



A vertikális felszínmozgások sebességeinek és hányadosainak hatók szerinti szétválasztása

Dr. Joó István egyetemi tanár, NYME Geoinformatikai Főiskolai Kar

A hazai jelenkori függőleges felszínmozgások már több évtizedes vizsgálatának áttekintése során több alkalommal megneveztük a vizsgálatoknak a cél szerinti két csoportosítását.

Az első időszakban a jelenség megismerése, majd ennek eredményeképpen a sebességek meghatározása és annak táblázatos, illetőleg térképi bemutatása volt a cél. Ezen vizsgálatok összegzése egyrészt a Nemzeti Vertikális Mozgástérképe révén valósult meg [Joó, 1996], másrészt pedig a hazai és nemzetközi folyóiratokban, továbbá a tudományos konferenciák (szimpóziumok) során elhangzott előadásokban.

A vizsgálatok második szakaszában a mozgások feltételezett „okozóinak” megismerése lépett előtérbe; pontosabban a földtani/geofizikai jellemzők és a mozgássebességek kapcsolatának megismerése és modellezése (lásd az [5–7] alatti publikációkat).

Ezen újszerű vizsgálatok Magyarország különböző területein igen kiterjedten folytak, és jelenleg is intenzív fázisban vannak. Jól érzékelteti ezt az, hogy az eddigi vizsgálati vonalak együttes hossza már több ezer km, a vizsgált körzetek összes területe pedig meghaladta a 15 000 km²-t. A már elvégzett vizsgálatok egy része már publikálva lett, de számos vizsgálat anyagának publikálására való előkészítése most folyik. Ugyanakkor a vizsgálatok – újabb vonalakon, illetve körzetekben – tovább folynak.

A vizsgálatokkal összefüggésben még a következőkre is szeretnénk felhívni a figyelmet. Az elmúlt évtizedek tapasztalatai alapján egyre világosabbá vált, hogy az ilyen természetű vizsgálatok nem csupán a geodézia (geodéták) számára érdekesek, hanem a földtan/geofizika számára is. Ennek alátámasztására két példát szeretnénk megemlíteni. Az egyik abban áll, hogy a vizsgálatok révén kapott eredmények segítik a társ tudományterületen tevékenykedő kollégákat (pl. abban), hogy eddigi ismereteiket a geodézia révén kapott eredmények erősíthetik, illetőleg megkér-

dőjelezhetik (pl. törésvonalak elhelyezkedésének pontosítása).

A másik lehetőség még perspektivikusabb. Itt arról van szó, hogy a földtani/geofizikai adatok és a geodéziai adatok közötti mennyiségi kapcsolatok vizsgálata során (pl. modellek levezetése, továbbá korrelációs együtthatók finom felbontású kimutatása) nem csupán a geodézia által levezetett sebességek és földtani/geofizikai adatok vonatkozásában hasznosak, de (a vizsgálati eljárás sajátosságából eredően) ugyanezen jellemzők a földtani/geofizikai adatok egymás közötti viszonylatában is felhasználhatók. (Lásd a korrelációs együtthatók mátrixának olyan elemeit is, mint $r_{K/G}$, $r_{K/H}$ továbbá $r_{G/H}$, azaz ismertté válnak az alapkőzetmélység (K), a nehézségi anomália (G), továbbá a földi hőáramok (H) egymás közötti viszonyának jellemzői is.

Ebből kiindulva, növekszik annak fontossága (ha már a vizsgálat országos és nem lokális jellegű), hogy minél használhatóbb formában adjuk közre az újabb eredményeket, azaz könnyen áttekinthetően és földrajzi helyhez kötötten!

Ez a körülmény arra ösztönöz bennünket, hogy – az eddigi „vonalak menti” vizsgálatok helyett – inkább kiválasztott körzetek (régiók) együttes feldolgozását végezzük el. Ilyen kísérlet volt a Középső-Tisza környékének és a Körös-vidékének együttes vizsgálata, amelynek erősen tömörített anyaga nemrég jelent meg [7].

Ebben nem sikerült az eredeti célt teljes mértékben megvalósítani (nevezetesen a korrelációs együtthatók térképi ábrázolását), emiatt a „hányadosok” módszerének alkalmazására került sor. Ennél a „hányadosok” révén – bár be lehetett mutatni (térképi formában is) a kérdéses kapcsolat helyfüggő alakulását – az ott levezetett „hányadosok” jelentős torzításokat is tartalmaznak.

A mostani tanulmányban azt kívánjuk bemutatni, hogy az egyes relációkban (S/K , S/G , S/H) miképpen lehet a kapcsolatokat kifejezni és azt térképi formában is ábrázolni.

1. Többváltozós vizsgálatok esetén az egyes változók közötti kapcsolatok meghatározásának és bemutatásának továbbfejlesztése

A vertikális sebességek és egyes földtani jellemzők (K , G , H) feltételezett kapcsolatának vizsgálatánál eddig: regressziós-korrelációs analízisre, többváltozós lineáris modellek levezetésére került sor.

A munkálatok során született részeredmények a következők voltak.

- Regressziók grafikus bemutatása és regressziós egyenletek.
- Korrelációs együtthatók számítása előzetes (páronkénti) együtthatók, kiegyenlítés után r -ek újbóli számítása.

A lineáris többváltozós modellek levezetésénél mindegyik esetben szükség volt a variancia-kovariancia mátrix felírására. A lineáris modell megalkotásához az V. kieg. csop. került alkalmazásra; a kollokáció felhasználásával. A bemenő adatokat (S , K , G , H) részben saját, részben pedig irodalmi források alapján létrehozott adatbázisainkból nyertük. Ezek felhasználásával – a négyféle adatállomány (S , K , G , H) segítségével – négy felületmodellt hoztunk létre; Magyarország teljes területére.

A felületmodellek segítségével egyszerű módon nyerhettük a vizsgált vonal (vagy terület) kívánt adatait (rendesen 3 km-es felbontásban). Az adatállományhoz az EOVS rendszert használtuk.

A kiegyenlítés eredményeként született főbb eredmények a következők voltak:

a) az A , B és C (illetőleg $(1+4)$ -változók esetén az A , B , C és D) együtthatók kiegyenlített értékei, ezek középhibái és az együtthatók egymás közötti korrelációs együtthatói;

b) korrelációs együtthatók minden viszonylatban.

A kiegyenlítés eredményeit (ugyancsak 3 km-es felbontásban) mind digitálisan, mind pedig grafikus és táblázatos formában rögzítettük.

A kiegyenlítés során alkalmazott „javítások” és „jelek” részletes (3 km-es felbontású) rögzítése lehetővé teszi az adatok gyors és részletes elemzését, az ezekből számított átlagértékek (és azok szórásai) pedig az összefoglaló áttekintéshez nyújtanak segítséget. (Természetesen, külön kérdés a vizsgálatok eredményeinek bemutatása.)

A digitális állomány megőrzése mellett a legfontosabb eredmények mind táblázatos, mind pedig grafikus formában rendelkezésre állnak. Ezek közül a legfontosabbak a következők:

- bemenő adatok (S , K , G , H),

- regressziós ábrák,
- a korrelációs együtthatók vonal menti alakulása (S/K , S/G , S/H viszonylatban),

- a vizsgált vonalak mentén a bemenő és a kiegyenlített adatok együttes bemutatása,

- a kiegyenlített értékek (S , K , G , H) és az azokhoz tartozó javítások és „jelek” részletes bemutatása ugyancsak a teljes vizsgálati vonal mentén.

Az eddig alkalmazott módszer viszonylag jól használható; különösen a vonalak menti vizsgálatok esetében. Ezeknél táblázatos és grafikus formában is megadtuk a változók kapcsolatának „vonali” alakulását. Ugyanakkor, ha a vizsgálatokat egy kiválasztott körzet területére alkalmazzuk, akkor már határozottabban vetődik fel a helyhez kötött információknak az eddigieknél célirányosabb bemutatása; pl. térképi formában.

Ennek a törekvésnek az első alkalmazása történt meg a Középső-Tisza és a Körös-vidék környezetének vizsgálata során. Ennél közvetlenül a korrelációs együtthatók értékeit terveztük ilyen módon bemutatni. Mivel azonban az adatok feldolgozásának technikája ezt a bemutatást nem tette lehetővé, ezért alkalmaztuk a „hányadosok módszerét” (lásd Geod. és Kart. 2004/7).

Bár a hányadosok térképi bemutatása technikailag kiválóan sikerült (színes izovonalas térképeken), ugyanakkor a számított „hányados-értékek” nem történt meg az egyes relációkhoz tartozó értékek kiválasztása (lásd Geod. és Kart. 2004/7, 13–14. oldalán leírtakat). Ez a tény egyrészt félreértelmezésekhez vezethet, másrészt nem használtuk ki eléggé a vizsgálat nyújtotta lehetőségeket.

A fenti probléma arra ösztönözte a szerzőt, hogy keresse az egyes (földtani/geofizikai) változók hatásának kiválasztási lehetőségét. A többirányú kísérletek végül is sikerrel jártak. Így mód nyílik az S/K , S/G , illetve S/H kapcsolatokat kifejező mozgásokat (hatók szerint) külön választani, és így az eddigieknél korrektebb módon nyílik lehetőség azok térképi bemutatására is. Megjegyezzük, hogy az eljárás kidolgozásánál a [7]-ben bemutatott vizsgálat már rendelkezésre álló adatait használtuk.

A vizsgálat eredményeként többféleképpen is lehetséges a kapcsolat számítása és bemutatása:

- a mozgás-sebességek összetevőinek számítása révén, illetőleg

- a már bemutatott „hányadosok” továbbfejlesztett módszerével.

A továbbiakban egyrészt ismertetjük az eljárást, másrészt táblázatos formában (egy kiválasztott

területen: Körös-vidék) a konkrét számításokat (és azok eredményeit) is bemutatjuk (egyelőre a térképi bemutatás nélkül), csupán táblázatos formában.

2. A sebességek hatók szerinti szétválasztása

Abból indultunk ki, hogy a kérdéses helyen mért sebességet a K , G és H mennyiségek együttesen (de általában különböző mértékben) okozzák, azaz

$$S = S_K + S_G + S_H,$$

ahol S a teljes sebesség, S_K az alapkőzet mélységének (pontosabban a fedőréteg) hatása, S_G a Boguer-féle anomália okozta rész és S_H a földi hőáramok hatása.

Ezek eltérő voltának megállapítására legalkalmasabbnak látszanak (a vizsgálatoknál úgyszólamint rendelkezésre álló) korrelációs együtthatók ($r_{S/K}$, $r_{S/G}$ és $r_{S/H}$). Természetesen, az elemi korrelációs együtthatók alkalmazásával és nem ezek átlagértékeivel.

Szóba kerülhetne a matematikai statisztikában gyakran alkalmazott $r^2 = R$ alkalmazása is. Ez azonban – megítélésünk szerint – az erősebb kapcsolat túlzott kiemelését eredményezné. Ezért esetünkben a korrelációs együtthatók szerinti meghatározást alkalmaztuk. A korrelációs együtthatók felhasználásával felírható, hogy ezek összege

$$S_K = S \times r_{S/K},$$

$$S_G = S \times r_{S/G} \text{ és}$$

$$S_H = S \times r_{S/H}.$$

Ugyanakkor célszerű ezen mennyiségeket arányosan úgy csökkenteni, hogy

$$r'_{S/K} + r'_{S/G} + r'_{S/H} = 1$$

legyen. (Így a számítások áttekintése és ellenőrzése is könnyebb.) Ehhez ki kell számítani az eredeti és a redukált korrelációs együtthatók összegének hányadosát (tényezőjét):

$$\frac{r'_{S/K} + r'_{S/G} + r'_{S/H}}{r_{S/K} + r_{S/G} + r_{S/H}} = B$$

Mivel az arányosított értékek összege 1,0 kell legyen ($r'_{S/K} + r'_{S/G} + r'_{S/H} = 1$), így

$$\frac{1}{r_{S/K} + r_{S/G} + r_{S/H}} = B$$

könnyen számítható. (Az általunk kiválasztott tényező – a Körös-vidék 4. és 5. vonalának $8+16=24$ eleme alapján – 0, 475-nek adódott.)

A számítások további menetét az *I. táblázat* alapján jól követhetjük. A táblázat 2. oszlopa az

eredeti (szét nem bontott) S -értékeket tartalmazza, a 3., 4., 5. oszlopban pedig az S/K -relációban sorra az eredeti $r_{S/K}$ értékek, majd ezek arányosított realizációi ($r'_{S/K}$) szerepelnek; végül pedig az S_K értékek, azaz az „alapkőzet-mélység” hatása a sebességre található, amelyet az

$$S_K = S \times r'_{S/K}$$

révén számítottunk (természetesen elemenként; 3 km-es lépésekkel).

Ugyanígy módon számítottuk a másik két sebesség-összetevő értékeit is; lásd

- S/K relációban a 6–8. oszlopokat,
- S/G relációban pedig a 9–11. oszlopokat.

3. A „hányadosok” hatók szerinti szétválasztása

Amennyiben a sebesség-összetevők helyett (vagy mellett) a „hányadosok” felhasználásával kívánjuk az egyes hatóknak a vertikális mozgásokra gyakorolt hatását bemutatni, akkor a *II. táblázat* szerint célszerű eljárni. Itt az eredeti

$$h = \frac{S}{K} \text{ helyett a}$$

$$h'_{S/K} = \frac{S_K}{K},$$

$$h'_{S/G} = \frac{S_G}{G},$$

$$h'_{S/H} = \frac{S_H}{H}$$

összefüggések alkalmazásával jutunk a hányadosok összetevőihöz; $h'_{S/K}$, $h'_{S/G}$ és $h'_{S/H}$. A K , G és H értékek eleve ismertek, az S összetevői (S_K , S_G és S_H) pedig a már ismertetett módon ugyancsak rendelkezésre állanak. A leírtak megértését a *II. táblázat* segíti.

Összefoglalva megállapítható, hogy többféleképpen is elvégezhető a mozgássebességek összetevőkre bontása. Ezek közül a bemutatott mindkét eljárás feltételezi, hogy a vizsgált területen ismerjük a sebesség és a földtani/geofizikai jellemzők közötti korrelációkat.

Befejezésül még két megjegyzést kívánunk tenni.

a) A hányadosok dimenziós mennyiségek és a dimenziók relációként eltérőek!

b) Az egyes hatások szétválasztásával lehetőség nyílik az ugyanazon a területen mért sebességek hatók szerinti szétválasztott értékeinek (külön-külön történő) bemutatására, akár térképi formában is:

$$S_K, S_G \text{ és } S_H.$$

Vonal sorszáma	Eredeti seb. S [mm/év]	Sebesség-összetevők								
		$r_{S/K}$	Arányosított $r'_{S/K}$	S_K [mm/év]	$r_{S/G}$	Arányosított $r'_{S/G}$	S_G [mm/év]	$r_{S/H}$	Arányosított $r'_{S/H}$	S_H [mm/év]
4. sor utolsó nyolc eleme	-1,58	-0,614	-0,292	-0,46	0,538	0,256	-0,40	-0,858	-0,406	-0,64
	-1,20	-0,734	-0,349	-0,42	0,519	0,247	-0,30	-0,855	-0,406	-0,49
	-1,03	-0,733	-0,348	-0,12	0,518	0,246	-0,25	-0,855	-0,406	-0,42
	-1,41	-0,735	-0,349	-0,49	0,521	0,247	-0,39	-0,855	-0,406	-0,57
	-1,78	-0,035	-0,349	-0,62	0,521	0,247	-0,44	-0,855	-0,406	-0,72
	-2,01	-0,035	-0,349	-0,70	0,520	0,247	-0,50	-0,855	-0,406	-0,82
	-2,10	-0,035	-0,349	-0,73	0,521	0,247	-0,52	-0,855	-0,406	-0,85
	-2,08	-0,035	-0,349	-0,73	0,521	0,247	-0,51	-0,855	-0,406	-0,84
5. sor első tizenhat eleme	-2,50	-0,731	-0,347	-0,87	0,516	0,245	-0,61	-0,855	-0,406	-1,01
	-2,78	-0,733	-0,348	-0,97	0,519	0,247	-0,69	-0,855	-0,406	-1,13
	-2,81	-0,0035	-0,349	-0,98	0,521	0,247	-0,69	-0,855	-0,406	-1,14
	-2,60	-0,033	-0,348	-0,90	0,519	0,247	-0,64	-0,855	-0,406	-1,06
	-2,37	-0,032	-0,348	-0,82	0,518	0,246	-0,58	-0,855	-0,406	-0,96
	-2,22	-0,034	-0,349	-0,77	0,520	0,247	-0,55	-0,855	-0,406	-0,90
	-2,08	-0,033	-0,348	-0,72	0,519	0,247	-0,51	-0,855	-0,406	-0,84
	-2,00	-0,035	-0,349	-0,70	0,521	0,247	-0,49	-0,855	-0,406	-0,81
	-2,00	-0,031	-0,347	-0,70	0,517	0,246	-0,49	-0,855	-0,406	-0,81
	-1,98	-0,031	-0,347	-0,69	0,516	0,245	-0,49	-0,855	-0,406	-0,80
	-1,91	-0,035	-0,349	-0,67	0,521	0,247	-0,47	-0,855	-0,406	-0,78
	-1,69	-0,036	-0,350	-0,59	0,522	0,248	-0,42	-0,855	-0,406	-0,69
	-1,21	-0,036	-0,350	-0,42	0,522	0,248	-0,30	-0,855	-0,406	-0,49
	-0,94	-0,034	-0,349	-0,33	0,519	0,247	-0,23	-0,855	-0,406	-0,38
	-1,29	-0,035	-0,349	-0,45	0,521	0,247	-0,42	-0,855	-0,406	-0,52
	-1,68	-0,733	-0,348	-0,58	0,519	0,247	-0,41	-0,855	-0,406	-0,68
			$S_K = S \quad r'_{S/K}$			$S_G = S \quad r'_{S/G}$			$S_H = S \quad r'_{S/H}$	

c) Ha a hányadosok módszerét választjuk, akkor is három különböző állományhoz, és ezek felhasználásával, három különböző térképhez jutunk ($h'_{S/K}$, $h'_{S/G}$ és $h'_{S/H}$).

A szerző véleménye, hogy a „hányadosok” módszerével sokkal kézzelfoghatóbban érzékelhetjük a K , a G és a H mennyiségek befolyását a végbement mozgás sebességére.

IRODALOM

1. Joó, I.–Czobor, Á.–Gaszó, M.–Németh, Zs.: On RCM in the Pannonian Basin (Acta Geod., Geophys. Et Mont. Hung. Vol. 25, 3–4. 1990, pp 231–242)
 2. Joó, I.–Monhor, D.: 4-dimensional least squeros regression hyperplane for the connection between RUCM and certain geological character-

istics in the area of West-Hungary; Proceedings of the CRUM'93 Symposion, Kobe, Japan, 1993, pp 113–116)

3. Joó, I.: The National Map of Vertical Movements of Hungary (SE FFFK Székesfehérvár, scale 1:500 000, 1995; editor)

4. Joó I.: A földfelszín magassági irányú mozgásai Magyarországon (Geod. és Kart. 1996/4)

5. Joó, I.–Monhor, D.: Modelling quantitative relationship of vertical deformation to some geological and geophysical characteristics; Szeged area of South-East Hungary (Ninth Internat. Symp. On RCM Cairó, 1998; pp 205–215)

6. Joó I.–Balázsik V.–Gyenes R.: Szeged–Békéscsaba térségben a függőleges felszínmozgások és földtani jellemzők többváltozós együttes elemzése (Geod. és Kart. 2000/10)

A sebesség-összetevők számítása

II. táblázat

Vonal sorszám	$h_{S/K}$	Javított $h'_{S/K}$	$h_{S/G}$	Javított $h'_{S/G}$	$h_{S/H}$	Javított $h'_{S/H}$
	$\left[\frac{mm/év}{km} \right]$		$\left[\frac{mm/év}{mGal} \right]$		$\left[\frac{mm/év}{mW/m^2} \right]$	
4. sor utolsó nyolc eleme	1,58	0,2911	4,9	0,0816	79,8	0,0080
	1,20	0,3500	6,0	0,0500	80,0	0,0061
	1,03	0,1165	6,2	0,0403	79,9	0,0053
	1,41	0,3475	6,0	0,0650	80,9	0,0070
	1,78	0,3483	5,7	0,0772	82,1	0,0088
	2,01	0,3483	6,1	0,0820	83,3	0,0098
	2,10	0,3476	5,9	0,0881	84,3	0,0010
	2,08	0,3476	5,5	0,0927	85,7	0,0098
5. sor első tizenhat eleme	2,00	0,4350	5,6	0,1089	90,8	0,0111
	2,10	0,4619	4,6	0,1500	92,1	0,0123
	2,43	0,4033	2,1	0,3286	93,1	0,0122
	2,36	0,3814	0,3	2,1339	93,0	0,0114
	2,03	0,4039	0,0	0,0	91,8	0,0104
	2,47	0,3117	0,3	1,8333	91,0	0,0100
	1,94	0,3711	0,8	0,6375	89,3	0,0094
	2,71	0,2583	0,9	0,5444	85,3	0,0095
	3,30	0,2583	0,6	0,8167	81,3	0,0100
	3,41	0,2023	1,2	0,4083	79,9	0,0100
	2,21	0,3032	2,7	0,1741	80,0	0,0098
	2,88	0,2049	4,0	0,1050	80,0	0,0086
	2,97	0,1414	4,6	0,1050	80,0	0,0061
	3,49	0,0946	5,0	0,0460	80,0	0,0047
	2,90	0,1552	5,4	0,0593	80,2	0,0065
3,47	0,1671	5,4	0,0759	84,6	0,0080	
	$h'_{S/K} = \frac{S_K}{K}$		$h'_{S/G} = \frac{S_G}{G}$		$h'_{S/H} = \frac{S_H}{H}$	

7. Pájer T.–Joó I.–Balázsik V.: A jelenkori függőleges felszínmozgások és három földtani jellemző kapcsolatának vizsgálata a Középső-Tisza környékén és a Körös-vidéken (Geod. és Kart. 2004/7)

Resolving into components of the vertical movements's velocities and quotients according to geologo-geophysical acting

*I. Joó
Summary*

The investigation of vertical surface movements resulted mostly velocity values. But we

should like know more about the nature of movements' for example about the ratio of the components of the used acting on the movements velocities (depth of the basement, gravity anomaly, terrestrial heat flow).

In the paper based on a regression correlation analysis and multivariable modelling of the movements tendencies have been given two solution for the problem.