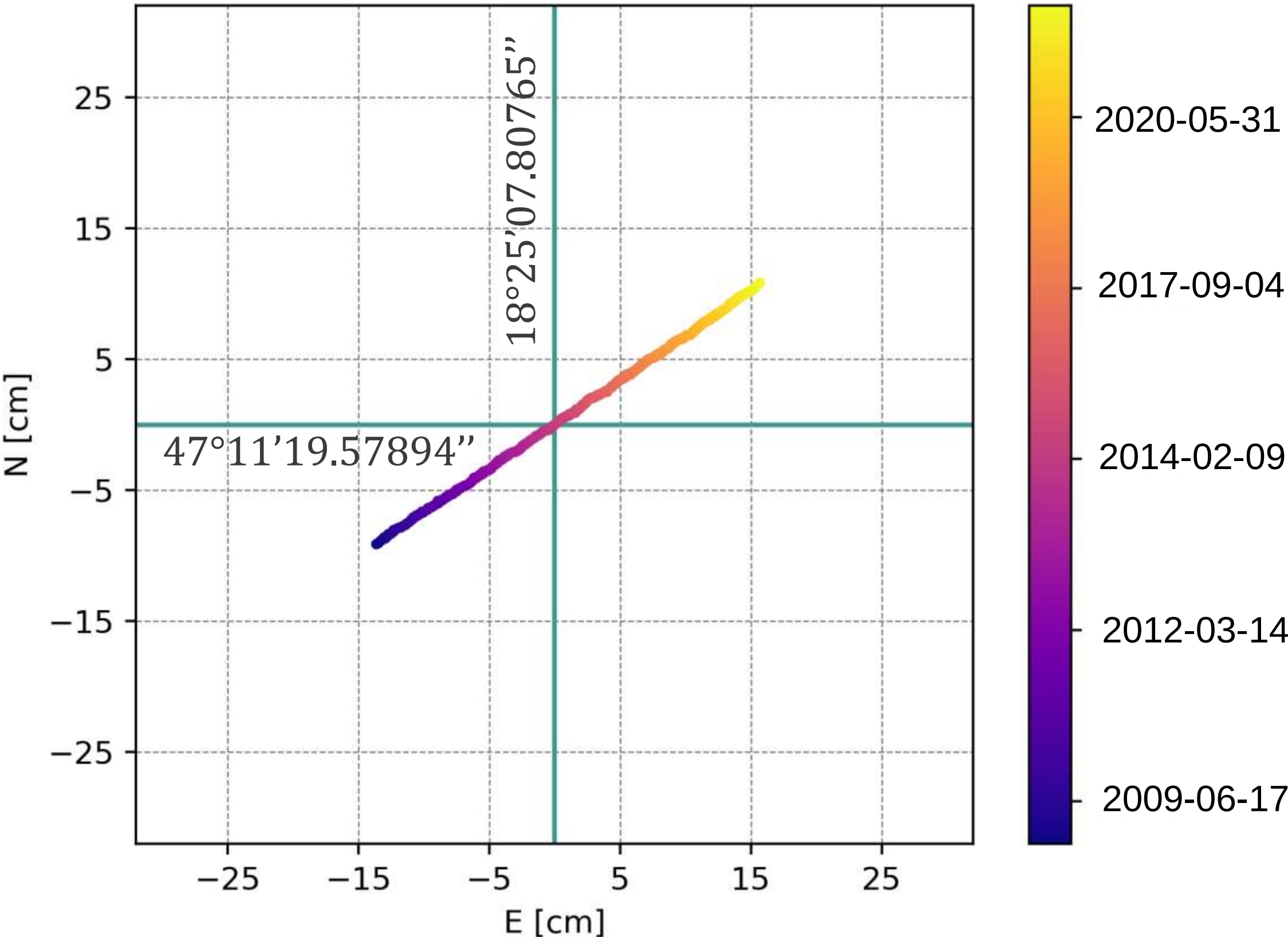
WGS 84 kerethálózat	Bevezetés időpontja	Érvényesség [GPS hét]	Összhangban Eltérés [m]	
Transit	1987	0001 – 0729	-	
G730	1994.06.29	0730 – 0872	ITRF91	0.70
G873	1997.01.29	0873 – 1149	ITRF94	0.20
G1150	2002.01.20	1150 – 1673	ITRF2000	0.06
G1674	2012.02.08	1674 – 1761	ITRF2008	0.01
G1762	2013.10.16	1762 – 2138	ITRF2008	0.01
G2139	2021.01.03	2139 –	ITRF2014	0.01



NGA (2014). Department of Defense World Geodetic System 1984: Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems. Technical Report NGA.STND.0036_1.0.0_WGS84, National Geospatial–Intelligence Agency, Arnold, MO, USA.
NGA (2021). Recent Update to WGS 84 Reference Frame and NGA Transition to IGS ANTEX. Technical report, National Geospatial–Intelligence Agency, Arnold, MO, USA.

SZFV állomás koordináta idősora ITRS-ITRF2014 rendszerben

SZFV állomás ITRF2014 koordinátáinak időbeli változása
($t_{min} = 2008.77$ $t_{max} = 2022.20$)



2.64 cm/év elmozdulás

KGO Analízis Központ heti koordináta megoldása



Koordináták időbeli változása kinematikus vonatkoztatási rendszerben

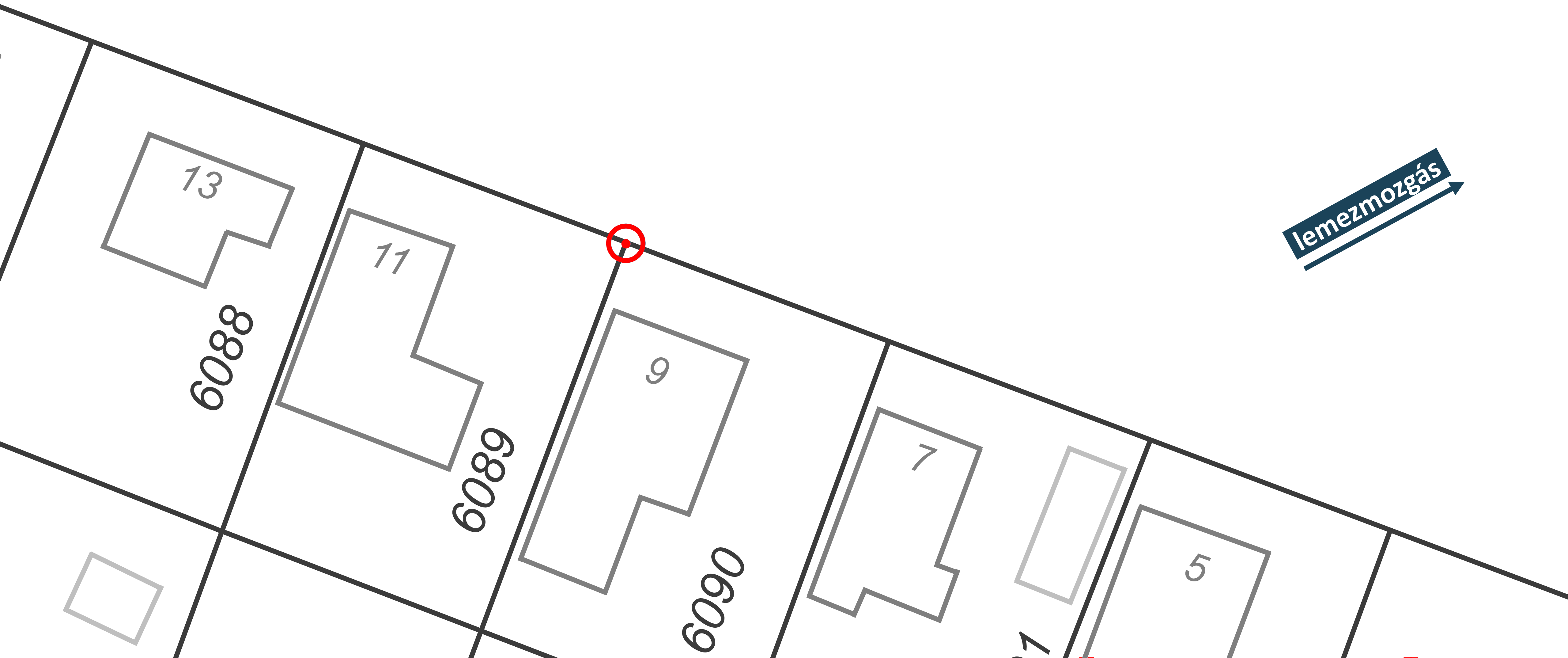
illusztráció

kinematikus:

pl.: ITRS (ITRF2014)

epocha: **1989.0**

Φ : **$47^{\circ}11'19.0000''$** Λ : **$18^{\circ}20'05.0000''$**



ETRS89

A koordináták időbeli változása miatt a kinematikus vonatkoztatási rendszerek közvetlen nem alkalmasak a téradatok optimális kezelésére.

Megoldás:

- A lemezmozgás irányának és mértékének ismeretében a mérési eredmények transzformálása közös epochára (pl.: **ETRS89**, GDA2020)

Transzofrmáció paraméterek ITRFyy -> ETRFyy

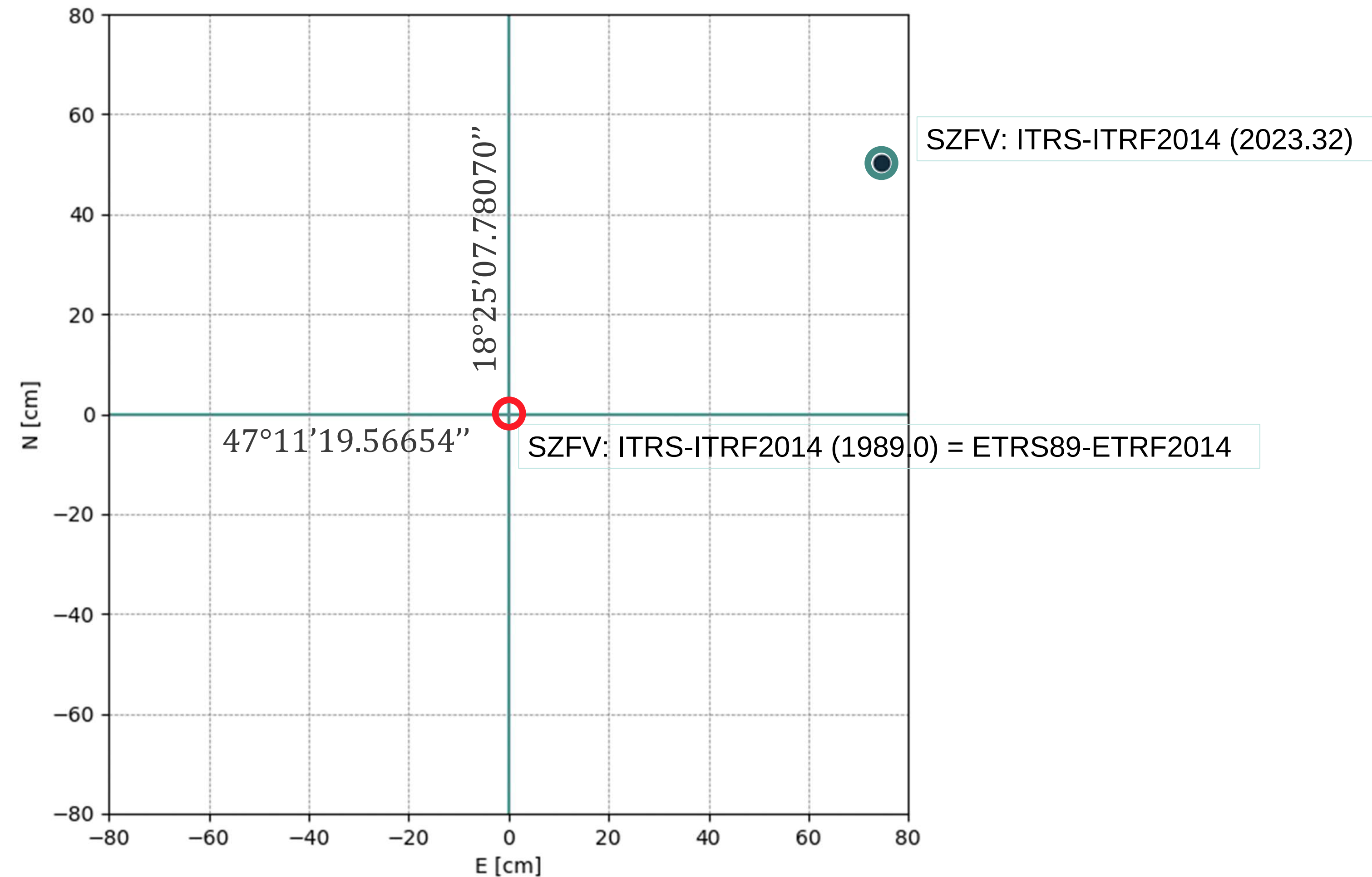
ETRFyy	T1	T2	T3	Ṛ1	Ṛ2	Ṛ3
	[mm]	[mm]	[mm]	[mas]	[mas]	[mas]
ETRF2014	0.0	0.0	0.0	0.085	0.531	-0.770
ETRF2005	56.0	48.0	-37.0	0.054	0.518	-0.781
ETRF2000	54.0	51.0	-48.0	0.081	0.490	-0.792
ETRF97	41.0	41.0	-49.0	0.200	0.500	-0.650
⋮	⋮	⋮		⋮		
ETRF89	0.0	0.0	0.0	0.110	0.570	-0.710

Az átszámításhoz használt 14 paraméteres Helmert-transzformáció nem zérus tagjai:

$$X_{yy}^E(t) = X_{yy}^I(t) + T_{yy} + \begin{pmatrix} 0 & -\dot{R}3_{yy} & \dot{R}2_{yy} \\ \dot{R}3_{yy} & 0 & -\dot{R}1_{yy} \\ -\dot{R}2_{yy} & \dot{R}1_{yy} & 0 \end{pmatrix} \times X_{yy}^I(t) \cdot (t - 1989.0)$$

ITRS – ETRS89 transzformáció vizuális értelmezése

SZFV allomas ITRS-ITRF2014 (2023.32) koordináta
transzformalasa ETRS89-ETRF2014 rendszerbe



$$X_{yy}(2023.25) = X_{I14}(2023.32) + T_{I14} + R_{I14} \times X_{I14} \cdot (2023.32 - 2023.25)$$



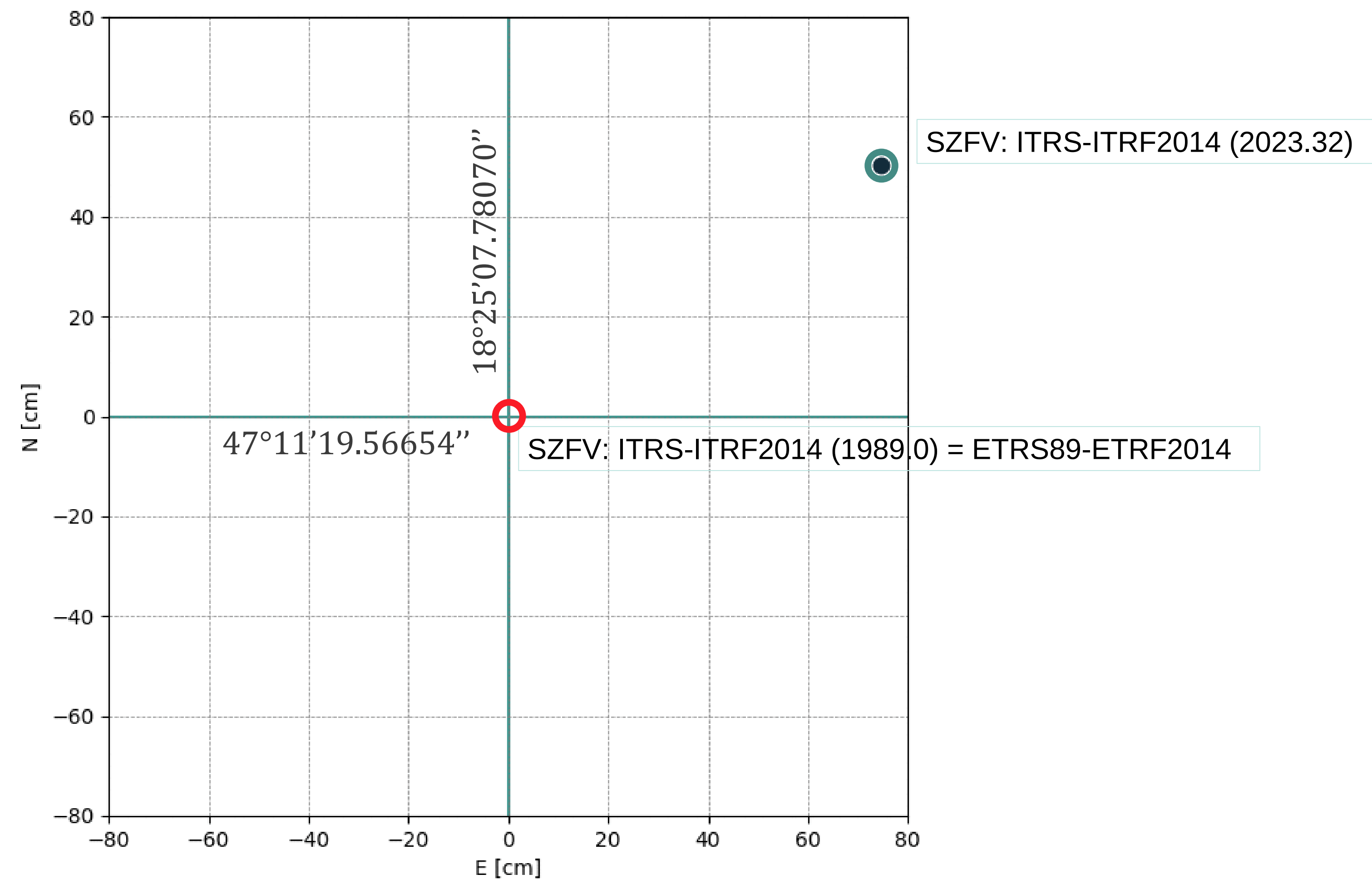
Referencia időpont (Kell: 1989.0)

Pont meghatározás időpontja



ITRS – ETRS89 transzformáció vizuális értelmezése

SZFV allomas ITRS-ITRF2014 (2023.32) koordináta
transzformalasa ETRS89-ETRF2014 rendszerbe



$$X_{yy}(2023.25) = X_{I14}(2023.32) + T_{I14} + R_{I14} \times X_{I4} \cdot (2023.32 - 2023.25)$$



Referencia időpont (Kell: 1989.0)

Pont meghatározás időpontja



ITRS – IGS – WGS84 – ETRS89

Milyen rendszerben kapjuk meg a GNSS mérési eredményeinket?

ETRS89-ETRF2000 : Ha GNSSnet.hu/OGPSH hálózatkora támaszkodva végzünk helymeghatározást

ITRFyy/IGSyy: PPP technológia esetén

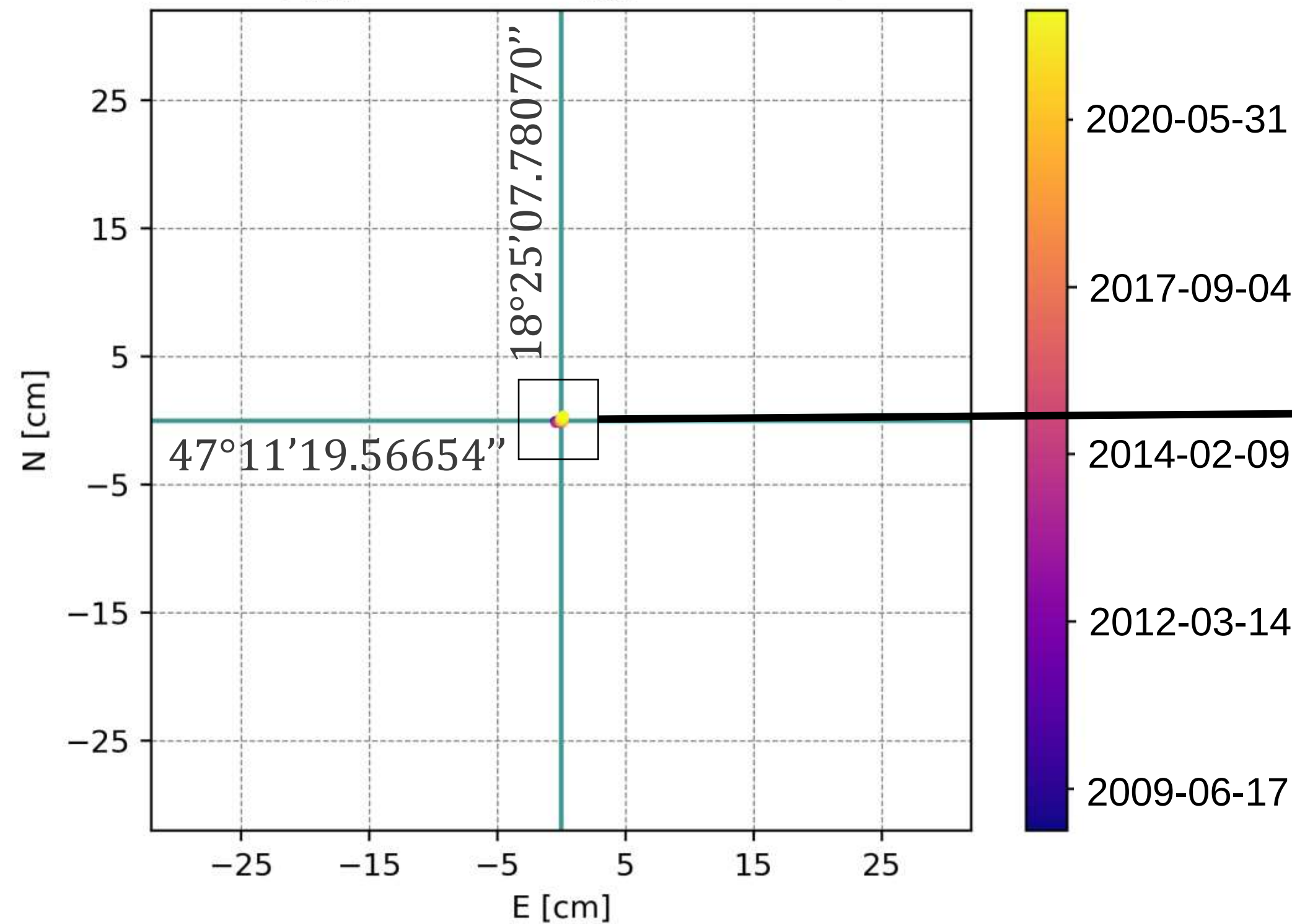
WGS84-Gyyyy: abszolút helymeghatározás GPS fedélzeti pályaadatok alapján (pl.: mobil eszközzel kódmérésre alapozva)



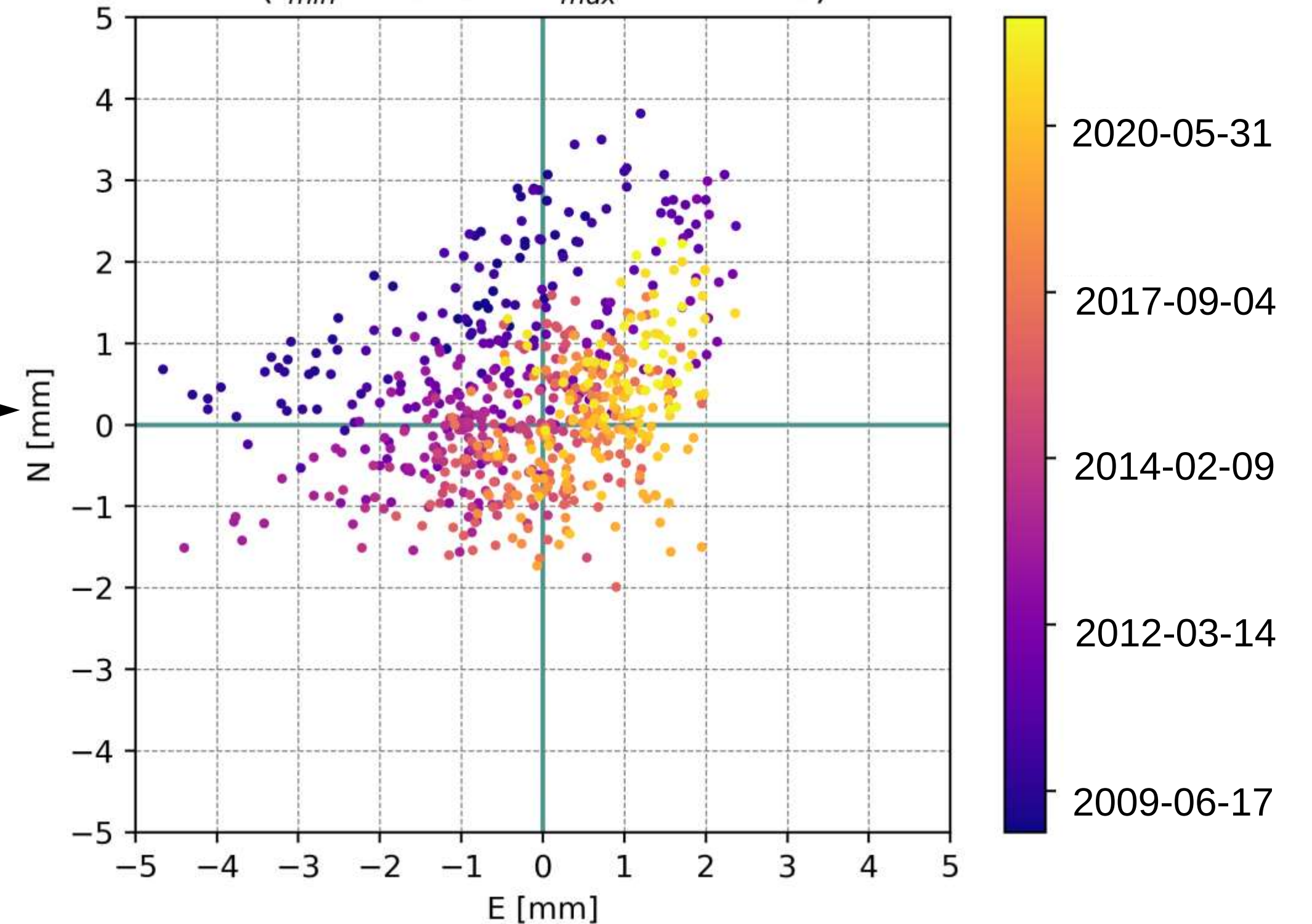
Felszínmozgások

A helyi felszínmozgások hatása az állomás koordináták vonatkozásában

SZFV állomás ETRF2014 koordinátáinak időbeli változása
($t_{min} = 2008.77$ $t_{max} = 2022.20$)

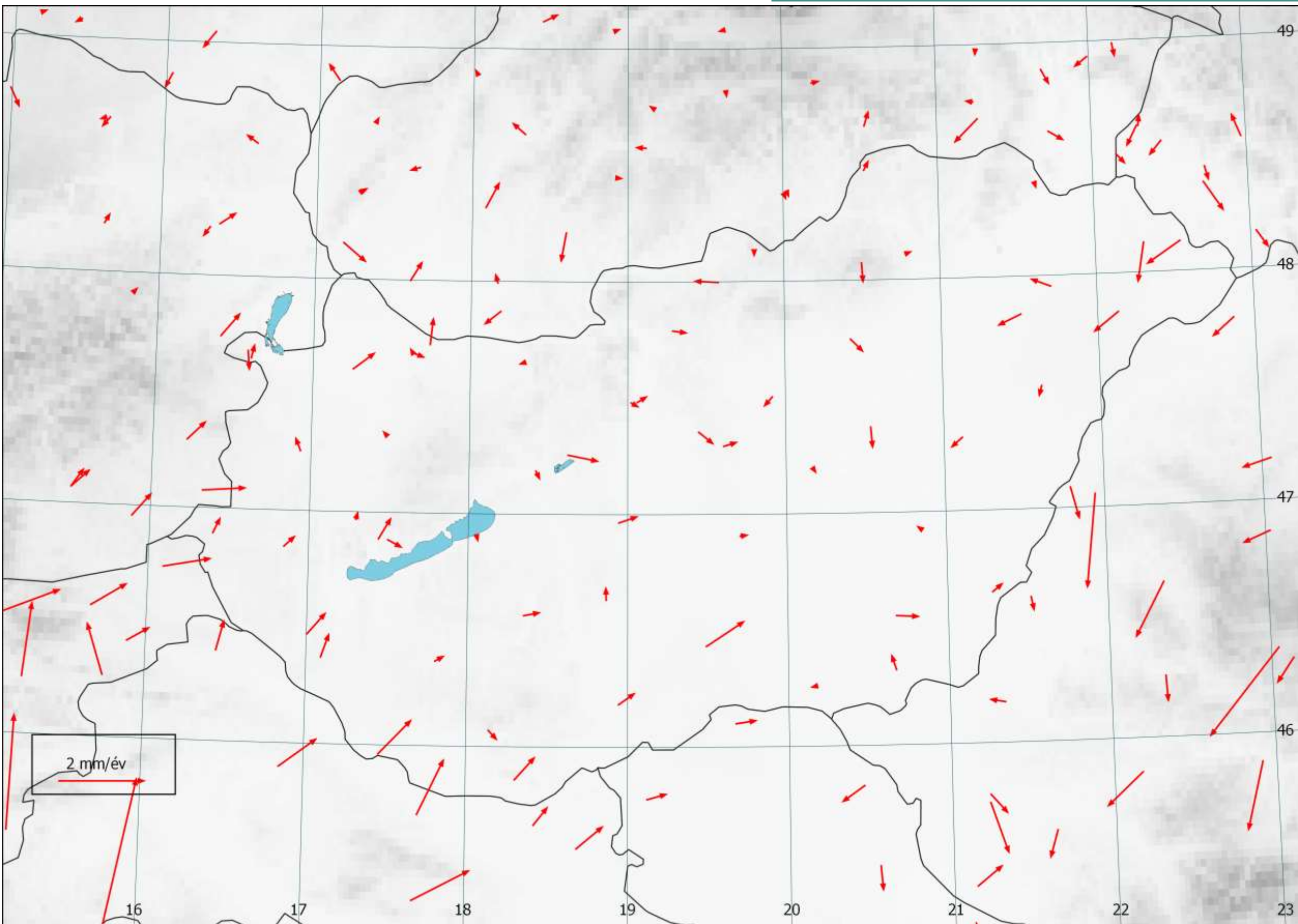


SZFV állomás ETRF2014 koordinátáinak időbeli változása
($t_{min} = 2008.77$ $t_{max} = 2022.20$)

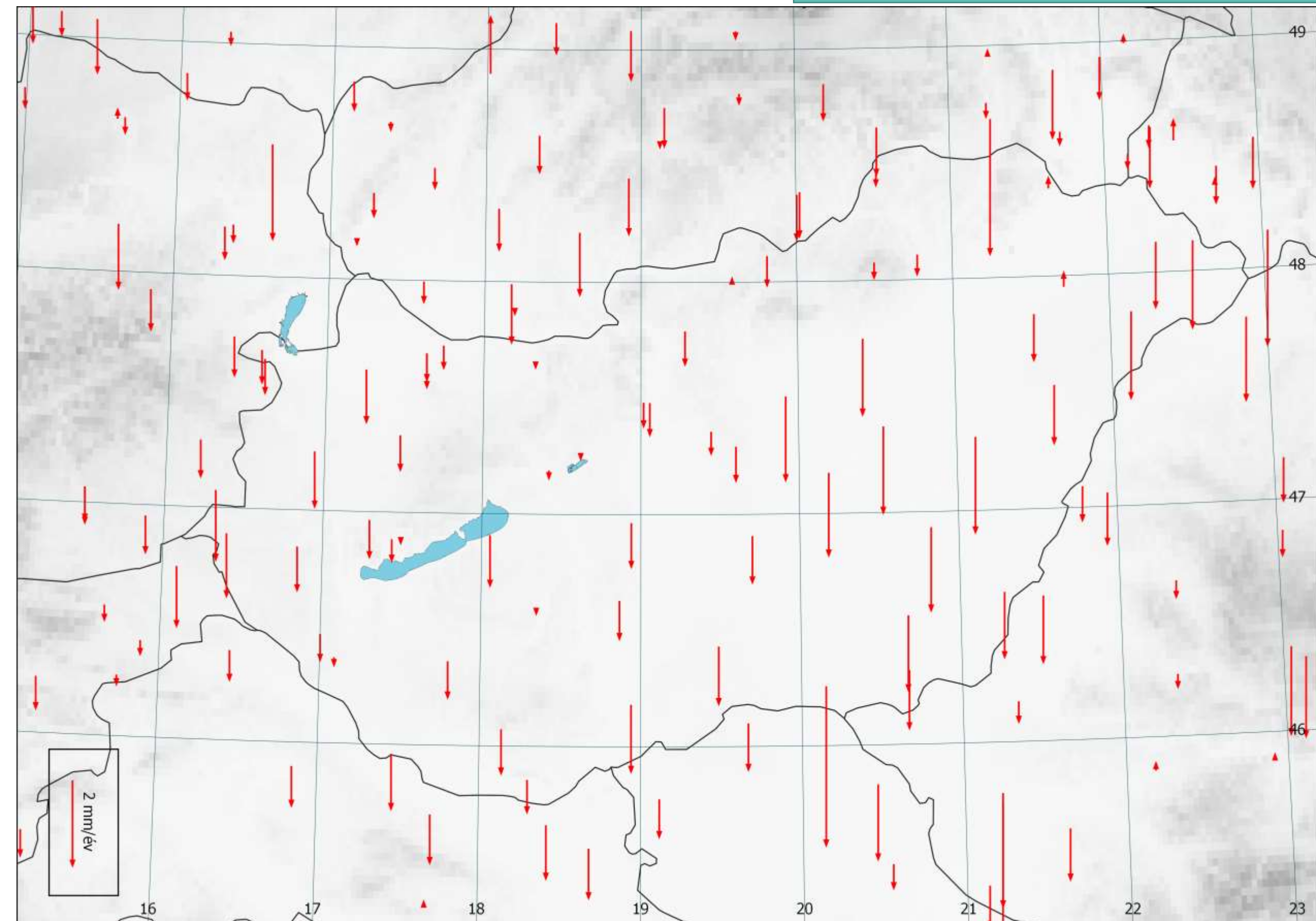


Hazai felszínmozgások – GNSS állomások sebesség (mm/év) értékei

Horizontális komponens

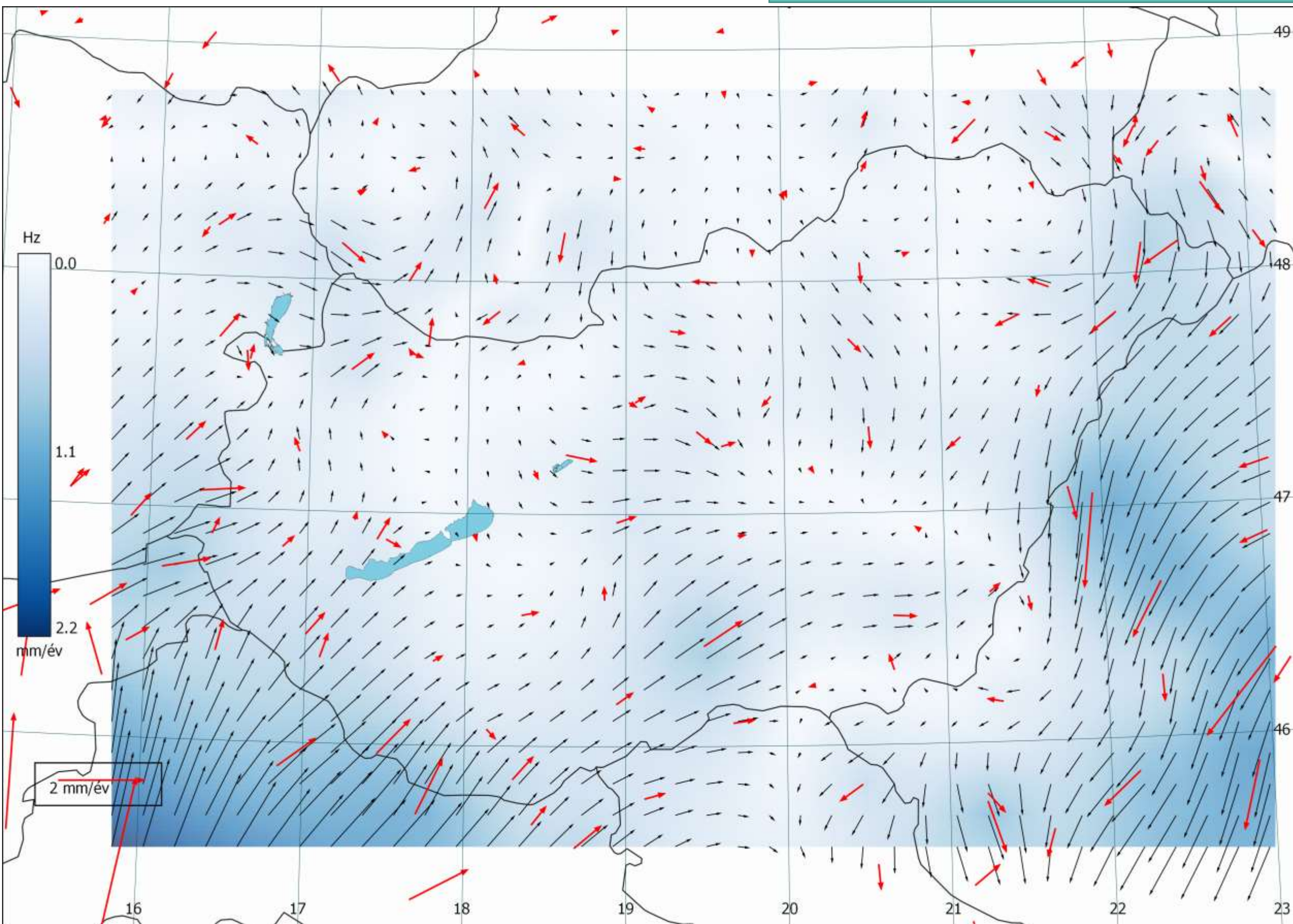


Vertikális komponens

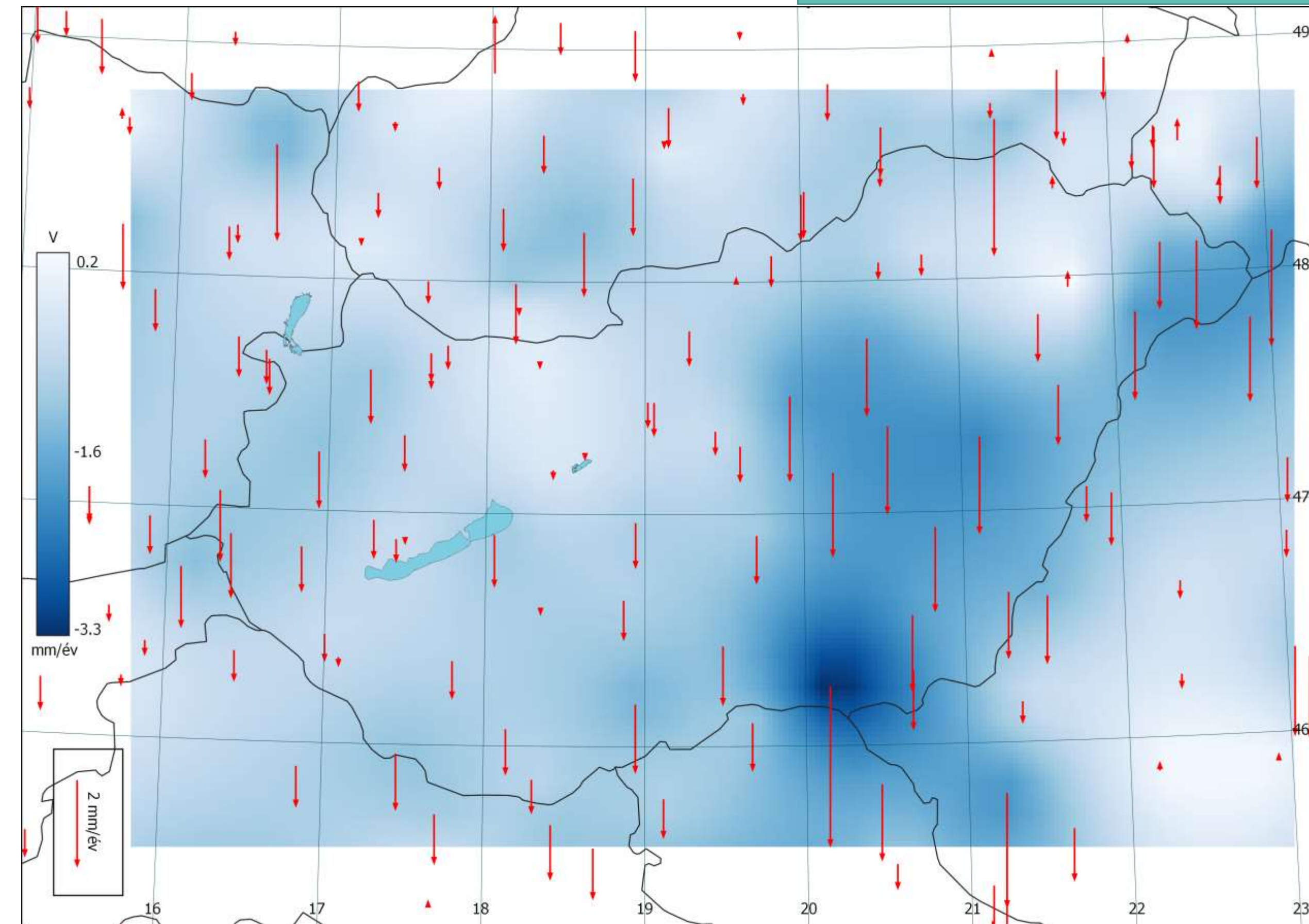


Hazai felszínmozgások – GNSS állomások sebesség ($\text{mm}/\text{év}$) értékei rácshálóra interpolálva

Horizontális komponens



Vertikális komponens

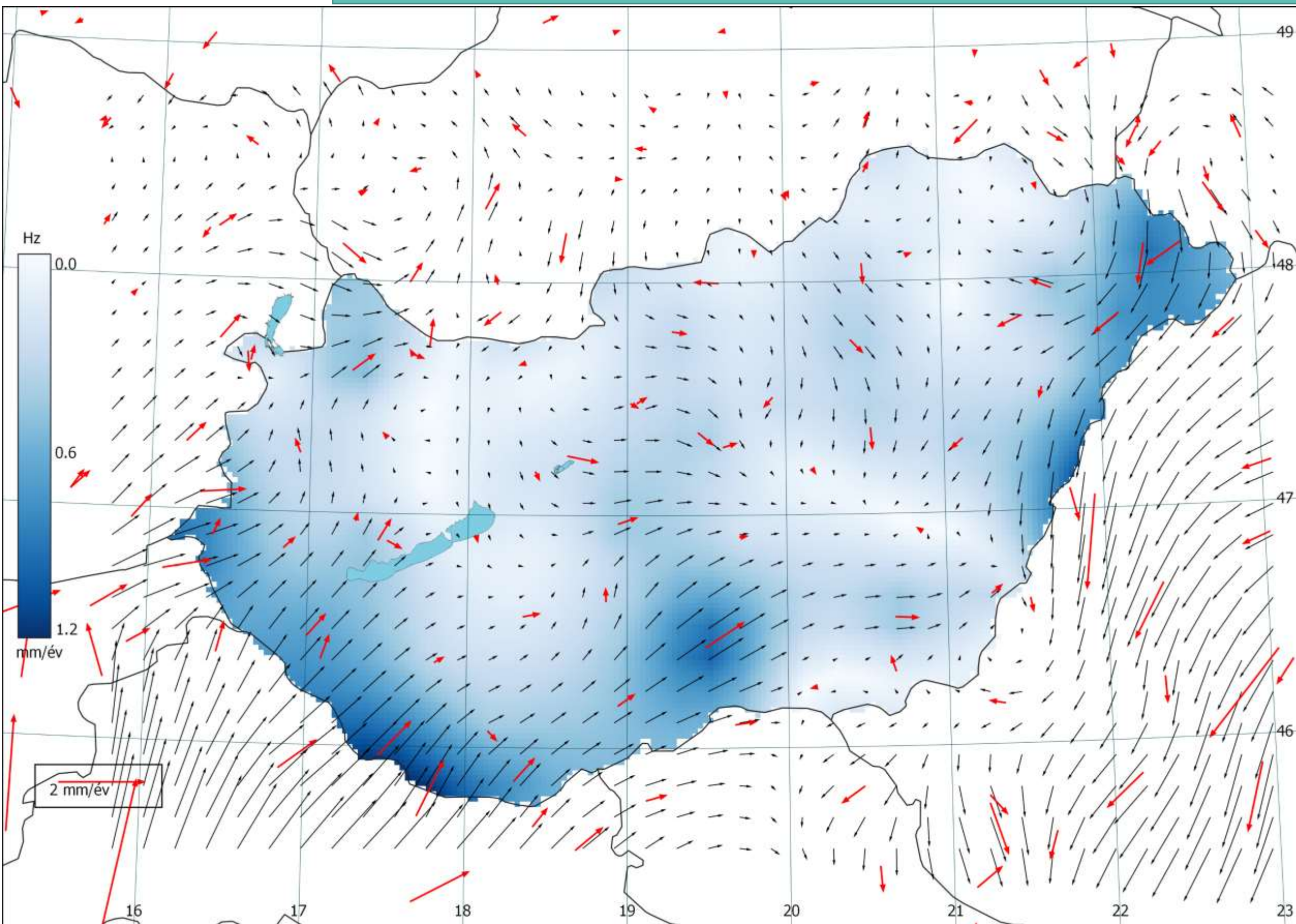


Módszer: legkisebb négyzetes kollokáció
Rácsméret: 15 km (medián állomástávolság fele)

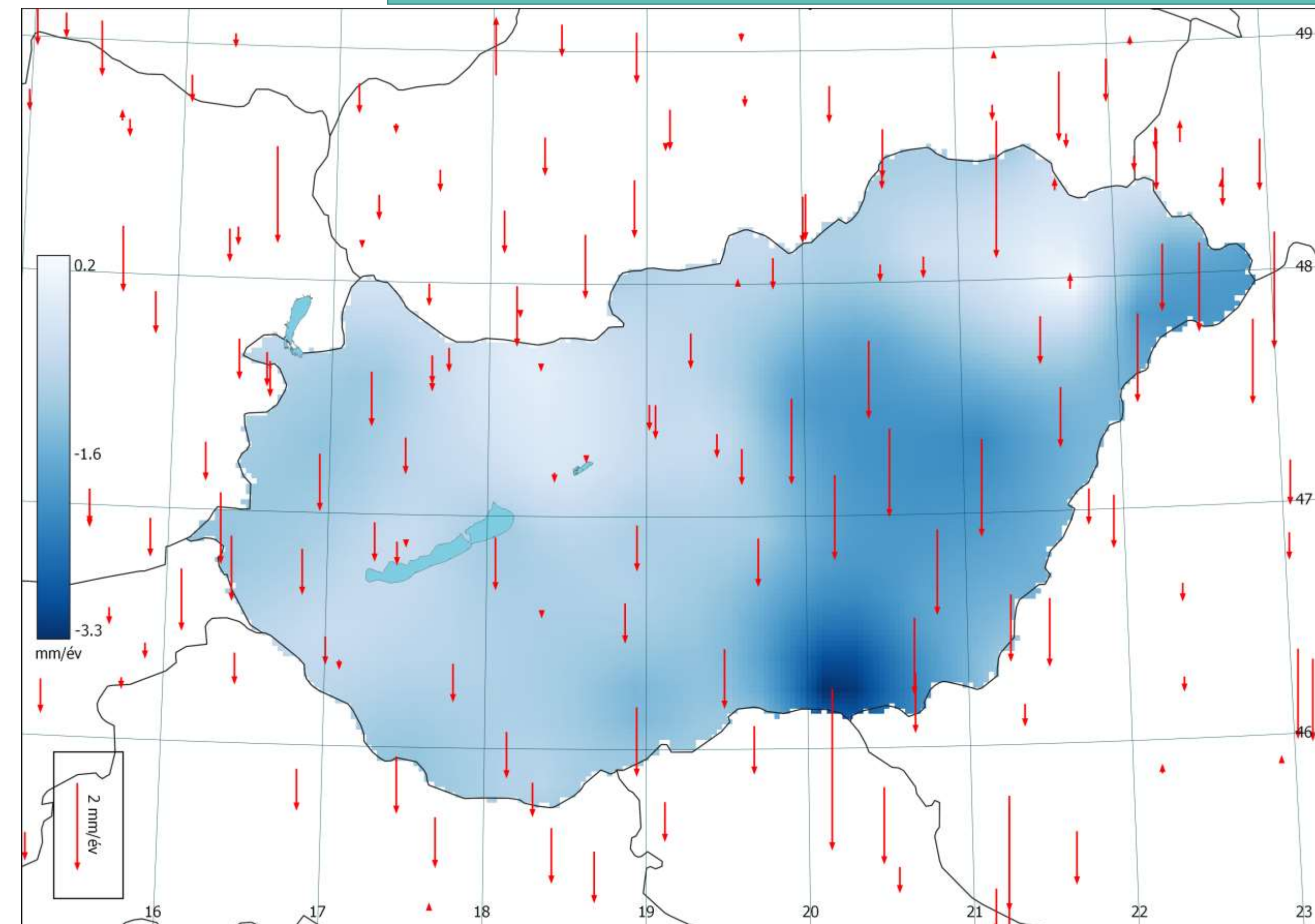
Felhasznált állomások adatforrása: EPND, NGL
Hazai állomások száma: 56 db (GNSSnet.hu, MGGA) ¹⁷

Hazai felszínmozgások – GNSS állomások sebesség (mm/év) értékei rácshálóra interpolálva

Horizontális komponens (országhatáron belül)



Vertikális komponens (országhatáron belül)



Módszer: legkisebb négyzetes kollokáció
Rácsméret: 15 km (medián állomástávolság fele)

Felhasznált állomások adatforrása: EPND, NGL
Hazai állomások száma: 56 db (GNSSnet.hu, MGGA) ¹⁸

Vízszintes felszínmozgások

Hazai vízszintes értelmű felszínmozgások – *Gyakorlati következmények*

- A HD72 (EOVA) koordinátákra gyakorolt hatása elhanyagolható
- Átlag: 0.3 mm/év
- Maximum: 1.2 mm/év (Felsőszentmárton)

Egy érdekes gyakorlati következmény:

Az ország területének változása

Feltételezve, hogy a fizikai kövek által határolt terület jelenti az ország területét, nem pedig a kövek nyilvántartott koordinátái által határolt terület, (a kő elmozdul, a koordináta statikus rendszerben mozdulatlan marad) a felszínmozgások következtében az ország területe folyamatosan változik.



Hazai vízszintes értelmű felszínmozgások – *Az ország területének változása; előzmények*

1

„...hazánk területe évről évre mintegy **5–6 ezer négyzetméterrel** csökken. Ez indokolja a jelenség cseppet sem tudományos, de annál elméesebb elnevezését: >>geológiai Trianon<<”

2

„...az ország területe hozzávetőlegesen évi kb. **800 m²-rel**, egy kézilabdapálya méretével csökken.”



CZEGLÉDI ZSOLT / MTI



TUDOMÁNY

Folyamatosan csökken Magyarország területe



Bihari Dániel



2021. 01. 17. 07:01

A tektonikai mozgások miatt hazánk kelet-nyugati irányban folyamatosan zsugorodik, évente egy fél hektárnyi – egy átlagos focipályányi – terület vesz el, ezt nevezhetjük akár „geológiai Trianonnak” is. Ugyanez az erő lassan megszünteti a Földközi-tengert és összeolvasztja Európát Afrikával.

A tavaly év végi, 6,4-es horvátországi földrengés utórengei máig tartanak – a legutóbbi, itthon is érezhető mozgás múlt vasárnap volt –, és a petrinyai térség várhatóan még napokig, hetekig „recsegni” fog. A témával kapcsolatban korábban arról írtunk, hogy a földmozgást alapvetően az afrikai és az eurázsiai kőzetlemez ütközése okozta, a két tömb évente nagyjából hat milliméteres sebességgel préselődik egymáshoz – a gigantikus erők munkája aktívan formálja az egész földfelszínt, így hazánk és térségünk topográfiáját is.

Az eredmény pedig, hogy tíz- és százmillió évek múlva már hiába keresnénk a Földközi-tengert, és azt sem tudnánk megmondani, hol ér véget Európa és hol kezdődik Afrika. Érdekességgé pedig a „geológiai Trianonként” is nevezett jelenség:

Magyarország nyugatról északkeleti irányba „nyomódik össze”, hazánk



Lechner Nonprofit Kft. – **Lemez- és felszínmozgások hatásai geodéziai szemszögből**

¹<https://24.hu/tudomany/2021/01/17/trianon-foldrenges-karpat-medence-adria-karpat-medence-geologia/>

²https://www.urvilag.hu/foldmeresi_es_taverzekelesi_int./20060702_a_gps_technika_csucspontossaga_keregmozgasvizsgalat_2resz

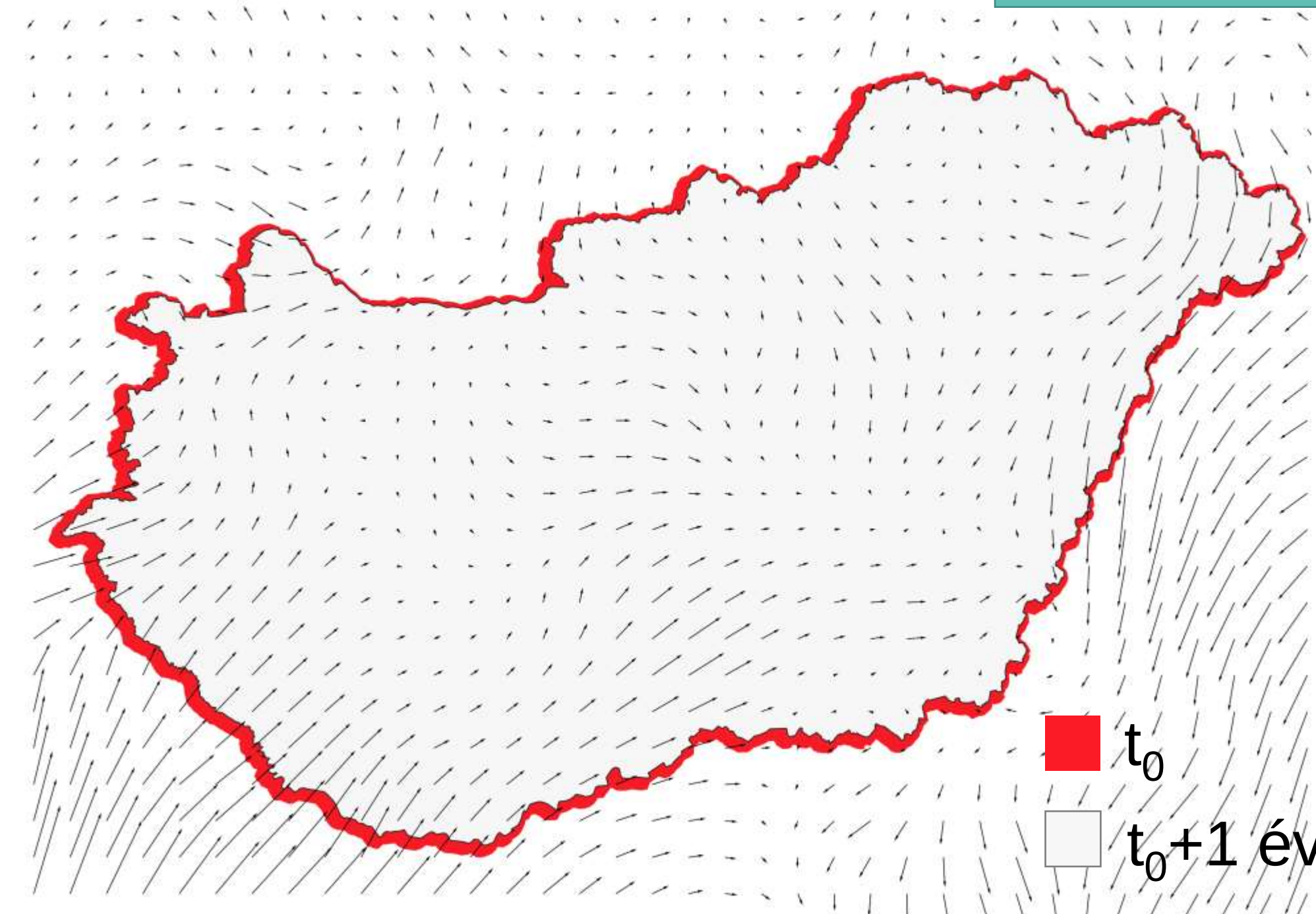
Hazai vízszintes értelmű felszínmozgások – Az ország területének változása

Változás egy éves mértékének kimutatása:

1. A bemutatott sebességmodellt felhasználva, minden egyes határpont egy éves elmozdulásának számítása
2. Az eredeti és az új (elmozdult) helyen lévő pontok által határolt területek különbségének meghatározása

illusztráció

	EOV síkon
Magyarország területe ¹ (t_0)	93 011 658 140.5684 m²



¹Országhatár koordináták forrása (48 280 db töréspont):

Lechner Nonprofit Kft. - Alaphálózati és Államhatárügyi Osztály (Varga Norbert)



Hazai vízszintes értelmű felszínmozgások – *Vektormezőben (sebességmodell) egy pont útvonalának meghatározása*

$$\frac{dx}{dt} = v(t, x)$$

$$x_{i+1} = x_i + \int_{t_i}^{t_{i+1}} v(x) dt$$

negyedrendű Runge-Kutta:

$$x_{i+1} = x_i + \frac{h}{6} (a + 2b + 2c + d)$$

$$a = v(t_i, x_i)$$

$$b = v\left(t_i + \frac{h}{2}, x_i + a \frac{h}{2}\right)$$

$$c = v\left(t_i + \frac{h}{2}, x_i + b \frac{h}{2}\right)$$

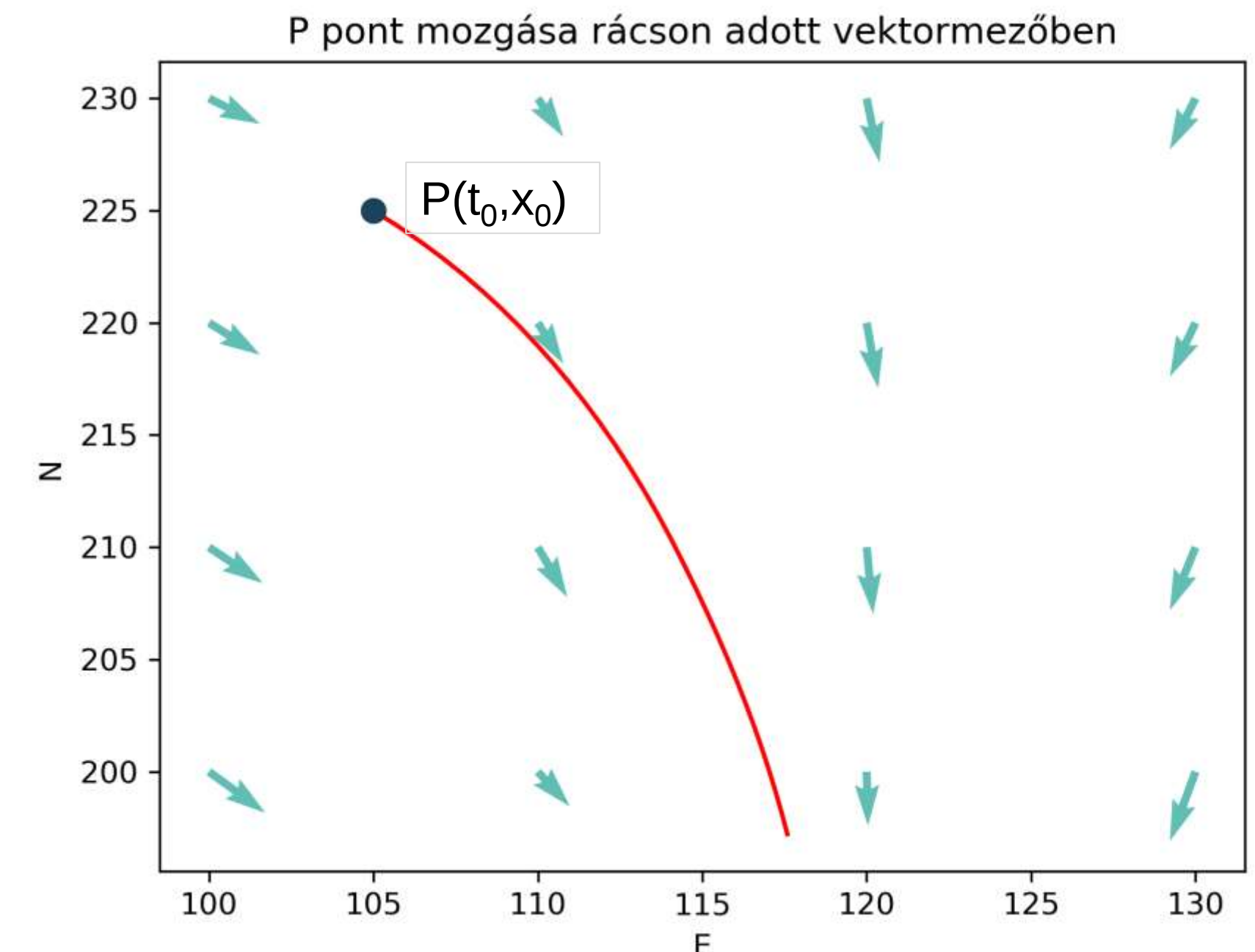
$$d = v(t_i + h, x_i + c h)$$



Kezdeti érték feladatként megoldható közönséges differenciál egyenlet

Megoldás:

- Adott lépésközönként (h) az eredeti függvény érték meghatározása az egyenletben szereplő derivált numerikus integrálásával



Hazai vízszintes értelmű felszínmozgások – Az ország területének változása – Eredmények

Az ország területének változása egy év alatt:

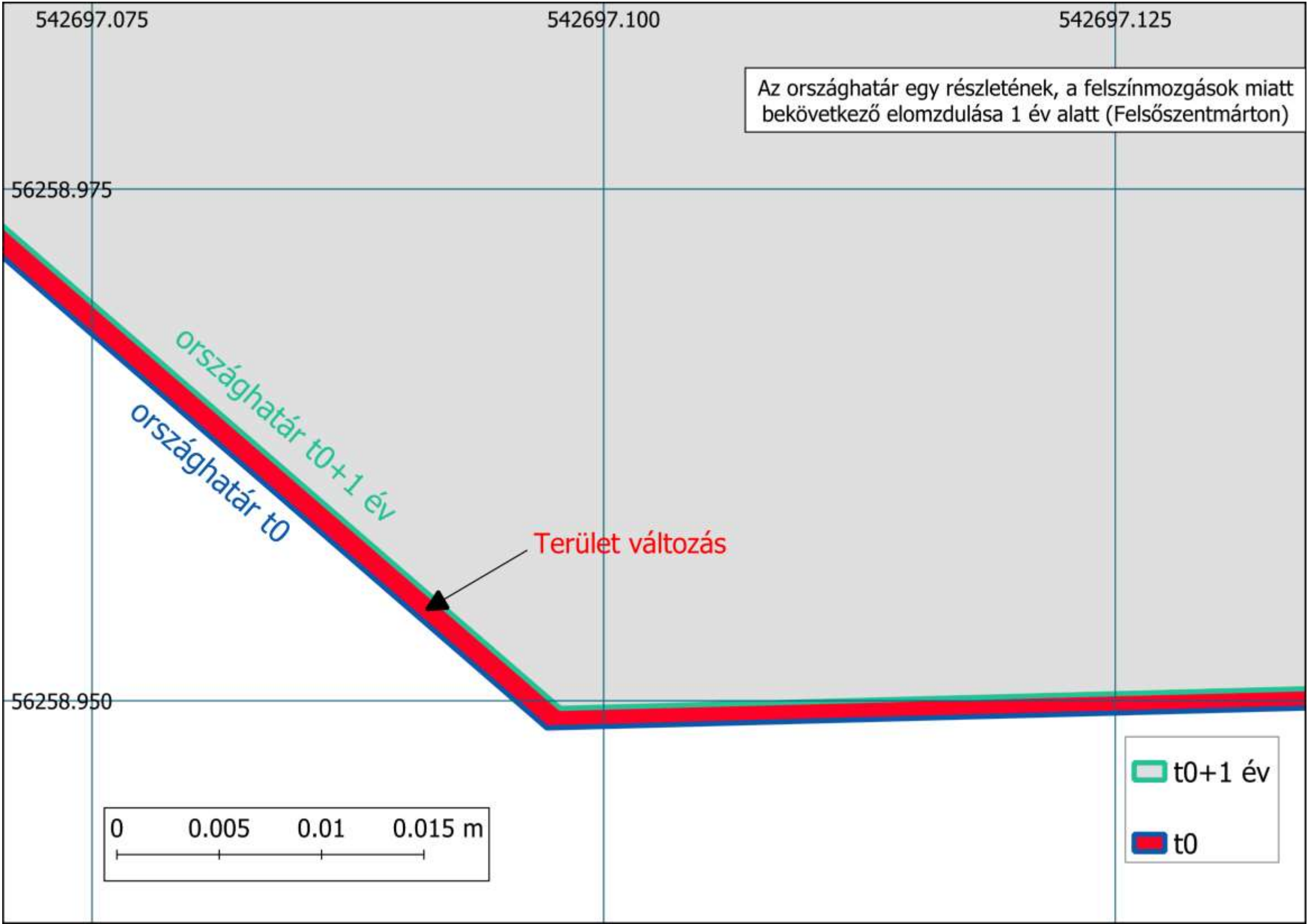
-260,96 m²

Terület változás [m ²]	
t ₀ + 1 év	-260.955
t ₀ + 10 év	-2609.537



IUGG67 ellipszoidon: -260,90 m²

Az országhatár elmozdulása egy év alatt
Felsőszentmárton környékén

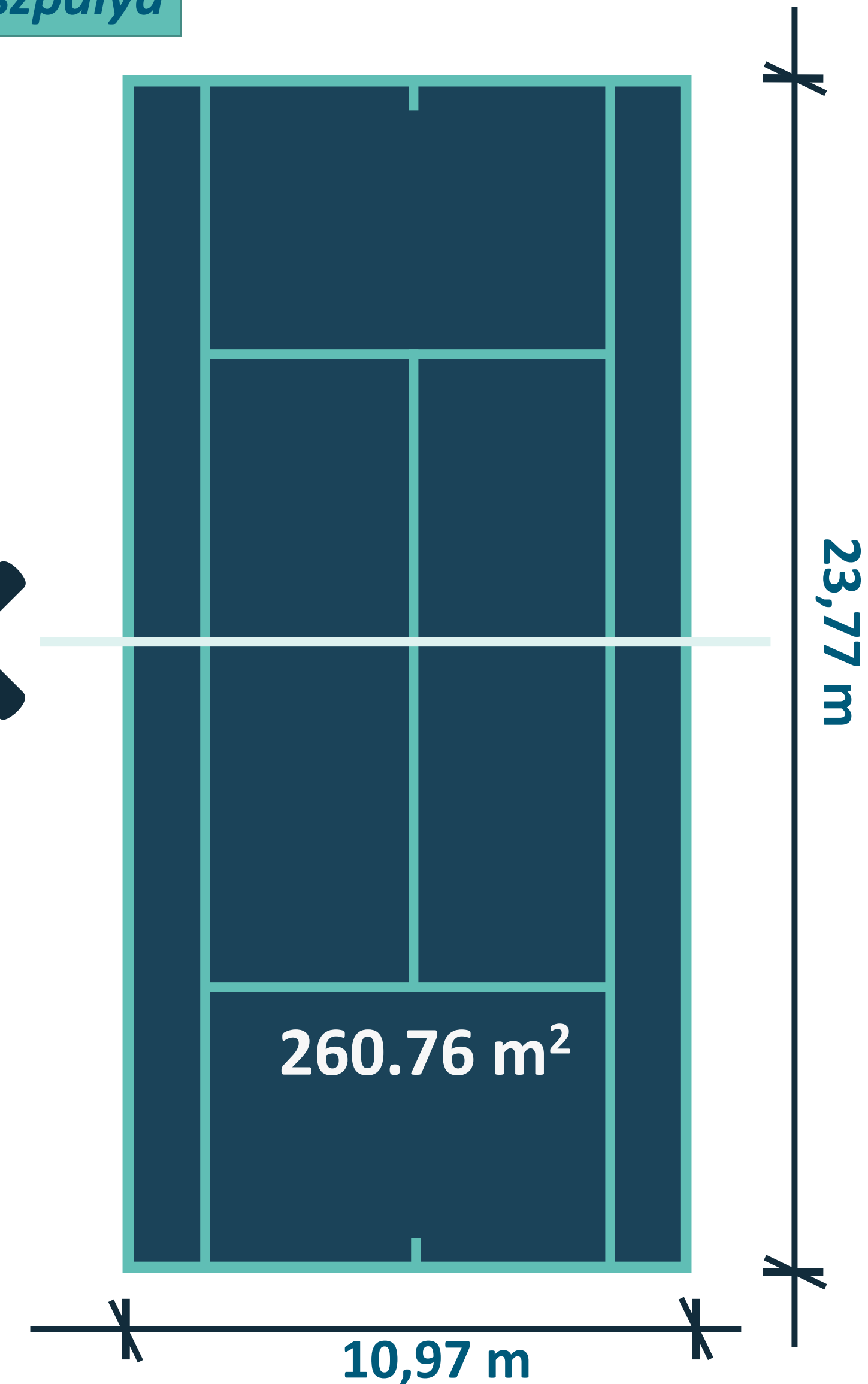


Hazai vízszintes értelmű felszínmozgások – Az ország területének változása – Eredmények

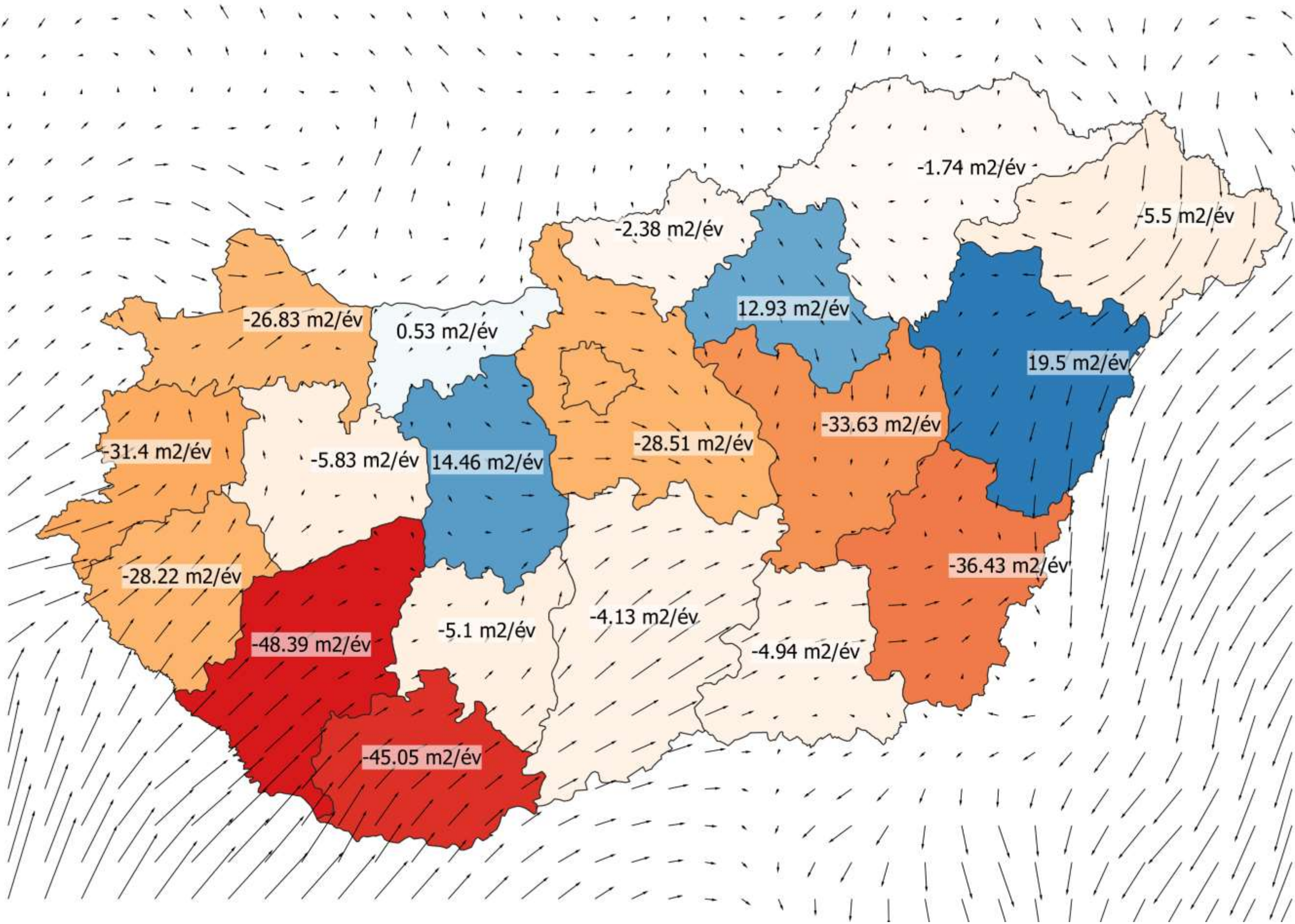
Az ország területének változása egy év alatt:

-260,96 m²

~1 ×



Hazai vízszintes értelmű felszínmozgások – Megyék területének változása



megye	t ₀ [m ²]	t ₀ +1 év [m ²]	változás [m ²]
Bács-Kiskun	8318431240.03	8318431235.90	-4.13
Baranya	4485733750.36	4485733705.32	-45.05
Békés	5654007843.92	5654007807.49	-36.43
Borsod-Abaúj-Zemplén	7247066412.28	7247066410.57	-1.71
Csongrád	4322585712.36	4322585707.43	-4.94
Fejér	4349120512.90	4349120527.36	14.46
Győr-Moson-Sopron	4242711254.20	4242711227.37	-26.83
Hajdú-Bihar	6324236858.84	6324236878.33	19.50
Heves	3596118004.21	3596118017.14	12.93
Jász-Nagykun-Szolnok	5500541897.08	5500541863.45	-33.63
Komárom-Esztergom	2229952561.92	2229952562.45	0.53
Nógrád	2562890223.39	2562890221.01	-2.38
Pest+Budapest	7055511966.43	7055511937.93	-28.51
Somogy	5956807746.45	5956807698.06	-48.39
Szabolcs-Szatmár-Bereg	5949427231.85	5949427226.35	-5.50
Tolna	3746626416.04	3746626410.94	-5.10
Vas	3379356596.71	3379356565.31	-31.40
Veszprém	4312408905.23	4312408899.40	-5.83
Zala	3819199973.03	3819199944.81	-28.22

Megyék határvonalának forrása: https://www.geoboundaries.org/data/1_3_3/zip/shapefile/HUN/HUN_adm1.shp.zip



Magassági felszínmozgások

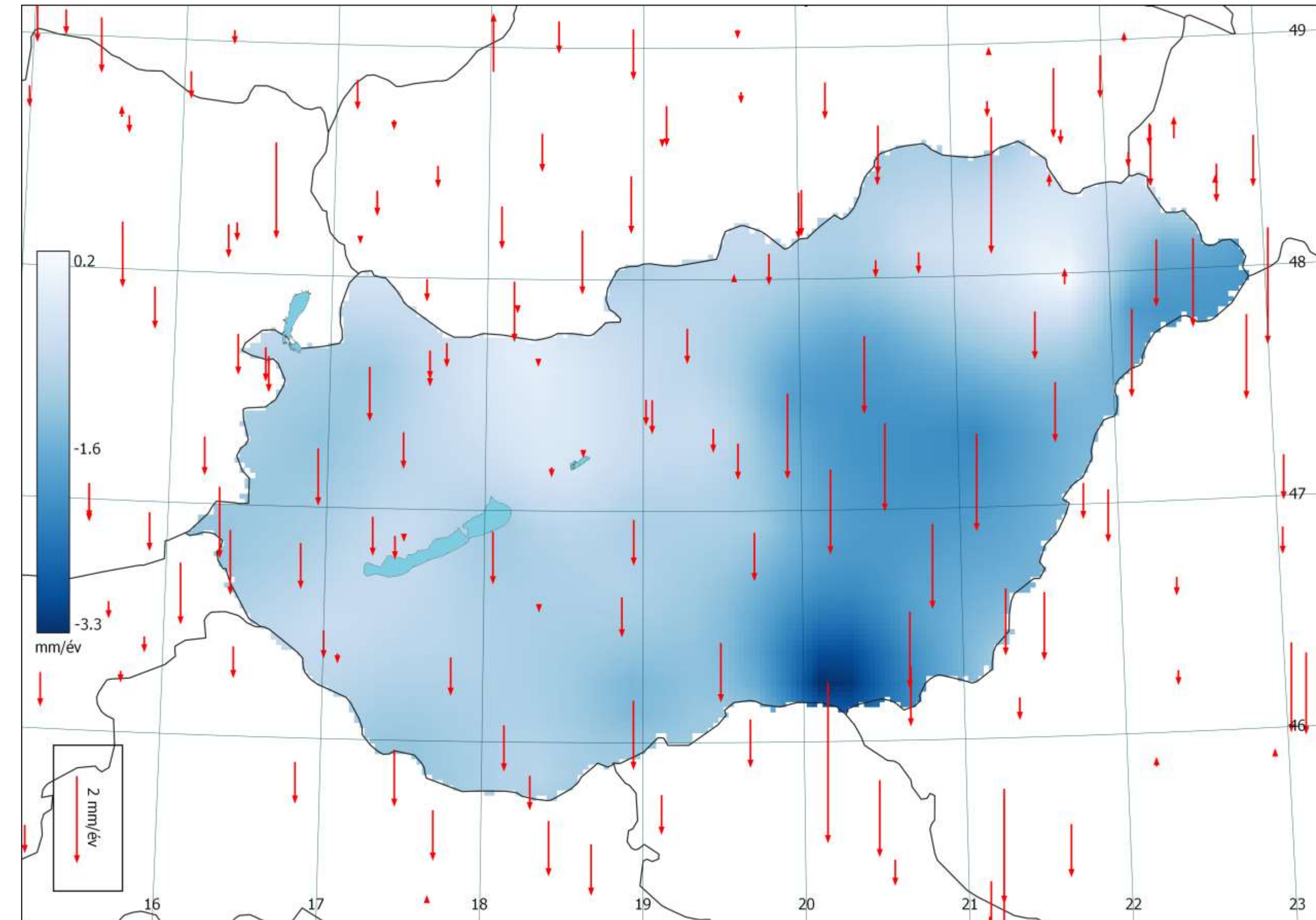
EOMA 2

Magasság értelmű felszínmozgások hazánkban

Nem elhanyagolható, mert:

- léptéke az ország jelentős részén fél nagyságrenddel nagyobb a vízszintes felszínmozgásokétól,
- az EOMA homogenitását erősen rontja,
- a magasság meghatározásban a *mm*-es pontosságnak van jelentősége országos rendszerben is (vízmérce nullpont, folyásfenék, helyi mérnökgeodéziai hálózatok magassági kapcsolata, stb..).

Vertikális komponens



Átlag: -1.2 mm/év



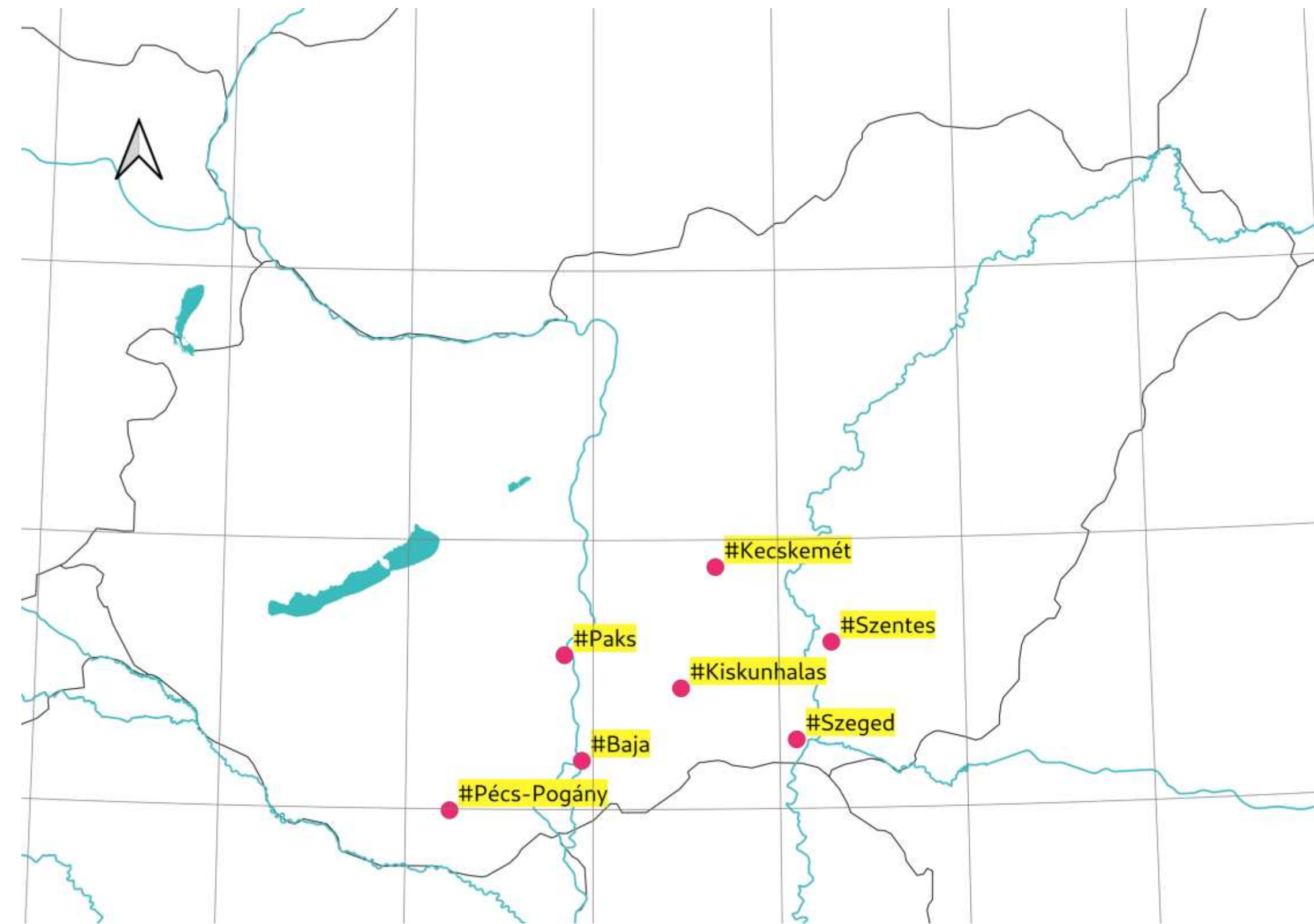
EOMA 2 pilot projekt: INGRIM

Jelenleg:

- 7 db új integrált főalappont (IMMA) telepítése
(Baja, Kecskemét, Kiskunhalas, Paks, Pécs, Szeged, Szentes)

Jövő év elejéig:

- Országos InSAR feldolgozás
- Új geoidmodell
- Időfüggő magassági transzformáció





Köszönöm a figyelmet!

ELÉRHETŐSÉGEK



1111 Budapest,
Budafoki út 59.



www.lechnerkozpont.hu
www.sgo-penc.hu
www.gnssnet.hu



sandor.toth@lechnerkozpont.hu



Lechner Nonprofit Kft. - Kozmikus Geodéziai Obszervatórium