

"Eötvös 100" emlékév és az űrgravimetria

Földvály Lóránt^{1,2}

¹ÓE AMK, Geoinformatikai Intézet

²MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézet

1EÖTVÖS
www.eotvos100.hu



100th anniversary of Roland Eötvös (1848-1919), physicist, geophysicist, and innovator of higher education
Commemorated in association with UNESCO
Eötvös Loránd (1848-1919) fizikus, geofizikus és a felsőoktatás megújítójának 100. évfordulója
Az UNESCO-val közösen emlékezzük



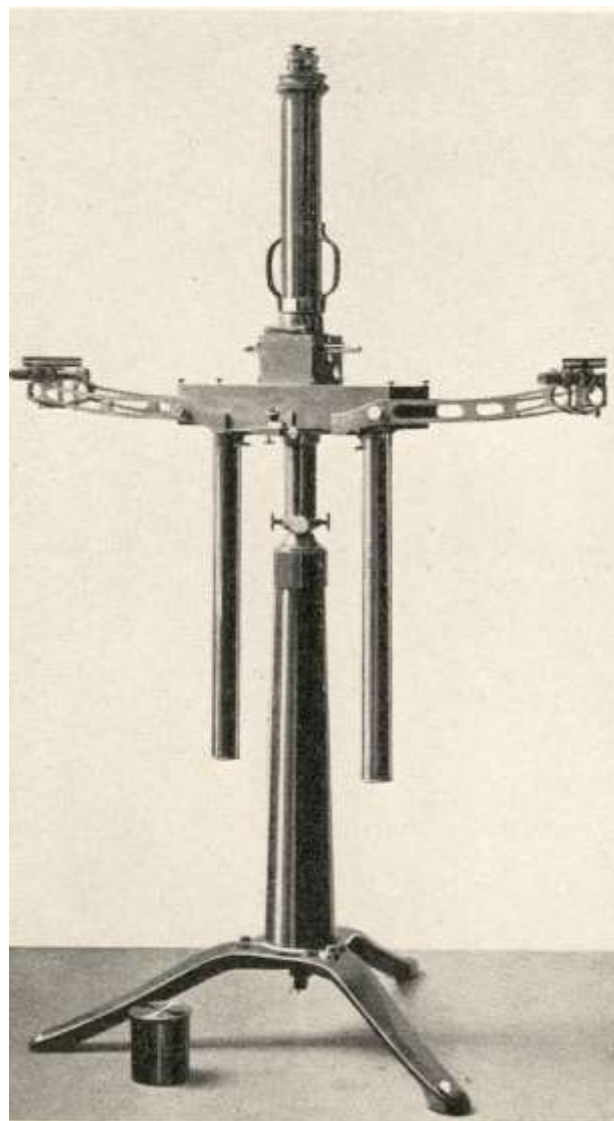
GISopen
Székesfehérvár, 2019. április 16-18.



Eötvös jubileumi év



Eötvös Loránd
(1848-1919)



Pekár Dezső



Rybár István



Böckh Hugó



Süss Nándor

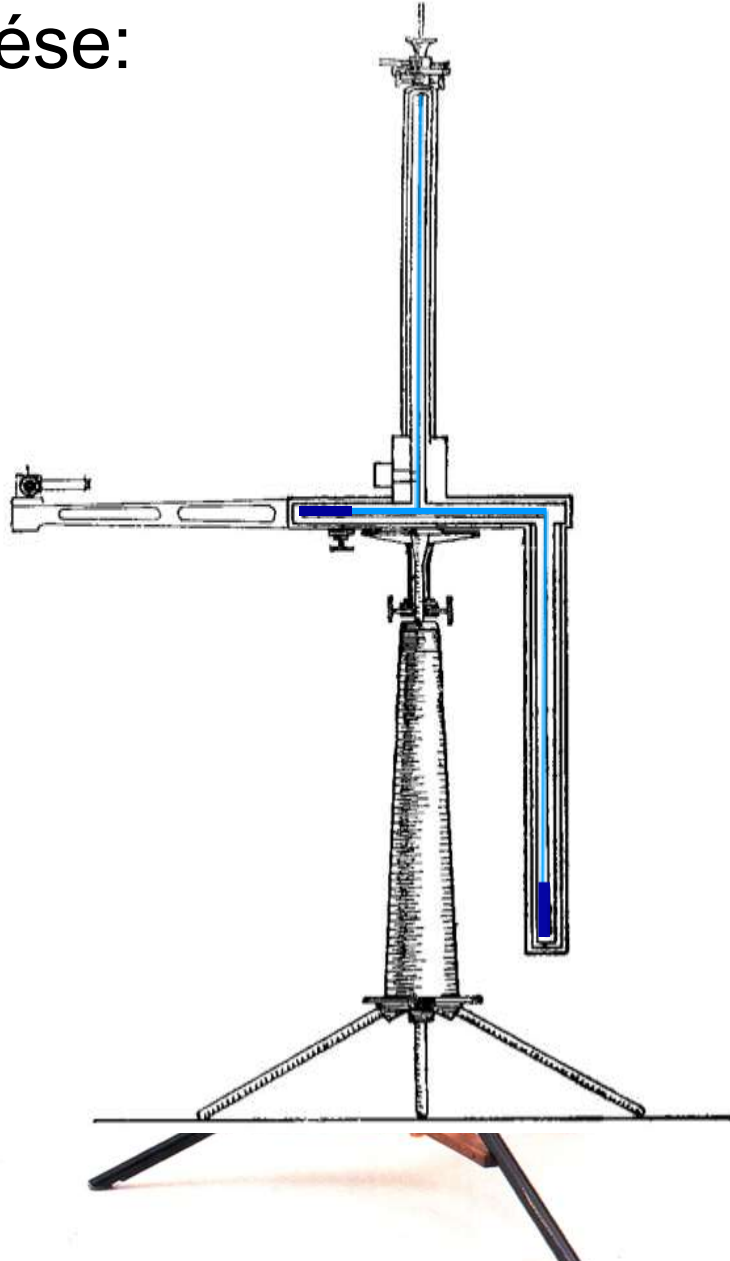


GISopen
Székesfehérvár, 2019. április 16-18.



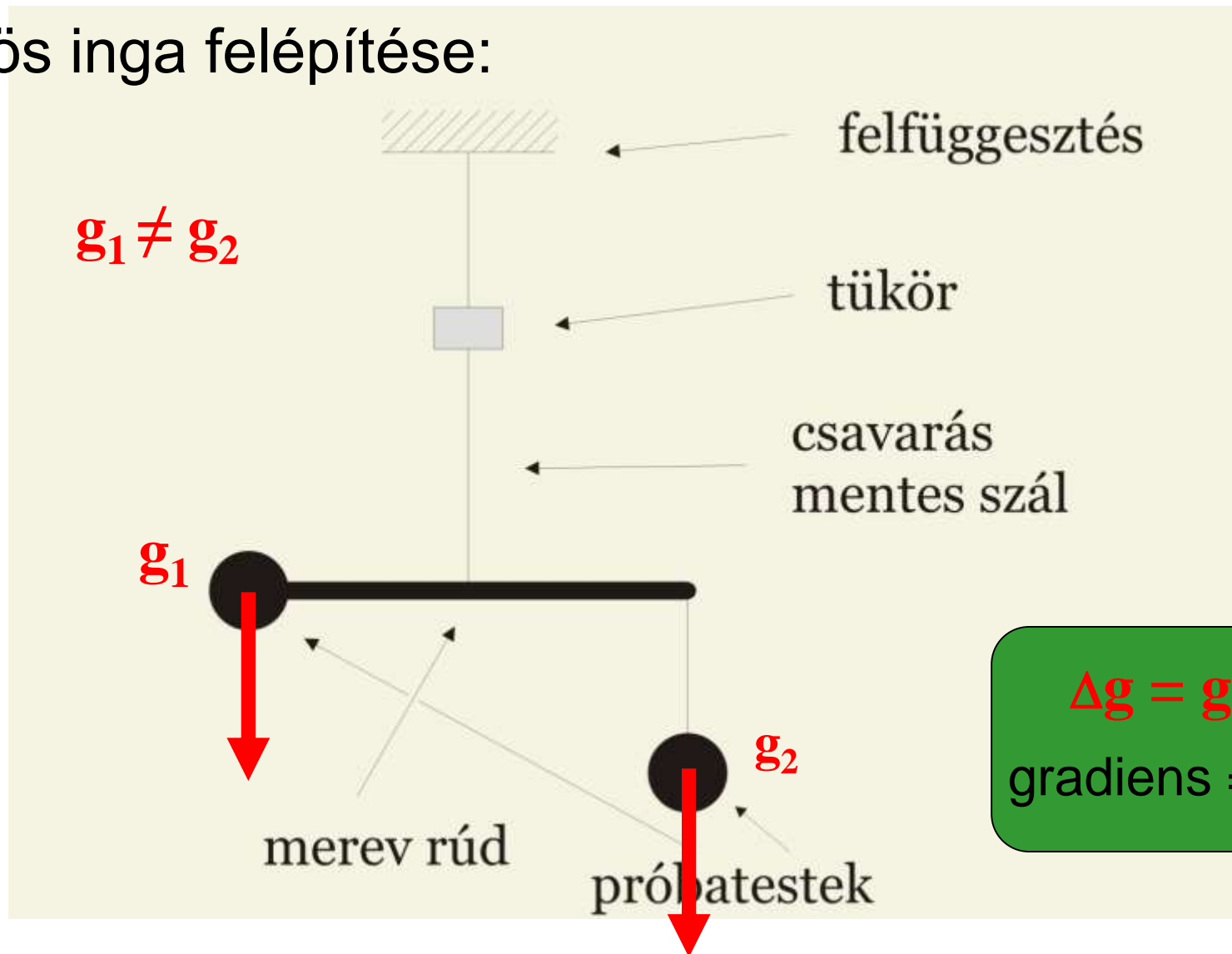
Eötvös-inga

Az Eötvös inga felépítése:



Eötvös-inga

Az Eötvös inga felépítése:



$$\Delta g = g_2 - g_1$$
$$\text{gradiens} = \Delta g / r$$

GOCE

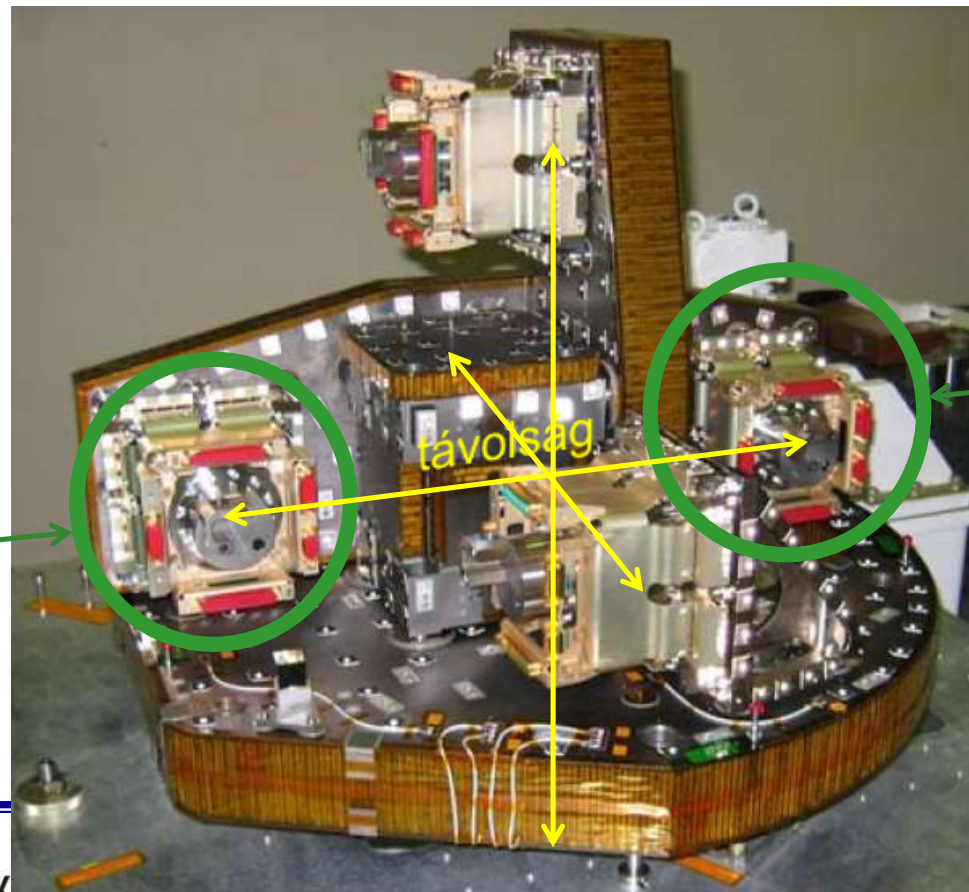
Űrgradiométer mérési alapelve:

3 pár *kapacitív gyorsulásmérő*vel egymástól ismert távolságokra egyidejűleg gyorsulásméréseket végeznek.

$$\Delta g = g_2 - g_1$$

gradiens = $\Delta g / r$

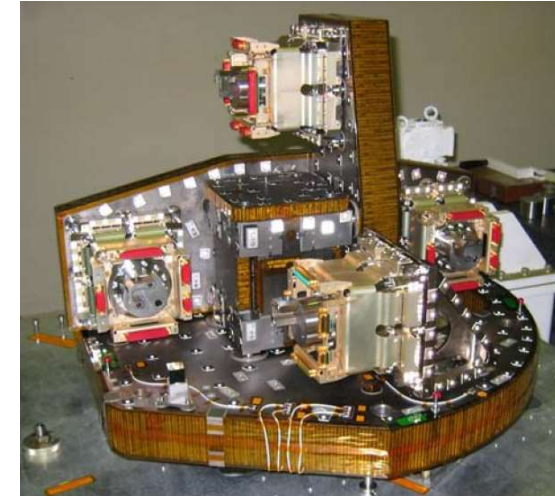
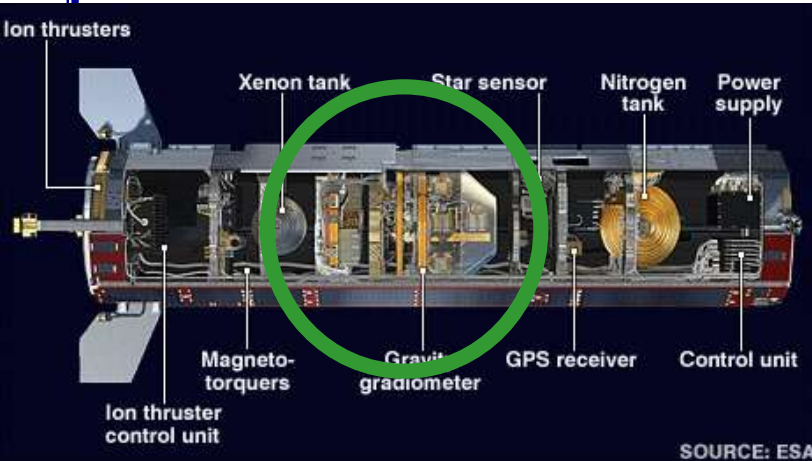
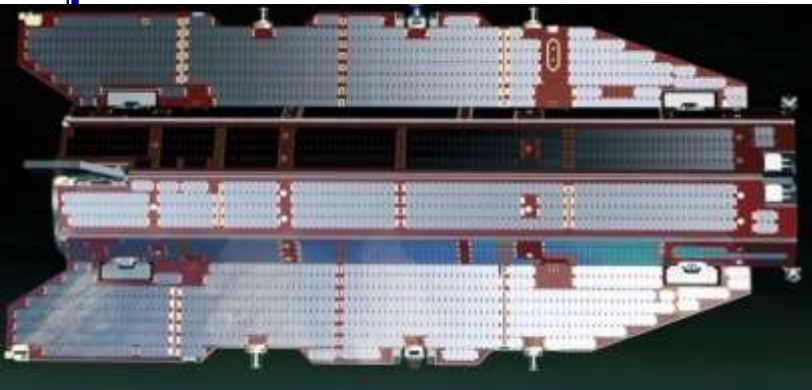
1. gyorsulásmérő



2. gyorsulásmérő

GOCE

A GOCE űrgradiométer



GRACE

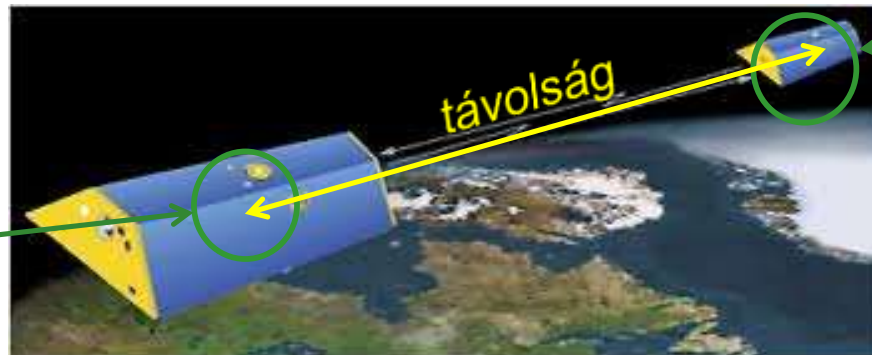
Műhold pár közötti távolságmérés alapján a gravitáció meghatározásának alapelve:

„Egykarú gradiométer”: folyamatosan mért távolságon 1 pár *gyorsulásmérő*vel gyorsulásmérést végeznek.

$$\Delta g = g_2 - g_1$$

$$\text{gradiens} = \Delta g / r$$

1. gyorsulásmérő



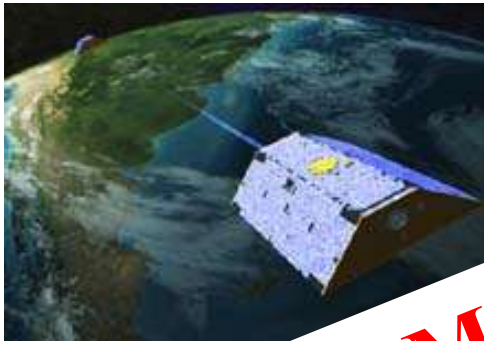
2. gyorsulásmérő

Műholdas gravimetria napjainkban



CHAMP műhold (2000-2010)

- az első gravimetriai célú műhold



GRACE műhold (2002-2017)

- a Föld tömegeloszlásának és a jég- és víztartalomi változásainak mérését is lehetővé tette

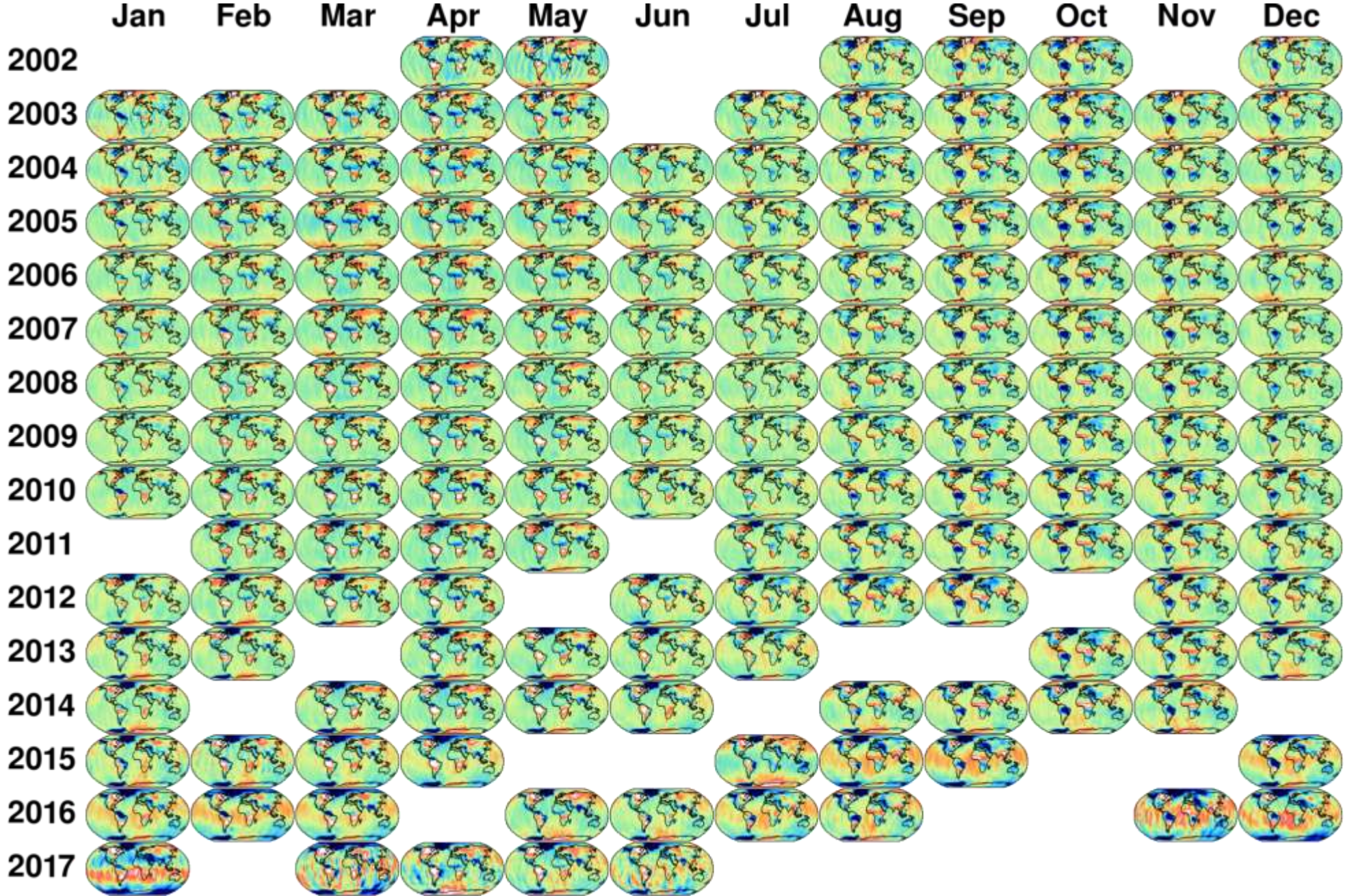


GOCE műhold (2009-2013)

- nagyon részletes felbontású képét adta a Föld gravitációs terének

VALAMENNYI KÜLDETÉS LEZÁRVA!





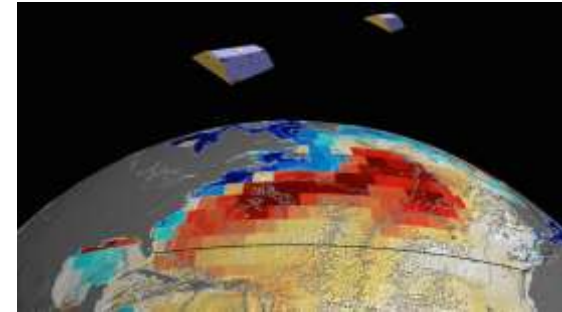
GISopen
Székesfehérvár, 2019. április 16-18.



GRACE-FO

A nehézségi erőter időbeni változásai

A GRACE 2002 áprilisa és 2017 júniusa között hónapos nehézségi erőter modelleket szolgáltatott.



GRACE-FO:

- fellövés: 2018 május 22
- első modell: 2018 június
- elérhető: 2019 április



GRACE és GRACE-FO

Hónapos nehézségi erőter modellek: **legalább 11 hónap kimarad**

2017

2018



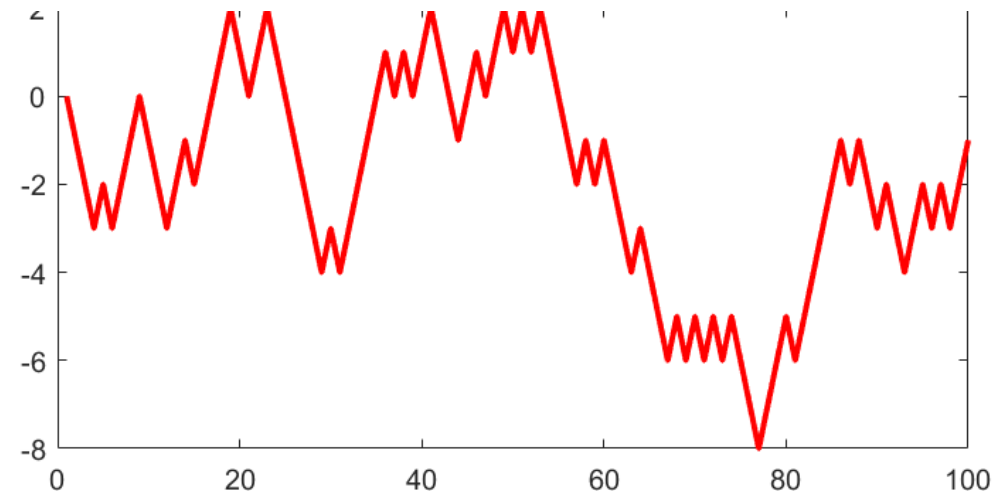
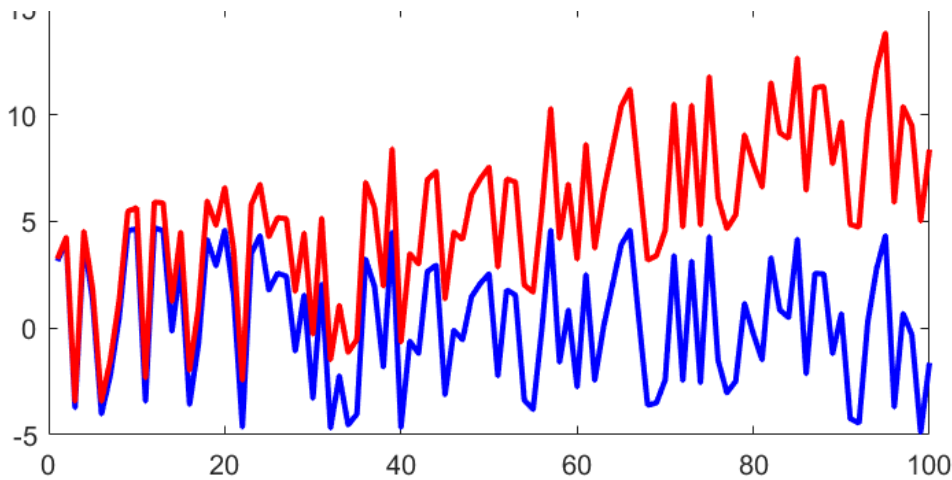
GISopen
Székesfehérvár, 2019. április 16-18.



Módszertan

Idősorelemzés: idősorok leírhatók négy független összetevő eredőjeként

$$y(t) = \text{trend} + \text{ciklus} + \text{szezonális ingadozás} + \text{véletlen ingadozás}$$



trend – hosszabb időszakon tartósan érvényesülő tendencia

ciklus – trend feletti vagy alatti tartósabb, szabálytalan ingadozás

szezonális ingadozás – szabályos, többnyire rövid távú ingadozás

véletlen ingadozás – szabálytalan, sztochasztikus változás



Módszertan

ARIMA modell: Autoregresszív, integrált, mozgóátlag folyamat

Egy p -ed rendű autoregresszív folyamat, $AR(p)$:

$$X(t) = \alpha_1 X(t-1) + \alpha_2 X(t-2) + \dots + \alpha_p X(t-p) + \sigma_\varepsilon \varepsilon(t)$$

Egy q -ad rendű mozgó átlag folyamat, $MA(q)$:

$$X(t) = \beta_0 \varepsilon(t) + \beta_1 \varepsilon(t-1) + \dots + \beta_q \varepsilon(t-q)$$

Ezek alapján az autoregresszív és mozgóátlag folyamat, $ARMA(p,q)$:

$$(1 - \sum_{i=1}^p \alpha_i L^i) X(t) = (1 + \sum_{i=1}^q \beta_i L^i) \varepsilon(t)$$

A stacionaritás eléréséhez az idősor d -ed rendű deriváltját képezzük.

Ekkor az autoregresszív, integrált, mozgóátlag folyamat, $ARIMA(p,d,q)$:

$$X(t) = \sum_{i=1}^p \alpha_i (1-L)^d X(t-i) + \sum_{i=0}^q \beta_i \varepsilon(t-i)$$

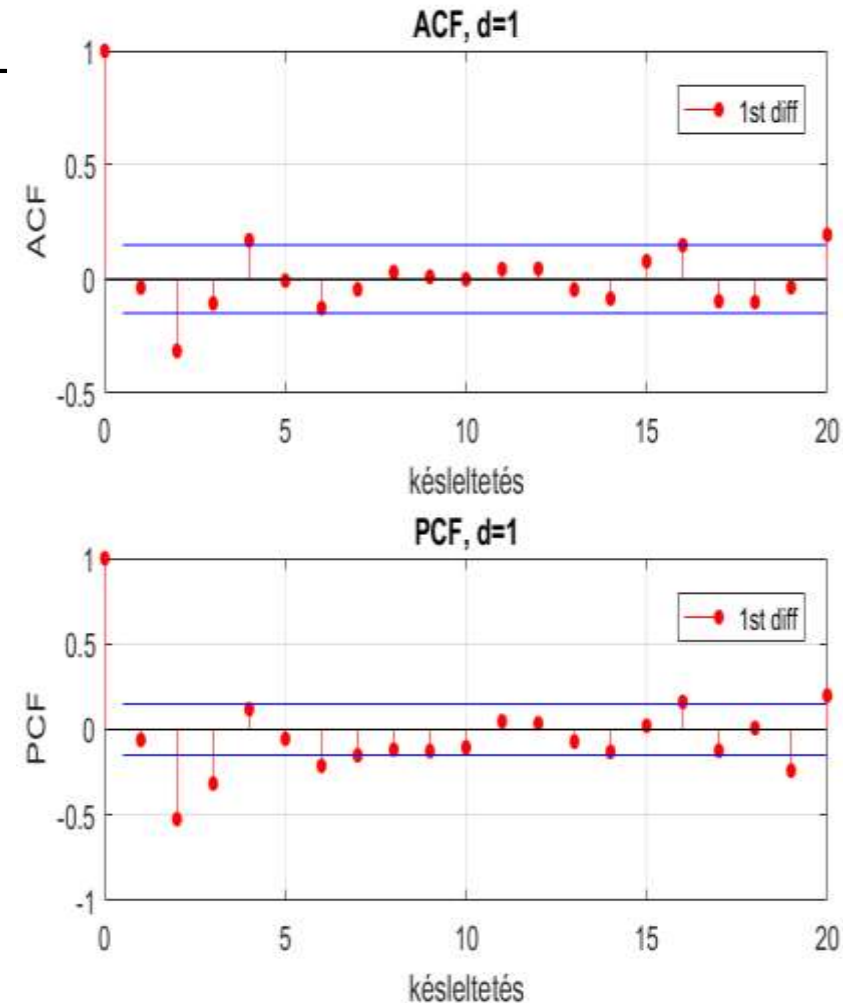


Módszertan

Box-Jenkins módszer: módszer $ARIMA(p,d,q)$ modell paraméterezésére

$$X(t) = \sum_{i=1}^p \alpha_i (1 - L)^d X(t - i) +$$

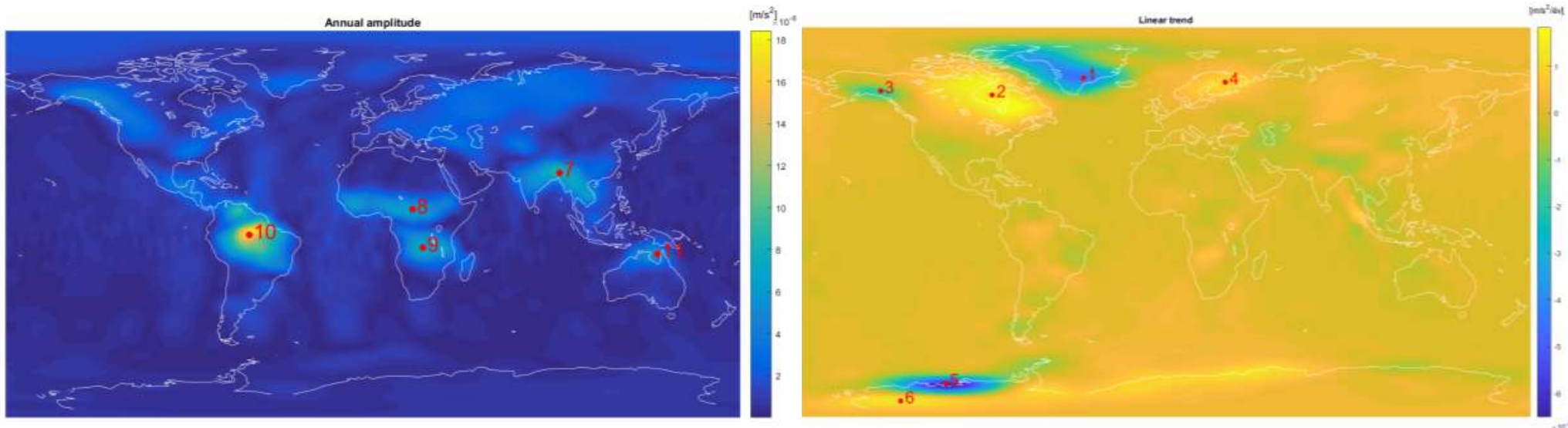
q – ACF függvény levágási értéke alapján
 p – PCF függvény levágási értéke alapján
 d – ha az ACF és PCF függvények nem
vagy túl hosszan csengnek le,
növeljük értékét.



Vizsgálati idősorok

GRACE: 163 hónapnyi modell rendelkezésünkre áll.

Ezek alapján az egész Földre meghatározunk nehézségi anomália (Δg) idősorokat.

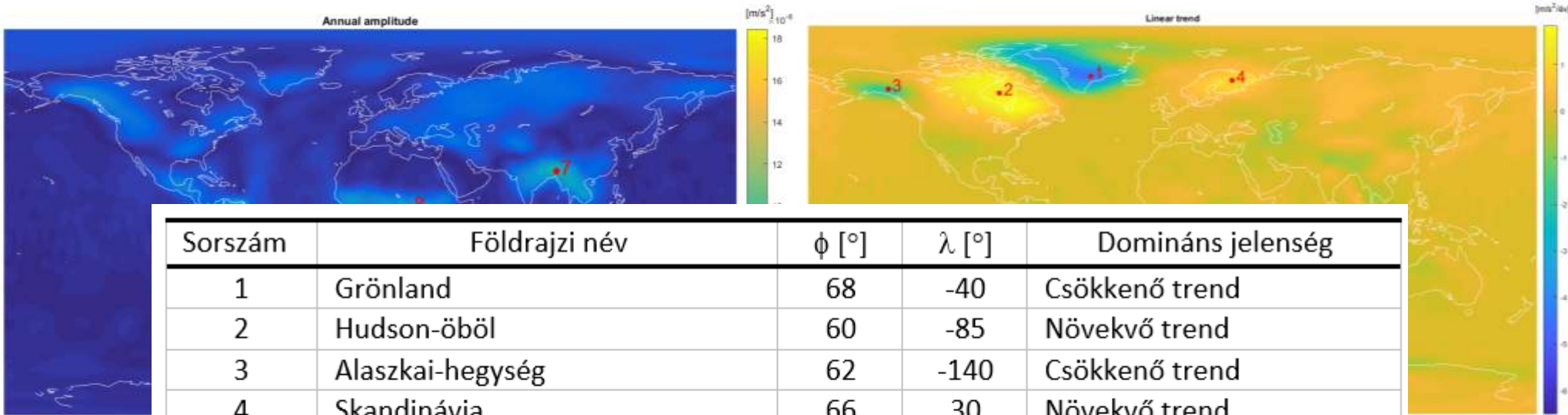


szезonális (éves és féléves
periódusú) változások

lineáris trend

Vizsgálati idősorok

Vizsgálati pontok: a nehézségi anomália idősorának változásai alapján „érdekes” helyek.



Sorszám	Földrajzi név	ϕ [°]	λ [°]	Domináns jelenség
1	Grönland	68	-40	Csökkenő trend
2	Hudson-öböl	60	-85	Növekvő trend
3	Alaszkai-hegység	62	-140	Csökkenő trend
4	Skandinávia	66	30	Növekvő trend
5	Amundsen-tenger (Antarktisz)	-74	-108	Csökkenő trend
6	Marie Byrd Föld (Antarktisz)	-82	-130	Növekvő trend
7	Bengália	25	92	Éves periodusú változás
8	Afrikai szavanna	8	20	Éves periodusú változás
9	Kongó-medence	-10	25	Éves periodusú változás
10	Amazonas-medence	-4	-60	Éves periodusú változás
11	Észak-Ausztrália	-13	140	Éves periodusú változás

ARIMA modell meghatározás

Számítás lépései:

1. Az egyes idősorok determinisztikus részének (trend, szezonális ingadozás) meghatározása

$f(t)$

Sorszám	A [μGal]	B [$^\circ$]	C [μGal]	D [$^\circ$]	E [$\mu\text{Gal}/\text{év}$]	F [mGal]
1	2.36	168.9538	0.54	144.5573	4.5548	-52214
2	0.76	-30.0511	0.75	38.3400	-1.4308	52377
3	4.38	177.4049	0.49	91.4613	1.3662	-33358
4	1.82	-143.2110	0.53	16.9292	-0.9661	-4269
5	0.37	-5.9169	0.42	78.7702	5.5379	3068
6	0.27	-149.2610	0.17	47.0226	-1.2054	32099
7	8.70	15.8973	1.50	-81.3027	0.4684	29363
8	6.18	-14.4637	1.08	-4.4665	0.1291	3412
9	7.32	178.8488	0.80	-68.5258	-0.1369	4070
10	18.87	134.0034	1.83	169.1715	-0.1066	11426
11	4.86	-141.0390	1.08	-81.2970	0.0675	-36239

2. A módszer

F
ikins



ARIMA

Számítás lépései:

1. Az egyes idősorok (ingadozás) meghatározása

$$f(t) = A \cdot \sin(\omega_{év} t)$$

2. A maradék idősor meghatározása
módszerrel

2.1 stacionaritás vizsgálata
(ADF) és Kwiatkowski

2.2 paraméterek meghatározása

2.3 a paraméterezés ellenőrzése
(AIC) és Bayeses

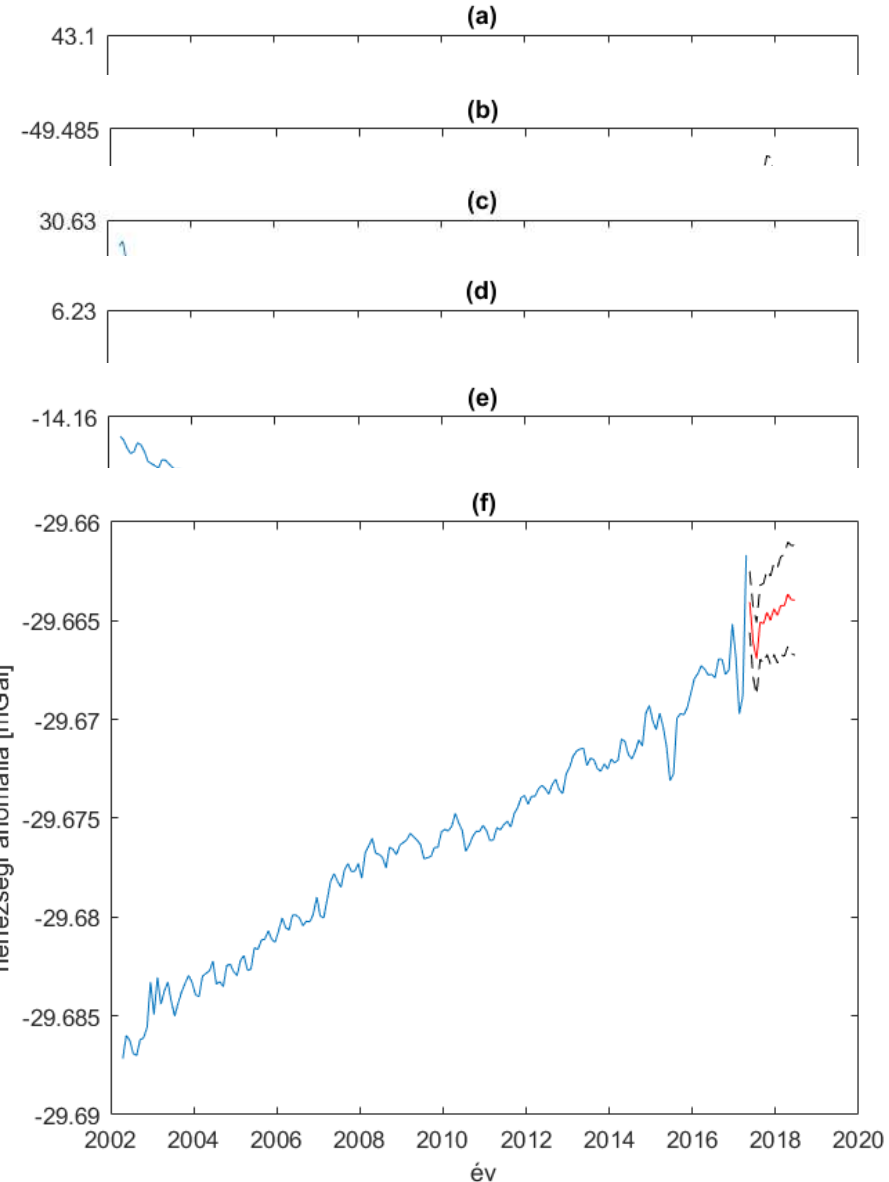
sor-szám	d	p	q	AIC	BIC	J/Z	L	LB-Q	döntés
1	1	2	2	-6230.8008	-6208.4113	13.335	1	1	+
1	2	7	3	-6219.2228	-6174.4439	5.594	1	1	
2	0	1	7	-6154.9306	-6122.9456	3.497	1	1	+
2	1	5	2	-6146.7575	-6114.7726	2.576	1	1	
2	2	8	1	-6095.9969	-6054.4165	1.691	1	1	
3	0	1	14	-6249.2941	-6194.9197	3.438	1	0	
3	1	2	0	-6259.9409	-6243.9484	3.515	1	0	
3	2	4	2	-6222.1494	-6190.1645	2.244	1	0	
3	2	7	2	-6224.4407	-6182.8603	2.712	1	1	+
4	0	3	6	-6240.5822	-6205.3987	2.828	1	0	
4	1	2	2	-6237.2276	-6214.8382	3.240	1	1	+
4	2	5	2	-6198.2761	-6163.0927	1.146	1	0	
5	1	3	2	-6164.1884	-6138.6004	8.166	1	1	+
5	2	10	1	-6076.2439	-6028.2664	7.074	0	1	
6	0	5	11	-6211.3641	-6169.7837	1.968	1	1	
6	1	3	2	-6234.3896	-6208.8017	2.353	1	1	+
6	2	4	2	-6140.9347	-6121.7437	1.282	1	1	
7	1	4	2	-6072.8487	-6044.0623	4.034	1	1	+
7	2	8	2	-6037.5065	-5992.7275	2.108	1	1	
8	1	2	2	-6110.4184	-6088.0289	1.424	1	1	
8	1	19	2	-6114.4887	-6037.7248	2.356	1	1	+
8	2	8	2	-6074.6166	-6029.8377	0.614	1	1	
9	0	3	9	-6058.5714	-6013.7924	1.845	1	1	+
9	1	3	2	-6056.1751	-6030.5871	2.131	1	1	
9	2	8	2	-5891.7364	-5878.9425	0.412	1	1	
10	0	2	6	-5892.7264	-5860.7414	2.732	1	1	+



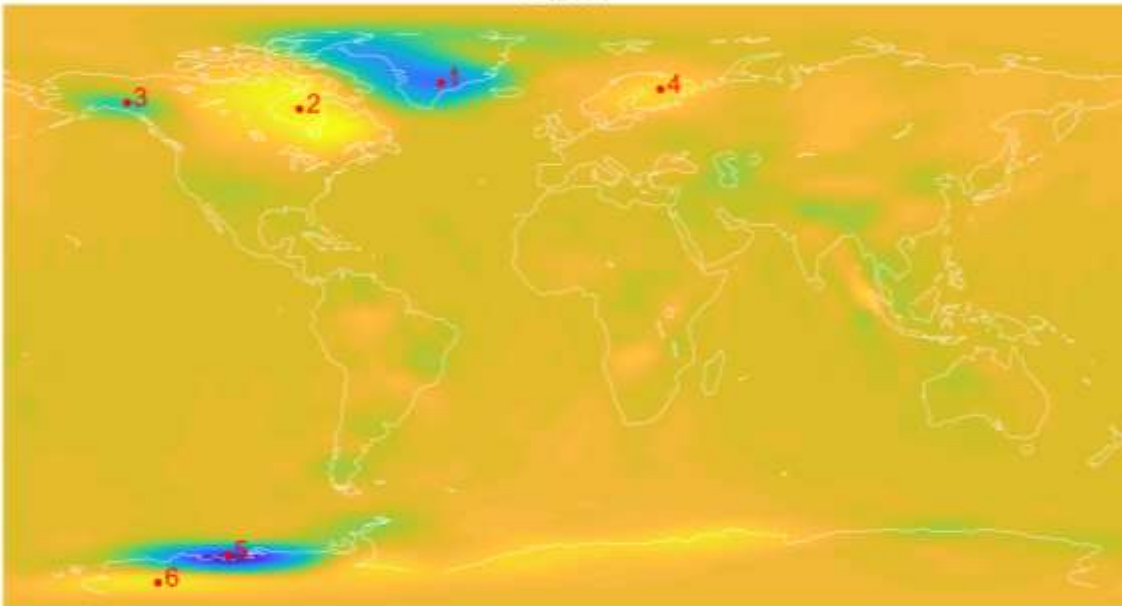
ARIMA modellezés eredménye

Teszt-területek:

Sorszám	Földrajzi név	ϕ [°]
1	Grönland	68
2	Hudson-öböl	60
3	Alaszkai-hegység	62
4	Skandinávia	66
5	Amundsen-tenger (Antarktisz)	-74
6	Marie Byrd Föld (Antarktisz)	-80



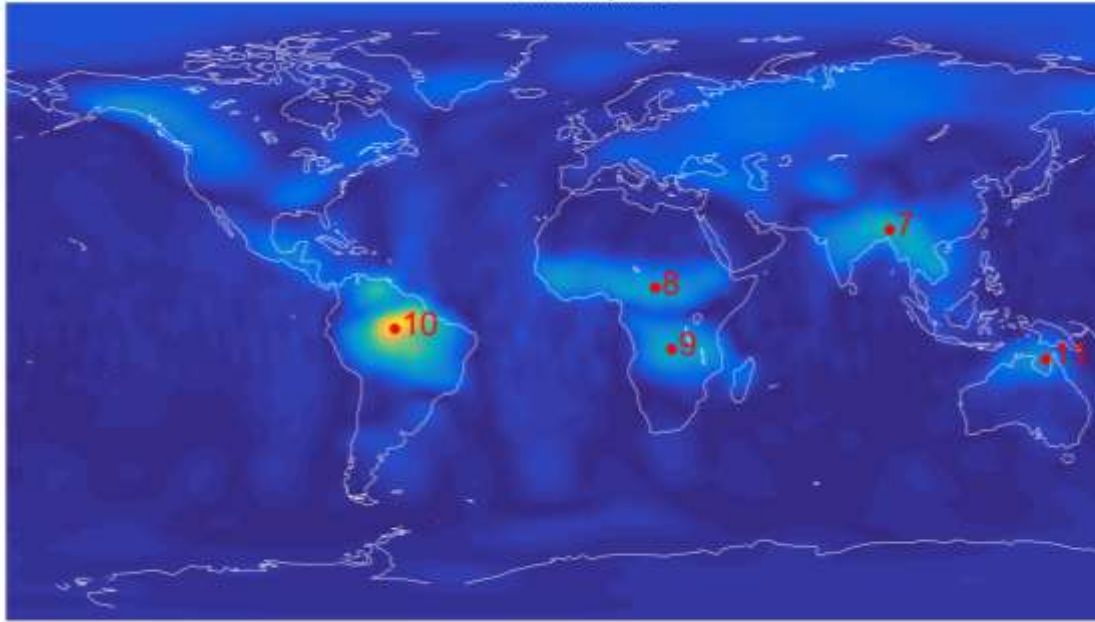
Linear trend



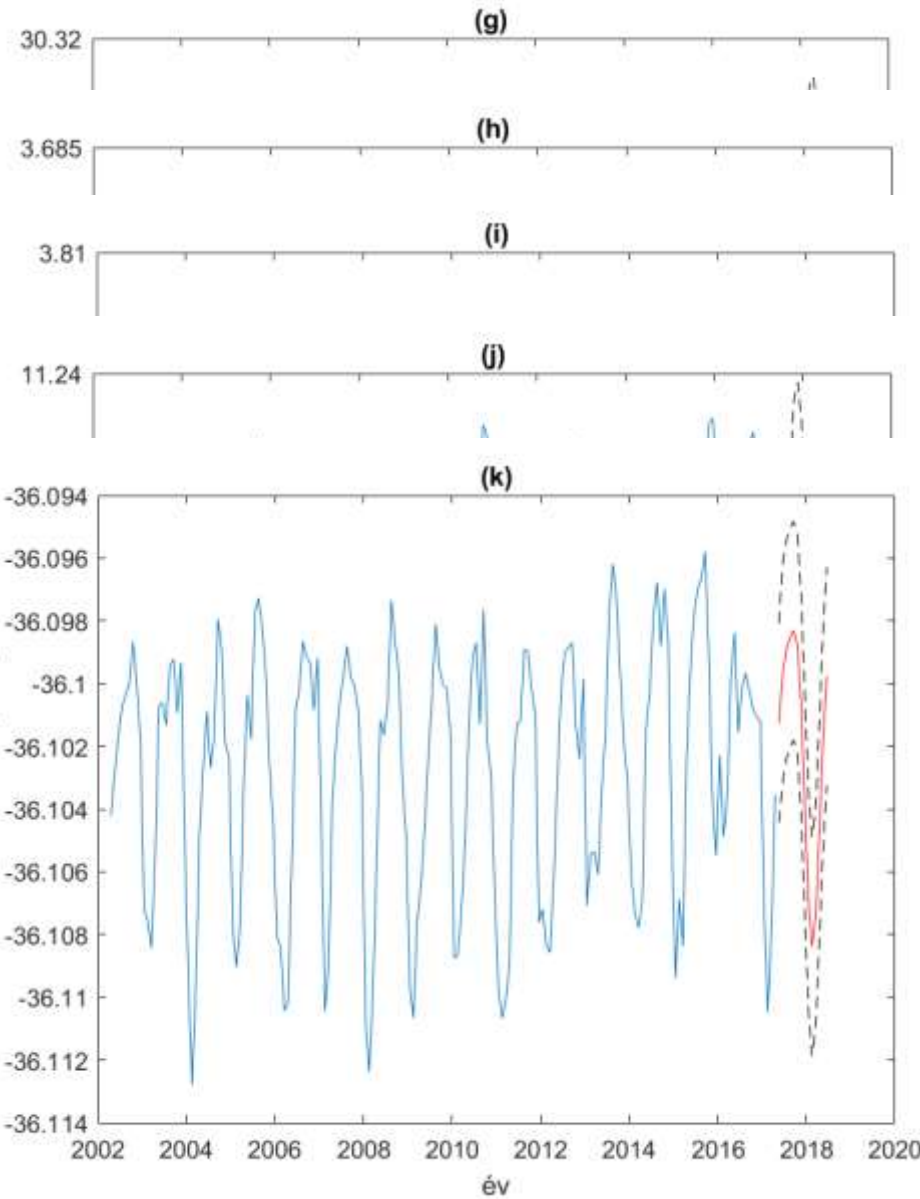
2018. április 16-18.



Annual amplitude



7	Bengália
8	Afrikai szavanna
9	Kongó-medence
10	Amazonas-medence
11	Észak-Ausztrália

[m/s²]_{10⁻⁴}

Következtetések

Módszertan: fizikai folyamatok hatásának előrejelzését végeztük a fizikai okok teljes mellőzésével.

Ha azonban a fizikai körülmények számottevően változnak, az előrejelzés akár realisztikus is lehet

Amennyiben a GRACE modellek ehhez képest eltérést mutatnak, ennek okait érdemes átgondolni.

KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!

1. Jégta. ...ásadásának / gyarapodásának intenzitása megváltozott?
2. Óceáni transzport folyamatok megváltoztak?
3. Atmoszferikus korrekció számításba vétele megváltozott?
4. Dinamikus tömegátrendeződések történtek?

