

G E O M A T I K A I
K Ö Z L E M É N Y E K

Publications in Geomatics

FŐSZERKESZTŐ
Editor in Chief

PAPP G

TANÁCSADÓ TESTÜLET
Advisory Board

ÁDÁM J (*elnök/chair*)
BIRÓ P
BOZÓ L
MÁRTON P

HU ISSN 1419-6492



MTA CSFK GEODÉZIAI ÉS GEOFIZIKAI INTÉZET
9400 SOPRON, CSATKAI U. 6-8.

Geomatikai Közlemények

Publications in Geomatics

kiadja az

MTA CSFK GEODÉZIAI ÉS GEOFIZIKAI INTÉZETE

9400 Sopron, Csatkai E. u. 6-8. Pf. 5.

tel.: 99 / 508-340 fax.: 99 / 508-355

e-mail: geomatika@ggki.hu

web: www.geomatika.ggki.hu

web programozó: Lovranits Tamás

felelős kiadó:

Szarka László Csaba
főigazgató

főszerkesztő:

Papp Gábor

angol nyelvi szerkesztő:

Eperné Pápai Ildikó

technikai szerkesztő:

Bischof Annamária

készült a

LŐVÉR PRINT Kft. nyomdájában

9400 Sopron, Ady Endre u. 5.

tel.: 99 / 329-977

megjelent 150 példányban

Sopron, 2015

HU ISSN 1419-6492

**GEOMATIKAI
KÖZLEMÉNYEK
XVIII/2.**

"Minden nemzet a maga
nyelvén lett tudós,
de idegenen sohasem."

(Bessenyei György)

ÁLTALÁNOS INFORMÁCIÓK ÉS ÚTMUTATÓ

A Geomatikai Közlemények 1998 óta rendszeresen, általában évenként egy alkalommal megjelenő folyóirat. A kiadvány célja, hogy elsősorban magyar és esetenként angol nyelvű fórumot biztosítson a hazai ill. külföldi kutatóknak és szakembereknek, akik a geodézia, fotogrammetria, térinformatika, fizikai geodézia, geodinamika, tágabb értelemben véve a geomatika szakterületén elért tudományos eredményeiket szeretnék közzétenni. A kiadványban megjelenő cikkek és tanulmányok a mai normáknak megfelelő lektorálási folyamaton mennek keresztül, azaz mielőtt publikálásra kerülnek legalább kettő független bíráló véleményt alkot a közlésre benyújtott kéziratról. A bírálók nevét alaphelyzetben csak a szerkesztőbizottság ismeri, de a bírálók kérhetik anonimitásuk felfüggesztését. A bírálatok alapján a szerkesztőbizottság eldönti, hogy az adott kézirat megfelel-e a Geomatikai Közlemények formai és tartalmi követelmény-rendszerének, illetve, hogy az esetlegesen felmerülő hibák és hiányosságok kijavíthatók- és pótolhatók-e a kézirat kisebb-nagyobb átdolgozásával.

A Geomatikai Közlemények szerkesztését – amelyet 2011-től már egy, az Interneten keresztül elérhető és működtethető web felület is támogat (www.geomatika.ggki.hu/kozlemenyek ©Lovranits Tamás és Papp Gábor) – társadalmi munkában végző szerkesztőség nagy hangsúlyt fektet a lehető leggyorsabb minőségi munkára. Ez mind a szerzőktől, mind a bírálóktól erőfeszítéseket és fegyelmet kíván, amit a szerkesztőség előre is tisztelettel megköszön. Ennek biztosításához javasoljuk áttanulmányozni a következő anyagokat:

Geomatikai_Közlemények_instrukciók_szerzőknek.doc,
Geomatikai_Közlemények_instrukciók_bírálóknak.pdf,

amelyek a már fent megadott címre belépve letölthetők. A regisztrált felhasználók ugyanezen a címen keresztül végezhetik el a rendszer által koordinált aktuális feladataikat, akár szerzői, akár bírálói szerepkörben. Az új felhasználók ugyanitt regisztrálhatnak, felhasználói név és e-mail cím megadásával.

A feltöltött kéziratokat a szerkesztőség előbírálja, elsősorban az instrukciókban megfogalmazott formai szempontok szerint. Ha a kézirat formailag kielégítőnek bizonyul, akkor elindul a bírálati folyamat, amely általában több ciklust is képez, és egészen addig tart, ameddig a bírálók ill. a szerkesztőség ezt tartalmi-formai indokok miatt szükségesnek tartják. A bírálati fázisokról és az aktuális teendőkről mind a szerzők mind a bírálók automatikus üzenetekben értesülnek.

A Geomatikai Közleményeket az MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézete adja ki. A kiadás anyagi háttérét egyrészt a két évente Sopronban megrendezésre kerülő Geomatika Szeminárium, másrészt különböző pályázatok és tudományos szervezetek (pl. Soproni Tudós Társaság) támogatásai biztosítják.

A Geomatikai Közlemények jelen kötetének felelős szerkesztői:

Bányai László, Benedek Judit, Kalmár János, Papp Gábor, Szűcs Eszter, Újvári Gábor, Závoti József.

A KÖTETBEN MEGJELENT CIKKEK BÍRÁLÓI

Bácsatyai László
Bányai László
Bartha Gábor
Battha László
Benedek Judit
Brolly Gábor
Dobróka Mihály
Gribovszki Zoltán
Jancsó Tamás
Kis Márta
Papp Gábor
Siki Zoltán
Szűcs Eszter
Tóth Gyula
Völgyesi Lajos
Závoti József

TARTALOMJEGYZÉK

CONTENTS

Busics György	7
A kiegyenlítő számítás alkalmazásának szükségességéről az alappontsűrítésben <i>About the necessity of the application of adjustment in control point densification</i>	
Somogyi Árpád, Molnár Bence	15
Pontfelhő illesztési módszerek összehasonlítása <i>Analysis of point cloud registration methods</i>	
Papp Erik	23
Kvaternió alapú geodéziai dátumtranszformáció iterációval <i>Quaternion-based geodetic datum transformation by iteration</i>	
Mentes Gyula, Bán Dóra, Eperné Pápai Ildikó	35
A Föld közel napos periódusú nutációjának kimutatása a sopronbánfalvi extenzométeres adatok alapján – Előzetes eredmények <i>Detection of the near-diurnal period of the nutation of the Earth on the basis of the Sopronbánfalva extensometric data – Preliminary results</i>	
Kiss Annamária, Földváry Lóránt	43
Éves hidrológiai változások meghatározása GRACE geopotenciális modellek segítségével <i>Annual hydrologic variations from GRACE gravity models</i>	
Kemény Márton, Földváry Lóránt	53
Számítástechnikai fejlesztés műholdas gravimetriai adatok feldolgozására <i>Computational development for large satellite gravimetric datasets</i>	
Tóth Gyula, Földváry Lóránt	63
Új magyarországi geoidmeghatározás az ötödik generációs GOCE nehézségi erőter modellek segítségével <i>Updated Hungarian gravity field solution based on fifth-generation GOCE gravity field models</i>	
Völgyesi Lajos, Tóth Gyula	75
A függővonal-elhajlás meghatározásának lehetőségei <i>Possibilities of determination of the vertical deflections</i>	
Dobosi Gábor, Harangi Szabolcs	85
Hungarian National Report on IAVCEI 2011-2014 – An addendum	
Pethő Gábor	87
Activity of the Department of Geophysics, University of Miskolc – IAGA Division 1. Internal magnetic fields	

A KIEGYENLÍTŐ SZÁMÍTÁS ALKALMAZÁSÁNAK SZÜKSÉGESSÉGÉRŐL AZ ALAPPONTSŰRÍTÉSBN

*Busics György**



About the necessity of the application of adjustment in control point densification – Although all conditions are given to use adjustment theory for the processing of surveying control points, unfortunately, in practice this discipline does not work. In this paper it is outlined, that the adjustment is the state-of-the-art solution method for computing the levelling lines, for densification of horizontal surveying control points and also for finalizing the coordinates coming from static or RTK GNSS measurements. The professional regulation should also take into account this trend.

Keywords: adjustment, levelling network, horizontal surveying network, GNSS measurement

Bár elvileg minden feltétel adott ahhoz, hogy az alappont sűrítést szolgáló méréseink feldolgozását a kiegyenlítő számítás alkalmazásával oldjuk meg, ez a gyakorlatban még sincs így. Arra szeretnék rámutatni, hogy mind a szintezéssel történő pontpótlás, mind az irány- és távmérésen alapuló felmérési alappont sűrítés, mind a statikus vagy RTK pontmeghatározás esetén ez lenne a korszerű megoldás. A szakmai szabályozásnak is ezt az irányzatot kellene figyelembe vennie.

Kulcsszavak: kiegyenlítés, szintezési hálózat, felmérési alappont hálózat, GNSS mérés

1 A téma időszerűsége

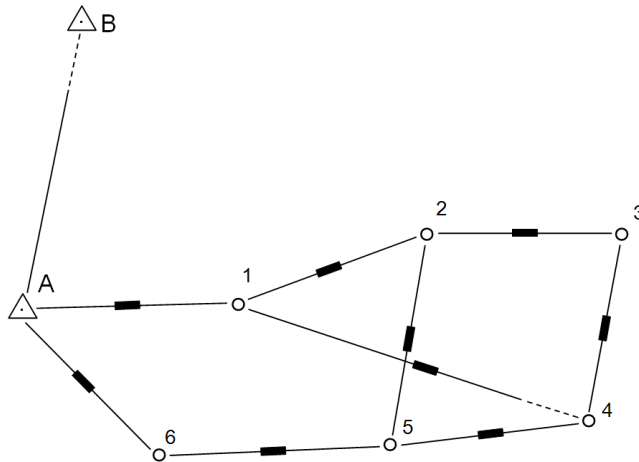
A geodéziai mérések legkisebb négyzetek elvén történő kiegyenlítését már Gauss (1777-1855) kidolgozta, de az csak lassan került át a gyakorlatba. Ennek legfőbb oka a korabeli számítástechnika elégtelensége volt. A szögfüggvény- és logaritmus táblázatokban való keresés, a mechanikus számológépek használata időigényes és embert próbáló volt. Gyökeres változást hozott a nagyszámítógépek, majd a személyi számítógépek megjelenése, amelyek mintegy társadalmasították, széles körűvé tették a gépi számítást a geodéziában is.

Az 1990-es évek elején Csepregi Szabolcs munkatársammal írt közös cikkeinkben erre kívántuk felhívni kollégáink figyelmét (Csepregi és Busics 1991, Busics és Csepregi 1992a, 1992b). Napjainkban mégis azt tapasztaljuk, hogy nem használjuk ki eléggé a számítástechnika adta lehetőségeket. Különösen feltűnő ez a GNSS technika esetében, amelyben maga a mérés és a vektorfeldolgozás automatizált ugyan, de a további feldolgozás kevésbé. Írásomban erre az ellentmondásra szeretném felhívni a figyelmet, és azt indítványozom, hogy fölös mérések esetén a kiegyenlítéssel kapott végeredményt követeljük meg, mert az a korszerű megoldás.

A kérdés időszerűségét a szakmai szabályozás megújítása is indokolja. Az alappontsűrítést szabályozó korábbi szakmai szabályzatokat (A3, A4, A5) 2010-től kezdődően magasabb szintű jogszabályok váltották fel. Általánosságban az állapítható meg, hogy a kiegyenlítést nem preferálják eléggé az új előírások, ezért gondolom, hogy érdemes ezt a témát előtérbe helyezni.

2 A felmérési alappontokról

Tisztázzuk először is, mi a cikk tárgya. Írásom az alappontsűrítésről szól, vagyis feltételezi, hogy létrejöttek az országos geodéziai alapponthálózatok, és azokon belül van szükség további alappontokra. Ilyenek a negyedrendű szintezési alappontok, a vízszintes felmérési alappontok (korábban: ötödrendű alappontok), valamint a GNSS-technikával létrehozott felmérési alappontok. Nem foglalkozom tehát az országos alappontok létrehozásával, pótlásával (ahol egyébként mindig is szerepe volt a kiegyenlítő számításnak), és nem érintem a részletmérést sem (amely egy külön cikk témája lehetne, tekintettel arra, hogy ma a GNSS részletmérés alappontsűrítés nélkül is végezhető).



5. ábra. Felmérési hálózat, RTK-val, többszörös ismétléssel mért és kiegyenlített két alappontra támaszkodva

Kérdés, hogy az így kialakított hálózatot megfelelőnek ítéljük-e? Így nem fogadható el a mérés, mert ha hibás lenne akár az A vagy a B pont, ezt nem lehetne kimutatni, s egy eltolt vagy elforgatott rendszert hoznánk létre. Ha viszont az A és B pont fölös adatairól gondoskodunk (vagyis többször mérjük azokat), valamint a mérést (a térbeli vektor-összetevőket) kiegyenlítővel számítjuk, akkor véleményem szerint elfogadható módon járunk el. Ha a B-jelű tájékoztató ponton kívül egy további C pontot is meghatároznánk hálózatos RTK-val, akkor a tájékoztató irányok tekintetében is biztosítanánk fölös adatot.

6 Összefoglalás

A kiegyenlítő számítás a geodéziában régóta kidolgozott elmélet, amit a gyakorlatban az országos hálózatok számításánál hosszú ideje alkalmaznak. A mai számítástechnikai és szoftveres környezet lehetővé tenné, hogy az alsórendű alappont-sűrítésben is kiegyenlítővel számítsuk a felmérési alappontok végleges koordinátáit, bármilyen módszerrel (de fölös adattal!) hoztuk is létre azokat. Természetesen a kiegyenlítő számítás nem „csodaszer”, hiszen csak akkor vagyunk „jogosultak” használni, ha hálózatunk mentes a durva és a szabályos hibáktól, és valóban hálózati szemlélettel, megfelelő számú fölös mérésre törekedve alakítottuk azt ki.

Példákat mutattam a kiegyenlítésre a kisebb területre kiterjedő negyedrendű szintezési hálózatra valamint az irány- és távméréses felmérési hálózatra.

Mivel napjainkban egyre kiterjedtebb a GNSS-technika alkalmazása, írásomban rámutattam arra, hogy a statikus GNSS-módszerrel létrehozott térbeli vektor-hálózatokat, de a hálózatos RTK-val mért alappontokat is érdemes kiegyenlítővel számítani.

Külön vizsgálandó kérdés lehetne, hogy a mérnökgeodéziái feladatoknál mikor, hol, milyen feltételekkel indokolt és szükséges a kiegyenlítő számítás alkalmazása. Ez a téma azonban továbbvezet a szakmánk minden területét érintő technológiai változásokhoz, a modernizációs folyamatok jogszabályi követéséhez. Ezt a nagy témát nem kívántam felvállalni ebben a cikkben, csak felhívni a figyelmet arra, hogy amit a kiegyenlítő számítás alkalmazása terén a számítástechnikai lehetőségek szintjén ma megtehetünk, azt tegyük is meg.

Hivatkozások

Busics Gy (2005): Alappontmeghatározás RTK-val. Geomatikai Közlemények, 8, 107-114.

Busics Gy, Csepregi Sz (1992a): Hálózati szemlélet a vízszintes alappontsűrítésben. Geodézia és Kartográfia, 1992(3), 157-166.

Busics Gy, Csepregi Sz (1992b): Alsógeodéziái pontmeghatározások megoldása hálózatkiegyenlítővel. Geodézia és Kartográfia, 1992(6), 402-407.

- Busics Gy, Horváth T** (2006): Az aktív hálózatok adottságainak kihasználása a műholdas helymeghatározásban. Geodézia és Kartográfia, 2006(4), 9-16.
- Csepregi Sz, Busics Gy** (1991): Vízsíntes hálózat kiegyenlítése személyi számítógéppel. Geodézia és Kartográfia, 1991(2), 55-62.
- Csepregi Sz** (2000): Vízsíntes hálózatok pontossági mérőszámainak néhány problémája. Geomatikai Közlemények, 3, 81-88.
- Gyenes R, Kulcsár A** (2006): Digitális szintezőműszerrel végzett mérések feldolgozása. Geodézia és Kartográfia, 2006(1), 17-22.

PONTFELHŐ ILLESZTÉSI MÓDSZEREK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Somogyi Árpád*, Molnár Bence*



Analysis of point cloud registration methods – *This paper discusses the different types of registrations of laser scanned point clouds. The goal of the investigation is the accuracy assessment of different tie- and control point constellations and the feasibility analysis of the Iterative Closest Point (ICP) method for indoor measurements. Error analysis has been carried out for conventional registration by increasing the number of involved laser scanning stations (from 2 to 6). Therefore the accuracy planning of multiple measurements, traverses and geodetic networks can be supported using different parameters, such as number, distribution and type of control points. Reference measurements have been carried out by total station. The obtained statistical quality parameters can be used in practice.*

Keywords: terrestrial laser scanning, point cloud, registration, ICP, accuracy assessment

A cikkben lézerszkennelt pontfelhők eltérő módszerekkel történő illesztését mutatjuk be. A vizsgálat célja a különböző kapcsoló-, és illesztőpont konstellációk pontossági mérőszámok alapján történő összevetésén túl a dedikált kapcsolópontokat nem igénylő iteratív legközelebbi pontok (Iterative Closest Points – ICP) algoritmus alkalmazhatóságának tanulmányozása beltéri mérésekre. A hagyományos illesztésnél a bevonandó álláspontok számát növelve (2-től 6-ig) többféle elrendezés mellett elemizzük a hibákat. Így lehetővé válik méréssorozatok, sokszögvonalak, hálózatok pontossági tervezése is, az alkalmazott illesztőpontok számának, eloszlásának vagy éppen azok anyagának megválasztása mellett. Referenciaként mérőállomással végrehajtott mérések szolgálnak. A levezetett statisztikai mérőszámok a gyakorlati alkalmazás során felhasználhatók.

Kulcsszavak: földi lézerszkennelés, pontfelhő, illesztés, ICP, pontosságvizsgálat

1 Bevezetés

A távérzékelés és geodézia világában az elmúlt időszakban lezajlott egy olyan paradigmaváltás, melynek következtében számos mérési technológia jellemzően nagyfelbontású pontfelhőket szolgáltat eredményül. A vizsgálat során az egyre szélesebb körben használt lézerszkennelt állományok egymáshoz illesztésével foglalkoztunk. A felmérések során előálló pontfelhők jellemezően a műszer saját koordinátarendszerében állnak rendelkezésére. Amennyiben a felmérendő objektum méreteire vagy kitarásra való tekintettel több álláspontból kell végrehajtani méréseket, akkor meghatározandók azok a transzformációs paraméterek, amelyek a pontfelhők közötti kapcsolatokat biztosítják. Ezt a feladatot relatív illesztésnek nevezzük. A mérés vagy mérések valamely már létező hálózatba való kapcsolására az abszolút illesztés megnevezést célszerű használni (Lovas et al. 2012). A lézerszkennelés technológiák kapcsán gyakran vizsgált terület az anyagminőség valamint a beesési szög hatása a létrejövő pontfelhőre, azonban a hazai gyakorlatban az egyes lézerszkennelt állományok összeillesztéseinek lehetőségei és pontossági elemzése nem volt kiemelten vizsgált téma. Ennek kapcsán olyan mérést hajtottunk végre, amelyen keresztül a transzformációs paraméterek pontossága különböző eseteket figyelembe véve válik vizsgálhatóvá. Ezáltal eldönthető, hogy szükséges-e a nagyobb pontosság elérése érdekében a lézerszkennelés mérések hálózatát a plusz költségek és időigény ellenére geodéziai módszerekkel is támogatni. A gyakorlatban alagút (Clini et al. 2013) illetve bányamérések kapcsán merülhetnek fel ilyen feladatok, a cikkben ismertetett vizsgálatot e munkák motiválták. A lézerszkennelés méréseink során a geodéziában megszokott alacsony fölősmérés hányaddal ellentétben nagyarányú fölősméréssel rendelkezünk, ezek nagymértékben javíthatják a pontosságot. A cikk további részében szó lesz a mérésről, valamint a felvett esetekről és az azokból levonható konklúziókról.

*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék,
1111, Budapest, Műegyetem rkp. 3.
Email: somogyi.arpad@epito.bme.hu

12. táblázat. ICP-vel történő illesztés során az álláspontokon tapasztalható koordináta-eltérések

Különbségek [mm]		
X	Y	Z
0	0	0
0	0	-3
0	-2	-11
-1	-2	-24
-6	4	-45
-6	0	-71

Az általunk végrehajtott vizsgálat eredménye a természetes pontok alkalmazását leszámítva minden esetben megfelelt a sokszögeléshez kapcsolódó – egyébként igen megengedő – szabályzatoknak (MÉM OFTH: A.4 (70 928/1979.) és MÉM OFTH: A.5 (36400/1980.)). A földi lézerszkennelrel sokszögvonalon gyűjtött pontfelhők illesztőgömbökkel történő transzformálása során az ismert geodéziai összefüggések alkalmazhatók (Krauter 2002). Amennyiben az adott alkalmazás lézerszkenneres felmérést követel meg, nem szükséges az álláspontokat geodéziai mérésekkel is meghatározni, így a hagyományos sokszögelés elhagyható.

Hivatkozások

- Besl P, McKay H** (1992): A method for registration of 3-D shapes. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 14, 239-256.
- Chen Y, Medioni G** (1991): Object modeling by registration of multiple range images. *Proceedings. 1991 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 3, 2724-2729.
- Clini P, Nespeca R, Bernetti A** (2013): All-In Laser Scanning Methods for Surveying, Representing and Sharing Information on Archaeology. *Via Flaminia and the Furlo Tunnel Complex, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W2, 2013 XXIV International CIPA Symposium*.
- Detrekői Á** (1991): Kiegészítő számítások. *Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest*. 688.
- Hoppe H, Deroose T, Duchamp T, McDonald J, Stuetzle W** (1992): Surface reconstruction from unorganized points. *ACM SIGGRAPH*, 71–78.
- Krauter A** (2002): *Geodézia*, Műegyetemi kiadó, Budapest. 514.
- Lovas T, Berényi A, Barsi Á** (2012): *Lézerszkennelés*. Terc kiadó, Budapest. 166.
- MÉM OFTH** (1979): A.4 (70 928/1979.) Szabályzat az egységes országos magassági alapponthálózat létesítési munkáiról. Budapest.
- MÉM OFTH** (1980): A.5 (36400/1980.) Szabályzat az országos vízszintes alappont hálózat sűrítésére. Budapest.

KVATERNIÓ ALAPÚ GEODÉZIAI DÁTUMTRANSZFORMÁCIÓ ITERÁCIÓVAL

Papp Erik*



Quaternion-based geodetic datum transformation by iteration – Datum transformation is the most frequent problem in geodesy, photogrammetry, geoinformatics, animation and computer vision. To overcome the drawback of traditional solution of the problem based on rotation angles – which depends strongly on initial values of the parameters, thus making the method ineffective in the case of super large rotation angles – the paper adopts unit quaternion to represent three dimensional rotation matrix. A quaternion-based iterative solution in terms of linearization in the Bursa-Wolf geodetic transformation model is described. The calculations show that the quaternion-based solution has no dependence on the initial values of the parameters. It provides reliable result with fast speed. As a result of the iteration the \mathbf{Q} quaternion elements q_0, q_1, q_2, q_3 and the λ scale value are obtained. The main advantage of this algorithm is that it can be applied in the case of arbitrary size rotation.

Keywords: Datum transformation, quaternion, rotation matrix, parameter adjustment with constraint

A dátumtranszformáció az egyik leggyakrabban előforduló feladat a geodéziában, fotogrammetriában, térinformatikában, az animációban és a számítógépes megjelenítésben. A hagyományos módszer hátránya, hogy a forgásszögek meghatározása erősen függ a paraméterek kezdeti értékeitől, amely szuper nagy forgásszögek esetén nem ad megoldást. A dolgozatban ismertetett módszer egység kvaterniót alkalmaz a térbeli forgatási mátrix meghatározásához. Ismerteti a kvaternió alapú geodéziai dátumtranszformáció iterációs megoldását linearizálással a Bursa-Wolf dátumtranszformációs modellben. A számítások azt mutatják, hogy a kvaternió alapú iterációs megoldás független a paraméterek kezdeti értékeitől, gyors és megbízható eredményt ad. Az iteráció eredményeként a \mathbf{Q} kvaternió q_0, q_1, q_2, q_3 elemeit és a λ méretarányt kapjuk. Ennek az algoritmusnak a legnagyobb előnye, hogy tetszőleges nagyságú szögelfordulások esetében is alkalmazható a transzformációs paraméterek számításához.

Kulcsszavak: Dátumtranszformáció, kvaternió, forgatási mátrix, paraméter kiegyenlítés kényszerfeltétellel

1 Bevezetés

A térbeli (3D) koordináta transzformáció az egyik leggyakoribb feladat a geodéziában, fotogrammetriában, térinformatikában, a számítógépes animációban és más kutatási területeken. Ez magában foglalja a térbeli adatok (koordináták, képek, térképek, modellek, pontfelhők stb.) transzformálását a forrás koordináta rendszerből a cél koordináta rendszerbe. Jelenleg a legtöbbször alkalmazott modell a hétparaméteres hasonlósági transzformációs modell. Dátumtranszformáció esetén hét transzformációs paramétert kell kiszámítanunk, nevezetesen három eltolást, három elforgatást és a méretarány paramétert a mindkét rendszerben adott közös pontok koordinátáinak felhasználásával. Ebben a dolgozatban a Bursa-Wolf hasonlósági transzformációs modellt alkalmazzuk, amelyet klasszikus modellnek, hétparaméteres modellnek, térbeli Helmert modellnek vagy konform csoportnak $C7(3)$ is neveznek. A geodéziában, mivel a forgásszögek általában nagyon kicsinyek, vagyis a két koordináta rendszer tengelyei közel párhuzamosak, lineáris egyszerűsített modellt alkalmaznak (pl. Detrekői 1991, Kleusberg és Teunissen 1996, Leick 2004, Hofmann-Wellenhof et al. 1994, Hofmann-Wellenhof et al. 2001), amely paraméterei egyszerűen számíthatók. Számos külföldi és hazai publikáció foglalkozik a geodéziai dátumtranszformációval, mint például Welsch (1993), Grafarend et al. (1995), Vanicek és Steeves (1996), Yung (1999), Závoti (1999), Závoti (2005), Závoti és Jancsó (2006), (2012), Csepregi (2001a), Csepregi (2001b), Bácsatyai (2005), Virág és Borza (2007), Papp et al.

*S:JE, Ybl Miklós Építéstudományi Kar, 1146 Budapest, Thököly út.74.
E-mail: papp.erik@ybl.szie.hu

különbségeként számítja az e_x, e_y, e_z maradék ellentmondások három összetevőjét, továbbá ezek felhasználásával térbeli Pitagorasz-tétellel az e maradék ellentmondás vektort, amely a transzformált pont és az eredeti ponthely térbeli távolsága. A két rendszer illeszkedésének jellemzésére a program kiszámítja az m_0 súlyegység középhibáját az

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum(e_x^2 + e_y^2 + e_z^2)}{3n - 7}} \quad (23)$$

összefüggés alapján, ahol n a mindkét rendszerben adott közös pontok számát jelöli.

4.3 Térbeli Helmert transzformáció

Az átszámítandó pontokat tartalmazó KJ koordináta jegyzék fájl beolvasása után a program a forrás rendszerben adott pontok $(x \ y \ z)$ koordinátáit az $(X \ Y \ Z)$ célrendszerbe transzformálja. A transzformáció lépései Papp (2013) cikkében megtalálhatók.

Abból a célból, hogy bemutassuk a (22), (9), (10) és (11) összefüggések érvényességét megisméltük Grafarend és Avange (2003), Shen et al. (2006) valamint Zeng és Yi (2011) számításait. Az eredmények teljes egyezést mutatnak úgy a transzformációs paraméterek, mind pedig a transzformált koordináták és maradék ellentmondások tekintetében (1. melléklet). Elvégeztük az OGPSH 24, 43 és 1151 pontjának felhasználásával a transzformációs paraméterek meghatározását, a *bemérés* (WGS84 XYZ \rightarrow IUGG67 XYZ) és *kitűzés* (IUGG67 XYZ \rightarrow WGS84 XYZ) feladatok esetén (2. melléklet). A Zeng és Yi (2011) tesztfeladatainak szimulált koordinátákkal történő számítási eredményei kis forgásszögek (B \rightarrow A1), nagy forgásszögek (B \rightarrow A2) és szupernagy forgásszögek esetén (B \rightarrow A3) a 3. mellékletben találhatók.

5 Összefoglalás

A dátumtranszformáció az egyik leggyakrabban előforduló számítási feladat a geodéziában, fotogrammetriában, térinformatikában, animációban és a számítógépes megjelenítésben. A hagyományos módszer hátránya, hogy a forgásszögek meghatározása erősen függ a paraméterek kezdeti értékeitől, amely szuper nagy forgásszögek esetén nem ad megoldást. A dolgozatban ismertetett módszer egység kvaterniót alkalmaz a térbeli forgatási mátrix meghatározásához. Ismerteti a kvaternió alapú geodéziái dátumtranszformáció iterációs megoldását linearizálással a Bursa-Wolf dátum-transzformációs modellben. A számítások azt mutatják, hogy a kvaternió alapú iterációs megoldás független a paraméterek kezdeti értékeitől, gyors és megbízható eredményt ad. Ennek az algoritmusnak a legnagyobb előnye, hogy tetszőleges nagyságú szögelfordulások esetében is alkalmazható a transzformációs paraméterek számításához. A kvaternió alapú dátum transzformációs megoldások közötti lényegi különbség a kvaternió eltérő számítási módszerében van. Analitikus megoldás eredményeként a \mathbf{Q} kvaternió q_0, q_1, q_2, q_3 elemeit egy valódi szimmetrikus mátrix sajátvektorához tartozó maximális sajátértékének meghatározásával számítjuk. Ebben a dolgozatban bemutatott iteráció alkalmazásával a \mathbf{Q} kvaternió q_0, q_1, q_2, q_3 elemei és a λ méretarány egy lépésben számíthatók.

Köszönetnyilvánítás. Őszinte és hálás köszönetet mondok Kádár István és Tóth Gyula tisztelt kollégáknak, továbbá a J Forums Programming tagjai közül Henry Rich, Mike Day és Raul Miller uraknak a feladat megoldásához és a program elkészítéséhez nyújtott önzetlen segítségükért.

Hivatkozások

- Awange JL, Grafarend EW (2005): Solving Algebraic Computational Problems in Geodesy and Geoinformatics, The answer to modern Challenges. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 333.
 Bácsatyi L (2005): Az erdészeti térképek dátumtranszformációs kérdései. Geomatikai Közlemények, 8, 61-67.
 Bácsatyi L (2005): Koordinátatranszformáció geoidundulációk becslésével. Geomatikai Közlemények, 8, 69-84.
 Csepregi Sz (2001a): Forgatás. Geomatikai Közlemények, 4, 107-158.

- Csepregi Sz** (2001b): Forgatás, II. rész. Geomatikai Közlemények, 5, 253-268.
- Detrekői Á** (1991): Kiegészítő számítások Tankönyvkiadó, Budapest, 685.
- Grafarend EW, Awange LJ** (2003): Nonlinear analysis of the threedimensional datum transformation [conformal group C7(3)]. J. Geod. 77, 66–76.
- Hofmann-Wellenhof BH, Kienast G, Lichtenegger H** (1994): GPS in der Praxis. Springer Verlag, Wien-New York, 146.
- Hoffman-Wellenhof BH, Lichtenegger H, Collins J** (2001): GPS Theory and Practice. Fifth revised Ed. Springer Verlag, Wien, New York, 382.
- Horn BKP** (1987): Closed-form solution of absolut orientation using unit quaternions. J. Opt. Soc. Am. A, 4(4), 629-642.
- Kleusberg A, Teunissen PJG** (Eds.) (1996): GPS for Geodesy, Lecture Notes in Earth Sciences 60. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Leick A** (2004): GPS satellite surveying. 3rd edn. Wiley, Hoboken.
- Papp E, Szűcs L, Varga J** (1997): GPS network transformation into different datums and projection systems. Reports on Geodesy, 4(27), 265-280.
- Papp E, Szűcs L, Varga J** (2002): Hungarian GPS Network Transformation into Different Datums and Projection Systems. Per. Pol. Civ. Eng., 46(2), 199-204.
- Papp E, Szűcs L** (2005): Földi és műholdas hálózatok transzformációja. Geomatikai Közlemények, 8, 85-92.
- Papp E** (2013): Geodéziai dátumtranszformáció kvaternióval. Geomatikai Közlemények, 16, 17-28.
- Shen YZ, Chen Y, Zheng DH** (2006): A quaternion-based geodetic datum transformation algorithm. J. Geod. 80, 233–239.
- Vaníček P, Steeves RR** (1996): Transformation of coordinates between two horizontal geodetic datums. J. Geod., 70, 740-745.
- Vaníček P, Novák P, Craymer MR, Pagiatakis S** (2002): On the correct determination of transformation parameters of a horizontal geodetic datum. Geomatica, 56(4), 329–340.
- Virág G, Borza T** (2007): Speciális transzformációs eljárások a valós idejű GNSS helymeghatározásnál. Geomatikai Közlemények, 10, 59-64.
- Welsch WM** (1993): A general 7-parameter transformation for the combination, comparison and accuracy control of the terrestrial and satellite network observations. Manuscr. Geod. 17, 210–214.
- Yang Y** (1999): Robust estimation of geodetic datum transformation. J. Geod., 73, 268–274.
- Závoti J** (1999): A geodézia korszerű matematikai módszerei. Geomatikai Közlemények, 2, 149.
- Závoti J** (2005): A 7 paraméteres 3D transzformáció egzakt megoldása. Geomatikai Közlemények, 8, 53-60.
- Závoti J, Jancsó T** (2006): The solution of the 7-parameter datum transformation problem with- and without the Gröbner basis. Acta Geod. Geoph. Hung., 41(1), 87-100.
- Závoti J** (2012): A simple proof of the Helmert- and the overdetermined nonlinear 7-parameter datum transformation. Geomatikai Közlemények, 2, 149. Acta Geod. Geoph. Hung., 47(4), 453-464.
- Závoti J** (2014): Néhány alternatív megoldási lehetőség a 3D nemlineáris hasonlósági dátumtranszformáció alkalmazására a Bursa-Wolf modell viszonylatában. Geomatikai Közlemények, 17, 7-17.
- Zeng H, Yi Q** (2011): Quaternion-Based Iterative Solution of Three-Dimensional Coordinate Transformation Problem. J. of Computers, 6(7), 1361-1368.

A FÖLD KÖZEL NAPOS PERIÓDUSÚ NUTÁCIÓJÁNAK KIMUTATÁSA A SOPRONBÁNFALVI EXTENZOMÉTERES ADATOK ALAPJÁN – ELŐZETES EREDMÉNYEK

Mentes Gyula*, Bán Dóra*, Eperné Pápai Ildikó*



Detection of the near-diurnal period of the nutation of the Earth on the basis of the Sopronbánfalva extensometric data – Preliminary results – *The axis of the fluid outer core of the Earth and the rotation axis of the mantle do not coincide, therefore restoring forces arise at the core-mantle boundary which try to realign the two axes and generate resonance effect at the same time. In celestial reference system this phenomenon is called the “Free Core Nutation” (FCN), which can be characterized by a period of 432 days, while in the Earth reference system it is called the “Nearly Diurnal Free Wobble” (NDFW). The NDFW frequency is close to the diurnal tidal frequencies, especially to P1 and K1 waves. Due to its resonance effect this phenomenon can be detected also by extensometers suitable for Earth tides recording. In this study the first attempts to detect the FCN on the basis of 11 years-long extensometric data series are described. The presence of the FCN resonance in the case of the K1 constituent is obvious while in the case of the P1 wave further investigations are needed.*

Keywords: Earth tides, extensometer, core-mantle boundary, free core nutation, resonance, tidal factors

A Föld folyékony külső magjának tengelye és a köpeny pillanatnyi forgástengelye nem esik egy vonalba, és emiatt visszatérítő erők hatnak a mag-köpeny határon, amelyek megpróbálják a két tengelyt egy egyenesbe hozni. Ennek következtében rezonancia lép fel a napos árapály frekvencia tartományban. Égi vonatkoztatási rendszerben a jelenség neve Free Core Nutation (FCN), mely 432 napos periódussal jellemezhető, míg a földi vonatkoztatási rendszerből szemlélve a Nearly Diurnal Free Wobble (NDFW) elnevezés használatos. Ennek frekvenciája közel esik az árapály egynapos frekvenciáihoz, különösen a P1 és K1 hullámokhoz. A jelenség kimutatható például az árapály mérésére is alkalmas extenzométer segítségével. Ebben a tanulmányban az FCN kimutatásának első próbálkozásait írjuk le 11 éves extenzométeres adatsor alapján. Az FCN rezonancia a K1 összetevő esetében nyilvánvaló, míg a P1 hullám esetében további vizsgálatokra van szükség.

Kulcsszavak: árapály, extenzométer, mag-köpeny határ, szabad mag nutáció, rezonancia, árapály faktorok

1 Bevezetés

Az MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézet (MTA CSFK GGI) Geodinamika Kutatócsoportja a földi árapály regisztrálása mellett nemzetközi együttműködésben extenzométerekkel vizsgálja a Pannon-medence recens kéregmozgásait (Mentes 2008, 2012). A Pannon-medencében levő extenzométeres állomásokon (1. ábra) kvarccsöves extenzométerekkel történik a regisztrálás. A műszerek mechanikai részei az egykori Szovjetunió Tudományos Akadémiájának Geofizikai Intézetében készültek az 1980-as és az 1990-es években (Latynina et al. 1984). Az extenzométerek kapacitív mérőátalakítós érzékelőjét az akkori MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézetben (MTA GGKI), ma MTA CSFK GGI fejlesztették ki (Mentes 1991). Ugyancsak az MTA GGKI-ben készült egy nagypontosságú hordozható kalibrátor a műszerek in-situ kalibrálására (Mentes 2010a, Mentes 2010b). Az egyes obszervatóriumok műszereinek rendszeres, egy-két évenkénti, kalibrálását szintén a GGI végzi. Az azonos műszerezettség jó lehetőséget nyújt a különböző adottságú (geológia, topográfia, környezeti paraméterek hatása, üreghatás, stb.) obszervatóriumokban mért adatok értelmezéséhez, összehasonlításához (Eper-Pápai et al. 2014), amely nagymértékben hozzájárul a Pannon-medence tektonikai mozgásainak jobb és pontosabb megismeréséhez (Mentes 2008, 2012).

Hivatkozások

- Amoruso A, Botta V, Crescentini L** (2012): Free Core Resonance parameters from strain data: sensitivity analysis and results from the Sasso (Italy) extensometers. *Geophys. J. Int.* 189, 923-936.
- Boyarsky EA, Ducarme B, Latynina LA, Vandercoilden L** (2003): An attempt to observe the Earth liquid core resonance with extensometers at Protvino Observatory. *Bull. d'Inf. Marrees Terr.*, 138, 10987-11009.
- Defraigne P, Dehant V, Hinderer J** (1994): Stacking gravity tide measurements and nutation observations in order to determine the complex eigenfrequency of the nearly diurnal free wobble. *J. Geophys.*, 99(B5), 9203-9213.
- Eper-Pápai I, Mentés Gy, Kis M, Koppán A** (2014): Comparison of two extensometric stations in Hungary. *Journal of Geodynamics*, 80, 3-11.
- Gebauer A, Steffen H, Kroner C, Jahr T** (2010): Finite element modelling of atmosphere loading effects on strain, tilt and displacement at multi-sensor stations. *Geophys. J. Int.*, 181, 1593-1612.
- Latynina LA, Szabó G, Varga P** (1984): Observations of the deformation of the Earth's crust in the "Mátyáshegy"-cave near Budapest. *Acta Geod. Geoph. Mont. Hung.*, 19(3-4), 197-205.
- Mentés Gy** (1983): Capacitive transducers for horizontal pendulums and gravimeters. *Acta Geod. Geoph. Mont. Hung.*, 18, 359-368.
- Mentés Gy** (1991): Installation of a quartz tube extensometer at the Sopron Observatory. *Bull. d'Inf. Marrees Terr.*, 110, 7936-7939.
- Mentés Gy** (2000): Influence of Temperature and Barometric Pressure Variations on Extensometric Deformation Measurements at the Sopron Station. *Acta Geod. Geoph. Hung.*, 35(3), 277-282.
- Mentés Gy** (2008): Observation of recent tectonic movements by extensometers in the Pannonian Basin. *Journal of Geodynamics*, 45, 169-177.
- Mentés Gy** (2010a): Quartz tube extensometer for observation of Earth tides and local tectonic deformations at the Sopronbánfalva Geodynamic Observatory, Hungary. *Rev. Sci. Instrum.*, 81, 074501, DOI:10.1063/1.3470100
- Mentés Gy** (2010b): Húsz éves a sopronbánfalvi extenzométer. *Geodézia és Kartográfia*, 62(11), 3-11.
- Mentés Gy** (2012): Observation of local tectonic movements by a quartz-tube extensometer in the Sopronbánfalva Geodynamic Observatory, in Hungary – Validation of extensometric data by tidal analysis and simultaneous radon concentration measurements. *Journal of Geodynamics*, 58, 38-43.
- Mentés Gy** (2015): Artificial neural network model as a potential alternative for barometric correction of extensometric data. *Bull. d'Inf. Marrees Terr.*, 149, 12001-12012.
- Mentés Gy, Eper-Pápai I** (2006): Investigation of meteorological effects on strain measurements at two stations in Hungary. *J. Geodyn.*, 41(1-3), 259-267.
- Ping J, Tsubokawa T, Tamura Y, Heki K, Matsumoto KT, Sato T** (2004): Estimating the Fluid Core Resonance based on Strain Observation. *Bull. d'Inf. Marrees Terr.*, 139, 11015-11023.
- Rochester MG, Smylie DE** (1965): Geomagnetic CoreMantle Coupling and the Chandler Wobble. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 10, 289-315.
- Völgyesi L** 2002. A pólusmozgás fizikai alapjai. *Geomatikai Közlemények*, 5, 55-73.
- Wahr JM** (1981): Body tides of an elliptical, rotating, elastic and oceanless Earth. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 64, 677-703.
- Wenzel HG** (1996) The nanogal software: Earth tide data processing package ETERNA 3.30. *Bull. d'Inf. Marrees Terr.*, 124, 9425-9439.

ÉVES HIDROLÓGIAI VÁLTOZÁSOK MEGHATÁROZÁSA GRACE GEOPOTENCIÁLIS MODELLEK SEGÍTSÉGÉVEL

Kiss Annamária*, Földváry Lóránt*



Annual hydrologic variations from GRACE gravity models – *The aim of the present study is to compare water storage variations from GRACE measurements and gauging data in the La Plata Basin for a time span of 5 and a half years. Annual curves have been fitted to the time series by means of different adjustment methods. Correlation between the original series and the curves has been determined, relationship of the annual amplitudes and phases has been investigated. According to our results, at the reliable hydrologic stations the annual phase shifts between the GRACE and the gauging series are only a few days, that implies the delay between precipitation and the subsequent runoffs.*

Keywords: water storage variation, annual gravity variation, GRACE

Jelen tanulmányban a GRACE műholdak méréseiből meghatározott vízkészlet-változásokat hasonlítjuk össze folyók vízszintjeinek ingadozásával mintegy 5 és fél éves időtartamra, a La Plata vízgyűjtő területén. A vizsgált adatsorokra különféle kiegyenlítési módszerekkel éves periódusú görbéket illesztünk, melyek amplitúdójának és fázisának eltéréseit vizsgáljuk, valamint az illesztések sikerességét korrelációs számítással határozzuk meg. Eredményeink alapján a megbízható mérési adatokkal rendelkező hidrológiai állomásoknál a vízszintek és a műholdas mérésekből meghatározott tömeganomáliák éves fázisának eltérése csupán pár napos.

Kulcsszavak: vízkészletváltozás, nehézségi erőterés éves változása, GRACE

1 Bevezetés

Földünk gravitációs erőterének folyamatos időbeli változását az atmoszféra, a hidroszféra és a geoszféra tömegátrendeződései okozzák. Ezen folyamatok közül szezonális változásokat jelentenek a légköri tömegek mozgásai, a hidrológiai folyamatok és az óceáni tömegtranszportok. A földi gravitációs tér periodikus változásainak meghatározásához nyújtanak segítséget a GRACE gravimetriai műholdpáros mérési adatai. A GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) immáron több mint egy évtizede szolgáltat hónapos felbontású geoidmodelleket, melyek feldolgozásával megállapíthatjuk a nagyobb kiterjedésű tömegátrendeződéseket eredményező folyamatok, így pl. a kontinentális vízkészlet éves és féléves periódusú változásait. Valamely vízgyűjtő hidrológiai folyamatainak vizsgálatához természetesen elengedhetetlen az egyes tömegek hatásának elkülönítése. A GRACE méréseit a legnagyobb szezonális tömegváltozást mutató atmoszférikus hatásokra előzetesen korrigálják, emellett hogyha kontinentális területet vizsgálunk, az óceáni tömegtranszportok nehézségi erőterre gyakorolt hatása nagyságrendekkel alacsonyabb az ottani hidrológiai folyamatok hatásánál. Így tehát a műholdas gravimetriai mérések lehetőséget nyújtanak arra, hogy a kontinentális vízkészletek periodikus változásait vizsgáljuk a többi tömegváltozás hatásától elkülönítve (Ilk et al. 2005).

Vizsgálati területnek a dél-amerikai La Plata vízgyűjtőjét választottuk, mivel ez az ötödik legnagyobb területű vízgyűjtő a Földön, így számos folyójának köszönhetően jelentős víztömegváltozások helyszínévé válhat. A vízgyűjtőterület argentin folyóiról rendelkezésünkre áll több vízmérce adata a 2002 és 2008 közötti időszakra. Mivel a folyók lefolyásainak mennyisége alapvetően a vízgyűjtő területén összegyűlt víztömeg függvénye, vizsgálataink során a GRACE mérési eredmények és a vízszintadatok között keresünk összefüggéseket. Jelen munka keretében hidrológiai adatokat és űrgravimetriai mérésekből levezetett éves tömegváltozásokat hasonlítunk össze.

A La Plata vízgyűjtőjére vonatkozó tanulmányok (Pereira et al. 2012 és Chen et al. 2010) egyértelműen kimutatták a GRACE mérései alapján a vízgyűjtő déli részét a 2000-es évek első évtizedében érintő szárazságot. Az egész vízgyűjtő vizsgálatakor mi is tapasztaltuk a 2002 és 2008 közötti negatív trendet a tömegváltozásokban a déli területeken. Emellett a tömegváltozások általunk keresett éves periódusa is megjelenik ezekben a vizsgálatokban is.

Jelen tanulmány újszerűsége, hogy a La Plata vízgyűjtőjét nem egészében, hanem folyókra bontva vizsgálja. Mivel tapasztalatunk szerint a vízgyűjtő közel sem mutat egységes képet, aminek oka elsősorban a Guarani felszín alatti víztározó jelenléte, indokoltabbnak véljük az elemzést csak azon folyókra korlátozni, amelyek mentesek a víztározás hatásától. Ezt eredményeink is alátámasztották.

7 Összegzés

Tanulmányunkban a GRACE műholdpáros mérési eredményeiből számított felszíni tömeganomália-értékeknek és a La Plata vízgyűjtőn található folyók vízmérce adatsorainak kapcsolatát vizsgáltuk. Számításaink során elsőként az űrgravimetriai mérési eredményeket dolgoztuk fel, azaz az egyes hidrológiai állomások koordinátaiban vízkészlet-változásokat határoztunk meg. Ezt követően a kapott adatsorokra legkisebb négyzetek módszerével éves periódusú görbéket illesztettünk. A vízszintadatokra ezzel szemben robusztus kiegyenlítési módszerrel illesztettünk görbéket. Az így kapott görbék kapcsolatát vizsgáltuk, mégpedig az éves amplitúdók és fázisok segítségével. Ezen kívül az egyes folyók mentén elhelyezkedő állomások eredményeinek összehasonlításából is fontos következtetéseket vontunk le.

Vizsgálatunk alapján csakis azon folyók állomásaira érdemes elvégezni a műholdas és a vízmérce adatok összehasonlítását, melyek mentesek a vízszabályozások és felszín alatti víztározás hatásától. Az így megfelelőnek talált állomásoknak mind a vízmérce-, mind a GRACE adatsorában jól látható éves ciklus jelentkezik, s az itt elvégzett görbeillesztések sikerességét jelző korreláció is 0.7 fölötti.

A vízszintadatok esetén az egy folyón elhelyezkedő állomásoknál az éves amplitúdók a torkolathoz közeledve növekednek, ezzel szemben a GRACE adatsor amplitúdói ellentétes tendenciát mutatnak. Ez az eltérés jelzi számunkra azt, hogy míg a vízszint a folyó folyása mentén haladva csapadéktevékenység esetén egyre növekszik, addig a teljes vízkészlet változása, melyet a GRACE detektál, éppen fordítva zajlik le, ugyanis a műholdak által érzékelt felszín alatti készletváltozás a felső vízgyűjtőkön (abszolút értelemben) jelentősebb mértékben változik, mint az alsókon. A kétféle adatsor éves amplitúdója több nagyságrenddel eltér egymástól, ennek vizsgálatára skálatényezőket vezetünk be állomásonként. Ennek értéke a folyók középső és felső folyásánál 10-20 körüli, azonban a torkolathoz közeli állomásoknál a skálatényező 100 feletti. Ennek oka, hogy a GRACE által észlelt, területileg átlagolódott tömegváltozások az alsó folyásnál már összemosódnak egyéb, eltérő amplitúdójú és fázisú tömegátrendeződésekkel, így az éves jelleg nem nyilvánul már meg olyan mértékben a műholdas mérési eredményekben, mint a torkolattól távolabbi állomásoknál.

Az éves fázisok már mind a vízszintadatoknál, mind a GRACE adatsoroknál növekednek a folyók mentén, ezek összehasonlításából láthatjuk, hogy a GRACE fázisai mindössze pár nappal térnek el a vízszintek fázisától. Így tehát az alkalmazott eljárásokkal a GRACE gravimetriai méréseiből az olyan területeken, ahol kevésbé áll különféle befolyásoló hatások alatt a vízkészlet, a vízszintváltozások éves periódusa nagy pontossággal megadható.

Köszönetnyilvánítás. A tanulmány a K106118 számú OTKA projekt támogatásával készült.

Hivatkozások

- Almeida Filho FGV, Calmant S, Seyler F, Ramillien G, Blitzkow D, Matos ACOC, Silva JS (2012): Time-variations of equivalent water heights from Grace Mission and in-situ river stages in the Amazon basin. *Acta Amazonica (Impresso)*, 42, 125-134.
- Andersen O, Berry P, Freeman J, Lemoine FG, Luthcke S, Jakobsen K, Butts M (2008): Satellite Altimetry and GRACE Gravimetry for Studies of Annual Water Storage Variations in Bangladesh. *Terr. Atmos. Ocean Sci.*, 19, 47-52, DOI: 10.3319/TAO.2008.19.1-2.47(SA)

- Chen JL, Wilson CR, Tapley BD, Longuevergne L, Yang ZL, Scanlon SR** (2005): Recent La Plata basin drought conditions observed by satellite gravimetry. *Journal of Geophysical Research*, 115, D22108, 12, DOI: 10.1029/2010JD014689
- Földvály L** (2004): A 2000-es évek első évtizede: A gravimetriai műholdak korszaka. *Magyar Geofizika*, 45(4), 118-124.
- Földvály L, Mészáros P** (2009): Az Antarktisz tömegátrendeződéseinek vizsgálata GRACE geopotenciális modellek alapján. *Geomatikai Közlemények*, 12, 109-118.
- Földvály L** (2015): De-smoothing of averaged periodical signals for geodeic applications. *Geophysical Journal International* (közlésre elfogadva).
- Ilk KH, Flury J, Rummel R, Schwintzer P, Bosch W, Haas C, Schröter J, Stammer D, Zahel W, Müller H, Dietrich R, Huybrechts P, Schmeling H, Wolf D, Götze HJ, Riegger J, Bardossy A, Güntner A, Gruber Th** (2005): Mass transport and mass distribution in the Earth system – Contributions of the new generation of satellite gravity and altimetry missions to the geosciences. *GeoForschungsZentrum, Potsdam*. 154.
- Pereira A, Miranda S, Pacino MC, Forsberg R** (2012): Water storage changes from GRACE data in the La Plata basin. *Geodesy for Planet Earth. International Association of Geodesy Symposia*, 136(3), 613-618, DOI: 10.1007/978-3-642-20338-1_75
- Soha G** (1986): Robusztus kiegyenlítés mérési javítástól függő súlyozással. *Geodézia és Kartográfia*, 4, 267-271.
- Tóth Gy** (2004): Korszerű matematikai módszerek a geodéziában. *BME elektronikus jegyzet*, 100. (<http://www.agt.bme.hu/tantargyak/korszmat/KorszeruMatematikaJegyzet.pdf>, 2015-10-18)
- Wahr J, Schubert G** (Ed.) (2007): *Time variable gravity from satellites*. Treatise on Geophysics. Elsevier Ltd., Oxford, 213-218.
- Závoti J** (1999): *A geodézia korszerű matematikai módszerei*. MTA Doktori Disszertáció, 149.

SZÁMÍTÁSTECHNIKAI FEJLESZTÉS MŰHOLDAS GRAVIMETRIAI ADATOK FELDOLGOZÁSÁRA

Kemény Márton*, Földváry Lóránt**,***



Computational development for large satellite gravimetric datasets – *The amount of observation data for the gravity field of the Earth has been drastically increased due to the dedicated gravity satellite missions and it has generated a demand for developing appropriate processing facilities. Our software, the BME-SHS, offers a solution for such a problem.*

Keywords: geoid, satellite geodesy, large amounts of data, C++

A gravimetriai műholdak megjelenése nyomán jelentősen megnövekedett adatmennyiség új számítástechnikai platformok fejlesztését tette szükségessé megvalósíthatósági és gyorsasági szempontok miatt. Erre kínál megoldást az általunk C++ nyelven létrehozott BME-SHS program.

Kulcsszavak: geoid, műholdas geodézia, nagy adatmennyiség, C++

1 Bevezetés

A kétezres évek elejétől kezdődően a legújabb műholdas technikák megjelenése a gravimetriában forradalmasította a nehézségi erőtér meghatározását (Földváry 2004). A CHAMP műhold hat hónapos működése során pontosította a korábban létező legjobb globális nehézségi erőtér modellt (GRIM5-S1). A két évvel később, 2002-ben újtárra indított GRACE műholdpár lehetőséget biztosított a nehézségi erőtér változásainak becslésére is, emellett tovább javította a statikus nehézségi erőtér modell térbeli felbontását is, mintegy 220 km-re. A harmadik, nehézségi erőtér meghatározása céljából pályára állított műhold a GOCE volt, amelynek adatai alapján számított geoid modell immár kb. 140 km-es felbontású; jelenleg ugyanis maximálisan 280 fokig-rendig határozzák meg a méréseiből az együththatókat (Barthelmes és Köhler 2012).

A mérési adatmennyiség növekedése nyomán újabban megjelenő lehetőségek a pontosság növelésére a korábbiaknál hatékonyabb modellszámító programok megírását teszik szükségessé. A modellparaméterek és a mérési adatok számának növekedése feladatot adott a matematikusok és a programozók számára – ilyen adattömeg számára gyorsabb, hatékonyabb programozási megoldásokat kellett keresni a korábbiak helyett. Nagy adatmennyiség kezelésére alkalmas algoritmusok hasonló problémákra alkalmazva korábban is léteztek, de ezeket sok esetben még nem alkalmazták korábban specifikusan a műholdas geodéziai problémák megoldására.

Mivel a C és a C++ programozási nyelvek képesek a memóiafoglalás szabadon megválasztható lehetőségeit megvalósítani, segítségükkel tetszőlegesen nagy adatmennyiség válik kezelhetővé. Így a BME-SHS (Spherical Harmonic Solver), C++ nyelven fejlesztett program lehetőséget biztosít arra, hogy különböző eljárásokkal oldjunk meg nagy adatmennyiség okozta problémákat. Mint általában az alacsonyabb szintű programnyelvek, a C++ sem rendelkezik beépített vektor és mátrix adattípusokkal, de éppen ez biztosítja a nagyobb adatméretek kezelhetőségét.

Ugyan a nemzetközi gyakorlatban több gömbharmonikus kezelő szoftver fejlesztése történt már korábban (Rummel et al. 1993, Arabelos és Tscherning 1993, Arabelos és Tscherning 1999, Han et al. 2002, Pail és Plank 2004, Krasbutter et al. 2011), két okból tartottuk fontosnak az újabb fejlesztését. Egyrészt, a korábbi programok sok esetben FORTRAN forráskódúak, amelynél korszerűbb kezelési lehetőséget biztosít a C vagy a C++ nyelv. Másrészt az egyes programok

*BME ÁFGT, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., K ép. mf. 26.

E-mail: kemeny.marton@epito.bme.hu

**Óbudai Egyetem, Alba Regia Műszaki Kar
8000 Székesfehérvár, Pirospalota u. 1-3.

***MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézet
9400 Sopron, Csatkai E. u. 6-8.

egyenletmegoldó algoritmustól, a leghatékonyabb megoldás a Cholesky-dekompozíció használata lehet.

A harmadik szempont a memóriahasználat optimalizálása. Ha a program számára a rendelkezésre bocsátott memória mennyisége nem elégséges, akkor a feladat végrehajthatatlan. Mivel a program által használt adatstruktúrák szerkezetéből és adatigényéből adódóan (óriási mérési információmennyiség) a memóriahasználat igen jelentős, statikus helyfoglalással és így az adatrendszerek absztrakt matematikai objektumként (vektor, mátrix, stb.) történő kezelésével nem érhetünk eredményt. Kisebb mérési vektorok esetén (szabályos rács pontjaiban, majd véletlenszerű helyeken) működik a statikus helyfoglalási módszer a vektorok és a mátrixok deklarálásával, de valódi, akár több napos pályaadatok esetén a növekvő adatmennyiség miatt a dinamikus helyfoglalás elkerülhetetlen. Ez pedig megköveteli az adatok mutatókkal való címkézését, ennél fogva azoknak absztrakt matematikai objektumok helyett különböző memóriahelyeken tárolt egyedi számokként történő megjelenítését. Természetesen a mátrix és a vektor fogalma továbbra is a programozó segítségére lehet a konkrét számításoknál. A statikus helyfoglalással a program futása lehetetlenné válik az ilyen esetben fellépő memórialimit miatt, viszont dinamikus helyfoglalás esetén elméletileg bármekkora tárhelyet foglalhatunk, ezt mi tudjuk beállítani. Természetesen az operációs rendszer által beépített határértékek, majd a memória fizikai korlátai miatt ilyenkor is van határa foglалás lehetőségeinek, de ez már a számítógéptől, és az operációs rendszertől függ. Egy szuperszámítógép képes lehet igen nagy mennyiségű, akár több éves pályaadattal való számolásra is, amelynek kipróbálására a BME-n lehetőségünk van a Superman elnevezésű clusteren.

7 Összefoglalás

Tanulmányunkban bemutatásra került a BME-n fejlesztés alatt álló, már jelenleg is üzemképes gömbharmonikus szintézis és analízis végzésére alkalmas C++ szoftver. A szoftvert úgy fejlesztettük, hogy az elmúlt másfél évtized folyamányaként rendelkezésünkre álló nagyon nagy mennyiségű gravimetriai műholdas adat kezelésére is képes legyen. A projekt nem tekinthető lezártnak, tervezünk jövőbeli fejlesztéseket.

További lehetőségek adódnak a futási idő optimalizálására, pl. a folyamat szálainak párhuzamosság tételével. Például egy két processzorral rendelkező számítógép esetén a $C_{n,m}$ és $S_{n,m}$ együtthatókat nem egymás után, hanem egymással párhuzamosan is számíthatjuk. Ezenkívül tervezzük ezen algoritmusok összehasonlítását a normálmátrix invertálásának további módszereivel, számítási pontosság és futási idő, illetve a memóriaigénnyel összefüggő megvalósíthatóság szempontjai alapján.

Funkcionalitását tekintve is végezhetünk még fejlesztéseket, így pl. további fejlesztési lehetőség különböző mérési mennyiségek optimális együttes kiegyenlítésének kidolgozása súlyozással. A végső validáció pedig valódi mérési (nem szintetikus) adatokon végrehajtott analízisen kell, hogy alapuljon, valamelyik gravimetriai műhold által mért összes térjellemző (pl. GOCE esetén Eötvös-tenzor elemek) méréseit felhasználva, a megoldás során azokat megfelelően kombinálva.

Hivatkozások

- Arabelos D, Tscherning CC** (1993): Regional recovery of the gravity field from SGG and SST/GPS data using collocation. in: Study of the gravity field determination using gradiometry and GPS, Phase 1, Final report ESA Contract 9877/92/F/FL
- Arabelos D, Tscherning CC** (1999): Gravity field recovery from airborne gravity gradiometer data using collocation and taking into account correlated errors. Phys. Chem. Earth (A), 24(1), 19-25.
- Barthelmes F, Köhler W** (2012): International Centre for Global Earth Models (ICGEM). Journal of Geodesy, The Geodesists Handbook 2012, 86(10), 932-934.
- Barthelmes F** (2009): Definition of Functionals of the Geopotential and Their Calculation of the Spherical Harmonic Models. Scientific Technical Report, STR09/02, Revised Edition, January 2013, 21-23.
- Biró P, Ádám J, Völgyesi L, Tóth Gy** (2013): A felsőgeodézia elmélete és gyakorlata. Egyetemi tankönyv és kézikönyv, Budapest, 153.
- Detrekői Á** (1991): Kiegyenlítő számítások. Nemzeti Tankönyvkiadó. 688.
- Földvály L** (2004): A 2000-es évek első évtizede: A gravimetriai műholdak korszaka. Magyar Geofizika, 45(4), 118-124.

- Han SC, Jekeli C, Shum CK** (2002): Efficient gravity field recovery using in situ disturbing potential observables from CHAMP. *Geophysical Research Letters*, 29 (16), 36-1-36-4.
- Krasbutter I, Brockmann J M, Kargoll B, Schuh WD, Goiginger H, Pail R** (2011): Refinement of the stochastic model of GOCE scientific data in a long time series. in: Ouwehand, L. (eds.) *Proceedings of the 4th International GOCE User Workshop*, ESA Publication SP-696, ESA/ESTEC, 103-107.
- Mughal AM, Ye X, Iqbal K** (2006): Computational Algorithm for Higher Order Legendre Polynomial and Gaussian Quadrature Method. Conference paper: *Proceedings of the 2006 International Conference on Scientific Computing, CSC 2006*, Las Vegas, Nevada, USA, June 26-29, 1-5.
- Pail R, Plank G** (2004): GOCE gravity field processing strategy. *Stud. Geophys. Geod.*, 48, 289-308.
- Pavlis NK, Holmes SA, Kenyon SC, Factor JK** (2012): The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). *J. Geophys. Res.*, 117, B04406, DOI:10.1029/2011JB008916
- Press WH, Teukolsky SA, Vetterling WT, Flannery BP** (2007): *Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing* (3rd ed.). Cambridge University Press, New York.
- Rummel R, van Gelderen M, Koop R, Schrama E, Sanso F, Brovelli M, Migliaccio F, Sacerdote F.** (1993): Spherical harmonic analysis of satellite gradiometry. *Neth. Geod. Comm.*, Publications on Geodesy, 39, Delft, the Netherlands, 124.
- Szűcs E** (2012): Validation of GOCE time-wise gravity field models using GPS-levelling, gravity, vertical deflections and gravity gradient measurements in Hungary. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 56(1), 3-11.

ÚJ MAGYARORSZÁGI GEOIDMEGHATÁROZÁS AZ ÖTÖDIK GENERÁCIÓS GOCE NEHÉZSÉGI ERŐTÉR MODELLEK SEGÍTSÉGÉVEL

Tóth Gyula*, Földváry Lóránt**



Updated Hungarian gravity field solution based on fifth-generation GOCE gravity field models – With the completion of the ESA's GOCE satellite mission fifth-generation gravity field models are available from the ESA GOCE High Processing Facility. An updated gravity field solution for Hungary using the latest DIR R05 GOCE gravity field model has been determined. The solution methodology is the least-squares gravity field parameter estimation using spherical radial base functions. Regional datasets including deflections of the vertical, gravity anomalies and quasi-geoid heights by GPS/levelling have been applied. The GOCE DIR R05 model has been combined with the EGM2008 model and has been evaluated in comparison with the EGM2008 and EIGEN-6C3stat models to assess the performance of our regional gravity field solution.

Keywords: geoid determination, GOCE, spherical radial base functions

Az ESA GOCE mesterséges holdja nagymértékben hozzájárult a földi nehézségi erőter korábbiaknál jobb felbontású meghatározásához. A mérések befejezése után 2014-ben elérhetővé váltak a GOCE ötödik generációs nehézségi erőter modelljei. Ez lehetővé tette olyan új geoidmegoldás előállítását Magyarország területére, amely már tartalmazza a GOCE méréseit is. A megoldás módszere a gömbi bázisfüggvényeken alapuló legkisebb négyzetes paraméterbecslés. A GOCE modellen kívül felhasználtuk a felszíni függővonal-elhajlások, nehézségi rendellenességek és OGPSH magasságok adatait is. Az EGM2008 geopotenciális modellt a GOCE DIR R05 modellel úgy módosítottuk, hogy tartalmazza a GOCE-ből származó összetevőket is abban a spektrális tartományban, ahol a GOCE mérései jelentős hozzájárulást adnak. Ismertetjük az elkészített megoldás ellenőrző vizsgálatait, amelybe bevontuk a fenti modellen kívül az EGM2008 és EIGEN-6C3stat modelleket is.

Kulcsszavak: geoidmeghatározás, GOCE, gömbi radiális bázisfüggvények

1 Bevezetés

2014 nyarán az Európai Űrügynökség (ESA) elérhetővé tette a High Processing Facility (HPF, Bouman et al. 2009) keretében készített ötödik generációs GOCE nehézségi erőter modelleket. Ezek a modellek a GOCE űrprojekt teljes 42 hónapnyi méréseit tartalmazzák a 2009.11.01. és 2013.10.20. közötti időszakban. Az ötödik generációs DIR R05 modell a GOCE mérései mellett még LAGEOS és GRACE méréseket is tartalmaz a modell maximális 300 fok- és rendszámáig, ami az összes DIR modell között a legmagasabb (Bruinsma et al. 2013).

Az a célunk, hogy ezt a GOCE által szolgáltatott értékes információt hasznosítsuk a nehézségi erőter Magyarország területére vonatkozó modelljeiben. Ennek egyik lehetősége az, hogy a földfelszíni nehézségi adatokkal együtt közvetlenül a GOCE által mért gravitációs gradienseket vonjuk be a meghatározásba. Másik lehetőségként az említett ötödik generációs GOCE nehézségi erőter modelleket használhatjuk fel a regionális nehézségi erőter modellezéséhez. Jelen tanulmányban kizárólag ez utóbbi lehetőséget vizsgáljuk, de megemlíjtjük, hogy terveink között szerepel a GOCE mérési adatok közvetlen felhasználása is.

A dolgozat a továbbiakban a következő elrendezést követi: A 2. fejezetben rövid áttekintést adunk a regionális nehézségi erőter modellezésben alkalmazott két fő módszerről, valamint a korábbi magyarországi geoidmeghatározásokról. Az ezt követő 3. fejezetben a konkrétan alkalmazott eljárás, a hazánkban újdonságnak számító térben lokalizált gömbi radiális bázisfüggvényeken (Spherical Radial Base Functions, SRBF) alapuló paraméterbecslés ismertetésére térünk át. A

*BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

E-mail: toth.gyula@epito.bme.hu

**MTA CSFK Geodézia és Geofizikai Intézet
9400 Sopron, Csatkai E. u. 6-8.

Köszönetnyilvánítás. Megköszönjük a FÖMI-nek, hogy a vizsgálataink céljára rendelkezésünkre bocsátotta az OGPSH és a függővonal-elhajlás adatokat. Köszönjük Benedek Juditnak és másik bírálónknak az értékes megjegyzéseit, javaslatait. Kutatásainkat a K106118 és K076231 számú OTKA pályázatok keretében végeztük.

Hivatkozások

- Biró P, Ádám J, Völgyesi L, Tóth Gy** (2013): A felsőgeodézia elmélete és gyakorlata. HM Zrínyi Térképészeti és Kommunikációs Szolgáltató Nonprofit Kft. Kiadó, Budapest.
- Bouman J** (1998): Quality of regularization methods. DEOS Report, 98(2).
- Bouman J, Rispens S, Gruber T, Koop R, Schrama E, Visser P, Tscherning CC, Veicherts M** (2009): Preprocessing of gravity gradients at the GOCE high-level processing facility. *Journal of Geodesy*, 83(7), 659-678, DOI: 10.1007/s00190-008-0279-9
- Bruinsma S, Foerste C, Abrikosov O, Marty JC, Rio MH, Mulet S, Bonvalot S.** (2013): The new ESA satellite-only gravity field model via the direct approach. *Geophysical Research Letters*, 40(14), 3607-3612, DOI: 10.1002/grl.50716
- Dobróka M, Völgyesi L** (2008): Inversion reconstruction of gravity potential based on gravity gradients. *Mathematical Geosciences*, 40(3), 299-311, DOI:10.1007/s11004-007-9139-z
- Eicker A** (2008): Gravity Field Refinement by Radial Base Functions from In-situ Satellite Data. PhD Thesis, Institute of Geodesy and Geo-information, University of Bonn, Nr. 10, 137.
- Hirt C, Kuhn M, Claessens SJ, Pail R, Seitz K, Gruber T** (2014). Study of the Earth's short-scale gravity field using the ERTM2160 gravity model. *Computers & Geosciences*, 73, 71-80.
- Klees R, Tenzer R, Prutkin I, Wittwer T** (2008): A data-driven approach to local gravity field modelling using spherical radial basis functions. *Journal of Geodesy*, 82, 457-471, DOI: 10.1007/s00190-007-0196-3
- Koch KR, Kusche J** (2002): Regularization of geopotential determination from satellite data by variance components. *Journal of Geodesy*, 96, 259-268, DOI: 10.1007/s00190-002-0245-x
- Moritz H** (1980): *Advanced Physical Geodesy*. Wichmann, Karlsruhe.
- Naeimi M** (2013): Inversion of satellite gravity data using spherical radial base functions. PhD Thesis, University of Hannover, Nr. 309, DGK Reihe C, 71 1.
- Ophaug V** (2013): Regional gravity field modeling: A comparison of methods. Master's Thesis, Dept. of Mathematical Sciences and Technology, Norwegian University of Life Sciences.
- Pavlis NK, Holmes SA, Kenyon SC, Factor JK** (2012): The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). *J. Geophys. Res.*, 117, B04406. DOI: 10.1029/2011JB008916
- Renner J, Szilárd J** (1959): Gravity network of Hungary. *Acta Techn. Acad. Scient. Hung.*, 23(4), 365-395.
- Schmidt M, Fengler M, Mayer-Gürr T, Eicker A, Kusche J, Sánchez L, Han SC.** (2006): Regional gravity modeling in terms of spherical base functions. *Journal of Geodesy*, 81(1), 17-38, DOI: 10.1007/s00190-006-0101-5
- Shako R, Förste C, Abrykosov O, Bruinsma S, Marty JC, Lemoine JM, Flechtner F, Neumayer KH, Dahle C** (2014): EIGEN-6C: A High-Resolution Global Gravity Combination Model Including GOCE Data - In: Flechtner, F., Sneeuw, N., Schuh, W.-D. (Eds.), *Observation of the System Earth from Space - CHAMP, GRACE, GOCE and future missions*, (GEOTECHNOLOGIEN Science Report; No. 20; Advanced Technologies in Earth Sciences), Berlin [u.a.]: Springer, 155-161. DOI 10.1007/978-3-642-32135-1_20, Print ISBN 978-3-642-32134-4 Online ISBN 978-3-642-32135-1
- Szűcs E, Papp G, Benedek J** (2014): A study of different wavelength spectral components of the gravity field derived from various terrestrial data sets. *Acta Geod. et Geoph.*, 49(3), 327-342, DOI: 10.1007/s40328-014-0061-9
- Tóth Gy** (2009): A HGTUB2007 új magyarországi kombinált kvázigeoid megoldás. *Geomatikai Közlemények*, 12, 131-140.
- Tóth Gy, Szűcs E** (2011): On the determination of a new combined EGM2008 based quasi-geoid model for Hungary. *Acta Geod. et Geoph. Hung.*, 46(4), 417-430, DOI: 10.1556/AGeod.46.2011.4.4
- van Gelderen M, Rummel R** (2000): A general least-squares solution of the geodetic boundary value problem. *IAG Symposium*, Vol 121. Schwarz (ed.), *Geodesy Beyond 2000 – The Challenges of the First Decade*, 171-178, Springer.
- Wittwer T** (2009): Regional gravity field modeling with radial basis functions, PhD Thesis, Technical University of Delft.

A FÜGGŐVONAL-ELHAJLÁS MEGHATÁROZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI

Völgyesi Lajos*, Tóth Gyula*



Possibilities of determination of the vertical deflections – Not so long ago the astronomic position determination was the traditional method of vertical deflection measurements. Deflection data were determined only at few points because of the long and costly measurement implementation. Currently there are only 138 astrogeodetic points in Hungary where the deflections of the vertical values are known with an accuracy of not better than 0.2-0.3", though these would give the most important direct geometric data for geoid determination. An important procedure for the calculation of deflection values is based on the interpolation between the known points of gravity or gravity gradients measured by gravimeters or torsion balances, respectively. Recently precise data can also be computed from the GGMplus gravity field model or can be determined by the application of the QDaedalus system.

Keywords: deflection of the vertical, astronomic position determination, interpolations methods, GGMplus model, QDaedalus system

A függővonal-elhajlás meghatározásának korábbi klasszikus módszere a csillagászati földrajzi helymeghatározáshoz kötődött. A meglehetősen hosszadalmas és költséges módszer miatt csak igen kevés pontban végeztek ilyen méréseket. Jelenleg Magyarországon mindössze 138 pontban állnak rendelkezésre 0.2-0.3 szögmásodperc pontosságú függővonal-elhajlás értékek, pedig ezek a geoid-meghatározás legfontosabb kiinduló adatrendszerét képezik. Fontos eljárás az ismert függővonal-elhajlás értékek közötti sűrítés a nehézségi erőter (Eötvös-inga és graviméteres) mérések adatainak felhasználásával. Az utóbbi időkben jelentős előrelépés történt a GGMplus modellszámítással és különösen a QDaedalus mérőrendszer alkalmazási lehetőségével.

Kulcsszavak: függővonal-elhajlás, csillagászati-földrajzi meghatározás, interpolációs módszerek, GGMplus model, QDaedalus-rendszer

1 A függővonal-elhajlás értelmezése

Tetszőleges pontban a helyi függőleges (a helyi szintfelület normálisa) és a ponton átmenő ellipszoidi normális iránya néhány (esetleg néhányszor 10) másodpercnyi szöget zárnak be egymással, amit függővonal-elhajlásnak nevezünk. Ennek két összetevője a meridián irányú ζ és a meridiánra merőleges síkra vett vetülete az η . A két összetevőből a függővonal-elhajlás Θ szöge:

$$\Theta = \sqrt{\zeta^2 + \eta^2} . \quad (1)$$

A függővonal-elhajlás értékek felfoghatók mint vektorok is, amennyiben e vektorok pozitív irányának az ellipszoidi zenittől a csillagászati zenit felé mutató irányt tekintjük, a vektor hosszának pedig az illető pontban a függővonal-elhajlás abszolút értékét választjuk. Ilyen értelemben a vektorok akár vízszintes erőösszetevőket, akár közvetlen függővonal-elhajlás értékeket is jelölhetnek, az előbbieket mindössze a \mathbf{g} vektorral történő szorzással térnek el az utóbbiaktól.

Attól függően, hogy a függővonal-elhajlást valamely P földfelszíni pontban, vagy ennek P' geoidi megfelelőjében értelmezzük, az 1. ábrán látható módon megkülönböztetünk földfelszíni (Helmert-féle), illetve geoidi (Pizetti-féle) függővonal-elhajlást (az ábrán az \mathbf{n} és \mathbf{m} a szintfelületi, illetve az ellipszoidi normális a P földfelszíni pontban, míg az \mathbf{n}' és \mathbf{m}' a geoidi, illetve az ellipszoidi normális a P' geoidi pontban) (Biró et al. 2013).

általunk mért értékekkel (a legjobb 6 mérési sorozatból, napi aberráció javítással meghatározott középértékek $\xi = -2.91''$, $\eta = 6.40''$, a GGMPPlus értékek $\xi = -2.79''$, $\eta = 6.19''$, tehát az eltérés $0.12''$ és $0.21''$). Az Ócsa, Örkény, Újhartyán, Alsónémedi és Bugyi közelében 2015 őszén végzett kísérleti terepi méréseink során viszonylag kedvezőtlen körülmények között (erősen párás időben, nagy gépkocsi forgalom mellett) is sikerült meghatározni 0.3 szögmásodperc pontosságú függővonal-elhajlás értékeket (Csala 2015).

7 Összefoglalás

A tanulmányban röviden összefoglaltuk a függővonal-elhajlások meghatározásának lehetőségeit a korábbi klasszikus csillagászati földrajzi helymeghatározástól a legújabb lehetőségig. 2013 óta a svájci ETH Zürich munkatársaival olyan új módszer és csillagászati-geodéziai mérőrendszer fejlesztésében veszünk részt, amely az eddigi mérések és vizsgálatok alapján jelentős változásokat vetít előre a függővonal-elhajlások meghatározásában. Az új QDaedalus mérőrendszer igen érzékeny CCD érzékelővel felszerelt, GPS időjellel és számítógéppel vezérelt speciális geodéziai mérőállomás, amiből jelenleg még csak néhány (az egyik éppen a mi kezelésünkben) működik a világon. A rendszerrel a mérés rendkívül gyors (a korábbi hosszú hetekig tartó mérési és számítási idő helyett mindössze $15-20$ perc szükséges) ráadásul az új rendszer a korábbiaknál nagyobb pontosságot szolgáltat. A kutatások várható eredményei nemzetközi szinten is kiemelkedő jelentőségűek, új távlatokat nyitnak többek között az igen pontos, nagy felbontású helyi geoid-meghatározásokban.

Hivatkozások

- Ádám J** (2000): Magyarországon alkalmazott geodéziai vonatkoztatási rendszerek vizsgálata. *Geodézia és Kartográfia*, 52(12), 9-15.
- Bíró P, Ádám J, Völgyesi L, Tóth Gy** (2013): A felsőgeodézia elmélete és gyakorlata (egyetemi tankönyv és kézikönyv). HM Zrínyi Térképészeti és Kommunikációs Szolgáltató Nonprofit Kft. Kiadó, Budapest.
- Bürki B, Müller A, Kahle HG** (2004): Diadem: The new digital astronomical deflection measuring system for high-precision measurements of deflections of the vertical at ETH Zürich. IAG Int. Symp. Gravity, Geoid and Space Missions, Porto, Portugal, from August 30th to September 3rd, 2004.
- Bürki B, Guillaume S, Sorber P, Oesch HP** (2010): DAEDALUS: A Versatile Usable Digital Clip-on Measuring System for Total Stations. 2010 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 15-17 September 2010, Zürich, Switzerland.
- Csala B** (2015): Geoid helyi felületdarabjának meghatározása a QDaedalus rendszerrel végzett függővonal-elhajlás mérésekkel. Diplomaterv, BME Ált. és Felsőgeodézia Tsz.
- Hirt C, Bürki B, Somieski A, Seeber G** (2010): Modern determination of vertical deflections using digital zenith cameras; *Journal Surveying Engineering*, 136(1), 1-12, doi: 10.1061/_ASCE_SU.1943-5428.0000009
- Hirt C, Claessens JS, Fecher T, Kuhn M, Pail R, Rexer M** (2013): New ultrahigh-resolution picture of Earth's gravity field, *Geophysical Research Letters*, 40, doi: 10.1002/grl.50838
- Hirt C, Papp G, Pál A, Benedek J, Szűcs E** (2014): Expected accuracy of tilt measurements on a novel hexapod-based Digital Zenith Camera System – a Monte-Carlo simulation study, *Measurement Science Technology*, 25, 085004, doi: 10.1088/0957-0233/25/8/085004
- Karsay F** (1976): Csillagászati és Földrajzi helymeghatározás. ELTE TTK egyetemi jegyzet, Tankönyvkiadó, Budapest.
- Lukács T, Sárdi A** (1980): Földrajzi helymeghatározás. BME egyetemi jegyzet, Budapest.
- Völgyesi L** (1993): Interpolation of Deflection of the Vertical Based on Gravity Gradients. *Periodica Polytechnica CE.*, 37(2), 137-166.
- Völgyesi L** (1995): Test Interpolation of Deflection of the Vertical in Hungary Based on Gravity Gradients. *Periodica Polytechnica CE.*, 39(1), 37-75.
- Völgyesi L** (2012): Az Eötvös-inga mérések alkalmazása és jelentősége a geodéziában. *Geomatikai Közlemények*, 15, 9-26.

HUNGARIAN NATIONAL REPORT ON IAVCEI 2011-2014 – AN ADDENDUM

Dobosi Gábor^{,**}, Harangi Szabolcs^{***,****}*

In this short note, we complete the Hungarian National Report on IAVCEI 2011-2014 with some additional significant results missed regrettably in the original summary.

Keywords: addendum, IAVCEI, national report

E rövid közleményben az IAVCEI Magyar Nemzeti Jelentés 2011-2014 angol nyelvű összefoglalását egészítjük ki néhány, az eredeti jelentésből sajnálatosan kimaradt kutatási eredménnyel.

Kulcsszó: kiegészítés, IAVCEI, nemzeti jelentés

1 Introduction

In our review about the research activity of the Hungarian scientists in the field of IAVCEI between 2011 and 2014 (Dobosi and Harangi 2015), some significant results were regrettably missed. Here, we provide an addendum to the report referring to the titles and subtitles of the original paper of Dobosi and Harangi (2015).

3 Plio-Pleistocene alkali basalt volcanism and their upper mantle and lower crustal xenoliths

3.3 Upper mantle and lower crustal xenoliths in alkali basalts

Török (2012) investigated rare clinopyroxene-plagioclase bearing, felsic granulite and skarn xenoliths from various localities of the Bakony–Balaton Highland Volcanic Field (West Hungary). The first group formed in the lower crust together with mafic and metasedimentary granulites. The second group represents magmatic intrusions of the middle crust, and the third one comprises contact metamorphic rocks of relatively shallow origin. The calculated pressure difference from the core and rim compositions of plagioclase and clinopyroxene as well as garnet breakdown reactions in some xenoliths shows evidence for pressure decrease due to crustal thinning both in lower crustal and middle crustal xenoliths during formation of the Pannonian Basin. On the basis of mineral stabilities and geothermo-barometry, Török (2012) suggested that thinning affected both the lower and the upper portion of the crust but on different scales during the syn-extensional phase of the Pannonian Basin. The calculated thinning factors are between 2.25 and 3.4 for the lower crust and 1.3–1.56 for the upper crust. Török et al. (2014) provided new information on the evolution of the middle crust beneath the western Pannonian Basin based on felsic and mafic granulite xenoliths. These rocks were formed by a complex multistage evolution controlled by the changing temperature, pressure and migrating fluids in the crust.

4 International collaboration

4.5 Geochronology

Further geochronological results were obtained for the Late Cenozoic volcanic activity along the Moravia-Silesia border (Cajz et al. 2012), for the Mt. Cer pluton (West Serbia; Koroneos et al. 2011), for the southern part of the San Salvador Metropolitan Area (Lexa et al. 2011) and for the Los Loros volcano, Mendoza, Argentina (Németh et al. 2012).

^{*} Department of Mineralogy and Geology, University of Debrecen

^{**} Hungarian Academy of Sciences, Research Centre for Astronomy and Earth Sciences

E-mail: dobosi@geochem.hu

^{***} Department of Petrology and Geochemistry, Eötvös Loránd University

^{****} MTA-ELTE Volcanology Research Group

4.6 Volcanology

Fornaciai et al. (in co-operation with Karátson) conducted morphometric analysis of scoria cones at various geodynamic settings using freely downloadable digital elevation models (DEMs). They found systematic morphometric differences between cones related to subduction zones and those occurring in extensional areas (Fornaciai et al. 2012). Although the factors, which are responsible for these differences are still unclear, they suggested that such quantitative approach could help to constrain this relation in the future. Karátson et al. (2012) investigated erosion patterns and rates of 33 stratovolcanoes in the Central Andes and found a strong climatic control on it. They concluded that erosion of juvenile volcanoes was more rapid due to their unconsolidated cover and steeper slope. Furthermore, they proposed that the degree of denudation in the function of volcano age could provide a rough morphometric tool to constrain the time elapsed since the extinction of the volcanic activity. Telbisz et al. (2012) used swath analysis based on digital terrain models to characterize quantitatively the denudation of Central Andean volcanoes. The ideal volcanic cone profile was derived from the Parinacota volcano and this model enabled comparisons with other, more denuded volcanoes to quantify erosion volume. Székely et al. (2014) presented a geomorphometric approach in the recognition of quasi-planar ignimbrite sheets as paleosurfaces in the Central Andes. Favalli et al. (in co-operation with Karátson) used surface fitting in the morphological characterization of regular-shaped volcanic landforms. They claimed that application of the MINUIT minimization library have a twofold advantage: the extent, how a given volcanic landform is regular, can be determined quantitatively and in the case of degraded volcanic landforms, whose geometry is not clear, this method of surface fitting reconstructs the original shape with the maximum precision (Favalli et al. 2014).

References

- Cajz V, Schnabl P, Pécskay Z, Skacelova Z, Venhodova D, Slechta S, Cizkova K (2012): Chronological implications of the paleomagnetic record of the Late Cenozoic volcanic activity along the Moravia-Silesia border (NE Bohemian Massif). *Geologica Carpathica*, 63, 423-435.
- Dobosi G, Harangi Sz (2015): Hungarian National Report on IAVCEI (2011-2014). *Publications in Geomatics*, 18, 137-145.
- Favalli M, Karátson D, Yepes J, Nannipieri L (2014): Surface fitting in geomorphology – Examples for regular-shaped volcanic landforms. *Geomorphology*, 221, 139-149.
- Fornaciai A, Favalli M, Karátson D, Tarquini S, Boschi E (2012): Morphometry of scoria cones, and their relation to geodynamic setting: A DEM-based analysis. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 217-218, 56–72.
- Karátson D, Telbisz T, Wörner G (2012): Erosion rates and erosion patterns of Neogene to Quaternary stratovolcanoes in the Western Cordillera of the Central Andes: An SRTM DEM based analysis. *Geomorphology* 139-140, 122–135.
- Koroneos A, Poli G, Cvetkovic V, Christofides G, Krstic D, Pécskay Z (2011): Petrogenetic and tectonic inferences from the study of the Mt Cer pluton (West Serbia). *Geological Magazine*, 148, 89-111.
- Lexa J, Sebesta J, Alexander Chavez J, Hernandez W, Pécskay Z (2011): Geology and volcanic evolution in the southern part of the San Salvador Metropolitan Area. *Journal of Geosciences*, 56, 105-140.
- Németh K, Rizzo C, Nullo F, Smith IEM, Pécskay Z (2012): Facies architecture of an isolated long-lived, nested polygenetic silicic tuff ring erupted in a braided river system: The Los Loros volcano, Mendoza, Argentina. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 239, 33-48.
- Székely B, Koma Zs, Karátson D, Dorninger P, Wörner G, Brandmeier M, Nothegger C (2014): Automated recognition of quasi-planar ignimbrite sheets as paleosurfaces via robust segmentation of digital elevation models: an example from the Central Andes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39, 1386–1399.
- Telbisz T, Kovács G, Székely B, Karátson D (2012): A sávsvélvényelemzés (swath analysis) módszere digitális terepmodell (DTM) alapján (The method of swath analysis based on digital terrain models). *Földtani Közlöny*, 142, 193-200.
- Török K (2012): On the origin and fluid content of some rare crustal xenoliths and their bearing on the structure and evolution of the crust beneath the Bakony-Balaton Highland Volcanic Field (W-Hungary). *International Journal of Earth Sciences*, 101, 1581-1597.
- Török K, Németh B, Koller F, Dégi J, Badenszki E, Szabó C, Mogessie A (2014): Evolution of the middle crust beneath the western Pannonian Basin: a xenolith study. *Mineralogy and Petrology*, 108, 33-47.

ACTIVITY OF THE DEPARTMENT OF GEOPHYSICS, UNIVERSITY OF MISKOLC–IAGA DIVISION 1. INTERNAL MAGNETIC FIELDS

Gábor Pethő*



This is a reprint of the original publication Pethő G (2015): Activity of the Department of Geophysics, University of Miskolc - IAGA Division 1. Internal Magnetic Fields, In: Ádám (ed.): Hungarian National Report on International Union of Geodesy and Geophysics. Publications in Geomatics, 18(1), 55-56. corrected in its References.

1 Near-surface and environmental studies

The activity of the Department of Geophysics at University of Miskolc covers both methodological and interpretational method developments of mainly near-surface geophysics and geo-environmental issues.

For time domain IP data processing the theoretical basis of TAU-transformation was given by Turai and Dobróka (2011) and the interpretation of IP field data by Turai (2011, 2012a). Additional IP application possibilities (including environmental protection as well) are presented by Turai (2012b). Mineral and thermal water resources in the Tokaj Mountains were characterized by Szűcs et al. (2014). For archaeological exploration multi-electrode geoelectrical measurements were applied and interpreted by 2D conductivity distribution assumption by Turai and Hursán (2012). A new petrophysical model describing the pressure dependence of acoustic wave propagation characteristics was established by Dobróka and Somogyiné Molnár (2012a, 2012b, 2013), Dobróka et al. (2014), Somogyiné Molnár et al. (2013, 2015) and Somogyiné Molnár and Kiss (2014). The validity of the new petrophysical model was also investigated by them in the course of lab measurements. Dobróka et al. (2013) applied an approximate inversion for quick imaging of MT data. Some geological applications of VLF resistivity method are presented by Pethő (2012a). Three dimensional DC numerical modelling was done by Baracza and Gyulai (2012) for selecting the best array to detect failures of modern landfills. EM frequency domain numerical modelling results for 2.5D isotropic models and the bases of EM underground transillumination for anisotropic 2.5D case are given by Pethő (2012b, 2013). Gyulai et al. (2013) carried out in-mine geoelectric investigations to detect tectonic disturbances in coal seam beds. For the interpretation of field geophysical data new, high resolution, inversion methods were developed. All inversion methods developed in the framework of geoelectric survey were tested via field data and the main characteristics of them are described by Gyulai et al. (2014).

2 Inversion and additional interpretation techniques

New, automated joint inversion method was developed by Drahos et al. (2011) for 2D geologic structure. An overview is presented by Gyulai et al. (2013) on the geophysical applications of joint inversion. The series expansion-based inversion method –which relies on the assumption that the variations of formation boundaries and physical parameters along the investigated profile can be described by continuous functions– was applied by Gyulai and Tolnai (2012), Völgyesi et al. (2012), Paripás and Ormos (2012), Gyulai and Szabó(2013). In the course of 2D CGI (Combined Geoelectric Inversion) the combination of the 2D finite difference geoelectric forward modeling and the series expansion-based inversion method is applied and this method was further developed by automatically weighting the individual geoelectric data sets to improve the inversion results by Gyulai et al. (2014). New inversion methods were elaborated by Ormos and Paripás (2012) and Paripás and Ormos (2013) to enhance the reliability of seismic refraction interpretation. Interval inversion methods were further developed and applied by Dobróka and Szabó (2011, 2012), Dobróka et al. (2012a) for formation

*Department of Geophysics, University of Miskolc
H 3515, Miskolc-Egyetemváros A/2 ép.
E-mail: gjpg@uni-miskolc.hu

boundaries determination, textural and petrophysical characterization in the course of log analysis. Improved algorithm was elaborated by Dobróka et al. (2012c) for the Fourier transform as an inverse problem. New inversion algorithm for the computation of Fourier transform was developed by Szegedi et al. (2013). Robust Fourier- transform method for the case of outlier data was elaborated by Dobróka and Szegedi (2013). Szegedi and Dobróka (2014) presented a paper on the role of Steiner's weights in the inversion-based Fourier transformation. Dobróka et al. (2014) investigated the reduced noise sensitivity of a new Fourier transformation algorithm. Szegedi (2014) developed a new aspect of the inversion-based robust Fourier-transform. Paper was presented by Dobróka and Szegedi (2014) on the generalization of seismic tomography algorithms. Factor analysis was applied by Szabó (2011), Szabó and Dobróka (2013) and Szabó et al. (2014) for the interpretation of well log data putting emphasis on shale volume determination. Additional factor analysis investigations were made by Szabó (2012) and Szabó et al. (2012) to assist the interpretation of engineering geophysical sounding data. A cluster analysis procedure was developed by Szabó et al. (2013) for a more automated characterization of hydrocarbon reservoirs.

References

- Baracza MK, Gyulai Á** (2012): 3 Dimensional Model Studies of Modern Landfills. *Geosciences and Engineering*, 1(1), 21-28.
- Dobróka M, Prácer E, Kavanda R, Turai E** (2013): Quick imaging of MT data using an approximate inversion algorithm. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 48(1), 17-25.
- Dobróka M, Somogyiné Molnár J** (2012a): New petrophysical model describing the pressure dependence of seismic velocity. *Acta Geophysica*, 60(2), 371-383.
- Dobróka M, Somogyiné Molnár J** (2012b): The pressure dependence of acoustic velocity and quality factor – New petrophysical model. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 47(2), 149-160.
- Dobróka M, Somogyiné Molnár J** (2013): New petrophysical model for describing pressure dependence of acoustic velocity based on the change of pore volume. *International Scientific Herald*, 6(25), 57-65.
- Dobróka M, Somogyiné Molnár J, Szűcs P, Turai E** (2014): Pressure dependence of seismic Q – a microcrack-based petrophysical model. *Near Surface Geophysics*, 12(3), 427-436.
- Dobróka M, Szabó NP** (2011): Interval inversion of well-logging data for objective determination of textural parameters. *Acta Geophysica*, 59(5), 907-934.
- Dobróka M, Szabó NP** (2012): Interval inversion of well-logging data for automatic determination of formation boundaries by using a float-encoded genetic algorithm. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 86-87, 144-152.
- Dobróka M, Szabó NP, Turai E** (2012a): Interval inversion of borehole data for petrophysical characterization of complex reservoirs. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 47(2), 172-184.
- Dobróka M, Szegedi H** (2013): Investigation of Robust Fourier-transform method in case of outliers. *International Scientific Herald*, 6(25), 306-313.
- Dobróka M, Szegedi H** (2014): On the generalization of seismic tomography algorithms. *American Journal of Computational Mathematics*, 4(1), 37-46.
- Dobróka M, Szegedi H, Somogyiné Molnár J, Szűcs P** (2014): On the reduced noise sensitivity of a new Fourier transformation algorithm. *Mathematical Geosciences*, 46(11004), 1-19.
- Dobróka M, Szegedi H, Vass P, Turai E** (2012c): Fourier transformation as inverse problem – an improved algorithm. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 47(2), 185-196.
- Drahos D, Gyulai Á, Ormos T, Dobróka M** (2011): Automated weighting joint inversion of geoelectric data over a two dimensional geologic structure. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 46(3), 309-316.
- Gyulai Á, Baracza MK, Szabó NP** (2014): On the application of combined geoelectric weighted inversion in environmental exploration. *Environmental Earth Sciences*, 71, 383-392.
- Gyulai Á, Baracza MK, Tolnai ÉE** (2013): The application of joint inversion in geophysical exploration. *International Journal of Geosciences*, 4(2), 283-289.
- Gyulai Á, Ormos T, Dobróka M, Turai E, Sasvári T** (2013): In-mine geoelectric investigations for detecting tectonic disturbances in coal seam structures. *Acta Geophysica*, 61(5), 1184-1195.
- Gyulai Á, Szabó NP** (2013): Series expansion-based geoelectric inversion methodology used for geoenvironmental investigations. *Frontiers in Geosciences*, 2(1), 11-17.
- Gyulai Á, Tolnai ÉE** (2012): 2.5D geoelectric inversion method using series expansion. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 47(2), 210-222.
- Ormos T, Paripás AN** (2012): Traveltime differences in seismic refraction inversion. *Geosciences and Engineering*, 1(2), 123-128.
- Paripás AN, Ormos T** (2012): Resolution and ambiguity studies for a series expansion based multilayer refraction inversion method. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 47(2), 28-41.
- Paripás AN, Ormos T** (2013): New inversion techniques for the elimination of trigger errors in seismic refraction data. *Geosciences and Engineering*, 2(3), 73-82.
- Pethő G** (2012a): Geological applications of VLF method. *Geosciences and Engineering*, 1(2), 129-136.

- Pethő G** (2012b): Frequency domain electromagnetic investigation on elongated conductivity structures. *Geosciences and Engineering*, 1(1), 271-282.
- Pethő G** (2013): Bases of FD modelling for EM underground transillumination with vertical electric dipoles in 2D anisotropic conductivity structures. *Geosciences and Engineering*, 2(3), 51-62.
- Somogyiné Molnár J, Dobróka M, Bodoky T** (2013): Explanation of pressure dependence of acoustic velocity based on the change of pore volume. *Geosciences and Engineering*, 2(3), 63-72.
- Somogyiné Molnár J, Kiss A** (2014): Modelling the pressure dependence of p wave velocity and porosity on sandstones. *Geosciences and Engineering*, 2(4), 1-11.
- Somogyiné Molnár J, Kiss A, Dobróka M** (2015): Petrophysical models to describe the pressure dependence of acoustic wave propagation characteristics. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 50(3), 339-352.
- Szabó NP** (2011): Shale volume estimation based on the factor analysis of well-logging data. *Acta Geophysica*, 59(5), 935-953.
- Szabó NP** (2012): Dry density derived by factor analysis of engineering geophysical sounding measurements. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 47(2), 161-171.
- Szabó NP, Dobróka M** (2013): Extending the application of a shale volume estimation formula derived from factor analysis of wireline logging data. *Mathematical Geosciences*, 45(7), 837-850.
- Szabó NP, Dobróka M, Drahos D** (2012): Factor analysis of engineering geophysical sounding data for water saturation estimation in shallow formations. *Geophysics*, 77(3), WA35-WA44.
- Szabó NP, Dobróka M, Kavanda R** (2013): Cluster analysis assisted float-encoded genetic algorithm for a more automated characterization of hydrocarbon reservoirs. *Intelligent Control and Automation*, 4(4), 362-370.
- Szabó NP, Dobróka M, Turai E, Szűcs P** (2014): Factor analysis of borehole logs for evaluating formation shaliness: a hydrogeophysical application for groundwater studies. *Hydrogeology Journal*, 22(3), 511-526.
- Szegedi H** (2014): Generating Hilbert transform with the use of inversion-based robust Fourier transform. *Geosciences and Engineering*, 2(2), 103-115.
- Szegedi H, Dobróka M** (2014): On the use of Steiner's weights in inversion-based Fourier transformation: robustification of a previously published algorithm. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 49(1), 95-104.
- Szegedi H, Dobróka M, Bodoky T** (2013): New inversion algorithm for the computation of Fourier transform - examination on a synthetic data set. *Geosciences and Engineering*, 2(3), 83-90.
- Szűcs P, Fejes Z, Zákányi B, Fekete Zs, Szárnya G, Hartai É, Turai E, Gyulai Á, Szabó NP, Cserny T** (2014): General characterization of mineral and thermal water resources in the Tokaj Mountains. *Geosciences and Engineering*, 3(5), 77-82.
- Turai E** (2011): Data processing method developments using TAU-transformation of time domain IP data: II. interpretation results of field measured data. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 46(4), 391-400.
- Turai E** (2012a): Some field measurement results of IP method. *Geosciences and Engineering*, 1(2), 167-172.
- Turai E** (2012b): Application possibilities of IP method in the fields of environmental protection, ore- and direct hydrocarbon exploration. *Geosciences and Engineering*, 1(2), 161-166.
- Turai E, Dobróka M** (2011): Data processing method developments using TAU-transformation of time-domain IP data I. theoretical basis. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 46(3), 283-290.
- Turai E, Hursán L** (2012): 2D inversion processing of geoelectric measurements with archaeological aim. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 47(2), 245-255.
- Völgyesi L, Dobróka M, Ultmann Z** (2012): Determination of vertical gradients of gravity by series expansion based inversion. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 47(2), 233-244.