

Válasz az Oponensi Véleményekre, a bírálók által feltett kérdésekre

Válaszok Dr. Timár Gábor észrevételeire, kérdéseire:

Általános észrevétel; valamennyi bíráló említette:

„A dolgozat a műfajban szokatlanul tömör, a teljes dokumentum 68 oldalas” (...) „A szűk terjedelem (...) annak következménye, hogy Jelölt nem készített átfogó tudománytörténeti áttekintést. Szerencsére a saját munka e nélkül is értékelhető, sőt annak jelentősége is pontosan megítélhető” [szintén Timár Gábor bírálatából].

Az észrevétel jogos. A tömörségre törekvés nem, de az átfogó tudománytörténeti tanulmány készítésének kerülése tudatos döntés volt. Tekintve, hogy relatíve kis számú földtudományi MTA doktori védés volt az elmúlt évtizedekben, így kevés szerzett tapasztalattal kezdtem a dolgozat megírásához. Egy korábbi MTA védésen egy bíráló azt kifogásolta, hogy a jelölt nem csak a saját munkájára korlátozódott, és ezt a bírálat elmarasztaló jelleggel említette, ezért alapvetően a saját munkám bemutatására törekedtem, történeti áttekintés nélkül. Mindamellet próbáltam egy olyan logikai vázat követni, amely alapján a bemutatott munka történeti áttekintés nélkül is követhető, és nagyobb logikai ugrásoktól mentes. Ennek alátámasztására idézek Varga Péter bírálatából: „A mérések kiegyenlítése (III.) című fejezethez nem csatlakozik tézis. Ennek ellenére szükségesnek tartom megállapítani, hogy a gravitációs tér vizsgálatára szolgáló szemi-analitikus kiegyenlítési eljárást Szerző és munkatársai eredményesen használták fel kutatómunkájuk során.” A III. fejezet célja éppen az, hogy az azt követő fejezetekben alkalmazott kiegyenlítési eljárást megismertesse az olvasóval, és a további fejezetekben a módszer alkalmazása során a szükséges alaptudással rendelkezzen. A módszer azért is kerülhetett bele az (áttekintő jelleget tudatosan kerülő) dolgozatba, mert a módszer fejlesztése során számos (kutatócsoportban és egyedül egyaránt elért) önálló eredmény született, még akkor is, ha nem találtam kellően jelentősnek ahhoz, hogy ebből külön tézist fogalmazzak meg.

„A tézisek vonatkozásában a 2. tézist illetően – bár szakmai tartalmával kapcsolatban nincsenek kételyeim vagy kifogásaim – a nemzetközi publikálás hiánya miatt bizonytalan vagyok.”

A 2. tézis esetén a nemzetközi publikáció hiánya a rossz időzítésnek köszönhető. Mire a Newtoni mozgásegyenletek alapján végzett nehézségi erőter modell meghatározási módszere (2. tézis) kidolgozásra került, addigra Ilk et al [2005] által kidolgozott „short arc” módszer alkalmazása a CHAMP műhold méréseire olyan szinten sikeresnek bizonyult, hogy a többi alapvetően kidolgozott módszer gyakorlati alkalmazása teljesen háttérbe szorult. Fontos hangsúlyozni azonban, hogy a pontosságbeli eltérés nem nagyságrendi, így a módszer bizonyította alkalmazhatóságát, csak a CHAMP műhold esetén nem vezetett optimális eredményre. Mindenképpen egy alternatív módszerré válhat későbbi műholdas megoldások méréseinek feldolgozása számára. A teljesség kedvéért megjegyezném, hogy bár csak hazai szaklapban került publikálásra, de az egy lektorált, DOI-val és impakt faktorral ellátott folyóiratban történt.

„5. tézishoz: Mennyi a földi hó- és jégtakaró tömegében mutatkozó éves változás a krioszféra teljes tömegéhez képest? A kérdést külön a periodikus és a trendszerű változásra is értem, természetesen a tézisben megfogalmazott műholdas adatgyűjtés alapján.”

A krioszféra nem egyértelműen meghatározott kiterjedése miatt a kérdés meglehetősen nehéz. A krioszféra az állandó hó- és jégtakaró, jéghegyek, gleccserek, jégsapkák, jégpáncélok és a permafroszt

mellett az időszakos eljegesedéseket is magában foglalja, úgy mint a tengeri jég, tavak és folyók jege, szezonálisan fagyott talaj vagy a csapadék formájában megjelenő hó. Ennek számos komponensének a tömege nehezen becsülhető (pl. permafroszt) vagy időben változó (tengeri jég, szezonálisan fagyott talajok, stb.). A krioszféra tömegét az antarktiszi és a grönlandi jég, valamint a világ egyéb területein található gleccserek térfogata alapján becsüljük a CCS [2022] tanulmányban felhasznált értékek felhasználásával (I. Táblázat). Egyéb krioszféra összetevők hatása kisebb mértékű, térfogatuk becslése meglehetősen pedig nehézkes, vagy csak nagy bizonytalansággal végezhető el.

I. Táblázat

Földrajzi hely	Terület [millió km ²]	Térfogat [millió km ³]	Tömeg [Gigatonna]
Antarktisz [Fretwell et al., 2013]	12,3	26,5	24.300.500
Grönland [Morlighem et al., 2020]	1,7	3,0	2.751.000
Egyéb gleccserek [RGI Consortium, 2017]	0,7	0,158	145.000
Tengeri jég, Északi félteke [EUMETSAT, 2022]	5-15		
Tengeri jég, Déli félteke [EUMETSAT, 2022]	3-19		

A krioszféra 2006-2015 közötti időszakra vonatkozó változásainak becslése látható a II. Táblázatban a hivatalosnak tekinthető Intergovernmental Panel on Climate Change testület 2019 évi tanulmánya alapján (IPCC, 2019). A táblázatban egyben feltüntettük a tömegváltozás százalékát a teljes tömeg viszonylatában.

II. Táblázat

Földrajzi hely	Tömegváltozás 2006-2015 között [Gigatonna/év]	Tömegváltozás mértéke a tömeg százalékában
Antarktisz	-155 ± 19	0,0006 %
Grönland	-278 ± 11	0,0101 %
Egyéb gleccserek	-220 ± 30	0,1517 %

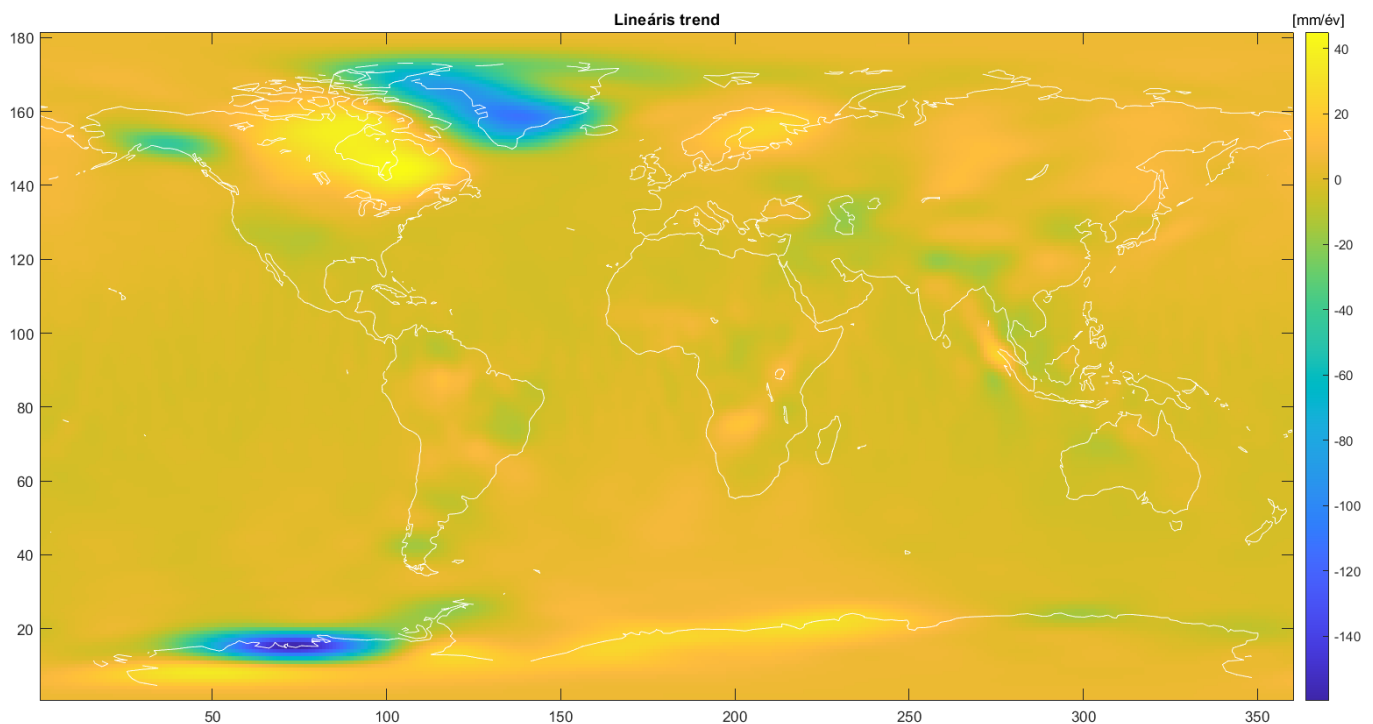
A krioszféra időbeli változásainak a II. Táblázatban látható értékeinél informatívabb a változás időbeli dinamikája. A III. Táblázat 25 év (1992-2006) tömegváltozásait mutatja, 5 éves időszakokra bontva (IPCC, 2019). Ez alapján összességében intenzív olvadási folyamat észlelhető, még ha sok esetben a meghatározott trend középhibája jelentősen meg is haladja a trend értékét.

III. Táblázat

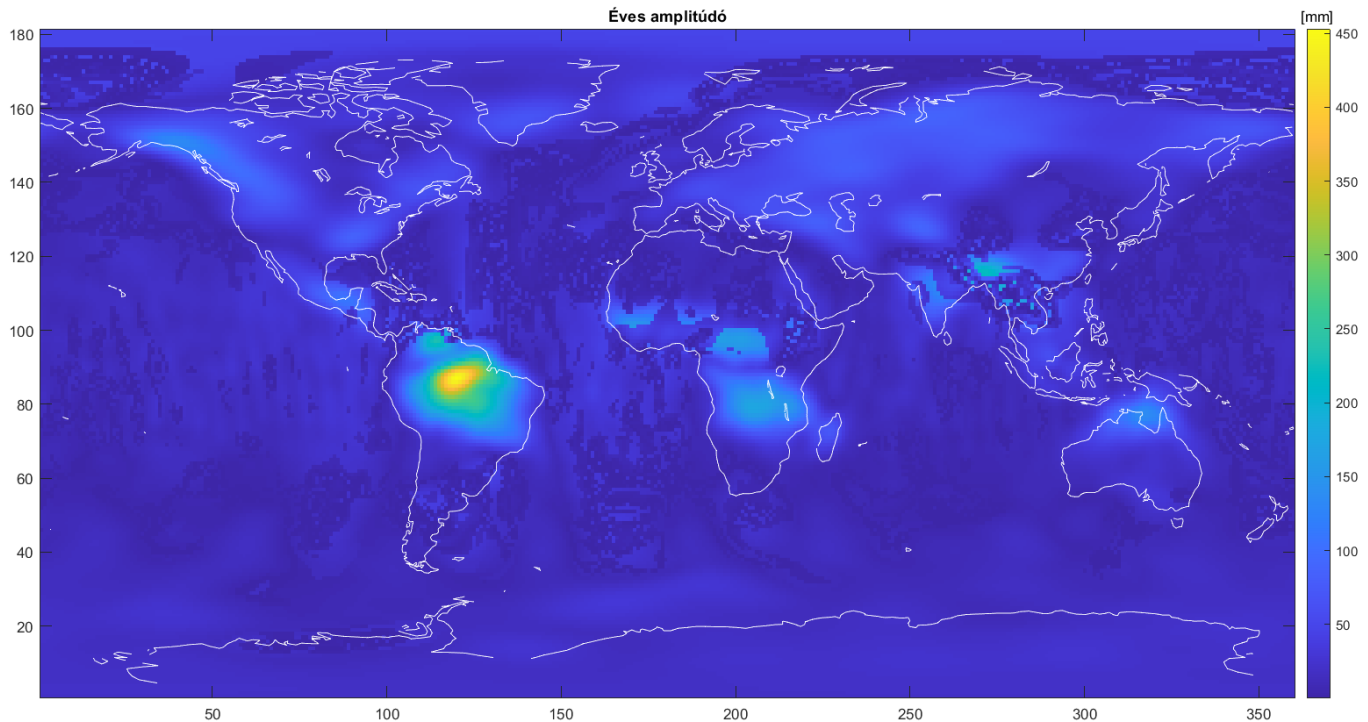
Földrajzi hely	Tömegváltozás 1992-1996 között [Gt/év]	Tömegváltozás 1997-2001 között [Gt/év]	Tömegváltozás 2002-2006 között [Gt/év]	Tömegváltozás 2007-2011 között [Gt/év]	Tömegváltozás 2012-2016 között [Gt/év]
Nyugat-Antarktisz	-66 ± 32	-44 ± 31	-85 ± 31	-183 ± 32	-192 ± 31
Kelet-Antarktisz	+11 ± 58	+8 ± 56	+12 ± 43	+23 ± 38	-28 ± 30
Grönland	+31 ± 83	-47 ± 81	-206 ± 28	-320 ± 10	-247 ± 15
Összeadva	-22	-83	-279	-480	-467

A bíráló által kért, pusztán gravimetriai műholdas (GRACE) adatgyűjtés alapján meghatározott időbeli változási értékeket mutat az 1. ábra. Ehhez a 2002-2017 időszakra (pontosabban 2002 áprilisától 2017 júniusáig, tehát a GRACE teljes üzemelési idejére) vonatkozó hónapos nehézségi erőter modellekre becsültük a tömeganomália értékét, ekvivalens vízszlop magasságaként kifejezve. A tömeganomális idősorokból a trendszerű változások (1. ábra) és a periodikus változások (2. ábra) is meghatározásra kerültek. A trendszerű változások esetén megjegyezzük, hogy nem csak jég- és hótakaró tömegátrendeződéseinek hatásait mutatják, hanem a Glaciális Izosztikus Kiegyenlítődés, az ún. Glacial Isostatic Adjustment (GIA) folyamatainak (beleértve a legutóbbi glaciális utáni visszarendeződés, az ún. Post Glacial Rebound (PGR) jelenségét is) a hatását. Ezek modellezése számos kevésbé ismert folyamatra, jelenségre és paraméterre (pl. földköpeny viszkozitása, a vizsgálati terület eljegesedésének teljes története) tett feltételezéseken alapulnak. Ennek eredményeképpen a GIA és PGR modellek kevésbé megbízhatónak mondhatók [Kiss és Földváry, 2017a], így az 1. ábrán eltekintettünk ennek korrekciójáról, inkább a II. Táblázat és a III. Táblázat értékeire hagyatkozunk.

Bár a krioszféra tömegátrendeződései szempontjából az éghajlatváltozás kapcsán leginkább a jégolvadás és -gyarapodás mértéke tart érdeklődésre számot, a 2. ábrán és a IV. Táblázatban az éves periodicitású tömegátrendeződések becslését mutatjuk be. A 2. ábrán látható pontbeli tömeganomália értékeket az Antarktisz illetve Grönland teljes területére kiintegrálva becsültük a IV. Táblázatban bemutatott éves periódusú változásban résztvevő tömegek mértékét.



1. ábra. Lineáris trend nagysága 2002-2017 között a CSR modellek alapján, ekvivalens vízszlop magasság éves változásában kifejezve, [mm/év] mértékegységben



2. ábra. Az éves periodusú változás amplitúdója 2002-2017 között a CSR modellek alapján, ekvivalens vízszlop magasságában kifejezve, [mm] mértékegységben

IV. Táblázat

Földrajzi hely	Éves változásban résztvevő tömegek 2002-2017 között ekvivalens vízszlop magasság átlagos értékben [mm]	Éves változásban résztvevő tömegek 2002-2017 között [Gigatonna]	Éves változásban résztvevő tömegek mértéke a teljes tömeg százalékában
Antarktisz	18,2485	223.783,180	0,9209 %
Grönland	34,4190	58.336,763	2,1206 %

„8. tézishez: Alkalmas-e ez az analitikus formula nem-geodéziai jellegű mintavételezés hibahatásának becslésére, illetve a becslés pontosítására? Tudná-e a Jelölt ezt egy nem-geodéziai (pl. elektronikai) példán demonstrálni?”

A 8. tézisben megadott analitikus formula általános érvényű, így bármilyen periodikus függvény esetén becslést ad a mintavételezési hibahatásának mértékére L1, illetve L2-norma szerint egyaránt. Az hibabecslés kizárólag a jelfrekvencia és a mintavételezés frekvenciájának az arányától függ, tehát annak értékétől, hogy egy periódus alatt hány mintavételezésre kerül sor.

Egy példa: A digitális telefonhálózat a 300 Hz és 3400 Hz közötti frekvenciasávban viszi át a beszédet (ez megfelel annak, hogy bár az emberi fül szélső esetekben akár a 20 Hz és 20000 Hz frekvenciájú hangokat is tud észlelni, a legjobban a 300-3000 Hz tartományban hall). Ehhez 8000 Hz-es mintavételi frekvenciát alkalmaznak. A mélyhangok alsó határát jelentő 300 Hz a 8000 Hz-es mintavételezés

mellett a dolgozat (95) egyenlete alapján az $N = 0,0375$ arányszámmal jellemezhető. Adott változó mellett a jel mintavételezésének a hibája meglehetősen kicsi, L1-norma esetén 0,46%, L2-norma szerint 0,51% mértékű. A magashangok felső határát jelentő 3400 Hz frekvenciát 8000 Hz-es mintavételezés mellett az $N = 0,4250$ arányszám jellemzi. Ekkor a mintavételezés hibája számottevő, L1-norma esetén 49,48%, L2-norma szerint 54,72% mértékű. Ez alátámasztja, hogy telefonban a magas hangok jobban torzulnak, kevésbé hitelesen mennek át. (A teljességhez hozzátartozik, hogy nem a teljes (folytonos) hangspektrumot képezik le, hanem azt egy logaritmikus kvantálóval nyolc biten kódolják, vagyis összesen 256 lehetséges szintet különböztetnek meg).

„Összességében: Mi a Jelölt véleménye: a műholdas gravimetria mai állása szerint a kizárólag műholdas mérések alkalmazásával a terepi g-mérések kiváltására milyen ekvivalens mérési pontosságig lenne ma alkalmas? Várható-e ebben további, nagyságrendi előrelépés?”

A válasz alapvetően a gravimetriai mérések felhasználási területétől függ. Az ekvivalens mérési pontosság helyett ugyanis sokkal inkább a térbeli felbontóképesség szab határt a felhasználásnak. A műholdas nehézségi erőter modellek sokkal pontosabban jellemzik a nagyléptékű, nagy kiterjedésű (és egyben nagy amplitúdójú) nehézségi erőter formákat, mint a kisebb részleteket. Mivel a műholdas nehézségi erőter modellek erőssége a nagy térbeli felbontás melletti pontosság, előszeretettel használják nagykiterjedésű tömegátrendeződéssel járó folyamatok vizsgálatára, így oceanográfiai áramlatok modellezésére, vagy nagyobb vízgyűjtők esetén a hidrológiai folyamatok értelmezésére, továbbá a krioszféra változásainak becslésére, valamint megathrust földrengések okozta deformációk modellezésére. Ezek mind olyan nagy területen hatást gyakorló folyamatok, amelyek vizsgálata terepi g-mérésekkel nehézkes és költséges lenne. A műholdas technológiák a vizsgált tömeganomália kiterjedésének csökkenésével egyre kevésbé használhatók. A terepi g-mérések a legkisebb felbontást biztosítják, az egyes mérések pontszerűnek tekinthetők. Terepi mérésekkel a mérési pontok megfelelő elhelyezésével lehet egy nagyobb területet vizsgálni, felmérni. Ezek alapján nem tartom szükségesnek, hogy a műholdas mérések valaha is leváltják a terepi méréseket, sokkal inkább a két mérési technológia kiegészítő jellegét szeretném hangsúlyozni, és ezzel felhívni a mindenkori döntéshozók figyelmét, hogy számos esetben a korszerű műholdas technológiák nem leváltják a hagyományos terepi technológiákat, hanem kiegészítik azt, ezért fontos a hagyományos terepi mérési technológiákat nem elavultnak tekinteni, hanem azok fejlesztésére is hangsúlyt fektetni.

Említett hivatkozások:

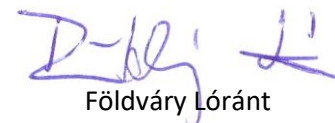
CCS (2022) Climate indicators – Cryosphere, Climate Change Service (CCS), Copernicus Programme, ECMWF, Link: <https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/cryosphere>

EUMETSAT (2022) a tengeri jég borítottság mértékét a 2010–2019 időszakra vonatkozó EUMETSAT OSI SAF Sea Ice Index v2.1 adatok alapján a 2010–2019 időszak határozta meg. Link: <https://osi-saf.eumetsat.int/products/osi-420>

Fretwell, P., Pritchard, H. D., Vaughan, D. G., Bamber, J. L., Barrand, N. E., Bell, R., Bianchi, C., Bingham, R. G., Blankenship, D. D., Casassa, G., Catania, G., Callens, D., Conway, H., Cook, A. J., Corr, H. F. J., Damaske, D., Damm, V., Ferraccioli, F., Forsberg, R., Fujita, S., Gim, Y., Gogineni, P., Griggs, J. A., Hindmarsh, R. C. A., Holmlund, P., Holt, J. W., Jacobel, R. W., Jenkins, A., Jokar, W., Jordan, T., King, E. C., Kohler, J., Krabill, W., Riger-Kusk, M., Langley, K. A., Leitchenkov, G., Leuschen, C., Luyendyk, B. P., Matsuoka, K., Mouginot, J., Nitsche, F. O., Nogi, Y., Nost, O. A., Popov, S. V., Rignot, E., Rippon, D. M., Rivera, A., Roberts, J., Ross, N., Siegert, M. J., Smith, A. M., Steinhage, D., Studinger, M., Sun, B., Tinto, B. K., Welch, B. C., Wilson, D., Young, D. A., Xiangbin, C., and

- Zirizzotti, A. (2013) Bedmap2: improved ice bed, surface and thickness datasets for Antarctica, *The Cryosphere*, 7, 375–393, doi.org/10.5194/tc-7-375-2013.
- Ilk, K. H., Mayer-Gürr, T., Feuchtinger, M. (2005) Gravity Field Recovery by Analysis of Short Arcs of CHAMP. In: Reigber C., Lühr H., Schwintzer P., Wickert J. (eds) *Earth Observation with CHAMP*. Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 127-132, https://doi.org/10.1007/3-540-26800-6_20
- IPCC (2019) Summary for Policymakers. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3-35. <https://doi.org/10.1017/9781009157964.001>.
- Kiss, A., Földvály, L. (2017a) Uncertainty of GRACE-borne long periodic and secular ice mass variations in Antarctica, *Acta Geodaetica et Geophysica*, 52:(4), pp. 497–510.
- Morlighem, M., Rignot, E., Binder, T. et al. Deep glacial troughs and stabilizing ridges unveiled beneath the margins of the Antarctic ice sheet. *Nat. Geosci.* 13, 132–137 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0510-8>
- Randolph Glacier Inventory (RGI) Consortium, 2017, *A Dataset of Global Glacier Outlines: Version 6.0*. Technical Report, Global Land Ice Measurements from Space, Boulder, Colorado, USA. Digital Media. DOI: doi.org/10.7265/N5-RGI-60.

Budapest, 2022.08.16.



Földvály Lóránt