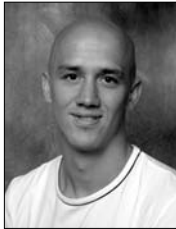


# A függőleges felszínmozgások vizsgálata és modellezése a Duna-Tisza közén (Kecskemét–Kiskundorozsma)

Papp Béla<sup>1</sup>–dr. Joó István<sup>2</sup>–Balázsik Valéria<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Pannon Geo-Team Kft., <sup>2</sup>NYME Geoinformatikai Főiskolai Kar)



A már több éve folyó vizsgálatokat most a Duna-Tisza közén (Kecskemét–Kiskundorozsma vonalon) folytatjuk. A mostani vizsgálat célja és az alkalmazott módszer megegyezik a korábbiakéval [6, 7, 12, 13, 14], azaz regressziós-korrelációs analízis és többváltozós lineáris modell levezetése annak érdekében, hogy feltárjuk a sebesség és a „hatók” (feltételezett „okozók”) közötti kapcsolatot, és ennek segítségével a vizsgált térség mozgásaira modellt vezessünk le.

A vizsgálatnál a függő változó a mozgás sebessége volt [mm/év], a független változók pedig:

- a pretercier alapkőzet mélysége: K [km],
- Bouguer-féle nehézségi anomáliák: G [mGal],
- földi hőáramok: H [mWatt/m<sup>2</sup>].

A vizsgálatához felhasznált adatok forrásai a következők:

- sebesség (S); [Joó, 1995],
- alapkőzet-mélység (K); [Kilényi–Rumpler, 1984],
- Bouguer-anomáliák (G); [ELGI],
- Földi hőáramok (H); [Dövényi-Horváth F., 1986].

Mind a négy féle felsoroltadatállomány az egész ország területére rendelkezésre állt. Az ennek alapján (EOV alapon) létrehozott felületmodellek lehetővé teszik bármelyik pont (vonal vagy terület) S, K, G és H adatainak megismerését/felhasználását. A mára kialakult gyakorlat szerint a felületmodellekből 3-, illetőleg 3x3 km sűrűséggel vesszük a bemenő adatokat.

## 1. A vizsgálati vonal bemutatása

A címlapon bemutatott (1. ábra) vizsgálati vonal jól követi a Kecskemét–Kiskundorozsma közötti EOMA I. r. szintezési vonalat (K-14). A vizsgálati vonal északi kezdőpontja a kecskeméti mélyalaposítású főalappont (0000021-1), déli vége pedig a kiskundorozsmai főalappont (0000020-1).

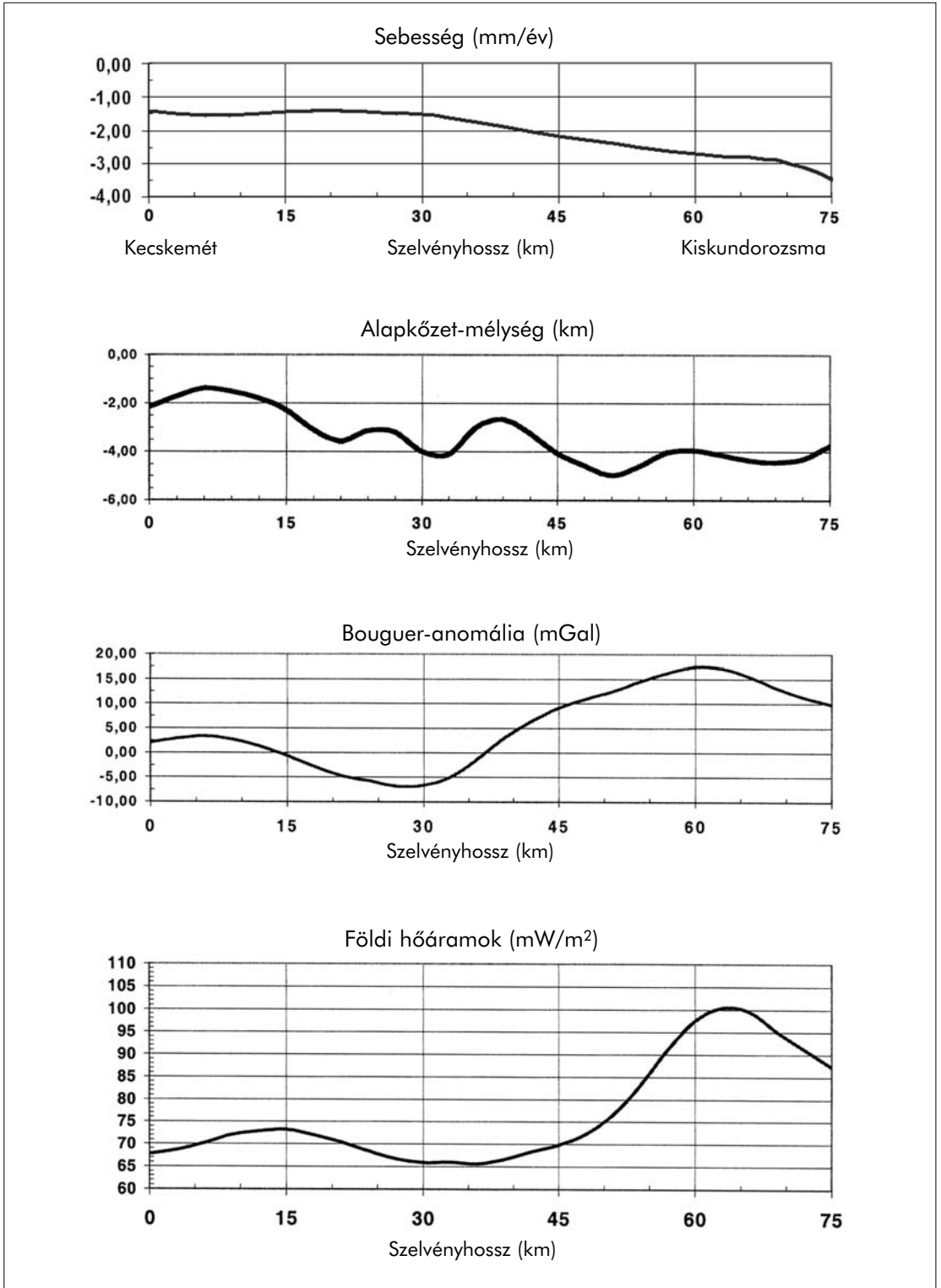
A 75 km hosszú vonal északról dél felé előbb a kecskemét–félegyházi löszös háton, majd pedig a majsa–dorozsmai homokháton halad, aztán Kisteleken keresztül eléri a Tisza-árok peremét. Ugyanakkor a teljes vizsgálati vonal egy 400–800 m mély vályú (depresszió) mentén halad.

A Duna-Tisza hátságot alapvetően a Duna felsőpleiocén/pleisztocén-kori hordalékkúpja alkotja; ez utóbbit pedig felsőpleisztocén és holocén rétegek fedik. A felszín tengerszint feletti magassága (északról dél felé haladva) 120 méterről 110 méterre mérséklődik. Ugyanakkor ez a Tisza-árokna már csupán 85 m.

A felhasznált (azaz bemenő) adatok (S, K, G és H) ugyancsak északról dél felé haladva a következő képet mutatják (2. ábra).

Az ábrát követve a süllyedés sebessége 1,3 mm/év-től fokozatosan erősödik; egészen 3,4 mm/év értékig. Az alapkőzet mélysége (K) -2,1 km-től fokozatosan növekszik egészen -3,8 km-ig. A maximális mélység közel 5 km, a minimális pedig 1,5 km.

A nehézségi anomáliák általában pozitív előjelűek, kivéve a 30. szelvénykilométer körüli



2. ábra Bemelő adatok

-7 mGal értéket. Ettől eltekintve az anomáliák 0,35 mGal-tól nőnek; a déli végpontnál 10 mGal, a maximális érték pedig 17–18 mGal (62. szelvénykilométernél).

A földi hőáramok értéke az északi végponttól egészen a 45. szelvénykilométerig (60–70)mW/ m<sup>2</sup> körül ingadozik. A maximális érték 102 mW/ m<sup>2</sup> (65. szelvénykm-nél); Dorozsmánál pedig 88 mW/m<sup>2</sup>.

## 2. A vizsgálat fontosabb fázisai

A vizsgálat fontosabb lépései a következők voltak:  
– a felületmodellekből nyert (3 kilométerenkénti) adatok (S, K, G, H) célirányos összeállítása (EXCEL-táblázatok),

– az előzetes (páronkénti) korrelációs együtthatók számítása és regressziók,

– a kvantitatív lineáris modell létrehozása érdekében az adatok kiegyenlítése; ezen belül a javítások (v), jelek (s) és az A, B, C paraméterek meghatározása (V. kiegy. csoport és fokozatos közelítés),

– a kiegyenlített adatok felhasználásával a korrelációs együtthatók újbóli számítása.

A kiegyenlítés feltételei egyenlete (egy pont esetében) a következő:

$$S - S_0 + v_s + s_s = A (K + v_K + s_K) + B (G + v_G + s_G) + C (H + v_H + s_H),$$

ahol

– S; a vertikális mozgás sebessége,

– S<sub>0</sub>; az átlagos sebesség;

– v; javítás (v<sub>v</sub>, v<sub>K</sub>, v<sub>G</sub> és v<sub>H</sub>),

– s; jel (s<sub>v</sub>, s<sub>K</sub>, s<sub>G</sub> és s<sub>H</sub>),

– K; alapkőzet-mélység,

– G; nehézségi anomália;

– H; földi hőáram, továbbá

– A, B és C; paraméterek.

Megjegyezzük, hogy a felhasznált adatokat nem tekintettük egymástól függetlennek (és azonos pontosságúnak), így ismerni kellett az adatok C<sub>LL</sub> kovariancia mátrixát. Ugyanakkor a jelek C<sub>SS</sub> kovariancia mátrixának számításakor a „jelek értékeit” (s<sub>v</sub>, s<sub>K</sub>, s<sub>G</sub> és s<sub>H</sub>) egymástól függetlennek tekintettük.

A 75 km hosszú vonalat több változatban vizsgáltuk; egyrészt a teljes vonalat együttesen, másrészt pedig két részletben (A és B szakasz).

Kifejezetten az alapkőzet-mélységek (K) tekintetében kétféle forrás is rendelkezésre állt. Egyrészt a [Kilényi-Rumpler, 1984] alapján létrehozott felületi modellben, másrészt pedig a KBR vertikális mozgásai horizontális gradiensei levezetését célzó [Joó I. vezette kutatási csoport, (1986–1990)] munkát részletesen leíró kutatási jelentésben. En-

nek során elkészültek a vizsgálati vonalak földtani szelvényei is [Joó, 1987]. (Ezt a részfeladatot dr. Gazsó Miklós személyesen végezte.)

A leírtakra tekintettel mód nyílt a két forrásból származó mélység-adatok (K) összehasonlítására is.

## 3. A teljes vonal együttes vizsgálatának főbb eredményei, jellemzői

Bár a vizsgálatokat háromféle csoportosításban végeztük el (teljes vonal, A-szakasz és B-szakasz), teljes részletességgel elsősorban a „teljes” vonal együttes feldolgozásának eredményeit mutatjuk be, az A- és B-szakasz vizsgálatának eredményeit pedig csak a szükséges mértékben.

### 3.1. A teljes vonal vizsgálata

A három relációban kimutatott regressziókat a 3. ábra a), b) és c) részábrái mutatják. Ennek alapján megállapítható, hogy a sebesség és a három földtani/geofizikai jellemző közötti kapcsolat meglehetősen határozott.

Ezt számszerűen is érzékelteti az I. táblázat.

Előzetes korrelációs együtthatók átlagai

(teljes vonal)

I. táblázat

S/K	S/G	S/H
-0,663	-0,845	-0,832
1,000	0,495	0,498
	1,000	0,823
		1,000

Eszerint a legerősebb kapcsolat S/G relációban adódott (-0,845), de a legkisebb érték is (S/K) -0,663!

Ugyanitt a kiegyenlített adatokból számított korrelációk már csak kis mértékben változtak (II. táblázat).

Korrelációs együtthatók átlagainak mátrixa

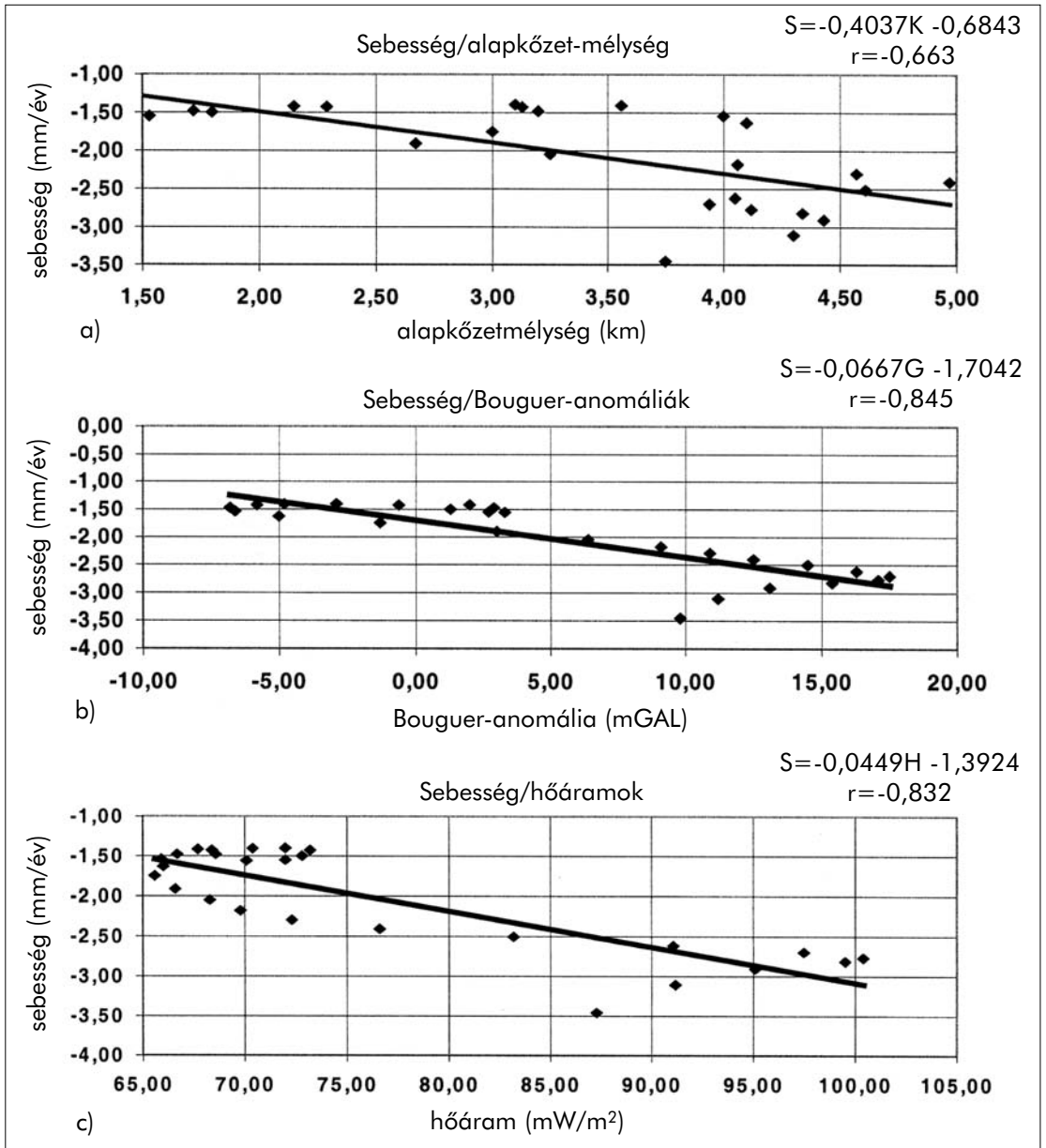
(teljes vonal)

II. táblázat

Sebesség	Kőzetmélység	Anomália	Hőáram
1,000	-0,662	-0,858	-0,828
-0,662	1,000	0,493	0,491
-0,858	0,493	1,000	0,828
-0,828	0,491	0,828	1,000

A korrelációk vonalmenti alakulását a 4. ábra szemlélteti. Ezen az a) részábra az S/K-relációt, a b) az S/G-, a c) pedig az S/H-relációt mutatja.

Figyelmet érdemel egyrészt, hogy a 4. ábra mindhárom grafikonja erős hasonlóságot mutat,



3. ábra Regressziók

másrészt, hogy a korrelációs együtthatók értékei csupán a harmadik tizedesjegytől térnek el egymástól.

A kiegyenlítés eredményeképpen kapott A, B és C paraméterek értékeit és az azokhoz tartozó szórásokat a III. táblázat tartalmazza.

A táblázatban szereplő paraméter-értékek azt fejezik ki, hogy a kérdéses paraméterhez tartozó földtani jellemző egységnyi mennyisége átlagosan

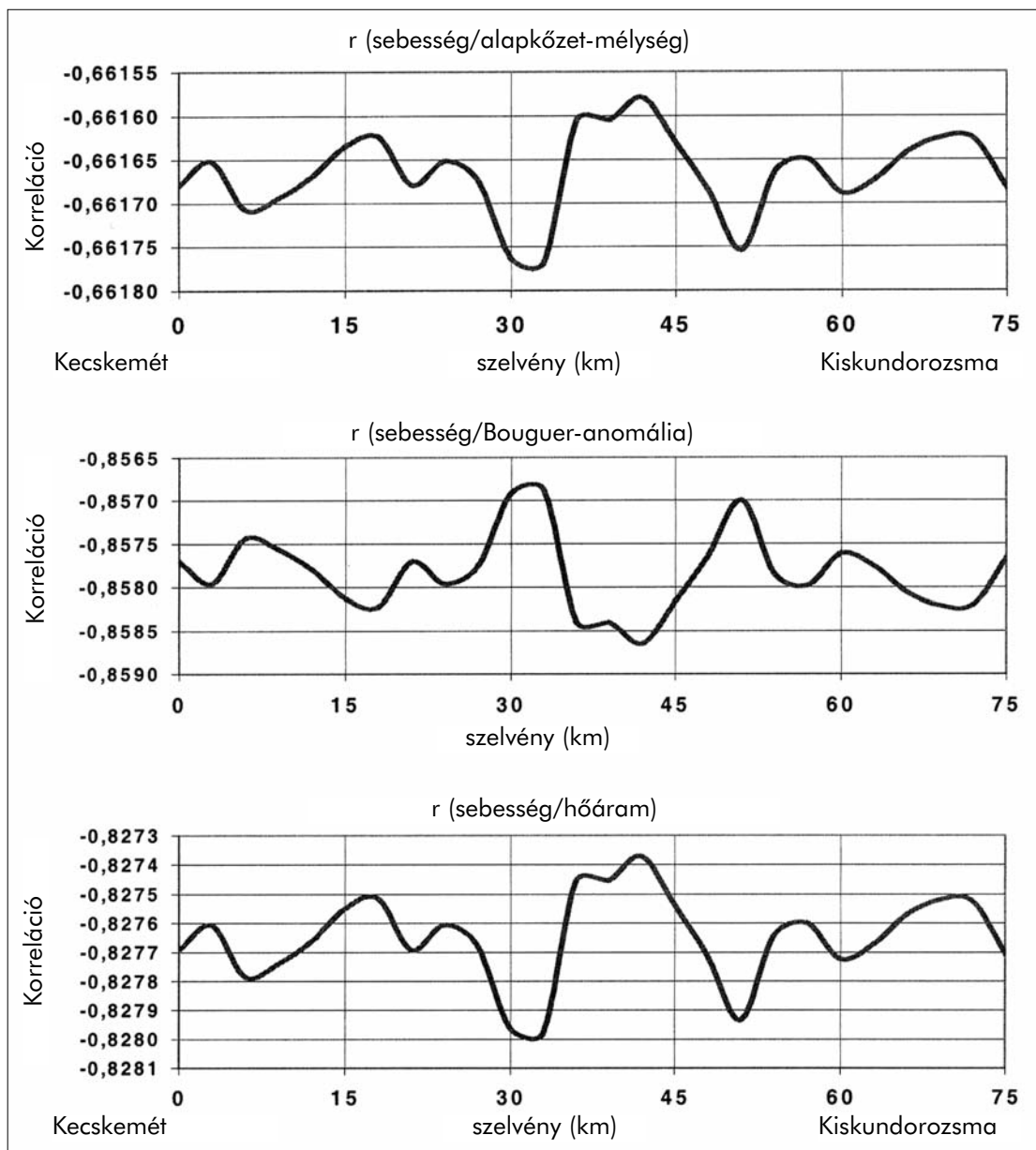
Paraméterek

III. táblázat

	Érték	Szórás
A	-0,1286	0,0204
B	-0,0654	0,0028
C	0,0095	0,0010

mekkora sebesség-változást generál. Például az A-paraméter esetében ez 0,1286 mm/év/km.

A III. táblázat második és harmadik oszlopában található számok összevetése révén arról győződhetünk meg, hogy a kérdéses paraméter-érték mennyi-



4. ábra A korrelációk vonal menti alakulása

re határozott, azaz a szórás minél kisebb része legyen az alapértéknek. Esetünkben ez az arány mindhárom esetben kedvező; különösen C esetében.

A paraméterek egymás közötti korrelációját a IV. táblázat mutatja. Eszerint az A/C kapcsolat igen erős, az A/B viszonylatban pedig nem is beszélhetünk kapcsolatáról.

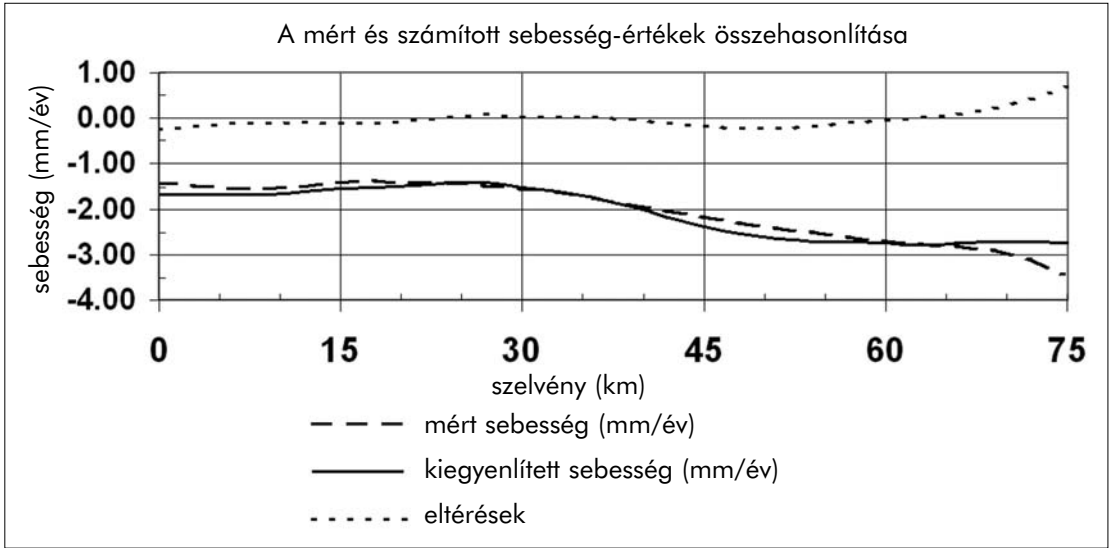
Az 5. ábrán együtt látható a „bemenő”, azaz mért sebességek- és a kiegyenlített sebességek vonal menti alakulása, valamint ezek eltérése.

Paraméterek egymás közötti korrelációjának mátrixa

IV. táblázat

	A	B	C
A	1,00	-0,03	-0,92
B	-0,03	1,00	-0,22
C	-0,92	-0,22	1,00

Az 5. ábra jól mutatja, hogy a vizsgálati vonal teljes hosszában a mért és kiegyenlített sebességek nagyon közel állnak egymáshoz (azaz a mo-



5. ábra

dell illeszkedése kedvező), az eltérések mértéke pedig igen csekély. (Lásd még a címlapot!)

A teljes vonal együttes vizsgálata eredményeit a következők szerint foglalhatjuk össze. (Megjegyezzük, hogy itt a kiegyenlítés olyan eredményeit is bemutatjuk, amelyeket eddig részletesen nem tárgyaltunk.)

a) A 75 km hosszú vonalon a mért sebességek átlaga  $S_0 = -2,05$  mm/év volt.

b) A korrelációs együtthatók átlagai igen magasak voltak mindhárom relációban

minimum;  $r_{S/K} = -0,66$

maximum:  $r_{S/G} = -0,86$

c) A paraméterek és azok szórásainak aránya ugyancsak kedvező volt; sorra 6/1, 3/1, illetve 9/1.

d) A sebességek javításainak szórása 0,04 mm/év, a jelek szórása pedig 0,17 mm/év; tehát mindkét érték vonatkozásában kedvező. Megjegyezzük, hogy az összes eddigi hasonló vizsgálat során a jelek szórása hasonló mértékű volt. Ez a  $\sigma_{jelek} = 0,17$  mm/év érték egyszerre jelent kedvező eredményt, másrészt pedig arra figyelmeztet, hogy a kiegyenlítés során született modellnél (statistikai értelemben) még közel 0,2 mm/év bizonytalanság megmaradt!

### 3.2. Az A és B jelű szakaszok vizsgálatának főbb eredményei

A hosszú vonalak vizsgálatának korábbi tapasztalatai alapján az a gyakorlat alakult ki, hogy a vonalakat részekre bontva elemezzük. Erre a tapasztalatra tekintettel most is külön elvégeztük a vizsgálatot az eredeti vonal két részre bontásából

kapott A- és B-jelű szakaszra is. Ugyanakkor nem számoltunk azzal, hogy a vonal két részre bontásával túlságosan kicsiny elemszámú mintákat kapunk, és ennek révén gyengébb (vagy erősen gyenge) eredményekhez jutunk.

Tekintettel az itt leírtakra elsősorban a korrelációs együtthatókat; azok átlagainak alakulását mutatjuk be.

A vizsgálati vonal A-szakasza Kecskemétnél kezdődött, és a 36. km-szelvényénél ért véget. Ugyanitt kezdődött a B-szakasz, amely aztán Dorozsmánál ért véget.

A részekre bontott szakaszok legfontosabb eredményeit az V. táblázat összefoglalóan tartalmazza. A táblázat első oszlopában a szakaszok megnevezése látható. (A legelső sorban csupán az összehasonlítás megkönnyítése céljából tüntettük fel a 2.1. fejezetben már ismertetett vizsgálat (teljes vonal) megfelelő adatait.

Az V. táblázat második oszlopában a szakaszok hossza, a harmadikban pedig a szakasz átlagos sebessége látható. A negyedik (bővített) „oszlop csoportban” a három relációban kapott korrelációs együtthatók szakaszonkénti átlagai találhatók.

A táblázat két utolsó oszlopában egyrészt a javítások-, másrészt a „jelek” szórásai láthatók.

A V. táblázat alapján a következőket állapíthatjuk meg.

a) A mért sebességek a B-szakaszon (a teljes vonal déli részében) határozottabban.

b) A szakaszokra bontás eredményeképpen a korrelációs együtthatók lényegesen gyengültek; különösen az A-szakasz esetében. Ugyanakkor a

A szakasz			Korrelációs együtthatók			Szórások(mm/év)	
neve	hossza	átlagos sebessége (mm/év)	K/S	G/S	H/S (mm/év)	Javítások (mm/év)	Jelek
A	36 km	-1,51	-0,09	-0,09	0,48	0,020	0,024
B	39 km	-2,54	-0,46	-0,66	-0,80	0,050	0,210
Teljes	75 km	-2,05	-0,66	-0,84	-0,83	0,040	0,170

B-szakasznál, a H/S relációban a korreláció csak kisebb mértékben gyengült.

c) A javítások szórása az A szakasznál mérséklődött; a B-szakasznál viszont kissé nőtt.

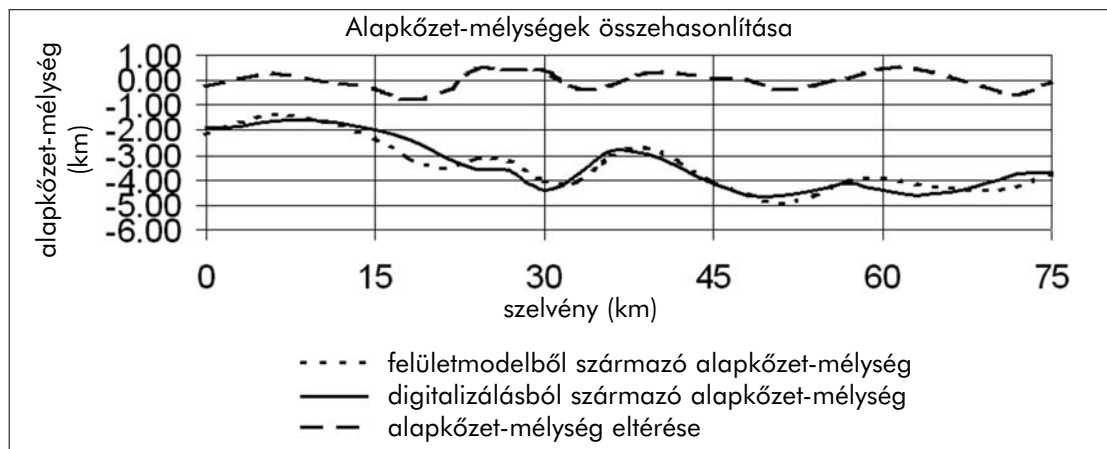
d) A jelek szórása az A-szakasznál csökkent, ugyanakkor a B-szakasznál nőtt.

Az a)–d) pontokban leírtak alapján ismételt az állapotukat meg, hogy a mutatók az A-szakasznál romlottak, a B-szakasznál viszont a romlás csak kisebb mértékű. A tanulság, hogy a vona-

leti modellekből vettük a K-értékeket. Ugyanakkor ennél a vizsgálatnál mindkét forrásból külön-külön meghatároztuk a megfelelő K-értékeket.

A kétféle úton kapott K-értékek eltéréseinek vonal menti alakulását a 6. ábra szemlélteti.

Az eltérések abszolút értékeinek átlaga 0,288 km. Az eltérések terjedelme 1,24 km; ezen belül az eltérések a -0,76 km és a +0,48 km közé estek. Mindezeknél utalni szeretnénk arra is, hogy a teljes vonal mentén az alapkőzet-mélységek át-



6. ábra

lak túlzott elaprózódása ronthatja az eredményt, különösen olyan szakaszoknál, ahol a sebességértékek is észrevehetően mérséklődnek.

#### 4. Az alapkőzet-mélységek – különböző források miatti – eltérései

Az első fejezet végén már felhívtuk a figyelmet arra, hogy a K-adatok két különböző forrásból is rendelkezésünkre álltak; egyrészt a [Kilényi–Rumpler, 1984] forrás alapján készült felületi modellből, másrészt pedig a nyolcvanas évek második felében végzett (ugyanilyen tárgyú) kutatási munkálatok során született földtani szelvényekből [Joó, 1987].

Az eddigi vizsgálatok során elsősorban az elsőként említett forrás felhasználásával született felü-

laga: -3,5 km. Ezt az értéket összevetve az átlagos eltéréssel (0,288 km) azt mondhatjuk, hogy a két úton nyert értékek eltéréseinek átlaga a K-értékek átlagának mintegy 8,2 %-át teszi ki. Másképpen megfogalmazva: ez az eltérés legfeljebb 0,04 mm/év hatással lehet a sebességre.

- x -

Összefoglalásképpen megállapíthatjuk, hogy a vizsgált vonalon mindhárom független változó (K, G és H) erősen korrelál a mért sebességekkel. A levezetett modell (az eszközölt javítások révén) átlagosan 0,2 mm/év eltéréssel adja vissza a mért sebességértékeket.

## IRODALOM

1. ELGI: Bouguer-anomália átlagértékek
2. *Detrekői, Á.* (1991): Kiegyenlítő számítások
3. *Dövényi-Horváth, F.* (1986): Heat Flow Map of the Pannonian Basin and Surrounding Region
4. *Joó, I.–Lukács, T.–Németh, F.* (1968): A függőleges földkéreg-mozgások vizsgálatának nemzetközi és hazai vonatkozásai (Geod. és Kart.)
5. *Joó, I.* (1987): Kárpát–Balkán Régió (KBR) kutatási jelentés; VI. kötet, 231–276. old.)
6. *Joó, I.*: The Recent Vertical Movements and Some Geological Peculiarities of the Pannonian Basin (Serbian Academy of Sciences and Art. Vol. LXII., Dep. of Natural and Mathematical Sciences 4., Beograd, 1991, pp. 143–159)
7. *Joó, I.–Monhor, D.*: 4-dimensional least squares regression hyperplane for the connection between recent vertical crustal movements and certain geological characteristics in the area of West-Hungary (Journal of the Geodetic Society of Japan (Special Issue), 1993, pp. 113–116.)
8. *Joó, I.* (1995): The National Map of Vertical Movements of Hungary (SE FFFK, Székesfehérvár, scale 1:500 000)
9. *Joó, I.*: A földfelszín magassági irányú mozgásai Magyarországon. (Geodézia és Kartográfia, 1996)
10. *Joó, I.–Raum, F.* (főszerkesztők/1996): A magyar földmérés és térképészet története; 5–6. fejezet, 467–723. oldal
11. *Joó, I.*: Magyarország függőleges irányú mozgásai (Geodézia és Kartográfia, 1998/9)
12. *Joó, I.–Monhor, D.* (1998): Modelling quantitative relationship of vertical deformation to some geological and geophysical characteristics: Szeged-area of South-East Hungary (The Ninth international Symposium on Recent Crustal Movements (CRCM'98) Proceedings, vol. I, Cairo, Egypt pp. 205–215)
13. *Joó, I.–Balázsik, V.–Gyenes, R.*: A jelenkori függőleges felszínmozgások és a Dél-kelet-Magyarországon végzett szeizmikus mélyszondázási adatok összehasonlítása (Geodézia és Kartográfia 2000/5)
14. *Joó, I.–Balázsik, V.–Gyenes, R.*: Szeged–Békcéscsaba térségében a függőleges felszínmozgások és földtani jellemzők többváltozós együttes elemzése (Geodézia és Kartográfia 2000/10)
15. *Kilényi, E.–Rumpler, J.* (1984): Basement Counter Map of Hungary (ELGI), scale 1:1 million
16. *Miskolczi László*: Kéregmozgások vizsgálata szabatos szintezésekkel, 1973

### **Investigation and modelling of the recent vertical movements in the space between Danube and Tisza river**

*Papp, B.–Joó, I.–Balázsik, V.*  
*Summary*

The target of the investigation is: the revelation of the supposed connection of the vertical movement velocities in the area of Danube and Tisza river with the depth of basement, gravity anomaly and terrestrial heat flow. The method used in the study is: application of regression-correlation analysis and multivariable modelling of the movement's velocities. The length of the investigated line was 75 km. The degree of correlation coefficients were from 0,662 till 0,858. The slip of the model is less than 0,20 mm/a.