

Szakmai zárójelentés a T49575 OTKA pályázatról

Recens függőleges kéregmozgások vizsgálata geodéziai mérések, geofizikai és földtani adatok felhasználásával (2005-2010)

Előzmények

A földfelszín mozgásainak vizsgálata ismételt szintezések alapján több évtizedre nyúlik vissza Magyarországon. A függőleges irányú felszín-, vagy kéregmozgások szervezett – (nagyobb területekre kiterjedő és összehangolt – vizsgálata az 1970-es években kezdődött. A Magyarország, Csehszlovákia, Románia és Bulgária (az ún. Kárpát-Balkán Régió – KBR) területére kiterjedő mozgásvizsgálatokat Magyarország koordinálta, Dr. Joó István vezetésével. A vizsgálatok magassági alapadatai a két legutóbbi országos felsőrendű szintezés közös pontjainak magassága illetve magasságváltozásai voltak (az egyik a II. világháború után készült ún. Bendefy-féle hálózat (1948-1964), a másik az Egységes Országos Magassági Alapponthálózat (EOMA: 1978-2007) addigra elkészült elsőrendű vonalai).

A KBR mozgásvizsgálatait bemutató térképeket több évben is kiadtak (1979, 1985, 1991, 1995). A rendszerváltást követően a vertikális mozgásvizsgálatokra irányuló kutatások már csak Magyarország területére vonatkoztak. 2002-ben elkészült a Kárpát-régió (Magyarország, Szlovákia, Románia és Ukrajna nyugati része) vertikális kéregmozgásait ábrázoló digitális térkép.

A 90-es évektől kezdődően a magyarországi mozgásvizsgálatok már arra irányultak, hogy megismerjük a feltételezett „okozókat” és azok hatásait. Ez utóbbi vizsgálatok 2007 nyaráig (a témavezető, Dr. Joó István haláláig) folytatódtak.

A földtani jellemzők függőleges kéregmozgásra tett hatásainak kutatására vonal-menti és területi vizsgálatok történtek. Ezeken belül vizsgáltuk az egyes feltételezett okozókkal a korreláció mértékét, valamint kísérletet tettünk a földtani jellemzők hatása arányainak megállapítására.

A jelen beszámoló a kutatási program alapján, az egyes elkülönült témakörök szerinti bontásban röviden foglalja össze az elvégzett munkát és az eredményeket. A részletes adatok szakmai közleményekben és szakdolgozatokban találhatóak.

Vonalmenti vizsgálatok a mozgássebességek és a főbb földtani jellemzők kapcsolatának modellezésére

A mozgásvizsgálatok legfiatalabb csoportja az ismételt magasság-mérésekből levezetett sebességek (S) (országos értelemben sebesség-mező) és a – feltételezésünk szerint a mozgásokkal összefüggésbe hozható – földtani jellemzők: az alapkőzet-mélység (K), a Bouguer-féle nehézségi anomália (G) és a földi hőáram (H) együttes elemzése (regressziós-korrelációs analízise) és többváltozós lineáris modellek levezetése a kiválasztott vonalakon.

Rendelkezésünkre állt a Nemzeti Mozgástérkép digitális formában 3×3 km-es rácsfelbontással, ennek megfelelően a vizsgálatok hatékonyabbá tétele érdekében elkészítettük a földtani jellemzők addig még csak grafikus formában rendelkezésre álló adatainak (K, G, H) digitális adatbázisát is. Az adatbázis eredeti forrásai:

- *Kilényi E.-Rumpler, J. (1980):* Basement Contour Map Hungary (ELGI) 1: 1 000 000
- *ELGI:* Bouguer anomália átlagértékek (10×10 km)
- *Dövényi-Horváth F. (1986):* Heat Flow Map of the Pannonian Basin and the Surrounding Regions

Mindhárom témában a meglévő digitális mozgástérkép paramétereinek figyelembevétele mellett folytonos felszín generáltunk és így rendelkezésünkre álltak a tematikus digitális felszínmodellek, amelyek a későbbi vizsgálatok egységes alapját képezték. A

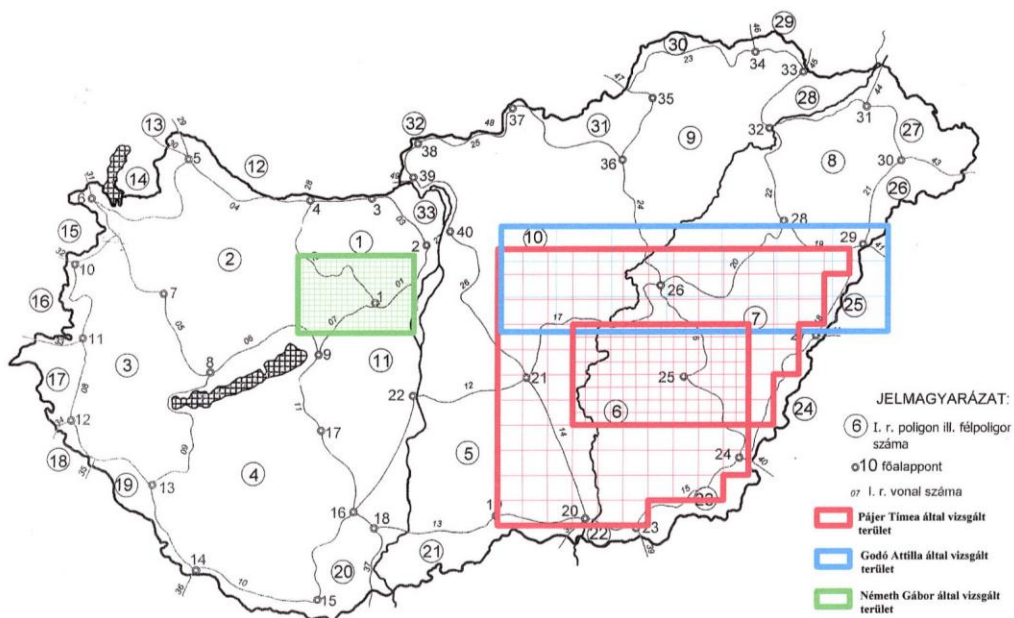
nyomán. Néhány tehetségesebb hallgató tudományos diákköri dolgozatra is vállalkozott (2004-ben OTDK első hely, 2006-ban OTDK második hely). A kutatás eredményeit bemutató publikációk többségében a Geodézia és Kartográfia című szakmai folyóiratban jelentek meg, de ezekről a témavezető több hazai és külföldi fórumon is beszámolt.

Az EOMA elsőrendű hálózat pontjainak (köztük a „K” pontok) elhelyezkedését figyelembe véve (a vonalat azok közelében kijelölve) 12 vonal mentén történt vizsgálat. Ezen vonalak hossza 60-70 km-től 180-200 km-ig terjed. A hosszabb vonalak esetében a közel azonos darabszámú minta érdekében a vonal vizsgálata több szakaszra bontva történt. A digitális felületmodelleken kijelölt vonal-menti metszetekről 3 km-enként vett adatok (S, K, G, H) korrelációját vizsgáltuk. (S-K; S-G; S-H).

A mért sebességek „hatók” szerinti szétválasztásában figyelemre méltó eredményeket kaptunk. Példaként két vonalat említünk: a Dunántúl déli részét (Szombathely-Siklós vonal) és a Kecskemét-Kiskundorozsma vonalat. A vonalak hossza 216 km, illetve 75 km. Mindkettőnél sor került a vonal teljes hosszának együttes elemzésére és azok kisebb hosszúságú szakaszainál is. A dél-dunántúli vonal adatai elemzésének eredményei: a V/K (sebesség és közetmélység) viszonylatban adódott a legerősebb kapcsolat, ($r = 0,34$ -tól $0,71$ -ig), a leggyengébb korreláció pedig az S/G viszonylatban adódott (G; Bouguer-féle anomália). A Duna-Tisza közén futó vonalon a korreláció legerősebb az S/G viszonylatban ($0,86$), de ehhez közel álló kedvező korrelációkat kaptunk az S/K és S/H viszonylatban.

Területi vizsgálatok a mozgássebességek és a főbb földtani jellemzők kapcsolatának modellezésére

A vizsgálatok egy másik módszere a „területi vizsgálat”. Ebben az esetben az ország egy kiválasztott térségében a terület 10×0 km-es, majd 5×5 km-es, végül 3×3 km-es felbontású rácspontbeli adatainak együttes elemzése, modellezése történt meg mintegy 2000 km^2 összterületen.



2. ábra. Az egységes országos magassági alapponthálózat I. rendű hálózata és a területi függőleges mozgásvizsgálatok

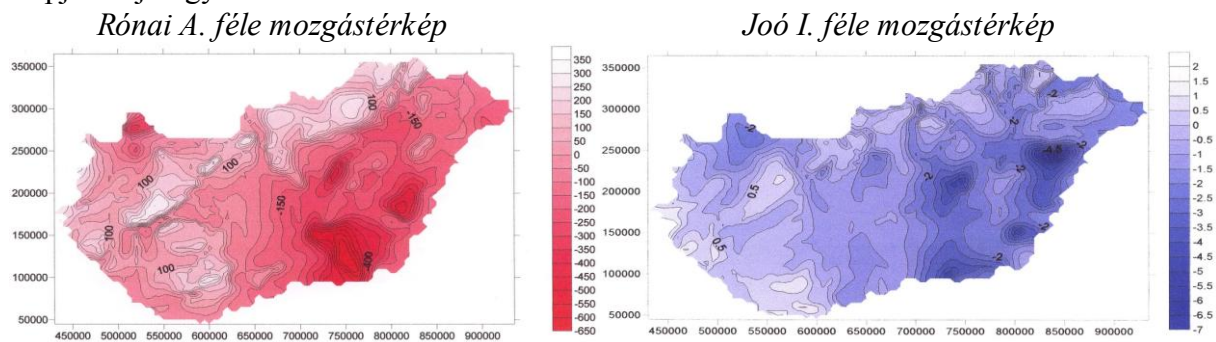
A „területi vizsgálatnál” az eredeti elgondolás az volt, hogy a vizsgálat során nyert nagyszámú korrelációs együttható felhasználásával három térképet szerkesztünk (r_{SK} , r_{SG} , r_{SH}), amelyek alkalmasak lesznek a vizsgált területen a kiválasztott relációk (S/K, S/G és S/H kapcsolat erősségének) kifejezésére. Ez azonban – a nem megfelelően kiválasztott területi

csoportok miatt – nem sikerült. Ezért kellett bevezetni a „hányadosok“ módszerét (h). A h-értékek bevezetésének célja az volt, hogy a függőleges felszínmozgások feltételezett „okozói” befolyásának mértékét vizsgálja, vagyis az $S = S_K + S_G + S_H$ összefüggésben az egyes „hatók” okozta sebesség-összetevők arányainak megállapítása.

Célszerűen a kiegyenlítésből már ismert r_{SK} , r_{SG} , r_{SH} elemi korrelációs együtthatókat használtuk fel. A módosított korrelációs együtthatók ismeretében megállapíthatók a keresett sebesség-összetevők. A „rész-sebességek” grafikus ábrázolása lehetővé tette egy-egy kiválasztott körzetben értelmezni, hogy az ottani mozgás sebességét különösen melyik tényező okozta, pontosabban annak kialakulásában milyen arányban felelős.

A mozgásvizsgálatoknál felhasznált és kiegyenlített adatok birtokában lehetőség van a mért és kiegyenlített mozgás-sebességeket a mozgást előidéző hatók szerinti összetevőkre felbontani.

Területi jellegű, az egész országot lefedő vizsgálat volt a Rónai András által, földtani adatokból a quarter-időzakra levezetett vertikális sebességek és a Joó István által szerkesztett jelenkori vertikális mozgástérkép egybevetése, amit két felszínmodell különbségeként értelmeztünk. A kétféle alapadattól előállított térkép grafikusan is és korrelációanalízis alapján is jó egyezést mutat.



3. ábra. A Rónai András féle mozgástérkép (balra) és a Joó István féle mozgástérkép (jobbra)

Állandó vizsgálati vonalak ismételt szabatos szintezése

A 90-es évektől kezdően három olyan vizsgálati vonalat alakítottunk ki, amelyek földtani szempontból érdekes és valószínűsíthetően mozgásos területet kereszteznek, így a szabatos szintezés módszerével viszonylag rövid idő alatt is kimutathatók a függőleges irányú változások.

2005-ben fejeződött be a Móri-árkot harántoló, Bodajk és Csókakő közötti vonal szabatos újramérése. A vizsgálati vonal teljes hossza közel 10 km. Elemeztük a 2005. évi és a korábbi mérések (1991, 1992, 1993) adatait. Vizsgálataink kiterjedtek a vonal pontjai relatív és abszolút sebességértékeinek meghatározására, valamint a Bakony és a Vértes egymáshoz viszonyított magassági elmozdulására. A kimutatható trendek a következők (feltételezve, hogy a bodajki (Bakony) végpont mozdulatlan):

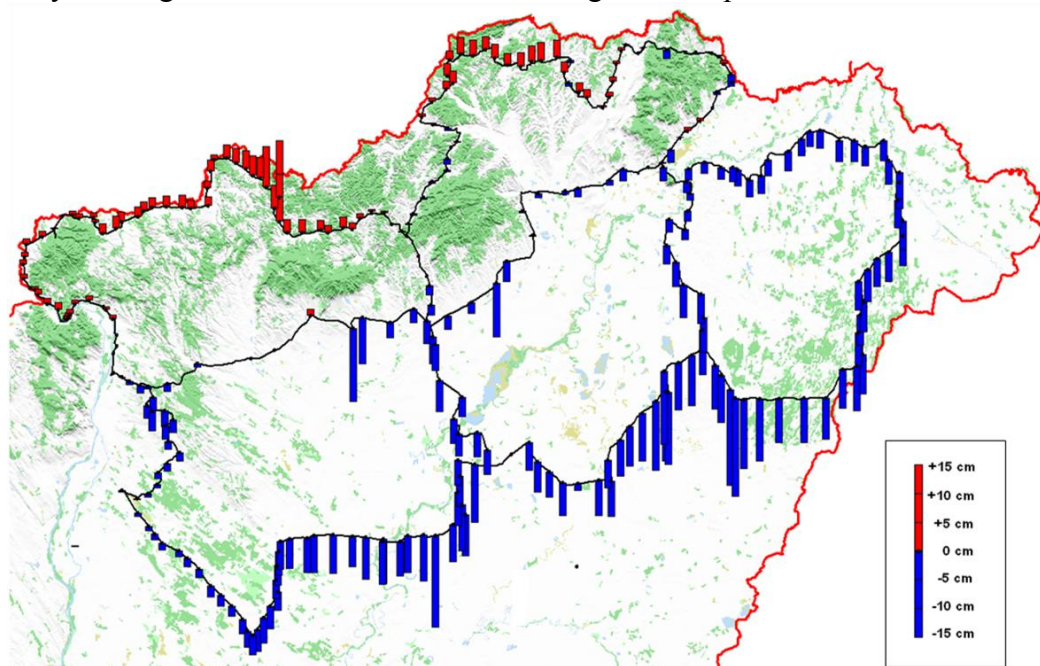
- A Móri-árok mintegy 2 mm-rel süllyedt
- A Vértes-hegység (Csókakő végpont) 2-3 mm-rel emelkedik
- A Zámolyi-medence süllyed, mintegy 3-4 mm-rel

A Lovasberény-Csákvár vonal újramérését nehezítette, hogy a vonalon korábban telepített mélyalapozású (6-10 m mélységű) alappontok közül néhány megrongálódott (szándékos károkozás által). A 2003. évi és a 2006. évi mérésekből (Lovasberénytől-Csákvárig; azaz a Vértes-hegység lábáig), a 9,8 km hosszú vizsgálati vonalon sorra, a következő magasságváltozásokat (emelkedéseket) kaptuk: +1,0 mm, +3,3 mm, +6,5 mm, +7,4 mm és +8,8 mm. Figyelemmel a két mérés között eltelt három évre, az emelkedés sebessége Csákvárnál +2,9 mm/év. Megjegyezzük, hogy a kutatási program keretében végzett szabatos

A teszterületet arra is felhasználtuk, hogy javaslatot adjunk egy új típusú alappontnyilvántartásra vonatkozóan, ami 1D, 2D vagy 3D típusú pontokra egységesen vonatkozna. A mintaállományt illetve annak adatbázisát a DigiTerra Map szoftver kezeli. Kidolgoztuk a pontnyilvántartás adattábláit és a végleges munkarészként nyomtatható pontleírás formátumát. A tervek szerint a jövőben a referenciarendszert elsősorban az integrált geodéziai hálózat (INGA) fogja képviselni, ilyen pontok létesítése elkezdődött. Szükségesnek tartjuk, hogy az alappontok esetében is a papír-alapú nyilvántartást a digitális, adatbázison alapuló nyilvántartás és archiválás váltsa fel.

Az EOMA újramérésével kapcsolatos vizsgálatok

A magyar geodéziai hálózatok helyzete nem egy szűk réteget érintő technológiai kérdés, hanem a referenciarendszerek jövőjét hosszútávon meghatározó, gazdasági, pénzügyi, szakma-politikai összetett probléma egyszerre. Itt nemcsak az EOMA újramérésének időtervéről és technológiájáról kell határozni, hanem a geodéziai hálózatok jövőbeni szerepéről is dönteni kell. Ebben a folyamatban kezdettől szerepet vállaltunk és javaslatokkal, tanulmányokkal, előadásokkal, bizottsági részvétellel támogattuk hálózataink megújítását. A sok résztvevős, szakmai konszenzusra törekvő közös munka eredménye az MTA Geodéziai Tudományos Bizottság ajánlása illetve az ezt megalapozó tanulmány. Ebben a folyamatban konkrét „termék” volt részünkről a szabatos szintezés technológiájára vonatkozó, a régebbi A2 jelű szabályzatot megújító szabályzat-tervezet szövegének kidolgozása. Bár az új szabályozás hivatalosan még nem hatályos, de a sokféle tapasztalatot összegző és az új körülményekhez igazodó tervezet elkészült és a megfelelő időpontban kiadható.



5. ábra. Az EOMA1 és az EOMA2 epocha közti magasságváltozások szemléltetése a K-pontokban

A szakma közös erőfeszítései gyakorlati eredménye az EOMA három kelet-magyarországi elsőrendű (8, 9, 10. számú) poligonjának újramérése, amelyre 2007-ben (KMO1) és 2008-2009-ben került sor (KMO2). Nem lehet eléggé kiemelni az újramérés megindulásának jelentőségét, ugyanakkor nem lehet elhallgatni aggodalmunkat a folytatást illetve a rövid időn belül történő befejezést illetően, hiszen válság idején nem a referencia-rendszerek megújítását tartják elsődleges feladatnak.

2009 őszén megkaptuk a KMO1-2 projekt eredeti mérési adatait, a szintezési szakaszok magasságkülönbségeit. Így lehetőségünk adódott az EOMA1 epocha (1975-78) és az EOMA2

epocha (2007-2009) egybevetésére a három poligon területén. Hangsúlyozni szükséges, hogy ilyen nagy területen ezidáig nem volt lehetőség a felszínmozgások tanulmányozására az elmúlt 3 évtizedben végzett ismételt szabatos szintezésekből. Az is feltétlenül említésre érdemes, hogy a kifejezetten kéregmozgásvizsgálati céllal létrehozott K-pontok elmozdulását sem lehetett eddig vizsgálni ilyen nagy tömegben, mivel nem voltak erre vonatkozó adatok.

A három poligont lefedő hálózat-rész kiegyenlítéséhez összeállítottuk a kéregmozgási szakaszok (átlagos hosszuk 5,3 km) magasságkülönbségét ugyanolyan redukciókkal, mint az eredeti méréskor. Előzetes vizsgálatok alapján 5 főalappont (köztük 3 sziklára telepített Bendefy-pont) magasságát vettük adottnak (Börzsöny, Baksipart, Szarvaskő, Tokaj, Dunakeszi). Ennek alapján (a szakaszhossz reciprokát véve súlynak) egyenlítettük ki az újramért hálózatrészt, majd hasonlítottuk össze az alappontok magasságát a 3 évtizeddel korábbi értékkel. Összesen 297 újonnan meghatározott K-pont található a 3 poligonban. Az északi, hegyvidéki részen jellemző volt a kismértékű (néhány mm-es) emelkedés, a déli, alföldi részen a nagyobb mérvű (több centiméteres) süllyedés. A süllyedés mértéke 74 K-pontban meghaladta az 5 cm-t, 11 K-pontban pedig a 10 cm-t.

Az EOMA újramérésének előzetes eredményei arra utalnak, hogy időszerű a szintezési hálózat újbóli meghatározása, ami tudományos és gyakorlati szempontból is hasznos. A gyakorlati hasznosság a GNSS-technológia mind szélesebb körű alkalmazásával és annak a magasságmérésben elérni kívánt cm-es pontossági igényével támasztható alá. Ezek a tények is indokolják az integrált hálózat szükségességét, amelynek megvalósítása érdekében mind a szakmai közvélemény korrekt tájékoztatása, mind a döntéshozók meggyőzése feltétlenül indokolt.

Összefoglalás

A földfelszín függőleges irányú mozgásának vizsgálata ismételt szabatos szintezések alapján több évtizedes múltra tekint vissza Magyarországon. A jelen kutatás három területen kívánt előrelépni.

Vizsgáltuk a vertikális sebességek (amelyeket az 1950-es években és az 1980-as években mért elsőrendű szintezési hálózatok közös pontjai alapján vezettünk le) kapcsolatát három földtani jellemzővel: az alapkőzet-mélységgel, a Bouguer-féle nehézségi anomáliával és a földi hőárammal. A módszer regressziós-korrelációs analízis volt többváltozós lineáris modellek alapján. Összesen 12 (mintegy 100-200 km hosszú) kiválasztott vonal mentén mutattunk ki új összefüggéseket (korrelációs együtthatókat, lineáris modelleket).

Elvégeztük két, ún. állandó (mintegy 10 km hosszú) vizsgálati vonalunk újbóli szabatos szintezését és a mozgások elemzését. A viszonylag rövid időbázisú mérésből kimutatható volt mind a Móri-árok, mind a Zámolyi-medence süllyedése, amely területeket a szintezési vonalak harántolják. Egy újabb vizsgálati vonal alapmérését végeztük el, amely a Váli-völgyet keresztezi; itt újfajta pontállandósítást alkalmaztunk a pontpusztulás elkerülésére. A három vizsgálati vonalat egységes területként kezelve GPS-kampányt szerveztünk, amely azt célozta, hogy a jövőben a költség- és időigényes felsőrendű szintezést a hatékonyabb GNSS-technikával váltsuk fel.

2007-ben elkezdődött az EOMA elsőrendű hálózatának újramérése három poligonban. Elvégeztük e hálózatrész előzetes kiegyenlítését, amelyből első ízben lehetett kimutatni a kifejezetten kéregmozgási céllal állandósított ún. K-pontok magasságváltozását. A több cm-es magasságváltozások egyrészt indokolják az újramérés időszerűségét, másrészt az integrált hálózat szükségességét, amit a GNSS iránti nagyobb pontossági igények is indukálnak. A geodéziai hálózatok modernizálására irányuló terveket szabályzat-tervezet, ajánlás, mintaterületi adatbázis és pontnyilvántartás kidolgozásával segítettük.

A Geoinformatikai Karon az OTKA kutatás témakörében készített és a résztvevő kutatók által konzultált szakdolgozatok:

- Godó Attila (2007):* A Közép-Tisza és a Berettyó vidéke jelenkori mozgásainak vizsgálata és modellezése. Leltári szám: 2840
- Kiss Attila (2008):* Vízmércék ellenőrző mérése. Leltári sz.: 4056
- Komjáti Gábor (2003):* Jelenkori vertikális mozgások vizsgálata és modellezése a Bonyhád-Baja-Kiskundorozsma vonalon. Leltári sz.: 3041
- Molnár Krisztián (2002):* A PGT-4 vonal vertikális sebesség értékeinek és földtani jellemzőinek analízise. Leltári sz.: 2940
- Nagy Balázs (2006):* A vertikális kéregmozgások vizsgálata és modellezése a Kunhegyes-Szarvaskő-Nógrádszakál vizsgálati vonalakon.
- Németh Gábor (2005):* A Mezőföld kiválasztott területén végbemenő függőleges felszínmozgások vizsgálata és modellezése. Leltári szám: 2360
- Pájer Tímea (2004):* A Tiszántúl középső/déli részén kijelölt szelvényeken a vertikális felszínmozgások és a három földtani jellemző kapcsolatának vizsgálata és térképi ábrázolása. Leltári szám: 2276
- Papp Anikó (2005):* Vertikális kéregmozgás vizsgálatok a Siklós-Nadap vonalon. Leltári sz.: 3310
- Papp Béla (2003):* Jelenkori vertikális mozgások vizsgálata és modellezése a Kecskemét-Kiskundorozsma vizsgálati vonalon. Leltári sz.: 3056
- Romhányi Zita (2005):* Jelenkori vertikális kéregmozgási vizsgálat a Bonyhád-Duna-földvár-Kecskemét-Szolnok vonalon. Leltári sz.: 3312
- Szente Zoltán Csaba (2007):* PGT-4 vonalon a vertikális mozgások és a földtani rétegek közötti kapcsolat vizsgálata. Leltári sz.: 3874
- Szűcs Balázs - Szántó Gábor (2004):* Vertikális kéregmozgás-vizsgálatok Magyarországon. Leltári sz.: 3197
- Vágó Zoltán (2005):* Magyarország függőleges felszínmozgásai vizsgálata alapadatainak és ilyen tárgyú térképek kritikai vizsgálata. Leltári sz.: 3322
- Vilics Szilvia (2007):* Rónai András által publikált és a quarter-időszakra levezetett vertikális sebességek és a Joó István által szerkesztett jelenkori vertikális mozgástérkép tematikájának (Magyarország területére) összevetése. Leltári sz.: 3879
- Virányos Milán (2006):* A vertikális kéregmozgások vizsgálata és modellezése a Kecskemét-Szob vizsgálati vonalon. Leltári sz.: 3539

**A Geoinformatikai Kar honlapján az OTKA kutatás témakörében megjelent hírek:
(tanszéki honlap: www.geo.info.hu/geodezia)**

Dr. Joó István emlékezete

[http://www.geo.info.hu/geodezia/index.php?option=com_content&task=view&id=17
&Itemid=32](http://www.geo.info.hu/geodezia/index.php?option=com_content&task=view&id=17&Itemid=32)

Emlékezés Dr. Csepregi Szabolcsra

[http://www.geo.info.hu/geodezia/index.php?option=com_content&task=view&id=18
&Itemid=33](http://www.geo.info.hu/geodezia/index.php?option=com_content&task=view&id=18&Itemid=33)

Dr. Csepregi Szabolcs temetése és az emlékére rendezett gyász-szakestély

[http://www.geo.info.hu/portal2007/index.php?option=com_content&task=view&id=4
94&Itemid=40](http://www.geo.info.hu/portal2007/index.php?option=com_content&task=view&id=494&Itemid=40)

Csepregi Szabolcsról neveztük el a mérőtermet

[http://www.geo.info.hu/portal2007/index.php?option=com_content&task=view&id=7
83&Itemid=183](http://www.geo.info.hu/portal2007/index.php?option=com_content&task=view&id=783&Itemid=183)

OTDK 2009, Miskolc: tanszékünkön konzultált dolgozatokkal

[http://www.geo.info.hu/portal2007/index.php?option=com_content&task=view&id=6
47&Itemid=181](http://www.geo.info.hu/portal2007/index.php?option=com_content&task=view&id=647&Itemid=181)

Vándorgyűlés Nyíregyházán

[http://www.geo.info.hu/portal2007/index.php?option=com_content&task=view&id=6
92&Itemid=183](http://www.geo.info.hu/portal2007/index.php?option=com_content&task=view&id=692&Itemid=183)

Részvételünk a FIG 7. regionális konferenciáján Hanoi-ban

[http://www.geo.info.hu/portal2007/index.php?option=com_content&task=view&id=7
27&Itemid=183](http://www.geo.info.hu/portal2007/index.php?option=com_content&task=view&id=727&Itemid=183)

A Geodéziai Tudományos Bizottság ülése a GEO-ban

[http://www.geo.info.hu/portal2007/index.php?option=com_content&task=view&id=7
47&Itemid=183](http://www.geo.info.hu/portal2007/index.php?option=com_content&task=view&id=747&Itemid=183)

EMT Földmérő Találkozó Nagybányán

[http://www.geo.info.hu/portal2007/index.php?option=com_content&task=view&id=8
24&Itemid=181](http://www.geo.info.hu/portal2007/index.php?option=com_content&task=view&id=824&Itemid=181)

Székesfehérvár, 2010. június 30.

*Dr. Busics György
témavezető*