

A tengerszint potenciálértékének kiszámítása mareográf-adatok alapján tengerrészletekre

Cziráki Kamilla

Témavezető: Timár Gábor tanszékvezető egyetemi tanár

Tudományos Diákköri Konferencia

Budapest, 2024.12.09.



ELTE

EÖTVÖS LORÁND
TUDOMÁNYEGYETEM

ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék

2024



EKÖP

Egyetemi Kutatói
Ösztöndíj Program

A Kulturális és Innovációs Minisztérium EKÖP-24 kódszámú Egyetemi Kiválósági Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

Az előadás tartalma

Bevezetés

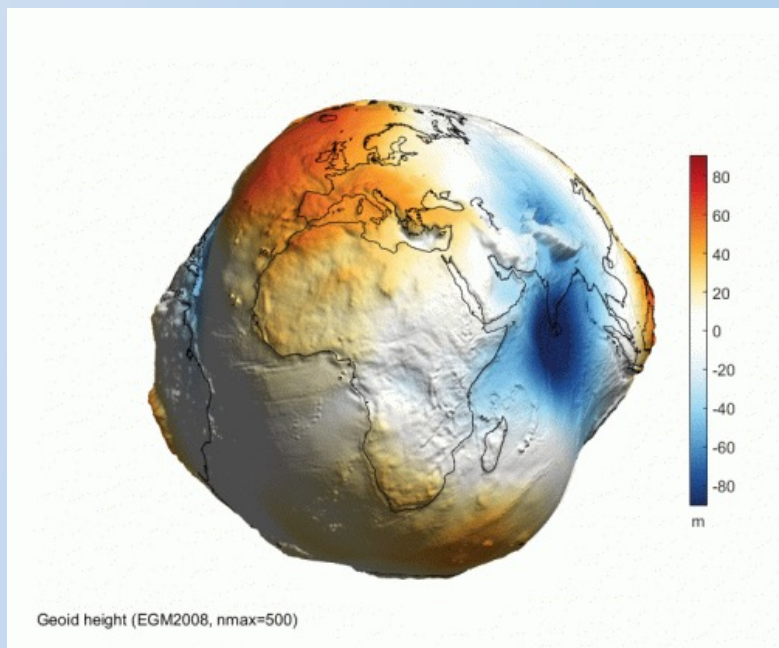
Adatok és módszerek

Eredmények

Diszkusszió

Konklúzió

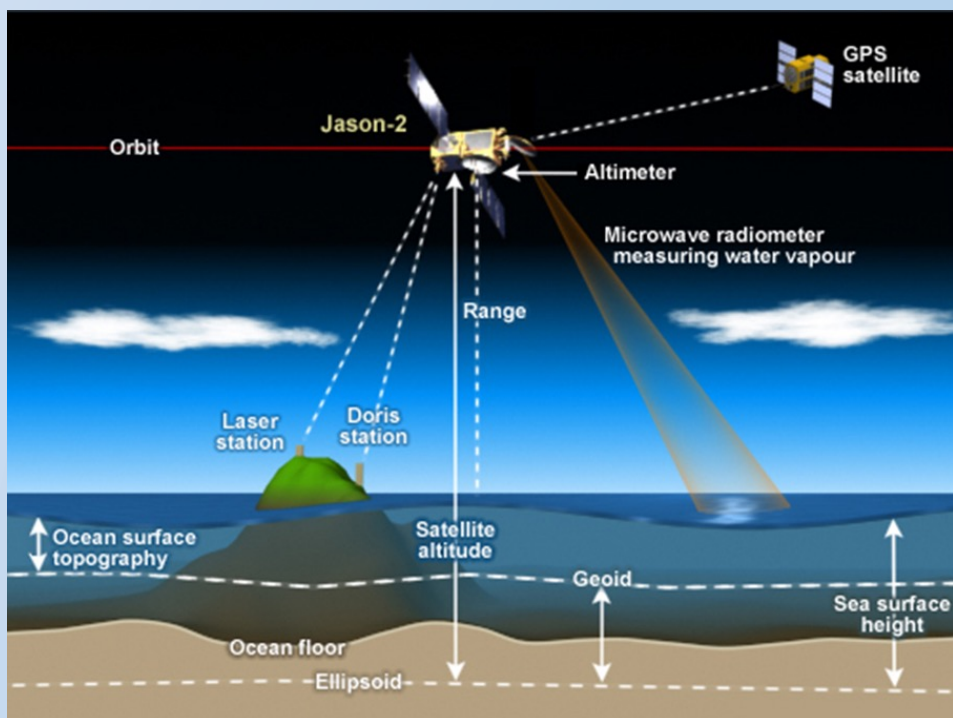
A Föld alakjának leírása



Forrás: <https://microglacoste.com/applications/geoid-investigation/>

- Már az ókorban is felmerült, hogy a **tengerszinthez kapcsolódik** (*Rorres 2016*)
- Több geometriai test is felmerült, mint potenciális alak
 - Gömb
 - Forgási ellipszoid
- *Gauss (1828)*: a Föld alakja a nehézségi erőter egy kitüntetett potenciálfelülete, ami legjobban illeszkedik a **nyugalmi tengerszinthez**
 - Neve: **geoid** (*Listing 1872*)
- Gyakorlatban: szintszferoid potenciálértéke
 - Értéke: $W_o = 62\,636\,860,0 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ (*Moritz 1980*)

A földi tengerszint meghatározása



Forrás: <https://www.star.nesdis.noaa.gov/socd/lsa/AltBathy/>

- *Gauss (1828)* a nyugalmi tengerszinttel definiálta a geoidot
 - Ennek meghatározása nem egyszerű
 - Sok módosító hatás: lényegében nem létező fogalom
- A pillanatnyi magasságot tudjuk megmérni
 - Néhány hatás kiküszöbölhető hosszabb távú átlagolással
- Távérzékelés sok új lehetőséget hozott
 - Műholdas altimetria
 - GNSS
- Legrégőbbi módszer: mareográfok

A földi tengerszint meghatározása

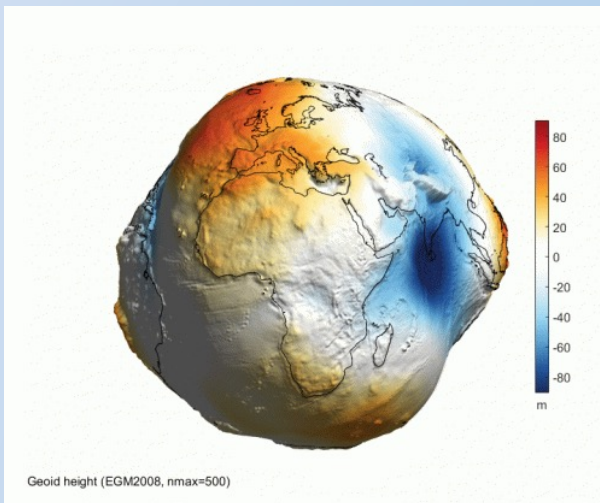


Forrás:

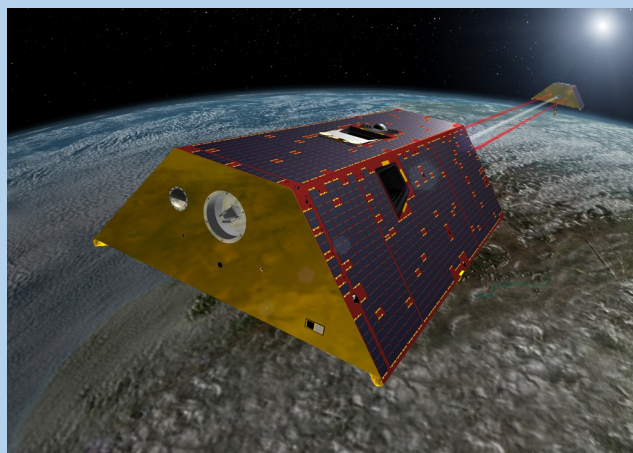
<https://caymannewsservice.com/2022/01/tide-gauges-fitted-to-measure-sea-levels-and-activity/>

- *Gauss* (1828) a nyugalmi tengerszinttel definiálta a geoidot
 - Ennek meghatározása nem egyszerű
 - Sok módosító hatás: lényegében nem létező fogalom
- A pillanatnyi magasságot tudjuk megmérni
 - Néhány hatás kiküszöbölhető hosszabb távú átlagolással
- Távérzékelés sok új lehetőséget hozott
 - Műholdas altimetria
 - GNSS
- Legrégőbbi módszer: **mareográfok**

Az EGM2008 geoid-modell



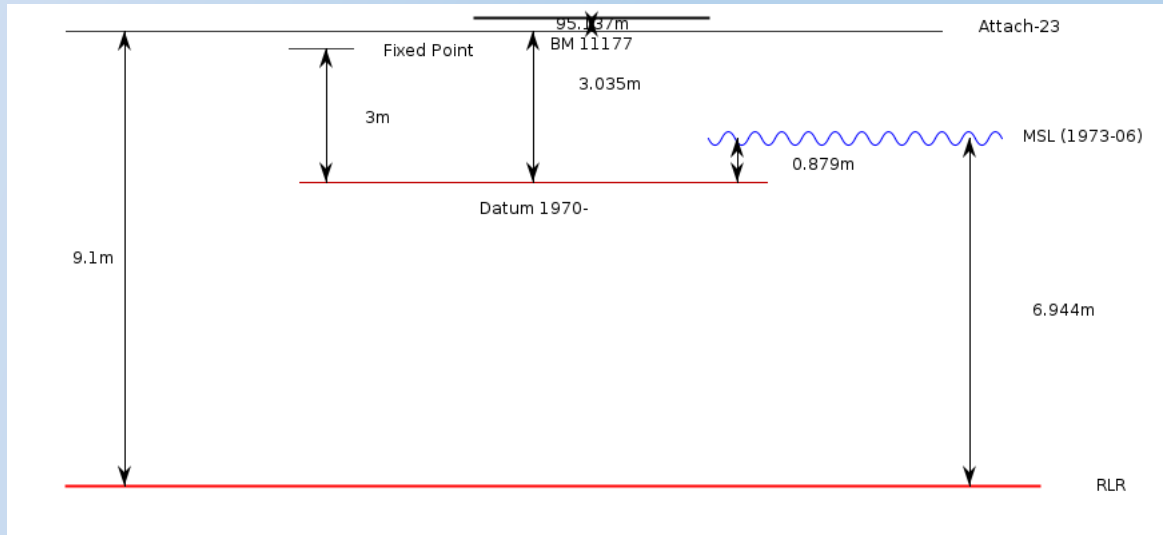
Forrás: <https://microglacoste.com/applications/geoid-investigation/>



Forrás: <https://gracefo.jpl.nasa.gov/mission/overview/>

- Geoid leírása: Gömbfüggvény-sorok együtthatóival
- Legfrissebb geoid-modell: EGM2008 (*Pavlis et al 2008*)
 - 2180 fokig és rendig
 - Újítás: A GRACE misszió adatait is felhasználták
 - „Tom és Jerry”-2 műhold ugyanazon a pályán
- Munkámban 100 fokig és rendig használtam fel

A mareográf-adatok



OGA állomás RLR-diagramja
 Forrás: Holgate et al 2013, PSMSL 2023

- Bemenő adat: a mareográfok tengerszintjei
- Permanent Service for Mean Sea Level oldaláról (*Holgate et al 2013, PSMSL 2023*)
 - RLR (revised local reference) feletti adatok
 - Kb. 7000 mm-el tengerszint alatt
- Fontos: RLR és az ellipszoid közötti kapcsolat
 - Szükséges: GNSS-álmás
- Éves adat, én 5 éves átlaggal dolgoztam

A potenciálérték kiszámításának módszere

$$V(r, \varphi', \lambda) = \frac{GM}{r} \left(1 + \sum_{n=2}^{100} \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos(m\lambda) + \bar{S}_{nm} \sin(m\lambda)) \bar{P}_{nm}(\sin(\varphi')) \right) + \frac{1}{2} \omega^2 r^2 \cos(\varphi')^2$$

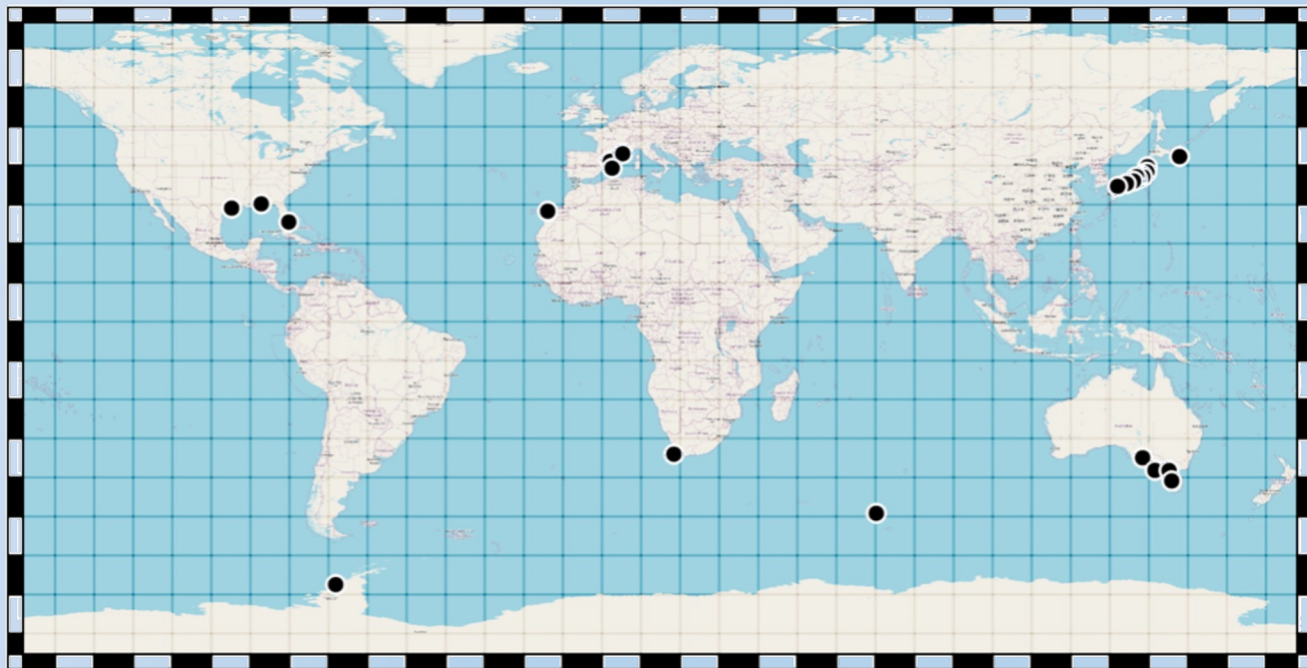
*A nehézségi potenciál általános alakja
Forrás: NGA 2014*

- Kiszámítás: a Laplace-egyenlet megoldása alapján
- Szükséges:
 - Együtthatók
 - Koordináták
 - Normalizált Legendre-polinomok
- Python és Matlab-programban valósítottam meg

$$\bar{P}_{nm}(\sin\varphi') = \sqrt{\frac{(n-m)!(2n+1)k}{(n+m)!}} P_{nm}(\sin\varphi')$$

*Az asszociált Legendre-polinomok normalizálása
Forrás: NGA 2014*

Vizsgált területek



*A Felhasznált mareográfok térképen
Forrás: PSMSL 2024, OpenStreetMap*

- 4 vizsgált terület, valamint 1-1 állomás adatai
 - **Térben minél változatosabban**
- 24 állomással
 - Csak olyanok, ahol volt **GNSS-állomás**
- Mindről letöltöttem az adatokat, majd kiszámoltam a tömegközépponttól vett távolságokat **5 éves átlagban**
- A magasságnál mindig az **NGLi4-es** megoldást használtam

Eredmények

Állomás neve	Számított potenciálérték (m^2s^{-2})
Barcelona	62635919,4
Marseille	62636370,1
Mallorca	62635918,0
Oga	62636456,1
Nezugaseki	62636423,7
Ogi	62636394,1
Kashiwazaki	62636393,3
Toyama	62636354,8
Wajima	62636351,3
Mikuni	62636335,8
Tajiri	62636271,2
<i>GRS80 (Moritz 1980)</i>	<i>62636860</i>

- Minden állomásra kiszámítottam a lehető a **potenciálértéket**
- A táblázatban: **2016-2020-as időszak értékei**
- Legnagyobb: **Barcelona**
- Legkisebb: **Virginia Key**

Az eredményül kapott potenciálértékek a 2016-2020-as időszakban, és a geoid értéke az 1980. évi geodéziai rendszer szerint

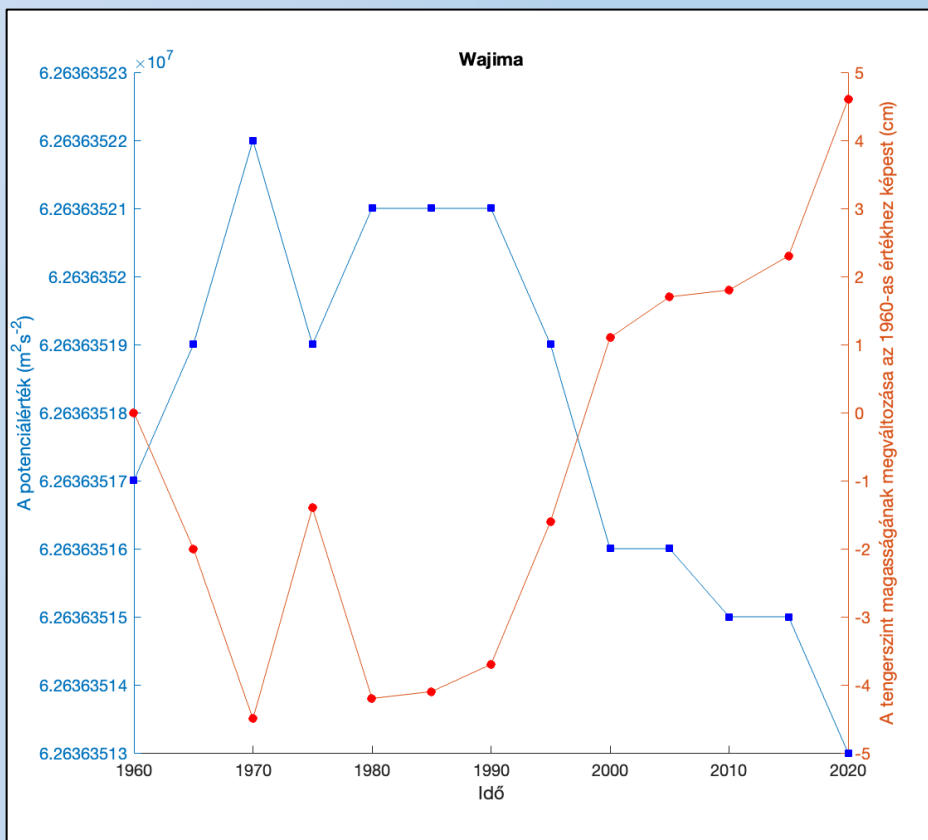
Eredmények

Állomás neve	Számított potenciálérték (m^2s^{-2})
Hamada2	62636214,4
Port Stanvac	62636491,6
Portland	62636503,7
Stony Point	62636470,5
Burnie	62636518,7
SpringBay	62637094,9
Galveston 2	62636642,7
Virginia Key	62635886,3
Pensacola	62636564,8
Kerguelen	62636029,1
Rothera	62636635,2
Fuerteventura	62636081,1
Simons Bay	62636202,1
<i>GRS80 (Moritz 1980)</i>	<i>62636860</i>

- Minden állomásra kiszámítottam a lehető a **potenciálértéket**
- A táblázatban: **2016-2020-as időszak értékei**
- Legnagyobb: **Barcelona**
- Legkisebb: **Virginia Key**

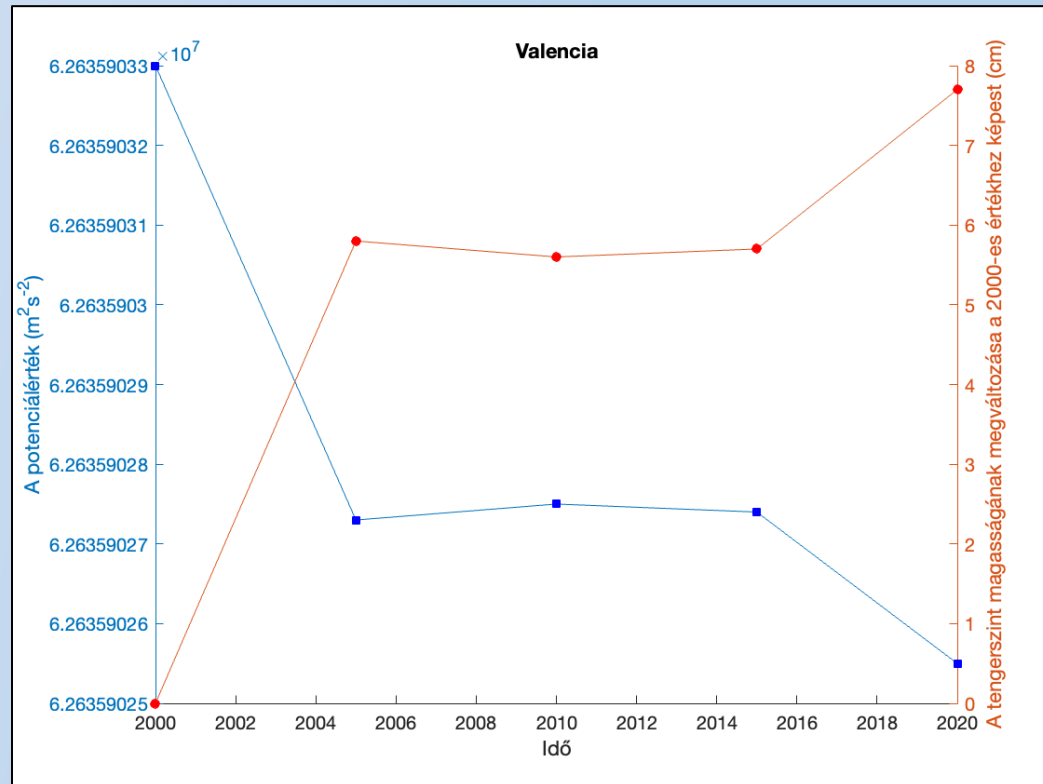
Az eredményül kapott potenciálértékek a 2016-2020-as időszakban, és a geoid értéke az 1980. évi geodéziai rendszer szerint

A potenciálérték időbeli változása



- Leghosszabb adatsor: Wajima esetében
 - 1956-2020-ig folyamatos adat
- Látható, hogy a tengerszint pár mm-es változásai hogy hatnak a potenciálértékre
 - 10-50 mm-es változások jellemzőek, mindkét irányban

A potenciálérték időbeli változása



- Másik vizsgált adatsor: Valencia
 - 2000-2020-ig
- Kevesebb adat, de érdekes, hogy egy másik területen mi a tendencia
- 2005-2015 között nem volt jelentős változás

Az átlagos potenciálérték eltérése a GRS80-tól

Állomás neve	Eltérés a GS80-tól (m^2s^{-2})
Barcelona	-910.5
Marseille	264.9
Mallorca	-187.3
Oga	-194.7
Nezugaseki	-265.1
Ogi	-311.3
Kashiwazaki	-326.
Toyama	-338.4
Wajima	-359.5
Mikuni	-373.9
Tajiri	-406.3
Hamada2	-435.9
<i>GRS80 (Moritz 1980)</i>	<i>62636860</i>

- A GRS80 értéke: $62\,636\,860\,m^2s^{-2}$
- Eltérés: $-943\,m^2s^{-2}$ -tól $264\,m^2s^{-2}$ -ig
- Ez nagyjából ennek a tizede méterben
- Okok:
 - Lokális tengerszint torzulása fontos tényező
 - Tengerpartok mozgása
 - GRS80 értéke szintszferoidtól számítódik

Az eredményül kapott potenciálértékek eltérése a GRS80 potenciálértékétől a 2016-2020-as időszakban

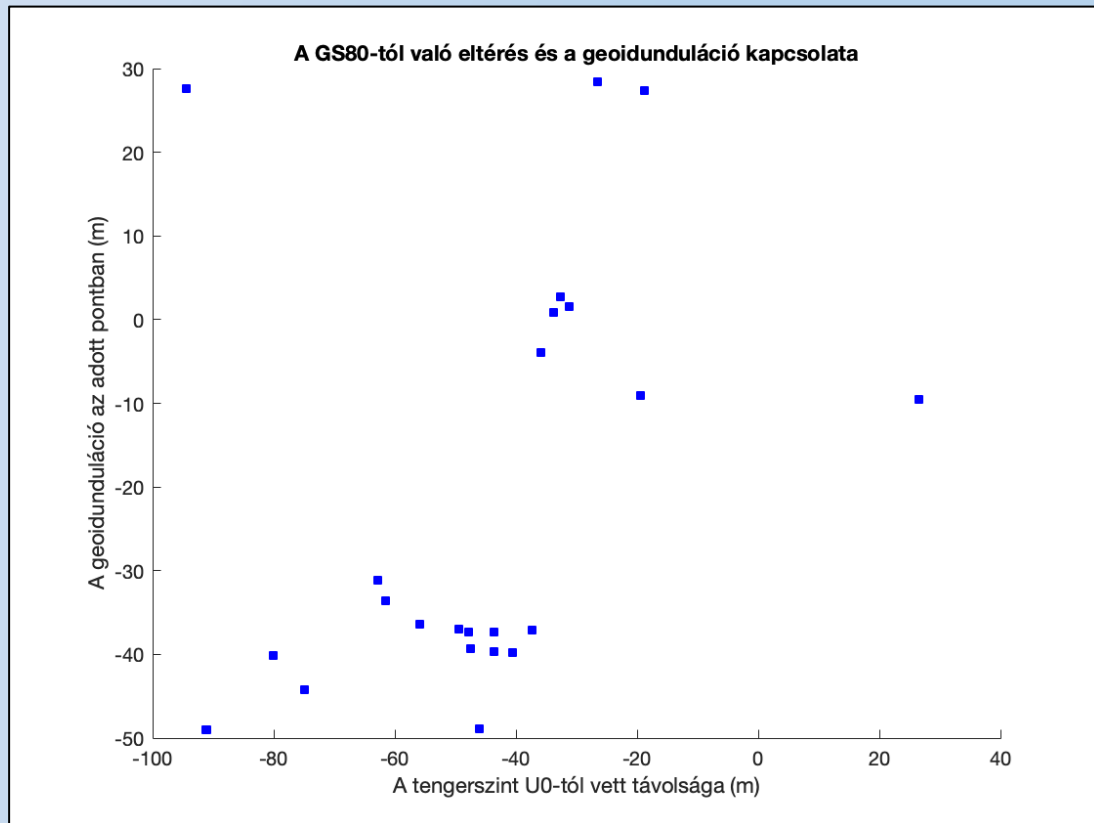
Az átlagos potenciálérték eltérése a GRS80-tól

Állomás neve	Eltérés a GS80-tól (m^2s^{-2})
Port Stanvac	-436.7
Portland	-459.8
Stony Point	-475.2
Burnie	-478.7
SpringBay	-494.2
Galveston 2	-558.8
Virginia Key	-615.6
Pensacola	-627.9
Kerguelen	-748.9
Rothera	-800.9
Fuerteventura	-912.0
Simons Bay	-943.7
GRS80 (Moritz 1980)	62636860

- A GRS80 értéke: $62\,636\,860\ \text{m}^2\text{s}^{-2}$
- Eltérés: $-943\ \text{m}^2\text{s}^{-2}$ -tól $264\ \text{m}^2\text{s}^{-2}$ -ig
- Ez nagyjából ennek a tizede méterben
- Okok:
 - Lokális tengerszint torzulása fontos tényező
 - Tengerpartok mozgása
 - GRS80 értéke szintszferoidtól számítódik

Az eredményül kapott potenciálértékek eltérése a GRS80 potenciálértékétől a 2016-2020-as időszakban

A potenciálérték és a geoid-unduláció kapcsolata



- Mivel az U_0 értéke a normálellipszoidra vonatkozik: érdekes, hogy milyen az összefüggés a geoidunduláció és a tengerszint értéke között
- Egyértelmű korreláció egyelőre nem látszik
- További földrajzi helyek bevonása segíthet

Konklúzió

- Mareográfok adatainak feldolgozásához készítettem olyan programot, amellyel meghatározható adott időpontra a **potenciálérték**
- Az **EGM2008** modellt használtam, és a mareográfok alapján a geoid elméleti értékétől -950 és $200 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ között mozog az eltérés
 - Oka lehet a geoidunduláció, de a pontos válaszok nem tisztázottak
- A tengerszint időbeli változása megjelent a potenciálértékben is: $10\text{-}50$ mm-es változások voltak itt jellemzőek

Köszönöm a figyelmet!

- Mareográfok adatainak feldolgozásához készítettem olyan programot, amellyel meghatározható adott időpontra a **potenciálérték**
- Az **EGM2008** modellt használtam, és a mareográfok alapján a geoid elméleti értékétől -950 és $200 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ között mozog az eltérés
 - Oka lehet a geoidunduláció, de a pontos válaszok nem tisztázottak
- A tengerszint időbeli változása megjelent a potenciálértékben is: $10\text{-}50$ mm-es változások voltak itt jellemzőek

Felhasznált irodalom

Gauss, C. F. (1828) *Bestimmung des Breitenunterschiedes zwischen den Sternwarten von Göttingen und Altona*. Vandenhoeck und Ruprecht, Göttingen, 84 p.

Holgate, S.J.; Matthews, A.; Woodworth, P.L.; Rickards; L.J.; Tamisiea, M.E.; Bradshaw; E.; Foden, P.R.; Gordon, K.M.; Jevrejeva, S.; Pugh. J. (2012) 'New Data Systems and Products at the Permanent Service for Mean Sea Level', *Journal of Coastal Research*, 29(3), pp. 493–504. doi: 10.2112/jcoastres-d-12-00175.1.

Listing, J. B. (1872) *Über unsere jetzige Kenntniss der Gestalt und Grösse der Erde (aus den Nachrichten der K. Ges. der Wiss)*. Deiterich, Göttingen, 66 p.

Pavlis, N.K.; Holmes, S.A.; Kenyon, S.C.; Factor J.K. (2009) 'An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008' *Presented at the EGU General Assembly, Vienna Austria, April, 13-18*.

Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL) (2023) 'Tide gauge data' Retrieved 25 Oct 2023 from <http://www.psmsl.org/data/obtaining/>.

Rorres, C. (2016) 'Archimedes' floating bodies on a spherical Earth', *American Journal of Physics*. 84(1), pp. 61–70. doi: 10.1119/1.4934660.

National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) (2004) 'World Geodetic System 1984, its definition and relationships with local geodetic systems' NGA.STND.0036_1.0.0_WGS84