

**Vélemény Földváry Lóránt „Műholdas gravimetriai mérések feldolgozása”
című az MTA doktora cím elnyerése céljából benyújtott értekezéséről.**

A Föld (és általában a Naprendszerbeli égitestek) térben és időben változó gravitációs terének műholdak segítségével történő megismerése nagy fontossággal bír számos tudományos és alkalmazott probléma kutatásában. Ezek közé tartozik a Föld alakjának, belső szerkezetének és folyamatainak vizsgálata. A nehézségi erőter időbeli változásainak lehetőleg minél szélesebb periódus tartományban történő megismerése jelentős mértékben hozzájárul a meteorológiai, hidrológiai, glaciológiai folyamatok megismeréséhez is. Azoknak az asztrometriai és geodéziai problémáknak a megoldásában, melyek az űrkísérletek időkoordinátákhoz való viszonyításához használt fő irányok és referenciafelületek meghatározásával kapcsolatosak szintén fontos a gravitációs tér ismerete. Ezeken túlmenően, az űrhajók mozgása a Föld nehézségi erőterében nem határozható meg a rájuk ható erőkre vonatkozó információk hiányában, amelyek között a gravitációs erő meghatározó szerepet játszik.

A műhold megfigyeléseken alapuló gravitációs mérések feldolgozásának és értelmezésének kérdései képezik Földváry Lóránt értekezésének tárgyát. Munkája jelentős számú – egyedül vagy szerzőtársakkal közösen írt – tanulmányának eredményeire épül. Ezek egy része vezető szakmai folyóiratokban látott napvilágot (Geophysical Research Letters (2001 és 2003), Geocarto International (2013), Earth Science Frontiers (2015), Geophysical Journal International (2015), Mathematical Methods in the Applied Sciences (2021)), továbbá jelentős számban nemzetközi konferenciák előadásait tartalmazó kötetekben jelentek meg. Közleményeinek, továbbá számottevő tudományos közéleti szerepvállalásának köszönhetően Földváry Lóránt az űrgravimetria nemzetközi szinten jegyzett és elismert kutatójaként van számon tartva.

A dolgozat tartalma tömören kifejtett, a tudományos eredmények ismertetése világos, érthető. A megértést segíti, hogy a dolgozat elején összesítve megtalálható a dolgozatban előforduló, a műholdas geodéziában használatos mozaik szavak majdnem teljes jegyzéke és a dolgozat egyenleteiben szereplő jelölések listája. Ami viszont nehezíti az értekezés felhasználását az egyrészt az, hogy hiányzik az oldalak számozása. Másrészt: az irodalmi hivatkozások listája rendezetlen (például: a 2014a és 2014b évszámokkal jelölt cikkek nem egymást követően szerepelnek, nem érthető több esetben a hivatkozások időrendisége: (21) és (22), (33) és (34), (37) és (38), 2014a (26) és 2014b (33), stb.).

A dolgozat jelentős részét képezik Szerzőnek a gravitációs műhold mérési adatok feldolgozásával kapcsolatban végzett kutatási eredményeinek bemutatása. Elsőként a newtoni mozgásegyenletek felhasználásával kapcsolatos eljárását

mutatja be (II.1). Az eljárás matematikai levezetése szabatos, jól követhető. Az elvégzett munkát érdekesnek és értékesnek tartom. Az eljárás segítségével készült modell standard eltérés értéke hasonló a potsdami kutatók eredményéhez. A dolgozat II.1. fejezetében leírtakhoz két kisebb fontosságú észrevételem van. Magyarázatra szorul, hogy mi történt r -el a (4) egyenletből az (5)-be történő átmenet során. Továbbá meg kellett volna adni a Cartan mátrix egyenletében (9) az x és y tengelyek irányát.

Az energia integrál felhasználásával történt adatfeldolgozás külön történt a CHAMP és a GRACE megfigyelési adatok esetében. Az első esetben (II.2.1.) a jelentős nemzetközi szakmai figyelmet kiváltó, a CHAMP mérések feldolgozásával kapcsolatos kutatási eredményeit, Szerző egy nemzetközi kutatócsoport tagjaként érte el. A közös munka keretében ő dolgozta ki a feldolgozás alapjául szolgáló módszert és végezte el az energia integrál szerinti adatfeldolgozást. A módszer alapjául szolgáló (28) egyenletet különböző modellek esetében került felhasználásra. Természetes, hogy az alkalmazásával kapott eredmények érzékenyek kellene, hogy legyenek az x pálya adatokból kapott \dot{x} sebesség értékek meghatározásának módjára. Szerző a dolgozat II.3. fejezetében leírtak alapján arra a következtetésre jut, hogy erre a célra a Newton-Gregory interpoláció alkalmazásával készült sebesség meghatározás tekinthető a legmegfelelőbb. A (28) egyenlet felírásával kapcsolatos kérdésem: az egyenlet bal oldalán szereplő V potenciális és a jobb oldalon található kinetikus $\frac{1}{2}\dot{x}$ energiák egységeinek eltérése hogyan magyarázható?

A GRACE műholdakkal kapcsolatos adatfeldolgozás (II.2.2.) legfontosabb előnye, a II.2.1. pontban ismertetett eljárással szemben, hogy az a kevésbé megbízhatóan meghatározható sebesség értékek helyett a két műhold közti távolság változásokat használja fel.

A sebesség és gyorsulás értékek numerikus differenciálás útján történő meghatározása terén (II.3.) Szerző új, ismereteim szerint a szakirodalomban korábban nem alkalmazott, eljárásokat fejlesztett ki és alkalmazott eredményesen CHAMP megfigyelési és GOCE szimulált adatsorok esetében. Ilyenek: a közvetlen numerikus deriválás, a görbe illesztés utáni analitikus deriválás, az interpoláción alapuló eljárás, a spline függvények felhasználásával történő megoldások. Bár ez utóbbi tárgykörben közleményei egy részét társzerzőkkel jelentette meg megállapítható, hogy a numerikus deriválással kapcsolatos eljárások alkalmazásának módozatait Szerző dolgozta ki. Kérdés: az a megállapítás, hogy a „gyorsulás meghatározására az első derivált képzése két egymást követő lépésben jóval pontosabb eredményt szolgáltat, mint a második derivált meghatározása közvetlenül egy lépésben” hogyan igazolható?

A korábban tárgyalt műholdaktól (CHAMP, GRACE) eltérően a GOCE esetében a gravitációs gradiensek közvetlenül a mérésekből határozhatók meg az 5-100

mHz mérési sávban. (II.4). Az értékelhető eredmények frekvencia szerinti elkülönítése céljából Szerző a korábban használt szűrőktől eltérően a hatékonyabb IIR sávszűrőt alkalmazta, melynek fázisokat torzító hatását a szűrő oda-vissza történő alkalmazásával éri el. Kérdéseim: a szűrő kétszeri oda-vissza történő alkalmazása hogyan hat az amplitúdók értékére? Az 5. táblázat utolsó oszlopában a két szűrt jel eltérése hogyan lett meghatározva? (A 6. ábrát tartalmazó oldal felső sorában Shuh helyett Schuh kell, hogy szerepeljen).

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 dolgozat IV. fejezete az időben változó nehézségi erőtér modellek alkalmazásaival foglalkozik. A GRACE és az azt követő 2018 májusában indult GRACE Follow On (GRACE - FO) misszió célja, hogy adatokat szolgáltatson a Föld gravitációs terének havonkénti globális modelljeihez. Így lehetőség nyílt a néhány hónapnál hosszabb periodikus és aperiodikus tömeg átrendeződéssel kapcsolatos időbeli folyamatok nyomon követésére és ennek alapján légköri, oceanográfiai, hidrológiai, glaciológiai és egyéb természetes és mesterséges folyamatok új szempontok szerinti kutatására. Ebből a szempontból érdekesek az antarktisi jégtakaró olvadásával kapcsolatos, a dolgozatban bemutatott, eredmények. Az ilyen típusú vizsgálatok jelentős nemzetközi érdeklődésre tarthatnak számot. Nagyon örvendetesnek találom, hogy Szerző ezt a témát dolgozatába bevette és remélhetőleg hasonló jellegű kutatásokkal a jövőben is foglalkozni fog. A dolgozatban ismertetett és ebben a témakörben alkalmazható adatfeldolgozási eljárást jól megválasztottnak tartom. Tanulságosak a 6. táblázatban bemutatott, az ablakmérettől függő, trend és trendszórás adatok. Kérdésem: mi lehet oka a GRACE adatokból kapott modellekből számított lineáris trend szintvonalak a 10. ábrán látható besűrűsödésének az antarktisi jégtakaró keleti részén? Megjegyzem, hogy a (74) egyenletben k_n nem Love szám, hanem terhelési szám. Ezt alapesetben rugalmas Föld esetére számítják. Értéke jelentős mértékben függ n nagyságától, valamint a terhelés változás időbeli alakulásától, mivel ez utóbbi mértéke határozza meg, hogy a terhelési szám értékének meghatározásakor milyen mértékű anelaszticitást szükséges figyelembe venni.

Az V., a mérések feldolgozásának elvi nehézségeivel foglalkozó fejezet tartalma túlmutat a dolgozat tárgyán. Az itt leírtak jelentős része alkalmazható más, nem kizárólag geodéziai, idősorok feldolgozására is. A fejezetben ismertetett, a Szerző által kidolgozott a szélső értékek hatásának simításával, a periodusos folyamatok amplitúdó értékeinek pontosításával, és ez utóbbi általánosításával foglalkozó eljárásokkal kapcsolatban leírtakkal egyetértek és azokat érdekes új

eredményeknek tartom. Ugyanez vonatkozik a Legendre függvényekkel kapcsolatos összefüggésre és Az L1 és L2 normák szerinti mintavételezési hatások becslésére is.

A dolgozat értékelésével kapcsolatos tevékenységemet megkönnyítették a dolgozat részeként szereplő VII. (Tudományos hozzájárulás a tézisekben meghatározott eredményekhez) és VIII. (A kutatás és a bemutatott eredmények hatása, visszhangja) sorszámú dokumentumok. Ezek megismerése alapján megállapítható, hogy Szerző szerepvállalása a társzerzőkkel közösen publikált munkákban jól körülhatárolható és lényeges volt.

Szerző tudományos eredményeit nyolc tézisben foglalta össze, melyek közül a harmadikat és a hatodikat 3 illetve 4 altézisre bontotta fel. Ezeket elfogadom, de a 3.3 altézisben található - a második deriváltak számításával kapcsolatos - megállapítását a dolgozatban írtak alapján nem tudom bizonyítottnak tekinteni.

A fentebb leírtakat összefoglalva:

-Földváry Lóránt dolgozatát értékes tudományos műnek tartom, mely lényeges új megállapításokat tartalmaz.

-Kutatási eredményeit számos nemzetközi és hazai kiadványban (folyóiratokban és könyvrészletek formájában) közzé tette. Ezeket a szakmai közvélemény pozitívan fogadta, mire bizonyíték munkáira történt független hivatkozások jelentős száma.

-A tudományos közösség életének tevékeny résztvevője és elismert tagja.

Fentiek alapján megállapítom, hogy az MTA doktori cím elnyerése céljából készített dolgozat megfelel a cím elnyeréséhez szükséges követelményeknek. Javaslom a nyilvános vita kitűzését és –az eredményes védést követően– az MTA doktora cím odaítélését.

Varga Péter