



A kelet-magyarországi függőleges felszínmozgások vizsgálata és modellezése

Molnár Krisztián földmérő mérnök

Bevezetés

A jelenkori függőleges felszínmozgások bemutatása Magyarország esetében már több alkalommal megtörtént [5, 8, 9]. Ezek a tanulmányok lényegében a teljes probléma feltárása szempontjából az első szakasznak tekinthetők.

A vizsgálatok második szakaszában már a mozgások lehetséges okai is napirendre kerültek [6, 7]. Ez utóbbiak keretében előbb a mozgássebességek és a feltételezett „okozók” regressziós – korrelációs elemzése folyt (páronkénti vizsgálatok), majd többváltozós vizsgálatokkal és modellezéssel folytatódott (lineáris többváltozós modellezés) [10, 11, 12].

Ennek során előbb olyan kiválasztott körzetek vizsgálatára került sor, mint: Nyugat-Magyarország, Debrecen, Szolnok, Szeged és Békéscsaba környéke [6, 7, 10, 11, 12], majd pedig egyes vonalak menti földtani-geofizikai jellemzők és a geodéziai mérésekből levezetett (majd kiegyenlített) sebességek közötti lehetséges kapcsolatok vizsgálatával folytatódott.

Ez utóbbi vizsgálatok mostanára felgyorsultak. A vizsgálatok ezen újabb szakasza a Szeged környékét és a Békési-medencét átszelő mintegy 99 km hosszú (PGT4-jelű) szeizmikus mélyszondázású vonalon indult [10], majd a PGT1-jelű és 132 km hosszú vonalon folytatódott (a Békési-medencétől Kisköre környékéig) [11], aztán a Kisalföld északi része (Lövő – Győr – Kisdér) következett, még később pedig Dél-Dunántúl (Szombathely – Nagykanizsa – Harkány).

Mindezeknél a vizsgálatoknál a következő mennyiségek közötti feltételezett kapcsolatok vizsgálata (és modellezése) folyt: a vertikális mozgások sebessége (V), a pretercier alapközvet mélysége (K), nehézségi anomáliák (G) – korábban Faye-féle-, később pedig Bouguer-féle – és a földi hőáramok (H).

A magunk részéről a vázolt vizsgálatosorozatból egyrészt a már említett PGT4-vonal újbóli vizsgálatát végeztük, továbbá a PGT1-vonalét.

Mivel az ilyen fajta vizsgálatoknál használt korrelációs-regressziós analízis alapjai (és modellezése) már ismertetésre került [10], így ezeket itt újólág nem tárgyaljuk. Ugyanakkor az általunk végzett vizsgálatokat több változatban is elvégeztük (PGT4- és PGT1-vonalak).

A vizsgálatok sorrendje minden esetben a következő volt.

a) A felhasznált (bemenő) adatok összehasonlítása (V, K, G és H). Az adatokat a már korábban létrehozott adatbázisokból vettük. Ezek felhasználásával az egész ország területét lefedő (EOV alapú) felületmodellek születtek. Így a kérdéses vonal jellemző pontjai EOV-koordinátái birtokában már az egyes jellemzők (S, K, G, H) kinyerhetők voltak.

Az adatbázisban szereplő alapadatok eredeti forrásai a következők.

– Joó, I. (1995): The National Map of Vertical Movements of Hungary (SE FFFK Székesfehérvár, scale 1:500000);

– Kilényi, E.–Rumpler, J. (1984): Basement Countur Map of Hungary (ELGI), scale 1:1 million

– ELGI: Bouguer-anomália átlagértékek (10 x 10 km);

– Dövényi/Horváth, F. (1986): Heat Flow Map of the Pannonian Basin and the Surrounding Regions.

b) A már kialakult gyakorlat szerint a felületmodellekből 3 km-es felbontással vettük a kiinduló adatokat.

c) Mindhárom viszonylatban vizsgáltuk a regressziókat (K/S, G/S és H/S). Az eredmény egyrészt grafikus formában áll rendelkezésünkre, másrészt három regressziós egyenlet adódott.

d) Páronkénti (előzetes) korrelációs együtthatókat számítottunk.

e) Ezt követően – a már kialakult eljárás szerint – kiegyenlítést végeztünk (V. kiegyenlítési csoport). A felhasznált összefüggés:

$$V - V_0 = A * K + B * G + C * D,$$

ahol V az aktuális sebesség, V_0 a sebességek átlaga, A, B és C a keresett paraméterek, K, G és H

pedig a már említett földtani jellemzők (alapkőzet-mélység, nehézségi anomália és földi hőáramok).

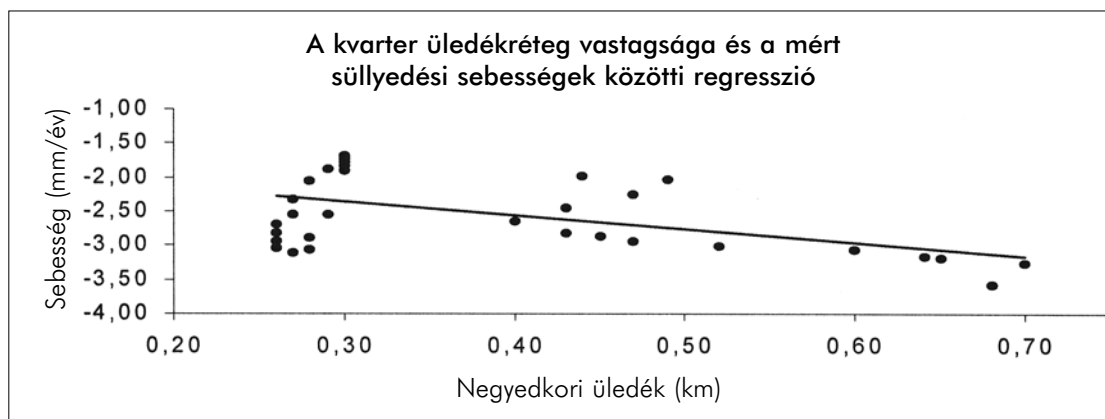
Ennek eredményeként megkaptuk az A, B és C paramétereket, ezek szórását és a közöttük lévő korrelációkat, továbbá (a kiegyenlített adatok birtokában) újraszámítottuk a korrelációkat.

Megjegyezzük, hogy a kiegyenlített adatok felhasználásával a vizsgálati vonal minden 3 kilométerére számítottuk a korrelációs együtthatókat, amelyek mind táblázatos, mind pedig grafikus formában rendelkezésre állnak. Ilyen módon a vizsgált vonalakon a korrelációs függvény (3 km-es felbontású) jó becslését kaptuk.

Az egyes vizsgálati vonalakon végzett számítások befejezése után értékeltük a kapott eredményeket: regressziók és korrelációs együtthatók, az

az eredmények pedig publikálásra kerültek (Joó–Balázsik–Gyenes; 2000). Az általunk végzett vizsgálatok célja annak felderítése volt, hogy az újabb és az eddig használt teljes alapkőzet-mélység – azaz a teljes szediments-rétegei közül milyen szerepe van magának a kvarter üledék-rétegnek. Ennek érdekében egyrészt újra elvégeztük a vizsgálatokat a már ismert földtani jellemzőkkel; K, G és H (I. variáció), majd a negyedkori rétegvastagságokkal K_{Kv} , G és H (II. variáció); amelyekhez a kiinduló adatokkal a *Síkhegyi F.* és *Tamás G.* 1996-ban készült 1:500000 ma.-ú térképe digitalizálásával nyertük.

Végül sort kerítettünk a III. variációra is, amelynél már négy független változó szerepelt K' , G, H és K_{Kv} ; azaz a teljes szediment két részre bontva szerepeltettük (K_{Kv} és K'), ahol $K'=K-K_{Kv}$.



1. ábra

előzetes és kiegyenlített adatokkal számított korrelációs együtthatók eltérései, az A, B, C paraméterek közötti korrelációk, továbbá a maradék el-
lentmondások kimutatása, ugyancsak 3 km-ként és ezek átlaga, ill. szórásai.

A továbbiakban külön-külön mutatjuk be a vizsgált vonal jellemzőit, a kapott eredményeket és azok értékelését.

Még felhívjuk a figyelmet arra is, hogy a keletmagyarországi vonalakon (PGT4 és PGT1) végzett vizsgálatok mindig a teljes vonalon történtek, de különböző variációkban (K, K_{Kv} , továbbá K' és K_{Kv}).

1. Újabb vizsgálatok a PGT4-jelű mélyszondázási vonalon (Szeged–Békési-medence)

Ezen, a mintegy 96 km hosszú vonalon az első többváltozós vizsgálat már korábban megtörtént,

A felhasznált (bemenő) adatok főbb jellemzői a következők voltak. A sebességek átlaga $-2,53$ mm/év, terjedelme pedig $-3,58$ mm/év és $-1,68$ mm/év között.

A teljes szediments vastagsága (K) 1,90 km és 6,60 km között változott; ezen belül a negyedkori üledék (K_{Kv}) vastagsága 0,26 km és 0,70 km közé esett. Ugyanitt a Bouguer-féle anomáliák értékei (G) $-5,20$ mGal és $16-20$ mGal között voltak; a földi hőáramok (H) pedig $76,9$ mWatt/m² és $110,10$ mWatt/m² között.

A bemenő adatok vonal menti alakulását (hasonlóképpen a regressziókat) azért nem mutatjuk be grafikus formában, mivel ezek a Geodézia és Kartográfia 2000/7 sz. 17. oldalán megtalálhatók (a regressziók pedig ugyanezen kiadvány 18. oldalán).

Ugyanakkor az 1. ábrán bemutatjuk a Kvarterréteg vastagsága és a sebességek közötti regressziót.

A PGT4-vonal újbóli vizsgálatának legfontosabb eredményei a következők.

A korrelációs együtthatók (r) átlagait az I., illetve a II. táblázat tartalmazza. (A III. variációnál az együtthatókat nem számítottuk.)

Korrelációs együtthatók (I. variáció) I. táblázat

	K/S	G/S	H/S
Előzetes	-0,63	-0,75	0,89
Kiegyenlítés után	-0,68	-0,79	0,90

Korrelációs együtthatók (II. variáció) II. táblázat

	KKv/S	G/S	H/S
Előzetes	-0,51	-0,75	0,89
Kiegyenlítés után	-0,52	-0,76	0,89

Paraméterek, azok szórása és korrelációja III. táblázat

	Érték	Szórás	Korrelációk
I. variáció	A = -0,0626;	0,0120	A/B; -0,76
	B = -0,0409;	0,0033	A/C; -0,86
	C = 0,0054;	0,0005	B/C; 0,53
II. variáció	A = -1,8212;	0,0502	A/B; -0,39
	B = -0,0402;	0,0010	A/C; -0,87
	C = 0,0102;	0,0002	B/C; 0,16
III. variáció	A = -0,1004;	0,0250	A/B; -0,80
	B = -0,0182;	0,0070	A/C; -0,75
	C = 0,0143;	0,0014	A/D; 0,24
	D = -2,0758;	0,2179	B/C; 0,65

a) A PGT4-vonalon a legerősebb korreláció a földi hőáramok és a sebességek között adódott ($r=0,89$, ill. $r=0,90$). Ugyanez adódott a II. variáció esetében is, azzal a megszorítással, hogy a K helyett a K_{kv} alkalmazásával az $r_{K/S}$ értéke tovább mérséklődött -0,68-ról -0,52-re.

b) Az is megállapítható, hogy az előzetes korrelációs együtthatók értéke a kiegyenlítés után érdemben nem változott.

c) A paraméterek szórásai általában egy nagyságrenddel kisebbek, mint maguk az értékek.

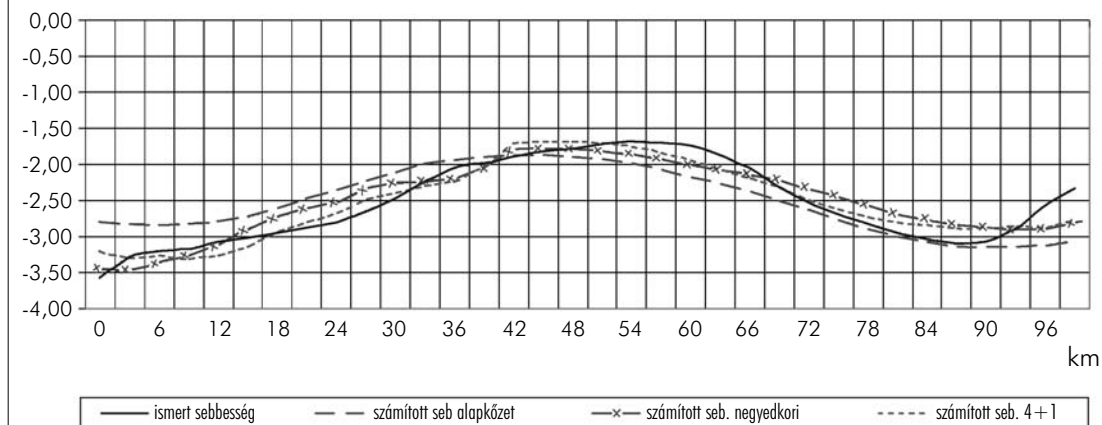
d) A paraméterek korrelációja már vegyesebb képet mutat. Jelentős értékű korrelációk a következők:

- a I. variációnál $r_{A/C} = -0,86$, ill. $r_{A/B} = -0,76$;
- a II. variációnál $r_{A/C} = -0,87$, továbbá
- a III. variációnál $r_{A/B} = -0,80$ és $r_{A/C} = -0,74$.

Ugyanakkor szerényebb korreláció adódott a II. variáció $r_{A/B}$ -nél, de különösen $r_{B/C}$ -nél (0,16). A korrelációs értékek a III. variációnál (az A/D reláció kivételével) kedvezően alakultak.

A korrelációs együtthatóknál talán még fontosabb (különösen a modell hatékonysága szempontjából) a maradék ellentmondások alakulása. Ezek értelmezése előtt tekintsük meg a 2. ábrát. Ezen – az ismert (mért) sebességek vonal menti alakulása mellett – bemutatjuk az I., II. és III. variációkban számított sebességeket is.

A különböző modellekből számított süllyedési sebességek és az ismert sebesség összehasonlítása a PGT-4-es vizsgálati vonalon



2.ábra

Az I., II. és III. táblázatban közölt adatok alapján a következő megállapításokat tehetjük.

A 2. ábra alapján látható, hogy az ismert sebességeket legjobban a III. variáció révén lehetett megközelíteni a (4+1) változós modellel. Itt ugyanis külön független változóként szerepelt a

kvarter-réteg vastagsága (K_{kv}) és külön a kvarter-réteg alatti szedimens vastagság (K').

Ugyanakkor az is megállapítható, hogy az I. variáció (K), illetőleg a II. variáció (K_{kv}) során számított sebességek is jól megközelítik az ismert értékeket. De figyelmet érdemel az is, hogy a II. variáció során (ahol csak a kvarter-réteg vastagságával számoltunk) valamivel jobb eredményhez jutottunk, mint az I. variációnál!

A PGT4-vonalon levezetett modellek hatékonyságát (grafikus bemutatás) még jobban alátámasztják a IV. táblázatban megadott maradék elentmondások statisztikai adatai.

Maradék ellentmondások (mm/év) PGT4 IV. táblázat

Variációk	Szélső értékek	Átlag	Szórás
I	-0,74 → 0,78	0,27	0,34
II	-0,48 → 0,32	0,18	0,21
III	-0,45 → 0,37	0,14	0,17

Összefoglalva megállapítható, hogy a PGT4-vonal vizsgálatánál a levezetett modell mindhárom variációban hatékonyan bizonyult, hiszen a maradék ellentmondások átlaga legfeljebb 0,27 mm/év. Ugyanakkor a legjobb eredményt (0,14 mm/év) az a modell eredményezte (III. variáció) amelynél – a nehézségi anomália (G) és a földi hőáramok (H) mellett – mind a kvarter üledék vastagságát, mind pedig a kvarter-réteg alatti üledék-összlet vastagságát bevontuk a vizsgálatba (4+1)-változós modell.

2. A PGT1-vonal vizsgálata

A 135 km hosszú vizsgálati vonal ÉNY-DK futási irányú. Az A vonal Kisköre környékén metszi a Tisza vonalát, és a Békési-medence ÉK-i részén végződik. Ezen a vonalon korábban már ugyancsak megtörtént az adatok elemzése és a vertikális sebességek modellezése. Ekkor azonban csupán az alapkőzet-mélységgel (K) és természetesen a G és H adatokra épült a vizsgálat. A mostani újabb vizsgálatok elvégzését éppen az a kérdés indokolta, hogy milyen eredmény születik akkor, ha a teljes szedimens vastagság helyett csak a negyedkori üledék vastagságával (K_{kv}) dolgozunk, illetőleg K' és K_{kv} együttes értékével.

A magunk részéről a PGT1-vonal vizsgálatánál – a PGT4 -vonal vizsgálatához hasonlóan – három variációban végeztük el az elemzéseket és a modellezést.

A bemenő adatok részletesebb ismertetésétől ebben az esetben is eltekintünk, hiszen ezek (és a regressziók) bemutatása már ugyancsak megtör-

tént [12]. Így elsősorban néhány jellemző adatot közlünk. Ezek a következők.

A vizsgálati vonal ÉNY-i végén a süllyedés sebessége -1,00 mm/év, amely a Békési-medence középső részén már eléri a -3,51 mm/év értéket, a vonal DK-i végén pedig -2,00 mm/év körüli.

Az alapkőzet mélysége a vonal első 80 km-es szakaszán (3,7–2,4) km körüli, amely a Békési-medencénél már 6,6 km!

A nehézségi anomáliák általában 6–8 mGal körül ingadoznak, de a vonal DK-i végén ezek elérik a 13,9 mGal értéket.

A földi hőáramok értékei a szakasz első felében 90 mW/m² értéket mutatnak. Ezt követően a hőáramok értéke 80mW/m²-re esik vissza.

A negyedkori üledékréteg vastagsága a vonal elején 100–200 méter, a 70 km szelvényénél 300 m (0,30 km). A legnagyobb rétegvastagság a 90 km-es szelvényénél adódott (0,5 km), majd az fokozatosan mérséklődik egészen $K_{kv}=0,22$ km-ig.

A korrelációs együtthatók átlagait (az I. és II. variációknak megfelelően) az V. és VI. táblázatok tartalmazzák.

Korrelációs együtthatók (I. variáció) V. táblázat

	K/S	G/S	H/S
Előzetes	-0,85	-0,42	0,45
Kiegyenlítés után	-0,87	-0,44	0,48

Korrelációs együtthatók (II. variáció) VI. táblázat

	K_{kv}/S	G/S	H/S
Előzetes	-0,20	-0,42	0,45
Kiegyenlítés után	-0,24	-0,50	0,49

Az V. és VI. táblázatok alapján megállapítható, hogy az alapkőzet helyetti negyedkori üledékvastagság (K_{kv}) felhasználásával az $r_{K/S}=-0,87$ korrelációs együttható lényegesen romlott, azaz $r_{Kkv/S}=-0,24$ lett, azaz az egy-kétszázméteres üledék vastagságnak már nincs érdemi hatása a sebesség alakulására. Ugyanakkor az $r_{G/S}$ és $r_{H/S}$ értékek változatlanul 0,5 körüliek (v.ö. V. táblázattal).

A PGT1-vonal paramétereit és az ezekre vonatkozó egyéb adatokat a VII. táblázat tartalmazza.

Megjegyezzük, hogy a (4+1) változós vizsgálatnál az A, B, C paraméterekhez sorra K, G és H tartoznak, D-hez pedig a negyedkori (N) rétegvastagság.

A paraméter értékek és azok szórásainak arányát vizsgálva megállapítható, hogy különösen bizonytalanok az I. variációkban B, a III. variációkban pedig ugyancsak a B és D paraméterek.

A paraméterek egymás közötti korrelációja lényegében nulla a következő esetekben: a II. variá-

Paraméterek, azok szórása és korrelációja VII. tábl.

	Érték	Szórás	Korrelációk
I. variáció	A= -0,3973;	0,0131	-0,52
	B= -0,0035;	0,0048	-0,67
	C= 0,0184;	0,0006	
II. variáció	A= -0,8868;	0,3526	-0,09
	B= -0,0796;	0,0125	-0,65
	C= 0,0099;	0,0016	
III. variáció	A= -0,4290;	0,0512	-0,54
	B= 0,0050;	0,0205	-0,43
	C= 0,0193;	0,0023	-0,09
	D= -0,6171;	0,4538	

Maradék ellentmondások (mm/év) PGT1 VIII. tábl.

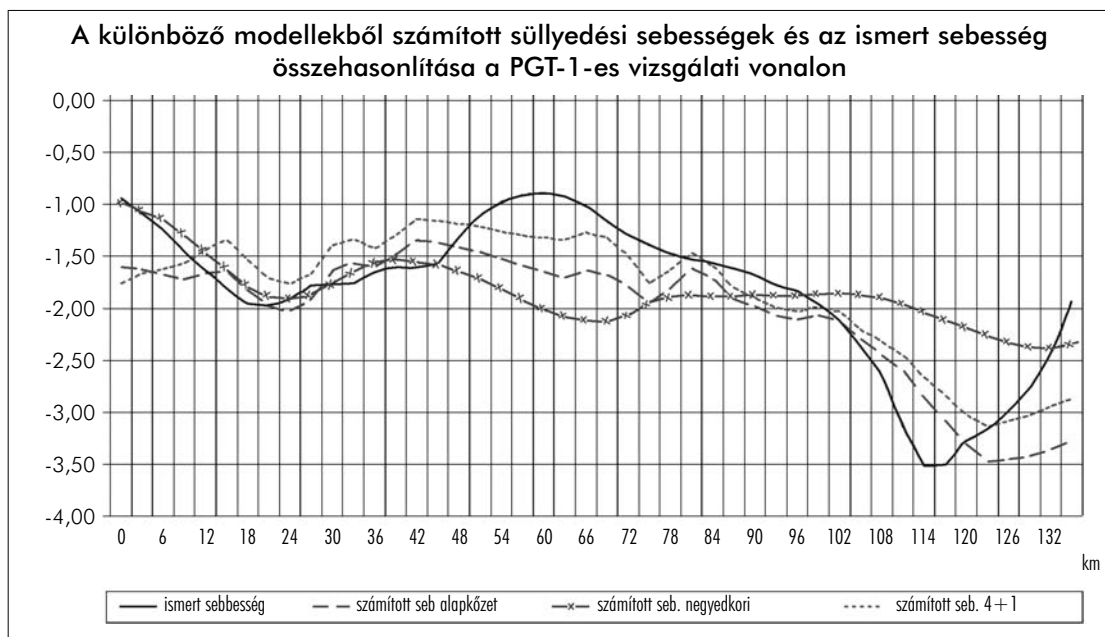
Variációk	Szélő értékek	Átlag	Szórás
I	-1,35 → 0,66	0,35	0,40
II	-1,16 → 1,48	0,45	0,63
III	-0,94 → 0,85	0,31	0,39

a) Az eljárás továbbra használható, de azért az eredmények elmaradnak a PGT4-nél kapottaktól. A megállapítást igazolják egyrészt a korrelációs együtthatók szerényebb értékei másrészt a paraméterek közötti korrelációk egyes esetekben kifejezetten gyenge volta; hasonlóképpen a paraméter-értékek és a szórások erősen romló aránya.

b) A maradék ellentmondások vonalmenti alakulását szemlélve megállapítható, hogy a 60 km-es szelvénynél, továbbá a 114–126. szelvénykilométerek között mindegyik modell az ismert sebességeknél jelentősebben eltérő értéket produkált.

c) Meglepő, hogy a korrelációs együtthatók határozott gyengülése ellenére a levezetett mindhárom modell csak kisebb romlást mutatott, hiszen a legrosszabb modell ellentmondásainak átlaga csak 0,31 mm/év-re, a szórás pedig 0,39 mm/évre változott.

d) A PGT1-nél levezetett modell gyengébb



3. ábra

ció A/B viszonylatban, továbbá a III. variáció A/D viszonylatban. A többi viszonylatban a korrelációs együtthatók 0,4–0,6 körüli értékűek.

Nagyobb figyelmet érdemelnek az egyes variációk maradék ellentmondásai. Ezek jellemzőit egyrészt a VIII. táblázat tartalmazza, másrészt pedig a 3. ábra.

A PGT1-vonal vizsgálatának eredményei alapján a következő megállapításokat tehetjük.

konzisztenciáját leginkább az ellentmondások terjedelme követi. Hiszen PGT4-nél az ellentmondások terjedelme maximum (-0,74 → 0,78) között volt; a PGT1-nél pedig ugyanez (-1,35 → 0,66) mm/év, illetőleg (-1,16 → 1,48) mm/év lett.

e) Az előző pontokban leírtak ellenére az I. és III. variációkban az ellentmondások átlagára kapott 0,31 mm/év, illetőleg 0,35 mm/év értékek, továbbá ezek szórása (0,40, ill. 0,39) mm/év a modell használhatóságát igazolják.

Befejezésül megállapítjuk, hogy a PGT4-, ill. a PGT1-vonalakon levezetett modellek mindegyike használható. Ugyanakkor a legkedvezőbb eredményt a III. variáció révén lehetett elérni.

IRODALOM

1. *Detrekői Á.*: Kiegyenlítő számítások (1991)
2. *Dövényi-Horváth, F.* (1968) Heat Flow Map of the Pannonian Basin and the Surrounding Regions
3. ELGI: Bouguer anomália átlagértékek (10 x 10 km)
4. *Joó I.*: A jelenkori függőleges kéregmozgások vizsgálatának helyzete Kelet-Európában (Geodézia és Kartográfia 1971)
5. *Joó, I.* (editor in chief): Map of Horizontal Gradients of Velocities of RVM in the Carpatho-Balkan Region is based on measured data Cartographia, Budapest, (1991) scale 1:1 million
6. *Joó, I.–Szócs, H.*: The investigation of presumed connection of RVM with geological characteristics by multivariable correlation analysis (Journal of Geodynamics 1993, Vol. 18 Number 1–4, pp 135–145)
7. *Joó, I.–Monhor, D.*: 4-dimensional Least Squares Regression Hyperplane for the Connection between RVM and certain Geological Characteristics in the Area of West-Hungary (proceedings of the Eight Internat. Symp. on RVM, Kobe, Japan, 1994, pp 113–116)
8. *Joó, I.*: The National Map of Vertical Movements of Hungary (SE FFFK Székesfehérvár, 1995) scale 1:500 000
9. *Joó I.*: A földfelszín magassági irányú mozgásai Magyarországon (Geodézia és Kartográfia 1996)
10. *Joó I.–Balázsik V.–Gyenes R.*: Szeged–Békcscsaba térségben a függőleges felszínmozgások többváltozós együttes elemzése. (Geodézia és Kartográfia 2000/10 15–21. old.)
11. *Joó I.*: Függőleges felszínmozgási modell hatékonyságának vizsgálata (Geodézia és Kartográfia 2001/3 10–12. old.)

12. *Joó I.–Balázsik V.*: A függőleges felszínmozgások vizsgálata Kisköre és a Békési-medence, továbbá a Kisalföld térségében (Geodézia és Kartográfia 2002/7 18–24. old.)

13. *Kilényi, E.–Rumpler, J.*: Basement Counter Map of Hungary (ELGI 1984) scale 1:1 million

14. *Síkhegyi, F.–Tamás, G.*: Map of the „Thickness of Quaternary Strata in Hungary” (Geological Institute of Hungary, 1996, scale 1:500 000)

15. *Wolf, H.*: Kollokation mit Hilfe Gausschen Algorithmus (Zfv, 1979/1)

16. *Molnár Krisztián*: A PGT4- és PGT1-vonalak vertikális sebesség értékeinek és földtani jellemzőinek analízise és a sebességek modellezése (Szakdolgozat 2002, NYME Geoinformatikai Főiskolai Kar, 98 oldal)

Analysis and modelling of the vertical movements in East Hungary

*Kr. Molnár
Summary*

Two investigation lines of East Hungary have been investigated using regression-correlation analysis and multivariable linear models were also accomplished. Data used were as follows:

- velocity values resulted from geodetic measurements,
- geologo–geophysical data; as basement depth, gravity anomaly and terrestrial heat flow.

As a results regressions, correlation coefficients and multivariable models are presented (including residuals).