Újabb mérések a vertikális gradiens (VG) értékének meghatározására[1]

CSAPÓ GÉZA[2], *VÖLGYESI LAJOS*[3]

A méréssel meghatározott vertikális gradiens értéke jelentős mértékben eltérhet annak –0,3086 mGal/m normálértékétől. A mérési ponton a talaj felett néhányszor 0,1 m magasságig a mért értékek jelentősen, de másodfokú függvénnyel jól közelíthetően változnak. 40 méter felett a változás már lineárisnak tekinthető [RÖDER, WENZEL 1986], és 500 méter felett a változás nagyon kicsi, a mért érték mintegy –0,3073 mGal/m [HAMMER, GUMERT 1984].

A korszerű gravimetriai hálózatok kiinduló értékeit (mGal szint) abszolút graviméterekkel végzett mérésekkel határozzák meg. Az abszolút módszerrel meghatározott g értékek az adott berendezés ún. „referenciaszintjére" vonatkoznak. Ezért az abszolút mérésekkel meghatározott g értékekből álló hálózat mGal szintje különbözik a relatív graviméterekkel ugyanazon pontok talajszinti megfelelője közötti mérésekből származó g értékek hálózatának mGal szintjétől. A referenciaszintre vonatkozó g értékeknek a pontjelre történő levezetését a vertikális gradiens ismeretében lehet elvégezni, vagyis a kétféle hálózat közötti kapcsolatot a VG mérések teremtik meg. Miután a levezetés néhány μGal megbízhatóságú relatív mérést igényel, ezért a vertikális gradiens normálértéke ma már nem nyújt elegendő pontosságot a magassági javítás számításához.

G. CSAPÓ, L. VÖLGYESI: New measurements for the determination of local vertical gradients

Measured vertical gravity gradients usually differ from its normal value of –0,3086 mGal/m. According to our experience near to the ground surface it varies considerable, but its variation can be approximated by a second order function. Above 40 m of the ground the variation becomes linear and in about 500 m height its value becomes constant.

At present the datum level of modern gravity networks is mostly determined by absolute gravimeters. The observed absolute gravity values are referred to the reference height of the applied instruments which are different from the reference height of relative gravimeters. To establish reliable connection between the two reference levels a correction is needed which postulates the knowledge of the actual value of vertical gradient. In order to transfer the high reliability of absolute measurements to relative gravimeter networks the application of the normal value of vertical gradient is not enough. The actual value should be determined as accurately as possible.

Korábbi dolgozatokban [CSAPÓ 1997; CSAPÓ, PAPP 2000] ismertettük a vertikális gradiens pontos helyi értékének fontosságát. A nagypontosságú graviméteres méréseknél a műszermagassági javítást számoljuk a mért *VG* értékek ismeretében, geoid modellszámításoknál pedig a modell ellenőrzésére alkalmasak. Bemutattuk, hogy a méréssel meghatározott értékekre jelentős hatással vannak a mérési pont közvetlen környezetének tömegviszonyai, valamint az, hogy milyen függvénnyel közelítjük a *g/h* viszonyt (lineáris, vagy másodfokú). Megállapítottuk egyrészt, hogy egy mérési helyen csupán két egymás feletti ponton végzett mérésekkel nem kapunk elég pontos értékeket, másrészt azt, hogy a mérésekkel meghatározott helyi *VG* értékek jelentős mértékben eltérhetnek a –0,3086 mGal/m normálértéktől (1 mGal = 1×10^{-5} ms^{-2}, 1μGal = 1×10^{-8} ms^{-2}).

Korábbi kísérleti méréseink tapasztalatai alapján kidolgoztunk egy — a gyakorlat számára jelenleg megfelelő pontosságot viszonylag gazdaságos munkavégzéssel biztosító — eljárást terepi pontokon végzett *VG* mérésekhez. Az eljárás röviden a következő: a méréseket két LCR-G graviméterrel végeztük és az irodalomban [CSAPÓ, VÖLGYESI 2002] ismertetett mérőállványt alkalmaztuk; *A-B-C-B-A-B-C-B-A* mérési sorozatban észleltünk, ahol *A* = 0,05 m, *B* = 0,7 m és *C* = 1,3 m, a graviméter érzékelő tömegének a pontjel feletti magasságát jelenti [BECKER et al. 2002]. Mindkét műszer elektronikus libellával rendelkezik és a műszerleolvasásokat a CPI (Capacitance Beam Position Indicator = kapacitív érzékelőhelyzet jelző) elektromos kimenetéhez kapcsolt digitális voltmérővel és a mérőtárcsával végeztük ún. *interpoláló eljárással.* Ennek lényege, hogy a helyes leolvasási vonal környékén három műszerleolvasást végzünk a graviméter mérőtárcsáján és a digitális voltméteren. A pontos műszerleolvasási értéket azután a mérési eredményeket feldolgozó program interpoláló szubrutinja számítja ki a 3 leolvasáspár adataiból. A két graviméterrel egymás után, folyamatosan mértük végig a sorozatot, amelynek időszükséglete műszerenként kb. 60–70 perc. Minden ponton három különböző napon végeztük a méréseket, így pontonként 6 független mérési sorozatot dolgozhattunk fel. A feldolgozásnál a hivatkozott irodalomban ismertetett javításokat alkalmaztuk.

A következőkben bemutatásra kerülő méréseket 2002–2003-ban végeztük a budai vertikális kalibráló vonal pontjain, illetve a főváros egyéb területein. Az *1. táblázatban* a mérési pontok koordinátáit, valamint a *g/h* viszony lineáris és másodfokú függvény közelítéssel számított *VG* értékeit

[1] Beérkezett: 2004. július 19-én

[2] Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23, e-mail: csapo@elgi.hu

[3] Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3, e-mail: lvolgyesi@epito.bme.hu

tüntettük fel a pontjel feletti 1 méteres magasságra (h) vonatkozóan (VG_1 és VG_2). A számításhoz felhasznált összefüggések:

$$VG_1 = \underbrace{\partial g / \partial h}_{VG} \cdot \Delta h \ ,$$

illetve

$$VG_2 = \partial g / \partial h \cdot \Delta h + \partial^2 g / \partial h^2 \cdot \Delta h^2 \ .$$

A kevés számú meghatározás alapján is megállapítható, hogy egyes pontokon nincs számottevő eltérés a kétféle módon számított VG érték között, más pontokon viszont a különbség jelentős. Különösen szembeötlő a víztározó (VT) pontra számított eredmények kedvezőtlen megbízhatósága. Ennek okát abban látjuk, hogy a tározómedencékben a vízszint a nap folyamán állandóan változik és a víztömeg változása eléri a több 10 000 m^3-t [CSAPÓ, SZABÓ, VÖLGYESI 2003]. Ez a változó víztömeg hatással van a mérési eredményekre, ezért a különböző napokon és napszakokban végzett mérések eredményeinek szórása lényegesen nagyobb, mint a többi ponton. Érdemes megemlíteni, hogy a 821 jelű ponton korábban két különböző magasságban végzett mérésből határoztuk meg VG értékét („kétpontos" mérés), amelyből –262,5 ± 4 μGal/m értéket kaptunk. (Ugyanabban a függőlegesben két egymás feletti pont között végzett mérésnél a VG-t úgy értelmezzük, hogy az a két pont között mért Δg értéknek 1 méteres távolságra interpolált értéke a két pont felező pontjára vonatkoztatva mGal/m egységben.)

#	A pont neve	φ	λ	h (m)	VG_1	VG_2
2143	Hármashatárhegy	47-33-23	19-00-10	463	–386,0 ±10	–393,5 ± 5
2142	Táborhegy	47-33-01	19-00-31	412	–350,0 ±14	–354,7 ± 7
2141	Remetehegy	47-32-39	19-00-39	354	–350,6 ± 6	–351,3 ± 5
2140	Szépvölgyi út	47-32-27	19-00-29	283	–284,9 ± 6	–288,2 ± 6
821	Mátyáshegy	47-32-00	19-00-57	201	–258,7 ± 8	–259,0 ± 8
2139	Rózsadomb	47-31-02	19-01-53	153	–304,2 ± 8	–306,0 ± 4
17	BMGE kert	47-28-50	19-03-35	105	–300,1 ± 6	–305,3 ± 4
VT	Gellérthegy	47-29-24	19-02-32	160	–326,9 ± 21	–332,8 ± 12
MET	Pestlőrinc	47-25-48	19-11-01	137	–303,3 ± 9	–303,1 ± 6
OMH	Németvölgyi út	47-30-00	19-00-01	142	–293,5 ± 6	–293,3 ± 5

1. táblázat. Mérési pontok adatai és a VG lineáris (VG_1), illetve másodfokú közelítéssel (VG_2) meghatározott értékei μGal/m egységben. Jelölések: # — a mérési pont jele a gravimetriai adatbázis pontkatalógusában, φ — a pont földrajzi szélessége fok-perc-másodperc alakban, λ — a pont földrajzi hosszúsága fok-perc-másodperc formában, h — a pont Balti-tenger szintje feletti magassága

Table 1. Data of measured points and the calculated vertical gradient values in μGal/m units

A *2. táblázatban* példaként a 2139 jelű Rózsadomb mérési ponton 3 különböző magasságban végzett mérésből („3 pontos mérés") számított VG értékeket mutatjuk be.

Mérések	LCR-1919		LCR-963	
	$VG_{(\text{lineáris})}$	$VG_{(\text{négyzetes})}$	$VG_{(\text{lineáris})}$	$VG_{(\text{négyzetes})}$
	μGal/m		μGal/m	
1.	–309,4	–312,7	–300,0	–307,5
2.	–301,7	–307,6	–306,7	–301,0
3.	–303,2	–307,4	–303,8	–299,3
Átlag (1–3.)	–304,8 ± 6	–309,2 ± 2	–303,5 ± 8	–302,7 ± 4
Átlag (1919 + 963)	–304,2 ± 8	–306,0 ± 4		

2. táblázat. 3 pontos mérésekből számított vertikális gradiens értékek (VG) a rózsadombi mérési ponton, 1 méteres magasságra vonatkozóan

Table 2. Vertical gradient values (VG) calculated from observations carried out at three different heights on Rózsadomb station, referred to 1 m height

Jól látható, hogy a g/h viszony kétféle közelítésével számított helyi VG értékek között — a műszerenkénti átlagok esetében — 1–5 μGal/m a különbség. Látszik továbbá, hogy ugyanazon graviméterrel végzett mérések eredménye a különböző sorozatokban 7–8 μGal/m-rel is eltérhet a közelítés módjától függetlenül, ami ismételten igazolta, hogy egyetlen graviméterrel kevésszámú mérési sorozattal nem határozható meg elegendő megbízhatósággal a vertikális gradiens helyi értéke. Az egyes sorozatokból számított eredmények kisebb-nagyobb eltérésének oka a különböző mérési napokon eltérő külső tényezőknek (szél, légnyomás- és hőmérsékletváltozások, mikroszeizmikus tevékenység stb.) a mérési eredményekre gyakorolt változó hatása. A különböző graviméterekkel azonos napokon

végzett mérések eredményeinek eltérése pedig nagyrészt a felsorolt külső tényezőknek az egyes graviméterek műszerjárására gyakorolt eltérő hatásából származik. Ha az egyes graviméterek mérőrendszerének 1 mGal szerinti periodikus hibáinak hatását nem veszik figyelembe a mérési eredmények feldolgozásánál, az szintén oka lehet az eltérések egy részének és az is, hogy a „szállítási vibráció" hatása eltérő módon jelentkezik a különböző műszereknél.

A *3. táblázatban* a budapesti vertikális kalibráló bázis 2003-ban mért és kétféle módon kiegyenlített eredményeit mutatjuk be. A kiegyenlítés kényszerértékei a budapesti abszolút állomás (82) és a Budaörsi repülőtér (107.10) nehézségi gyorsulási értékei voltak. Ezeken a pontokon a *VG* értékét már korábban, az országos gravimetriai alaphálózat 2000-ben végzett előzetes kiegyenlítése előtt meghatároztuk. A kiegyenlítés „A" változatában a mérési eredmények feldolgozásánál a graviméterek műszermagassági javítását a vertikális gradiens normálértékével (–0,3086 mGal/m), a „B" változatnál pedig az ismertetett 3 pontos mérésekből számítottuk (a *g/h* viszony linearitásának feltételezésével).

A *3. táblázat* adataiból látható, hogy a kétféle javítási értékkel számított, kiegyenlített pontértékek között nagypontosságú graviméteres mérésekkel kimutatható különbségek lehetségesek. A kis műszermagasságok miatt (0,05–0,12 m) a *g/h* viszony lineáris, vagy másodfokú függvény szerinti közelítéssel számított értékének eltéréséből származó hatás az eredményekre esetünkben maximálisan 1 μGal volt.

Pont	*A*	*VG*	*B*	*VG*	$\lvert \delta\Delta g_{(B-A)} \rvert$
	mGal	mGal/m	mGal	mGal/m	mGal
2139	835,3946		835,3962	– 0,3042	0,0016
2140	809,9906		809,9921	– 0,2849	0,0015
2141	796,0111	– 0,3086	796,0152	– 0,3506	0,0041
2142	783,8461		783,8501	– 0,3500	0,0040
2143	771,1283		771,1347	– 0,3860	0,0064

3. táblázat. A budapesti vertikális bázis kiegyenlítési változatai

Table 3. Different adjustment versions of vertical calibration basis of Budapest

A magassági javítás hatása a még nem kiegyenlített mérési eredményekre

A következőkben a GES Kft. új beszerzésű LCR-G No. 1188 jelű graviméterével 2004-ben a budai vertikális kalibráló vonalon végzett kalibráló mérések eredményét használtuk fel annak vizsgálatához, hogy milyen hatással van a különbözőképpen számított műszermagassági javítás a még nem kiegyenlített mérési eredményekre (Δg).

Az egyes kapcsolatokon végzett méréseket A-B-A-B-A sorrendben hajtották végre gépkocsival végzett műszerszállítással. A gravimétert a pontokon mindig azonos azimutban, fix magasságú műszerállványra állították, a graviméter lengőjének pontjel feletti magasságát minden észlelés után mm pontosan meghatározták. A graviméterleolvasásokat — minden műszerállásban hármat — az optikai mikroszkóp segítségével végezték a graviméter lengőjének felszabadítása utáni négy perces „pihentetési idő" után [CSAPÓ 2004]. A mérési eredmények feldolgozásánál a műszermagassági javításon kívül árapály miatti, barometrikus és műszerjárás miatti javítást alkalmaztunk. Néhány kapcsolat mérési eredményét a *4–6. táblázatban* állítottuk össze.

Mérési kapcsolat: 2143-2142			
A mérés sorszáma	Műszermagasság (mm)	$\Delta g_{(h1)}$ (μGal)	$\Delta g_{(h2)}$ (μGal)
1.	101	31,2	39,0
2.	100	30,9	35,0
3.	107	33,0	41,3
4.	106	32,7	37,1
5.	107	33,0	41,3
$\Delta g_{(h1)-(h2)}$		0,6	4,5
Δg (1)		12,490 mGal	12,487 mGal
Δg (2)		12,489 mGal	12,484 mGal

4. táblázat. A 2143 és 2142 pontok közötti Δg mérés eredményei. A 4–6. táblázat jelölései: $\Delta g_{(h1)}$ — a műszermagassági javítás értéke az adott sorszámú mérésnél, a vertikális gradiens normálértékével számítva; $\Delta g_{(h2)}$ — a műszermagassági javítás értéke az adott sorszámú mérésnél, a *g/h* viszony változásának lineáris feltételezésével; $\Delta g_{(h1)-(h2)}$ — a kétféle *VG* értékkel számított magassági javítások különbsége az adott mérési pontok között; $\Delta g(1)$ — a normál *VG* értékével számított nehézségi gyorsulás különbsége az adott mérési pontok között, $\Delta g(2)$ — az adott pontok között nehézségi gyorsulás különbsége mért *VG* értékekkel számítva

Table 4. Measured Δg beetwen points 2143 and 2142

Mérési kapcsolat: 2143-2139			
A mérés sorszáma	Műszermagasság (mm)	$\Delta g_{(h1)}$ (μGal)	$\Delta g_{(h2)}$ (μGal)
1.	219	67,6	84,5
2.	222	68,5	67.5
3.	220	67,9	84,9
4.	224	69,1	68,1
5.	221	68,2	85,3
$\Delta g_{(h1)-(h2)}$		0,9	17,1
Δg (1)		62,944	62,926 mGal
Δg (2)		62,949	62,931 mGal

5. táblázat. A 2143 és 2139 pontok közötti Δg mérés eredményei

Table 5. Measured Δg beetwen points 2143 and 2139

Mérési kapcsolat: 2142-2139			
A mérés sorszáma	Műszermagasság (mm)	$\Delta g_{(h1)}$ (μGal)	$\Delta g_{(h2)}$ (μGal)
1.	216	66,7	75,6
2.	219	67,6	66,6
3.	216	66,7	75,6
4.	217	67,0	66,0
5.	214	66,0	74,9
$\Delta g_{(h1)-(h2)}$		0,8	9,1
Δg (1)		50,423	50,433
Δg (2)		50,420	50,430

6. táblázat. A 2142 és 2139 pontok közötti Δg mérés eredményei

Table 6. Measured Δg beetwen points 2142 and 2139

Műszermagasságon a graviméter érzékelője és az állandósított pontjel közötti függőleges távolságot értjük (*1. ábra*). A 4. táblázatban szereplő kapcsolat méréséné mintegy 110 mm-rel alacsonyabb fix magasságú mérőállványt alkalmaztak, mint a további kapcsolatoknál.

A három bemutatott kapcsolat egy zárt háromszöget alkot, tehát a mérési eredmények feldolgozása után — de még a mérési eredmények kiegyenlítése előtt — kiszámíthatjuk a háromszög záróhibáját (*7. táblázat*).

A mérési háromszög (eredmények mGal-ban)				
Oldalak	A feldolgozás módja: *A*		A feldolgozás módja: *B*	
	$\Delta g_{(d)}$ nélkül	műszerjárással	$\Delta g_{(d)}$ nélkül	műszerjárással
2142–2139	50,423	50,420	50,433	50,430
2139–2143	62,944	62,909	62,926	62,914
2143–2142	12,490	12,489	12,487	12,484
ω	0,031	0,040	0,006	0,017

7. táblázat. A mérési háromszög záróhibája (ω) mGal-ban. Jelölések: $\Delta g_{(d)}$ — műszerjárás miatti javítás, *A*— a mérési eredmények feldolgozása a *VG* normálértékével, *B*— a mérési eredmények feldolgozása a *VG* mért értékeivel, ω— a mérési háromszög záróhibája mGal-ban.

Table 7. Closure error (ω) of the polygon in mGal

A mérési eredmények kiegyenlítésénél a graviméter méretarányát 1,000 értékűnek vettük és a kiegyenlítést a legkisebb négyzetek módszerének (LNK) dán iterációs eljárásával végeztük három lépésben — a mindkét módon feldolgozott teljes adatrendszerrel, a 4–6. táblázatokban nem szereplő mérési eredményeket is bevonva (*8. táblázat*).

A 4–8. táblázat adatainak vizsgálatából a következők állapíthatók meg:

a) minél magasabb műszerállványon végezzük a Δg méréseket, annál nagyobb a különbség a normálértékkel, illetve a méréssel meghatározott *VG* értékkel számított magasság miatti javítások között (lásd a 2143 pont magassági javításait),
b) a kétféle módon számított műszermagassági javítások eltérései arányosak a két mért pont tényleges *VG* értékének a normálértéktől való eltérésével,
c) a műszerjárás figyelembevételének módja hatással van a mérési kapcsolat javított relatív nehézségi gyorsulás különbségére,
d) a kétféle módon számított műszermagassági javítással feldolgozott Δg értékek közötti eltérés meghaladhatja a

0,01 mGal értéket (példánkban a különbség 0,01 mGal a 2143-2139 kapcsolatnál),

e) a 7. táblázatból látszik, hogy a műszerjárás miatti javítás értéke — az alkalmazott eljárástól függően — kisebb-nagyobb mértékben befolyásolja a záróhiba értékét,

f) a mérési háromszög záróhibája lényegesen jobb akkor, ha a mérési eredmények feldolgozásánál a tényleges *VG* értékekkel számolunk,

g) ebben az esetben a pontok kiegyenlítésből származó nehézségi értékének megbízhatósága is javul (8. táblázat).

A kiegyenlítések eredményei mGal-ban		
A pont száma	*A*	*B*
	$m_0 = \pm 0{,}011$	$m_0 = \pm 0{,}010$
2139	980835,207 ± 0,016	980835,217 ± 0,014
2142	784,767 ± 0,013	784,788 ± 0,012
2143	772,266 ± 0,014	772,294 ± 0,013

8. táblázat. A pontok kiegyenlítésből származó nehézségi értékei. Jelölések: *A, B* — a korábban ismertetett módon végzett feldolgozásból származó mérési adatok, m_0 — a hálózat kiegyenlítés utáni négyzetes középhibája.

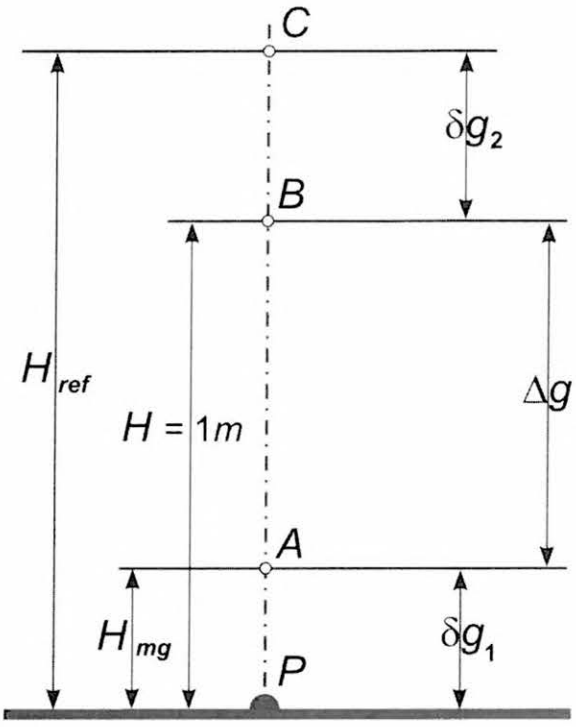
Table 8. Adjusted gravity values in mGal

Relatív és abszolút graviméteres hálózatok közötti kapcsolat létesítése vertikálisgradiens-mérésekkel

Ma már Európa legtöbb országában abszolút módszerrel meghatározott *g* értékű pontok az országos alaphálózatok ún. „0-rendű" pontjai. Ezek a pontok alkotják az UEGN-2002 hálózat vázát is. Az abszolút meghatározás műszerei az „abszolút graviméterek". Az e berendezésekkel végzett mérések eredményeképpen kapott *g* értékek a mérési pont feletti — az adott berendezés felépítésétől függő — ún. „referenciaszintre" vonatkoznak (0,8÷1,1 m a talajon állandósított pontjel felett). *Ezért — gyakorlatilag — az abszolút állomások hálózata és a relatív graviméteres állomáshálózat különböző referenciaszintre vonatkozó* g *értékeket tartalmaz.* A két hálózat közötti kapcsolatot kétféle módon lehet megteremteni.

Az első esetben valamilyen módon meghatározzuk az abszolút állomásokhoz tartozó vertikális gradiens helyi értékét. Amint a jelen dolgozatban, valamint az irodalmi hivatkozásokban bemutatott példák mutatják, a méréssel meghatározott *VG* érték függ a meghatározás módjától, illetve attól, hogy a *g/h* viszony változását milyen összefüggéssel vesszük figyelembe (lineáris, vagy másodfokú). A választott függvénynek megfelelően gyakran olyan mértékben eltérő értékeket kapunk, amely eltérések meghaladhatják az abszolút graviméterekkel végzett mérések 2–4 μGal megbízhatóságát. Ugyanakkor a normálérték alkalmazása a mért *g* értéknek az állandósított pontjelre történő levezetésénél eleve kizárt, mert a pontjelhez közeli tömegek hatása miatt a konkrét esetekben attól erősen eltérő értékekkel kell számolni. A *VG* meghatározás technikai paramétereit (a mérési pontok magasságait és a feldolgozás módját) ezért minden állomásra vonatkozóan egységesen kell alkalmazni!

A kétféle hálózat közötti kapcsolatteremtés második módját az *1. ábra* segítségével mutatjuk be.



1. ábra. A különböző magasságok értelmezése a *g* pontjelre történő levezetéséhez

Fig. 1. Definition of different heights for the conversion of *g*

A *P* pont függőlegesén kiválasztunk egy olyan magasságot (*P* és *B* pontok közötti távolság), amely legközelebb esik a ma használatos abszolút graviméterek referenciamagasságához. Célszerű a *PB* távolságot 1,0 méterben határozni meg. A relatív graviméterek műszermagasságán (H_{mg}) a *PA* függőleges távolságot értjük, ahol a graviméter érzékelőtömege az *A* pontba kerül. A graviméterek ugyanis a gyakorlatban nem lehet a *P* ponton úgy felállítani, hogy mérőtömegük (*mg*) és a *P* pont azonos szintfelületen legyen. Ezek szerint a *C* pontra vonatkozó g értéket úgy redukáljuk a *P* pontra, hogy meghatározzuk az *A* és *B* pontok közötti nehézségi gyorsulási különbséget (Δg), majd korrekcióba vesszük a δg_1

és δg_2 nehézségi gyorsulási különbségeket. δg_1 a relatív graviméterek ún. „műszermagassági" javítása. Miután valamelyik elrendezéssel meghatároztuk a vertikális gradiens helyi értékét, segítségével ez a javítás számítható. Tekintettel arra, hogy a *PA* távolság mintegy 0,05–0,15 m, ezért a lineáris, vagy másodfokú függvény közelítéssel számított *VG* értéke között nincs a pontossági igényeket meghaladó különbség. δg_2 redukciós értéknél hasonló a helyzet, mert a ma használatos abszolút graviméterek referenciamagassága típustól függően 0,8–1,1 m. Így a 0,1–0,2 m-es szakaszra (*BC*) jutó *g* értéknél a kétféle közelítés szerint számított érték között mintegy 1 μGal eltérés lehetséges. Mindezek alapján a *P* pont nehézségi gyorsulás értékét a

$$g_P = g_{mért} + \Delta g + \delta g_1 \pm \delta g_2 \quad (m/s^2)$$

összefüggéssel határozzuk meg. δg_2 előjelét a *B* és *C* pont egymáshoz viszonyított helyzete határozza meg.

Az „Egységes Európai Graviméteres Hálózat" (UEGN-2002) kiegyenlítésénél a részt vevő országok szakembereinek egyetértő döntése alapján ez utóbbi megoldást alkalmaztuk.

Végül egy fontos megjegyzés:

A táblázatokban szereplő *VG* értékek tartalmazzák a topografikus hatást. Amennyiben ezt a hatást figyelembe vesszük, akkor valós képet nyerünk a vertikális gradiens anomáliaviszonyairól. Ezeket az anomáliákat a Föld felszíne alatti tömegek eltérő sűrűségviszonyai okozzák. (Ebben az esetben a horizontális értelmű sűrűségviszonyokat kell érteni, mert a mélység függvényében változó sűrűségek — a Föld gömbhéjas szerkezete miatt — nem okoznak anomáliát.)

A közeli tömegek figyelembevétele meglehetősen bonyolult azok méreteinek és sűrűségének bizonytalan ismerete miatt. Tekintettel arra, hogy ezek a tömegek helyhez kötöttek és állandó jellegűek, ezért hatásuk a mérések későbbi megismétlésénél nem változik. *Fontos azonban, hogy a zárt helyeken, vagy nagyobb épületek közvetlen közelében végzett* VG *mérések eredményei nem kezelhetők együtt olyanokkal, amelyeket nyílt terepen kapunk, tehát pl. vertikális gradiens anomália térképek szerkesztésére nem alkalmasak.*

Köszönetnyilvánítás

Vizsgálatainkat az Országos Tudományos Kutatási Alap T-031875 és T-037929 számú pályázatának, valamint az MTA–BME Fizikai geodézia és geodinamikai Kutatócsoportjának támogatásával végeztük, amiért ezúton mondunk köszönetet.

Megköszönjük a GES Kft.-nek mérési adataik rendelkezésünkre bocsátását.

HIVATKOZÁSOK

BECKER M., JIANG Z., VITUSHKIN L. 2002: Adjustment of Gravity Measurements at the Sixth International Comparison of Absolute Gravimeters ICAG-2001 (Proc. Instrumentation and Metrology in Gravimetry, Inst. d'Europe, Münsbach Castel, Luxemburg, 28–30. October 2002.) Cahiers of ECGS, Luxemburg **22**, 37–43

CSAPÓ G. 1997: Effect of vertical gravity gradient on the accuracy of gravimeter measurements based on Hungarian data. Geophysical Transactions **42**, 1–2, 67–81

CSAPÓ G., PAPP G. 2000: A nehézségi erő vertikális gradiensének mérése és modellezése — hazai példák alapján. Geomatikai Közlemények **III**, 109–123

CSAPÓ G., VÖLGYESI L. 2002: A nehézségi erő vertikális gradiensének mérése és szerepe a nagypontosságú graviméteres méréseknél magyarországi példák alapján. Magyar Geofizika **43**, 4, 151–160

CSAPÓ G., SZABÓ Z., VÖLGYESI L. 2003: Changes of gravity influenced by water-level fluctuations based on measurements and model computation. Reports on Geodesy, Warsaw University of Technology **64**, 1

CSAPÓ G. 2004: LaCoste-Romberg (LCR) graviméterek vizsgálati és mérési útmutatója (a Geofizikai Szolgáltató Kft. részére készített tanulmány)

HAMMER S., GUMERT W. G. 1984: Airborne measurement of the vertical gradient of gravity. EOS **65**, 16, 196–200

RÖDER R. H., WENZEL H. G. 1986: Relative gravity observations at BIPM, Sevres in 1985 and 1986. BGI 59, 177–183