

ÉVFOLYAM  
*Volume*

III

2000

---

**GEOMATIKAI  
KÖZLEMÉNYEK**

*Publications in Geomatics*

SZERKESZTŐ  
*Editor*

ZÁVOTI J, BÁNYAI L, PAPP G

---

**Tárczy-Hornoch Antal Emlékülés  
Geomatika Továbbképző Szeminárium**  
Sopron, 2000. október 11-13a.

---

HU ISSN 1419-6492

*MTA FFK GEODÉZIAI ÉS GEOFIZIKAI KUTATÓINTÉZET, SOPRON*

# **Geomatikai Közlemények**

*Publications in Geomatics*

kiadja az

**MTA FKK GEODÉZIAI ÉS GEOFIZIKAI KUTATÓINTÉZET**

9400 Sopron, Csatkai E. u. 6-8. Pf. 5.

tel.: 99 - 508-340 fax.: 99 - 508-355

E-mail: [geomatika@ggki.hu](mailto:geomatika@ggki.hu)

felelős kiadó

***Závoti József***

igazgató

szerkesztő

***Závoti József, Bányai László és Papp Gábor***

technikai szerkesztő

***Karner Ani***

készült a

**LŐVÉR PRINT Kft.** nyomdájában

9400 Sopron, Ady Endre u. 5.

tel.: 99 - 329-977

megjelent 100 példányban

Sopron, 2000

HU ISSN 1419-6492

# GEOMATIKA A GEODÉZIA ELMÉLETÉBEN ÉS GYAKORLATÁBAN

## Emlékülés

*Tárczy-Hornoch Antal születésének 100. évfordulója  
Sopron, 2000 október 13.*

## Továbbképző szeminárium

*Sopron, 2000 október 11-12.*

*szervezte:*

MTA FKK Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet  
MTESZ MFTTT Soproni Városi Szervezet

*Szervező bizottság:*

Závoti József	zavoti@ggki.hu
Papp Gábor	papp@ggki.hu
Bányai László	banyai@ggki.hu

## TARTALOMJEGYZÉK

### *EMLÉKÜLÉS*

#### *Tárczy-Hornoch Antal születésének 100. évfordulója*

Tárczy-Hornoch Antal akadémikus 100. születésnapjára <b>Somogyi József</b> .....	7
Physical Geodesy Today: From Molodensky to GPS <b>Helmut Moritz</b> .....	11
Eine kurze Reise entlang der geodätischen Linie Sopron – Wien <b>Kurt Bretterbauer</b> .....	15
A földtani zavargások hatékony megoldása a korszerű fejtéstelepítésben <b>Patvaros József</b> .....	19
Tárczy-Hornoch Antal munkássága a geofizika érdekében <b>Veró József</b> .....	29
Tárczy-Hornoch Antal professzor szerepe a geodéziában <b>Detrekői Ákos</b> .....	33

### GEOMATIKA TOVÁBBKÉPZŐ SZEMINÁRIUM

#### *GPS vevők kalibrációja*

Az akkreditált kalibrálás jelentősége és feltételei <b>Bölöni Péter</b> .....	37
Differenciális GPS – vevőberendezések és technikák <b>Gracza Gyula</b> .....	45
A K-GEO Kalibráló Laboratórium <b>Németh Zsuzsanna, Virág Gábor</b> .....	51
Geodéziai GPS vevők és antennák kalibrálása a FÖMI KGO-ban <b>Borza Tibor, Kenyeres Ambrus</b> .....	57
Táv mérő-kalibráló alapvonal felhasználása GPS pontossági vizsgálatokra <b>Busics György</b> .....	65
A GPS vevők kalibrálási lehetőségei <b>Bányai László</b> .....	71

#### *Geomatematika*

Vízszintes hálózatok pontossági mérőszámainak néhány problémája <b>Csepregi Szabolcs</b> .....	81
Gömbi trianguláció globális GPS hálózatok lefedésére <b>Kalmár János</b> .....	89

GPS-adatok tárolása és szolgáltatása minimális lefedő fával <b>Kádár István</b> .....	93
--	----

### ***AKP projekt beszámoló***

A geodézia környezetvizsgálati mérési módszereinek integrált elemzése a sóskúti mikrohálózatban <b>Ádám József</b> .....	105
A nehézségi erő vertikális gradiensének mérése és modellezése – hazai példák alapján <b>Csapó Géza, Papp Gábor</b> .....	109
Geodéziai mérések a sóskúti hálózatban <b>Dede Károly, Szűcs László</b> .....	125
Lokális gravimetriai geoidmodellezés a sóskúti teszterületen <b>Tóth Gyula, Rózsa Szabolcs</b> .....	133

### ***Nehézségi erőter és geodinamika***

Sekély mélységű fúróluk-dőlésmérők alkalmazási lehetőségei lokális geodinamikai jelenségek monitorozására <b>Mentes Gyula</b> .....	139
Eötvös-inga mérési adatok és geodéziai alkalmazásuk <b>Tóth Gyula</b> .....	149
A gravimetriai adatok sűrűségének hatása a Stokes FFT módszerrel számított geoidundulációk pontosságára <b>Benedek Judit</b> .....	157
Sűrűségmodellek felhasználása a geoidmeghatározásban <b>Rózsa Szabolcs</b> .....	165
A nehézségi erőter Prey-féle gradiensének meghatározása <b>Papp Gábor</b> .....	173

### ***Alaphálózatok és helymeghatározás***

A hazai aktív GPS hálózat kiépítésének és fenntartásának aktuális kérdései <b>Borza Tibor</b> .....	185
EOMA 2000-ben <b>Németh Zsuzsanna, Virág Gábor</b> .....	193
Új gravimetriai hálózat Magyarországon (MGH-2000) <b>Csapó Géza</b> .....	203
Geodéziai teszháló Sopronban <b>Bácsatyai László</b> .....	215
A GPS pontossága SA nélkül <b>Takács Bence</b> .....	225

## ***Fotogrammetria és Térinformatika***

Információs rendszerek adatbázisának kialakítása mobil térképező rendszerekkel <b>Kis Papp László</b> .....	231
A digitális képalkotás és -feldolgozás új lehetőségei <b>Barsi Árpád</b> .....	239
Digitális képek informatikai integrációja <b>Récsei István, Barsi Árpád</b> .....	247
Potenciális földrengéshévíz felkutatása térinformatikai rendszer felhasználásával <b>Gribovszki Katalin</b> .....	255
„LINFO” a LINDE Gáz Magyarország Rt. térképalapú környezet- védelmi információs rendszere <b>Bogdán Olivér, Füle László, Magyar Imre, Mógor Emil</b> .....	265

## TÁRCZY-HORNOCH ANTAL AKADEMIKUS 100. SZÜLETÉSNAPJÁRA

*Somogyi József\**

Hihetetlenül gyorsan repülnek az évek alig hagyva egy kis időt pihenésre, megemlékezésre, néha azt a látszatot keltve, hogy szinte félünk a hétköznapi egyhangúságát feloldó kis ünnepektől. Most egy ilyen szerencsés pillanatnak vagyunk a részesei, amikor időt szakítunk arra, hogy megemlékezünk a geotudományok egyik kiemelkedő, nemzetközileg elismert egyéniségének, Tárczy – Hornoch Antal akadémikus születésének 100. évfordulójáról. Tudományos tevékenysége elsősorban a bányamérés és a geodézia méréstechnikai, számítástechnikai és részben a geofizika problémáihoz kapcsolódott, de ezenkívül maradandót alkotott a szakma és technika – történeti kutatásaival is.

Magyarország hírért a világban elsősorban kiváló művészeinek és tudósainak kiemelt munkássága alapozta meg. Ők voltak és reméljük maradnak is, a politika változásaitól függetlenül, az ország megbízás nélküli állandó nagykövetei. Nemzetközi tudományos elismertsége alapján ilyen nagykövet volt Tárczy-Hornoch professzor úr is.

Ma száz éve, 1900. október 13-án született az akkori felsőmagyarországi beregmegyei Oroszvégen élő Hornoch családban ötödik gyermekként az a kisfiú, aki felnőve a felsőoktatás, a hazai és nemzetközi tudományos élet kiemelkedő és elismert egyéniségévé vált. Édesapja földmérőmérnök volt. Valószínű tőle örökölte kiváló matematikai készségét és a geodézia iránti vonzalmát. Itt végezte alsó fokú iskoláit és tanítónője már az első osztályban felfigyelt matematikai tehetségére, amit az elsőosztályos bizonyítványában „számítástanból különösen kiváló” megjegyzéssel erősített meg. A munkácsi gimnáziumban folytatta tanulmányait, ahol tovább erősödött a matematika és fizika iránti érdeklődése és itt kapott kedvet történelmi ismereteinek megalapozására is. A gimnázium matematikai szakkörében 16 évesen tartotta meg első tudományos előadását. 1918-ban a Monarchia széthullásának évében érettségizett. Kárpátalja Csehszlovákiához való csatlóása után a helyi hatóságok nem engedélyezték, hogy az akkor már Sopronban otthont kapott volt selmeci Bányamérnöki és Erdőmérnöki Főiskolán folytassa felsőfokú tanulmányait. Így 1919-ben a leobeni Bányászati Főiskolára iratkozott be. Főiskolai tanulmányai során szoros szakmai és baráti kapcsolatba került Aubell professzorral a leobeni főiskola bányaméréstani tanszékének nagyhírű vezetőjével. 1923-ban bányamérnöki, 1924-ben bányamérőmérnöki oklevelet szerzett, mindkettőt kitűnő eredménnyel. Még ebben az évben „Új szempontok a bányamérési feladatok számítási megoldásaiban” című dolgozatával *summa cum laude* doktori fokozatot nyert. Ezután közel 2 évig Aubell professzor mellett dolgozott tudományos munkatársként. Munkája eredményeként 1925. év végén benyújtotta a vetőproblémák megoldásával foglalkozó habilitációs dolgozatát, ami megalapozta nemzetközi hírnevét. A habilitációs eljárás befejezése előtt 1926-ban meghívták Magyarországra a soproni Bánya-és Erdőmérnöki Főiskola Geodézia- és Bányaméréstani tanszékére tanárnak. A tanszék 1959-ig a Bányász Kar Miskolcra való helyezéséig vezette. 1937-ben nevezték ki nyilvános rendes tanárrá. Így kezdődött el sikereiben gazdag szakmai pályafutása és Sopron városhoz való kötődése. 1928-ban vette feleségül Tárczy Irént és ezt követően az eredeti Hornoch nevet Tárczy-Hornochra változtatta.

A soproni főiskolán oktatói és kutatói tevékenységét igen nagy szakértelemmel, magas színvonalon kezdte meg. Korszerűsítette és kibővítette a geodéziával és bányamé-

réssel foglalkozó tantárgyakat és már 1933-ban kötelező tantárgyként tanszékén bevezette az „alkalmazott geofizikát”, amivel lerakta a későbbi bányakutató és geofizikusmérnök képzés alapjait. A tanítványaival szemben támasztott szokatlan igényessége és követelményrendszere eredményeként, a Sopronból kikerült mérnökök még a harmincas évek nehéz gazdasági körülményei között is munkát találtak más műszaki területeken.

Kezdeményezője volt egy idegen nyelvű szakfolyóirat, az „Aus den Mitteilungen der berg- und hüttelmännischen Abteilung an der kgl. ung. Palatin-Joseph-Universität für technische und Wirtschaftswissenschaften. Sopron, Ungarn” megindításának. Ez a kiadvány 1929-ben jelent meg először és Ő volt az első szerkesztője. Ezzel a kiadvánnyal a soproni főiskola folyóiratcsere formájában nemzetközi tudományos kapcsolatot alakított ki a világ minden részén. Ennek a kiadványnak a segítségével igazolták, hogy a világhírű selmeci főiskola soproni jogutódja méltóan folytatja a régi intézmény hírnevét megalapozó magas színvonalú oktató és kutató munkát és Sopron nevét mindenütt megismerték. Személyes kapcsolatokat épített ki az akkori idők elismert professzoraival, így többek között az osztrák származású de Németországban tevékenykedő O. v. Gruberral, a svájci Beaschlannel és az osztrák Dolezallal.

A tudományos kutatás mellett nagy súlyt fektetett a gyakorlati célokat szolgáló műszer fejlesztési és mérés technikai problémák megoldására is. Elképzelései alapján a tanszéki műhelyben, kiváló műszerészének Bummer Antalnak közreműködésével több műszer és segédberendezés készült. Mérés technikához kapcsolódó kutatási eredményei alapján a Jénai Zeiss gyár 1931-ben külső munkatársnak kérte fel.

Az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület 1941-ben alelnökévé választotta, majd 1942-ben 50 éves fennállása alkalmából tartott ünnepélyes közgyűlésen a magyar bányászat terén szerzett „egész kiváló érdemekért” a Wahlner Aladár aranyéremmel tüntette ki. 1942/43 tanévben a Bánya- Kohó- és Erdőmérnöki Kar dékánja volt.

Tárczy-Hornoch professzor oktató-kutató tevékenysége igazán a háborút követő években bontakozott ki. Kutatási eredményei és nemzetközi elismertsége alapján 1945-ben Szentgyörgyi Albert által kezdeményezett Magyar Természettudományi Akadémia alapító tagjává hívta meg, majd 1946-ban a Magyar Tudományos Akadémia levelező, és még ugyanazon évben rendes tagjává választotta. 1949-ben kezdeményezésére Magyarországon először, Sopronban megindult az önálló földmérőmérnök és 1951-ben a geofizikusmérnök képzés. A soproni földmérőmérnöki szak megteremtése és Tárczy-Hornoch professzor szakmai igényessége és előrelátása tette lehetővé azt, hogy számos kiváló hazai geodéta köztük a két háború közti időszakban Sopronban habilitált Hazay István részt vállaljon az oktatásban növelve annak színvonalát. Kiváló tárgyalási és diplomáciai érzékét a geofizikus képzés soproni megkezdésének története igazolja. 1951-ben részt vett azon a Gerő Ernő által vezetett Népgazdasági Tanácsülésen, ahol Vadász Elemér professzornak azzal a betérjesztésével foglalkoztak, amelyben népgazdasági érdekekre való hivatkozással kérte az önálló geofizikus képzés megindítását a Tudomány Egyetem keretein belül. Tárczy-Hornoch professzor hozzászólásában támogatta kérését azzal a kiegészítő javaslattal, hogy mivel a nemzetgazdaságnak valóban szüksége van a hazai ásványvagyon megkutatásának és kitermelésének növelése érdekében geofizikusokra, két évvel korábban szakemberekhez jutunk akkor, ha a Sopronban, 1949-ben beiratkozott földmérőmérnök hallgatók egy része a két éves alapozó időszak után, amely alapozás mindkét szakmához megfelelő, geofizikus képzést kap. Ez a megoldás nem jelent nagy költségnövelést, mivel csak egy geofizika tanszék felállítását igényli. Javaslátát elfogadták és így kezdődött meg 1951-ben a geofizikusmérnök képzés Sopronban és jutott katedrához a szintén nála habilitált Kántás Károly professzor is. Az Ő kezdemé-

nyezése alapján akadémiai keretek között 1955-ben Geodéziai- és Geofizikai Kutató laboratóriumok létesültek Sopronban geodéziai és geofizikai alap kutatások végzésére. 1955-től az MTA Geodéziai Kutató Laboratóriumának igazgatójaként is tevékenykedett. 1957-től átvette a vezető nélkül maradt Geofizikai Kutató Laboratórium irányítását is. Az egyetemi tanszékét 1959-ig a Bányamérnöki kar Miskolcra és a Földmérőmérnöki Kar Budapestre viteléig vezette. A két laboratórium egyesítése után 1972-ig, nyugállományba vonulásáig volt az MTA GGKI igazgatója. A mérés- és műszer-technikai problémák iránti érdeklődése alapján az ötvenes évek közepétől a Magyar Optikai Művek tudományos tanácsadójaként az intézet kutatóinak közreműködésével jelentős szerepet vállalt a gyár geodéziai műszergyártásának nemzetközi szintre történő fejlesztésében.

Kiváló oktatói és kutatói tevékenységének elismeréseként számos magas kitüntetés birtokosa volt. Magyarországon megkapta a Kossuth-díj arany fokozatát (1949) és az Állami-díj I. fokozatát (1956). Külföldön is elismerték tudományos teljesítményét. Megkapta az I. osztályú bulgár Cyrill és Method kitüntetést, tagjává választotta a Világakadémia, külföldi tagja volt a Francia, az Osztrák, a Bolgár és Lengyel Tudományos Akadémiáknak. Tiszteletbeli doktorrá avatták a freibergi, leobeni, bécsi, grazi, miskolci és a soproni egyetemeken.

Igen jelentős szerepet vállalt a hazai és nemzetközi tudományos közéletben a tudomány diplomatajaként is. Mint az IUGG magyar nemzeti bizottságának elnöke a szervezetben igen magas színvonalon képviselte a magyar geotudományokat. A MTESZ-en belül a magyar műszaki és tudományos közéletben is hasznosan tevékenykedett. A Geodéziai és Kartográfiai egyesület alapító tagja és első elnöke volt. Ezenkívül sokáig társelnöke volt a Magyar Geofizikusok egyesületének és alelnöki tisztséget töltött be az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesületben.

Főszerkesztője volt az *Acta Geodaetica, Geophysica et Montanistica*-nak, Tagja volt a *Geoexploration* (Amsterdam), *Gerlands Beiträge zur Geophysik* (Leipzig), *Pure and Applied Geophysics* (Basel és Stuttgart), valamint a *Monographs on Terrestrial Solar and Cosmic Physics* (Leipzig) szerkesztő bizottságainak.

Sopron nagyon szerette. Szülőhelye után ez a város vált otthonává. A két háború közötti időkben, de még 45 után is számos csábító külföldi és hazai ajánlatot utasított vissza Sopronért. Mindig azt mondta, Sopron csak egy van, engem befogadott és elismert, hálátlanság lenne részemről elhagyni. Személyisége kihatott a város szellemi életére. Tudományos tevékenysége és az általa alapított és vezetett intézmény tudományos eredményei Sopron várost ismertté tették az egész világon. A város mindenkori vezetői nagyra értékelték Tárczy-Hornoch professzor munkáját és a *Pro Urbe* kitüntetés mellett a város által adományozható legmagasabb elismerésben részesítették, Sopron város díszpolgárává fogadták.

Igen jelentősek voltak a tudomány és technika történeti kutatásai is. Több méltatlanul elfelejtett vagy kellően nem értékelt kutatót emelt az őt megillető helyre.

Tudományos munkásságát 6 könyv és 15 ország különböző folyóirataiban megjelent több mint 300 tanulmány őrzi meg az utókor számára.

Mint ember, oktató, tudós és vezető jellemző volt rá a szakmája iránti mérhetetlen szeretet és igényesség és erre nevelte tanítványait is. Jó érzékkel választotta ki munkatársait. Közülük később többen kerültek magas pozícióba. Az egyetemi katedrán és az intézet szakmai vezetésével egy iskolát teremtett, ami elválaszthatatlan Soprontól. Példát mutatott a hazai és nemzetközi együttműködések kialakításában. A világ minden részéről a geotudományok legkiemelkedőbb egyéniségei közül sokan megfordultak Sopronban. Nagyon szoros szakmai és baráti kapcsolatba került az osztrák Ledersteger, Rinner és a leobeni Spickennagel professzorokkal, a prágai Böhm, a német Peschel és Meisser

valamint a bolgár Hristov és az orosz Izotov professzorokkal. Az a gondolat vezette, hogy a tudomány közös nyelve áthidal minden nehézséget és összekötőkapocs az emberek, országok között, függetlenül a nemzetiségtől, bőrszínétől és a politikai hovatartozástól. Ahogy önmagától, munkatársaitól is megkövetelte az igényes, lelkiismeretes és magas színvonalú munkát. Alapelve volt az, hogy hosszú távon csak komoly, becsületes munkával lehet eredményt elérni.

Kapcsolata az intézettel és a szaktársadalommal nem szakadt meg nyugdíjba vonulásakor. Haláláig rendszeresen bejárt régi munkahelyére, ahol régi tanítványai és tisztelői mindig felkeresték, ha Sopronban jártak. Ő kevésbé érezte a korunkra jellemző figyelmetlenséget, tapintatlanságot, amitől sokat szenvednek az aktív munkától visszavonulók. Ez egyrészt nagy egyéniségével magyarázható, de igen fontos szerepe van itt a selmeci hagyományoknak, amik Sopronban folytatódtak, majd azóta Miskolcon is tovább élnek. Ez a tanárok, oktatók és diáktársak megbecsülésére, egymás megsegítésére való nevelés eredménye.

Engedjék meg, hogy befejezésül néhány talán kicsit szubjektívnek tűnő gondolat- tal egészítsem ki ezt az ünnepi megemlékezést. Hiszen azon kívül, hogy tanítványa voltam 1955-től 1972-ig munkatársa lehettem és 1972-től tőle vettem át az intézet vezetés felelős és nem könnyű feladatát. Bár főleg a színvonalas munka megkövetelése vonatkozásában szigorú főnök volt, az intézetben igen jó hangulatú baráti légkör uralkodott. Minden problémát megbeszélhettünk vele. Ma is szívesen emlékezem vissza kedvelt kávé félórásra, ahol az időszerű szakmai kérdések (külföldi úti beszámolók, akadémiai egyetemi hírek stb.) megvitatása mellett szívesen mesélgetett régi egyetemi történetekről. Különösen hálás vagyok Neki azért, hogy amikor átvettem tőle az Intézet vezetését, mindvégig éreztem segítőkész támogatását.

Egy életre szóló emlékként őrzöm a 85-ik születésnapjára rendezett ünnepség hangulatát. A Lővér szálló termeit zsúfolásig megtöltötte az Őt köszöntő tanítványok, munkatársak és tisztelők sokasága. A búcsúzás percei felemelően szépek voltak. Az ünneplők sorfalat álltak amint lassan feleségébe és belém karolva megindult a kijárat felé, mosolygó arccal éljeneztek. Valaki elkezdte énekelni a „gaudeamus igitur” és a tömeg átvette a fenséges dallamot –vivat academia / vivant professores- ami végig hőmpölygött az egész épületen. Ekkor az az ember, aki egész életén át uralkodott érzelmein könnyeivel küszködve suttozta „ ezért érdemes volt élni „. Igen professzor úr érdemes volt.

## PHYSICAL GEODESY TODAY: FROM MOLODENSKY TO GPS

*Helmut Moritz*\*

**Abstract.** *The development of Physical Geodesy from Molodensky (1945) to the present time (GPS) is illustrated theoretically, by the relevant geodetic boundary–value problems, and practically, from gravimetry to the gradiometer satellite (GOCE).*

### Introduction

The purpose of physical geodesy is the determination of the Earth's gravity field. The force of gravity is the resultant of the gravitational attraction of the Earth's masses and the centrifugal force. The force of gravity affects all bodies on the Earth's surface as well as outside the Earth: it affects people sitting in their offices or walking on the street, it affects automobiles and airplanes, theodolites and GPS satellites.

Gravity has a potential

$$\underline{g} = \text{grad}W \equiv \left( \frac{\partial W}{\partial x}, \frac{\partial W}{\partial y}, \frac{\partial W}{\partial z} \right), \quad (1)$$

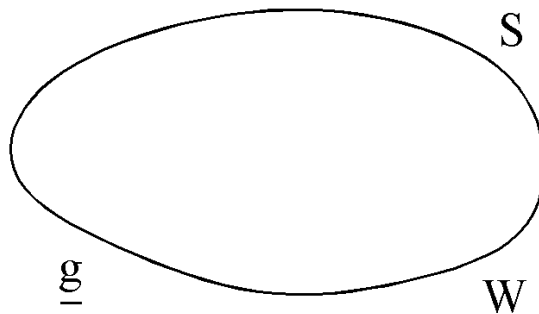
where the gradient vector  $\text{grad}$  consists of the partial derivatives of the potential. The vector  $\underline{g}$  has a direction and a magnitude. The direction defines the *plumb line* or *vertical* and the theodolite is set up according to the vertical. The magnitude is *gravity*  $g$ , which is measured by gravimetry.

### Geodetic Boundary–Value Problems

Let  $S$  be the Earth's topographic surface and let  $W$  and  $\underline{g}$  be the geopotential and the gravity vector on this surface (Fig. 1). Then there exists a relation

$$\underline{g} = f(S, W), \quad (2)$$

the gravity vector  $\underline{g}$  on  $S$  is a function of the surface  $S$  and the geopotential  $W$  on it.



**Figure 1.** The geopotential  $W$  and gravity  $\underline{g}$  are defined in the Earth's surface  $S$ .

This can be seen in the following way. Let the surface  $S$  and the geopotential  $W$  on  $S$  be given. The gravitational potential  $V$  is obtained by subtracting the potential of the centrifugal force  $\Phi$ , which is simple and perfectly known:

$$V = W - \Phi \quad , \quad (3)$$

cf. (Heiskanen and Moritz 1967, sec. 2–1). (This readily available book will in the following simply be denoted by PG, “Physical Geodesy”.)

The potential  $V$  outside the Earth is a solution of Laplace’s equation  $\Delta V = 0$  and consequently *harmonic* (PG sec. 1–2). Thus knowing  $V$  on  $S$  we can obtain  $V$  outside  $S$  by solving Dirichlet’s boundary–value problem, the first boundary–value problem of potential theory, which is always uniquely solvable (PG sec. 1–7) (at least if  $V$  is continuous on  $S$ ). After having found  $V$  as a function in space outside  $S$ , we obtain the gravitational force  $\text{grad}V$ . Adding the well–known and simple vector of the centrifugal force, we obtain the gravity vector  $\underline{g}$  outside and, by continuity, on  $S$ .

This is precisely what (2) means. The modern general concept of a function can be explained as a *rule of computation*, indicating that given  $S$  and  $W$  on  $S$ , we can uniquely calculate  $\underline{g}$  on  $S$ . (Of course,  $f$  is not a function in the elementary sense, but rather a “non–linear operator”, but we shall disregard this for the moment.)

(1) *Molodensky’s boundary–value problem* is the task to determine the Earth’s surface  $S$  if  $\underline{g}$  and  $W$  on it are given. Formally we have to solve (2) for  $\underline{S}$ :

$$S = F_1(\underline{g}, W) \quad , \quad (4)$$

that is, we get *geometry from gravity*.

(2) *GPS – boundary–value problem*. Since we now have GPS at our disposal, we can consider  $S$  as known, or at least determinable by GPS. In this case, the *geometry* ( $S$ ) is known, and we can solve (2) for  $W$ :

$$W = F_2(S, \underline{g}) \quad , \quad (5)$$

that is, we get *potential from gravity*. As we shall see, this is far from trivial: we have now a method to *replace leveling by GPS*, a tedious and time–consuming old–fashioned method by a fast modern technique.

In spite of all similarity we should bear in mind a fundamental difference: (5) solves a *fixed boundary problem* (boundary  $S$  given) whereas (4) solves a *free boundary problem*: the boundary  $S$  is a priori unknown (“free”). Free boundary problems are usually simpler than fixed ones.

This is only the principle of both solutions. The direct implementation of these formulas is difficult because that would imply the solution of “hard inverse function theorems” of nonlinear analysis. For numerical computations, we know series solutions, in the form of “Molodensky series”, which are sufficient for all present purposes and which can, furthermore, be derived in an elementary fashion, without needing integral equations which sometimes cause a strange and uncomfortable feeling to the non–initiated, although this is not so difficult as it sounds (PG chapter 8; APG sec. 43). (APG

stands for “Advanced Physical Geodesy” (Moritz 1980).) Here we shall outline the known elementary solution for Molodensky’s problem and immediately extend it to the GPS problem.

## Practical Aspects

Practical solutions (in the form of “Molodensky series”) exist for both boundary–value problems.

The *geoid*

$$W = W_0 = \text{const.} \quad (6)$$

gets a new importance with GPS. We may briefly say that GPS is a purely geometric system, whereas other measurements in geodesy rely on the gravity field (theodolites, leveling, gravimetry). The relation between GPS and the gravity field is furnished by the geoid, as exemplified by the simple equation

$$h = H + N \quad , \quad (7)$$

Here  $h$  is the *GPS height* above the reference ellipsoid, provided by GPS, and  $H$  is the *orthometric height* above sea level, as given by leveling. If the *geoid undulation*  $N$ , the height of the geoid above the ellipsoid, is known, this would permit the “instant” determination of heights above sea level,  $H$ , without the time–consuming and inefficient method of leveling, using the formula of *GPS leveling* :

$$H = h - N \quad . \quad (8)$$

Also for hydro–engineering one needs the gravity field because water obeys the laws of physics and is not following ellipsoidal geometry. Also in tunnel surveying one cannot use GPS in a tunnel, so gravity–dependent methods, from classical theodolites to modern *inertial surveying*, must be applied.

Already for some decades, satellite observations have given the large–scale features of the global geoid. *Satellite altimetry* has furnished the geoid all over the oceans with decimeter accuracy. New gravimetric satellites will be launched during the next few years. Among them there will be GOCE (Earth Explorer Gravity Field and Steady–State Ocean Circulation Core Mission) which features a gradiometer on board of a satellite (Johannessen 1999) (gradiometry goes back to the torsion balance of Roland Eötvös!).

Thus we have several methods of geoid determination:

- the *astrogeodetic method*, using the *direction* of the plumb line (of the gravity vector);
- the *gravimetric method*, using the *magnitude* of the gravity vector;
- various *satellite methods*, among them
- *GPS leveling* using  $N = h - H$  by (7).

The calculus of *least–squares adjustment* permits us to combine various geodetic measurements. Its generalization to the gravity field is called *least–squares collocation*; cf. APG 1980.

The accuracy of global geoids has reached the meter, even decimeter, level. For local geoids, useful for GPS leveling, the cm–geoid is the magic goal. In the “Austrian Geoid 2000” (Kühtreiber 1999) we may have reached the accuracy of  $\pm 2\text{cm}$ , which should, however, be improved.

## References

- Heiskanen WA and Moritz H** (1967): Physical Geodesy, Freeman, San Francisco (reprint available from the Section of Physical Geodesy, Technical University, Steyrergasse 30, A-8010 Graz) (referred to as PG).
- Johannessen JA, ed.** (1999): Gravity Field and Ocean Circulation Mission, Report ESA-SP-1233(1), European Space Agency, Noordwijk, The Netherlands, ISBN 92-9092-528-0.
- Kühtreiber N** (1999): Combining Gravity Anomalies and Deflections of the Vertical for a Precise Austrian Geoid, Proceedings of the “2<sup>nd</sup> Joint Meeting of the International Gravity Commission and the International Geoid Commission”, Trieste, September 7–12, 1998; Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata. Vol. 40, No. 3–4.
- Moritz H** (1980): Advanced Physical Geodesy, Wichmann, Karlsruhe (second ed. 1989) (referred to as APG).

## **EINE KURZE REISE ENTLANG DER GEODÄTISCHEN LINIE SOPRON – WIEN**

*Von Kurt Bretterbauer\**

Als ich die ehrenvolle Einladung erhielt, bei der Gedenkveranstaltung zu Ehren des 100. Geburtstages von Prof. Dr. mult. Tárczy-Hornoch Antal in Sopron zu sprechen, habe ich lange überlegt, ob ich dies in deutscher oder englischer Sprache tun soll. Ich habe mich für die deutsche Sprache entschieden, weil ich glaubte, dies wäre auch im Sinne von Prof. Tárczy-Hornoch, der diese Sprache ja vollendet beherrscht hat.

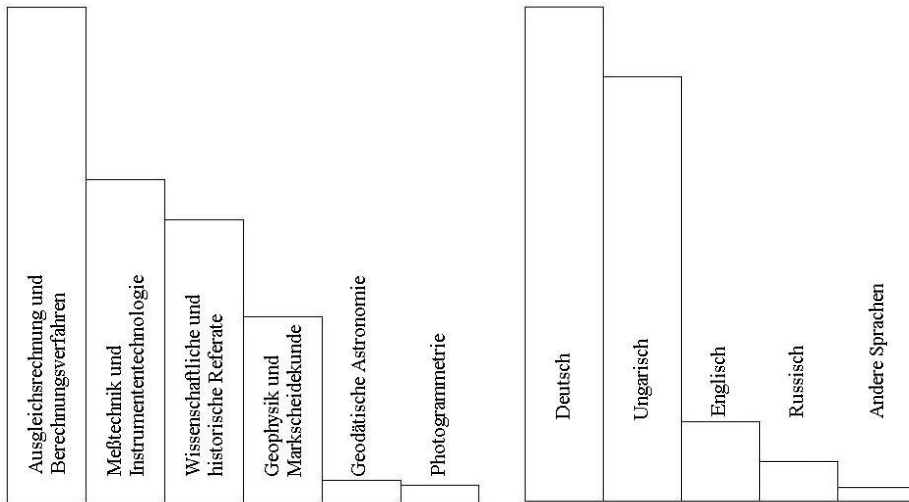
Prof. Tárczy-Hornoch war einer jener großen Alten, die klassische Geodäsie des 20. Jahrhunderts geprägt und bis zu einem gewissen Grade vollendet haben. Daß ich bei der Zentenariumsfeier sprechen durfte, hat wohl seinen Grund in der engen Beziehung der geodätischen Institute in Sopron und in Wien, und die geodätische Linie zwischen diesen beiden Instituten ist in den letzten fünfzig Jahren unzählige Male in beiden Richtungen befahren worden. Die nach Begriffen der globalen Geodäsie relativ geringe Ausdehnung dieser Linie von nicht einmal 60 km mag mit ein Grund gewesen sein für die oftmalige Befahrung. Ihre Spannung aber bezog diese Verbindung aus der tiefen Freundschaft zwischen den einstigen Leitern der beiden Institute, den Professoren Tárczy-Hornoch und Karl Ledersteger, Ehrenmitglied der Ungarischen Akademie der Wissenschaften. Vielleicht müßte man auch noch einen Dritten einbeziehen, den Prof. Peschel aus Dresden, sodaß man von einem geodätischen Dreieck der Freundschaft sprechen könnte, das durch die politischen Probleme der Nachkriegszeit kaum deformiert wurde.

Meine Beziehung zu Prof. Tárczy-Hornoch geht auf zwei Quellen zurück. Die eine entsprang aus den Publikationen von Prof. Hornoch in den österreichischen Fachzeitschriften, die man als junger Ingenieur natürlich gelesen hatte, die zweite Quelle waren Erzählungen von Prof. Ledersteger, mit dem ich seit meinem Diplom an in ständiger Verbindung stand. Aus seinem Munde habe ich viel auch über den Menschen Tárczy-Hornoch erfahren, und sein Forschungsinstitut in Sopron war mir ein Begriff, lange bevor ich es selbst besuchen konnte. Es möge mir deshalb erlaubt sein, mehrmals auch den Namen Ledersteger zu nennen. Es gibt übrigens einige merkwürdige Parallelen im Leben und in der Laufbahn dieser beiden Wissenschaftler. Von diesen Merkwürdigkeiten seien nur zwei genannt: Ledersteger ist nur einen Monat nach Tárczy-Hornoch zur Welt gekommen, und fast zur selben Zeit zu der Tárczy-Hornoch seine aktive Tätigkeit als Direktor des Soproner Forschungsinstitutes durch Übertritt in den Ruhestand beendete, mußte Ledersteger, bereits emeritiert, seinen Tod in einem Verkehrsunfall erleiden.

Vorhin habe ich von den großen Alten der klassischen Geodäsie gesprochen. Die aktive Laufbahn der beiden Freunde endete zu jener Zeit, als sprunghafte technologische Entwicklungen die Geodäsie zu revolutionieren begannen: Die elektromagnetische Distanzmessung, die Computer und die künstlichen Erdsatelliten. Es schmälert ihre Bedeutung nicht, daß beide Wissenschaftler kaum mehr Wesentliches zu dieser neuen Geodäsie beitragen konnten, vielmehr ist es wichtig, daß sie ihre Schüler und Nachfolger durch ihr Wirken befähigt haben, die weitere Entwicklung der Geodäsie mit zutragen und ihre Institute erfolgreich zu leiten. Diese Nachfolger waren Dr. Somogyi József in Sopron und meine Person in Wien. Es war daher nur natürlich, daß wir zwei die Zusammenarbeit beider Institute fortgesetzt haben, woraus auch zwischen uns eine schöne Freundschaft entstanden ist. Zum ersten Male bin ich Prof. Tárczy-Hornoch bei der Internatio-

nenalen Geodätischen Meß- und Instrumententechnischen Konferenz in Budapest 1966 persönlich begegnet. Ich erinnere mich, wie beeindruckt ich war von diesem markanten Römerkopf, von seiner souveränen Konferenzleitung und von der Würde, aber auch von der Liebeshwürdigkeit des echten Magyaren.

Das Lebenswerk von Prof. Tárczy-Hornoch ist außerordentlich umfangreich und vielschichtig. Unvergänglich sind seine Verdienste um die Gründung des Geodätischen und Geophysikalischen Forschungsinstitutes und die Einrichtung des Geophysikalischen Observatoriums in Nagycenk. Prof. Hornoch hat mehrere Monographien und zahlreiche Aufsätze in ungarischer, deutscher, englischer und russischer Sprache in internationalen Fachzeitschriften veröffentlicht. Interessant ist es, den Themenkreis der Arbeiten zu betrachten. Faßt man die Publikationen zu bestimmten Gruppen zusammen, so ergibt sich das folgende Bild.



Verteilung der Publikationen nach Sachgebieten

Verteilung der Publikationen nach der Sprache

Ein sehr großer Teil der Publikationen ist Themen der Ausgleichsrechnung und der Entwicklung von Rechenverfahren gewidmet. Eine beachtliche Menge befaßt sich mit Meßtechnik und Instrumententechnologie. Dann folgen zahlreiche wissenschaftliche Referate und Berichte sowie historische Betrachtungen zu geodätischen und geophysikalischen Themen und Persönlichkeiten. Sein Wissen beschränkte sich aber keineswegs auf die Wissenschaftsgeschichte, sondern umfaßte auch die politische Geschichte aller europäischen Staaten. Der Rest der Veröffentlichungen ist, wie nicht anders zu erwarten, dem Themenkreis der Geophysik und der Markscheidekunde entnommen. Interessant sind auch einige Arbeiten zur geodätischen Astronomie, wogegen die Photogrammetrie erstaunlich wenig vertreten ist. Bemerkenswert ist auch die sprachliche Verteilung der Publikationen. Überraschend dabei ist, daß die Zahl der Arbeiten in deutscher Sprache jene in ungarischer Sprache übertrifft! Das war sicher eine Folgewirkung seiner Studienzeit an der Montanistischen Hochschule in Leoben und hat uns Österreichern das Studium seiner Schriften sehr erleichtert.

Die im Rahmen der Ausgleichsrechnung behandelten Fragen sind vielschichtig. Ein besonderes Anliegen war Prof. Tárczy-Hornoch dabei die Deutung der Ergebnisse einer Ausgleichung als gewichtetes arithmetisches Mittel. Als Student war ich von einer Arbeit aus dem Jahre 1950 besonders beeindruckt, zumal die Ausgleichsrechnung zu

dieser Zeit an unserer Hochschule auf nicht sehr hohem Niveau stand. Es handelt sich um die Arbeit „Über die Zurückführung der Methode der kleinsten Quadrate auf das Prinzip des arithmetischen Mittels“, veröffentlicht in der Österreichischen Zeitschrift für Vermessungswesen. In dieser Arbeit führt Prof. Hornoch, ausgehend von einer von Helmert nur in Worten angedeuteten aber nicht ausgeführten Idee, den Nachweis, daß jede Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen auf das arithmetische Mittel zurückgeführt werden kann. Auch zitiert er in dieser Arbeit, wie auch in mehreren anderen, einen Satz des Mathematikers Jacobi aus dem Jahre 1841. Der Wortlaut dieses Satzes weckt im Leser die Vermutung, er könnte für den gesuchten Beweis benützt werden. Prof. Hornoch zeigt jedoch, daß sich mit diesem Satz von Jacobi der Beweis der Zurückführung der Methode der kleinsten Quadrate auf das arithmetische Mittel gerade *nicht* führen läßt. Die humanistische Bildung des Autors erweist sich aus dem Umstand, daß er in einer Fußnote den Satz von Jacobi im lateinischen Original zitiert.

In den Fünfzigerjahren des 20. Jahrhunderts war das beherrschende Thema der internationalen Geodäsie die Berechnung kontinentaler Netze. Beide Professoren, Tárczy-Hornoch und Ledersteger, haben daran gearbeitet. Tárczy-Hornoch an der Ausgleichung kontinentaler Netze, Ledersteger an prinzipiellen theoretischen Fragen. Die von Prof. Hornoch entwickelten Berechnungsverfahren behandeln immer wieder Einschnideaufgaben, auch unter Einbeziehung fingierter Beobachtungen. Mehrfach wurden von ihm Lösungen von Einschnideproblemen in geographischen Koordinaten gegeben. Auch die Trilateration wurde von ihm bearbeitet. In mehreren Untersuchungen hat er in die Lösung nicht die Strecken selbst, sondern Streckenverhältnisse eingeführt. Dadurch konnte er Fehler, die proportional der Streckenlänge sind, eliminieren. Aus allen Publikationen erkennt man auch die tiefen Literaturkenntnisse, die mit dem phänomenalen Gedächtnis von Prof. Tárczy-Hornoch zusammenhängen.

Von den instrumentenkundlichen Arbeiten sei neben solchen zur Entwicklung von Grubeninstrumenten und Zwangszentrierungen vor allem die von Prof. Hornoch angeregte Konstruktion einer Anlage zur automatischen Prüfung von Sekundenlibellen hervorgehoben. Sekundenlibellen waren von großer Bedeutung in der klassischen Geodäsie, vor allem in der geodätischen Astronomie, und deren Prüfung auf konventionelle Art war eine äußerst mühsame und heikle Aufgabe. Ich selbst habe als Beamter des österreichischen Bundesvermessungsdienstes mehrmals Sekundenlibellen in Sopron prüfen lassen.

Ein an wissenschaftlichen Arbeiten und Erfolgen so reiches Leben erfährt auch viele Ehrungen. Es steht mir nicht zu, die zahlreichen, dem Prof. Tárczy-Hornoch zuteil gewordenen Auszeichnungen zu nennen und zu würdigen. Als Angehöriger der Technischen Universität Wien aber möchte ich doch das ihm von dieser Hochschule verliehene Ehrendoktorat hervorheben.

Ich habe schon von der tiefen Freundschaft und den engen Beziehungen zwischen den Herren Tárczy-Hornoch und Ledersteger gesprochen, und von den merkwürdigen Parallelen in ihren Lebensläufen. Es gab aber auch Unterschiede und Gegensätze. Während Prof. Hornoch ein großes Institut mit vielen wissenschaftlichen Mitarbeitern leitete, denen er Anweisungen und Anregungen gegeben hat, war Ledersteger ein Einzelkämpfer mit, fast möchte ich sagen, einsamen Ideen. Im Denken und in den Zielsetzungen ihrer Arbeit konnte man die Individualität der beiden großen Alten erkennen. Prof. Hornoch war schon von der Ausbildung her ein Praktiker, Ledersteger ein Theoretiker. Sollte ich beide Herren mit einem einzigen Attribut charakterisieren, so möchte ich sagen: Der eine war Techniker, der andere Philosoph.

Was bleibt nun in unserer raschlebigen Zeit von solchen Persönlichkeiten? Zunächst die Erinnerung an Wissenschaftler mit einer umfassenden Bildung, die weit über das eigentliche Fachgebiet hinausging, und die auch in ihren Vorlesungen und Schriften zum Ausdruck kam. Beiden Gelehrten haben ihre Schüler und Nachfolger viel zu verdanken: Eine hervorragende Ausbildung, die Liebe zu den Geowissenschaften, die Verpflichtung zu rastloser Arbeit im Dienste der Wissenschaft und ihrer Institute, und nicht zuletzt die enge Verbindung und gegenseitige Wertschätzung zwischen den ungarischen und den österreichischen Fachkollegen über politische und geographische Grenzen hinweg.

## A FÖLDTANI ZAVARGÁSOK HATÉKONY MEGOLDÁSA A KORSZERŰ FEJTÉSTELEPÍTÉSBN

*Patvaros József\**

*Tárczy-Hornoch Antal professzor úr az elmúlt évszázad húszas éveinek közepén a vetődések megoldási problémáira kidolgozott elvi matematikai modelljeivel és gyakorlati számítási módszereivel üstökösként robbant be a nemzetközi és a hazai bányászati szakirodalomba. Fényesen bebizonyította azt, hogy egy kiemelkedő szellemiségű tanár útmutatásai alapján a tehetséges tanítvány milyen messzire juthat (1).*

A bányászat számára állandóan lényeges műszaki-gazdasági problémaként jelentkező vetők megoldására kidolgozott modelljeinek és módszereinek általános és rámarkánsan jellemző lépései a következők:

- a rendelkezésre álló információk alapján a már ismert probléma megoldások sokoldalú áttekintése és kristálytiszta mérlegelése,
- az alapvető paraméterek meghatározása,
- a lényegesen jellemző esetek legrészletesebb kielemezése,
- a különleges feladatok felmutatása és gondos kimunkálása,
- szintézisre törekvéssel általánosan érvényes szabályok és alapelvekbe rögzítése,
- a további válaszra váró kérdések körütekintő és egyértelmű felvetése.

Túlzás nélkül megállapítható, hogy a felemlített lényegre törő probléma megoldási tulajdonságok Tárczy-Hornoch Antal professzor úr sikereiben gazdag életútjának mindegyik tématerületén messze világitóan felismerhetők. (2, 3)

Néhai nagy tanítómesterünk munkássága és szellemisége iránt a tanítványi tiszteletünket talán úgy tudjuk a legméltóbban leróni, ha bemutatjuk legalább vázlatosan, hogy a tőle kapott gazdag szellemi útravaló alapján, például a modern mélyműveléses szénbányászatban, a földtani zavargásos tartományokon történő áthaladásra milyen műszaki-gazdasági megoldásokat tudunk alkalmazni.

### **A komplexen gépesített frontfejtéseknek a földtani zavargásos tartományokon történő áthaladási lehetőségeinek műszaki-gazdasági mérlegelése**

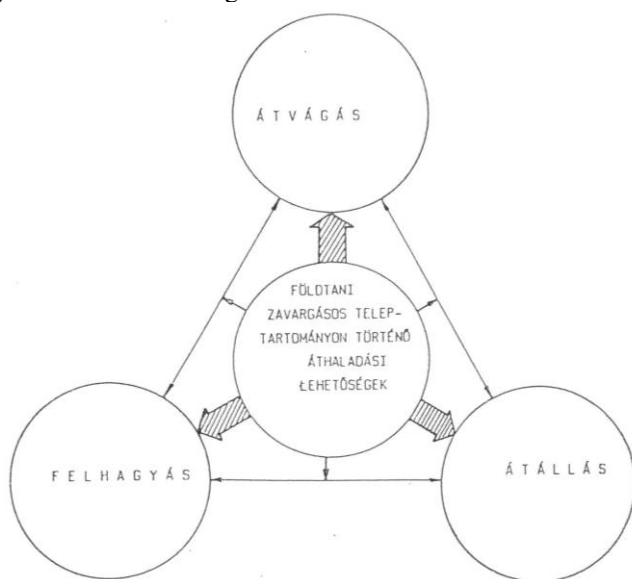
A mélyműveléses szénbányászatban a közelmúlt technikai-technológiai fejlődésének eredményeként az önjáró biztosító szerkezetes komplex gépesítésű frontfejtések alkalmazása vált uralkodóvá hazánkban és általában a világ bányászatában is.

A modern frontfejtésekben alkalmazott géprendszerek (láncos vonszoló, fejtőgép, önjáró biztosító szerkezet) eléggé mereven lehatárolják az alkalmazható frontomlok hosszúságot, a hazai földtani települési feltételeink között 100-120 m, külföldön 220-250 m értéktartományban.

A drága fejtési berendezések műszaki-gazdasági eredményességének emelése érdekében mindenütt a front kifutási hosszúság növelésére törekednek. Meghatározott fejtési sebesség esetén ugyanis minél nagyobb a front kifutási hosszúság, annál nagyobb a művelési sáv élettartama és fajlagosan annál kisebb a fejtéskezddéssel, illetve befejezéssel, vagyis a nagyértékű gépi berendezések be és kiépítésével kapcsolatos anyag, energia, munkaerő, munkaidő és pénzügyi ráfordítás szükséglet.

Komplex gépesítésű frontfejtéses technika és technológia felhasználásakor még zavartalan földtani település esetén is minden fejtési sávban és gépi berendezéseknek legalább egy be illetve kiserésére szükség van. A valóságban a művelésre kerülő fejtési sávok különböző típusú földtani zavargásokkal (vetődés, gyűrődés, redőzés, telepelvékonyodás, elmeddülés stb.) tarkítottak, amelyekben történő áthaladás járulékos ráfordításokkal jár.

A különböző földtani zavargásos tartományokon történő áthaladás leggyakrabban alkalmazott gyakorlati műszaki megoldásait az 1. ábra tünteti fel.



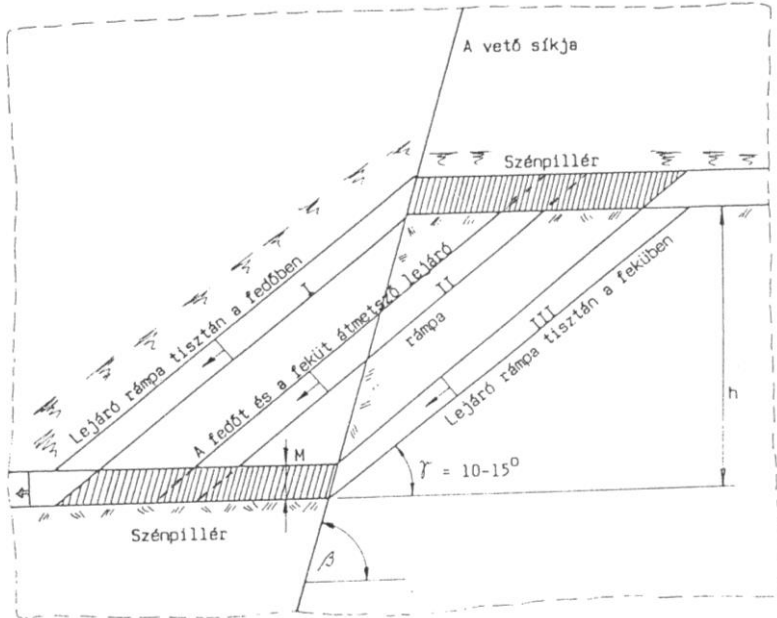
1. ábra. A geológiai zavargások megoldási módjai a fejtés előrehaladás során.

Meghatározott földtani zavargás fajtán történő legcélszerűbb áthaladási megoldás (átvágás, átállítás, telepszakaszc felhagyás) kiválasztásánál a legfontosabb műszaki-gazdasági-biztonsági követelmények a következők:

- minél rövidebb idő alatti átjutás,
- minél kevesebb meddő anyag kivágásával, illetve ásványvagyon elvesztésével járó átharántolás,
- minél kevesebb anyag, energia, munkaerő, pénzügyi eszköz ráfordítás és gépi berendezések leszerelésére a földtani zavargásra ráfutó, illetve azok beszerelésére a zavargáson átjutott és továbbinduló fejtési homlokra.

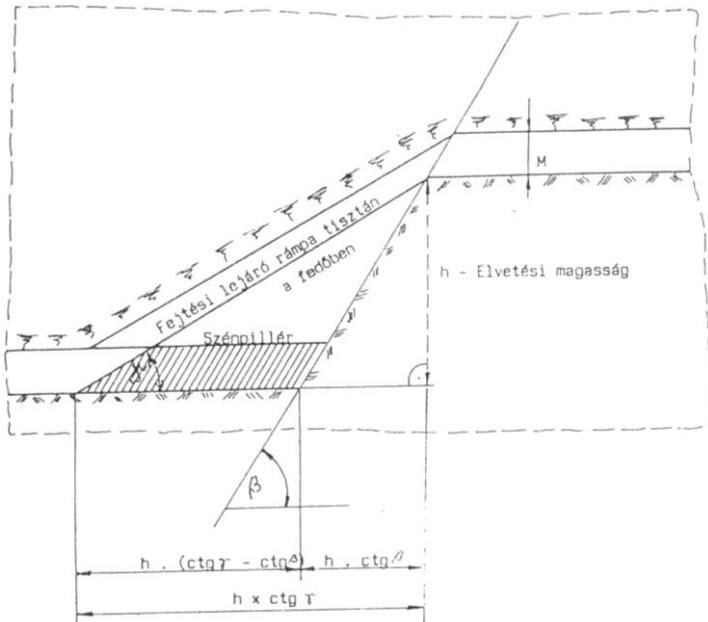
Egy adott fejtési sáv ásványvagyonának kitermelésénél lehetséges, hogy minden földtani zavargás egyetlen áthaladási módszerrel (pl. átvágással) megoldható. Ilyen gyakorlatot alkalmaznak jelenleg a német mélyműveléses feketeszén bányászatban, ahol maximum 8 m-es elvetési magasságig az összes vetőn átvágással kelnek át. Ennél a módszernél előfordul, hogy a szélehomlokú (200-250 m) frontfejtés az előrehaladási sávban egy-egy geológiai zavargáson történő átjutás érdekében 30-35 m-es hosszban – a drága gépi berendezések leszerelése nélkül – 5-10 napig teljesen meddőben halad. Más országokban, így hazánkban is az átvágásos megoldást akkor használják, ha az elvetési magasság nem haladja meg a művelt telepvastagságot.

A 2. ábra a vetődéses tartomány átvágási lehetőségeit szemlélteti a lejáró (más esetben feljáró) rámpa különböző térbeli helyzete esetén.



2. ábra. Vetődési tartomány átvágási lehetőségei fejtési lejáró rámpával.

A fejtési berendezések átvándoroltatását lehetővé tevő rámpa térbeli elhelyezésében fontos szerepet játszi a mellékközetek szilárdsága, a földtani zavargás mentén kényszerűen visszamaradó ásványvesztés és a gépészeti egységek biztonságos átszállításához megengedhető hajlásszög.



3. ábra. Vázlat a fejtési lejáró rámpánál keletkező szénvesztés számításához.

A 3. ábrán szereplő vázlat alapján a fejtési lejáró rámpa térbeli helyzetétől függetlenül egy vetődés átvágással történő megoldásánál a következő nagyságú ásványvagyon veszteséggel kell számolni:

$$Q = \left( (1 \cdot M^2 \cdot \delta) / 2 \right) \cdot (2n - 1) \cdot (\operatorname{ctg} \gamma - \operatorname{ctg} \beta),$$

ha a geometriai elvetési magasságot  $h = n \times M$  képlettel vesszük figyelembe, amelyben:

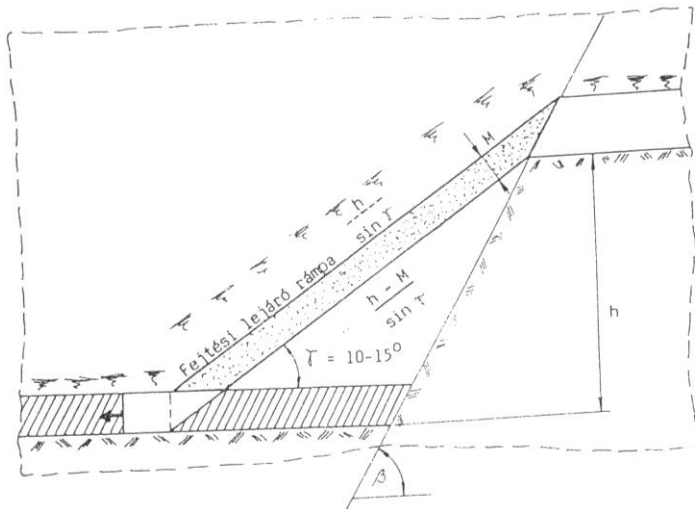
- $n$  átszámítási tényező,
- $M$  művelt telepvastagság [m],
- $\delta$  teleptermelékenység [ $\text{t}/\text{m}^2$ ],
- $\beta$  a vetődés síkjának dőlésszöge,
- $\gamma$  a fejtési lejárórámpa hajlásszöge.

A fejtési lejáró rámpából kikerülő meddő térfogata pedig a 4. ábrán szereplő vázlat szerint a következő összefüggéssel számítható:

$$Q_m = (M^2 \cdot (2n - 1) \cdot 1) / 2 \quad [\text{m}^3],$$

ahol

- 1 a fronthomlok hosszúság [m].

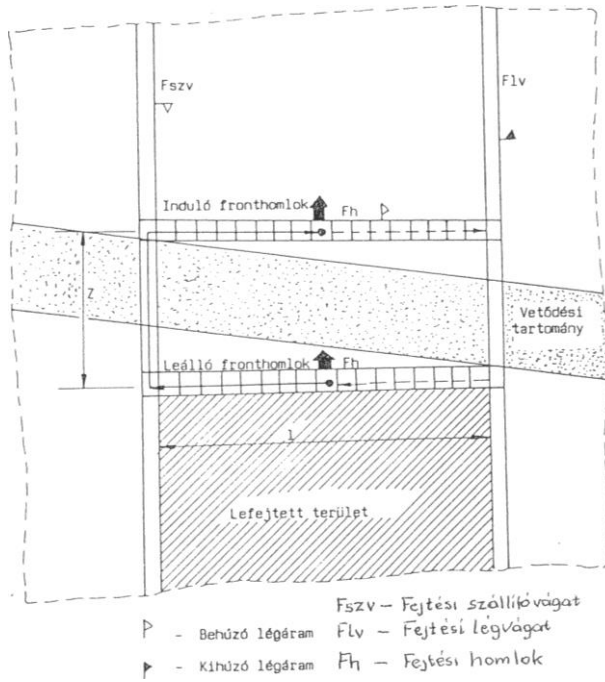


**4. ábra.** Vázlat a fejtési lejáró rámpából kikerülő meddő térfogatának számításához.

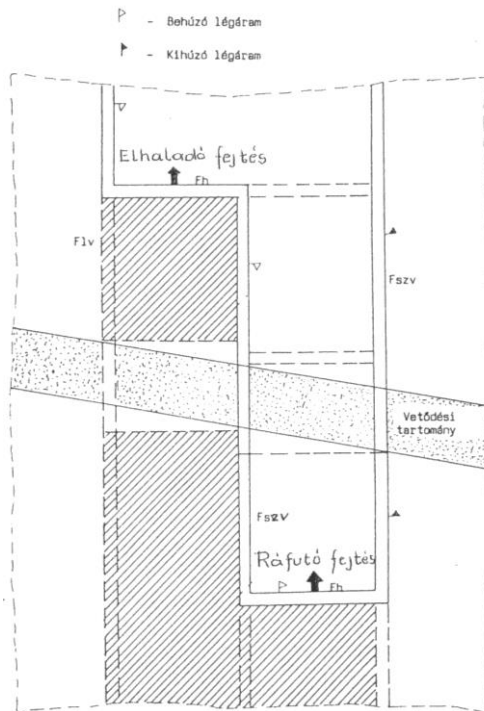
A telepvastagságot lényegesen meghaladó földtani zavargásokon történő hatékony áthaladásra nemzetközi bányászati tapasztalatok szerint kizárólag az *átállítás* vagy a *telepszakasz felhagyás* jöhet szóba.

Ezen megoldások közös műszaki jellemzői a következők:

- a zavargásra ráfutó fejtésnek le kell állnia,
- a zavargáson túl megfelelő időbeli előretartással új frontindító vágatot kell kiképezni,
- a leálló fejtésből a teljes géprendszert le kell szerelni és azokat az új fejtésindító vágatba átvándoroltatni,
- az áthelyezett gépegységeket az új fejtésindító vágatban működőképes rendszerrel kell összeszerelni és a biztonságos továbbhaladásra beüzemeltetni.



5. ábra. Frontátállás teljes fronthomlokhosszal.



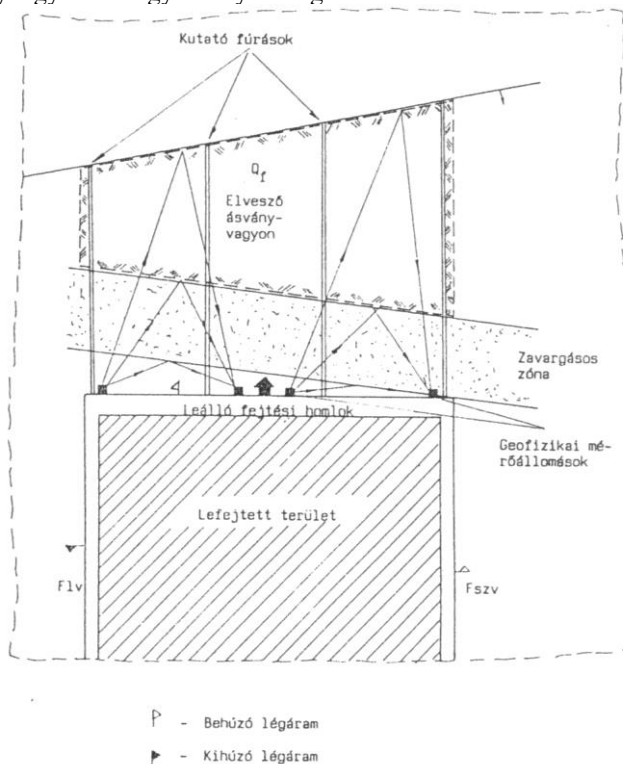
6. ábra. Frontátállás fél fronthomlokhosszas megoldással (staféta rendszer).

A földtani zavargási tartományon történő áthaladás frontátállással az 5. ábrának megfelelően történhet teljes homlokhosszal vagy a 6. ábra szerint fél fronthomlok hosszal. Az utóbbi megoldás előnye a fejtési berendezések gyorsabb átvándoroltathatósága, viszont jelentős hátránya, hogy egy különálló harántoló vágat kihajtása szükséges.

A földtani zavargáson fejtés átállással történő áthaladás bármelyik változatának előnyei a következők:

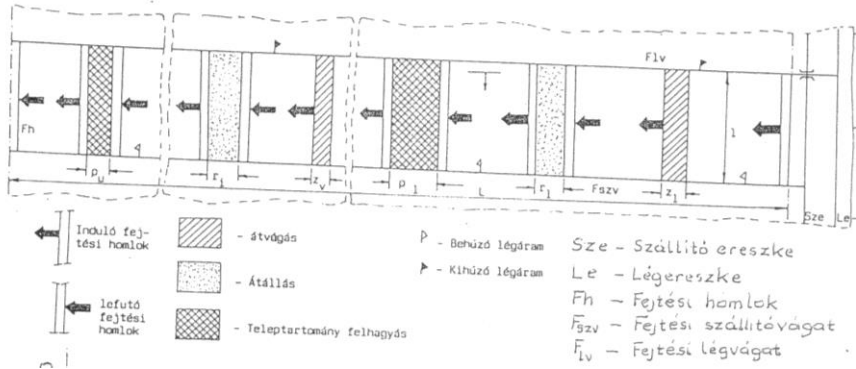
- a ráfutó és az induló fejtési homlok elvileg a zavargásig haladhat, illetve attól indulhat, s így az ásványvesztés csekély mértékű lehet,
- meddő kitermelésére csak a zavargáson áthaladó fejtési vágatszakszakokon van szükség. Az ezekből kikerülő meddő viszont a lefejtett területen egyszerűen elhelyezhető.

A geológiai zavargások közé ékelődött telepszakasz felhagyását akkor célszerű megvalósítani, ha az elvesztendő ásványvagyon értéke kisebb, mint az átvágással, vagy átállással történő fejtés tovahaladás költségei. Adott telepszakaszra felhagyásáról csakis nagyon körültekintően, gondos és sokoldalú kutatások elvégzése, valamint naprakész kiértékelése alapján lehet megnyugtatóan dönteni. A 7. ábra példaként a célszerűen alkalmazható kutatási létesítmények elhelyezését mutatja be egy telepszakaszra vonatkozóan az ásványvagyon felhagyás helyes megítélése érdekében.



7. ábra. Kutatási objektumok egy telepszakaszon a felhagyás megítéléséhez.

Napjainkban a fejtési sávok kitermelésének megítélésében alapvető jelentőségű, hogy a rentabilitási mutató  $R \geq 1$  feltétel teljesüljön, vagyis a kinyerhető ásványvagyon gazdasági értéke ( $K_a$ ) nagyobb legyen, mint a leműveléssel kapcsolatban felmerülő  $\sum K_i$  költségek összege.



8. ábra. A földtani zavargások legáltalánosabb megoldási módjai a fejtési sávban.

Egy fejtési sáv leművelésében a 8. ábra szerint a legáltalánosabb eset az lehet, ha a fejtési homlok előrehaladása során jelentkező földtani zavargások megoldására *átvágást, átállást, illetve telepszakasz felhagyást* egyaránt alkalmazni kell. Ebben az esetben a kitermelhető ásványvagyon gazdasági értéke a következő összefüggéssel állapítható meg:

$$K_a = \left( L - \sum_{i=1}^k z_i - \sum_{i=1}^j r_i - \sum_{i=1}^u p_i \right) \cdot 1 \cdot M \cdot \gamma \cdot \xi \cdot k_a, \quad [\text{Ft}]$$

amelyben

- $L$  a leművelendő fejtési sáv kifutási hossza,
- $1$  az alkalmazott komplex gépesítésű *frontfejtés* homlokhossza,
- $M$  a művelt telepvastagság,
- $\gamma$  a kitermelendő ásványanyag átlagos térfogati sűrűsége,
- $\xi$  a felhasznált fejtési technikára és technológiára jellemző átlagos kitermelési tényező,
- $k_a$  kitermelendő ásványanyag (hazai vagy világszerte) eladási ára Ft/t,
- $z_i$  az *átvágással* megoldandó fejtési sáv hossza,
- $i = 1 \dots k$  az *átvágással* megoldandó fejtési szakaszok száma,
- $r_i$  az *átállással* megoldandó fejtési sáv hossza,
- $i = 1 \dots j$  az *átállással* megoldandó fejtési szakaszok száma,
- $p_i$  a *telepszakasz felhagyással* megoldandó fejtési sáv hossza,
- $i = 1 \dots u$  a *telepszakasz felhagyással* megoldandó tartományok száma,

Az  $R$  rentabilitási tényezőben szereplő összes költségek a földtani zavargások típusainak legáltalánosabb figyelembevételével egy fejtési sávra vonatkozóan a következő ráfordításokból tevődnek össze:

1. a fejtés előkészítő vágatok (szállító és lég) kihajtása

$$K_1 = L \cdot (S_{1szv} \cdot k_{1szv} + S_{1lv} \cdot k_{1lv}), \quad [\text{Ft}]$$

amelyben

- $S_{1szv}, S_{1lv}$  a fejtési szállító és légvágat kitörési szelvényterülete [ $\text{m}^2$ ],
- $k_{1szv}, k_{1lv}$  a fejtési szállító, illetve légvágat összes fajlagos kihajtási költsége [ $\text{Ft}/\text{m}^3$ ].

## 2. a frontindító, illetve leszerelő vágatok létesítése

$$K_2 = 2 \cdot 1 \cdot S_{2iv} \cdot k_{2iv}, \quad [\text{Ft}]$$

ahol

$S_{2iv}$  a frontindító, illetve leszerelő vágatok kitörési szelvényterülete [ $\text{m}^2$ ],

$k_{2iv}$  a frontindító, illetve leszerelő vágatok kihajtásának fajlagos költsége [ $\text{Ft}/\text{m}^3$ ].

## 3. a fejtési berendezések be és kiszerelése

$$K_3 = 1 \cdot (k_{3bsz} + k_{3ksz}), \quad [\text{Ft}]$$

amelyben

$k_{3bsz}, k_{3ksz}$  a fejtési berendezések be illetve kiszerelésének fajlagos költségei [ $\text{Ft}/\text{m}$ ].

## 4. a fejtési előkészítő vágatok fenntartása

$$K_4 = 2 \cdot L \cdot t \cdot \eta \cdot k_{4f}, \quad [\text{Ft}]$$

ahol

$t$  a fejtési sáv teljes életútja során a szállító és a légvágat fenntartási ideje [nap],

$\eta$  a fenntartandó fejtési vágathossz hányadot kifejező tényező,

$k_{4f}$  a fejtési szállító és légvágat fajlagos fenntartási költsége [ $\text{Ft}/\text{m}$ , nap].

## 5. a fejtésindító és leszerelő vágatok fenntartása

$$K_5 = 2 \cdot 1 \cdot t' \cdot \eta' \cdot k_{5f}, \quad [\text{Ft}]$$

amelyben

$t'$  a fejtésindító és leszerelő vágatok fenntartási ideje [nap],

$\eta'$  a fejtésindító és leszerelő vágatok hosszának fenntartandó hányada a teljes élettartamuk során,

$k_{5f}$  a fejtésindító és leszerelő vágatok fajlagos fenntartási költsége [ $\text{Ft}/\text{m}$ , nap].

## 6. a fejtési sáv ásványvagyonának kitermelésével kapcsolatos összes közvetlen kiadás

$$K_6 = L \cdot 1 \cdot M \cdot \gamma \cdot \xi \cdot k_6, \quad [\text{Ft}]$$

ahol

$k_6$  a fajlagos összes termelési önköltség, amely magában foglalja a folyamatos üzemvitellel a javításokkal és karbantartásokkal kapcsolatos ráfordításokat, valamint az állóeszközök megfelelő amortizációs hányadát is [ $\text{Ft}/\text{t}$ ].

## 7. a lefutó fejtési sávból, az újonnan indulóba a fejtési berendezések átvándoroltatása

$$K_7 = 1 \cdot q_b \cdot (L+1) \cdot k_7, \quad [\text{Ft}]$$

amelyben

$q_b$  a fejtési berendezések fajlagos tömeg [ $\text{t}/\text{m}$ ],

$(L+1)$  a fejtési gépi berendezések átlagos átvándoroltatási úthossza, ha az egymás mellé sorakozó fejtések következetesen mezőbe vagy hazafelé haladnak [m],

$k_7$  a gépi berendezéseknek a lefutó fejtésből az indulóba történő átvándoroltatásával kapcsolatos fajlagos költségek [ $\text{Ft}/\text{m}$ ].

Ha egy fejtési sáv leművelése során a földtani zavargások megoldásában többféle műszaki megoldás felhasználására kerülhet sor, akkor a rentabilitási mutató teljes általánossággal a következő összefüggéssel számítható:

$$R \geq K_a / \sum K_i \geq 1 .$$

Ebből az általános összefüggésből azokra az esetekre vonatkozóan, amikor kizárólag egyetlen vagy kettős telepzavargási megoldásra van lehetőség, a megfelelő érvényű képletek egyszerűen lezármaztathatók.

Végül azok a változatok is hatáson mérlegelhetők, amikor egy adott bányamező, illetve bányauzem teljes ásványvagyonra meghatározott földtani adottságok esetén kizárólag frontfejtésekkel nyer kitermelést.

## Zárószó

Tárczy-Hornoch Antal professzor úr egyéni teljesítménye a matematikai módszerek bányászati feladatok megoldására történő kis- és széleskörű elterjesztése terén önmagában véve is tiszteletre méltó. Ennél nagyságrendileg talán még nagyobb jelentőségű, hogy olyan tehetséges tanítványokat nevelt ki és indított el a messze ívelő életpályájukon, akik után a matematikai módszereket láncreakciószerűen kidolgozták és elterjesztették a bányászat legkülönbözőbb tématerületein:

- az egyenes és a forgató vetődések legszélesebb körű megoldására, beleértve a vetőmenti vízvédelmi pillérek méretezését is,
- a bányauzemi paraméterek optimalizálására,
- az optimális fronthomlokhossz megállapítására,
- az optimális fejtés kifutási hossz meghatározására,
- az optimális fejtési mező méretek kiszabására,
- a fejtésmezei bekötő folyosók optimális telepítési helyének kijelölésére,
- a meredekdőlésű telepek kitermelésére vonatkozóan az optimális szintosztás megállapítására,
- az aknák optimális telepítési helyének meghatározására,
- az optimális aknamező méret kiszabására,
- az optimális bányauzemi termelési kapacitás kiszámítására.
- Az ásványvagyon műrevalósági megítélésével kapcsolatos üzemi és nemzetgazdasági vizsgálatok számítási metodikájára,
- A bányászati technológiai rendszerek (külfejtés, mélyművelés, víznívó alóli kitermelés, fűrőlyukas leművelés) legcélszerűbb tér és időbeli telepítésének szintézisére,
- Az ásványvagyon termelési vertikumban történő komplex hasznosításának átfogó jellegű rendszerelméleti vizsgálati eljárásaira,
- Az ásványi erőforrások globális gazdasági kiértékelési módszereire a környezetvédelmi követelmények sokoldalú figyelembevételével.

Összegzésül nagy tanítómesterünk születésének századik évfordulója alkalmából az általa kinevelt tudományos és gyakorlati szakemberek nevében szerény főhajtással és a legnagyobb tisztelettel csak annyit mondhatok: 'Professzor Úr! Köszönjük, hogy a tanítványai lehettünk'.

**Irodalom**

**Franz Aubell** (1925): Vorlesungen aus der Markscheidekunde. Berg- und Hüttenmännisches Jahrbuch.

**Tárczy-Hornoch Antal** (1925): Das Verwerferproblem im Lichte des Markscheiders. Verlag Julius Springer.

**Tárczy-Hornoch Antal** (1963): Markscheiderische Studien. Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 1010.

## TÁRCZY-HORNOCH ANTAL MUNKÁSSÁGA A GEOFIZIKA ÉRDEKÉBEN

*Verő József\**

A geofizika meglehetősen új tudományterület. Az első folyóirat, amelynek nevében ez a szó szerepelt, a Gerlands Beiträge zur Geophysik volt 1887-ben - ezt, sok más történelmi adattal együtt természetesen, éppen Tárczy-Hornochtól tudom. Amikor a 20-as évek második felében Tárczy-Hornoch professzor megkezdte működését a soproni Bánya-, Kohó- és Erdőmérnöki Főiskolán, a mai geofizikai nyersanyagkutató módszereknek még csak kis része alakult ki, azok is természetesen a kor mérés- és számítástechnikájának megfelelő színvonalon.

Magyarországon Eötvös működése nyomán ingája és a vele végzett mérések, azok feldolgozása és értelmezése jelentette a geofizikai tevékenység zömét. Tárczy-Hornoch korán bekapcsolódott a hazai Eötvös-inga mérésekbe. Saját elmondása szerint többször vett részt nyári terepmérésekben, ezek során történt meg az, hogy látva a terepi korrekció, pontosabban a környező talaj sűrűség-meghatározásának módszerét - egy kis lapáttal gödröt csináltak a földben, a kivett föld súlyát megmérték, térfogatát pedig úgy határozták meg, hogy a mélyedést tüllel elfedték, a tüllt elsimitották, majd a lyukat kölessel feltöltötték, megmérték a köles térfogatát, és ezekből az adatokból számították a talaj sűrűségét - a csoport vezetőjének kétségét fejezte ki a módszer eredményessége felől. Másnap reggel kapott választ: "Egész éjjel azon gondolkoztam..." - de a válasz nem elégítette ki, Az eset megismétlődött, végül a nagy tromf az volt, "A báró (mármint Eötvös) is így csinálta". A történet mindenesetre jól jelzi azt a nagy tiszteletet is, amellyel Eötvös emlékét őrizték.

Ennek az ingával való ismeretségnek volt a következménye, hogy 1932-ben megjelent Tárczy-Hornoch előadásaiban a geofizika a "Bányászati kutató mérések" című tárgy keretében, a bányamérnök-hallgatók tájékoztatást kaptak az akkori lehetőségekről. Valószínűleg szerepelt előadásában a mágneses érckutató módszer is, bár erre közvetlen bizonyíték nincsen.

A háború után nagyobb tere nyílt a geofizika oktatásának. 1947-ben Sopronban megindult a tiszavirág életű bányakutatómérnök-képzés, amely csak két évfolyamon keresztül tartott, de nem megszüntették, hanem tovább fejlődött, elindult az önálló geofizikus-képzés is. Evvel egy időben Kántás Károly alkalmazott geofizika témakörben magántanári képesítést nyert a soproni egyetemen, és szintén ugyanabban az évben, 1947-ben, Vendel Miklóssal hárman létrehozták a Geodéziai és Geofizikai Munkaközöséget, a mai Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet egyik csíráját.

A negyvenes évek végén, az ötvenes évek elején Tárczy-Hornoch professzor előadott egy "Geofizikai mérések" elnevezésű tárgyat a bányamérnök-hallgatóknak a IV. évben. Adám Antal megőrizte azt a jegyzetet, amely 1950-ben Tárczy-Hornoch előadásai nyomán Auer Vilmos, akkoriban tanszéki mérnöke rendezett sajtó alá. A rövid jegyzet előszavában utalás van arra, hogy ennél az összefoglalásnál sokkal részletesebb előadásokat hallgatnak a bányakutatómérnök-hallgatók. A gravitációs és a mágneses módszert a jegyzet részletesebben tárgyalja, mert viszonylagos egyszerűségük, a megfelelő műszerek olcsósága (talán inkább Magyarországon való könnyebb hozzáférhetősége) miatt bányamérnökök is el tudják végezni a méréseket, és sor kerülhet rá, hogy el is kell azokat végezniük.

A 70 oldal terjedelmű jegyzetben a gravitációs módszerrel, elsősorban az Eötvös-ingával foglalkozó rész terjedelme 31, a mágneses mérésekkel foglalkozó részé 12, a szeizmikáé 11, (elsősorban a refrakciós módszerről van benne szó), a geoelektromos módszerekre 14, egyéb módszerekre (radioaktív, termikus) 2 oldal esik. A jegyzeten lévő feljegyzés szerint az előadásokat maga Tárczy-Hornoch tartotta.

Ebben az időszakban jelentek meg első geofizikai tárgyú tanulmányai. 1949-ben az Eötvös-ingával mért gradiensek kiegyenlítéséről írt, majd a geofizikának a bányászatban betöltött szerepéről (ez a Bányászati és Kohászati Lapokban, 1950-ben jelent meg, evvel kívánta alátámasztani a geofizika oktatását bányamérnök-hallgatók számára), a harmadik pedig érdeklődésére nagyon jellemzően a mágneses deklináció értékének változásáról szolt a Kárpát-medencében. Később is sokszor hallottuk tőle, hogy a régi bányamérési és más térképeken található irányadatok alapján lehetne rekonstruálni a mágneses tér változását a Kárpát-medencében. 1952-ben jelent meg tanulmánya a refrakciós mérések kiegyenlítéséről - természetesen akkoriban nem a nagyszámú geofon szolgáltatott adat számítógépes feldolgozása, hanem néhány mérőpont adatainak minél teljesebb kiaknázása volt a feladat, és erre az általa művelt és kitűnően ismert kiegyenlítőszámítást vélte alkalmasnak. Nem rajta múlt, hogy a fejlődés más irányban folytatódott. Ezen a nyomon továbbhaladva, elég sokat foglalkozott a szeizmikus, egyebek között reflexiós mérések eredményeinek kiegyenlítésével, a kis sebességű fedőréteg miatti korrekció meghatározásával. Az említett cikkek közül több a *Geofisica Pura e Applicata*-ban jelent meg, Mario Bossolasco professzorhoz, a folyóirat főszerkesztőjéhez szoros baráti szálak fűzték.

A kezdeti nehézségek különben sok átszervezést, sőt szervezetlenséget eredményeztek a soproni egyetemen, amint annak magam is részese voltam. 1949-ben a földmérőmérnök-hallgatók egy részét avval az ígérettel vették fel, hogy III. évtől geofizikusok lehetnek, és ez 1951-ben is így maradt. Ekkor fogadta el a Népgazdasági Tanács Tárczy-Hornoch hathatós közbelépésére a geofizikus szak megindítását, akkor, amikor Budapestben is megkezdődött a geofizikus-képzés. Közben a miskolci egyetemen is elindult a geofizikusmérnök-képzés, 1953-ban a két évfolyamot, a sopronit és a miskolcit összetolták Sopronban, így a valaha létezett legnagyobb évfolyam lettünk. Nem tudtuk, hogy e mögött a pécsi uránércbánya igénye húzódtott meg, ahová kéredezés nélkül küldték az évfolyam kétharmadát. Valószínűleg ez játszhatott közre a képzés két helyen való megindításának engedélyezésében is.

A geofizika 1951-ben önálló tanszéket kapott Kántás Károly vezetésével. Ez a tanszék együtt maradt a Fizikai Tanszékkel, sőt elektrotechnikát, előzőleg Simonyi professzor területét is ott oktatták. Tárczy-Hornoch geofizikai érdeklődésű munkatársai közül átadott egyeseket az új tanszéknek, a létszámot pedig az első végzett bányakutató és geofizikus évfolyamokból töltötték fel. Ebben is komoly szerepe volt Tárczy-Hornochnak, egyrészt emberismerete révén, másrészt saját tanszékén kiváló gárdát gyűjtött össze, s mind saját tapasztalatából, mind tanszéki munkatársai révén jól megismerte a hallgatók képességeit.

A munkaközösségből 1955-ben két külön Kutató Laboratórium lett, ezek vezetője Tárczy-Hornoch és Kántás volt.

Nagy változást jelentett az 1956-os év. Mivel Kántás elhagyta az országot, a Geofizikai Kutató Laboratórium léte veszélyben forgott. A helyzetet Tárczy-Hornoch mentette meg avval, hogy elvállalta a két, egymástól függetlennek megmaradt laboratórium igazgatóságát, idejét megosztva a két intézmény között.

Tárczy-Hornoch több geofizikai tárgyú tanulmánya származik az ötvenes évek közepéről. Ezek meredek dőlésű reflektáló síkoknak geofizikai mérésekkel való megha-

tározásával, illetve általában a geofizikai mérésekből származó adatok pontosságával foglalkoznak. Kántással együtt írt a geofizika eredményeiről "A Magyar Tudomány Tíz Éve", rendkívül reprezentatívnak szánt kötetben. A két említett szakcikk Tárczy-Hornoch további geofizikai bűvárkodásainak irányát is kijelölte: egyrészt a számára annyira ismerős térgeometria segítségével próbálta kedvezőtlen esetekben meghatározni a szeizmikus események (robbantás, bányaomlás) helyét, ami elég sok számításra járt, és egyes esetekben heves szakmai vitákra is alkalmat adott, másrészt pedig foglalkozott a geofizikai mérések pontosságának kérdéseivel. Mindvégig jellemző volt tanulmányaira, hogy a geofizikában is geometriai-kiegyenlítő számítási problémát látott, mivel elsősorban ez érdekelt, ilyen jellegű megoldásokat keresett.

A Nemzetközi Geodéziai és Geofizikai Unió tagságával kapcsolatban elég sok probléma merült fel ezekben az években. Magyarország elvileg az Unió tagja volt ugyan, de évekig nem fizette a tagdíjat, emiatt tagságát fel is függesztették. Tárczy-Hornoch az Unió közgyűlésein rendszeresen részt vett, minden befolyását latba vetette egyrészt külföldi barátain keresztül, másrészt pedig idehaza, hogy olyan megoldás születne, amely elfogadható pénzügyi megterhelést jelent Magyarország számára, egyúttal lehetővé teszi a tagság fenntartását.

Igazgatóságának elejére esett a Nemzetközi Geofizikai Év. Még Kántás kezdeményezésére létesült Nagycenken a geofizikai obszervatórium. Az obszervatórium első eredményeinek közlése az *Acta Technica*-ban elég sok nehézséggel járt, meglehetősen nagy volt a jelentés terjedelme, más műszaki szakterületek képviselői értetlenül álltak a számtömeg előtt. Az első éves jelentés ott jelent meg, de valószínűleg éppen ennek a problémának volt következménye, hogy hamarosan elindult az *Acta Technica*-ban belül a *Series Geodaetica et Geophysica*, majd a sorozat önálló Actává vált, ennek főszerkesztője természetesen Tárczy-Hornoch lett. A publikálásnak mindig nagyon nagy jelentőséget tulajdonított, a harmincas években már tapasztalatokat szerzett a soproni egyetem kiadványa révén ezen a területen. Gyakran hangoztatott véleménye szerint a legnagyobb siker, amit publikáció elérhet az, hogy bekerül a tankönyvekbe.

Tárczy-Hornoch szoros kapcsolatban volt a freibergi Bergakademie-vel, ott is különösen Otto Meisser professzorral. Számos alkalommal látogatták meg egymást, közös kutatásokról folytattak megbeszéléseket, publikáltak egymás folyóirataiban, magam is első hosszabb külföldi utamon Meisser professzor vendégszeretetét élvezhettem. Ennek a kapcsolatnak az eredménye volt az is, hogy a két laboratórium munkatársai 1961-ben csoportos látogatást tettek az NDK-ban, ami akkoriban nem volt mindennapos esemény különösen, ha figyelembe vesszük, hogy még nem állt a berlini fal. Ahhoz, hogy feleséggel együtt részt vehessünk ezen a kirándulással egybekötött tanulmányúton, bizony szükség volt Tárczy-Hornoch hathatós segítségére.

Sopronnal egyidejűleg indult a geofizikus szak az Eötvös Loránd Tudományegyetemen. Egyed László professzor lett a tanszék vezetője. Sikerült akadémiai kutatócsoportot is létrehozni. Ez a párhuzamosság szinte elkerülhetetlenül összeütközéshez vezetett a két tanszék, illetve intézmény vezetője között. A fennmaradt levelezés alapján nagyjából rekonstruálhatók azok az események, amelyek akkoriban lejátszódtak, és amelyeknek mi, a Geofizikai Laboratórium munkatársai csak néma szemlélői voltunk, hiszen akkoriban nemegyszer a párt szava volt döntő, ehhez pedig megfelelő kapcsolatokra volt szükség.

A viták már 1958-ban indultak meg, ekkor készült Egyed tervezete egy Földfizikai Intézet létesítésére. A tervnek sokféle változata lehetett, volt úgy, hogy a két soproni laboratóriumot egyesíteni kívánták, ezen belül lett volna Geomágneses-tellurikus osztály, és hozzá csatlakozott volna Egyed pesti gárdája, de volt később olyan terv is, hogy

az intézet két főosztályból állt volna, egyik Sopronban, a másik Budapesten, mindegyik 5-6 osztállyal, összesen 122 fővel (ez a terv 1963-ban született meg). A szinte megoldhatatlan probléma a két akadémikus egymáshoz való viszonya volt. Eltérő érdeklődésük, saját tudományos presztízsük megvédése miatt az intézet létrehozása körüli viták elég élesek voltak, keresték a külső támogatást is, részben a Magyar Geofizikusok Egyesületében, részben az Akadémia szerveinél. A sok vihart kavaró átszervezési ügynek valószínűleg az vetett véget, hogy a terv túlságosan nagyra törővé vált és a 13 milliós beruházást, illetve az évi 5 milliós bérköltiséget, egész sor obszervatórium létesítését, működtetését nem vállalták az illetékesek.

Amíg a viták folytak, Tárczy-Hornochnak viszonylag kevesebb geofizikai tárgyú publikációja született, viszont új témaként jelentkezett a tellurikus állomásellipszis számítása. Újra foglalkozott a földrengések hipocentrumának, illetve robbantások helyének meghatározásával, a robbanóanyag mennyisége és a keltett rezgés amplitúdója közötti kapcsolat kiegyenlítésével való számításával és néhány hasonló kérdéssel. Evvel kapcsolatban emlékezetes vitája volt két német kollégával, akik geometriai megoldását bírálták. Voltaképpen ismét az eltérő felfogás húzódtott meg a vita mögött: a tisztán geometriai geodéziai pontbekapcsolások esetében a geometriai megoldás egyben a valóságos megoldást is jelentette, mert sem a két mérési pont közötti közeg fizikai sajátságai, sem a "forrás" sajátságai nem zavarják az eredményeket, az ezekből adódó "mérési hibák" pedig a távolságoknak csak parányi részét teszik ki. Emellett a megfigyelési pontok megválasztása sem tetszőleges a rengéshullámok esetében, a meglévő lehetőségekhez kell ragaszkodni.

Sok tanulmánya foglalkozott a hatvanas-hetvenes években a geofizika helyzetével, fejlődésével, ezen belül a Geofizikai Laboratórium tevékenységével. Akkor is, amikor 1971-ben véget ért igazgatói megbízása, szívesen vállalkozott ilyen feladatokra, hiszen történelmi érdeklődése mindig élénk volt. Így írt Eötvös ingaméréseinek történetéről, ahol saját tapasztalatai alapján helyesbített egyes hibás adatokat. Általában is egyik legfőbb tanítása a pontosság, megbízhatóság volt. Gyakran lázadoztak munkatársai nagy követelményei ellen, a számítási pontosság, a normálegyenletek megoldásának nehézségei miatt, de abban mindenkor biztosak lehettünk, hogy az általa átnézett (hiszen sokáig minden a laboratóriumokból kikerülő tanulmányt elolvasott) tanulmányokban felületességből eredő hiba nem maradt.

Tárczy-Hornoch Antal működése megteremtette a mai Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet hírnevét, személyes munkássága, kiterjedt kapcsolatai, munkatársai iránti segítőkészsége sokban hozzájárult ahhoz, hogy az Intézet és már elődjei is nemzetközi hírnevet szereztek az egész magyar geofizikának. Kétségtelen, hogy személyében a magyar geofizika, zen belül a geofizikai oktatás egyik megteremtőjére emlékezünk.

(A megemlékezés teljes, valamivel hosszabb, ábrákkal kiegészített szövege a Magyar Geofizikában jelenik meg).

## TÁRCZY-HORNOCH ANTAL PROFESSZOR SZEREPE A GEODÉZIÁBAN

*Detrekői Ákos\**

### Bevezetés

100 éve született Tárczy-Hornoch Antal professzor. Tárczy-Hornoch Antal az 1990-as évek nemzetközileg legelismertebb magyar geodétája volt, aki nemzetközi elismertsége mellett meghatározó személyisége volt a magyar geodéziának is. Most, amikor emléke előtt tisztelgünk, érdemes számba venni sokirányú geodéziai tevékenységét. Személyében együtt találhatjuk meg a tudóst, az egyetemi professzort és a szakmapolitikust. Az említett három tevékenység értelemszerűen szorosan kapcsolódott egymáshoz. Előadásomban az áttekinthetőség kedvéért mégis külön tárgyalom életművének egyes oldalait.

### Tárczy-Hornoch Antal geodéziai tudományos tevékenysége

Tárczy-Hornoch Antal tudományos tevékenységének talán legfontosabb jellemzője a sokirányú érdeklődés, amelynek eredménye képen a geodézia számos területén alkotott maradandót. Az előadásra készülve személyes emlékeimet számba véve kíséreltem meg összegyűjteni tevékenységének legfontosabb területeit. Rövid idő elteltével beláttam, hogy egy többé-kevésbé reális kép felvázolása csak saját emlékeimre hagyatkozva reménytelen. Ezek után a Magyar Geodéziai Irodalom egymást követő kötetei alapján, a Magyar Geodéziai Irodalom 1498-1960 kötet (szerkesztő: Dr. Bendefy László, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1964) csoportosítását alapul véve, megszámláltam Tárczy-Hornoch Antal különböző geodéziai területekkel foglalkozó munkáinak számát. Az egyes területeket az előfordulási gyakoriságáról a következő eredményhez jutottam:

- Kiegészítő számítások 77,
- Geodéziai műszertan 43,
- Alappont meghatározások 39,
- Bányamérés 27,
- Szakmatörténet 17,
- Vetülettan 16,
- Geodéziai szervezetek 16,
- Méréstechnika 14,
- Földrajzi helymeghatározás 6,
- Fotogrammetria 5,
- Földnyilvántartás 3,
- Mérnökgeodézia 1.

Az imponáló felsorolás után következhetne az egyes területek szerinti részletes méltatása. Az előadás terjedelmi korlátai miatt a méltatáskor már megengedem magamnak a szubjektív hangvételt, s ennek megfelelően azt, hogy csupán a számomra legfontosabbnak tűnő, vagy valamilyen más szempontból érdekes eredményekre térjek ki. (Tisztában vagyok azzal, hogy a szubjektív választás nem mindenkinek a véleményével egyezik, s elképzelhetőnek tartom, hogy mások joggal mást emelnének ki a rendkívül fontos

*\*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.*

eredmények közül). A korlátozott idő az oka annak is, hogy a felsorolt területek mind-egyikével nem foglalkozom.

A felsorolásból is kitűnik, hogy Tárczy-Hornoch Antal munkásságában meghatározó jelentősége volt a **kiegyenlítő számításoknak**. Ezen a területen korának nemzetközi szinten is kiemelkedő fontosságú egyénisége volt. Számos eredménye közül hármat emelek ki. Kezdem a legkedvezőbb súlyelosztással kapcsolatos, a 30-as évekre visszanyúló vizsgálataival. Ezek a vizsgálatok több évtizeddel megelőzték a geodéziai hálózatok optimális tervezésével kapcsolatos – a nemzetközi szakirodalomban rendkívül elterjedten tárgyalt - vizsgálatokat. A sort a kiegyenlítés egy új csoportjának a kidolgozásával folytatom. Ezt a csoportot a magyar geodéziai szakirodalomban röviden VI. kiegyenlítési csoportnak nevezik. A csoport a feltételi és a kényszerfeltételi egyenletek együttes felhasználásán alapul. Harmadikként a hibaellipszissel összefüggő vizsgálatait említem. Az egyes kiemelt témák mellett az egész szakterület fejlődése szempontjából nagyon fontosnak érzem, hogy a kiegyenlítő számítások módszereit rendkívül tudatosan alkalmazta a különböző geodéziai feladatok megoldására.

Tárczy-Hornoch Antalnak meghatározó szerepe volt a magyarországi **műszertan** és ezen keresztül a több évtizeden át igen sikeres magyarországi **műszergyártás** kialakulásában. Tevékenysége a műszertanon belül is rendkívül sokrétű volt. A földrajzi helymeghatározáshoz szükséges libellák vizsgálatától, a teodolitok állótegyenlítő ingadozásának, illetve a kényszerközponosító berendezések vizsgálatán keresztül egészen a szögprizmák vizsgálatáig terjedt. Talán munkásságának ez a része volt az, ahol legjobban érvényesült iskolateremtő tevékenysége.

Az **alappont meghatározásokkal** kapcsolatos vizsgálatai szorosa kapcsolódtak a kiegyenlítő számításokhoz. Őt is érdekelték a síkbeli és a térbeli hátrametszés megoldásának különböző lehetőségei. Ez utóbbi kapcsán neve hamar bekerült a fotogrammetria ismert kutatói közé. Foglalkoztatták a nagy hálózatok kiegyenlítésnek - a számítógépek elterjedését megelőzően nélkülözhetetlen – egyszerűsítő megoldásai, s a bányaméréshez szükséges sajátos alappont sűrítési feladatok.

Végzettségéből és az általa vezetett tanszék jellegéből adódóan kiterjedten foglalkozott a **bányamérés** különböző problémáival. Vizsgálatai a bányamérés speciális műszereitől a sajátos eljárásokig terjedtek. Érzékelhető, hogy a kiegyenlítő számításokkal kapcsolatosan említett vizsgálatainak egy része is a bányamérés kapcsán felmerült kérdések megoldásával függ össze.

Mint a tudósok nagy részét Tárczy-Hornoch Antalt is foglalkoztatta az elődök tevékenysége. Számos tudósról, mérnökről írt tanulmányt. **Szakmatörténeti** tevékenységében talán Mikovinyi Sámuel munkáival foglalkozott a legtöbbet.

A **vetületannal** kapcsolatos munkásságából egy a gyakorlati feladattal kapcsolatos témát a Gauss-Krüger vetület sávjai közötti átszámítások vizsgálatát emelem ki. Ebben a témában Hazay István professzor úrral könyvet írt, Szádeczky-Kardoss Gyulával közösen táblázatot tett közzé.

Tárczy-Hornoch Antal nevét **méréstechnikával** kapcsolatos vizsgálatai is ismertté tették. Ezek közül számomra az invárdrotokkal kapcsolatos az 1930-as években Esztó Péterrel közösen végzett vizsgálatok jelentették a legnagyobb élményt.

Tárczy-Hornoch Antal **fotogrammetriai** kutatásai közül a térbeli hátrametszél megoldásával kapcsolatos munkája nemzetközi visszhangot váltott ki. Szakmai érdeklődésének sokszínűségét mutatja, hogy szintén az 1930-as években dolgozatot tett közzé a tagosítások szükségességéről, s volt mérnökgeodéziai tárgyú dolgozata is.

Tárczy-Hornoch Antal sokoldalú tudományos tevékenységét saját korában is elismerték. 1946-ban tagja lett a Magyar Tudományos Akadémiának. 1949-ben Kossuth-

díjjal, 1966-ban Állami Díjjal tüntették ki. Több egyetem tiszteletbeli doktorrá avatta, a Bajor Tudományos Akadémia Német Geodéziai Bizottsága tagjává választotta.

### **Tárczy-Hornoch Antal a professzor**

Tárczy-Hornoch Antal rendkívül fiatalon 1926-ban kapott egyetemi tanári kinevezést. Szent-Istványi Gyula utódként lett Sopronban a geodézia és bányaméréstan professzora. Egyike volt azon fiatal jeles tudósoknak, akiket Kebelsberg Kúnó minisztersége idején külföldről hívtak meg magyar egyetemi katedrára.

Tanári tevékenységét a tudományos megalapozottság és a szakmai következetesség jellemezte. Tanári tevékenységéről volt tanítványai számos történetet meséltek, amelyekből kiderült rendkívül szigorú, de igazságos egyénisége. Professzori tevékenységének részeként tankönyvet írt kiegyenlítő számításokból, bányaméréstanból, felsőgeodéziából.

Tanárként iskolateremtő egyénisége volt. Tanítványai közül többen maguk is egyetemi tanárok, akadémikusok lettek. Az általa létrehozott soproni iskola napjainkban is él.

Egyetemi tanárként egyetemi vezető feladatokat is ellátott. 1942/43-as tanévben az akkor a József nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Bánya-, Kohó- és erdőmérnöki Kar dékánja volt.

### **Tárczy-Hornoch Antal a szakmapolitikus**

Tárczy-Hornoch Antal nagy szakmai tekintélye lehetővé tette, hogy meghatározó szerepet játsszon a hazai és nemzetközi geodézia szervezetekben, hatást gyakoroljon a geodézia oktatására kutatására.

Szakmapolitikusi tevékenységének jelentős eredménye volt, hogy 1949-ben megkezdődött Magyarországon az egyetemi szintű földmérő mérnök képzés. A képzésben több tárgy oktatásával maga is tevékenyen részt vett.

Nevéhez kapcsolódik az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézetének létrehozása. Ennek az Intézetnek 1960-1972 között igazgatója volt. Tevékenysége alatt az Intézet nemzetközi jelentőségű és elismertségű kutatóhellyé, a magyarországi geodéziai műszergyártás és a magyar bányászat tudományos háttér intézményévé vált.

Számos szakmai szervezet létrejöttében és tevékenységének alakításában is meghatározó szerepet játszott. Alapító elnöke volt az MTA Geodéziai Tudományos bizottságának, az UGGI Magyar Nemzeti Bizottságának, a Geodéziai és Kartográfiai Egyesületnek. Képviselte Magyarországot a Nemzetközi Geodézia és Geofizika Unióban, a Nemzetközi Fotogrammetriai Társaságban.

Tárczy-Hornoch Antal nagy nemzetközi tekintélye tette lehetővé, hogy Magyarország már az 1960-as évek elején jelentős szakmai tanácskozások színhelyévé válhatott.

Tárczy-Hornoch Antal 100. Születésnapját ünnepeelve szakmánk egyik legnagyobb egyénisége előtt tisztelgünk. Szerencsések vagyunk azok, akik személyesen is ismerhettük, s tanulhattunk Tőle nemcsak szakmát, de emberi, tudósi tartást is.

## AZ AKKREDITÁLT KALIBRÁLÁS JELENTŐSÉGE ÉS FELTÉTELEI

*Dr. Bölöni Péter\**

*A nemzetközileg egyeztetett metrológiai fogalmak és meghatározásai, valamint az akkreditált kalibrálás tartalma és feltételei még nem általánosan ismertek és elfogadottak a geodéták számára, ezért a megváltozó jogi és gazdasági környezethez történő alkalmazkodás elősegítése érdekében szükséges ezek rövid áttekintése.*

### Bevezetés

A minőségbiztosítási rendszerek következetes kiépítésének, alkalmazásának és utóbb szabványosításának és tanúsításának igényét a védelmi erők beszerzői és ellátói fogalmazták meg először. Az elv és az alkalmazás olyan jól sikerült, hogy ez a koncepció ma talán a legelterjedtebben alkalmazott vállalatvezetési elv vagy módszer, amelynek legfontosabb eleme az események nyomon követhetőségének igénye. A terméket a kiindulási anyagoktól és az előállítás során igénybe vett szolgáltatásoktól a technológiai folyamat különböző fázisain át a továbbadásig (el-, vagy átadásig) számos kvantitatív paraméterrel jellemzik, amelyek többségének meghatározása méréssel lehetséges. A minőségbiztosítási rendszerekben így alapvető jelentősége van a mérési eredményeknek, amelyek megfelelőségének biztosítására is minőségbiztosítási elveket és módszereket alkalmaznak. Ahogy a termelési folyamat alapvető jellemzője és a termék minőségének egyik meghatározója a termelőeszköz (a gép) képessége illetve megfelelősége, úgy a mérési folyamat alapvető tényezője és az eredmény minőségének egyik meghatározó eleme a mérőeszköz pontossága és stabilitása.

### A gazdasági és jogi környezet változása

Az értéktermelő és értékmegőrző folyamatokhoz alkalmazott mérési eredmények számának rohamos növekedésével a mérések területén is felgyorsult a feladatmegosztás és a specializáció. Különböző specialisták tervezik a mérőeszközöket, irányítják a mérőeszközök gyártását, irányítják azok telepítését és üzembe helyezését, használják azokat, ellenőrzik azokat, értékelik ki az eredményeket és igazolják a termékek vagy szolgáltatások megfelelőségét más specialisták által végzett mérések eredményei alapján. A mérőeszközt használó specialista kevésbé ért a mérőeszköz ellenőrzéséhez, az ellenőrző pedig inkább az ellenőrzéshez ért, mint a használathoz. Mindkettőt a saját tevékenységének eredménye és felelőssége motiválja elsősorban és nem a másiké. A mérőeszközök számának növekedésével, azok bonyolultabbá válásával és a mérendő mennyiségek körének bővülésével a mérőeszközök használói egyre kevésbé tudják megítélni a mérőeszköz ellenőrző tevékenységének színvonalát, illetve egyre kevésbé tudnak megbizonyosodni az ellenőrzés helyességéről. A használók többsége általában azt sem tudja, hogy milyen szervezeti vagy működési és műszaki feltételek vagy követelmények teljesítését várhatja el az ellenőrzőtől.

\*SZENZOR-METROLÓGIA Metrológiai Tanácsadó és Tanúsító Kft.  
1055 Budapest, Szent István körút 11. Fax: 474 32 32  
Tel: 374 33 21; 06 209 326 457; 06 209 326 458  
E-mail: consulting@szenzor-metrologia.hu

Az a modern szervezési elv, hogy a szervezet a segédszolgáltatásokat külső felektől vegye igénybe, sok helyen a mérőeszközök ellenőrzésére is kiterjedt. Nem csak a portaszolgálat, a takarítás és a büfé került "kiszervezésre", hanem sokszor - esetenként csak virtuális létszám és költségcsökkentésként - a mérőeszközök kalibrálását is idegen, ilyen tevékenységre szakosodott szervezet végzi, szerződés keretében és díjfizetés ellenében. Mivel maguk a kalibrálási szolgáltatások igénybevevői sokszor nem tudják minősíteni, hogy a szolgáltatás megfelelő-e, olyan szervezetek is létrejöttek és kerestek illetve keresnek legális megerősítést, amelyek a laboratóriumok szolgáltatásra való alkalmasságát mérik fel és igazolják.

Pontosabban: a kalibrálás a mérőeszköz metrológiai jellemzőinek, elsősorban az eszköz által szolgáltatott értékek és a mérendő mennyiség etalonnal mért vagy reprodukált értékei közötti összefüggésnek a meghatározása (nem előírása, hanem megmérése). Az akkreditálás pedig annak hivatalos elismerése egy ilyen tevékenységre kijelölt vagy feljogosított szervezet (az akkreditáló) által, hogy a laboratórium képes (alkalmas, kompetens) a laboratóriumok működésére vonatkozó szabályok szerint, az általa vállalt vizsgálati és kalibrálási szolgáltatásokat nyújtani. A kompetenciakövetelményeket (MSZ EN 45001) valamint az akkreditálási eljárásra (MSZ EN 45002) és az akkreditáló szervezetre (MSZ EN 45003) vonatkozó követelményeket ma Magyarországon egyre inkább korszerűsítésre szoruló szabványok rögzítik. A kompetenciakövetelményeket rögzítő nemzetközi szabvány legújabb változatát (ISO/IEC 17025) 1999 végén fogadta el a Nemzetközi Szabványosítási Szervezet (ISO) és a Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság (IEC, valójában a nemzetközi elektrotechnikai szabványosítási szervezet). A szabvány hazai bevezetése és alkalmazása Európai - Uniós elvárás. A kompetenciakövetelményeket tartalmazó alapszabványt egyre növekvő mennyiségű normatív dokumentum egészíti ki, mivel az akkreditálás egyik alapszabálya, hogy csak írott, és az akkreditálásra történő jelentkezés során (hivatalosan) a laboratórium tudomására hozott követelményeket kell teljesíteni, illetve ezek teljesítését lehet számon kérni. Magyar specialitás, hogy a mérésügyi jogszabályok<sup>1</sup> szerint kalibrálási bizonyítvány idegen fél részére (másik jogi személynek) csak akkreditált státuszban adható.

A kompetenciakövetelményeket meghatározó alapszabványt olyan általánosan kellett megfogalmazni, hogy az minden kalibrálási (és vizsgálati) területen alkalmazható legyen, a szakterületeknek pedig a kompatibilitás érdekében bizonyos mértékig követni kell az alapszabvány és a kapcsolódó normatív dokumentumok terminológiáját. Értelmezni és alkalmazni kell a visszavezethetőség, a mérési bizonytalanság, a befolyásoló mennyiségek, a referencia feltételek vagy a mérések minőségellenőrzése fogalmakat olyan, egymástól távol eső mérésterületeken, mint a kémiai elemzések (pl. gyógyszerkutatásokhoz), a nagyfrekvenciás átviteltechnika, a gépipari tömeggyártáshoz szükséges hossz-, szög- és alakmérések, vagy a vegyipari folyamatszabályozás (folyadékszint, pH, viszkozitás, nyomás, áramlás, hőmérsékletmérések). Nyilván nem a szaktudományok újrafogalmazása a feladat a nemzetközileg egyeztetett metrológiai alapfogalmak és meghatározásaik figyelembevételével, hanem néhány metrológiai és a megfelelő szakterületi fogalom korrespondenciájának rögzítése és esetleg a szakterületi fogalmak pontosítása. Mivel a kalibrálásra történő akkreditálás során a szakterületi követelmények megfogalmazása és teljesülésének ellenőrzése a szakterületen, a metrológiában és az akkreditálásban jártas szakértők feladata, ezért a szakértők felelőssége nagy. A felelősség vállalható-

<sup>1</sup> A 2000 őszén érvényes jogszabályok az 1991 évi XLV tv. törvény a mérésügyről és a végrehajtására kiadott 127/1991(X.9.) Korm. rendeletet módosító 68/2000 Kormányrendelet; az előbbi kettő a Mérésügyi Közlemények 1992 évi első, az utóbbi a 2000 évi 2. számában megtalálható.

ságához az általános követelmények szakterületi interpretálása, a speciális követelmények meghatározása és a korrespondenciák megfogalmazása csak valamilyen véleményegyeztetés alapján lehetséges, aminek geodéziai mérőeszközök esetén, ma Magyarországon talán a legmegfelelőbb fóruma az MTA Geodéziai Tudományos Bizottságának Mérési és Minőségbiztosítási Albizottsága lehet.

Különösen delikát kérdés a korrespondenciák megfogalmazásának erőltetése egy olyan szakterület esetén, amelynek művelői a történelem során nagyon sokszor jártak a metrológia előtt. A metrológusok sokszor nem is tudják, mekkora volt a korai geodéták hozzájárulása a metrológia kialakulásához és fejlődéséhez. A névtelen sumir, egyiptomi vagy maya mérnök-papok, Erathoszthenész, Schnelius, Cassini, Méchain, Delambre és Gauss mellé büszkén írhatjuk Kruspér István nevét, aki a Méteregeyzmény előkészítése során több mint száz évvel ezelőtt, a *KG* meghatározásával foglalkozó nemzetközi előkészítő bizottságot vezetett. A geodéziához viszonyítva az akkreditálási követelményekben, az általános metrológiában és a minőségbiztosításban kevésbé jártos geodéták és vezetők számára a következő kiindulópontok ajánlhatók.

### **A mérőeszköz ellenőrzés formai okai**

A minőségbiztosítási rendszer működtetése szükségessé teszi, a rendszerszabványok (pl. az ISO 9001) pedig tételesen előírják az alkalmazott mérőeszközök ellenőrzését. A követelmény a rendszert működtető beszállítójára is vonatkozik olyan módon, hogy a minőségbiztosítási rendszert működtetőnek a hasonló rendszert működtető beszállítókat előnyben kell részesítenie az ilyen rendszert nem működtetőkkel szemben. A következő szint a rendszer megfelelőségének tanúsíttatása független, a tanúsításra szakosodott és lehetőleg mennél szélesebb körben elismert tanúsítványt adó szervezet által. Mivel a mérőeszközök ellenőrzöttségének legalább formális ellenőrzése egyszerű, a tanúsításhoz a rendszer megfelelőségét vizsgáló auditorok rendre vagy egyre inkább ellenőrzik a mérőeszközök ellenőrzöttségét. Ennek egyik vadhajtása, hogy sokszor csak a bizonyítvány - a papír - és a kalibrálás jelölése - a címke - fontos az audit idejére, különösen olyan területeken, amelyek távol esnek a minőségbiztosítási rendszerek alkalmazásának klasszikus területeitől. De ha a szervezet működése szempontjából a mérési eredmények megbízhatósága fontos - ha a szervezet által folytatott termelő vagy szolgáltató folyamathoz mérőeszközökből származó megbízható információ szükséges - akkor persze az autentikus eredményekhez a mérőeszközök érdemi ellenőrzése szükséges.

### **A mérőeszköz ellenőrzés lehetséges változatai**

A mérőeszközök ellenőrzésének módoszatai a "szemrevételezés" vagy vizuális inspekció, a működőképesség-vizsgálat vagy funkcióvizsgálat illetve hitelesítésvizsgálat, a kalibrálás, és jogszabály által előírt esetekben a hitelesítés. A szemrevételezés során azt dönti el a szemrevételező, hogy van-e a mérőeszközön olyan elváltozás (pl. külsérelmi nyom, korrózió, hiány) amely kétséggé teszi, hogy a mérőeszköz metrológiai jellemzői megfelelnek a specifikációnak, azaz ránézésre véleményt alkot, hogy a mérőeszköz vélhetően az összes feltételezett/alkalmazandó funkcióban teljesíti-e a reális elvárásokat. Ennek rendjét, tényét és megállapításait dokumentálni kell, ha az ellenőrzés eredménye valóban fontos és dokumentálni szokták formálisan működtetett vagy túlzásba vitt rendszerek esetén. A működőképesség-vizsgálat a mérőeszköz működtetése az összes lehetséges/alkalmazandó funkcióban és a működés során tapasztalt jellemzők inkább szubjektív mint kvantitatív összehasonlítása a várt vagy korábban tapasztalt jellemzőkkel. A működőképesség-vizsgálatára általában átadáskor, átvételkor, bekapcsoláskor vagy

üzembe helyezéskor kerül sor, az utóbbi esetekben általában nem dokumentált módon. A kalibrálás az eszköz egyes metrológiai jellemzőinek meghatározása (vö. **Kalibrálás** és minősítés). A hitelesítés a mérőeszköz megfelelőségének közhitelű tanúsítása arra kijelölt (arra létrehozott, azzal megbízott illetve arra feljogosított) szervezet, Magyarországon az Országos Mérésügyi Hivatal által. A jelenleg érvényes mérésügyi jogszabályok illetve jogszabály alkalmazási gyakorlat szerint a geodéziai mérőeszközök nem hitelesíthetők, mivel nem szerepelnek a kötelező hitelesítésű mérőeszközök listáján, a mérésügyi törvény végrehajtására kiadott kormányrendelet mellékletében. (Hasonló okból nem alkalmazható ellenőrzési mód az ún. hitelesítést helyettesítő minősítés sem).

## Beszabályozás, beállítás illetve igazítás

Van két műveletcsoport, amelyeket a mérőeszközök használata, a mérések előtt el kell végezni (a kalibrálás előtt is, hiszen a kalibrálás valójában speciális célból végzett mérés) és amelyeket célszerű megkülönböztetni. Ezek a beszabályozás és a beállítás. A beszabályozás a gyártás végén, vagy a javítás/szerviz során vagy végén elvégzendő, speciális, az adott mérőeszköz-típusra<sup>2</sup> vonatkozó ismereteket és eszközöket igénylő tevékenység. A beszabályozás során az eszköz változtatható paramétereit olyan módon szabályozzák be, hogy az eszközt a használat előtt a beállító szerveivel (kezelőgombjával) majd illeszteni lehessen az adott mérési feladathoz. Mivel az eszköz használója a használat előtt vélhetően nem rendelkezik megfelelő eszközökkel, szaktudással és idővel a szabályozás elvégzéséhez, a szabályozószervek általában nem könnyen hozzáférhetők és helyzetüket sokszor a jószándékú laikusok elleni védelem céljából elrettentő festéssel vagy bélyegzéssel szokás rögzíteni. Mivel a gyártói specifikáció csak a megfelelően beszabályozott eszköz esetén érvényes, ezért a szabályozás elvben gyártói illetve szervizfelelősséggel jár. A beállítás a mérőeszköz beállító szerveinek illesztése az adott mérési feladathoz és körülményekhez, például az okulár beállítása a távolsághoz és a mérőszemély szeméhez, vagy például az állótengely függőlegesbe állítása. A geodéták számára is ajánlott, hogy egy-egy mérőeszköz használati utasításában illetve a mérési eljárásban világosan rögzítve legyen, hogy mik azok a beállítási műveletek, amiket közvetlenül az eszköz használata előtt és esetleg annak használata során kell elvégeznie (és ebből indirekt módon következzen, hogy mik azok a műveletek, amiket nem szabad a helyszínen végezni). Az eszköz specifikált metrológiai jellemzői az előzetesen megfelelően beszabályozott és a használat előtt és esetleg alatt megfelelően beállított eszköz esetén érvényesek, mérésre használni vagy kalibrálni csak ilyen eszközt szabad illetve célszerű. A geodétáknak el kellene dönteniük, hogy a libella "igazítása" vagy "kiigazítása" adott esetben beszabályozás vagy beállítás, mert ettől függ, hogy a használat és a kalibrálás előkészítő művelete-e, vagy sem.

## Kalibrálás és minősítés

A Nemzetközi Metrológiai Értelmező Szótárban (International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology) közölt definíció szerint a kalibrálás azon műveletek összessége, amelyekkel meghatározott körülmények között megállapítható az összefüggés egy mérőeszköz, vagy egy mérőrendszer által jelzett értékek, vagy egy mérték vagy egy anyagminta által reprodukált érték és az etalon által megvalósított (vagy mért;

<sup>2</sup> Mérőeszköz-típus: azonos tervek alapján, azonos anyagokból és alkatrészekből, azonos technológiával, azonos helyen előállított eszközök csoportja.

a szerző kiegészítése) összetartozó értékek között. Az értelmező szótár megjegyzései a definícióhoz:

1. A kalibrálás lehetővé teszi a mérendő mennyiség értékeinek hozzárendelését a kijelzésekhez, vagy lehetővé teszi a jelzésekhez tartozó korrekciók meghatározását (a korrekció a mérési hiba  $-1$  szerese, a hiba a mért és a helyes érték előjelhelyes különbsége; a szerző magyarázata/kiegészítése).
2. Kalibrálással határozhatók meg más metrológiai jellemzők is, például a befolyásoló mennyiségek hatása.
3. A kalibrálás eredménye kalibrálási jegyzőkönyvben vagy bizonyítványban rögzíthető.

A minősítés a talált metrológiai jellemző összehasonlítása a specifikációval, vagy az igényekkel és döntés a megfelelőségről vagy a nemmegfelelőségről. Míg a kalibrálást nem kell feltétlenül az eszköz tulajdonosa vagy használója végezze és sokszor nem is ő végzi, addig a minősítés egyértelműen az eszköz használójának a feladata, hiszen ő ismeri az alkalmazásból vagy a feladatból következő igényeket.

### A kalibrálás során meghatározott metrológiai jellemzők

A kalibrálás során elvben azokat a metrológiai jellemzőket kell meghatározni, amelyek ismeretére a mérőeszköz használójának a minősítéshez szüksége van és amelyek a mérőeszköz használata, szállítása és tárolása során (meg)változ(hat)nak. A minősítést végző ezért ezeket határozza meg a kalibrálás során ha maga végzi a kalibrálást, vagy ezek meghatározását kéri a kalibrálótól, ha a kalibrálást nem maga végzi. A gyakorlatban a kalibrálásra szakosodott specialista sokkal több mérőeszközt "lát" ezért jobban tudja, hogy melyek azok a metrológiai jellemzők, amelyek valóban változhatnak és amelyek rendszeres meghatározása szükséges, így azután a kalibráló laboratórium többnyire megajánlja a kalibrálandó jellemzők körét (és ezt az akkreditáló szervezet jóváhagyja). Nem geodéziai mérőeszközök kalibrálása esetén, például mérleg, hőmérő, mérőszalag, vagy ellenállás-dekád kalibrálásakor a leggyakrabban meghatározott metrológiai jellemző a mérőeszköz hibája vagy hibái. Azt a geodétáknak kell mérőeszköz-fajtánként eldönteniük, hogy milyen paramétereket kell, illetve lehet kalibrálással meghatározni és esetleg mely műszerfajtákat nem szükséges kalibrálni vagy csak egyszer - első használatbavétel előtt - kell kalibrálni. A jelen sorok írója például, nem lévén geodéta, nem tudja, hogy egy szintezőműszernek mik azok a metrológiai jellemzői, amelyek a használata, tárolása és szállítása során megváltozhatnak, és amelyek hatással vannak vagy lehetnek az eredmények pontosságára vagy megbízhatóságára, és amelyek esetleges megváltozása a mérési eredmények pontosságában vagy megbízhatóságában érdekelt használó által végzett szemrevételezés vagy funkcióvizsgálat alapján nem derül ki egyértelműen.

### Visszavezethetőség

A kalibráláshoz használt etalonnak természetesen szintén kalibrálnak kell lennie, a Földön végzett tömegmérése nagy része közvetve egyetlen etalonra, a Nemzetközi Kilogramm Prototípusra van visszavezetve. Az akkreditáló szervezetekre vonatkozó egyik legegységesebb előírás és így az általuk legkövetkezetesebben ellenőrzött követelmény a mérések visszavezethetősége nemzeti vagy nemzetközi etalonokra, azaz az érvényes és szintenként ismert bizonytalanságú kalibrálások láncolata a kalibrált eszköz és egy, az adott területen elfogadott referencia között. Ez referencia lehet hagyományos módon az adott mérésterület országos etalonja, a légnymásmérések területén például az

OMH által fenntartott etalon barométer. Mivel egyetlen ország sem rendelkezhet minden mérésterületen és minden méréstartományban megfelelő pontosságú országos(nak kinevezett) etalonnal, így a kialakult és erősödő nemzetközi "munkamegosztás"-t 1999-ben a nemzeti etalonok ekvivalenciájáról szóló nemzetközi egyezmény - részben utólagosan - szentesítette. Bár a jogi és szervezeti feltételek még nem teljesültek, a gyakorlatban az elektrooptikai távmérők kalibrálásához a visszavezethetőséget biztosító etalon, a gödöllői illetve valkói új alapvonal egyes hosszai, a Väsala interferométeren és a hozzá tartozó etalon rudakon át, amelyeket a Physikalisch Technische Bundesanstalt kalibrált, a Német Szövetségi Köztársaság hosszetalonjára vannak visszavezetve.

A visszavezethetőségi követelményben említett referencia azonban nem feltétlenül jelent hagyományos értelemben vett etalont, elvben egy hőmérő kalibrálható az olvadó jég által reprodukált hőmérsékleten (igényesebb esetben a vízhármaspontban és még egy-két úgynevezett hőmérsékleti fixpontban, amelyek hőmérsékletét nemzetközi dokumentumok specifikálják). A geodéziában általánosan alkalmazott ilyen referencia a szögekre vonatkozó zárási feltétel. Geodéták magyarázatait hallgatva azonban a szerzőben többször támadt kétely illetve olyan érzés, hogy előfordulhat a körbekalibrálás esete<sup>3</sup>. A visszavezethetőség a bizalmon alapul: minden mérőeszköz használnak azt kell biztosítania, hogy az általa használt eszközt

- vagy olyan eszközzel kalibrálják, amelyik használója szerint visszavezethető illetve visszavezetett és pontossága nagyobb/mérési bizonytalansága kisebb, mint a kalibrálandó eszköze,

- vagy dokumentált módon az eredmény megbízhatóságában érdekelt által elfogadott referenciára vezethető vissza.

## Mérési bizonytalanság

A kalibrálás során meghatározott értékek pontatlanságának, bizonytalanságának vagy középhibájának jellemzése és figyelembe vétele az eszköz minősítésekor és használatakor saját kalibrálás esetén az eszközt minősítő illetve azt használó geodéta választásán múlik, hiszen az ő felelőssége és így érdeke az eredmények megbízhatósága. Idegen - másik jogi személy - részére, szerződés alapján végzett kalibráláshoz azonban akkreditálás szükséges. Az akkreditálás egyik feltétele, hogy a kalibráló a kalibrálás bizonytalanságát az Európai Akkreditáló Szervezet EA-4/02 (korábban EAL-R2) jelű követelmény dokumentumban<sup>4</sup> meghatározott elvek szerint jellemezze. A sok magyarázatot, értelmezést, hogyan és ha kérdésre adható választ tartalmazó dokumentum nem definiálja explicit módon a kalibrálás mérési bizonytalanságát. Magyarázataiból, képleteiből és az utóbb hozzá kiadott példákból úgy látszik, mintha a kalibrálás bizonytalansága a meghatározott értékek (pl. méterrúd hossza) vagy hibák (például tolmérő hibái) becsült meghatározási szórásának kétszerese lenne. Itt is nagyon fontos lenne egy néhány oldalas bizottsági irányelv vagy állásfoglalás, amely például rögzíti, hogy a négyzetes

<sup>3</sup> A körbekalibrálásra a mérési bizonytalanságról 1998-ban Budapesten szemináriumot tartó EU-s szakértők a következő példát említették. Az Impérium egységének demonstrálása céljából Zanzibár előtt egy fregatt horgonyoz. Kapitányának feladata, hogy minden délben egy ágyú elsütésével jelezze a pontos időt a városnak. Ehhez a kapitány minden délelőtt besétál a városba és a legtekintélyesebb órásmester kirakatában látható nagyobbik ingaórához igazítja zsebóráját, elfogyaszt egy cocktailt a Kings Clubban majd visszatér hajójára és zsebórája alapján a megfelelő időben jelt ad az ágyú elsütésére. Délben az órásmester is figyel és az ágyúlövés alapján 12 h, 00 min, 00 s-ra állítja a kirakatban levő órákat, köztük a pontosabb, a nagyobbik ingaórát.

<sup>4</sup> Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, a mérési bizonytalanság meghatározása kalibrálásnál.

középhiba négyzetgyöke és a korrigált tapasztalati szórás azonos mennyiségek, vagy ha nem, akkor mi a különbség köztük, vagy esetleg bizonyos feltételek esetén azonosnak tekinthetők.

## Akkreditálás

Idegen, másik jogi személy részére kalibrálást Magyarországon a Nemzeti Akkreditáló Testülettől kapott akkreditálási okirat birtokában végezhet jogilag azonosítható, felelősség vállalására alkalmas szervezet vagy (jogi)személy. Az akkreditálási okiratot akkreditálási eljárás alapján adja ki a NAT. Az akkreditálási eljárást rögzített formátumban és tartalommal beadott írásos kérelem és minőségügyi kézikönyv alapján folytatja le a NAT. Geodéziai mérőeszközök kalibrálására történő akkreditálás igénye esetén az eljárásban minősítőként geodéta is részt kell vegyen. Az akkreditálás műszaki területén - jelen esetben a laboratórium által kalibrálandó/kalibrálható mérőeszközök körét, a kalibrálás (mérés)tartományát és pontosságát a laboratórium határozza meg a rendelkezésére álló lehetőségek és a feltételezett igények alapján. Az akkreditálás azt igazolja, hogy a laboratórium képes a laboratóriumok működésére vonatkozó alapszabvány és a kiegészítő dokumentum szerint, a vállalt tartományban és mérési bizonytalansággal kalibrálni.

## Joghatással járó mérések

A geodéták szerint a geodéziai mérések jelentős részéhez joghatás fűződik, amit sokan pontatlanul joghatályos mérésnek neveznek. A joghatással járó mérések fogalmát, eseteit és az ezekre vonatkozó előírásokat a mérésügyi jogszabályok általában, néhány további jogszabály pedig adott esetre rögzíti (pl. a jövedéki törvény, mérlegek megfelelőségének tanúsítása). A mérésügyi jogszabályok szerint joghatással jár a mérés, ha annak eredménye az állampolgárok vagy jogi személyek jogát vagy jogi érdekeit érinti. Jogszabályban szokatlan módon ezután taxatív felsorolás következik: joghatással jár a mérés, ha annak eredményét mennyiség vagy minőség tanúsítására, szolgáltatás vagy ellenszolgáltatás mértékének meghatározására, hatósági ellenőrzésre vagy bizonyításra, vagy az élet-, az egészség-, a vagyon- vagy a környezetvédelem területén használják fel. Az ilyen mérésekhez az adott feladat elvégzésére alkalmas hitelesített mérőeszközt, vagy visszavezethető - hitelesített vagy kalibrált - etalonnal kalibrált mérőeszközt kell használni. Mivel a hitelesítésre kötelezett mérőeszközök felsorolása geodéziai mérőeszközt nem tartalmaz, a joghatással járó mérésekhez visszavezethető etalonnal kalibrált, vagy általánosan elfogadott referenciához viszonyítva kalibrált mérőeszközt kell használni.

## GPS vevő kalibrálása

A fentiek alapján a GPS vevőket - ha azokat joghatással járó mérésekhez (is) használják - kalibrálni vagy kalibráltatni kell. A kalibrálás legegyszerűbb módja olyan pont koordinátáinak mérése, amelynek koordinátái nagyszámú, egyenként csak véletlen hibával terhelt mérés átlagából pontosabban ismertek, mint a vevő feltételezett pontossága illetve a vevővel a kalibrálás korlátozott ideje alatt elérhető pontosság. A kalibrálás során meghatározandó illetve a kalibrálási bizonyítványban közlendő metrológiai jellemzők a mért koordináták, ezek helyes,  $n \rightarrow \infty$  számú, csak véletlen hibakomponenst tartalmazó mérésből származó értéke, a mért és a helyes koordináták különbségei, a kalibrált vevővel végzett egyes koordináta meghatározások szórása (négyzetes középhibájának négyzetgyöke) és a mérési bizonytalanság. Mérési bizonytalanságként a mért átlagérték négyzetes középhibájából és a helyes koordináták átlagának négyzetes közép-

hibájából képzett összeg négyzetgyökének a kétszeresét kell megadni, függetlenül attól, hogy az utóbbinak a geodéták számára (még?) nincs közvetlen jelentése. (Ha a vevő antenna pozicionálásából keletkező szórás nem elhanyagolható, akkor ennek nagyságát valamilyen módon meg kell becsülni és ezt is figyelembe kell venni az eredő bizonytalanság számításakor). Vevő párok kalibrálása esetén több etalon pont koordinátáinak ismerete szükséges, az értékelés is összetettebb így ez már inkább a kalibrálásra specializálódott, akkreditált szervezetnek kellene végeznie.

## Összefoglalás

A mérési eredmények megbízhatósága, kompatibilitása és lehetséges jogkövetkezményei miatt szükséges mérőeszköz fajtánként ajánlásban vagy irányelvben rögzíteni a kalibrálás során meghatározandó metrológiai jellemzőket, a közölt mérési bizonytalanság értelmezését és meghatározásának módját. Mind a saját, mind az akkreditált kalibráláshoz visszavezetett etalonok vagy elfogadott referenciák szükségesek.

## DIFFERENCIÁLIS GPS – VEVŐBERENDEZÉSEK ÉS TECHNIKÁK

*Graczka Gyula\**

*A műholdas helymeghatározással elérhető abszolút és relatív pontosság messze felülmúlja a rendszer tervezésekor várakozásokat. Különösen jelentős pontosság növekedést hozott a korlátozott hozzáférés (SA = selective availability) váratlan eltörlése az abszolút helymeghatározásban. A differenciális helymeghatározás végső pontosságában ugyan semmilyen érezhető javulást nem hozott, a jövőben azonban jelentősen lerövidítheti az észlelési és feldolgozási időt. Az új helyzetnek megfelelően a navigációs és geodéziai GPS vevők mérőképességének vizsgálatát és minősítését jórészt újra kell értékelni.*

### Bevezetés

Globális helymeghatározó vevőberendezések (GPS vevők) mérésügyi minősítése kapcsán felvetődik a kérdés: mit is kell garantálni a mérési eredményeknek?

A mérési eredményeknek a belőlük számítható méretek (abszolút vagy relatív koordináták) valóságosságát kell garantálniuk.

A valóság – így a valódi érték is – tudatunktól függetlenül létező elvont fogalom. A valódi hiba – a mért és a valódi érték különbsége – szintén elvont fogalom, így az számunkra nem ismerhető.

Az igazság az, amit a valóságból – például mérések útján – megismerhetünk. A tudományos metrológia célja tehát az igazság minden határon túli közelítése a valósághoz, annak minél objektívebb megismerése céljából.

A legális (törvényi) metrológia a joghatállyal bíró méréseket végző mérőeszközök jószágát vagy hamisságát minősíti. Ennek érdekében a mérőeszközt, egy a valóságot megtestesítő (helyettesítő?) etalonnal hasonlítja össze. A mérőeszköz hitelességének feltétele a rendszeres eltérés (értsd: szabályos hiba) és a mérési bizonytalanság (értsd: véletlen hiba) együttesen sem haladja meg az előre megszabott tűrés mértékét. A hitelesítés a tulajdon (áru, ingatlan, ingóság) mennyiségi értékárányát hivatott biztosítani kötelező mérések elvégzésével. Ezért nem vizsgálja és nem is vizsgálhatja a mérések valószínűségét.

A minőségbiztosítás a tulajdon minőségi értékárányát garantálja, szintén elsősorban objektív mérési eredményekre támaszkodva. A minőségbiztosítás egyszerre alulról és felülről limitálja a minőséget, következésképpen a drasztikus minőségjavulást éppúgy bünteti, mint a leromlást. A nemzetközi minőségügyi szabványok (ISO 9000) átdolgozásával igyekeznek ezt a hátrányos tulajdonságot kiküszöbölni.

A mérés minősége a pontosság. A mérés minőségének biztosítása érdekében a mérőeszközöket indokolt esetben hitelesíteni (csak az Országos Mérésügyi Hivatal hitelesít), kalibrálni (akkreditált kalibráló laboratórium végezheti), a mérési eljárásokat pedig konfirmálni kell a minőségügyi kézikönyvben jóváhagyott módon.

A fentieket azért érdemes a GPS vevők minősítése előtt megszívlelni, mert a tudományos metrológia és a legális metrológia mind célkitűzéseiben, mind a szakkifejezé-

sek használatban jelentősen eltér ugyan, a mérnöki metrológiában azonban mindkét ágazat feladataival találkozhatunk.

A pontosság az, amikor a mért érték tőrésen belül megegyezik az etalon értékkel. A precizitás az, amikor az ismételt mérések szórása kicsi. A legális metrológia szempontjából az a mérőeszköz pontos, amellyel a mért értékek egyike sem tér el a tőrésnél nagyobb mértékben az etalontól.

Az etalon értékeket nemzetközi egyezmények szavatolják, alkalmazásukat nemzeti törvények (mérésügyi törvény) szabályozzák. A mérésügyi törvény ugyan nem említi a geodéziai mérőeszközöket, mint kötelezően hitelesítendő mérőeszközöket, ám az állami földmérés és a nagy hazai és külföldi megrendelők egyre gyakrabban követelik a gyártásban és a kivitelezésben alkalmazott mérőeszközök minőségének szabványos biztosítását.

## A GPS rendszer pontossága és precizitása

A GPS alapja a mikrohullámú távolságmérés ismert helyzetű műholdak és meghatározandó helyzetű földi pont között.

$$D = c \cdot \tau$$

$D$  – távolság;  
 $c$  – mikrohullám sebessége;  
 $\tau$  – terjedési idő.

A mikrohullám (fény) sebessége abszolút fizikai állandó  $c = 299792458 \pm 1.4 \text{ m/s}$   $\sim 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$  földi körülmények között, vákuumban és legalább  $10^{-14}$  relatív megbízhatósággal. A GPS idő a GPS központi időlaboratóriumában működő atomórák átlagideje, amelyet a nemzetközi időszolgálatban résztvevő országok időlaboratóriumának átlagához viszonyítanak. A GPS idő stabilitása (járáshibája) éves szinten legalább  $10^{-12} \text{ s-on}$  belül van.

A távolságmérés precizitása tehát:

$$\Delta D = c \cdot \Delta \tau$$

$$\Delta D = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot 10^{-12} \text{ s} = 0.3 \text{ mm}$$

Elméletileg, ilyen precizitással lehet meghatározni két földi pont relatív helyzetét akár évek múlva is.

A GPS rendszer pontosságát azonban számos tényező befolyásolja:

- a műholdak pozícióhibája,
- az ionoszféra,
- a troposzféra,
- terjedési és műszerzajok.

A műholdak pozícióját nem lehet pontosan előrejelezni. Ennek oka, hogy a tudomány még nem ismeri a Föld-műhold-Hold-Nap-Galaxis rendszer gravitációs vonzás-rendszerét. A műhold pályáját leíró Kepler-törvények nem tartalmazzák a környező vonzásteret (három test probléma, több test probléma). További pályahibákat okoznak olyan külső jelenségek, mint az űrbéli anyag sűrűsödése, a Nap-szél és a Nap sugárnyomása.

A műhold pálya jelenlegi 12 órás előrejelzése és a műhold fedélzeti atomórájának álláshibája együttesen mintegy  $\pm 3.6 \text{ m}$  szférikus pályaadat eredetű felhasználói hibát eredményeznek (Langley 1997). Ez annyit tesz, hogy egy tetszőlegesen kiválasztott

műhold pillanatnyi pályahibájából legnagyobb valószínűséggel  $\pm 3.6\text{m}$  3D felhasználói középhiba keletkezik.

Az ionoszférikus terjedési hiba átlagosan mintegy 230m. A GPS követő szegmensét alkotó 7 földi állomáson<sup>1</sup> mért adatok segítségével az ionoszféra időbeli változásait előrejelzik, így azt a vevőkészülék automatikusan figyelembe veszi. Az előre nem jelzett térbeli változásokra jellemző a trópusi és sarkövi maximum, valamint a mérsékeltövi minimum. A követő szegmens által éves szinten becsült maradék felhasználói hiba  $\pm 24\text{m}$ , míg a mérsékeltövi  $\pm 7\text{m}$ . (A magassági hiba ennek mintegy kétszerese.)

A troposzférikus késletetés átlagértéke száraz levegőben 2.3-2.6m. Ehhez járul a légköri páratartalom hatása – elsősorban légköri frontok idején – mintegy 0.2-0.4m-rel. A GPS üzenet nem tartalmaz információt a troposzféra késletetéséről, így a felhasználó maga dönti el, hogy a földfelszíni adatok segítségével alkalmaz-e légköri késletetési modellt, vagy nem. Amennyiben az átlagérték alkalmazása mellett marad, úgy éves szinten mintegy 0.7m maradék felhasználói hiba hatásával kell számolnia.

A légköri zajok kedvezőtlenül befolyásolhatják a mérési eredmények pontosságát. A gyártó által előírt minimális jel/zaj viszony csatornánkénti biztosítása szükséges ahhoz, hogy az adott készülék megfelelően a helymeghatározás pontosságának. Magas elevációjú műholdak jel/zaj viszonya általában megfelelő. Alacsony műholdak gyenge jel/zaj viszonya viszont leronthatja az egyébként még megfelelő helymeghatározást is. A jel/zaj viszony csatornánkénti értéke alkalmas lehet a távmérési eredmények kiértékelés előtti súlyozására (Tiberius 1999). A minimálisan előírt jel/zaj viszony megléte esetén az ebből származó felhasználói helymeghatározási hiba általában elhanyagolható.

A GPS vevőkészülék, mint minden elektronikus eszköz maga is előállít belső zajokat. Mivel azonban a vevő oszcillátora (órája) általában 1Hz sáv szélességen működik, csak az ebben a rendkívül keskeny sávban létrejövő zajteljesítmény meghatározó (Diedenrock 1995). Feltételezve egy viszonylag erős jel/zaj=45dB-Hz viszonyú jelet az 1Hz sáv szélességben, a zaj mintegy 1m-es tisztán véletlenszerű szórás (jitter) eredményez a helymeghatározásban. Léteznek technikák (pl. narrow correlator), amellyel a zaj-sáv szélesség 0.1Hz-re csökkenthető, így a belső zaj okozta helymeghatározási hiba is arányosan 0.1m-re csökken. A kódérés utólagos simításával (carrier smoothed C/A code) a vevőzaj hatása 0.1-0.3 m-re szorítható. Mivel azonban az abszolút helymeghatározás pontosságát – mint látni fogjuk – nem elsősorban a GPS vevő határozza meg, ezért az olcsó és egyszerű vevőkre az 1Hz sáv szélesség jellemző.

### A felhasználói hibakontingens

Összegezzük tehát a felhasználó szempontjából az abszolút helymeghatározás esetén számbajövő hibaösszetevőket.

(Feltételek:  $\geq 4$  műhold; PDOP  $\leq 3$ ; jel/zaj  $> 45\text{dB}$ )

	Hz	V
Korlátozott hozzáférés (S/A törölve)	0.0m	0.0m
Pályahiba (órahibával együtt)	3.6m	3.6m
Ionoszférikus variancia	7.0m	14.0m
Troposzférikus variancia	0.7m	1.4m
<u>Mérési zaj (C/A kódérés)</u>	<u>1.0m</u>	<u>1.0m</u>
Helymeghatározási középhiba ( $2\sigma$ )	8.0m	14.6m

<sup>1</sup> Az eredeti hat állomáshoz 1998-ban csatlakozott Cape Caneveral.

Valamennyi hiba összetevőre normál eloszlást feltételezve, a feltüntetett értékek 95%-os valószínűségi szintre vonatkoznak.

Feltételezve, hogy a hiba összetevők egymástól függetlenek, az abszolút helymeghatározás középhibája:

<i>HOR</i>	$dHz = \pm 4.0m$	$1\sigma$	(68%)
<i>VER</i>	$dV = \pm 7.2m$	$1\sigma$	(68%)
<i>POS</i>	$dP = \pm 9.2m$	$1\sigma$	(68%)

A navigációban szokásos pontossági mérőszámok:

<i>HOR</i>	$2dHz = \pm 8.0m$	$2\sigma$	(95%)
<i>VER</i>	$2dV = \pm 14.6m$	$2\sigma$	(95%)
<i>POS</i>	$2dP = \pm 9.2m$	$2\sigma$	(95%)

Különlegesen veszélyes és fontos alkalmazásoknál megkövetelhető a  $3\sigma$  (99.8%) valószínűségi szint. Ez praktikusán azt jelenti, hogy 1000 mérésből csupán két mérés hibája lehet nagyobb, mint az alábbi értékek:

<i>HOR</i>	$3dHz = \pm 12.0m$	$2\sigma$	(95%)
<i>VER</i>	$3dV = \pm 21.9m$	$2\sigma$	(95%)
<i>POS</i>	$3dP = \pm 27.6m$	$2\sigma$	(95%)

Egy navigációs vevő akkor tekinthető átlagosan megbízhatónak, ha az általa végzett helymeghatározások 68%-a megfelel az  $1\sigma$ , 95%-a megfelel a  $2\sigma$ , végül 99.8%-a megfelel a  $3\sigma$  valószínűségi szintnek.

### Differenciális GPS

Több, identikus GPS vevő által azonos műholdakra, egyidőben és azonos meteorológiai körülmények között végzett megfigyelések a tapasztalatok szerint szorosan korreláltak, azaz az így meghatározott geocentrikus helyvektorokat – a műszerzaj okozta hibák kivételével – azonos nagyságú és irányú hibák terhelik.

Ha a geocentrikus vektorokból páronként topografikus különbség vektorokat képzünk, akkor ezek a vektorok már csak a vevőpár fázismérési hibáit tartalmazzák. A vevők műszerzaj eredetű hibái nem korreláltak, így azok a hibaterjedés törvénye szerint négyzetesen összegződnek.

Itt nyer igazi jelentőséget a fázismérés precizitása. Amíg az egyszerű, de igényes navigációs vevőpár differenciális pontossága 1m körüli, addig a már említett precíz navigációs vevőkészülékektől elvárható, hogy a relatív (topografikus) helymeghatározás pontossága megközelítse a 0.1m-t.

Természetesen a vivőfázis méréssel végzett helymeghatározás mindig is fontosabb lesz, mint a kódfázis mérés eredménye, bár a kettő dinamikus konvergenciája ma már jól látható. A különbség a felhasználó számára az, hogy amíg a vivőfázis mérésére alkalmas GPS vevő szükségszerűen komplikált és drága analóg áramköröket tartalmaz, addig a precíz navigációs vevő csupán olcsó digitális áramkörökből áll.

A kódfázis és vivőfázis technikák precizitása egyaránt az ún. relatív zaj-sávzélességen múlik. Mint ismeretes, a vevőkészülékek jellemző zaj-sávzélessége 1Hz. Ebben a két alaptípus nem különbözik. Jelentős eltérés a két mérési frekvenciában van: a C/A kód mérési frekvenciája 1MHz, az L1 vivőfrekvencia 1.6GHz. A relatív zaj-sávzélesség rendre  $1\text{Hz}/1\text{MHz} = 10^{-6}$  a C/A kód esetén, és  $1\text{Hz}/1.6\text{GHz} = 0.6 \cdot 10^{-9}$  az L1 vivő esetén. Ez a különbség direkt módon jelentkezik a helymeghatározás precizitásában: kód mérésnél 1m, vivőfázis mérésnél 1mm a várható szórás értéke.

Amint az a fentiekből kitűnik, egy vevőkészülék korrekt mérőképességét (megfelelőségét) egyetlen paraméter, a zaj-sávszélesség vizsgálatával lehet közvetlenül ellenőrizni. Erre a célra is szolgál a GPS szimulátor készülék, amellyel a GPS vevő és szoftver funkcionális vizsgálatát is el lehet végezni.

Alapvonalon történő összehasonlításkor az „etalon” és a bevizsgálandó vevő középhibája a hibaterjedés törvénye szerint összeadódik, így az eredő szórás mindkét vevő hibáját tartalmazza. Ebből a szórásértékből csak akkor lehet a bevizsgálandó készülék megfelelőségére következtetni, ha az „etalon” készülék egyedi szórása ismert és kisebb, mint a vizsgálandóé, vagy ahhoz képest akár elhanyagolható.

### Összefoglalás

A GPS vevők metrológiai minősítését az általuk végzett abszolút vagy relatív helymeghatározások pontosságának meghatározásával lehet ellenőrizni. Az abszolút helymeghatározás pontossága elsősorban külső körülmények – pályaadatok, légköri paraméterek – és nem műszer paraméterek függvénye. A GPS földi irányító szegmense által becsült hiba összetevők alapján lehetséges egy átlagosan megbízható navigációs vevő minősítése.

A differenciális helymeghatározás pontosságát elsősorban a GPS vevőpár zajszenyisége határozza meg.

### Hivatkozások

- Dierendock AJ** (1995): Understanding GPS Technology. GPS World/January. pp. 34-44.
- Langley RB** (1997): The GPS Error Budget. GPS World/March. pp. 51-56.
- Tiberius CH, Jonkman N, Kanselaar F** (1999): The Stochastics of GPS Observables. GPS World/February. pp. 49-54.

## K-GEO KALIBRÁLÓ LABORATÓRIUM

*Németh Zsuzsanna\*, Virág Gábor\**

*Ez a cikk rövid áttekintést ad a kalibrálás jogi hátteréről, a K-GEO laboratórium történetéről és kalibrálási szolgáltatásáról, továbbá az akkreditálási tapasztalatokról.*

A kalibráló laboratóriumunk „K-GEO” elnevezése nem csupán a geodéziára utal, hanem munkahelyünk közismert KGO rövidítésére is.

Az Observatórium személyzete 1976-ban költözött ki a penci új épületébe, de már ezt megelőzően is végeztünk itt méréseket, pl. földrajzi helymeghatározást, fotografikus mesterségeshold megfigyeléseket.

A KGO kalibráló tevékenysége 1977-78-ban kezdődött, az observatóriumi mikro-teszthálózat kiépítésével. Ennek egyik pillérére a budapesti Csillagvizsgáló Intézetből Pencre került az Országos Hosszúsági Főalappont, ahol a földrajzi helymeghatározás észlelőinek személyi egyenletét határozták meg. A teszthálózat 1979-ben trilaterációs hálózatként került meghatározásra, és két 168 m-re lévő pillére között elektrooptikai távmérőműszerek periodikus hibáinak meghatározására is alkalmas alapvonal létesült.

1980-ban a KGO alaptervékenységéhez sorolták az országos geodéziai alaphálózatok kutatásával, fejlesztésével kapcsolatos feladatokat. 1986-87-ben létesült Gödöllőn a Väisälä fényinterferométeres meghatározású Országos Geodéziai Alapvonal, mely alapján 1989-ben az Országos Mérésügyi Hivataltól feljogosítást kaptunk a külső felek részére történő kalibrálásra. Ez a feljogosítás a Mérésügyi Törvény megjelenéséig ill. az akkreditálási rendszer beindításáig volt érvényben.

A Mérésügyi Törvényből a kalibráló laboratóriumok feladatának, szerepének szempontjából való legfontosabb részeit szeretnénk kiemelni:

### **1991. évi XLV. törvény a mérésügyről**

Tv. 1.§. E törvény hatálya a Magyar Köztársaság területén a mérésügyi szervezet tevékenységére, a mértékegységek használatára és a joghatással járó mérésekre terjed ki.

### ***Mértékegységek***

Tv.5.§. (1) Minden olyan mennyiség értékének kifejezésére, melyre e jogszabály törvényes mértékegységet állapít meg, ezt a mértékegységet kell használni.

(2) Törvényes mértékegységek:

- a) a Nemzetközi Mértékegység-rendszer (SI) mértékegységei,
- b) az e törvény mellékletében meghatározott, SI-n kívüli mértékegységek,
- c) az SI mértékegységeiből és az SI-n kívüli törvényes mértékegységekből képzett mértékegységek.

### ***Joghatással járó mérés és eszközei***

Tv.6.§. (1) Joghatással jár a mérés, ha annak eredménye az állampolgárok és/vagy jogi személyek jogát vagy jogi érdekeit érinti, különösen, ha a mérési eredményt mennyiség és/vagy minőség tanúsítására – szolgáltatás és ellenszolgáltatás mértékének megállapítására – vagy hatósági ellenőrzésre és bizonyításra használják fel.

*\*Földmérési és Távérzékelési Intézet, Kozmikus Geodéziai Observatórium  
1373 Budapest, Pf. 546  
E-mail: nemeth@sgo.fomi.hu  
Virag@sgo.fomi.hu*

(2) Joghatással járó mérést a mérési feladat elvégzésére alkalmas hiteles mérőeszközzel vagy használati etalonnal ellenőrzött mérőeszközzel kell végezni.

(3) Hiteles az a mérőeszköz:

- a) amelyet a mérésügyi szervek hitelesítettek,
- b) amelynek külföldi hitelesítését az OMH első belföldi hitelesítésként elismerte.

Vhr.4.§. (1) Joghatással járó mérés végzésére használt minden mérőeszközt – közvetlenül vagy közvetett módon – az országos etalonról kell leszármaztatni, illetve arra visszavezetni.

(2) Az etalon olyan mérőeszköz, amely a mennyiség mértékegységének reprodukálására és fenntartására szolgál, amelyről a mértékegység értéke átszármaztatható a használati etalonokra, és amelyet az OMH etalonná nyilvánított.

(3) A használati etalon olyan mérőeszköz, amely alkalmas a mennyiség egységének és/vagy helyes értékeinek előállítására és más mérőeszközökre való tovább-származtatására.

Vhr.5.§. (1) Használati etalonnal kell rendszeresen ellenőrizni azoknak a joghatással járó mérés elvégzésére használt mérőeszközöknek a pontosságát, amelyeknek a hitelesítése nem kötelező.

(2) A használati etalonnak érvényes hitelesítéssel kell rendelkeznie, és pontosabbnak kell lennie a vele ellenőrzött mérőeszközöknél.

### ***Feljegositás kalibrálásra (akkreditálás)***

Tv.11.§. (1) A nem kötelező hitelesítésű mérőeszközök pontosságának kalibrálással történő ellenőrzéséről – az OMH-tól\* kapott feljegositás alapján – a kalibráló laboratóriumok jogosultak kalibrálási bizonyítványt kiadni. E feljegositás nélkül kalibrálás külső fél számára nem végezhető. (\*1997-től a Nemzeti Akkreditáló Testülettől)

Vhr.11.§.(1) A kalibrálás azoknak a műveleteknek az összessége, amelyekkel – meghatározott feltételek mellett – megállapítható az összefüggés a mérőműszer vagy a mérőrendszer értékmutatása, illetve a mérték, a hiteles anyagminta által megtestesített vagy használati etalonnal megvalósított érték (a helyes érték) között.

A Nemzeti Akkreditáló Testületnél a kalibráló laboratóriumok minőségi kézikönyvük beadásával kérvényezhetik a feljegositást. Az akkreditálás az MSz 45001 szabvány szerint történik. A minőségi kézikönyvek összeállításához a NAT e szabvány alapján egy útmutatót kiadott.

A K-GEO kalibráló laboratórium Minőségügyi Kézikönyve a következő fejezetekből áll:

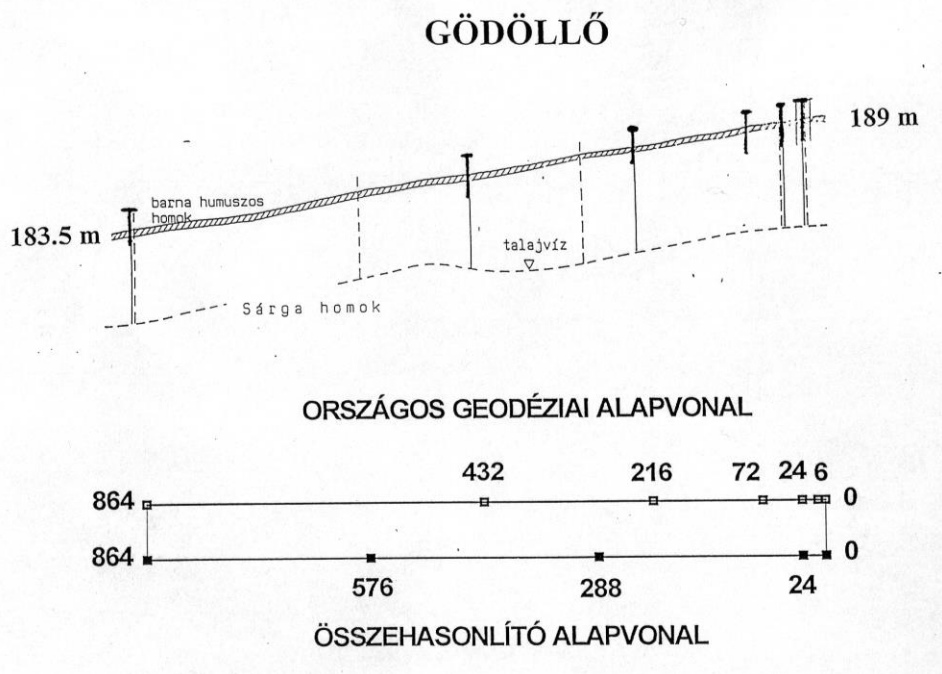
1. Minőségpolitika
2. Minőségbiztosítási rendszer
3. Szervezet és vezetés
4. Minőségfelügyelet és a minőségbiztosítási rendszer felülvizsgálata
5. Berendezések
6. Visszavezethetőség
7. Kalibrálási módszerek és eljárások
8. Laboratóriumi elhelyezés és a környezeti feltételek biztosítása
9. A kalibrálandó és a kalibrált eszközök kezelése

10. Nyilvántartások
11. Kalibrálási jegyzőkönyvek, kalibrálási bizonyítványok
12. Panaszok és rendellenességek kezelése
13. Alvállalkozói szerződések kalibrálásra
14. Külső kiegészítő szolgáltatások
15. Biztonsági előírások
16. Külső helyszínen történő kalibrálások

#### MELLÉKLETEK

- I. Kalibrálási szolgáltatásokat irányító és végző személyzet
- II. Kalibrálási szolgáltatásokhoz használt etalonok és mérőeszközök
- III. Kalibrálási szolgáltatások
  1. Táv mérő kalibrálási eljárás leírása  
 Formanyomtatványok: Kalibrálási nyilvántartási napló  
 Kalibrálási jegyzőkönyv  
 Kalibrálási bizonyítvány
- IV. Módosítási oldal

A K-GEO laboratórium jelenleg elektrooptikai távmérő műszerek kalibrálására kérte meg a feljogosítást. E tevékenységünk használati etalonja a Gödöllői Országos Geodéziai Alapvonal (1. ábra).



**1. ábra.** Az Országos Geodéziai Összehasonlító Alapvonal fontosabb adatai.

A használati etalonnak a törvényben egyik előírt követelménye a visszavezettség, amely alatt a következőt értjük: „Visszavezethetőség egy mérési eredménynek vagy egy etalon értékének az a tulajdonsága, hogy ismert bizonytalanságú összehasonlítások

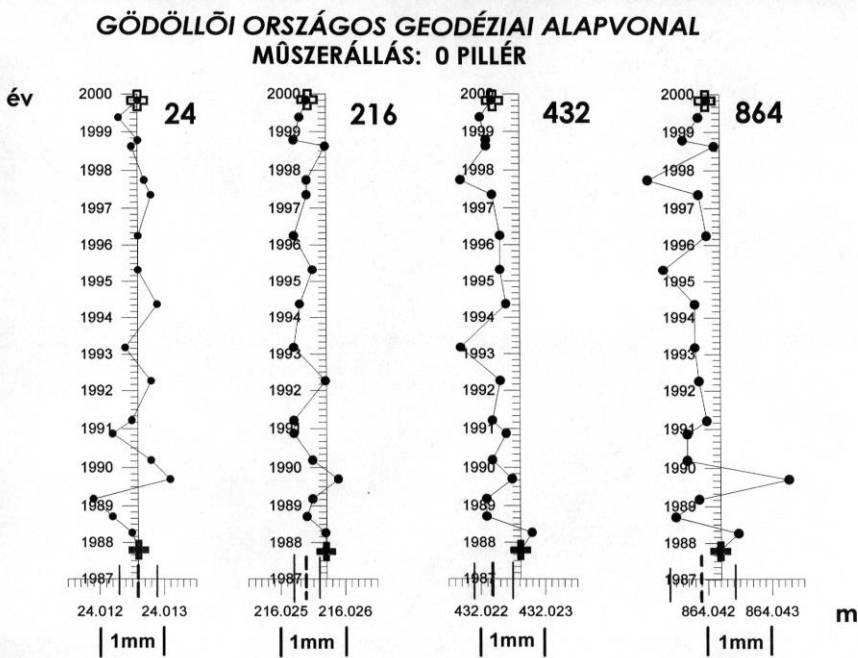
megszakítatlan láncolatán keresztül kapcsolódik megadott referenciákhoz, általában országos vagy nemzetközi etalonhoz.”

Az Országos Geodéziai Alapvonal etalontávolságai Väisälä fényinterferométerrel, tehát egy etalon-távolság optikai sokszorozásával határozta meg a Finn Geodéziai Intézet 1987-ben és 1999-ben. A mérések alapja 2 db 1 m hosszú, gömbsüvegben végződő kvarc etalon, melyeket Németországban, Braunschweigben, a Physikalish Technische Bundesanstalt-nál hitelesítettek és Finnországban a Turku Egyetemi Obszervatórium Tuorla laboratóriumában kalibráltak. A magyar Országos Mérésügyi Hivatal ezeket a külföldi hitelesítéseket 1988-ban elismerte, így alapvonalunk a mérési hierarchia csúcsán lévő nemzeti etalon alatt közvetlenül helyezkedik el.

Az alapvonal pillérei két részből állnak. Az 5 m mély, 50 cm átmérőjű fűrt lyukba csömöszölt beton pillérben található a földalatti pontjel, és felette az 1.5 mély alapozású pillér 80x60 cm-es fejezetén a felhasználói pontjel. A talajmechanikai hatások miatt a pillérek stabilitását, vagy az etalon-távolságokat rendszeresen szintezéssel, vetítéssel és távolságméréssel ellenőrizzük.

Az 1999-es Väisälä mérések az 1987-es méréshez viszonyítva a földalatti jelek közötti távolságok változására pár század mm-t, a felhasználói pontjelek között pár tized mm-es változást adtak.

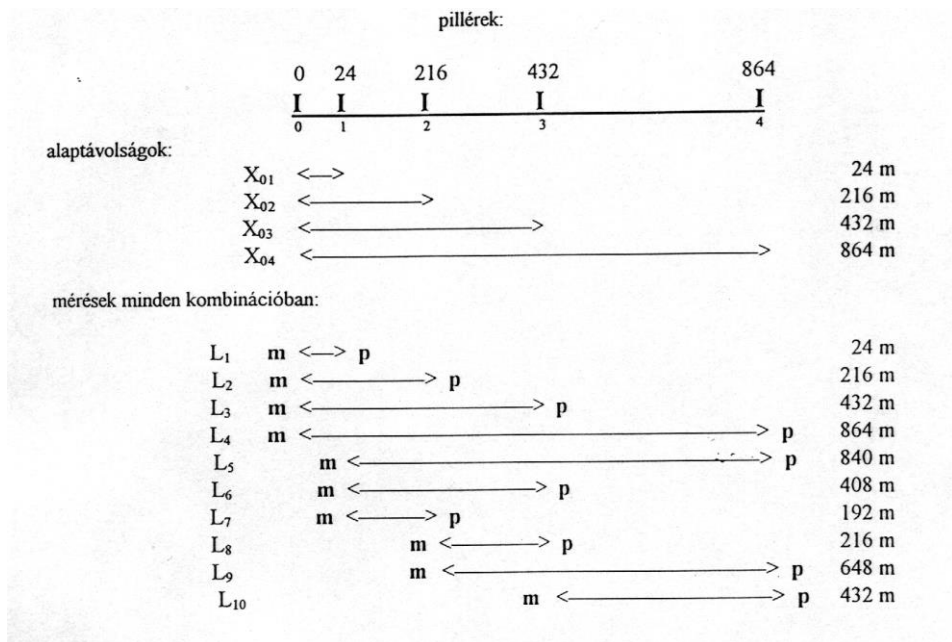
A 2. ábrán az 1987-99-es időtartamra bemutatjuk az etalon távolságok Mekométer-5000-el végzett ellenőrző méréseit, ami jó összhangban van a 99-es Väisälä méréssel.



**2. ábra.** Az etalon távolságok ellenőrző mérései Mekométer 5000-el.

A Gödöllői Országos Geodéziai Alapvonalon a távmérőkalibrálást a geodéziai nemzetközi gyakorlatnak megfelelően Schwendener módszerrel, a pillérekén lévő felhasználói pontjelek között minden kombinációban végrehajtott távolságmérésekkel vé-

gezzük (3. ábra). A kalibrálás eredménye a műszer összeadó és szorzó állandója közép-  
hibáikkal együtt, amit kiegyenlítő számítással határozunk meg.



3. ábra. Az alapvonal mérése Schwendener módszerrel.

1999. december 10-én adtuk be a FÖMI K-GEO kalibráló laboratórium akkreditálási kérelmét a Nemzeti Akkreditáló Testülethez. 2000. június elején kaptuk meg a Minőségügyi Kézikönyv bírálatát, mely észrevételek kijavítása után július 24-én megtörtént a laboratórium helyszíni szemléje. Az itt felvett részjelentés nem megfeleléseinek kijavítása után a Metrológiai Szakmai Akkreditáló Bizottság tárgyalta a kérelmünket és további javításokat írt elő:

- „A mérési bizonytalanság fogalmát nem szívesen alkalmazza a szórás képleteket leírja és azokat hibának, középhibának nevezi, megjegyezve, hogy a geodéziában így szokás.”
- „... a kézikönyv írója nem ismeri, vagy nem hajlandó figyelembe venni a mérési bizonytalanság számításának ismert módszereit. Megemlíti ugyan, hogy a távmérések megbízhatóságát, vagy bizonytalanságát az etalonként használt alapvonal, a távmérő műszerek, a pontraállítás, a mért meteorológiai adatok és alkalmazott meteorológiai javítás megbízhatósága, bizonytalansága határozzák meg, de ezeket az adatokat későbbi mátrix alapú számítási módszeréből nem lehet kideríteni.”

Mint látható, a vélemény nem mondja ki, de egyértelműen az EA-4/02 utasítás kötelező használatát követeli meg.

Idézzük a „Műszerügyi és Méréstechnikai Közlemények 65. szám, 2000.”-ből: „Abból a célból, hogy biztosítható legyen az EA-n belül az akkreditált kalibráló laboratóriumok által kiadott kalibrálási bizonyítványok teljes egybevetetősége, 2000. július 1-jétől minden, a kalibrálási bizonyítványokban megfogalmazott, bizonytalanságra vonatkozó nyilatkozatnak eleget kell tennie az EA-4/02-ben lefektetett követelményeknek.

Ennek megfelelően a kalibráló laboratóriumok akkreditálása, vagy a már meglévő akkreditálások megújítása csak akkor történhet meg, ha a laboratóriumoknak a bizonytalanságra vonatkozó számításai teljes mértékben összhangban vannak ezekkel a szabályokkal.”

EA-4/02 (korábban EAL-R2) jelű dokumentum címe: „*A mérési bizonytalanság meghatározása kalibrálásnál*”.

E dokumentum „a mérési bizonytalanság közlése a kalibrálási bizonyítványban” a következőket adja:

„A kalibrálási bizonyítványban a teljes mérési eredményt, tehát a mérendő mennyiség értékének  $y$  becslését és az ehhez tartozó  $U$  mérési bizonytalanságot ( $y \pm U$ ) formában kell közölni. Ehhez egy, általában a következő tartalmú, magyarázó megjegyzést kell fűzni:

A közölt kiterjesztett mérési bizonytalanság a standard bizonytalanság  $k = 2$ -vel szorzott értéke, ami normális eloszlás esetén közelítőleg 95%-os fedési valószínűségnek felel meg. A standard bizonytalanság meghatározása az EA-4/02 kiadványának megfelelően történik.

Az  $y$  mérési eredményhez vagy a kimeneti becsléshez tartozó  $u(y)$  standard mérési bizonytalanság a mérendő  $Y$  mennyiség szórása,  $u(y)$  az  $X_i$  bemenő mennyiségek  $x_i$  becsléseiből és az ezekhez tartozó  $u(x)$  standard bizonytalanságokból határozandó meg.”

A K-GEO laboratórium távmérő-kalibrálási eljárásának szeptemberi SZAB véleménye nem csupán a metrológiai terminológia kizárólagos használatát követeli meg, - nem középhiba, hanem mérési bizonytalanság, stb., hanem úgy tűnik az ismeretleneknek a véletlen hibákkal terhelt mérési eredményekből a kiegyenlítő számítással való meghatározási módszerét sem fogadta el.

Jelenleg a távmérő-kalibrálási eljárás újra gondolásán, a geodéziai feldolgozásról a metrológiai alapokra való átdolgozásán fáradozunk.

A K-GEO laboratórium rövidtávú tervei között szerepel a GPS kalibrálási eljárás kidolgozása és e tevékenységnek az akkreditáltatása is.

A Mérés és Minőségügyi Albizottság felé a következő javaslattal szeretnénk élni a geodéziai műszerek kalibrálását végző laboratóriumok eredményes munkája érdekében:

1. Annak biztosítására, hogy a geodéziai kalibráló laboratóriumok megfeleljenek a geodéziai követelményeknek, törekedni kellene arra, hogy az akkreditálás eljárásába érdemi geodéta bírálat is helyet kapjon.
2. A geodézia és metrológia közötti sikeres párbeszéd kialakításához geodéziai – matematikai statisztikai – metrológiai értelmező szótár összeállítását javasoljuk.
3. A geodéziai érdekek hatékony képviselésére a Nemzeti Akkreditáló Testület Metrológiai Szakmai Akkreditáló Bizottságába erre megfelelő felkészültségű geodétát delegáljon az albizottság.

A K-GEO Laboratórium Minőségügyi Kézikönyvének távmérő kalibrálási eljárását egy metrológiai tanácsadó cég segítségével átdolgoztuk. Ennek lényege: áthidalni a geodéziában illetve a metrológiában elterjedt terminológiák közötti ellentmondást, hogy a laboratórium az akkreditálás után metrológiai szempontokból is értékelhető kalibrálási tevékenységet folytathasson. A Metrológiai Szakmai Akkreditáló Bizottság 2000. november 24-én határozott a K-GEO laboratórium akkreditáltságáról.

Örömmel tájékoztatjuk a geodéziai szakembereket, hogy jövőre a FÖMI-K-GEO akkreditált laboratórium várja Önöket Gödöllőn az Országos Geodéziai Alapvonalon.

## GEODÉZIAI GPS VEVŐK ÉS ANTENNÁK KALIBRÁLÁSA A FÖMI KGO-BAN

*Borza Tibor és Kenyeres Ambrus\**

*A mérések végrehajtására vonatkozó 1991. évi XLV törvény 6. § (2) bekezdése kimondja: "Joghatással járó mérést a mérési feladat elvégzésére alkalmas hiteles mérőeszközzel vagy használati etalonnal ellenőrzött mérőeszközzel kell végezni." A geodéziai műszerek nem tartoznak a kötelező hitelesítésű mérőeszközök közé, de mivel joghatással járó mérést végeznek, használati etalonnal kell ellenőrizni, más szóval kalibrálni kell. Külső fél számára az OMH-tól kapott feljogosítással (akkreditálás) rendelkező, kalibráló laboratóriumok jogosultak kalibrálást végezni, ill. bizonyítványt kiadni.*

*Annak ellenére, hogy a GPS technikát a geodéziában már több mint egy évtizede alkalmazzák, a kalibrálás kérdése csak az utóbbi néhány évben került előtérbe a GPS infrastruktúrájának fejlődésével és a vele szemben támasztott követelmények növekedésével. Magyarországon is a kalibrálás fontossága és szükségessége a szélső pontosságot igénylő Mozdásvizsgálati Program méréseinek feldolgozása, értelmezése kapcsán vetődött fel. Annak ellenére, hogy a GPS antennák vizsgálatával számos munka foglalkozik a GPS kalibrálás irodalma elég csekély. Ebben a tanulmányban a penci K-GEO Kalibráló Laboratórium keretében, az általunk bevezetett alapeljárást mutatjuk be, majd a GPS kalibrálás speciális eseteivel foglalkozunk.*

### **Bevezetés**

A GPS kalibrálás egyik különlegessége és látszólagos nehézsége, hogy a mérést végző berendezés a teljes rendszernek csupán a passzív részét képezi, ahol a GPS vevő egyszerű adatgyűjtőként fogható fel. Az aktív rész (a GPS holdak és az üzemszerű működésüket fenntartó rendszer), amely szintén befolyással van a mérési eredményekre, a felhasználótól független. A GPS kalibráció fogalma alatt éppen ezért mindig csak a felhasználó által elérhető egységek kalibrálását szabad értenünk, amelybe az adott GPS vevő, antenna és esetleg az adott típushoz tartozó gyári feldolgozó szoftver tartozik.

A GPS vevők kalibrálásakor ugyanakkor nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a kimutatott hibák egy része származhat a rendszer felhasználó-független oldaláról is (pl. műholdak átmeneti meghibásodása vagy pályaproblémák). A kalibrálás folyamatába ezért be kell építeni a GPS teljes rendszerének monitorozását is. A GPS rendszerét fenntartó Amerikai Védelmi Minisztérium korlátozottan hozzáférhető monitorozó hálózata helyett erre a célra a civil szerveződésű, tudományos célú (precíz műholdpálya, földforgás paraméterek meghatározása, kéregmozgási, légköri monitorozás) vizsgálatokra létrehozott, 1993 óta működő IGS (Nemzetközi GPS Szolgálat) ill. Európában az EUREF ma már közel 100 permanens állomásból álló hálózata az ideális háttér. A hálózatban észlelő állomások mérési adatainak folyamatos, automatikus feldolgozásával, a kitzított célok elérése mellett, a rendszerben fellépő zavarok és ez egyes állomásokhoz köthető problémák is kimutathatók. Utóbbira példa PENC, amikor 1996 telén az állomás antennáját hó lepte el, aminek hatása kimutatható volt az EUREF Feldolgozó Központ eredményeiben.

\*FÖMI Kozmikus Geodéziai Observatórium 1149 Budapest, Bosnyák tér 5.  
E-mail: borza@sgo.fomi.hu  
kenyeres@sgo.fomi.hu

A fentiek alapján feltétlenül javasoljuk, hogy GPS kalibráló laboratóriumok háttérben működjenek egy olyan permanens állomás, amely része valamely regionális (pl. EUREF) vagy globális (IGS) állomás hálózatnak.

A GPS kalibrálás további, nem magától értetődő kérdése a kalibrálás tárgyának definiálása. A GPS minden eddigi geodéziai helymeghatározó technikánál összetettebb, mert azon felül, hogy az előzőekben már említett globális háttér infrastruktúrát igényli, a komplex antenna, műszer együttesen túl a geodéziai pontosságú koordináták meghatározásához fejlett feldolgozó szoftver is szükséges. Kalibrálni lehet és szükséges is bármely alap műszeregységet (antenna, frekvencia etalon, stb.) és azok egyes fizikai paramétereit, ugyanakkor feltétlenül szükséges a teljes, a feldolgozó szoftverrel is kiegészített rendszer kalibrálása, azaz helymeghatározó képességének meghatározása. Ez utóbbit nevezzük alapkálbrálásnak, ahol összetartozónak kell tehát tekinteni a GPS vevőt, az antennát, valamint a vektorfeldolgozó szoftvert de még az azt kezelő személyzetet is.

Az említett alapkálbráláson túl azonban szükséges és egyes esetekben kötelező is lehet egyes részelemek (vevő frekvencia etalon, vevőzaj, belső késleltetés, antenna fáziscentrum) kalibrálása. A frekvencia etalon (amely általában egy kvarc oszcillátor) külső frekvencia etalonnal (Rubidium, Cezium) ellenőrizhető szoftveres úton ill. tényleges mérésekkel, ha a vevőnek van frekvencia kimenete. Ennek a vizsgálatnak azonban kevés gyakorlati jelentősége van, hiszen a geodéziában alkalmazott eljárásokban a vevő órahibája szoftveres úton, megfelelő differenciaképzéssel teljes mértékben kiküszöbölhető, tehát nincs közvetlen hatással a vektorok meghatározására. Vizsgálhatók még a különböző zaj-jellemzők, egy részük azonban környezetfüggő (pl. többutas jelterjedés), ezért nem adhatnak abszolút képet a műszerről.

A gyakorlati geodéziai munkákhoz és szélső pontosságot igénylő feladatokhoz, az antenna fáziscentrum külpontosság meghatározásának van még nagy jelentősége, mert az közvetlenül megjelenik a végeredményben.

### **A K-GEO kalibráló laboratórium**

A K-GEO Kalibráló Laboratórium akkreditálása folyamatban van. A gödöllői alapvonalon végzett távmérők kalibrálása mellett, tervezzük a GPS kalibrálás akkreditálását is. A KGO-ban már 1998-ban felismertük a GPS kalibráció fontosságát és előzetes tájékozódás és vizsgálatok után, elkészült a KGO főépületének tetején egy 10 pontból álló kalibrációs hálózat. Az alappontok a permanens állomás közvetlen környezetében kerültek állandósításra, a már korábban kidolgozott kényszerközpontos antennarögzítéssel technikával. A hálózatot vízszintes értelemben a GGKI szakemberei határozták meg DI-2002 típusú távmérővel. A helyi rendszerben kiegyenlített koordináták pontossága 0.24 mm, ami felülmúlja a GPS mérés pontosságát, tehát teljesült a használati etalonná nyilvánítás egyik feltétele. A pontok magasságának meghatározására és monitorozására eddig három alkalommal végeztünk szintezést vonalkódos Wild szintező műszerrel. A szintezés pontossága 0.2 mm. A földi meghatározások mellett a hálózatot 24 órás GPS mérésekkel, néhány hónapos eltérésekkel, háromszor is megmértük. A kiegyenlítéssel meghatározott háromdimenziós koordináták középhibája az első két mérésnél kisebb, mint 1 mm. A két mérés során kapott koordináták eltérésének átlaga is alatta maradt az 1 mm-nek. A hálózati mérések alapján bizonyított, hogy a kalibrációs hálózat pontossága kb. egy nagyságrenddel meghaladja a GPS technika mérnöki alkalmazásának pontosságát, tehát képes a kalibrációs feladatok ellátására. A hálózat ellenőrzését évenként el kell végezni. A harmadik GPS mérés feldolgozása a Bernese szoftverrel folyamatban van.

A kalibráló hálózat szerves részét képezi a permanens állomás pillérje és műszeregyüttese. A pillér stabilitását az IGS és EUREF hálózatban végzett folyamatos GPS

mérések mellett évente szintezéssel, Mekométeres távméréssel, valamint egy tágabb környezetben (5-20 km) sziklába ágyazott pontokra támaszkodva GPS mérés ellenőrzéssel. A permanens állomás műszer együttesét tekintjük etalonnak, amelynek működésére, pontosságára naponta kapunk ellenőrzést. PENC állomás koordinátáinak idősora lekérhető az IGS ([igs.cb.jpl.nasa.gov](http://igs.cb.jpl.nasa.gov)) és az EUREF ([homepage.oma.be](http://homepage.oma.be)) WEB szervereiről is.

A GPS műszerek kalibrálását a permanens állomással, vagy az azzal ellenőrzött műszerrel végezzük.

## Alapkalibrálás

Célja a mérnöki feladatok végzésekor alkalmazott műszer, antenna és a feldolgozó szoftver pontosságának együttes ellenőrzése. Az alapkalibrálás során kapott pozíció eltérés jellemzi a vizsgált GPS rendszer pozíció reprodukáló képességét a kalibráló mérések körülményei között! Más vektorhosszak és más környezeti feltételek mellett ez az érték más lehet! A kapott pozíció eltérés az antenna fáziscentrum külpontosságának, a vevő egyes jellemzőinek és a feldolgozó szoftver (modell) hibáinak a következménye. A kalibráló mérés 24 óras. A feldolgozást óránként végezzük el, egyrészt a műszer mellé adott saját szoftverrel (ha nem Trimble műszerről van szó), másrészt a KGO-ban használatos ellenőrzött Trimble szoftverrel. A vektorszámítás eredményeként 24 db. a permanens állomásról az adott pontra mutató vektort kapunk. Ezután képezzük a valódi és a mért távolságok különbségeit, melyekből számítjuk az adott GPS berendezés által a helymeghatározásban elkövetett valódi hibát és a meghatározás középphibáját. Így képet kapunk a GPS vevő hosszabb távú működéséről, megkapjuk az antenna fáziscentrumának közelítő értékét, (északi tájolás mellett) és annak időbeli változását, valamint véleményt tudunk mondani a feldolgozó szoftverről is. A kapott kalibrációs paraméterek mellett az is eldönthető, hogy ajánlható-e a vegyes műszerrel végzett mérés, vagy kerülni kell ezt a megoldást. Ellenőrizhető, hogy az adott szoftver képes-e a RINEX formátum fogadására, minden beavatkozás nélkül (az elvileg szabvány formátum egyes megvalósulásai között lehetnek kis eltérések, melyek elegendőek ahhoz, hogy a méréseket ne lehessen közvetlenül feldolgozni). A kalibrálási jegyzőkönyvben (1. és 2. melléklet) számszerűen és grafikusán is megtaláljuk az eltéréseket. Nyomon követhető a pozíció ("fáziscentrum") változása vízszintes és magassági irányokban. A jegyzőkönyv a vektorok komponensei mellett megadja a vektor meghatározásának pontosságát és a valódi eltérést is. Az alapkalibrálással meg lehet mondani, hogy a vevő-antenna-szoftver együttes milyen pontossággal felel meg a mérnöki feladatok elvégzésére. Trimble vevőktől eltérő típusú műszerek kalibrálásánál ajánlott legkevesebb két műszert bevonni, hogy az egymásközi feldolgozásból reális képet kaphassunk az adott műszertípusra.

Az alapkalibrálás mellett különösen, ha a GPS technikát szélső pontosságú mérésekre, pl. mozgásvizsgálatra kívánjuk használni, szükséges egy-egy részelemre kiterjedő speciális vizsgálat is.

## GPS antenna kalibrálás

Az alapkalibrálás északi tájolás mellett adja meg a fáziscentrum közelítő külpontosságát L1, ill. kétfrekvenciás vevő esetén L2 frekvencián is. A fáziscentrum azonban egy fizikailag nem megfogható, virtuális pont az antennán belül, amelynek helyzete függvénye a műholdak térbeli helyzetének és a frekvenciának. Az L1 és L2 frekvenciák fáziscentruma tehát nem esik egybe és helyzetük is változik a műhold konstelláció függvényében. A fáziscentrum térbeli helyzetét modellek írják le (PHAS\_IGS.01, lásd

*igsch.jpl.nasa.gov*), amelyek egy adott antennatípusra, mint átlagra érvényesek. Egyes antennatípusok (pl. TRM22020,00) a modellhez képes túl nagy szórást mutatnak, ill. bármely antennának szervíz, vagy tetszőleges fizikai behatásra megváltozhat a fáziscentruma, amelyet speciális módszerekkel határozhatunk meg. Az egyik lehetőség, hogy különleges laboratóriumi körülmények között határozzák meg az antenna egyedi paramétereit (Schupler et al. 1994, Meertens et al. 1996). Ennek az ún. abszolút kalibrálásnak a lehetősége Magyarországon nem adott. Az általánosan elterjedt módszer a relatív kalibrálás, amely szerint egy elfogadott antennatípushoz képest határozzuk meg a fáziscentrum modell értékeit. Az általunk használt Bernese 4.2 program a fenti vizsgálatok elvégzésére alkalmas (Mervart et al. 2000), vele meghatározható mind a fáziscentrum külpontosság, mind pedig az egyedi fáziscentrum modell (Rothacher, Schär 1996). Alkalmas mérési értelmezési stratégiával ugyanakkor a fáziscentrum külpontossága akár ipari szoftverekkel is meghatározható (Bányai, Kenyeres 2000).

Bármely megoldásról legyen is szó, a fáziscentrum meghatározásához legalább 2x24 órás mérést kell végezni a kalibráló hálózatban, az antennák tájolásának és pozíciójának változtatásával. A mérésekbe célszerű egyszerre több antennát is bevonni. A Bernese szoftver eltávolítja az adott antenna jellemzőit és a későbbi feldolgozások alkalmával felhasználhatja a módosított egyedi antenna paramétereket.

Bármely antenna kalibrálását el kell végezni az első használat előtt (különösen, ha az antenna új típus) és minden meghibásodás javítása után.

### **GPS vevő kalibrálása**

Az antenna és a vevő vizsgálatának szétválasztása az ún. „nulla-bázisvonal” tesztel végezhető el. Jelosztó segítségével közös antennáról üzemeltetve két vevőt, a mérések feldolgozásából a vizsgált vevőnek a kiválasztott referenciavevőhöz viszonyított tulajdonságai (jel késleltetés, mérési zaj) elemezhetők. A két vevő mérési adataiból számított vektorhossz egyben a vevők alaphibáinak tekinthető. Természetesen csak azonos típusú vevőket, a hozzájuk tartozó antennával jogos ebbe az eljárásba bevonni.

### **A frekvencia etalon kalibrálása**

Elvégezhető szoftveres és hardveres úton egyaránt. A Bernese szoftver a feldolgozás egyik melléktermékeként megadja a GPS vevő órájának a jellemzőit is. Érdekes, hogy az általunk elérhető GPS vevők óráira az a jellemző, hogy a beépített kvarcórák stabilitása a korszerűbb típusoknál kisebb, mint a korábbiaké. Hardveres úton csak azokat a vevőket lehet kalibrálni, amelyek rendelkeznek idő (frekvencia) kimenettel. A kalibrálás eredményeként megkapjuk a vevőbe épített és a kalibráló (atomi) etalon frekvencia eltérését, ill. az eltérés változását. A K-GEO laboratóriumban ezt a kalibrálást a KGO rubidium atomi frekvencia etalonjával tudjuk elvégezni.

### **GPS mérési adatok minősége**

A GPS adatok minőségét a kalibráló hálózat pontjain meghatározott relatív multipath információ jellemezheti. A relatív szó arra utal, hogy a multipath nem csak antenna, hanem környezetfüggő is. A relatív multipath értékét az adott ponton egy referenci antennához képest tudjuk csak megadni, ahol a környezetfüggést, pl. egy a jelszóródásra kevésbé érzékeny antenna adatainak a figyelembe vételével le tudjuk vonni. Ez a vizsgálat a UNAVCO QC programjának segítségével végezhető el. A penci permanens állomás mérési adatait a QC programmal naponta ellenőrizzük. A mérések feldolgozhatóságát nagyban befolyásolja a ciklusvesztések száma. A ciklusvesztések általában környezeti

problémákra vezethetők vissza, ezért ebből csak akkor lehet a vevőre ill. antennára vonatkozó következtetéseket levonni, ha összevetjük azt a közelben működő referencia vevővel. Egy nagyon részletes vevővizsgálat található a UNAVCO WEB oldalán amelyben számos modern vevőtípus vizsgálatának az eredményei megtalálhatók.

([www.unavco.ucar.edu/dev\\_test/publications/suominetreportv\\_4.pdf](http://www.unavco.ucar.edu/dev_test/publications/suominetreportv_4.pdf))

## Összefoglalás

A GPS mérések eredményéhez, a pontok pozíciójához bonyolult mérés technikai, valamint tapasztalati úton meghatározott fizikai modelleket tartalmazó számítási eljárások végzésével jutunk. Ráadásul az általunk kézbe fogható technika mögött bonyolult globális infrastruktúra húzódik meg, amelyre nem lehetünk befolyással, de aktuális állapotát permanens GPS állomások regionális hálózatával (pl. EUREF) monitorozhatjuk. Ha a GPS technikát, mint helymeghatározó eszközt kívánjuk kalibrálni, akkor ezt a rendszer tőlünk független szegmenseit egy ilyen hálózatban monitorozó állomással a háttérben végezhetjük.

A kalibrálásnak a geodéziai gyakorlat által elvárt leggyakoribb feladata komplett GPS vevő-antenna-softver rendszerek vizsgálata, annak felmérése érdekében, hogy az adott összeállítás milyen pontossággal képes reprodukálni a meghatározandó pozíció(ka)t. A jogszabályi keretek kialakulásával és betartatásával a felhasználók egyre inkább igényelni fogják az ilyen jellegű tevékenységet. A kialakított kalibráló laboratórium azonban alkalmas a teljes mérő együttes egyes elemeinek a vizsgálatára is. Ezek a vizsgálati lehetőségek elsősorban a GPS antennára, mint a helymeghatározásban egyik kényes elemére vonatkoznak. Különösen a szélső pontosságot igénylő mozgásvizsgálati mérések esetében (ahol már a mm-es nagyságrendű egyedi fáziscentrum külpontosság is hibaforrás) nélkülözhetetlen az antennák kalibrálása. A FÖMI KGO-ban a K-GEO Akkreditált Laboratórium mindezeknek a feladatoknak az ellátására felkészült, és ha sikerül a geodéziában megszokott, valamint az akkreditáló testület által alkalmazott nyelvezet, ill. módszerek összhangba hozása, várhatóan 2001-ben megkapja erre a hivatalos felhatalmazást is.

## Hivatkozások

- Bányai L, Kenyeres A** (2000): Full roving GPS observation strategy in local geodynamics applications. BANF. Kanada.
- Langley R** (1998): A Primer on GPS Antennas, GPS World, July, pp. 50-54.
- Mader GL, MacKay JR** (1996): Calibration of GPS Antennas. Proc. IGS Analysis Center Workshop, Silver Spring, MD.
- Meertens C, Rocken C, Braun J, Exner M, Stephens B, Ware R** (1996): Field and Anechoic Chamber Tests of GPS Antennas. Proc. IGS Analysis Center Workshop, Silver Spring, MD.
- Menge F, Seeber G** (1999): Untersuchungen und Beiträge zur Problematik der Phasenzentrums-variationen von GPS-Antennen, DGK, Reihe B, Heft Nr. 310, München.
- Menge F et al.** (2000): Absolute Feldkalibrierung von GPS Antennen - Entwicklung und Grundlagen, GPS-Antennenworkshop, May 10, Institute für Erdmessung, Hannover.
- Beutler G et al.** (2000): Bernese GPS Software, Version 4.2. Astronomical Institute University of Berne.

**Rothacher M, Schär S** (1996): Antenna Phase Center Offsets and Variations Estimated from GPS Data. Proc. IGS Analysis Center Workshop, Silver Spring, MD.

**Schupler BR, Allshouse RL, Clark TA** (1994): Signal Characteristics of GPS user Antennae, Navigation, 41, No.3. pp. 277-295.

### **WEB hivatkozások**

[www.grdl.noaa.gov/GRD/GPS/ANTCAL](http://www.grdl.noaa.gov/GRD/GPS/ANTCAL)

[www.dola.wa.gov.au/lotl/survey\\_geodesy/specs](http://www.dola.wa.gov.au/lotl/survey_geodesy/specs)

[www.unavco.ucar.edu/dev\\_test/publications/suominetreportv\\_4.pdf](http://www.unavco.ucar.edu/dev_test/publications/suominetreportv_4.pdf)

[www.gfy.ku.dk/~iag/Travaux/ssg1158.htm](http://www.gfy.ku.dk/~iag/Travaux/ssg1158.htm)

[www.ife.uni-hannover.de/~web/AOA\\_DM\\_T/calibDMT.html](http://www.ife.uni-hannover.de/~web/AOA_DM_T/calibDMT.html)

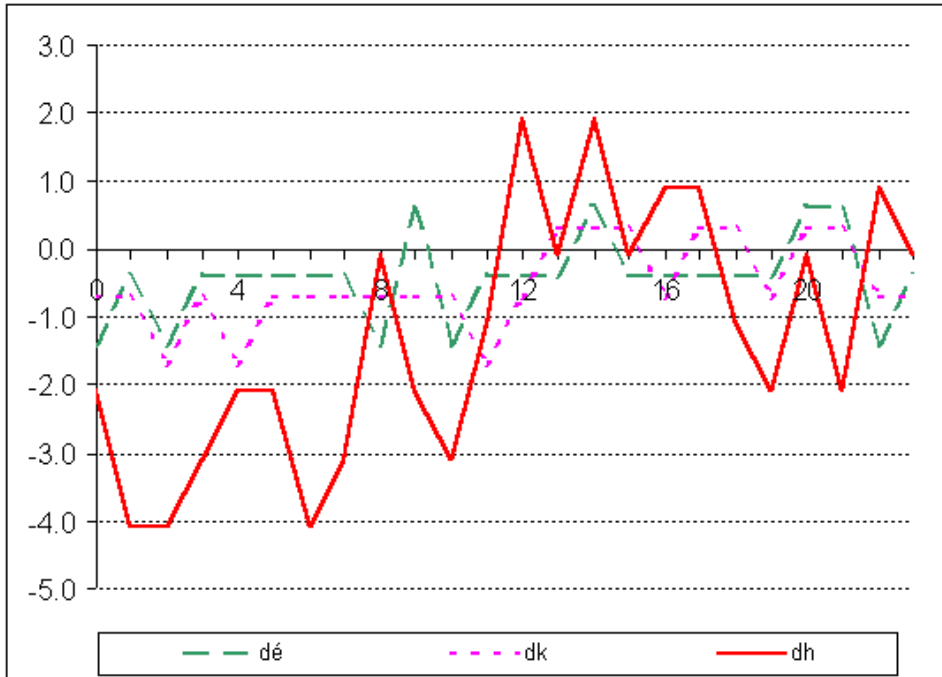
[igscb.jpl.nasa.gov](http://igscb.jpl.nasa.gov)

[homepage.oma.be](http://homepage.oma.be)

1. melléklet. Kalibrálási jegyzőkönyv. (1. oldal)

Alapkalibrálási eredménylap					
A GPS vevő típusa:		Trimble 4000 SST		Száma:	2819
Az antenna típusa:		TRM14532.00		Száma:	62877
Az antenna tájolása:		Észak		Mask:	15°
Feldolgozó szoftver		GPSurvey		Verzió:	2.35
A kalibrálás helye:		Penc, GPS Kalibráló Hálózat			
A kalibrálás dátuma:		2000.05.08-09.		Periódusok sz.:	24
A felhasznált alappontok:		PENC (perm.)		2007	
PENC - 2007		ÉSZAK	KELET	MAGASS.	TÁVOLS.
Referencia vektor [m]		-3.8266	-8.1453	-0.8089	9.0357
A referencia és mért vektorkomponensek eltérései [mm] :					
Mérési periódus		$d_e$	$d_k$	$d_h$	$d_l$
sorsz.	időpont				
0	12:03-13:04	-1.4	-0.7	-2.1	2.6
1	13:04-13:59	-0.4	-0.7	-4.1	4.2
2	14:00-15:00	-1.4	-1.7	-4.1	4.7
3	15:01-16:01	-0.4	-0.7	-3.1	3.2
4	16:01-17:02	-0.4	-1.7	-2.1	2.7
5	17:02-18:02	-0.4	-0.7	-2.1	2.2
6	18:03-19:03	-0.4	-0.7	-4.1	4.2
7	19:03-19:59	-0.4	-0.7	-3.1	3.2
8	19:59-21:00	-1.4	-0.7	-0.1	1.6
9	21:00-22:01	0.6	-0.7	-2.1	2.3
10	22:01-23:01	-1.4	-0.7	-3.1	3.5
11	23:02-23:59	-0.4	-1.7	-1.1	2.1
12	00:00-01:00	-0.4	-0.7	1.9	2.1
13	01:01-02:01	-0.4	0.3	-0.1	0.5
14	02:02-03:02	0.6	0.3	1.9	2.0
15	03:02-04:03	-0.4	0.3	-0.1	0.5
16	04:03-05:04	-0.4	-0.7	0.9	1.2
17	05:04-05:59	-0.4	0.3	0.9	1.0
18	05:59-07:00	-0.4	0.3	-1.1	1.2
19	07:00-08:01	-0.4	-0.7	-2.1	2.2
20	08:01-09:02	0.6	0.3	-0.1	0.7
21	09:02-10:02	0.6	0.3	-2.1	2.2
22	10:03-11:03	-1.4	-0.7	0.9	1.8
23	11:03-11:58	-0.4	-0.7	-0.1	0.8
Átlagos eltérés		-0.4	-0.5	-1.3	2.2
Középhiba		0.6	0.6	1.9	1.2

## 2. melléklet. Kalibrálási jegyzőkönyv. (2. oldal)

**Az eltérések grafikus ábrázolása****A vektor meghatározásának hibája és a mérés bizonytalansága**

$$\mu_{\acute{e}} = -0.4 \pm 0.6 \text{ mm}$$

$$\mu_{\mathbf{k}} = -0.5 \pm 0.6 \text{ mm}$$

$$\mu_{\mathbf{h}} = -1.3 \pm 1.9 \text{ mm}$$

A kalibrálást végezte:

.....

## TÁVMÉRŐ-KALIBRÁLÓ ALAPVONAL FELHASZNÁLÁSA GPS PONTOSSÁGI VIZSGÁLATOKRA

*Busics György\**

*A GPS vevők pontossági vizsgálatának alapja egy olyan teszhálózat, amelyben a pontok térbeli koordinátái ismertek. Egy ilyen „hálózat” pontjai lehetnek egy távmérő-kalibráló alapvonal pillérei is, ha azok GPS mérésre alkalmasak. A székesfehérvári alapvonal példáján mutatjuk be, hogyan jutunk a szabatos távolságok és geometriai kényszerek felhasználásával a WGS koordinátákhoz. Felhívjuk a figyelmet, hogy a GPS vevők tesztelése – a földi mobil mérőrendszerekhez hasonlóan – olyan mérőpályát is igényelne, ahol mozgás közben vizsgálható a rendszer.*

### **A GPS vevők pontossági vizsgálatáról**

A GPS technika egyre szélesebb körű alkalmazása során és a pontossági igények növekedése kapcsán gyakran merül fel a kérdés: milyen pontos a GPS, valósak-e a gyártók által megadott pontossági értékek. A kérdés jogosságát el kell ismernünk, bár a válasz korántsem egyszerű, hiszen itt egy bonyolult, összetett, rendkívül sok befolyásoló tényezőtől függő valódi rendszerről van szó. A GPS kalibráció nehézsége azonban nem kérdőjelezheti meg annak szükségességét; a geodézia múltja arra tanít, hogy minden új mérőeszköz meghonosodása magával hozta a pontossági vizsgálatok szükségességét is, mert a geodéták előbb-utóbb a mérőeszközzel elérhető szélső pontosságú mérések elvégzésére törekedtek.

A GPS kalibráció számos alrendszerre illetve paraméterre terjedhet ki. Tekintsünk most ezek közül egyet, a relatív GPS mérés végeredményét, vagyis a térbeli koordináta-különbségeket, azok pontossági mérőszámait. Ezen paraméterek megadásához jelenleg a következő megoldások lehetségesek:

- Szabatos, hosszú időtartamú, tisztán GPS mérésekkel meghatározott térbeli teszhálózat kialakítása.
- GPS szabad hálózat kialakítása, szabatos távmérések, mint kényszerek bevonásával.
- Több funkció tesztpálya kialakítása. A statikus mérésekhez ilyen lehet egy távmérő-kalibráló alapvonal, de szükség lenne a kinematikus mérések tesztelésére is.

Ismeretes, hogy az elmúlt évtizedekben, számos országban, így hazánkban is távmérő-kalibráló alapvonalakat hoztak létre a távmérőműszerek összeadó- és szorzóállandójának meghatározására. Kézenfekvőnek tűnik a felvetés, hogy ezek az alapvonalak felhasználhatók-e a geodéziai GPS vevők pontossági vizsgálatára? Az első alapfeltétel az, hogy az alapvonal pontjainak alkalmasnak kell lenniük a GPS mérésre. A múltban természetesen ez nem volt szempont, ezért csak a GPS-szerepnek is megfelelő, már meglévő alapvonalak közül választhatunk. Így nem jöhet szóba az egykori vasúti bevágásban haladó Gödöllői Alapvonal. A jövő alapvonalainak kiválasztásánál illetve tervezésénél azonban a GPS mérés feltételeit is érdemes figyelembe venni.

\*NyME FFFK, 8000 Székesfehérvár, Pirosalma u.1-3.

E-mail: [bgy@cslm.hu](mailto:bgy@cslm.hu)

## A távmérő-kalibráló alapvonal lehetséges szerepe

Milyen előnyök és hátrányok származnak az alapvonalak GPS vizsgálatokra való felhasználásánál?

Előnyök:

- A GPS rendszerétől független módon történik a referencia (a koordináta-különbségek) meghatározása. Biztosabb és megnyugtatóbb egy más elvű eljárást választani az etalon levezetésére, mint magát a vizsgálandó módszert használni.
- A szélső pontosságú távmérőkkel ma elérhető a néhány tized milliméteres pontosságú távolságmérés, tehát a jelenlegi GPS módszernél nagyságrenddel pontosabb az alapvonal-hosszak megadása.
- A távmérő alapvonalak rendszerint ötnél több állandósított pontot tartalmaznak, tehát egyszerre több vevő tesztelhető. Ezáltal a relatív mérés feltétele teljesül.
- Az alapvonal pontjait rendszerint egy térbeli egyenesen tűzik ki, illetve meghatározzák a térbeli egyenestől való eltéréseket, így ezt a geometriai kényszert felhasználhatjuk a térbeli helyzet meghatározásokor.

Hátrányok:

- Mivel az alapvonal pontjainak GPS mérésre alkalmasnak kell lenni, ennek a feltételnek a biztosítása hátránynak is felfogható.
- A távmérő kalibrálásnál csak a pontok közötti ismert hosszakat használjuk fel; a háromdimenziós helyzet megadásához így további kiegészítő mérések-re van szükség.
- A szabatos fizikai távmérés ma csak néhány kilométeres távolságon oldható meg, tehát ilyen módon nem hozható létre több száz kilométeres GPS vektorok tesztelésére alkalmas pálya.
- Az alapvonalon a geodéziai GPS vevőkkel végzett mérésekből megadhatók a mérés körülményeinek megfelelő pontossági mérőszámok a vektorösszetevőkre. Tudjuk azonban, hogy a mérés körülményei számos olyan befolyásoló tényezőt jelentenek, amelyek lényeges hatással vannak a pontosságra, ezeket a körülményeket tehát részletesen, egyértelműen dokumentálni kell. Ilyen körülmények: a vevő típusa, a műholdak száma, típusa, konfigurációja, a légköri viszonyok, a mérés módszere, időtartama, a szoftver típusa, a feldolgozás matematikai modellje, paraméterei...

## A székesfehérvári alapvonal néhány jellemzője

A székesfehérvári alapvonal 1985-ben létesült, a 8-as számú főút 15. és 16. km-szelvénye mentén, az úttól mintegy 100 m-re északra. Hét pillérből áll a következő kiosztással: 48-96-1962-383-768-1536 méter, jelzésük: A1-A7. Utóbb az iszakai mérőtorony pillére is része lett az alapvonalnak, amely minden pillérrel összelátszik. A pillérek mélysége talajmechanikai szakvélemény alapján 5-6 méter. A távmérő-kalibráló alapvonal pillérei közötti távolságokat Mekometer 5000 típusú távmérővel mérték meg, a távolságok középhibája 0.3 mm-re tehető. A kiegyenlített távolságok értékeit az 1. táblázat tartalmazza.

Az A1-A7 pilléreket az építés során úgy tűzték ki, hogy azok elvileg egy térbeli egyenesre essenek. A betonpillérek közelítő helyének kitűzését teodolit és rátéttávmérő segítségével végezték. A pillérek betonozásakor, egy bronzlap került beépítésre, amelyet

szintén teodolittal tűztek ki. Ebben a bronzlapban egy furat jelöli a pontot, amelyet Wild T3 teodolittal intettek be az egyenesbe. Az utólagos ellenőrző mérések igazolták, hogy a pontjelek vízszintes kigyózása 1 mm alatti, gyakorlatilag elhanyagolható mértékű.

**1. táblázat.** A Mekométerrel mért távolságok kiegyenlítés után.

Pillér	A1-ről	A8-ról
A1	-	2622.9820
A2	47.9775	2669.0187
A3	96.0172	2715.1823
A4	192.0150	2807.6198
A5	383.9901	2993.1473
A6	768.0216	3366.4515
A7	1536.0484	4118.9456

A pillérek magassági kigyózásának meghatározása szabatos szintezéssel történt. Minden pillér északi oldalán található egy szintezési csap, először ezeknek a meghatározását végezték oda-vissza irányú szintezéssel, alapul véve az A1 csap országos, Balti rendszerű magasságát. Ezután külön mérték a pillérekbe épített csap és a bronzlap magasságkülönbségét, így minden pillér tetejének van szabatos magassága, amelyet a 2. táblázat tartalmaz.

**2. táblázat.** A pillérek magasságai és a végpontok egyenesétől való magassági eltéréseik.

pillér	Pillér magasság [m]	magassági eltérés [mm]
A1	115.0238	0
A2	114.9427	-8
A3	114.8755	-3
A4	114.7250	-10
A5	114.4419	-3
A6	113.8685	-1
A7	112.7096	0

A 2. táblázat azt is feltünteti, hogy a végpontokon átmenő egyenesre mennyire illeszkednek a közbenső pillérek. Amennyiben a magassági kigyózás mértéke szintezésből származik, akkor itt figyelembe veendő a szintfelület és a végpontokat összekötő húr eltérése is.

Az a tény, hogy a székesfehérvári alapvonal pillérei közelítőleg egy egyenesen fekszenek illetve a pontjelek helyzete ezen az egyenesen nagy pontossággal ismert, lehetővé teszi, hogy meghatározzuk e pontok WGS84 rendszerű koordinátáit is. Ezáltal az alapvonal nemcsak távmérők kalibrálására, hanem GPS vevők tesztelésére is alkalmassá válik. Előnyös, hogy a viszonylag nagyobb távolságra (mintegy 3-4 km-re) lévő Iszka-hegyi mérőtorony (A8 jelű pillér) is része ennek a hálózatnak. A Mekométer jelenleg az egyik legpontosabb terepi mérőeszköz. Így egy független és nagyságrenddel pontosabb eszközzel vizsgálható a GPS-szel kapott vektorok pontossága.

## A székesfehérvári alapvonal GPS rendszerű koordinátáinak meghatározása

Az 1995. évi fehérvári városi GPS hálózati mérésekből átvettük az A7 pillér térbeli derékszögű koordinátáit. Ezek a koordináták közelítőleg EUREF89 rendszerűek (2000-ben a városi hálózatot további mérésekkel kapcsoltuk az OGPSH-ba, így az EUREF koordináták az itt közöltekhez képest megváltoztak). Ugyancsak átvettük az A1 jelű pillér GPS koordinátáit is, de olyan feltétellel, hogy a térbeli távolság egyezzen meg a Mekométerrel mért értékkel. Ezután a két térbeli végpont közé interpolálással számítottuk az elméleti egyenesen fekvő pontok koordinátáit, felhasználva a Mekométerrel mért távolságokat. A 3. táblázat tartalmazza a számítás eredményét.

**3. táblázat.** A pillérek WGS rendszerű elméleti koordinátái a végpontok egyenesére illesztve, a mért távolságok alapján.

pillér	X	Y	Z
A1	4120326.623	1363853.188	4658244.519
A2	4120308.299	1363897.418	4658247.648
A3	4120289.952	1363941.705	4658250.780
A4	4120253.287	1364030.205	4658257.040
A5	4120179.967	1364207.184	4658269.559
A6	4120033.295	1364561.219	4658294.601
A7	4119739.966	1365269.255	4658344.683

Mivel a pillérek nincsenek tökéletesen egy térbeli egyenesen, figyelembe kell még venni a magassági kigyózás mértékét. Ehhez az elméleti koordinátákat topocentrikus rendszerbe számítottuk át, az A1 pillért használva topocentrumként (4. táblázat). Itt összegeztük a topocentrikus magasságokat a 2. táblázatban szereplő magassági eltéréssel, majd az ily módon javított koordinátákat visszaalakítottuk a WGS rendszerbe. A következőkben ezeket a koordinátákat tekintjük az A1-A7 pillérek WGS rendszerű, hibátlan koordinátáinak, amelyekhez minden vizsgálati értéket viszonyítunk (5. táblázat). Szólni kell még az Iszka-hegyi pillér koordinátáiról, amelyeket szintén az eddigi mérések átlagaként vettünk fel, figyelembe véve a mért távolságokat. Az 5. táblázat koordinátáiból számított és a Mekométerrel mért távolságok eltéréseit a 6. táblázat tartalmazza.

A pillérek WGS rendszerű koordinátáit már az első GPS vevőink beszerzésekor felhasználtuk arra, hogy a gyártó cég által megadott pontossági mérőszámokat terepi körülmények között ellenőrizzük, illetve különböző típusú GPS vevők együttes használatát vizsgáljuk. Nemcsak statikus mérést végeztünk, hanem kinematikus is, amikor is a pillérállványon, Wild rendszerű kényszerközpontosítással felállított műszertalpból kiemeltük az antennát és gyalogosan átvittük egy másik pilléren elhelyezett műszertalpbá.

**4. táblázat.** A pillérek topocentrikus rendszerű elméleti és javított koordinátái.

Pillér	x	y	z	z (jav.)
A1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A2	4.6878	47.7476	-0.0788	-0.0868
A3	9.3886	95.5565	-0.1581	-0.1611
A4	18.7763	191.0950	-0.3168	-0.3268
A5	37.5489	382.1490	-0.6328	-0.6358
A6	75.1012	764.3400	-1.2661	-1.2671
A7	150.2020	1528.6850	-2.5318	-2.5318

**5. táblázat.** A pillérek WGS rendszerű végleges koordinátái.

Pillér	X	Y	Z
A1	4120326.623	1363853.188	4658244.519
A2	4120308.294	1363897.416	4658247.642
A3	4120289.950	1363941.704	4658250.778
A4	4120253.281	1364030.203	4658257.033
A5	4120179.965	1364207.183	4658269.557
A6	4120033.294	1364561.219	4658294.600
A7	4119739.966	1365269.255	4658344.683
A8	4120900.411	1361331.763	4658684.105

**6. táblázat.** A végleges koordinátákból számított és a Mekométerrel mért távolságok eltérései mm-ben.

Pillér	A1-ről	A8-ról
A1	-	0
A2	0	4
A3	0	2
A4	0	3
A5	0	0
A6	0	-1
A7	0	-4

### A kinematikus vizsgálatok szükségessége és lehetősége

A mozgás közbeni mérést lehetővé tevő mobil rendszerek megvalósulása (ide sorolható a GPS, az INS, a prizmakövető motoros mérőállomás), szükségessé teszi, hogy a mobil rendszert mozgás közben is vizsgáljuk. A legegyszerűbb megoldást, amikor – a GPS-nél maradva –, mozgás közben az antennát egy ismert helyzetű fix pontra helyezzük át, már említettük. A másik megoldás lehetne egy geometriailag ismert helyzetű kényszerpálya létrehozása, amely mentén az antennát mozgatva, a mozgás közben mért pontoknak az ismert pályától való eltérései vizsgálhatók.

A kinematikus mérések kényszerpályája és az antenna mozgatása lehet:

- Vízszintes helyzetű egyenes mentén, eltolással mozgatva.
- Függőleges helyzetű egyenes mentén, emeléssel-süllyesztéssel mozgatva.
- Vízszintes körpályán, forgatva.
- Térbeli rögzített pályán mozgatva.

A felsorolt lehetőségek közül az első hármat – igen egyszerű segédeszközöket használva –, volt alkalmunk kipróbálni. A vízszintes egyenest egy asztallapon rögzített, adott hosszúságú sínpálya (vonalzó) jelentette, ahol a csúsztatás egyenességét és a szélső helyzetek azonosságát illetve az ismert hosszúságtól való eltérését vizsgáltuk. A függőleges egyenest egy Wild típusú, forgatókarral emelhető műszerállvánnyal hoztuk létre, ahol a megállásos helyzetek közötti szintkülönbség ismert volt, továbbá a vízszintes pozíció azonossága volt a vizsgálat tárgya. A körpályát egy hagyományos mérőasztal forgatása jelentette, az elemzés a mért pontoknak az ismert sugarú körtől való eltérésére terjedt ki.

Az igazi megoldást az jelentené, ha rozsdamentes fémből egy térbeli, ismert geometriájú kényszerpályát hoznánk létre, amelyen az antenna (prizma) megfelelő segédszerkezettel mozgatható.

## A GPS VEVŐK KALIBRÁLÁSI LEHETŐSÉGEI

*Bányai László\**

*A geodéziai mérőberendezések kalibrálásának igénye már a GPS vevők esetében is egyre fokozottabban jelentkezik. Ebben a tanulmányban röviden összefoglaljuk a GPS vevők kalibrációjára felhasználható módszereket és elképzeléseket. A vevők vizsgálatának területén szerzett saját tapasztalatainkat részletesebben is bemutatjuk. A dolgozat összegzésésként javaslatot teszünk egy kalibrációs laboratórium felépítésére és feldolgozási módszereire vonatkozóan.*

### **Bevezetés**

A geodéziai mérőberendezések ISO rendszerű kalibrálásának igénye a rendszer-váltást követően került az előtérbe. Amíg a szintező és szögmérő berendezések hazai kalibrációja ma már megoldottnak tekinthető (Orbán 1999) és a távmérő berendezéseket hitelesítő laboratórium akkreditálása is a végéhez közeledik (FÖMI KGO), a GPS berendezések vizsgálatánál még csak a kezdő lépések megtételére került sor.

A geodéziai műszerek kalibrációja metrológiai szempontból bonyolult feladatnak számít, mivel a klasszikus összehasonlítás módszere a geodézia területén talán csak a mérőszalagok esetében alkalmazható. A modern digitális berendezések összetett mérési módszereket és beépített feldolgozó szoftvereket tartalmaznak, amely a felhasználó számára "fekete doboznak" minősül és a berendezések klasszikus vizsgálatát is megnehezíti. Különösen igaz ez a GPS berendezések esetében, ahol a mérési módszereknek megfelelően még további számítógépes adatfeldolgozásra is szükség van, ahol a szabályos jellegű hibák egy részét is számításba kell, illetve lehet venni.

A geodéziában azonban - törvényi előírások nélkül is - mindig alapkövetelmény volt a mérőberendezések és mérési eredmények megbízhatóságának a vizsgálata, amely a GPS mérések esetében is igaz, ezért az irodalomban rendelkezésünkre állnak olyan módszerek és elképzelések, melyekkel ezek a berendezések is megfelelően minősíthetők.

A továbbiakban a teljesség igénye nélkül felvázoljuk a GPS vevők kalibrálási lehetőségeit, röviden bemutatjuk saját tapasztalatainkat és megpróbáljuk felvázolni egy GPS kalibrációs laboratórium lehetséges felépítését.

### **A GPS vevőkről általában**

A GPS technika geodéziai alkalmazása során alapvetően 3D vektorok derékszögű komponenseit határozzuk meg, amelyből a vektorok hossza feltevésmentesen határozható meg. A GPS rendszer fejlesztésének kezdetén a hosszabb vektorokat VLBI (Hosszúbázisú rádió-interferometria) mérésekből levezetett távolságokkal hasonlították össze. Már az első hálózati mérések során szabályos hibaként jelentkezett a különböző antennák eltérő átlagos fáziscentrum külpontossága, melyet kezdetben ismert lokális hálózaton történő mérésekkel határoztak meg (Seeger et al. 1992). A troposzférikus törésmutató paramétereinek becslésénél már a fáziscentrum változásának magasságiszög- és azimutfüggő karakterisztikáját is figyelembe kellett venni (Beutler et al. 1994). Az antennaegység mellett a GPS vevők órája (oszillátora) az egyik legfontosabb műszerelem, melynek állását és járást a vevőberendezések a műholdakra történő kódérések során  $\pm 1-2$  nsec pontossággal folyamatosan meghatározzák (önkalibráció). A geodéziai célra

\*MTA FKK GGKI, 9400 Sopron, Csatka u. 6-8.

E-mail: [banyai@ggki.hu](mailto:banyai@ggki.hu)

használt fázismérések pontossága  $\pm 1-3$  mm értékkel jellemezhető, ezért a mérések méretarányát az oszcillátor mellett az ionoszférikus és troposzférikus törésmutató meghatározása, illetve becslése is döntően befolyásolja.

Összességében tehát megállapíthatjuk, hogy a GPS mérések nagyon hasonlóan a hagyományos távmérésekhez abban, hogy a fáziscentrum ingadozások konstans, az oszcillátor és refrakciós hatások figyelembevétele pedig méretarány jellegű hibákat eredményez, amely a GPS vevők vizsgálatánál is felhasználható. A leglényegesebb különbség azonban az, hogy a GPS mérések hibái a megfigyelési idő növekedésével - a periodikus hibák kiátlagolódásával - csökkennek, ezért a különböző mérési időigényű módszereknél (pl. kinematikus, RTK, gyors statikus, statikus) a vektorok konstans hibái is jelentősen eltérhetnek egymástól.

### Különböző kalibrálási lehetőségek

A GPS mérések jellegzetességeit figyelembe véve különböző vizsgálatokra van lehetőségünk. Az antenna fáziscentrumba és az oszcillátora, mint műszerelem, hagyományos módszerrel is vizsgálható. Speciális mérési elrendezések során az adatfeldolgozásnál használt mérési kombinációk is felhasználhatók a berendezések megbízhatóságának a vizsgálatára. Néhány lehetséges módszer rövid leírása a következő.

**Frekvenciamérés:** Egyes műszereknél, mint pl. a TurboRogue az oszcillátor frekvenciája közvetlenül mérhető. Amennyiben az öregedés következtében a mérési tartomány jelentősen megváltozna, azt gyakorlatilag a felhasználó is áthangolhatja. Ezt a lehetőséget is célszerűbb azonban szakszervizre bízni. Nagy pontosságú külső oszcillátor alkalmazásával vizsgálhatjuk az eredeti oszcillátor által generált hibák hatását is.

**Fáziscentrum karakterisztika:** A fáziscentrum külpontossága, magasság és irányfüggő karakterisztikája közel két órás mérési programmal "süketszobában" is meghatározható (Schupler, Clark 1991). A speciális felszerelést igénylő laboratóriumban többnyire csak antenna típusok vizsgálatára nyílik lehetőség. Az antenna karakterisztikákat a tudományos célú programokba általában beépítik (pl. Bernese), így ezeknek a hibáknak a nagy része kezelhetővé válik.

**Relatív fáziscentrum karakterisztika:** A relatív antenna-karakterisztika meghatározására több programot, illetve program opciót is kifejlesztettek (Rothacher et al. 1995, Breuer et al. 1995), amely egy ismert referencia vevő közelében elhelyezett vevő méréseit dolgozza fel. A relatív karakterisztika a további számítások során felhasználható.

**Átlagos fáziscentrum külpontosság:** Az adatfeldolgozás maradék fáziscentrum külpontosságai az *antennaforgatás*, az *antenna csere* (Braun et al. 1996), valamint az új *teljes helycsere* módszerével szabatos kalibrációs vonal, vagy hálózat nélkül is elvégezhető. Ezeket a maradék hibákat a felhasználó akár speciális szoftverek nélkül is ellenőrizheti.

**Zéró-bázisvonal mérése:** Magából a vevőberendezésből származó hibák vizsgálatára gyakran a zéró-bázisvonal módszert alkalmazzák. A műholddal, a jelterjedéssel és az antennával kapcsolatos hibák ebben az esetben teljesen azonosak. Ismert álláspont és precíz efemeridák esetében a mérések véletlen jellegű- és a műszerek órahibái (pontosabban azok különbségei) az egyszeres különbség vagy a nem-különbségképző feldolgozásnak megfelelően is meghatározhatók.

**Rövid bázisvonal mérése:** Mivel az antennából származó jel megosztása jelvesztéséget eredményezhet, amely különösen a különböző típusú műszerek esetében lehet kedvezőtlen, ezért az előző módszer gyakorlatilag rövid bázisvonalak esetében is alkalmazható, ahol az ismert bázisvonal hossza is figyelembe vehető. Ekkor azonban az eltérő

antennák hatása is jelentkezik, így a többutas terjedésre vonatkozó érzékenység is ellenőrizhető.

**Önkalibrációs módszerek:** A kétfrekvenciás vevőknél és azoknál a berendezéseknél, ahol a csatornák működését a mérő jelentősen befolyásolhatja (pl. TurboRogue), egyetlen vevő méréseiből is hasznos információkhoz juthatunk. Ilyen lehet, pl. az ionszférát tartalmazó kombináció alkalmazása, vagy a különböző csatornákon azonos műholdak megfigyelése.

**Kalibrációs hálózatok (vonalak) mérése:** A távmérők kalibrációjával analóg módszer, melyet többnyire lokális, szabatos geodéziai módszerekkel meghatározott 3D hálózatok ismételt GPS meghatározásával hajtanak végre. Ezeknél a méréseknél a felhasználó által használt kereskedelmi feldolgozó szoftvereket is célszerű alkalmazni, amellyel a teljes műszeregyüttes teljesítőképessége is vizsgálható. A hagyományos kalibrációs vonalak a GPS mérések külső körülményeinek, különösen a kalibrációs célú mérések esetében, általában nem felelnek meg, ezért ezek használata igen korlátozott.

A lehetséges módszerek áttekintése után megállapíthatjuk, hogy a referencia műszerek szerepe a GPS technika esetében sem elhanyagolható, amely a klasszikus metrologia alapkövetelménye is. Az önálló vizsgálati módszerek is nagyon hasznosak lehetnek, de az összehasonlításos módszerekhez hasonlóan itt is speciális szoftverekre van szükség. A hálózatmérésen alapuló módszerek is nagyon hasznosak, de csak a végtermékekről hordoznak kellő információt, amely az alkalmazott mérési módszerrel (a mérés időtartamával) van szoros kapcsolatban. A lokális hálózati mérésekkel lényegében csak a véletlen jellegű és a konstans bázisvonal eltérések vizsgálhatók.

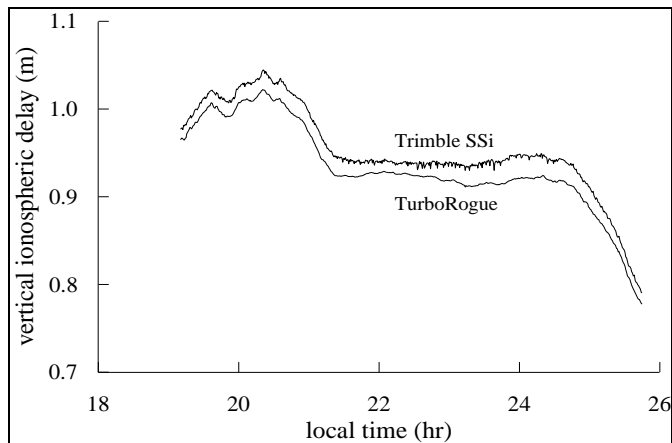
### A GGKI tapasztalatai a GPS vevők vizsgálatában

Az intézetünkben végrehajtott első vizsgálatokat a TurboRogue SNR-8000 vevő teljesítményének a megismerése motiválta. Az önkalibrációs módszernek megfelelően a P-kódú és XCR (keresztkorrelációs) mérésre alkalmas műholdat négy-négy vevőcsatornán egyidejűleg mértük, így a mérési módszerek és csatornák véletlen és szabályos jellegű eltérései is vizsgálhatóvá váltak (Bányai, Eper-Pápai 1996). Ez a módszer alkalmas műhold hiányában ma már nem alkalmazható és más műszertípusok sem támogatják ezt a lehetőséget.

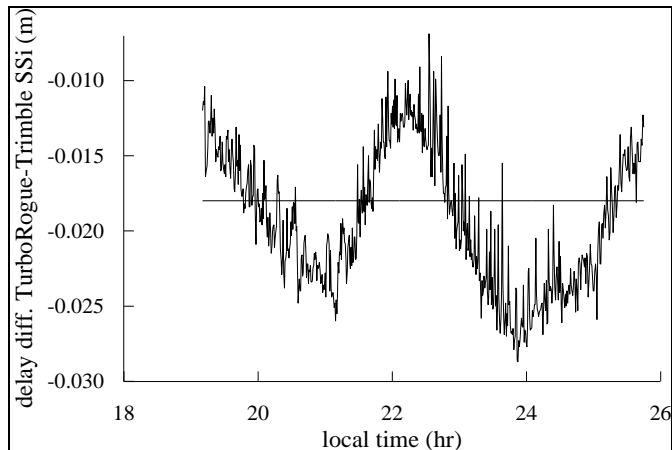
Szintén az önkalibrációs módszer ionszférikus kombinációjával hasonlítottuk össze a TurboRogue és a Trimble SSi vevőket (Bányai, Gianniou 1997). Ezekből a kombinációkból az órahibák, a troposzférikus hatások és a műszer-vevő relatív helyzete is kiesik, ezért a viszonylag sima lefutású ionszférikus hatás egyszerű modellezésével a kombinációk véletlen jellegű hibái, azaz a fázismérések megbízhatósága becsülhetővé vált. Rövid bázisvonalak mentén a különböző műszereket azonos ionszférikus hatások érik, ezért a különbségekből a vevők szabályos eltérései is becsülhetők. Az 1. ábra a TurboRogue és Trimble SSi vevővel mért ionszférikus hatásokat mutatja, a különbség (2. ábra) a véletlen jellegű és a fáziscentrum eltérő karakterisztikáját szemlélteti. Ez a módszer csak kétfrekvenciás vevők esetében alkalmazható.

Az önállóan meghatározott GPS bázisvonalak szabatos 3D kiegyenlítésére vonatkozóan folyamatosan fejlesztettük a GPS-NET hálózat-kiegyenlítő és bázisvonal elemző programunkat, amely a véletlen jellegű konstans, és szükség esetén járulékos elfordulási hibák becsülésére is alkalmas (Bányai 1991). A koordináta ismeretlenek mellett szabályos méretarány eltérések és az átlagos fáziscentrum külpontosságok is becsülhetők, amennyiben megfelelő mérési programot hajtottunk végre. A program lehetővé teszi tetszőleges számú pont rögzítését, vagy azok változásai négyzetösszegének minimalizálását a

szabadhálózatok elvének megfelelően, ezért deformáció vizsgálati célra is alkalmas. A program támogatja az antennaforgatásos (1. melléklet) és az újonnan bevezetett teljes helycserés (2. melléklet) mérési módszert is, amely a maradék fáziscentrum hibák becslését is lehetővé teszi. Ez utóbbi módszerre vonatkozóan bemutatunk egy kísérleti adatfeldolgozást, amit a penci lokális GPS kalibrációs hálózaton hajtottunk végre (3. melléklet). Az ismételt vektorok együttes hálózati kiegyenlítése azt mutatja, hogy a hálózat belső összhangja jóval kedvezőtlenebb a vektor kiegyenlítés belső összhangjánál (Bernese program). A teljes helycserés kiegyenlítés során a belső összhang helyre állt és a becsült külpontosságok nagyon kis értékek, melyek a véletlen jellegű hibák hatását is tükrözik.



**1. ábra.** A TurboRogue és Trimble SSI GPS vevővel mért ionoszférikus hatások.



**2. ábra.** A TurboRogue és Trimble SSI GPS vevővel mért ionoszférikus hatások különbsége.

Az ófalui geodinamikai mérések során módunkban állt három különböző hosszúságú bázisvonalat szabatos távméréssel (Wild/Leica DI2002) és különböző GPS mérésekkel is meghatározni. A GPS méréseket és a vektorok meghatározását a FÖMI-KGO végezte. Az azonos módon síkba redukált távolságokat a 4. ábrán hasonlítjuk össze.

**1. melléklet.** Átlagos fáziscentrum-külpontosság vizsgálat antennaforgatással.

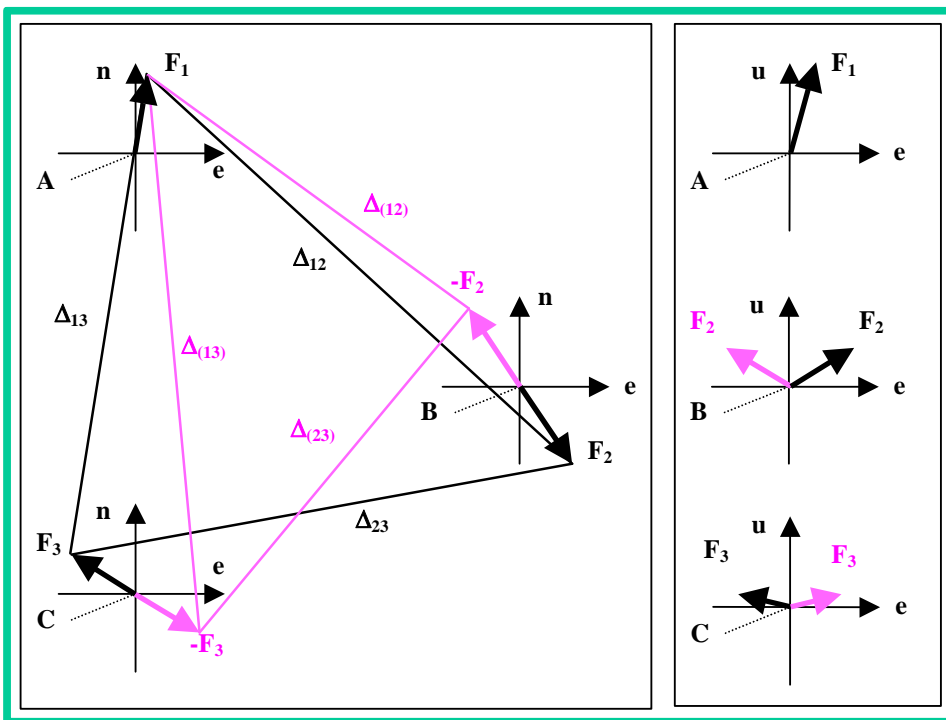
*Alapelv:* Mérjük meg a vektorokat két mérési periódusban úgy, hogy az antennákat egy kivétellel ellentétes (déli) irányba forgatjuk.

*A helyi rendszere vonatkozó ábra (n,e,u - észak, kelet, zenit ) jelölései:*

**A,B,C** - a geometriai fáziscentrum (alappontok) helyzetvektorai,

**1, 2, 3** - az antennák (vevők) sorszáma,

**F<sub>1</sub>** , **Δ<sub>1j</sub>** , **Δ<sub>(1j)</sub>** - az átlagos fáziscentrum külpontosság és a mért oldalak vektorai.



*Csak a horizontális komponensekre (n,e) érvényes vektorszámítások:*

$\Delta_{12} = (\mathbf{B} + \mathbf{F}_2) - (\mathbf{A} + \mathbf{F}_1) = (\mathbf{B} - \mathbf{A}) + (\mathbf{F}_2 - \mathbf{F}_1)$	$(\Delta_{12} - \Delta_{(12)})/2 = \mathbf{F}_2$
$\Delta_{(12)} = (\mathbf{B} - \mathbf{F}_2) - (\mathbf{A} + \mathbf{F}_1) = (\mathbf{B} - \mathbf{A}) - (\mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_1)$	$(\Delta_{12} + \Delta_{(12)})/2 = \mathbf{B} - (\mathbf{A} + \mathbf{F}_1)$
$\Delta_{23} = (\mathbf{B} + \mathbf{F}_2) - (\mathbf{C} + \mathbf{F}_3) = (\mathbf{B} - \mathbf{C}) + (\mathbf{F}_2 - \mathbf{F}_3)$	$(\Delta_{23} - \Delta_{(23)})/2 = (\mathbf{F}_2 - \mathbf{F}_3)$
$\Delta_{(23)} = (\mathbf{B} - \mathbf{F}_2) - (\mathbf{C} - \mathbf{F}_3) = (\mathbf{B} - \mathbf{C}) - (\mathbf{F}_2 - \mathbf{F}_3)$	$(\Delta_{23} + \Delta_{(23)})/2 = (\mathbf{B} - \mathbf{C})$

*Következtetések:* Az átforgatott és a változatlan vevő mért vektorainak a különbségéből az átforgatott antenna horizontális külpontosságának az abszolút értéke (**F<sub>2</sub>**) határozható meg. A mozdulatlan vevő külpontossága nem fejezhető ki. Ha minden antennát átfordítunk csak a fáziscentrum különbségek (**F<sub>2</sub>-F<sub>3</sub>**) vagy az azoktól mentes vektorok (**B-C**) határozhatók meg. A vektorok hálózati kiegyenlítésnél további két dátumdefektus jelentkezik. Egy "ismert" antenna horizontális értékét rögzíteni kell, vagy a szabadhálózat elvének megfelelően az átlagtól való eltérések becsülhetők (GPS-NET program).

## 2. melléklet. Átlagos fáziscentrum-külpontosság vizsgálat teljes helycserével.

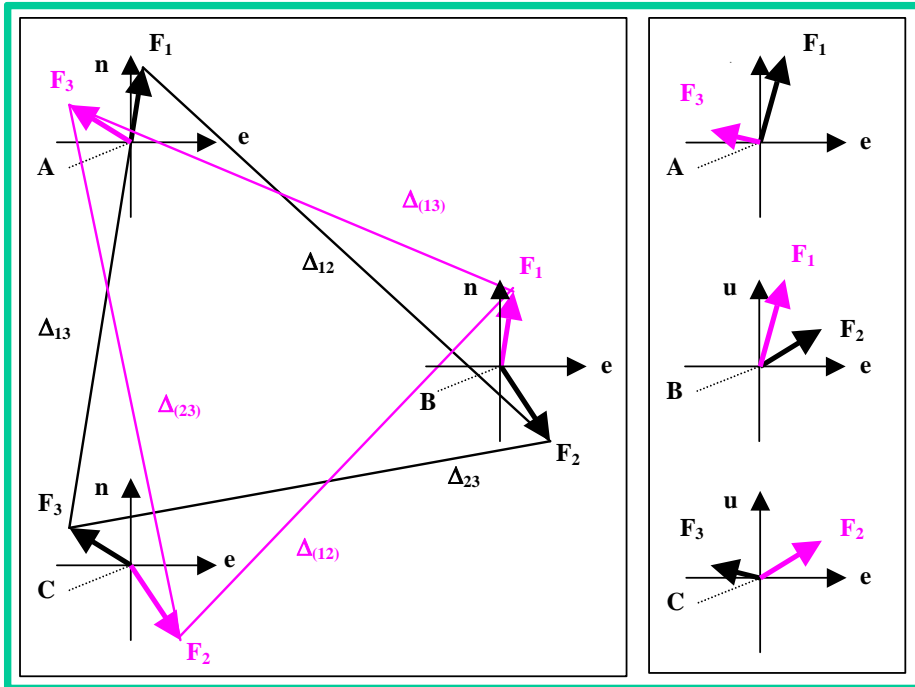
*Alapelv:* Mérjük meg a vektorokat két mérési periódusban úgy, hogy az ismétléskor minden antenna-pár egy másik bázisvonal végpontjain legyen elhelyezve.

*A helyi rendszere vonatkozó ábra (n,e,u - észak, kelet, zenit) jelölései:*

**A,B,C** - a geometriai fáziscentrum (alappontok) helyzetvektorai,

**1, 2, 3** - az antennák (vevők) sorszámára,

**F<sub>1</sub>, Δ<sub>12</sub>, Δ<sub>13</sub>** - az átlagos fáziscentrum külpontosság és a mért oldalak vektorai.



*Mind a három komponensre (n,e,u) érvényes vektorszámítások:*

$\Delta_{12} = (\mathbf{B} + \mathbf{F}_2) - (\mathbf{A} + \mathbf{F}_1) = (\mathbf{B} - \mathbf{A}) + (\mathbf{F}_2 - \mathbf{F}_1)$	
$\Delta_{13} = (\mathbf{B} + \mathbf{F}_1) - (\mathbf{A} + \mathbf{F}_3) = (\mathbf{B} - \mathbf{A}) + (\mathbf{F}_1 - \mathbf{F}_3)$	$(\Delta_{12} - \Delta_{13}) = \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 - 2\mathbf{F}_1$
$\Delta_{12} = (\mathbf{B} + \mathbf{F}_2) - (\mathbf{A} + \mathbf{F}_1) = (\mathbf{B} - \mathbf{A}) + (\mathbf{F}_2 - \mathbf{F}_1)$	
$\Delta_{12} = (\mathbf{C} + \mathbf{F}_2) - (\mathbf{B} + \mathbf{F}_1) = (\mathbf{C} - \mathbf{B}) + (\mathbf{F}_2 - \mathbf{F}_1)$	$(\Delta_{12} - \Delta_{12}) = 2\mathbf{B} - \mathbf{A} - \mathbf{C}$

*Következtetések:* A teljes helyváltoztatásos módszernél az azonos bázisvonalra ( $\mathbf{B}-\mathbf{A}$ ) vonatkozó vektorokból a fáziscentrumok külpontosságának kombinációi ( $\mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 - 2\mathbf{F}_1$ ), míg az azonos vevő-párra ( $\mathbf{F}_2 - \mathbf{F}_1$ ) vonatkozó vektorokból a geometriai fáziscentrumok kombinációi ( $2\mathbf{B}-\mathbf{A}-\mathbf{C}$ ) határozhatók meg. A mért vektorok hálózati kiegyenlítésénél a fáziscentrum ismeretlenek további három dátumdefektus okoznak. Egy "ismert" antenna értékeit rögzíteni kell, vagy a szabadhálózat elvének megfelelően az átlagtól való eltérések becslhetők (GPS-NET program).

**3. melléklet.** A teljes helycserére vonatkozó kísérleti mérések eredményei.

*Általános leírás.* A penci GPS kalibrációs hálózat négy alappontján különböző vevőkkel és antennákkal közel 24 órás teljes helycserés méréseket hajtottunk végre. A Bernese program a vektorok meghatározásánál a megfelelő fáziscentrum modelleket is figyelembe vette.

*Hálózati feldolgozás a GPS-NET programmal:*

**I - A fáziscentrum külpontosságok becslése nélkül:**

A $\sigma_0$ értékek azonosságára vonatkozó teszt	$\sigma_0$	szabadságfok	$\chi^2$ teszt	Megoldás
	0.00167	183438	nem	Bernese
	0.06098	27	azonosak	GPS-NET

Alappontok	Koordinátaváltozások (m)		
	$dx$	$dy$	$dz$
2002	-0.0001 $\pm$ 0.0019	-0.0002 $\pm$ 0.0007	0.0001 $\pm$ 0.0022
2004	0.0016 $\pm$ 0.0019	0.0012 $\pm$ 0.0007	-0.0008 $\pm$ 0.0022
2005	-0.0010 $\pm$ 0.0019	-0.0013 $\pm$ 0.0007	-0.0002 $\pm$ 0.0022
2008	-0.0005 $\pm$ 0.0019	0.0003 $\pm$ 0.0007	0.0009 $\pm$ 0.0022

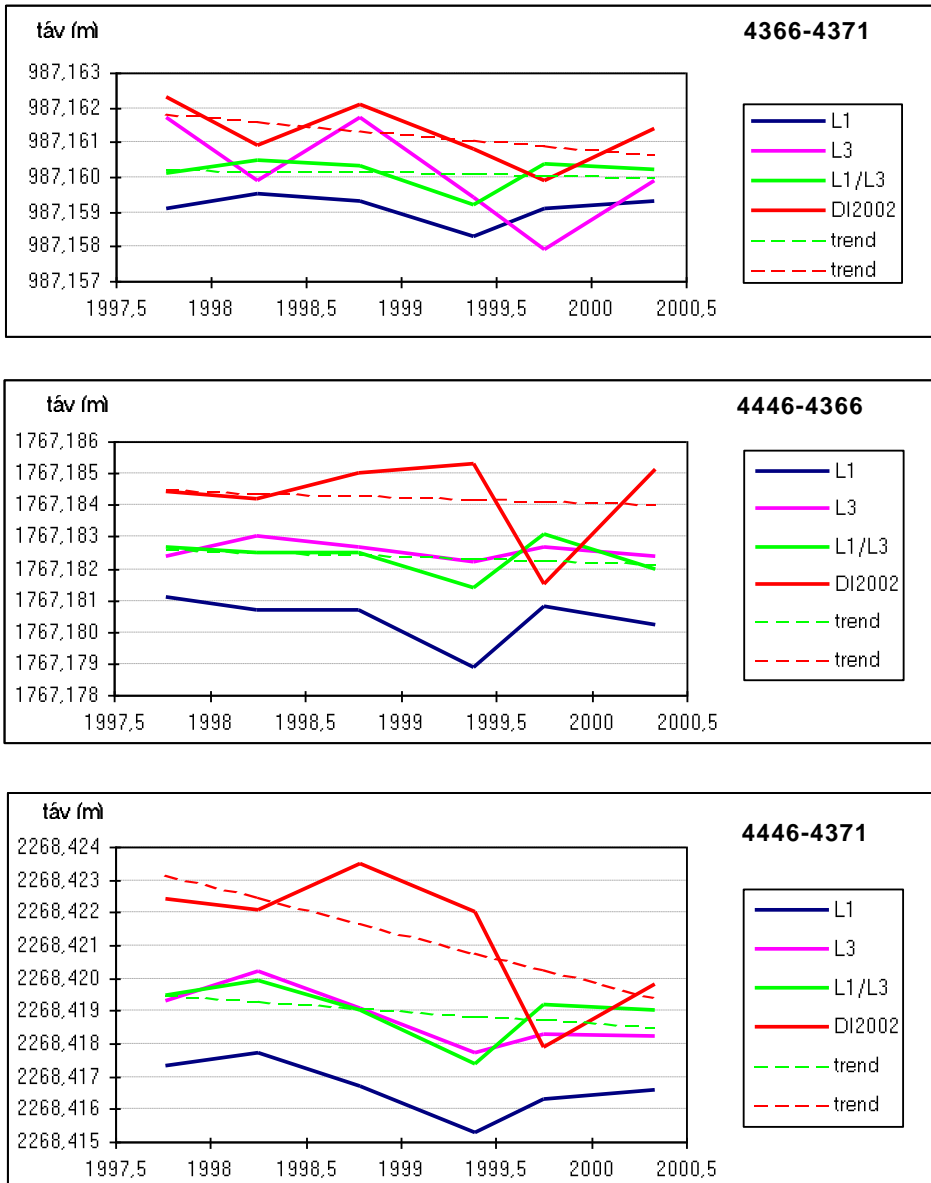
**II - A fáziscentrum külpontosságok becslésével:**

A $\sigma_0$ értékek azonosságára vonatkozó teszt	$\sigma_0$	szabadságfok	$\chi^2$ teszt	Megoldás
	0.00167	183438		Bernese
	0.00149	18	azonosak	GPS-NET

vevők (antennák)	Fáziscentrum külpontosságok (m)		
	$n$	$e$	$u$
1	-0.0013 $\pm$ 0.0000	0.0006 $\pm$ 0.0000	0.0009 $\pm$ 0.0001
2	-0.0016 $\pm$ 0.0000	0.0009 $\pm$ 0.0000	0.0008 $\pm$ 0.0001
3	0.0005 $\pm$ 0.0000	-0.0011 $\pm$ 0.0000	-0.0012 $\pm$ 0.0001
4	0.0024 $\pm$ 0.0000	-0.0004 $\pm$ 0.0000	-0.0005 $\pm$ 0.0001

Alappontok	Koordinátaváltozások (m)		
	$dx$	$dy$	$dz$
2002	0.0012 $\pm$ 0.0001	0.0010 $\pm$ 0.0000	-0.0003 $\pm$ 0.0001
2004	0.0013 $\pm$ 0.0001	0.0014 $\pm$ 0.0000	-0.0004 $\pm$ 0.0001
2005	-0.0007 $\pm$ 0.0001	-0.0015 $\pm$ 0.0000	-0.0005 $\pm$ 0.0001
2008	-0.0019 $\pm$ 0.0001	-0.0010 $\pm$ 0.0000	0.0012 $\pm$ 0.0001

*Következtetések:* Mivel a Bernese program nagyon kicsi középhibákat becsül, a két periódusban mért vektorok szabatos kiegyenlítésénél a  $\sigma_0$  értékek statisztikailag nem azonosak. Ez azt jelenti, hogy a vektorok közötti ellentmondások nagyobbak, mint a vektorok középhibái alapján azok várhatóak lennének. A fáziscentrum külpontosságok becslésével ezek az eltérések is modellezhetők, de hasonlóan a Bernese programhoz a GPS-NET program is nagyon kicsi középhibákat becsül.



**3. ábra.** A Wild/Leica DI2002 távmérővel és GPS technikával meghatározott távolságok változásai (L1 - fázismérés, L3 - ionoszféra mentes kombináció, L1/L3 - hálózatkiegyenlítésből ionoszférikus méretarány becslésével).

Megállapíthatjuk, hogy az L1 fázismérésből származó bázisvonalak az L3 ionoszféramentes, valamint az L1/L3 méretarány korrekcióval becsült megoldáshoz viszonyítva megközelítőleg 1 ppm (1 mm/km) szabályos hibával terheltek. Az L1/L3 megoldáshoz viszonyított szabatos távmérések még további, hasonló nagyságrendű méretarány eltérést mutatnak. Ez a méretarányhiba összhangban van a gyártók által megadott értékekkel is.

Itt meg kell azonban jegyeznünk azt, hogy az első távolságtól eltekintve a hosszak lényegesen nagyobbak, mint az etalonként használt gödöllői alapvonal hossza, ezért a hagyományos távolságok is nagyobb hibával terheltek. Az egyes pontok eltérő topográfiai és tektonikai egységeken helyezkednek el, ezért az alapvonalal kapcsolatos követelményeket sem elégíthetik ki.

A fejezet lezárásaként megállapíthatjuk, hogy Intézetünkben a GPS mérések vizsgálatával kapcsolatosan hasznos tapasztalatokra tettünk szert, de nem rendelkezünk a GPS vevők kalibrációjára vonatkozó átfogó megoldással, illetve rendszerrel. Az erre vonatkozó jelenlegi elképzeléseinket és javaslatunkat az összefoglalás tartalmazza.

### Összefoglalás

Az eddigi ismereteink szerint kalibrációs célra egy olyan permanens állomás körül kiépített lokális hálózat lehetne a legalkalmasabb, ahol a permanens állomáson üzemelő körszerű műszer valamely hálózat tagja, és a műszer megfelelő működését független adatfeldolgozó központok is folyamatosan nyomon követik. Ezt a referencia műszert célszerű lenne külső nagy stabilitású atomórával üzemeltetni és az antenna (de legalább a típus) karakterisztikáját is megfelelően ismerni.

A vizsgálandó vevőket a rövid bázisvonalú módszernek megfelelően két mérési periódusban lenne célszerű üzemeltetni úgy, hogy a két periódus között a vizsgált antennákat átforgatnák, vagy a teljes helycserének megfelelően a műszereket áthelyeznék. Az így előállított adathalmaz számos ismertetett vizsgálatot tenne lehetővé.

A rövid bázisvonalú módszernek megfelelően vizsgálni kellene a vevőpár (a referencia és vizsgált vevő) órahibáit, azaz a vevők által folyamatosan korrigált oszcillátoroknak a rövidperiódus stabilitását, amely a méretarányal kapcsolatos, valamint a mért mennyiségek véletlen jellegű hibáit is. Szintén fontos lenne a vevők relatív antennakarakterisztikájának a meghatározása. Ezek a vizsgálatok többnyire megfelelnek klasszikus metrológiai követelményeinek, mivel azokat a műszerelemeket hasonlítja össze, amelyek meghatározzák a műszertől elvárható teljesítményt függetlenül a mérési módszertől és annak időtartamától.

A vizsgálatokat a mérések lokális hálózati feldolgozása zárhatná, melyet tudományos és a vizsgált vevőkhöz tartozó kereskedelmi szoftverrel is el lehetne végezni. A becsült maradék fáziscentrum külpontosságok, az ismert távolságoktól és magasságkülönbségektől való eltérések jól jellemezhetnék a bázisvonalakat terhelő konstans és véletlen jellegű hibákat is.

A bázisvonalak méretarányhibái többnyire a feldolgozás módszerének, a mérés időtartamának, a bázisvonal hosszának és az atmoszféra pillanatnyi állapotának a függvénye, ezért kalibrációs módszerekkel csak nagy nehézségek árán lenne vizsgálható, és korrekcióként sem lenne célszerű felhasználni. Lényegében csak az oszcillátorok rövid periódusú stabilitását vizsgálhatjuk. Amennyiben ez megfelelő a továbbiak az egyéb körülmények függvényei. A geodéziai alkalmazásoknál a mért hálózatrészt az országos hálózatba kell transzformálni, amely a méretarány eltérést is figyelembe veszi, ezért ez nem tekinthető súlyos problémának. Az eddigi tapasztalataink alapján az 1 ppm követelménynek az általunk használt műszerek és szoftverek általában megfeleltek.

### Köszönetnyilvánítás

A dolgozatban bemutatott vizsgálatok és eredmények nagyrészt az OTKA A 125, az OTKA T 029052 és az AKP 98-68 projektek támogatásának köszönhető.

### Hivatkozások

- Bányai L** (1991): Treatment of rotation errors in the final adjustment of GPS baseline components. Bulletin Géodésique, Vol. 65, pp. 102-108.
- Bányai L, Eper-Pápai I** (1996): Comparison of cross-correlation and P-code tracking of TurboRogue GPS receivers. Bolletino di Geodesia e Scienze Affini. Anno LV-N.1, 9-24.
- Bányai L, Gianniu M** (1997): Comparison of TurboRogue and Trimble SSi GPS receivers for ionospheric investigations under anti-spoofing. Zeitschrift für Vermessungswesen. Heft 3. pp. 136-142.
- Beutler G, Mueller II, Neilan R** (1994) The International GPS Service for Geodynamics (IGS): Developments and Start of Official Service on 1 January 1994. Bulletin Géodésique, Vol. 68. No. 1, pp. 43-51.
- Braun J, Stephens B, Ruud O, Meertens C** (1996): Trimble Choke Ring Antenna Mean Phase Center Calibration. University NAVSTAR Consortium, Boulder, CO, 21 August.
- Breuer B, Campbell J, Görres B, Hawig J, Wohlleben R** (1995): Kalibrierung von GPS-Antennen für hochgenaue geodätische Anwendungen. Zeitschrift für Satellitengestützte Positionierung, Navigation und Kommunikation. 2/95, pp. 49-59.
- Orbán A** (1999): A geodéziai műszerkalibrálás kialakulása a soproni MTA GGKI-ban. GéK. 1, 24-28.
- Rothacher M, Schaer S, Mervart L, Beutler G** (1995): Determination of Antenn Phase Center Variations using GPS Data. IGS Special Topics and New Directions. Workshop Proceedings. Potsdam. pp. 205-220.
- Schupler BR, Clark TA** (1991): How different Antennas Affect the GPS-Observable. GPS-World, Nov/Dec. 1991, pp. 32-36.
- Seeger H, Augath W, Bordley R, Boucher C, Engen B, Gurtner W** (1992): Status Report on the EUREF-GPS-Campaign 1989 to the IAG EUREF-Subcommission. Veröffentlichungen der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung, Astronomisch-Geodätische Arbeiten, München, Heft 52, pp. 26-34.

## VÍZSZINTES HÁLÓZATOK PONTOSSÁGI MÉRŐSZÁMAINAK NÉHÁNY PROBLÉMÁJA

Csepregi Szabolcs\*

*A dolgozatban a vízszintes hálózatok pontossági mérőszámaival foglalkozunk. Először a alsórendű hálózatok szempontjából. Az ismert pontossági mérőszámok áttekintése után a hálózatok relatív középhibájával kapcsolatos problémáját vetjük fel. Részletesebben ismertetjük a hálózat helyi pontossági problémáit. Befejezésül a hibahatár képletekkel kapcsolatos elgondolásokat ismertetjük.*

### Bevezetés

A számítógépek elterjedése lehetőséget ad arra, hogy a hálózatok számítását kiegyenlítéssel végezzük. A meghatározásnak ez a módja ma már általánossá vált. Az országban ma készülő felmérési hálózatokat is kiegyenlítéssel számítják. Ezeknél a hálózatot általában több részre bontják fel. Egy hálózatrész 30-60 pontból áll, és ezeket egyenlítik ki egysszerre.

A hálózatok mérését nem lehet azonos időben, azonos körülmények között elvégezni. A munka teljesítésének határideje és más követelmények miatt a hálózat mérését nem azonos mérőcsoport végzi. Így elkerülhetetlen, hogy a hálózat egyes részein pontosabb, más részein kevésbé pontosak a mérési eredmények. Előzetesen az egyes mérési eredmények különböző pontossága nem mondható meg.

Az országos alappont hálózatok sűrítésénél az egyes mutatókra, az egyes jellemzőkre régóta hibahatárokat adnak meg. Ezek a hálózat mérésének megfelelő pontosságát kívánják biztosítani.

### A pontossági mérőszámok a kiegyenlítő számítások területén

A kiegyenlítés során számos pontossági mérőszámot határozunk meg. Ezek, a tapasztalatok alapján, jó képet adnak a hálózat pontosságáról.

A kiegyenlítés végrehajtása után elsőként a súlyegység középhibáját számítjuk a

$$m_o \sqrt{\frac{\sum pvv}{f}} \quad (1)$$

összefüggés segítségével. Értéke az egész hálózatban végzett mérések javításaitól, a hálózat fölös méréseinek számától és a mérési eredmények súlyától függ. A fölös mérések száma egyértelműen meghatározható.

A javítások függenek attól, hogy az egyes mérési eredményeket hogyan súlyozzuk. A geodéziai gyakorlat során kialakultak a súlyozási viszonyok, ezek azonban nem mindenben felelnek meg a mai valóságnak. Pl. talán legrégebbi, hogy az irányokat a távolságtól függően súlyozzuk úgy, hogy a rövidebb irányok súlya kisebb, a hosszabb irányok nagyobb súlyt kapnak. Egység súlynak általában az 1 km-re végzett mérés súlyát tekintjük. Ez feltehetően amiatt van, mert a kiegyenlített hálózatok oldalhossza átlagosan egy km volt, vagy ez az egység állt legközelebb a hálózat átlagos oldal hosszához. Ha kiegyenlítés előtt más értéket tekintünk egységnyi mérési eredménynek, akkor a kiegyenlítés után a súlyegység középhibája is más lesz. Jelentősen megváltozott a távolságmérés.

\*NyME FFFK, 8000 Székesfehérvár, Pirosalma u.1-3.

E-mail: [csepregi@cslm.hu](mailto:csepregi@cslm.hu)

A súlyegység középhibája az egész hálózatra vonatkozó átlagos mérőszám, mert az egész hálózat összes mérési eredményéből számítjuk. Közvetlen mérések kiegyenlítésénél gyakran nem is számolunk más pontossági mérőszámot, mert nehézkes a meghatározásuk.

Közvetett mérések kiegyenlítésénél már több pontossági mérőszámot határozzunk meg. A súlykoefficiens mátrixból határozzuk meg a koordináta középhibákat, számítjuk a hibaellipszis adatait. A súlykoefficiens mátrixot a normál egyenletrendszer inverzeként kapjuk, amit a javítási egyenletrendszer és a súlymátrix hármasszorzataként számítunk.

A javítási egyenletrendszer együttható mátrixát a hálózat alakjának ismeretében is fel tudjuk írni.

$$A^T P A = N \quad \text{és} \quad (A^T P A)^{-1} = Q . \quad (2)$$

Ezért nevezik ezt alakmátrixnak is. A súlymátrix is felírható a tervezett mérések alapján. Így a súlykoefficiens mátrix már kiegyenlítés előtt meghatározható.

A hibaellipszisek alakját és egymáshoz viszonyított nagyságukat a hálózat alakja határozza meg. A hibaellipszisek tényleges méretét a súlyegység középhiba négyzetével való szorzatként kapjuk. Tehát a hibaellipsziseket egy átlagos mérettel való szorzatként kapjuk meg négyzetgyökvonás után.

A hibaellipszisek jól mutatják az egyes pontok meghatározásának pontosságát. A hibaellipszisek egy kötött hálózatban az adott pontoktól távolodva általában nőnek és a hálózat széle felé nagyobbak lesznek. Szabad hálózatok esetében ugyancsak megfigyelhetjük azt a sajátosságot, hogy a hálózat közepén a hibaellipszisek kisebbek és a hálózat széle felé a nagyobbak lesznek. Ez megegyezik a természetes következménye annak, hogy a hálózat szélén lévő pontok meghatározásában kevésbé vesznek részt a környező pontok, ezek meghatározása csak egy oldalról lehetséges. A pontok jellemzésére gyakran használjuk a ponthibát és a közepes ponthibáit is.

A hálózat pontosságának megítélésére gyakran számítjuk egyes oldalakra azok relatív középhibáját is. Ezek a szomszédos pontok egymáshoz viszonyított helyzetének, pontosságának mérőszámai. Számításukat a két ponthoz tartozó súlykoefficiens mátrix elemeiből végezzük. Gyakran valósabb képet mutatnak a hálózatról, mint a pontok hibaellipszisei. A gyakorlat szempontjából inkább fontosabb az egymás mellett lévő pontok közötti pontosság ismerete, mint az egyes pontok hibaellipszisei. Talán célszerűbb lenne oldal-középhibának nevezni, mert megtévesztő a hálózati relatív középhibával szemben.

Az utóbbi évtizedben egyre gyakrabban számítjuk a hálózat megbízhatóságát is. Ez a mérési eredmények durva hibáinak meghatározására végzett kutatások során alakult ki. A főlös mérőszámok értékét a

$$v = -Hl \quad \text{és} \quad H = Q_{vv} P_{LL} = E - A A^+ \quad (3)$$

egyenlet  $H$  mátrixának átlós elemei adják. A még kimutatható legkisebb durva hiba meghatározása

$$\nabla L = m_{Li} \frac{\delta}{\sqrt{f_i}} \quad (4)$$

összefüggéssel történik. Ma még ritkán kerül számításra gyakorlati feladatoknál.

## Hálózati relatív középhiba

A hálózatok pontosságára gyakran megadjuk a hálózati relatív középhibát. Ez a szám egy átlagos mérőszám kíván lenni az egész hálózatra vonatkozóan. Ez azonban többféleképpen számítható. A gyakorlatban is különböző módon számítják.

Egy távolság esetén egyértelműen meghatározható a távolság javítása. A javítás és távolság hányadosát nevezzük relatív hibának. Irány esetén az irány lineáris eltérése és az irány hosszának hányadosa határozza meg.

$$h_{rel} = \frac{v_t}{t} = 1 \div \frac{t}{v_t} \quad \text{és} \quad h_{rel} = \frac{E_i}{t} = \frac{v_i}{\rho''} . \quad (5)$$

Ez azt jelenti, hogy az irány relatív hibája az irány javításának radiánban kifejezett értéke.

Egy oldal relatív középhibája alatt a távolság középhibája és a távolság hányadosát értjük. Hasonlóan az irány középhibája radiánban az irány relatív középhibáját jelenti.

A hálózat relatív középhibáját többféleképpen számíthatjuk. Példaképpen néhány lehetőséget mutatunk be.

$$m_{rel} \Rightarrow \sqrt{\frac{\sum d^2}{\sum t^2}} \neq \sqrt{\sum \left( \frac{d^2}{t^2} \right)} \neq \frac{\sum \frac{d}{t}}{n} \neq \frac{\sum d}{\sum t} \quad (6)$$

Hasonlóan a mért irányokból is képezhetünk relatív középhibát, az előzőekben bemutatott képleteknek megfelelően. A felírt összefüggések nem egyenlők egymással, eredményül más-más értékeket adnak a hálózat relatív középhibájára. A különböző módon számított relatív középhibák jelentősen eltérhetnek egymástól. Az eltérés gyakran kétszerese háromszorosa is lehet a különböző módon számított relatív középhibáknak.

Természetesen a relatív középhibát nem csak a távolságokból és nem csak az irányokból kell számítani, hanem a kettőből együttesen. Példaként csak az alábbi összefüggést írjuk fel:

$$m_{rel} = \sqrt{\frac{\sum \left( \frac{d}{t} \right)^2 + \sum \left( \frac{v}{\rho''} \right)^2}{n_t + n_v}} \quad (7)$$

Ez természetesen megint más eredményt fog adni. A képletek változatossága még tovább fokozható, ha figyelembe kívánjuk venni, hogy a kiegyenlítéskor az egyes mérési eredményeket súlyozzuk is. Ennek problémája még további eltéréseket eredményez.

Az eddigiek alapján megállapíthatjuk, hogy a hálózati relatív középhiba nem egyértelműen definiált fogalom. A különböző módon számított relatív középhibák más eredményt adnak, melyek között jelentős eltérések vannak. Célszerű lenne definiálni a hálózati relatív középhiba fogalmát. A hálózatok pontosságát a relatív középhiba alapján csak akkor lehet összehasonlítani, ha azokat azonos módon számítottuk.

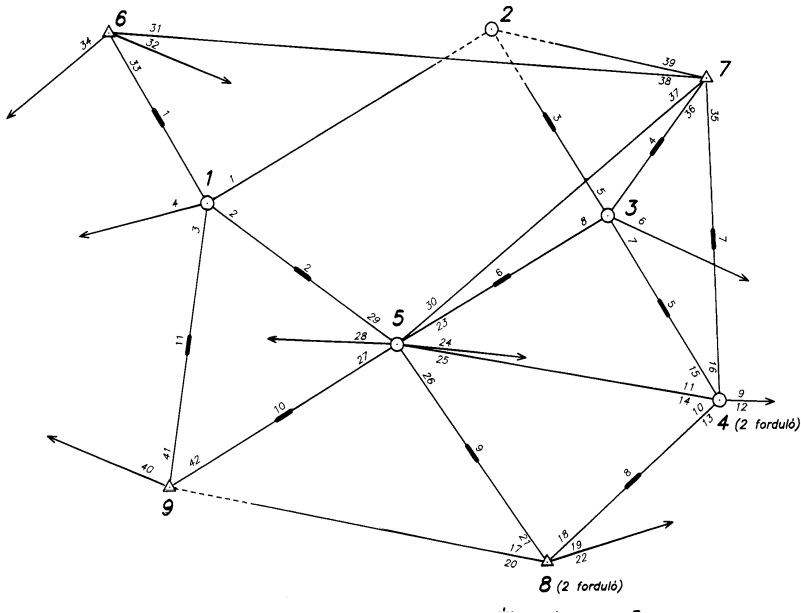
Végezetül adjunk egy egyszerű meghatározást a relatív középhiba számítására. A kiegyenlítés során a mérési eredmények súlyát úgy vesszük fel, hogy a hálózat átlagos távolságára végzett iránymérés súlyát egységnyinek tekintjük. Ekkor a kiegyenlítés után meghatározott súlyegység középhibája számértékileg megegyezik az egység súlyú mérés

középhibájával. Ha ezt az értéket radiánba alakítjuk, akkor megkapjuk a hálózati relatív középhibát

$$m_{rel} = \frac{m_0}{\rho''} \quad (8)$$

A tapasztalatok alapján ez jó összehasonlítási lehetőséget ad a hálózat átlagos relatív középhibájára, és pontosságára.

### A hálózatok helyi pontossága



1. ábra. A vizsgált hálózatrész meghatározási terve.

A kiegyenlítés ma már nemcsak felsőrendű hálózatok esetén általános, hanem felmérési hálózatok esetén is gyakori. Ezt a digitális feldolgozás is szükségessé teszi. Ma már egyszerűbb a kiegyenlítés végrehajtása, mint a hagyományos számítási feldolgozás.

A hálózatok mérete is meg növekedett. Ma gyakori 30-60 pontos, sőt ennél nagyobb hálózatok egyben történő kiegyenlítése. Az ilyen méretű hálózat mérése azonban nem egyszerre történik. Gyakran nem azonos mérőcsoport és a mérés körülményei is mások. Ezért az ilyen hálózatok egyes részei nem azonos pontosságúak. A különböző pontosság egyrészt a hálózat alakjából, másrészt a hálózat különböző mérési pontosságából adódik. Ezt az eltérő mérési pontosságot súlyozással figyelembe venni nem lehet, mert előre nem ismert. Lényegében azonos felszereléssel és azonos módon mérjük. Az ilyen jellegű hibák a pontok hibaellipsziseiben nem mutatkoznak meg. Ezt csak a javítások további vizsgálatával tudjuk megállapítani. És ez nagyon gyakori a kiegyenlítő számítás területén.

A pontok helyi meghatározásának vizsgálatához a méréseket bontsuk fel aszerint, hogy mely pontokhoz tartoznak. Ezt úgy tehetjük meg, hogy kiegyenlítés után csak a

vizsgálódó pontot tekintjük egyedül új pontnak, és minden szomszédos pontot adott pontnak veszünk a kiegyenlítés után kapott koordinátájával.

**1. táblázat.** A hálózat jellemzői.

Adott pont	6	Új pont	5
Álláspont	10	Paraméter	20
Irány	42	Távolság	11
Mérés	53	Fölös mérés	33

**2. táblázat.** A fölős mérések paramétereit.

	Belső	Külső	Távolság	Irány	Mérés	Paraméter	m-p	m-2p
1	4	3	3	7	10	3	7	4
2	0	3	1	3	4	2	2	0
3	4	3	4	7	11	3	8	5
4	3+5	4	3	12	15	4	11	7
5	8	7	4	15	19	3	16	13
Új p.	24	20	15	44	59	15	44	29
6	4	1	1	5	6	1	5	4
7	5	3	2	8	10	1	9	8
8	3+3	3	2	9	11	2	9	7
9	3	4	2	7	9	1	8	7
10	0	7	0	7	7	0	7	7
11	0	4	0	4	4	0	4	2
Adott	18	22	7	40	47	5	42	37
Össz.	42	42	22	84	106	20	86	66

Minden irányt és távolságot az új pont szempontjából értelmezzük. A ponton mért irányokat, mint belső irányt veszünk figyelembe, a pontra mért irányok, mint külső irányként szerepelnek. Így minden irányt kétszer használunk fel. A távolságokat is mindkét pontnál beszámítjuk. Az egyes pontokra számított mérések számának összege a tényleges mérőszám kétszerese.

A paraméterek számítása az egyes pontokra ugyancsak egyértelműen elvégezhető. Minden új ponthoz két ismeretlen koordináta, és e fölött még az állásponton mért fordulónként egy-egy tájékozási ismeretlen is tartozik. Ilyen felosztás mellett az egyes pontokhoz tartozó paraméterek összege megegyezik a hálózat paramétereinek számával. Adott pontokon a tájékozási ismeretlenek jelentenek paramétert.

A helyi fölős mérések száma két féleképpen is képezhetjük. Az egyik esetben az egy pontra vonatkozó mérések száma és a ponthoz tartozó paraméterek számának különbsége meghatározza a helyi fölős mérések számát (m-p). Ez felel meg a megszokott fölős mérőszám fogalmának. Hátránya, hogy ezek összege a tényleges mérések kétszeresének és a paraméterek számának különbsége Ezt tüntettük fel a táblázat utolsó előtti oszlopában. Másik esetben a helyi fölős mérések számát, mint a mérések száma és a paraméterek kétszeres számának különbsége értelmezzük (m-2p). Ez szerepel a táblázat utolsó oszlopában. Ez esetben a helyi fölős mérések összege a hálózati fölős mérések

számának kétszerese lesz, ekkor egyes pontokhoz 0 fölös mérés is tartozhat. Kérdés, hogy melyik fejezi ki jobban a helyi fölös mérések hiányát. Ez a mérőszám lehetőséget teremt, hogy a hálózat egyes helyein kimutassuk, hogy a pont meghatározása hiányos, kevés a pontra vonatkozó mérések száma, mert a helyi fölös mérések száma kevés. Ennek megfigyelése a mai nagy adathalmazok esetén nem is olyan egyszerű.

Az egy pontra vonatkozó mérési eredmények javításai lehetővé teszik, hogy számoljuk a pontra mért eredmények javításai alapján a pont helyi súlyegység középhibáját és más pontossági mérőszámokat. Ezek az adatok csak a pont közvetlen meghatározására végzett mérésektől függenek, és nem függenek a többi új pont meghatározásától. Ezért mutatnak jó képet a pont meghatározásáról.

Természetesen csak a korábbi hálózati hibaellipszisek és ponthibák mellett célszerű értelmezni ezeket az adatokat. A helyi pontossági mérőszámok a hálózat kiegyenlítése után jól számíthatók a javításokból, azok megfelelő összegzésével.

### A kiegyenlítés előtti és utáni pontossági mérőszámok

A kiegyenlítés előtt a súlyozás miatt szükséges, hogy felvegyük az a priori irány és távmérési középhibákat. Ezeket az adatokat a mérés műszere, mérési körülmények alapján vesszük fel. A középhibákat a hálózatban végzett mérések előzetes pontossági becslése alapján adjuk meg. Ezek a becslések az átlagos távolságra vonatkoznak. A mért irányok és távolságok középhibáit a hálózat átlagos távolságaira adjuk meg. Ezért indokolt, hogy a kiegyenlítés során is az átlagos távolságra vonatkozóan kezeljük. Emiatt célszerű, hogy az irányok súlyozását az átlagos távolság arányában végezzük és ne a km-ben kifejezett irányhossz alapján. Ezzel a súlyozás függetlenné válik a hálózat méretétől, ilyen súlyozást használhatunk mikrohálózatok esetén és országos felsőrendű hálózatok esetén is.

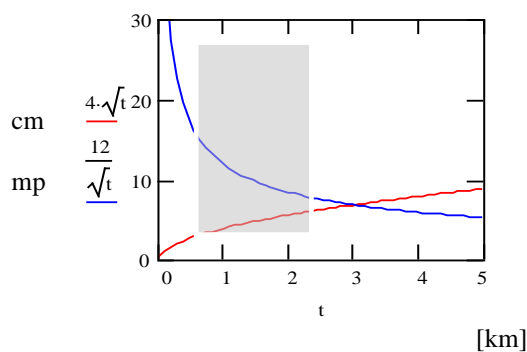
A kiegyenlítés után hasonlítsuk össze az a priori és az a posteriori középhibákat. A kiegyenlítés után nézzük meg a kiegyenlítés előtti és a kiegyenlítés utáni középhibák alakulását. Az eltérés ne legyen több, mint 20 %, de inkább maradjunk 10 % alatt. Ha az eltérések ennél nagyobbak, akkor a hálózatok megbízhatósági mérőszámai torzulnak. Szélsőséges esetben igen jó képet adhatunk egy gyengébb hálózatról is.

Ugyanez érvényes az átlagos távolság felvételére is. Ennek is egyezni kell a kiegyenlítés előttivel. Ha az eltérések nagyobbak, akkor a hálózatot szükséges újra kiegyenlíteni a meghatározott kiegyenlítés utáni középhibákkal. A kiegyenlítés csak akkor fogadjuk el, ha az eltérések kisebbek a megadottnál.

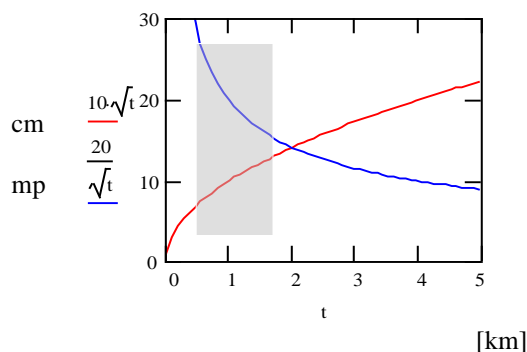
### Hibahatárok

Befejezésül foglalkozunk még egy problémával. A hálózatok pontosságának biztosítására hibahatárokat adnak meg. Ezek a javítások legnagyobb, még megengedhető értékeit adják meg. Ezek tulajdonképpen nem pontossági mérőszámok, de gyakran számolunk különböző statisztikákat, például, hogy a javítások hány százaléka kisebb, mint a hibahatár fele. Hibahatárok vonatkoznak a negyedrendű és az ötödrendű alappontsűrítésre. A felmérési hálózatokra vonatkozóan a különböző számítási módszerekre vonatkoznak hibahatárok. A sokszögvonalak záróhibáira és a koordináta eltérésekre adnak meg hibahatárokat. Ezek a hibahatárok kiegyenlítés esetén nem használhatók. Kiegyenlítéskor csak a mérési eredmények javításaira adott hibahatárok értelmezhetők. Az irányjavítások hibahatárát az  $A/\sqrt{t}$  formában szokták megadni, ahol  $t$  a mért irány

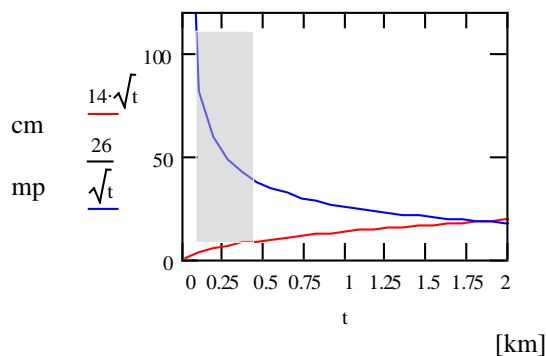
km-ben kifejezett hossza, az A egy megadott érték IV rendű alappontsűrítésnél 12, ötödrendűnél 20 érték a megadott. A hibahatárt mindkét esetben, másodpercben kapjuk.



2/a. ábra. IV. rendű hibahatár.



2/b. ábra. V. rendű hibahatár.



2/c. ábra. Felmérési hibahatár.

A távolság eltérésnél a  $B\sqrt{t}$  alakban adják meg a hibahatárt. Ebben a képletben a negyedrendűnél 4 és az ötödrendűnél 10 érték szerepel. A hibahatár értékét cm egység-

ben kapjuk meg. A felmérési hálózatoknál is ezeknek megfelelően vettük fel a 14 és 26 értéket.

A hibahatárok megadják azokat az eltéréseket (javításokat), melyek a hálózatban még eltűrhetők. Ezeket a hibahatárokat mindig a hálózat célja és a megfogalmazott feladatnak megfelelően határozzák meg. A hibahatárokat mindig a mérési és számítási lehetőségek, a létező műszerek és felhasználható számítási lehetőségek ismeretében határozzák meg. A hibahatárok az egyes technológiák fejlődése hatására szigorodtak. Eközben mindig figyelemmel voltak a követelményekre is, melyet a meghatározott hálózat után történő felmérésnek ki kellett elégíteni.

A mai műszerek már jelentős fejlődésen mentek keresztül. A mérés egyéb eszközeiben is jelentős változás történt. A pontraállást ma már szinte kizárólag optikai vetítővel végezzük és ez már lényegesen pontosabb pontraállást tesz lehetővé. A hibahatár képletek azonban már jóval korábban kialakultak. A mai mérési körülmények nem biztos, hogy ezeknek felel meg. A képletek formája azokban az esetekben kifogásolható, amikor a mérések között vannak igen távoli és közeli mérések is. Ilyen esetek elsősorban az alsórendű pontsűrítésben jelentkeznek. Az ilyen irányok esetén is fellépnek hasonló problémák. Ezért célszerű lenne, hosszabb oldalakra és igen rövid távolságokra nem változtatni a hibahatár értékét.

A hibahatárok különböző rendűségnek megfelelően a hibahatár görbe más-más szakaszára esnek. Ez a fenti ábrából is jól látható. A leggyakrabban előforduló távolságoknál a változások jelentősen mások. A felmérési hálózatban rövid irányoknál már igen nagyok lesznek a hibahatárértékek, hogy az gyakorlatilag nem indokolt. Ennek elsődleges oka, hogy a képletekben mindenhól a távolság km egységben szerepel.

Célszerű lenne a hálózat átlagos távolságának megfelelően meghatározni a hibahatárt. Ez esetben, a képletekben a távolság helyére a  $t/t_{\text{átlag}}$  értékek kerülnének. Ez lehetővé tenné, hogy a különböző oldalhosszúságú hálózatokban azonos hibahatár képleteket használjunk, a hálózat rendűségének megfelelően.

# GÖMBI TRIANGULÁCIÓ GLOBÁLIS GPS HÁLÓZATOK LEFEDÉSÉRE

*Kalmár János*\*

*A tanulmány a Delaunay trianguláció általánosítását mutatja be a gömbi geometriában, algoritmust ad meghatározására, és bemutatja az eredményt mintaterületként a GPS világhálózatot felhasználva.*

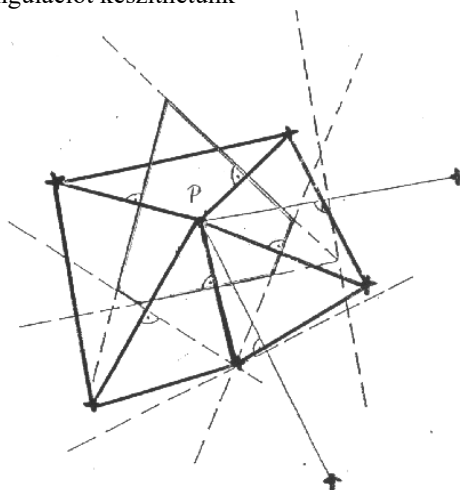
## Bevezetés

A tanulmányban a síkon már megszokott trianguláció (háromszög-lefedés) egy gömbi megvalósítását ismertetem. A *Delaunay* trianguláció síkbeli változata a geotudományokban csak lokálisan alkalmazható, mert a földgömbület hatása pl. kontinensnyi méretekben már nem elhanyagolható, ezért indokolttá vált egy olyan gömbi trianguláció létrehozása, amely megtartja a síkbeli változat kedvező tulajdonságait. Ennek megoldására adaptáltam a síkbeli trianguláció egyik algoritmusát gömbi környezetbe, és a kapott eredményt a **GPS** világháló **IGS** állomásaival teszteltem.

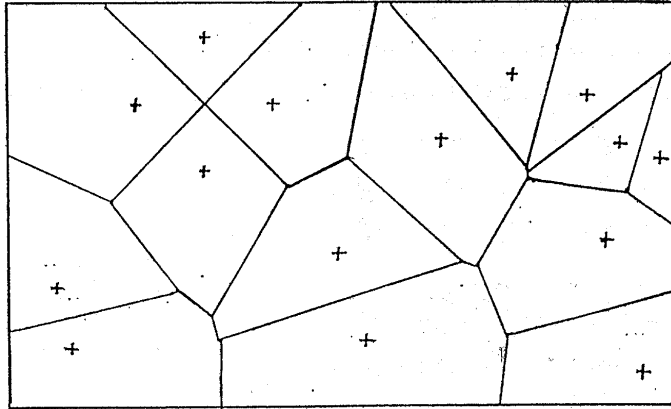
## A *Delaunay* trianguláció tulajdonságai

A sík kiválasztott pontjaira (a továbbiakban az alappontokra) illeszkedő *Delaunay* trianguláció sokak számára már ismerős lehet, mert előnyös tulajdonságai miatt széles körben alkalmazzák, és a standard **GIS** programok is képesek előállítani.

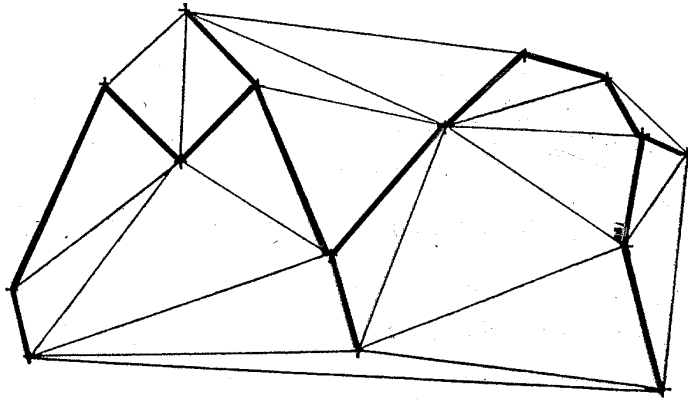
A trianguláció lényegében a *Dirichlet* szomszédság elvén alapul (1. ábra), ugyanis a trianguláció csak olyan éleket tartalmaz, melyek szomszéd alappontokat kötnék össze (3. ábra). Az alappontok *Dirichlet* cellái összességében a sík egyszeres lefedését adják, amit *Voronoi* diagramnak nevezünk (2. ábra). Az állítás megfordítása, hogy ti. minden szomszéd él részt vesz a triangulációban, speciális esetekben, pl. ha az alappontok egy körre illeszkednek, nem teljesül, ezért előfordulhat, hogy adott ponthálózatra többféle *Delaunay* triangulációt készíthetünk



1. ábra. *P* pont Dirichlet cellája. A szakaszfelező merőlegeseket – – jelöli.

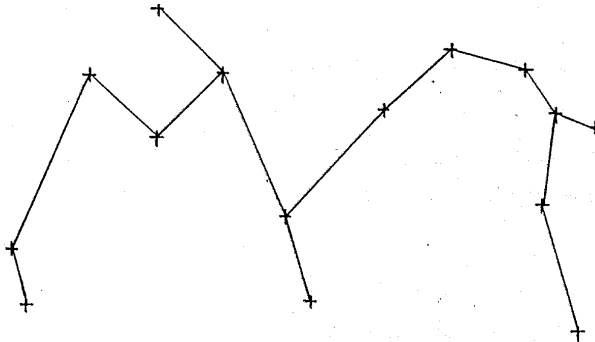


2. ábra. Ponthálózat Voronoi diagramja.



3. ábra. Ponthálózat Delaunay háromszöglefedése.

A trianguláció, illetve a vele kapcsolatba hozható szomszédság reláció előnyös hálózatok optimalizálására vagy terepmodellekben felületinterpolációra. Ennek az oka az, hogy egyrészt a generált háromszögek átlagosan a legrégályosabbak (a szögek szórása itt éri el a minimumát), másrészt élhálózatuk, mint gráf, tartalmazza a minimális feszítőfát, vagyis azt az összefüggő élhálózatot, melynek összhossza minimális (4. ábra).



4. ábra. Ponthálózat minimális összhosszú faváza.

## A gömbi trianguláció algoritmusai és jellemzői

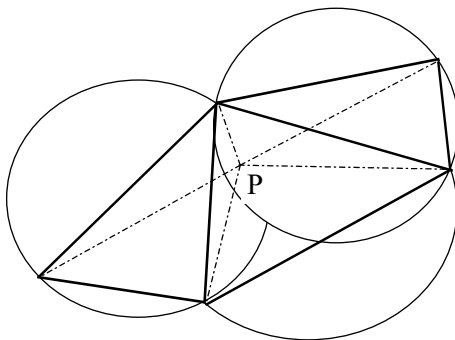
A geotudományokban a síkban történő modellezés csak lokális jelenségeknél alkalmazható, mert a Föld gömbalakja miatt kontinens méretekben már el nem hanyagolható hibákat vétenénk. Ezért, ha a *Delaunay* trianguláció előnyeit globális méretekben is szeretnénk kihasználni, akkor a *Delaunay* triangulációt általánosítani kell a gömbi geometriára. Erre a célra egy korábban általam kifejlesztett síkalgoritmust adaptáltam gömbi viszonyokra, ami a fogalmak következetes megfeleltetésével valósult meg (pl. mi a pont, az egyenes, a háromszög, a távolság az egyes geometriákban).

A gömbi trianguláció nem tévesztendő össze a háromdimenziós triangulációval, ugyanis utóbbi konvex testek poliéder kitöltését jelenti. Az általam kifejlesztett egyszerű, bár elméletileg nem a leggyorsabb síkalgoritmus működése a következő tételen alapul (Kalmár 1995):

**1. Tétel:** *Ha egy meglévő Delaunay triangulációba új pontot helyezünk, akkor az új pontnak azon alappontok lesznek a szomszédai, melyekre illeszkedő háromszögek köré írt köröknek az új pont belső pontja (5. ábra).*

A fenti tétel alapján a síkbeli trianguláció úgy állítható elő, hogy veszek egy olyan fiktív sokszöget (pl. háromszöget vagy téglalapot), amelynek minden alappont belső pontja, és a sokszöget átlók behúzásával *Delaunay* triangulációvá teszem. A háromszög már magában is *Delaunay* trianguláció, és a téglalap is azzá tehető egyik átlója behúzásával.

A meglévő hálózatba az alappontokat a fenti tétel alapján egyesével illeszttem be, ami lépésenként az érintett háromszögek törlését, és az új pontra illeszkedő háromszögek meghatározását jelenti. Látható, hogy az új pont szomszédai egy nagyon egyszerű távolság-feltétel alapján határozhatók meg, az új háromszögeket a szomszéd pontok alkotta (általában konvex) sokszög és az új pontot a szomszéd pontokkal összekötő élek alkotják (5. ábra).



**5. ábra.** A szomszéd pontok meghatározása a triangulációból.

Miután az összes alappontot a fenti módon beillesztettük a triangulációba, hátra van még egy korrekciós lépés, mégpedig a kiindulási fiktív sokszög csúcsainak és a rájuk illeszkedő háromszögeknek a törlése. A törlések után visszamaradt hálózat határpontjait még ellenőrizni és korrigálni kell az **1. Tétel** alábbi **Következménye** alapján:

*A Delaunay trianguláció bármely háromszöge köré írt körnek nem lehet belső pontja más alappont.*

A most ismertett síkalgoritmust fejlesztettem tovább a gömbi trianguláció kivitelezésére:

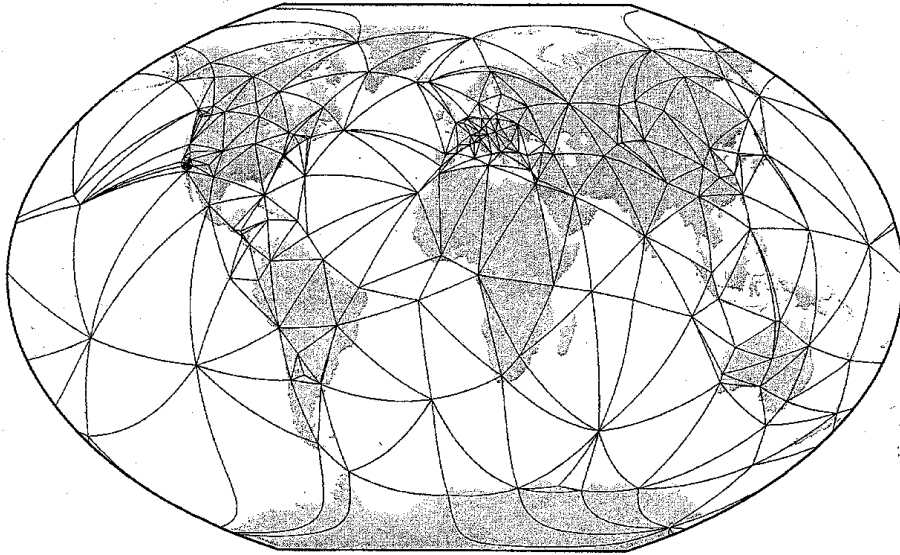
A kiindulási fiktív háromszögelést úgy vettem fel, hogy a gömböt félbevágtam az egyenlítő mentén, majd két, egymásra és az egyenlítőre merőleges hosszúsági főkör mentén, így a gömbfelületet 8 egybevágó gömbi háromszög fedi le, melyek összesen 6 fiktív alappontot igényelnek, egyet-egyét a pólusokon, és négyet az egyenlítőn egyenletesen szétosztva.

Az új pont beillesztéséhez szükséges *Delaunay* feltételt most nem a körre, hanem a gömbre kell átfogalmazni, ezért a távolságfeltételt kettő helyett három dimenzióban kell felírni. Az érintett háromszögek törlése után az új pontra illeszkedő háromszögeket a szomszéd pontok új ponthoz viszonyított *azimutja* alapján számított sorrend segítségével írjuk fel. A végén természetesen most is töröljük a kiinduláshoz felvett 6 fiktív pontot és a rájuk illeszkedő háromszögeket, majd a fiktív pont középpontú visszamaradt sokszögeket átlók behúzásával trianguláljuk, figyelve arra, hogy minden újonnan definiált háromszögnek meglegyen a **Következményben** leírt *Delaunay* tulajdonsága.

A kapott gömbi trianguláció invariáns tulajdonsága, hogy  $n$  alappont esetén  $2.(n-2)$  háromszög keletkezik, az élek száma pedig  $3.(n-2)$ .

### A tesztfuttatás eredménye

Az eljárást az internetről letölthető **IGS** (<http://igs.cb.jpl.nasa.gov>) világhálózaton teszteltem úgy, hogy az ikerállomások (melyek egymástól legfeljebb 10 km-re vannak) egyikét töröltem, így 228 alappont maradt. Kollégáim és a **GMT** program segítségével készült el a gömbi trianguláció reprezentációja, mely *Winkel Tripel* vetületen mutatja be az algoritmus eredményét (6. ábra).



6. ábra. Trianguláció a GPS világhálózaton.

Bízom benne, hogy tanulmányom felkeltette az érdeklődést a gömbi trianguláció iránt, és a közeljövőben újabb alkalmazásokról tudok majd beszámolni.

### Irodalomjegyzék

**Kalmár J** (1995): A digitális terepmodell kutatások legújabb eredményei, kandidátusi értekezés.

<http://igs.cb.jpl.nasa.gov>

## GPS-ADATOK TÁROLÁSA ÉS SZOLGÁLTATÁSA MINIMÁLIS LEFEDŐFÁVAL

*Kádár István\**

*Mottó: „Gondolkozz globálisan –  
cselekedj lokálisan!”  
( – a Római Klub elnökétől – )*

*Dolgozatunkban egy Pascal-nyelven írt saját készítésű programrendszert ismertetünk, melynek segítségével a felhasználók szabványos geodéziai koordinátákat tudnak egy olyan adatbázisban eltárolni, illetve onnan lekérdezni, mely koordináták helyett fastruktúrába szervezett koordináta-különbségeket tárol. Ennélfogva nagyobb geodéziai hálózatok, digitális térképek és egyéb ponthalmazok esetében segítségével jelentős memória-megtakarítást lehet elérni. A fagenerálás, feltöltés és lekérdezés program-részeket az 1151 pontot tartalmazó magyarországi GPS-hálózatban teszteltük le.*

### **Bevezetés**

A koordináta-különbségnek sem a fogalma, sem a használata egyáltalán nem új dolog a geodéziában, mégis csupán valamilyen közbülső, átmeneti adattípusnak tekintjük. A pontok végleges helyét ugyanis szinte mindig koordináták segítségével rögzítjük. Igaz, hogy a szomszédos pontok koordinátáinak különbségei néha sokkal kevesebb számjeggyel írhatók le, mint maguk a koordináták, de előbbieik kezelése és tárolása is sokkal nehezebbnek bizonyul. Leginkább azonban az a baj velük, hogy adatszolgáltatásnál a felhasználók mindig koordinátákat kívánnak kapni, nem pedig azok különbségeit.

Mindezek ellenére úgy gondoljuk, hogy fenti megállapítások nagy része inkább a múltra, mint a jövőre vonatkozik. A számítástechnika fejlődésének eddigi tapasztalatai azt sugallják, hogy érdemes kettéválasztani, és külön-külön kezelni egyrészt azt, ami az ember számára fontos kíváncságot, másrészt pedig azt, amit a számítógépek hatékonyságának növelése kedvéért érdemes figyelembe venni. Az emberi és gépi szempontok ugyanis számos esetben ellentmondanak egymásnak és a kölcsönös engedmények által kialakítható kompromisszumok általában nem vezetnek jó eredményre. Ma már sok olyan esetről tudunk, amikor ellentmondó követelmények esetén is sikeres megoldások születtek anélkül, hogy követelményeiből bármelyik félnek is engedni kellett volna.

Egy ilyen tipikus megoldás a nemzetközi konferenciákon alkalmazott szinkrontolmácsolás rendszere, noha itt nem az ember és a számítógép, hanem a mindenkori előadó, illetve a hallgatóság különböző anyanyelvei közötti ellentmondás feloldásáról van szó. Mint tudjuk – hála a technika segítségének – ez minden megalkuvás nélkül megvalósítható, vagyis anélkül, hogy valamilyen közös kompromisszumnyelvet kellene kötelezően használni.

A geodéziai számításokon belül egyébként mindennapi dolog az ún. *rendszerátállítás*, amikor pl. derékszögű koordinátákról polár koordinátákra, vagy szögekről szögfüggvényekre térünk át és viszont. De ugyanezt csinálták már őseink is, amikor pl. egy szorzás vagy osztás kedvéért ideiglenesen logaritmikus rendszerre tértek át, mivel meg-

*\*Nyugat-Magyarországi Egyetem Földmérési és Földrendezői Főiskolai Kar,  
8000 Székesfehérvár, Pirosalma u. 1-3.  
E-mail: [i.kadar@geo.cslm.hu](mailto:i.kadar@geo.cslm.hu)*

felelő számítási segédeszközök hiányában az összeadás és a kivonás végrehajtása könnyebbnek bizonyult.

Fentiek előre bocsátására azért volt szükség, mert mi is egy ilyen kísérlet végrehajtására vállalkoztunk. Jelszavunk, ill. jelmondatunk az volt, hogy

*„add meg maradéktalanul azt, amit az ember (a felhasználó) megkíván, de ugyancsak maradéktalanul teljesítsd azt is, amit a számítógép (a végrehajtó) munkájának hatékonysága érdekében meg kell tenned!”.*

Ezért egy olyan, ún. „virtuális” rendszert hoztunk létre, mely valójában *koordináta-különbségekkel* dolgozik, memóriájában ilyen adatokat tárol, a felhasználóktól azonban *koordinátákat* fogad el, illetve számukra ilyeneket szolgáltat.

A program-rendszert *TurboPASCAL 6.0* programnyelven írtuk meg, próba- futtatásához az *1151* pontból álló magyarországi *GPS-hálózat* adatait használtuk fel. A rendelkezésünkre álló *PENTIUM* számítógép teljesítőképessége *433MHz* volt.

## I. rész: A fagenerálás

Egy ponthalmaz minimális *lefedőfája* (*covering tree*) vagy *kifeszítőfája* (*spanning tree*) alatt azt a sokszöghálózatot értjük, melyet a „szomszédos” pontok összekötésével kaphatunk meg úgy, hogy

- egyetlen oldal se metszze vagy érintse a másikat,
- zárt poligonok ne jöhessenek létre,
- az oldalhosszak összege minimális legyen.

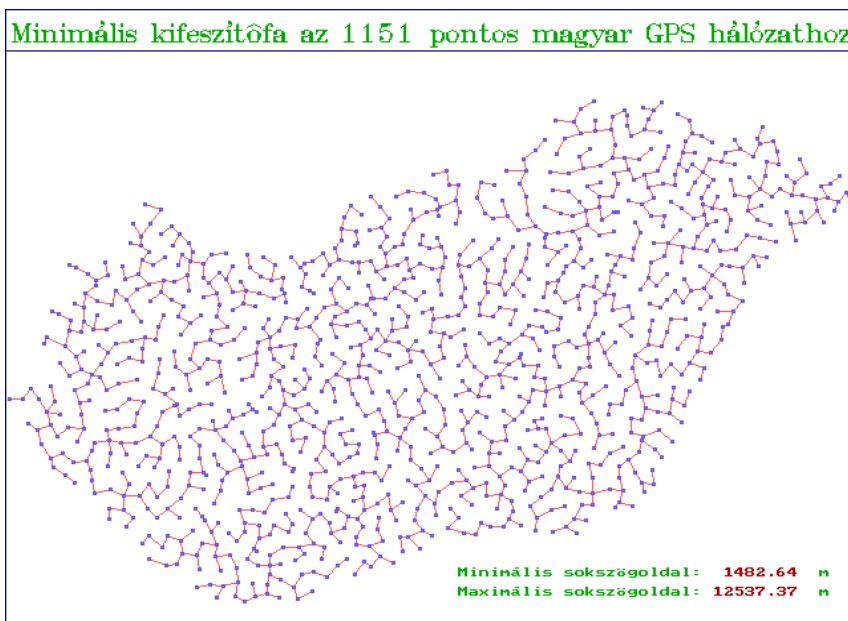
Azt, hogy „szomszédos pontok” (helyesebben „szomszédos pontpárok”) alatt mit értünk, továbbá, hogy miként választjuk ki a programmal az összesen  $N=n(n-1)/2$  lehetőség közül a szükséges  $(n-1)$  oldalt, valamilyen koncepció elfogadásával kell rögzíteni. Esetünkben ez a következő előírást tartalmazta:

1. A szomszédos pontpárok, annak az  $(n-1)$  oldalnak a végpontjai lesznek, amelyek a növekvő sorrendbe rendezett összes lehetséges  $N$  oldalhossz közül a legkisebbek, feltéve, hogy nem a 2d. kategóriába tartoznak (lásd alább!).

2. A kiválasztás szekvenciálisan történik, vagyis a legrövidebb oldallal kezdve, sorra veszünk minden lehetséges pontpárt és az alábbi lehetséges négy kategória valamelyikébe soroljuk:

- a. – mindkét pont új pont, tehát a végső célként kialakítandó egyetlen összefüggő sokszöghálózatnak egy újabb egyoldalú részálózatát (komponensét) alkotja (a nyilvántartott komponensek számát eggyel meg kell növelni)
- b. – egyik pont új pont, a másik már valamelyik – egy vagy több összefüggő oldalból álló – komponensben előfordul (a komponensek száma tehát nem változik, de a szóban forgó komponensben az oldalak száma eggyel növekedni fog)
- c. – egyik pont sem új pont és a pontpár összekötésével valamelyik két komponens egyesülni fog (a komponensek számát a nyilvántartásban eggyel csökkenteni kell)
- d. – egyik pont sem új pont, de a pontpár összekötésével semelyik két komponens sem egyesülne, csupán valamelyikben zárt poligon keletkezne (a pontpárt ezért nem tekintjük szomszédosnak, és figyelmen kívül hagyjuk).

3. Ez a válogatási folyamat akkor ér véget, amikor az elfogadott pontpárok (sokszögoldalak) száma pontosan  $(n-1)$  lesz, illetve a nyilvántartott komponensek száma egyetlen egyre fog lecsökkenni. A végeredményül kapott lefedőfát az 1. ábra szemlélteti.



**1. ábra.** Az 1150 oldalból álló lefedőfa (kifeszítőfa).

Mivel esetünkben  $n$  értéke 1151 volt, ezért  $N = 1151 * 1150 / 2 = 661825$  lett. Ennyi távolságot kellett a gépnek kiszámítani, de ezekből – bizonyos előszűrést alkalmazva – elegendőnek bizonyult (a legkisebb) 6505 távolságot eltárolni, hogy ezeket a fenti négy kategóriába sorolva végül is a keresett 1150 sokszögoldalt megkaphassuk. Érdemes megemlíteni, hogy a fagenerálás teljes időszükséglete mindössze 5 másodperc volt.

## II. rész: A feltöltés

A fagenerálás után az egyes sokszögoldalok a memóriában így jelentek meg:

### 1. táblázat. Részlet az oldalhosszak szerint rendezett listából.

Az 1151 pontos magyar GPS-hálózat lefedőfáját alkotó 1150 oldalnak távolság szerint rendezett listája

1. oldal:	eleje = 157	vége = 158	távolság = 2
2. oldal:	eleje = 294	vége = 298	távolság = 2
3. oldal:	eleje = 305	vége = 306	távolság = 2
4. oldal:	eleje = 904	vége = 911	távolság = 2
5. oldal:	eleje = 51	vége = 1148	távolság = 3
6. oldal:	eleje = 120	vége = 123	távolság = 3
7. oldal:	eleje = 268	vége = 272	távolság = 3
8. oldal:	eleje = 360	vége = 362	távolság = 3
9. oldal:	eleje = 413	vége = 414	távolság = 3
10. oldal:	eleje = 576	vége = 580	távolság = 3
11. oldal:	eleje = 643	vége = 644	távolság = 3
12. oldal:	eleje = 736	vége = 737	távolság = 3
13. oldal:	eleje = 768	vége = 1147	távolság = 3
14. oldal:	eleje = 942	vége = 943	távolság = 3
15. oldal:	eleje = 1070	vége = 1074	távolság = 3
16. oldal:	eleje = 273	vége = 278	távolság = 4
17. oldal:	eleje = 436	vége = 439	távolság = 4
18. oldal:	eleje = 695	vége = 698	távolság = 4
19. oldal:	eleje = 738	vége = 742	távolság = 4
20. oldal:	eleje = 894	vége = 896	távolság = 4
21. oldal:	eleje = 1031	vége = 1149	távolság = 4

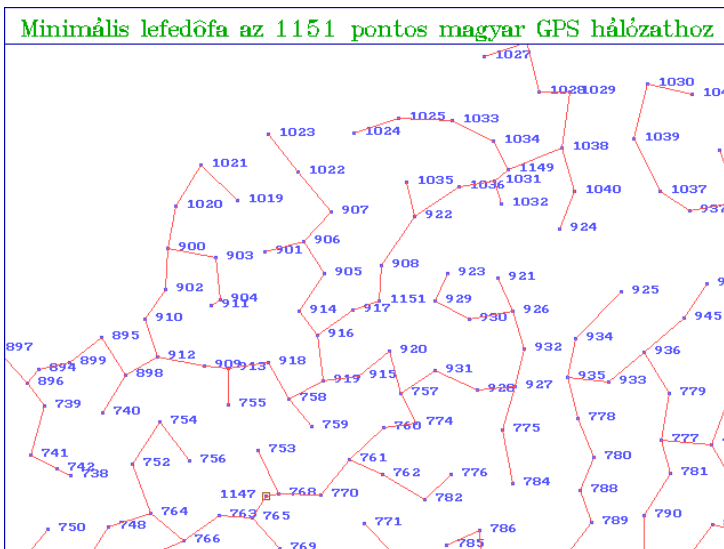
Mint látjuk, az egyes oldalakat végpontjaik sorszámaival rögzítettük, ahogy ez a koordináta különbségek megadásakor általában szokásos. Itt érdemes egyébként megemlíteni, ami talán már néhány kedves olvasónak is valószínűleg eszébe juthatott, hogy minimális lefedőfa helyett miért nem egyetlen *minimális lefedővonalat* (azaz egyetlen sokszögvonalat) próbáltunk meghatározni, hisz ez sokkal egyszerűbbnek látszik, mint a csomópontos sokszöghálózat. Ennek kettős oka volt.

Először is az elágazás nélküli sokszögvonal az általános sokszöghálózat speciális esete, tehát az elkészített általános program bizonyára adhatott volna ilyen speciális eredményt, ha a ponthalmaz olyan, hogy oldalhosszainak összege kisebb, mint az összes lehetséges csomópontos sokszöghálózatnál. De mivel nem ilyen magányos sokszögvonalt kaptunk, ezért biztos, hogy minden lehetséges magányos sokszögvonallalhoz nagyobb oldalhossz-összeg tartozik.

A második ok a súlyosabb, mert ha esetleg meg is alkudtunk volna egy kevésbé optimális változattal, jelenleg nem ismeretes egyetlen olyan gyakorlati algoritmus sem, mely ilyen minimális lefedővonalat belátható időn belül elő tudna állítani. A számítástechnikai szakirodalomban ez a feladat az *utazó ügynök* (*traveling salesman*) ill. a *kínai postás* (*Chinese postman problem*) néven ismeretes. Mivel azonban a megoldásukat végrehajtó program futásideje az adott pontok számával exponenciálisan növekszik, ezért még a mai leggyorsabb számítógép sem képes 100 pontnál több pontot egyidejűleg figyelembe venni.

Visszatérve az eredeti problémára biztosan kimondhatjuk tehát, hogy kénytelenek vagyunk minden tárolásra kerülő koordináta-különbségpárt az 1. táblázatban látható kettős sorszámozással ellátni? Biztosan nem tehetjük meg azt, amit minden elágazás nélküli sokszögvonalnál megtehetnénk, hogy minden oldalnak csak a kezdőpontját adjuk meg, mivel a közvetlen utána tárolt következő sokszögoldal kezdőpontja (a dominójáték illesztési szabályához hasonlóan) mindig az előző oldal végpontjával azonos?

A válasz a feleletett kérdésünkre nemleges, mert viszonylag kicsiny ráfordítás mellett mégis csak elegendő oldalanként egyetlen sorszámot használni. Hogy ezt könynyebben beláthassuk, tekintsük az alábbi 2. ábrát.



2. ábra. Kiragadott részlet az 1. ábra felső részéből.

Mivel itt a nagyobb méretarány következtében már a pontok sorszámain is fel tudtuk tüntetni, könnyebben bemutatható az a rendszer, amelyet az 1150 sokszögoldalhoz tartozó koordináta-különbségek tárolási sorrendjének meghatározásánál követtünk. Segítségképpen vessünk egy pillantást az alábbi 2. táblázatra is. Itt ugyan még mindkét sorszámot láthatjuk egymás mellett, de a cél, hogy a második sorszám tárolására ne legyen szükség.

**2. táblázat.** Részlet a sokszögoldalok tárolási listájából.

"BUDAPESTI RELATÍV RENDSZER" ( B-R-R )						
A FASTRUKTURA gyűkérpontja BUDAPEST						
i	pontszám	X	Y	pontszám		
0.	1147.	647727.41	237595.14	1147	(BUDAPEST	EOU koordinátái)
A FASTRUKTURA csomópontjai (1150 pont)						
i	pontszám	DX	DY	pontszámok		
1.	768.	2160.51	519.57	768 - 1147	(EOU koordináta-különbségek)	
2.	770.	7323.12	-211.56	770 - 768	(EOU koordináta-különbségek)	
3.	761.	5051.83	6200.52	761 - 770	(EOU koordináta-különbségek)	
4.	762.	5766.80	-2543.24	762 - 761	(EOU koordináta-különbségek)	
5.	782.	7437.72	-4443.27	782 - 762	(EOU koordináta-különbségek)	
6.	776.	4650.35	4420.56	776 - 782	(EOU koordináta-különbségek)	
7.	760.	6101.01	5581.78	760 - 761	(EOU koordináta-különbségek)	
8.	774.	5562.48	872.31	774 - 760	(EOU koordináta-különbségek)	
9.	757.	-2661.72	5124.87	757 - 774	(EOU koordináta-különbségek)	

Az 1147 sorszámú Budapest elnevezésű GPS-ponttal nincs semmi probléma, ennek EOY-koordinátáit változás nélkül tároljuk. Ebből a pontból két sokszögoldal indul ki, az egyik a 765, a másik a 768 pontban végződik. Mi a 768. pontot választottuk első sokszögpontnak és pedig azért, mert a két lehetőség közül ez adja a rövidebb sokszögoldalt. Nem önkényes ez a választás, mivel az a keresőprogram, amelyiknek a 1. táblázatban látható lista alapján kell megkeresnie, hogy az 1147. pontból melyik pont felé indul sokszögvonallal, ezt találja meg előbb, mivel ez a rövidebb, és mivel rövidebb, előbb szerepel a listában. Az említett választással tehát a feltöltés idejét is sikerült optimalizálni.

Hasonló helyzettel találkozunk az első hat töréspont megválasztásánál. Ez a 2. táblázat "pontszámok" elnevezésű oszlopából úgy olvasható ki, hogy az első hat sor mindegyikére igaz:

*a második sorszám megegyezik az előző sorban lévő első sorszámmal.*

A 7. sor esetén azonban már más a helyzet. Tekintettel arra, hogy a 776. pontban vége van a sokszögvonálnak (lásd 2. ábrát), ezért a kereső program nem fog találni folytatást hiába járja végig a 1. táblázatbeli listát. Ilyenkor *visszaléptetés* következik be a programban és előbb a 782., majd a 762. pontban végez el ugyancsak hiábavaló keresést, míg végül a 761. pontban megtalálja a 760. pontot mint egy leágazó vonal első pontját.

Ha most újra megtekintjük a 2. táblázat 7. sorát, akkor láthatjuk, hogy a 761. sorszám nem az előző (vagyis a 6.) sor első sorszámaival azonos, mint az első hat sorban tapasztaltuk, hanem csak a 3. sor első sorszámaival. A  $6-3=3$  különbség a *visszaléptetés mértékét* mutatja.

Már csak egy olyan jól működő gyakorlati rendszerre van szükség, amivel minden egyes sokszögoldal esetében meg tudjuk mondani, hogy az most

- a már megkezdett előző vonal folytatása vagy pedig ellenkezőleg,
- egy új vonal kezdő oldala,

továbbá utóbbi esetben azt is közölni tudjuk, hogy ezen új vonal kezdőpontjának megtalálásához hány lépést kell visszalépni. Ha ezt sikerülne létrehozni, ezzel szinte be is fejezhetnénk a fejezet címében szereplő "feltöltés" folyamatának ismertetését, mely lényegében *előrelépés és visszalépés váltakozó alkalmazásából* tevődik össze, míg végül a kiindulásul önkényesen felvett 1147. (Budapest) ponthoz jutunk vissza. Azt a megoldást, amelyet programunkban alkalmaztunk a következő alfejezetben fogjuk részletesen ismertetni.

Az általunk használt eljárást a szakirodalomban *visszaléptetési keresésnek (intelligent backtracking)*-nek nevezik, mely annyira sok gyakorlati alkalmazást kapott a legkülönbözőbb szakterületeken, hogy pl. Török Turul a KFKI kutatója már évtizedekkel ezelőtt azon 10 legfontosabb algoritmus közé sorolta, melyet minden középiskolában oktatni kellene. Hogy csak egyetlen példát említsek: minden logikai játék számítógépes megoldása ezen alapszik (a bűvös kockától a sakkzó programig).

Ugyan már többször említettük, hogy *közelebbi célunk* a sokszögoldalok végpontjainak tárolásánál az egyik végpont sorszámát megtakarítani, de mielőtt ezt megoldanánk, érdemes egy kicsit messzebbre látni. *Távolabbi célként* ugyanis már előttünk lebeg egy még megoldatlan feladat: a tárolt koordináta-különbségekből újra vissza kell majd állítani az eredeti EOv-koordinátákat, hisz az adatszolgáltatásnál a felhasználók részére ezeket kell szolgáltatni (vagy ha mégsem, akkor a felhasználókat kell ellátni egy olyan programmal, melynek segítségével a koordináta-különbségekből mint tömörített adatokból az eredeti koordinátákat maguk tudják majd előállítani).

Tehát a keresett adatformátumnak legalább kettős célt kell szolgálnia: egy közelebbit, a sokszöghálózat feltöltését kell segítenie és egy távolabbit, az adatszolgáltatást kell támogatnia. Mindkét célt akkor fogjuk tudni legkönnyebben megvalósítani, ha merünk absztrahálni, vagyis megfelelő mértékben elvonatkoztatni mind a közelebbi, mind a távolabbi konkrét feladatunktól.

### Egy bináris adattípus: a koordinátafa

Tegyük fel, hogy mint eddig, a hálózatban lévő pontok számát  $n$ -el jelöljük. Ekkor az oldalak száma – ha fölös mérést nem tételezünk fel a sokszöghálózatban – nyilván  $(n-1)$ -el lesz egyenlő. Állítjuk, hogy minden ilyen sokszöghálózathoz létezik egy olyan  $2(n-1)+1$  bitből álló bináris jelsorozat, melyben  $n$  db 1-es és  $(n-1)$  db 0-ás jel található és ezekkel mindig egyértelműen le lehet írni az oldalak kapcsolódási viszonyait (a hálózat *topológiai relációját*). Az ilyen jelsorozat *redundancia-mentes*, ami azt jelenti, hogy egyetlen bitjét sem lehet elhagyni anélkül, hogy valamilyen káros következmény nélkül ússzuk meg a dolgot.

Állításunk helyességének belátása végett tekintsük az 1. ill. 2. ábrát egy olyan különleges „*labirintusnak*”, amelyben a „*folyosók*” maguk a sokszögoldalok és tűzzük ki feladatunknak ezt a labirintust folyamatosan úgy „*bejárni*” hogy ugyanazon az útvonalon ne haladjunk végig kétszer vagy többször, mégis minden hová egyszer eljuthassunk. Azért neveztük különlegesnek ezt a labirintust, mert itt nem a folyosókon belül lehet és kell közlekedni, hanem valamelyik – sőt mindkét – oldaluk mentén.

Induljunk el az 1147. kezdőpontból és haladjunk a 768. pont felé az első sokszögoldal jobboldalán, majd elágazáshoz érve a rövidebb oldal mentén vonuljunk tovább. Valahányszor egy-egy újabb sokszögponthoz érkezünk, írjunk le egy 1-es jelet és ezt mindaddig folytassuk, amíg a szóban forgó sokszög vonal végéhez nem érkezünk. Esetünkben ez a 776. pont lesz. Mire ide értünk, már 7 db 1-es jelet írtunk le a papírra, a bejárt útvonal pedig az 1147, 768, 770, 761, 762, 782, 776 pontszám-sorozattal írható le. Ha itt megfordulunk és az utolsó sokszögoldal másik oldalán megyünk vissza a legköze-



1147, 768, 770, 761, 762, 782, 776, 760, 774, 757, 920, 915, 919, 758, 759, 918, 913, 909, 912, 898, 740, 895, 899, 894, 896, 739, 741, 742, 738, 897, 910, 902, 900, 1020, 1021, 1019, 903, 904, 911, 755, 916, 914, 905, 906, 901, 907, 1022, 1023, 917, 1151, 908, 922, 1035, 1036, 1031, 1149, 1034, 1033, 1025, 1024, 1038, 1040, 924, 1029, 1028, 1026, 1027, 931, 928, 927, 932, 926, 921, 930, 929, 923, 775, 784, 753, 765, 763, 766, 764, 748, ...

Természetesen arra a kérdésre is választ kell még adni, hogy a megtakarított második sorszámok helyett bevezetett koordinátafa (3. táblázat) tárolása mennyi kiegészítő memóriát igényel. Mivel a 2301 bitből egyetlen pontra 2 bit esik és egy bájtba 8 bit fér bele, ezért szemléletesen azt mondhatjuk, hogy minden 4 pontra egy betű (karakter) helyigénye jut. Vagy másképp fogalmazva *minden koordináta-különbség mellé még egy kiegészítő (topológiai) bitet is kell tárolni*, ha azt kívánjuk, hogy ezek kapcsolódási információját is ismerje a rendszer (ha három koordinátát tárolnánk, akkor csak 2/3 bit kellene koordinátánként!). Elmondhatjuk tehát, hogy a sokszögoldalok végpontjainak rögzítéséhez használt két sorszám közül az egyiket mindenképpen érdemes megtakarítani még akkor is, ha ennek az lesz az ára, hogy helyette egy kiegészítő bitet kell minden koordináta-különbség mellé eltárolni.

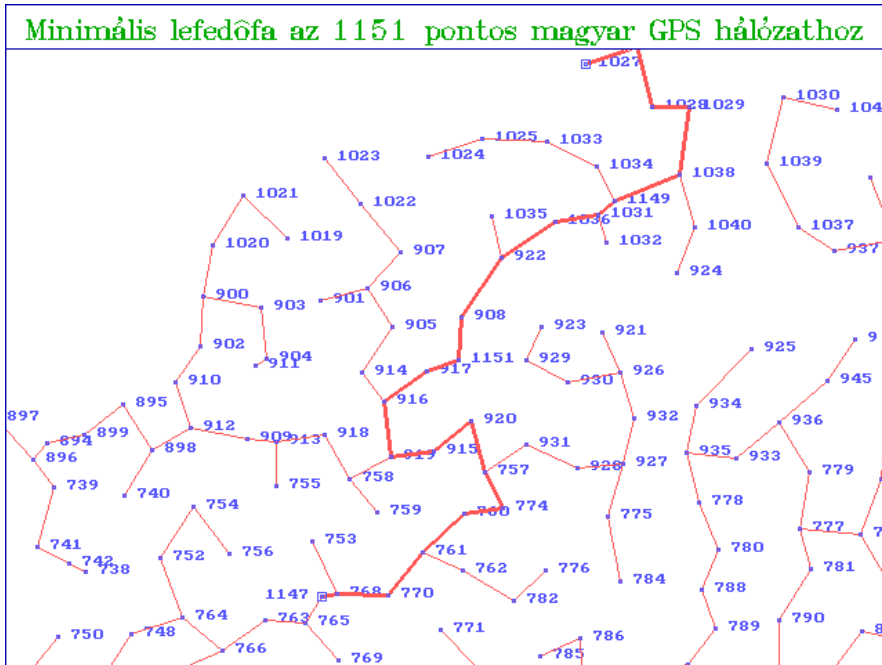
### III. rész: A lekérdezés

Mivel a koordinátafát úgy definiáltuk és úgy valósítottuk meg, hogy a strukturált tároláson kívül annak inverzét: az eredeti koordináták visszaállítását is vezérelni tudja, ezért könnyen belátható, hogy pusztán logikai, illetve relációs (összehasonlítási) műveletek segítségével – oda- és visszaléptetéseknek a koordinátafában előírt sorrendben történő alkalmazásával – a kezdőpontból kiindulva mindig el tudunk jutni addig a pontig, amelynek sorszámát (vagy pontszámát) a lekérdezés céljaként megadtuk.

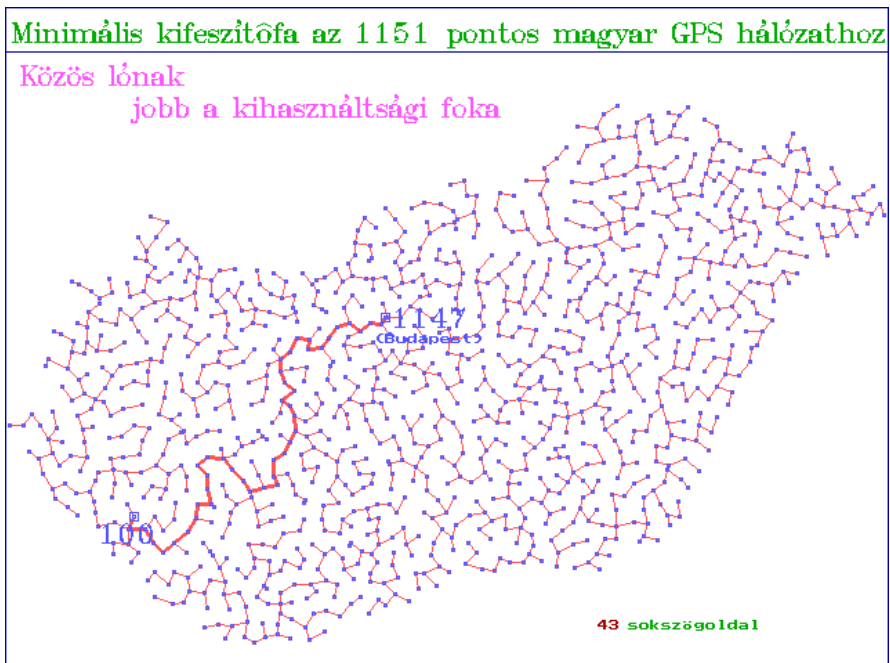
A *fabejárást* (*tree traversing*) során persze nem vagyunk passzívok, hanem egy ideiglenes listába kigyűjtjük azoknak az *I*-es jeleknek a helyeit (indexeit), melyekkel utunk során találkozunk, közben valahányszor *O* jelek kerülnek utunkba, visszafelé annyi indexet törölünk le a már kigyűjtött sorozatból, amennyi *O*-jel található közvetlenül egymás mellett. Amikor a keresett ponthoz érkezünk, a listában megmaradt indexek segítségével a szükséges koordináta-különbségeket kiemeljük és összegüket a Budapest kezdőpont EOV-koordinátaíhoz hozzáadjuk. Az említett előkészítő munkával azt érzük el, hogy a legrövidebb sokszögvonalon keresztül jussunk el a keresett ponthoz, vagyis hogy befejezésként a legkevesebb koordináta-különbséget kelljen összeadni a keresett pont abszolút koordinátáinak kiszámításához.

Összefoglalásul még csak annyit érdemes megemlíteni, hogy amíg a feltöltés munkafázisában a *O* jelek a visszaléptetés mértékét mutatták, addig a lekérdezés alkalmával azoktól a szabad sokszögvonaltól segítenek megszabadítani bennünket, amelyek a keresett pont felé vezető utunk során kényszerűen végigjárt „zsákutcáknak” bizonyultak. Természetesen megtehettük volna azt is, hogy ezt az előkészítő törlési munkát teljesen elhagyjuk és ezzel megengedjük, hogy a koordináta-különbségek összeadásában a zsákutcákat képező szabad sokszögvonalak is részt vegyenek. Mivel bejárásuk ezeknek oda-vissza irányban történik, ezért ilyenkor minden koordináta-különbség kétszer kerülne számításba: egyszer saját előjelével, másodszer fordítottal. Tehát a sokszögvonala számításából végül is kiesnének. Azonban akármilyen gyors is az összeadás a számítógéppel, a logikai és relációs műveletek még ennél is gyorsabbak. Ennél fogva az általunk alkalmazott előkészítő munka előnyösebbnek látszik.

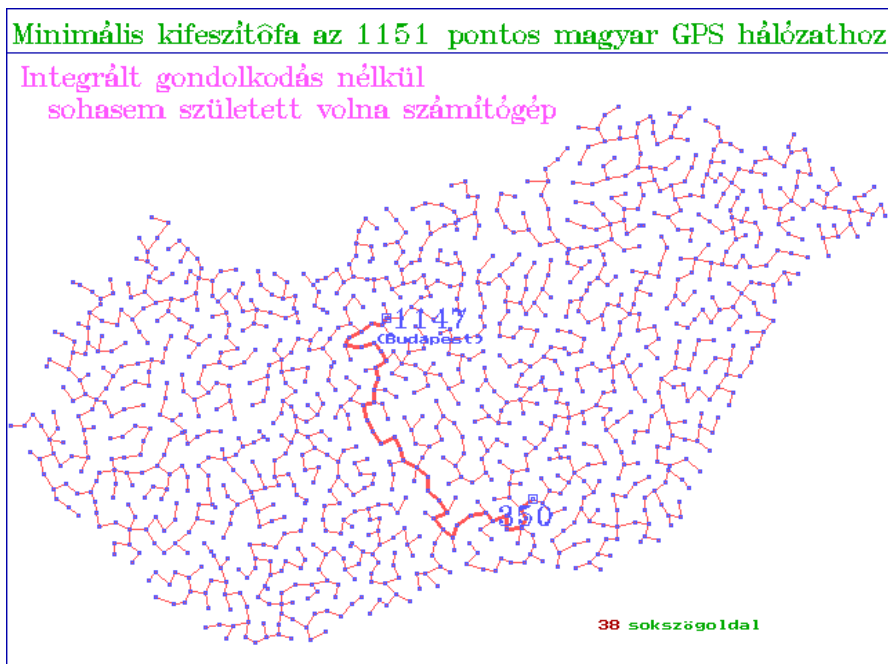
A következőkben a visszakeresésre néhány példát is bemutatunk.



4. ábra. Az 1027. pont EOV-koordinátáinak lekérdezése.



5. ábra. A 100. pont EOV-koordinátáinak lekérdezése.



6. ábra. A 350. pont EOV-koordinátáinak lekérdezése.

### *Van-e törzse a kifizetőfának?*

Az ábrák önmagukért beszélnek, illetve ez mégsem egészen igaz. Egyik ábrából sem tűnik ki ugyanis, hogy nemcsak *koronája* van a kifizetőfának, hanem *törzse* is, mint majdnem minden élőfának. Utóbbi bemutatását rajzolás helyett most leírással vagyunk kénytelenek pótolni.

Képzeljük el, hogy az 1147-es sorszámú Budapest kezdőpont össze van kötve még egy 0. sorszámú kiegészítő ponttal – az EOV koordináta-rendszer eltolt kezdőpontjával, mely valahol Észak-Olaszországban, Mantova város közelében, a Pó folyó mellett található. Ennél fogva egy viszonylag hosszú 0–1147 kiegészítő sokszögoldal is hozzátartozik a fához, mely értelemszerűen annak törzsét képezi. Na már most, ahogy az élőfáknál, minden levél, virág vagy termés a *közös* törzsön keresztül tart kapcsolatot a táplálékot nyújtó talajjal, épp úgy az összes GPS-pont koordinátái is azt a közös sokszögoldalt használják fel a lekérdezés alkalmával, amely ehhez a fatörzsnek nevezett oldalhoz tartozik. Ezek szerint a Budapest-pont EOV koordinátáit is koordináta-különbségeknek tekinthetjük, nevezetesen a fatörzs oldalvetületeinek.

### *Egyforma vastagok-e a faágak?*

Ha az ábrákat még kifejezőbbé kívánnánk tenni, akkor a fatörzs berajzolásán kívül még valami másra is ügyelni kellene. Nevezetesen az ágak *vastagítására*. Szó sincs arról, hogy ebben tisztán esztétikai szempontok, illetve az élőfához történő hasonlat erőltetése vezérelnének bennünket. Amennyiben egy sokszögoldal vastagságát a hozzátartozó koordináta-különbségek *ismételt felhasználásának a száma (ifs)* határozná meg, akkor pl. a 0–1147 fatörzset 1151 vastagságúnak kellene ábrázolni, az 1147–768 ágat 79, az 1147–765 ágat pedig 1071 vastagnak, mivel ennyi pont lekérdezéséhez szükséges

sokszögvonalon vesznek részt. Ugyanakkor a szabad-sokszögvonalak minden oldalának egyforma vékonyknak (egységnyi vastagságúnak) kellene lennie, mivel ezek csak egy-egy vonalban fordulnak elő. A kifeszítőfa minden egyes elágazásánál ezek szerint *Kirchoff csomóponti törvénye* lesz érvényes, mely szerint

*a csomópontból kifutó ágak (sokszögoldal) vastagságainak (ifs-einek) összege mindig megegyezik a csomópontba befutó egyetlen ág (sokszögoldal) vastagságával (ifs-ével).*

Ezzel váratlanul felbukkant itt egy olyan dolog, melyre egyáltalán nem számítottunk. Arról van szó, hogy a kiegyenlítőszámítás fizikai értelmezésében megfogalmazható három alaptörvény közül az első és legfontosabb törvény: a csomóponti törvény (Halmos et al. 1974b, 1977a, 1977b), mely természetesen a fölös mérések nélküli hálózatokra is érvényes. Úgy látszik, hogy ez a minimális kifeszítőfákhoz tartozó fiktív mérési eredményekre is igaz. A hasonlat ennek ellenére mégis csak formális, mivel kiegyenlítésnél a (hibaterjedési törvény duálisának megfelelő) ún. *súlytejedési törvény* felírásánál a kiegyenlített koordináta-különbségek *súlyaira* érvényes, itt viszont az ismételt felhasználások számaira, vagyis az *ifs*-ekre. A két dolog pedig nem ugyanaz. A felmerült kérdés tisztázása további vizsgálatokat igényel.

## Összefoglalás

A dolgozatunkban az adattömörítés egyik speciális esetével foglalkoztunk, nevezetesen a koordináták integrálásának egyik lehetséges módszerével. Az ajánlott fastruktúra sem az egyetlen lehetséges megoldás, hanem számos, hozzá többé vagy kevésbé hasonló elképzelés létezik. A bemutatott program-rendszert az 1151 pontos magyarországi GPS-hálózaton teszteltük le, de előnyei igazában az ennél nagyságrendekkel több pontot tartalmazó digitális térkép-rendszerünk tartalmának integrált tárolásánál mutatkozna. Véleményünk szerint nagyon hamar el fog érkezni az az idő, amikor a pontsűrűség növekedésével a hálózaton, ill. térképen belül *nem a metrika* (a koordináta-információ) *fog dominálni, hanem a topológia* (a kapcsolódási információ). Talán már ma is elkésett dolog felismerni, hogy mindenképpen *paradigma-váltásra van szükség*, ha nem is rögtön az emberi fejekben, de a számítógépeken belül bizonyára.

Azok részére, akik a témával behatóbban kívánnak foglalkozni, a világhálóról *spatial indexing* tárgyszóval lehívható töméntelen anyag mellé (de nem helyett) ajánljuk korábbi három elemző írásunkat (Halmos et al. 1973a, 1973b, 1974a), továbbá a (Halmos et al. 1977c) nagyobb tanulmányunkat, mely elég sok irodalmi hivatkozást is tartalmaz. A helymeghatározással foglalkozó újabb keletű írásunk a Kádár (1992), majd a *kizárólag GPS-adatok integrált, illetve strukturált tárolásával* foglalkozó (Kádár et al. 1996, 1999b, 1999c) dolgozatainkat. Amikor a pontthalmazok pontjai közé valamilyen *vonalsztruktúrát is szükséges integrálni*, egy egészen új kombinatorikai feladattal találjuk magunkat szemben, melynek redundancia-mentes gyakorlati megoldását az Ágfalvi (1996) tanulmányunkban tettük közzé. Végül az objektum-orientált helymeghatározásra vonatkozó kísérleteink eredményeit a (Ágfalvi et al. 1998, Kádár et al. 1997, 1998a, 1998b, 1999a,) előadás-sorozatunkban ismertettük.

## Hivatkozások

- Ágfalvi M, Kádár I** (1996): Dynamic limitation of the interpretational domain of topological data with geometrical constraints. In: Joint European Conference and Exhibition on Geographical Information. Barcelona, Spain. 27-29, March. Vol. 1. 222-225.
- Ágfalvi M, Busics Gy, Kádár I, Papp E** (1998): Informatics of points and point sets. In: XXI. Congress of the International Federation of Surveyors. Commission 5, Positioning and Measurement, Brighton, 19-25 July. 513-527.
- Halmos F, Kádár I, Karsay F** (1973a): A koordináták információtartalma és szerkezete. *Geodézia és Kartográfia* 25, 4. 241-248.
- Halmos F, Kádár I, Karsay F** (1973b): Egydimenziós sík- és térkoordináta-rendszerek. *Geodézia és Kartográfia* 25, 5. 325-337.
- Halmos F, Kádár I, Karsay F** (1974a): Geodéziai számítások egydimenziós sík- és térkoordináta-rendszerekben. *Geodézia és Kartográfia* 26, 1. 13-27.
- Halmos F, Kádár I** (1974b): Local adjustment by least squares filtering. *Bulletin Géodésique*. No. 111. 21-51.
- Halmos F, Kádár I** (1977a): An attempt to interpret physically the notion-system of geodetic information. *Bulletin Géodésique*. Vol. 51. No. 1. 1-16.
- Halmos F, Kádár I, Karsay F** (1977b): Lokális kiegyenlítés a legkisebb négyzetek módszerén alapuló szűrőkkel. I. rész: *Geodézia és Kartográfia* 29, 4. 237-245., II. rész: *Geodézia és Kartográfia* 29, 5. 335-341.
- Halmos F, Kádár I, Karsay F** (1977c): The solution of satellite geodetical and other geodetical problems with direct vector and matrix arithmetic's in problem-oriented number-systems. *Mitteilungen aus dem Institut für Theoretische Geodäsie der Universität Bonn*. Nr. 48. 1-82.
- Kádár I** (1992): A helymeghatározás természetes mértékei. *Geodézia és Kartográfia* 44, 6. 417-424.
- Kádár I, Busics Gy, Papp E** (1996): GPS data integration by simulated vector arithmetic's in J. Proceedings of the First Conference on J Programming Language. 24-25, June. Toronto, Canada. 1-18.
- Kádár I, Papp E** (1997): Object oriented spatial positional systems. APL97: International Conference on APL, 17-20, August, Toronto. 1-59. (on CD disk).
- Kádár I, Papp E** (1998a): Object oriented spatial positioning systems. Proceedings of the APL98 Conference, 27-31, July. Rome, Italy. 1-25 old.
- Kádár I, Busics Gy** (1998b): Új utak keresése a helymeghatározásban. Geomatikai szemlélet a geodéziában szeminárium, okt. 29-30, Sopron, MTA GGKI kiadvány. *Geomatikai Közlemények* I. 89-108.
- Kádár I, Papp E** (1999a): Object oriented spatial positioning systems. APL Quote Quad, Vol. 29, No. 3. 121-140.
- Kádár I, Papp E** (1999b): Dirichlet-tessellation and triangulation in the Hungarian GPS Network. In: Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Seminar on GPS in Central Europe, 5-7 May, Pénc, Hungary.
- Kádár I, Papp E** (1999c): Dirichlet-sokszögelés és -háromszögelés a Magyar GPS Hálózatban. Ezredvégi helymeghatározás. A 12. Kozmikus Geodéziai Szeminárium előadásainak gyűjteménye. Székesfehérvár, 89-96.

## A GEODÉZIA KÖRNYEZETVIZSGÁLATI MÉRÉSI MÓDSZEREINEK INTEGRÁLT ELEMZÉSE A SÓSKÚTI MIKROHÁLÓZATBAN

*Ádám József\**

A BME korábbi Felsőgeodézia Tanszéke a vonatkozó tudományos vizsgálatai és kutatásai keretében (Miskolczi 1973, Bottka et al. 1985, Földváryné Varga és Miskolczi 1982) 1984-ben hat pontból álló mozgásvizsgálati hálózatot létesített Sós-kúton. Három-három pontot telepítettek a Benta patak két oldalán meredeken emelkedő mészkő kibúvásokra a patakmeder közelében feltételezett törésvonal ÉNY-DK csapásirányban (a Kálvária dombon, illetve a kőbánya közelében). A hálózat célja egyrészt az esetleges kőzetmozgások kimutatása ismételt újramérésekkel, másrészt a különböző geodéziai mérési és számítási módszerek bemutatása a földmérő és térinformatikai mérnök szakos nappali és szakmérnök hallgatóknak, és azok alkalmazása diplomatervek és TDK-munkák kidolgozása útján.

A gondosan állandósított pontjeleket elsősorban távolság- és iránymérésekhez, valamint a szintezéshez tervezték. Pontjelölésként alkalmazott vasbeton pillérek a korszerű GPS-mérések végzésére is alkalmasak.

A kiválasztott terület földtanilag, földrajzilag a Budai-hegység nyugati szélén helyezkedik el a sós-kúti fennsíkon. Geológiai jellemzőinek leírása a szakirodalomban megtalálható (pl. Szűcs és Takács 1998).

A hálózat létesítése óta különböző mérések történtek Sós-kúton. A méréseket és azok feldolgozását egyrészt különböző témájú diplomatervek kidolgozása (Balogh 2000, Bóna 1997, Faludi 1996, Gregori 2000, Halmos 2000, Schneider 2000, Szabó 1996 és Takács 1992), másrészt hazai együttműködés keretében (Faludi és társai 1990) végezték. Ez az egyik oka annak, hogy ezt a hálózatot választottuk kutatási területünknek, hiszen a vizsgálatok folyamán a régi mérések is feldolgozásra kerülhetnek. A hálózatban 1998. év végéig gravimetriai méréseket szélső pontossággal nem végeztek.

*A vonatkozó AKP kutatási téma feladata a sós-kúti mikrohálózatban a geometriai és fizikai jellemzők teljes körű, együttes vizsgálata abból a célból, hogy a lehetséges felszínmozgások kimutatása a leghatékonyabb legyen.*

Ehhez a mikrohálózatban szabatos geodéziai méréseket (geometriai szintezés, irány- és távmérés, valamint GPS-mérések), továbbá a nehézségi erőter graviméteres mérését terveztük 1999-ben és ismétlő jelleggel 2000-ben is. A kutatási témát a BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszéke, az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézete, valamint az ELGI Földfizikai Főosztálya témakörben illetékes munkatársainak együttműködésében dolgozzuk ki. Ennek során egyrészt hasznosítani kívánjuk más teszterületeken végzett mérések feldolgozásával nyert eredményeket és tapasztalatokat (Bányai és társai 1991, Dede és társai 1999, Gázsó és Ódor 1997, Ódor és Tóth 1997), másrészt a sós-kúti hálózaton nyert mozgásvizsgálati eredményeket beépítjük a vonatkozó országos méretű vizsgálatokba is (Gázsó és társai 1992, Joó 1998).

1999-ben és 2000-ben eddig a következő feladatokat teljesítettük, amelyek elsősorban a geodéziai (geometriai, fizikai és 3D) mérések elvégzésére és a szükséges adatbázisok létrehozására irányultak:

\*BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék  
1521 Budapest, Pf. 91  
E-mail: jadam@epito.bme.hu

a) DI2002 típusú szabatos digitális távmérővel az MTA GGKI munkatársai két alkalommal végeztek távméréseket a hálózatban. Előtte a távmérőt a gödöllői alapvonalon kalibrálták. Elvégezték a hálózati mérések szabadhálózatos kiegyenlítését (Bányai 1999, Bányai 2000).

b) WILD T3 teodolittal szabatos szögmeréseket végeztünk, amelyek egyúttal diplomaterv feladat részét is képezik (Balogh 2000).

c) A hálózat pontjai közötti magasságkülönbségek nagy pontosságú meghatározása céljából WILD NA3003 típusú kódleolvasású kompenzátoros felsőrendű szintező műszerrel szabatos szintezést végeztünk két alkalommal (Gregori 2000 és Paulik 2000).

d) A Karlsruhei Egyetem Geodéziai Intézetével együttműködve hat GPS vevőberendezéssel mindkét évben végeztünk műholdas méréseket a hálózat mindegyik pontján (Heck et al. 1999).

e) Két LCR-G graviméterrel az ELGI Földfizikai Főosztálya Gravitációs és Geodinamikai Observatóriumának munkatársai végeztek szélső pontossággal relatív graviméteres méréseket a hálózat pontjain 1999-ben és 2000-ben is. A mérések előkészítésekor a mikrohálózat pontjaitól néhány száz méterre abszolút gravimetriai állomást létesítettünk 1999-ben, amelyen nemzetközi együttműködés keretében fogunk abszolút méréseket végrehajtani (lehetőleg még 2000-ben) (Csapó 1999, Csapó 2000a, 2000b; Csapó és Papp 2000).

f) A szélső pontosságú és részletes felbontású geoidkép előállításának céljából a megfelelő pontsűrűség biztosítása miatt 1999-ben szükségessé vált, hogy a mikrohálózat 20 km-es körzetében mintegy 170 újonnan létesített ponton relatív graviméteres méréseket végezzünk. A graviméteres méréseket az ELGI munkatársai, a pontok magasságmeghatározásához szükséges GPS-méréseket a BME "GPS-navigációs" szakmérnöki szak hallgatói végezték el (Kovácsvölgyi 2000).

g) Az előző pontban említett feladat céljából beszereztük a Magyar Honvédség Térképészeti Hivatalától a DDM-10 digitális domborzatmodell állományának a mikrohálózat 40 km-es körzetére 10 méteres felbontásban a szükséges magassági adatokat, amelyeket a graviméteres mérések terepi korrekciójának meghatározásához használunk fel (Tóth és Rózsa 2000).

Elvégeztük az adatok ellenőrzését, valamint egységes vonatkoztatási rendszerbe történő átszámításukat. A mérésekből nyert eredmények tudományos igényű értelmezését részben két kutatási jelentés tartalmazza (Bányai 2000, Csapó 2000a, 2000b), másrészt előadások formájában mutattuk be (Csapó és Papp 2000, Dede és Szűcs 2000, Tóth és Rózsa 2000). A különböző mérési módszerek és technikák alapján nyert eredmények összehasonlító vizsgálata folyamatban van.

A kutatási munka keretében Papp (1999) vizsgálatokat végzett arra vonatkozólag, hogy a Pannon-medence litoszféra modellje ad-e lehetőséget a nehézségi erőter mérések Prey-Poincaré-féle redukciójának finomítására. Ebből következően reményeink szerint a jelenleginél pontosabb ortométeres magasságokat lehet levezetni Magyarország területén, így a sósokúti mikrohálózat pontjaira is.

## Köszönetnyilvánítás

A szerző, mint témavezető megköszöni az Akadémiai Kutatási Pályázat (AKP) Tanácsának a támogatását (az AKP 98-68 2,5 sz. projekt finanszírozásával), amely lehetővé tette a BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék sósokúti mozgásvizsgálati mikrohálózatában a vonatkozó mérések és vizsgálatok elvégzését. A kutatásokat az MTA TKI „Fizikai geodézia és geodinamika” elnevezésű kutatócsoportja is támogatta.

## Hivatkozások

- Ádám J** (1999): A Föld dinamikai jelenségeinek vizsgálata korszerű kozmikus geodéziai mérés technikák alkalmazásával. Közgyűlési előadások 1998-MTA Földtudományok Osztálya, 609-630 oldal, Budapest.
- Balogh E** (2000): Szabatos szög mérés a sóskúti mozgásvizsgáló hálózatban. Diplomaterv, BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék, Budapest.
- Bányai L** (1999): A sóskúti geodinamikai hálózat deformáció-vizsgálata szabatos távmérések alkalmazásával (az 1999. évi részjelentés). Sopron.
- Bányai L** (2000): A sóskúti geodinamikai hálózat deformáció-vizsgálata szabatos távmérések alkalmazásával (az 1999. és a 2000. évi mérések feldolgozása). Sopron.
- Bányai L, Faludi S, Rákóczi J, Sipos Gy, Szádeczky-Kardoss Gy** (1991): A paksi geodinamikai hálózat kísérleti GPS-méréseinek eredménye. *Geodézia és Kartográfia*, 43(1991), 2(63-69).
- Bóna P** (1997): GPS-méréseken alapuló geodéziai mozgásvizsgáló hálózatok deformáció analízise. Diplomaterv, BME Felsőgeodézia Tanszék, Budapest.
- Bóna P** (1998): Mozgásvizsgáló hálózatok alakváltozásainak vizsgálata. *Geodézia és Kartográfia*, 50(1998), 6(19-26).
- Bottka L, Földváryné Varga M, Kertész Zs, Miskolci L** (1985): Kéregmozgásvizsgáló mikrohálózatok állandósításának kérdései. *Geodézia és Kartográfia*, 37(1985), 4(246-250).
- Csapó G** (1999): Jelentés a sóskúti geodéziai mozgásvizsgáló mikrohálózat relatív graviméteres méréseiről. ELGI kézirat, Budapest.
- Csapó G** (2000a): Jelentés a sóskúti geodéziai mozgásvizsgáló mikrohálózat 2000. évi relatív graviméteres méréseiről. ELGI Kézirat, Budapest.
- Csapó G** (2000b): Mozgásvizsgáló célú gravimetriai mérések a sóskúti geodéziai mikrohálózaton. *Magyar Geofizika*, (megjelenés alatt).
- Csapó G, Papp G** (2000): Vertikális gradiens mérés és modellezése a sóskúti teszterületen. *Geomatika III.*, (megjelenés alatt).
- Dede K, Szűcs L** (2000): Geodéziai mérések a sóskúti hálózatban. *Geomatika III.*, (megjelenés alatt).
- Dede K, Kern F, Szűcs L** (1999): Mozgásvizsgáló mérések az algyői olajmezőn. A "XXXVIII. Bányamérő továbbképző és tapasztalatcsere" előadásainak gyűjteményes kötete, 65-72 oldal, Balatonfüred.
- Faludi S** (1996): Együttes GPS és gravimetriai mozgásvizsgáló mérések végrehajtása a sóskúti mikrohálózaton. Diplomaterv, BME Felsőgeodézia Tanszék, Budapest.
- Faludi S, Sipos Gy, Tóth J** (1990): Mikrohálózat mérés GPS-technikával. *Geodézia és Kartográfia*, 42(1990), 6(434-437).
- Földváryné Varga M, Miskolci L** (1982): Kisebességű vízszintes kéregmozgások geodéziai vizsgálatának jelenlegi lehetőségei. *Geodézia és Kartográfia*, 34(1982), 1(25-29).
- Gazsó M, Ódor K** (1997): A GPS-technika alkalmazása a Délkelet-Dunántúl geodinamikai vizsgálatára. *Geodézia és Kartográfia*, 49(1997), 6(22-28).
- Gazsó M, Borza T, Fejes I, Busics I** (1992): A GPS-Mozgásvizsgáló Program és földtani alapjai Magyarországon. *Geodézia és Kartográfia*, 44(1992), 2(73-85).
- Gregori Á** (2000): Felsőrendű szintezések a sóskúti mozgásvizsgáló hálózatban. Diplomaterv, BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék, Budapest.
- Halmos H** (2000): GPS mérések a sóskúti mozgásvizsgáló hálózatban. Diplomaterv, BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék, Budapest.

- Heck B, Kuhn M, Kutterer H, Ádám J, Dede K, Szűcs L** (1999): Geodätische Überwachungsmessungen in der Region Sósokút bei Budapest. Poster presentation at the "Day of Hungarian Sciences", Stuttgart, Germany, November 3<sup>rd</sup>, 1999.
- Joó I** (1998): Magyarország függőleges irányú mozgásai. *Geodézia és Kartográfia*, 50(1998), 9(3-9).
- Kovácsvölgyi S** (2000): Jelentés az 1999. évi Sósokút környéki gravimetriai mérésekről. ELGI Kézirat, Budapest.
- Miskolczi L** (1973): Kéregmozgások vizsgálata szabatos szintezésekkel. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Ódor K, Tóth J** (1997): Süllyedési horpa vízszintes és függőleges értelmű mozgáselemeinek meghatározása. *Geodézia és Kartográfia*, 49(1997), 6(15-22).
- Papp G** (1999): A Prey-Poincaré-féle redukció vizsgálata 3D erőtér modellezés segítségével (részjelentés). Kézirat, Sopron.
- Paulik S** (2000): Műszaki leírás a sósokúti mozgásvizsgálati alapponthálózat 2000. évi I. rendű szintezéséhez. Budapest.
- Schneider H** (2000): A BME sósokúti geodéziai mikrohálózata gravimetriai méréseinek vizsgálata. Diplomaterv, BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék, Budapest.
- Szabó M** (1996): GPS mérések és szintezések a sósokúti mozgásvizsgálati mikrohálózatban. Diplomaterv, BME Felsőgeodézia Tanszék, Budapest.
- Szűcs L, Takács N** (1998): Vízszintes mozgásvizsgálatok műszerfeltételei. *Geodézia és Kartográfia*, 50(1998), 9(21-28).
- Takács N** (1992): Mozgásvizsgálati hálózat elemzése iránymérésekkel. Diplomaterv, BME Felsőgeodézia Tanszék, Budapest.
- Tóth Gy, Rózsa Sz** (2000): Lokális gravimetriai geoidmodellezés a sósokúti teszterületen. *Geomatika*, III. (megjelenés alatt).

## A NEHÉZSÉGI ERŐ VERTIKÁLIS GRADIENSÉNEK MÉRÉSE ÉS MODELLEZÉSE – HAZAI PÉLDÁK ALAPJÁN

Csapó Géza\*, Papp Gábor\*\*

*A dolgozat első részében a vertikális gradiens fogalmát és meghatározási módjait ismertetik a szerzők. A vertikális gradiens helyi értékének ismerete egyrészt a nagypon-  
tosságú nehézséggyorsulási mérések ún. "műszermagassági" korrekciójának meghatá-  
rozásához fontos, másrészt képet ad arról, hogy a geoid meghatározásában a Stokes-  
Helmert-féle peremértékeként általánosan használt ún. szabadlevegő nehézségi rendel-  
lenességeket és a belőlük számított geoidundulációkat mekkora hiba terheli a vertikális  
gradiens normál és tényleges értékének különbsége miatt. Természetesen ebből a célból  
mért értékek a kellő pontsűrűségben nem állnak rendelkezésre, de modellszámítások  
segítségével becslés adható a hibák várható nagyságrendjéről. A mért lokális értékek  
információval szolgálnak a modellszámítások megbízhatóságáról is, amely témáról a  
dolgozat második részében esik szó.*

### Bevezetés

Mind az abszolút graviméterekkel meghatározott nehézségi gyorsulási értéket ( $g$ ), mind a relatív graviméterekkel mért nehézségi térerősség különbséget ( $\Delta g$ ) a mérési pontok földfelszínen (szintezési hálózatoknál gyakran épületek falába rögzített csapokkal, vagy furatos táblákkal) állandósított pontjeleire vonatkoztatjuk. A műszereket általában nem lehet úgy felállítani, hogy érzékelő tömegük és a pontjel azonos szintfelületen legyen, ezért az eredmények minden esetben a pontjel fölötti, vagy alatti valamilyen (mérhető) magasságra, ún. "referenciaszintre" vonatkoznak. A referenciaszintre vonatkozó eredményeket azután a feladat megkívánta pontosságú korrekcióval (műszermagasság miatti korrekció) látjuk el a mért nehézségi gyorsulási értéknek a pontjelle történő redukálása érdekében.

Ugyanezen redukciós eljárás alkalmazandó abban az esetben is, ha a Föld felszínén, tehát különböző magasságokban mért ill. levezetett nehézségi gyorsulás értékeket, valamely célból egyetlen szintfelületre kívánjuk vonatkoztatni. Ha a cél a geoid meghatározása, akkor a kiválasztott szintfelület maga a geoid lesz, amelynek a Stokes-féle elmélet értelmében határolnia kell a Föld teljes tömegét. Ez a feltétel természetesen csak megfelelő matematikai-fizikai eljárással, a Helmert-féle kondenzációs modell segítségével valósítható meg. A tapasztalat szerint az eljárással elvileg kapható geoid felszíni nehézségi gyorsulás értékek leginkább az ún. szabadlevegő redukcióval ill. annak Faye-féle finomításával előállított  $g$  értékekkel egyeznek meg. Mivel a redukciót általában a vertikális gradiens normál értékével szokták végrehajtani, amelynek során sokszor még a normál érték földrajzi szélességtől való függésétől is eltekintenek, felmerül a kérdés, hogy a valódi és az alkalmazott érték közötti különbség elhanyagolása vajon mekkora hibát okoz pl. a geoid számításakor.

\*Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, H-1145 Budapest, Columbus utca 17–23.

E-mail: csapo@elgi.hu

\*\*MTA FKK GGKI, 9400 Sopron, Csatka utca 6-8.

E-mail: papp@apollo.ggki.hu

## Alapelvek

A vertikális gradiens a nehézségi erő függőleges irányú differenciálhányadosa ( $\partial g / \partial H$ ), vagyis a nehézségi gyorsulás változásának a függővonalon mért elemi függőleges távolságra vonatkoztatott értéke. Ennek a mennyiségnek az elméleti vagy ún. normál értéke a gömbszimmetrikusnak feltételezett erőtér vizsgálata alapján vezethető le (a tengerszintnek megfelelő szintfelületet  $R_0 = 6371$  km sugarú gömbnek, a Föld tömegeloszlását pedig homogénnek tekintve). Gömbszimmetrikus erőtérben a nehézségi gyorsulás a tömegközépponttól  $r$  távolságban ( $R_0 \leq r$ ):

$$t \quad g = k^2 M / r^2, \quad (1)$$

ahol  $k^2$  a tömegvonzási állandó és  $M$  a Föld tömege. (1)-nek  $r$  szerinti első parciális deriváltja fejezi ki a  $g$  értékének azt a változását, amelyet a magasság elemi változása okoz, feltételezve a függővonal és a rádiusz vektor kollinearitását ( $H \parallel r$ ):

$$\partial g / \partial H \cong \partial g / \partial r = -2k^2 M / r^3.$$

Ennek értéke  $r=R_0$  esetben, azaz a tengerszinten:

$$\partial g / \partial H \cong + 0,3086 \text{ mGal/m} \cdot \bullet$$

További finomítás érhető el a normálérték levezetésében, ha figyelembe véve a Föld lapultságát, az ún. Somigliana- és a Bruns-féle formulák segítségével származtatjuk azt (Heiskanen és Moritz 1967). Ebben az esetben a normálérték már függ a szélességtől és az ellipszoid feletti  $h$  magasságtól is (Torge, 1989):

$$\partial g / \partial H \cong \partial g / \partial h = -0.30877 \times 10^5 (1 - 0.00142 \sin^2 \varphi + 0.75 \times 10^{-12} h) \text{ m/s}^2,$$

ahol az együtthatók a GRS80 (Geodetic Reference System 1980) paraméterrendszerének felelnek meg,  $\gamma$  pedig a nehézségi gyorsulás normálértéke.

Bár a Faye-féle redukció és a műszermagasság miatti korrekció nem azonos fogalom, azonban mindkét esetben arról van szó, hogy a mérési pontot függőleges irányban "eltoljuk" a szabad levegőben. Azoknál a feladatoknál, amelyeknél a relatív nehézségi térerősség mérések (továbbiakban: nehézségi mérések) eredményétől megkívánt pontosság néhány tized, vagy század mGal, akkor az elméleti értéket lehet alkalmazni a műszermagasság miatti korrekció kiszámításához.

A nehézségi erő függőleges irányú differenciálhányadosának helyi értéke mérésel határozható meg. Ennek két módja van. Az egyik a közvetlen, a másik a közvetett meghatározás. A **közvetlen meghatározásra** szerkesztett berendezések a vertikális gradiométerek, a **közvetett meghatározás** eszközei a relatív graviméterek. A velük végzett méréseknél (két pont közötti nehézségi különbség mérése) differenciálisan kis függőleges távolságban felvett két mérési pont között a graviméterek küszöbérzékenysége miatt nem tudunk kimutatható nehézségi gyorsulásváltozást mérni, ezért ezekhez a mérésekhez – megállapodás szerint – a vertikális gradienst úgy értelmezzük, hogy az a mérési hely függővonalán, egymás fölött 1 méter távolságban kijelölt két pont közötti térerősségkülönbségnek a két pont közötti függővonal–szakasz felezőpontjára vonatkoztatott értéke. A helyi függővonal mindig térgörbe, és egy adott földfelszíni ponthoz tar-

---

• 1 mGal =  $1 \cdot 10^{-5} \text{ms}^{-2}$ , 1  $\mu\text{Gal}$  =  $1 \cdot 10^{-8} \text{ms}^{-2}$

tozó vertikális gradiens (VG) értéke pontról-pontra változik ezen a térgörbén. Ezért fontos a vonatkoztatási pont és azért is, mert a változás nem lineáris.

A VG közvetett mérésekkel meghatározott értékének megbízhatósága növelhető, ha a méréshez nem két, hanem három egymás fölötti pont között mérünk. Ebben az esetben meghatározható egy gyorsulás/magasság függvény, amelynek segítségével azután az adott magassági intervallumba eső bármely magasságra kiszámíthatjuk a függvényértéket. Erre azért van szükség, mert az abszolút gravimétereknél a referenciaszint kis mértékben egy mérési sorozaton belül is változik, ezért a magassági korrekciót mindig az adott ejtéshez (drop) tartozó magasságra vonatkozóan kell alkalmazni. Tovább bonyolítja a helyzetet az, hogy a laboratóriumokban (ahol az abszolút méréseket végzik) az észlelőpillér, illetve az ahhoz közeli tömegek a gravitációs erőter kisebb-nagyobb inhomogenitását okozzák (Szagitov 1984). Ezen hatások figyelembevételének módjára – példaként – a potsdami Központi Földfizikai Intézetben elvégzett számításokra hívjuk fel a figyelmet (Elstner et al. 1986). Az abszolút mérések eredményét ("g") mindig két pont-ra: a referencia-magasságban lévő fiktív pontra és a pontjelre adjuk meg. Így tudjuk szétválasztani a meghatározás és a pontjelre levezetett érték megbízhatóságát (hibaterjedés törvénye).

Az elmúlt évtizedben a nehézségi gyorsulás meghatározására szolgáló abszolút graviméterek újabb generációs csoportjának (az amerikai gyártmányú AXIS-F5 graviméterek) középtávú mérési pontossága eléri a 3–4  $\mu\text{Gal}$  értéket. A legkorszerűbb relatív graviméterek (LCR, Scintrex CG-3) legutóbbi fejlesztései (elektronikus libellák, kettős termosztát és feedback elektronika alkalmazása) eredményeképpen laboratóriumi körülmények között végzett nehézségi méréseknél ezekkel a műszerekkel is hasonló megbízhatóság érhető el. A megnövekedett mérési pontosság miatt a nehézségi gyorsulási értékeknek a referenciaszintről a pontjelre történő levezetéséhez már nem elegendő a magassági korrekció 0,3086  $\text{mGal/m}$  elméleti értékének alkalmazása, azt minden abszolút állomáson méréssel kell meghatározni (Csapó 1987). Ugyancsak pontosabb korrekcióra van szükség, ha az említett relatív graviméterekkel végzett munkáknál a mérések eredményétől a lehető legnagyobb megbízhatóságot várjuk el (kalibráló alapvonalak létesítése, laboratóriumi, vagy mikrogravimetriai mérések).

A vertikális gradiens modellszámításokkal történő becsléséhez szükség van egy olyan háromdimenziós modellre, amely a vizsgált területre vonatkozóan jobban reprezentálja a felszínhez közeli tömegek rendellenes (inhomogén) sűrűségeloszlását, mint az a modell, amelyet a normál érték levezetéséhez felhasználtunk. A Kárpát-Pannon régió litoszféra modellje (Papp, 2000) regionális értelemben már alkalmasnak bizonyult a geoidundulációk interpretálására a 20 km - 300 km hullámhossz tartományban (Papp és Kalmár, 1996, Papp 1996), így kísérletet tettünk a gradiens értékek analitikus meghatározására is. Ez gyakorlatilag a modell által keltett V tömegvonzási potenciál második vertikális irányú parciális deriváltjának ( $\partial^2 V / \partial z^2$ ) kiszámítását jelenti tetszőleges P pontban (3. ábra), a derékszögű hasábra, mint a modell alapját képező térfogatelemre vonatkozó képlet segítségével (Nagy és mások 2000):

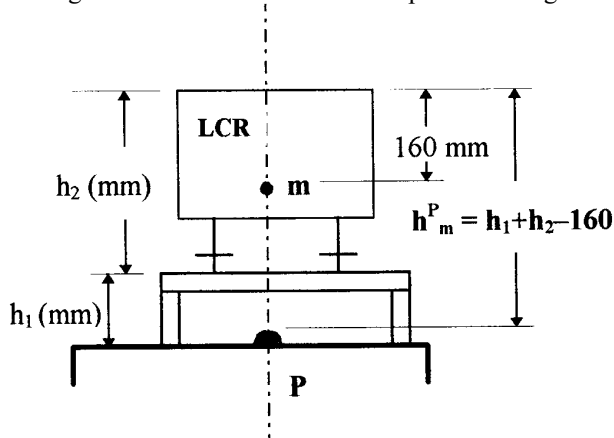
$$\partial^2 V / \partial z^2 = k^2 \rho \left\| \left[ -\tan^{-1} \frac{xy}{zr} \right]_{x_1}^{x_2} \right\|_{y_1}^{y_2} \Bigg|_{z_1}^{z_2},$$

ahol  $\rho$  a hasáb térfogat sűrűsége és  $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$  koordináták a hasáb sarokpontjait definiálják egy olyan lokális koordináta-rendszerben, ahol a távolság a számítási pont és a hasáb sarokpontjai között  $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ , mivel a számításhoz használt

koordináta-rendszer kezdőpontja a számítási pontba tolható ( $x_P = y_P = z_P = 0$ ) minden egyes térfogatelem hatásának kiértékelésekor.

## A hazai VG-mérések kivitelezése és az észlelések feldolgozási módszere

A méréseket hazai és nemzetközi tapasztalatok alapján mind az épületekben telepített abszolút állomásokon, mind a terepi pontokon egységes elvek szerint végezzük (Csapó 1997). A mérendő ponton egy függőlegesben két műszerállványt állítunk fel: a felső szintet ( $P_F$ ) egy 110 cm, az alsót ( $P_A$ ) egy 6 cm magas speciális műszerállvány fejezetének felső síkja jelöli ki. Az állványokra az elektronikus libellákkal és elektromos kimenettel ellátott LCR graviméter kényszerközpontosan állítható fel. A felállításnál a maximális lineáris külpontosság 10 mm lehet. Minden műszerfelállítás után mm pontosan megmérjük a graviméter felső lapjának (műszerfal) távolságát a fejezet felső síkjától és ismerjük a mérőtömeg ( $m$ ) függőleges távolságát a műszerfaltól, mert azt a LCR gravimétereket gyártó cég austini laboratóriumában mm pontosan megmértük (1. ábra).



1. ábra. A LCR graviméterek mérőtömegének magassága a mérőpont felett.

Mindkét ponton 3–3 észlelést végzünk sorozatonként:  $P_A - P_F - P_A - P_F - P_A - P_F$ . A műszerleolvasási értékeket a graviméter CPI kimenetére csatlakoztatott, szűrővel ellátott digitális voltmérővel és a mérőtárcsa segítségével, az ún. “interpolációs eljárással” határozzuk meg. (A sorozaton belül minden műszerfelállításnál a lengő dezarretálását követően pontosan 3 perc után végezzük el a műszerleolvasásokat). Egy–egy sorozatban így módon 5 (egymástól nem független)  $\Delta g$  érték képezhető, ezek korrekciókkal javított és 1000 mm magasságkülönbségre interpolált számtani átlaga a sorozatból nyert VG-értéke ötvös (E) egységben. Az észlelési eredmények feldolgozásánál légnyomás (DIN 5450/1968.), földi árapály, valamint műszerjárás miatti korrekciót alkalmazunk (Csapó 1976). Ezután a műszermagasság miatti korrekciót egyszerű aránypárral számítja a feldolgozó program.

Az észlelési sorozatok, illetve a mérésnél alkalmazott graviméterek számát úgy választjuk meg, hogy a VG mért értékének megbízhatósága terepi pontok estében legalább 30E, épületekben legalább 20E legyen. A VG-érték megbízhatóságára alkalmazott összefüggés:  $M_{VG} = \pm ([v] / n-1)^{1/2}$ . Az összefüggésben “v” az egyes mérési sorozatok eredményének eltérése az összes mérési sorozatból (n) számított számtani átlagtól.

## A mérési eredmények ismertetése

A következőkben az országos kalibráló alapvonal pontjain, a budapesti Mátyás-barlangban telepített horizontális mikrobázison, a magyarországi abszolút állomásokon valamint a BME sóskúti mikrohálózatán végzett VG-méréseink eredményeit ismertetjük abból a célból, hogy egyrészt megmutassuk a VG-értékek térbeli eltéréseinek lehetséges nagyságát az elméleti értéktől, másrészt azért, hogy képet adjunk a különböző környezeti feltételek mellett végzett VG-mérésekkel gazdaságosan elérhető megbízhatóságról. Végül azért, hogy kimutassuk, milyen hibát okozhat a nehézségi térerősség különbség méréseknél a VG-értékének pontatlan ismerete.

*Az országos gravimetriai kalibráló vonalon végzett VG-mérések.*

A kalibráló vonal pontjait általában templomkertekben (a *templomtól* néhány méterre), vagy repülőtereken telepítettük, talajszintre süllyesztett betontömbökkel állandósítottuk, és magassági jellel láttuk el. A graviméter-csoportot közvetlenül a mérési sorozat megkezdése előtt, gépkocsival szállítottuk a pontokra, és a napi műszervizsgálatok elvégzése után kezdtük az észleléseket – minden alkalmazott graviméterrel teljes sorozatot mérve egymás után. A műszercsoportot valamennyi pont méréséhez az ELGI LCR-G típusú gravimétereiből válogattuk (No.: 220, 821, 963, 1919). Egy-egy sorozat leméréseinek időszükséglete általában 50–60 perc műszerenként.

Az 1. táblázatban példaként Pécs kalibráló vonalpontunkra vonatkozóan az összes mérési eredményt feltüntettük, a 2. táblázat pedig a kalibráló vonal pontjain mért VG-értékeket tartalmazza.

**1. táblázat.** Vertikális gradiens mérések eredményei a pécsi kalibráló alapvonal-ponton.

N	LCR-220 G	LCR-821 G	LCR-963 G	LCR-1919 G
1	3193	3095	3160	3308
2	3162	3079	3138	3306
VG = 3180 E			± 30 E	

**2. táblázat.** A kalibráló alapvonal pontjainak méréssel meghatározott vertikális gradiens értéke.

pont	hely	H (m)	ns	n <sub>GR</sub>	VG (E)	m <sub>i</sub> (E)	m <sub>x</sub> (E)
Pécs	rep.tér	200	8	4	3180	86	30
Mecseknádasd	templomkert	194	8	4	2960	80	28
Tolna	templomkert	100	7	4	3107	100	38
Dunaújváros	rep.tér	122	12	3	3087	34	10
Ércsi	templomkert	124	12	3	3093	73	21
Budaörs	rep.tér	126	13	4	3082	98	27
Mátyáshegy	barlang	201	9	3	2625	34	11
Dunakeszi	templomkert	126	6	2	3079	51	23
Rétság	templomkert	193	7	4	3028	48	18
Balassagyarmat	park	147	8	4	3208	88	31
$\Delta VG = 583 E$		átlag: 3045		69		24	

A 2.– 4. táblázatban alkalmazott jelölések:

H	a pont Balti tengerszint feletti magassága
$n_s$	mérési sorozatok száma
$n_{GR}$	az alkalmazott graviméter csoportban szereplő műszerek száma
$m_i$	egy VG-mérés középhibája eötvös egységben: $m_i = \pm (\sum v_i^2 / (n-1))^{1/2}$
$m_x$	a VG legvalószínűbb értékének kiegyenlítés utáni középhibája: $m_x = \pm [\sum v_i^2 / (n(n-1))]^{1/2}$
$\Delta_{VG}$	$V_{g_{max}} - V_{g_{min}}$

*A horizontális mikrobázison végzett VG-mérések.*

A mikrobázis 14 mérési pontját a budapesti Mátyás–barlang mesterségesen kialakított bejárati folyosóján, közvetlenül a mészkőre terített beton aljzatra telepítettük. A boltozatosra kiképzett folyosó mintegy 2,5 m széles és 2,5–4 m magas. Az egyes pontok egymástól 2–5 méter távolságban vannak, tengerszint feletti magasságuk néhány cm-re azonos. Fölöttük a sziklafal meredeken emelkedik (az 1. pont fölött 30–40 m, a 14. pont fölött mintegy 5–6 m a kőzet vastagsága). A folyosón a hőmérséklet napi változása elhanyagolható, az évszakos *hőingadozás*  $\pm 1^\circ\text{C}$ , az átlagos hőmérséklet  $+ 15^\circ\text{C}$ . A mérések időszakában a gravimétereket a helyszínen tároltuk. A meredek hegyoldal okozta igen nagy horizontális gradiensek (2000–10000 E) miatt a pontokat kényszerközpon-tos műszerfelállítást biztosító pontjelekkel állandósítottuk ami azt jelenti, hogy a LCR graviméterek mérőtömege pontraálláskor valamennyi vonalponton  $115 \pm 5$  mm magasra kerül a pontjel fölé, a mérőtömeg horizontális külpontossága pedig kisebb, mint 1 mm. A vonalpontokra számított VG-értékeket a 3. táblázat tartalmazza.

**3. táblázat.** A budapesti horizontális mikrobázis pontjainak méréssel meghatározott vertikális gradiens értéke.

pont	$n_s$	$n_{GR}$	VG (E)	$m_i$ (E)	$m_x$ (E)
1	4	2	2581	26	13
2	5	2	2591	8	3
3	3	1	2578	22	13
4	6	2	2447	38	15
5	3	1	2386	19	11
6	7	3	2556	46	18
7	4	2	2432	47	23
8	10	3	2358	46	14
9	3	1	2286	15	8
10	11	3	2356	35	10
11	6	3	2283	57	23
12	4	1	2281	28	14
13	5	2	2236	27	12
14	6	2	2102	66	27
$\Delta_{VG} = 489$ E		átlag:	2391	34	15

**A hazai abszolút állomásokon végzett VG-mérések**

Az abszolút graviméteres állomásokat általában időtálló műemlék létesítmények (várak, kastélyok, stb.) legalsó szintjén lévő helyiségekben állandósítottuk. A 15 állomáson meghatározott VG-értékeket a 4. táblázatban állítottuk össze.

**4. táblázat.** A magyarországi abszolút állomások mérésekkel meghatározott vertikális gradiens értéke.

pont száma és neve		helye	n <sub>s</sub>	n <sub>gr</sub>	VG (E)	m <sub>x</sub> (E)	
81	Siklós	vár	22	11	3407	16	
82	Budapest	Mátyás barlang	47	14	2519	7	
85	Kőszeg	városháza	22	4	2661	24	
86	Szerencs	borház	40	3	2968	7	
88	Nagyvázsony	kastély	18	5	2565	12	
89	Gyula	vár	29	2	2913	11	
90	Szécsény	kastély	15	5	3059	18	
91	Kenderes	kastély	12	5	2662	24	
92	Madocsa	szociális otthon	8	4	2552	16	
93	Iharosberény	kastély	19	6	2805	10	
94	Öttömös	borpince	16	6	2634	10	
95	Tarpa	iskola	15	5	2710	21	
96	Debrecen	garázs	12	4	3075	13	
97	Zalalövő	művelődési ház	9	3	2633	12	
98	Penc	obszervatórium	12	4	3098	15	
$\Delta_{VG} = 888 \text{ E}$					átlag:	2817	14

**A sóskúti komplex geodinamikai poligonon végzett VG-mérések**

A poligon 8 pontja közül az egyik egy abszolút mérésekhez pincében létesített állomás egy másik ennek épületen kívüli excentere, további hat pont a sóskúti mészkőki-búvásokra – nyílt, dombos területen – telepített mérőpont. A VG meghatározások eredményét a 5. táblázatban állítottuk össze.

**5. táblázat.** A sóskúti mikrohálózat pontjain méréssel meghatározott vertikális gradiens értékek.

pont	H (m)	n <sub>s</sub>	n <sub>gr</sub>	VG (E)	m <sub>x</sub> (E)	
1	170	3	1	3599	20	
2	157	2	2	3636	80	
3	150	2	2	3805	79	
4	169	2	2	3189	23	
5	169	2	2	3203	74	
6	163	2	2	3559	30	
99.1	129	3	1	2994	50	
$\Delta_{VG} = 811 \text{ E}$				átlag:	3426	51

### A mérési eredmények értékelése

Az 1. táblázat adatainak összevetéséből levonható számos következtetésből a következőkre szeretnénk felhívni a figyelmet. Látható, hogy a VG-értékek (mely értékeket az itt bemutatott valamennyi esetben a földfelszín feletti 620 mm  $\pm$  20 mm magasságra számítottuk) és a pontok tengerszint feletti magassága között a vizsgált tartományban nincs korrelációs kapcsolat szemben azzal, hogy ugyanazon a ponton a különböző felszín feletti referenciamagasságok és a hozzájuk tartozó VG-értékek nagysága között szoros korrelációs kapcsolat létezik (Csapó 1987). Az adott négy graviméterből álló műszercsoport alkalmazása és azonos számú mérési sorozat ( $n_s = 8$ ) esetén a legvalószínűbb érték kiegyenlítés utáni középhibája minden esetben közel azonos, mintegy 30 E.

A 2. táblázatban egy átlagos VG meghatározási eredményt részleteztünk valamennyi mérés feltüntetésével. A 8 meghatározás közötti legnagyobb eltérés 229 E ( $\sim 23 \mu\text{Gal/m}$ ), a VG kiegyenlítésből származó legvalószínűbb értékének (3180 E) középhibája pedig 30 E ( $\sim 3 \mu\text{Gal/m}$ ). Extrém külső körülmények között végzett méréseknél (erős szél, rezgésérzékeny mérési pontoknál nagy közúti forgalom miatti megnövekedett vibrációs hatások, stb.) az eltérések nagyobbak lehetnek, tapasztalatunk szerint  $m_x$  elérheti az 50–60 E értéket. Kedvező esetben viszont kevesebb mérési sorozattal is sikerülhet jobb megbízhatóságot elérni (pl.: Dunakeszi, Rétság). Ugyanazon LCR graviméterrel ugyanazon a ponton ismételt végzett méréseknél az egyes mérési eredmények között csak ritkán fordulnak elő 100 E-nél nagyobb eltérések. A mérési eredmények méretaránytényezővel korrigált értékek. Miután a LCR graviméterek méretaránytényezői általában (legalábbis a magyarországi méréseknél eddig alkalmazott 12 db műszernél) 0,996 – 1,005 közötti értékek, ezért azok esetleges hibájának hatása a VG-értékekre maximálisan 10 E. A szabályos hibák hatásának csökkentése céljából a méréseket mindig műszercsoporttal végezzük.

A hazai relatív nehézségi térerősség méréseknél a LCR graviméterek érzékelő tömege 60–125 mm-rel van a mérési pontok magassági jele felett. Ebből következően a különböző pontok átlagostól eltérő VG-értékeinek a nehézségi térerősség különbségek mérési eredményeiben jelentkező hatása – az 1. táblázat adataiból számítva – elérheti a 6  $\mu\text{Gal}$  értéket (illetve akár ennél többet is, hiszen az országos alaphálózat más pontjain eddig nem végeztünk VG-méréseket), amely érték nagyobb, mint az e műszerekkel elérhető mérési megbízhatóság! Az eltérések természetesen nem arányosak a mért  $\Delta g$  értékek nagyságával, csupán a mérési pontok helyének környezetétől függenek.

A 3. táblázat eredményei azt példázzák, hogy a környező nagy tömegek milyen hatással vannak a VG-értékekre. A budapesti mikrobázison jól szemléltethető a pontok feletti tömegek nagysága és a VG-értékek közötti szoros korreláció. Az 1. ponttól a 14.-ig az értékek folyamatosan csökkennek mintegy 480 E (2591–2102 E) értékkel és valamennyi lényegesen kisebb a földfelszíni értékeknél. (Összehasonlításképpen: az 1. táblázatban szereplő Mátyás–barlang nevű pont egy zárt katlanszerű bányaudvarban, de a szabadban van, mintegy 50 méterre a 14. számú, már a barlangfolyosón lévő ponttól.) A teljes vonalra számítható átlagos VG-érték (2391 E) mindössze 77 %-a az elméleti értéknek. Az eltérésekből származó hatás a pontok közötti nehézségi térerősség különbség mérésénél (ha a feldolgozáshoz egységes magassági korrekciót vennénk figyelembe) maximálisan 3  $\mu\text{Gal}$  (2. és 14. pont között), amely érték összemérhető a LCR graviméterekkel optimális mérési feltételek esetén elérhető mérési megbízhatósággal.

A 3. táblázatból az is kitűnik, hogy optimális mérési körülmények esetén (állandó hőmérséklet, kisértékű szállítási vibráció a pontok közelsége, ill. a gyalogos műszerszállítás miatt) a mikrogravimetriában lényegesen jobb megbízhatóságot lehet elérni a VG

meghatározásában, mint terepi pontokon, ahol a gyakran változó külső körülmények kedvezőtlenül befolyásolják a mérési eredményeket.

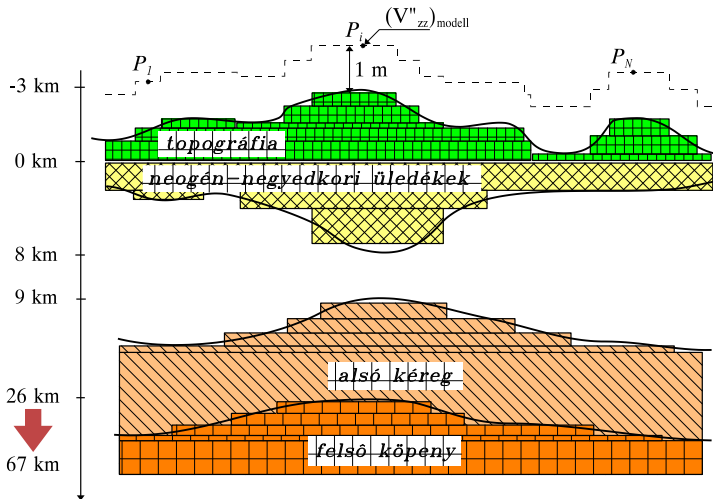
A 4. táblázat a magyarországi abszolút állomásokra vonatkozó VG-mérések fontosabb paramétereit tartalmazza. A közeli tömegek zavaró hatása jól látszik az abszolút pontok VG-értékein, amelyek szóródása az elméleti érték körül lényegesen nagyobb, mint a nyílt terepen mértéké. A magyarországi abszolút állomások VG-értékeinek megbízhatósága 7–24 E közötti, ami megfelel a hasonló mérésekről szóló szakirodalmi cikkekben közreadott eredményeknek (Becker et al. 1995).

### A vertikális gradiens modellezése a szabad levegőben

A vertikális gradiens normálértéktől való eltérésének alapvetően két oka van. Az egyik ok a Földet alkotó tömegek és a szabad levegő (amely szigorúan véve nem „tömegmentes”) közötti határfelület, azaz a topográfiai felszín geometriai szabálytalansága (ti. a felszín nem szintfelülete a földi nehézségi erőternek), a másik ok pedig a felszín alatti tömegek laterálisan inhomogén sűrűségeloszlása. Ha ezeket a szabálytalanságokat leíró modell által keltett  $V$  tömegvonzási potenciál második vertikális (a modell által definiált koordináta-rendszerben  $z$  irányú) parciális deriváltját ( $\partial^2 V / \partial z^2 = V''_{zz}$ ) a megfelelő eljárással (Papp 1996) a potenciálzavar analógiájára zavaró tagként állítjuk elő, akkor a  $\partial\gamma/\partial h$  normálérték hozzáadásával becslést kapunk a  $\partial g/\partial H$  gradiens értékéről a számítási pontban:

$$\partial g / \partial H \cong \partial \gamma / \partial h + (\partial^2 V / \partial z^2)_{\text{modell}} \quad (2)$$

A számítás elvégezhető tetszőleges ponthalmazon (pl. szabályos rácshálón), így képet kaphatunk a vertikális gradiens területi vagy akár 3D eloszlásáról is a modell feletti féltérben (3. ábra).



3. ábra. A litosféra modell vázlata és a  $V''_{zz}$  értékek számítási sémája.

#### A litosféra modell és a számítási módszer

Mivel a modell derékszögű hasáb térfogatelemekből épül fel, ezért a topográfiai felszínt egy lépcsős-teraszos felület reprezentálja. Ez, bizonyos esetekben jelentősen

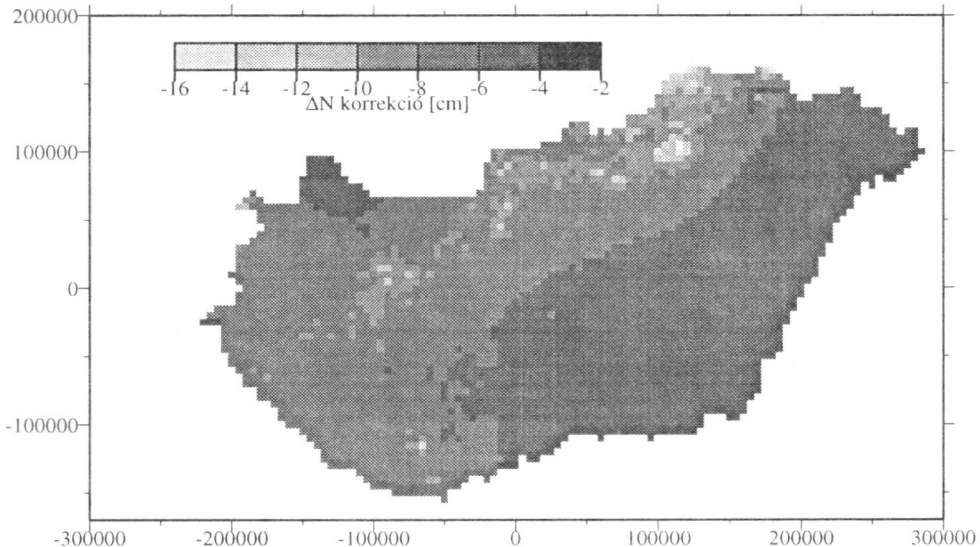
befolyásolja a számítási eredményeket, mivel egy ilyen lépcsőfüggvény-szerű alakzat közelében a gradiens értéke drasztikusan változik, bármilyen irányú, kis ( $\approx 1$  m) elmozdulás hatására is. Ennek következtében az eredmények a modell felbontásából adódóan leginkább csak helytől függetlenül, statisztikailag értelmezhetők. A felszín alatti tömegek ill. szerkezeti egységek, mint a neogén-nyugodkori üledékösszet, az alsó kéreg és a felső köpeny esetében a derékszögű geometriának már jóval kisebb a módosító hatása a felszíni adatok változékonyságára vonatkozóan.

Regionális modellezéshez a topográfiát reprezentáló hasáb-rendszert a magyarországi  $500 \text{ m} \times 500 \text{ m}$ -es digitális domborzat modell (MH TÉHI) alapján vezettük le a térfogatelem optimalizáció egyik módszerét alkalmazva (Kalmár és mások, 1995). Ennek következtében a minimális horizontális hasábméret sem lehet kisebb mint  $500 \text{ m} \times 500 \text{ m}$ . Ennek a modellnek a segítségével egy  $121 \times 81$  pontból álló  $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$ -es rácshálón számítottuk ki a felszín felett  $1 \text{ m}$  magasságban a  $(\partial^2 V / \partial z^2)_{\text{modell}}$  értékeit, amelyekből (6) alapján becslést kaptunk a  $\partial g / \partial H$  mennyiségekre vonatkozóan (6. táblázat). A  $(\partial^2 V / \partial z^2)_{\text{modell}}$  paraméterek egyszerűen átszámíthatók szabadlevegő nehézségi rendellenesség változásokká (7. táblázat):

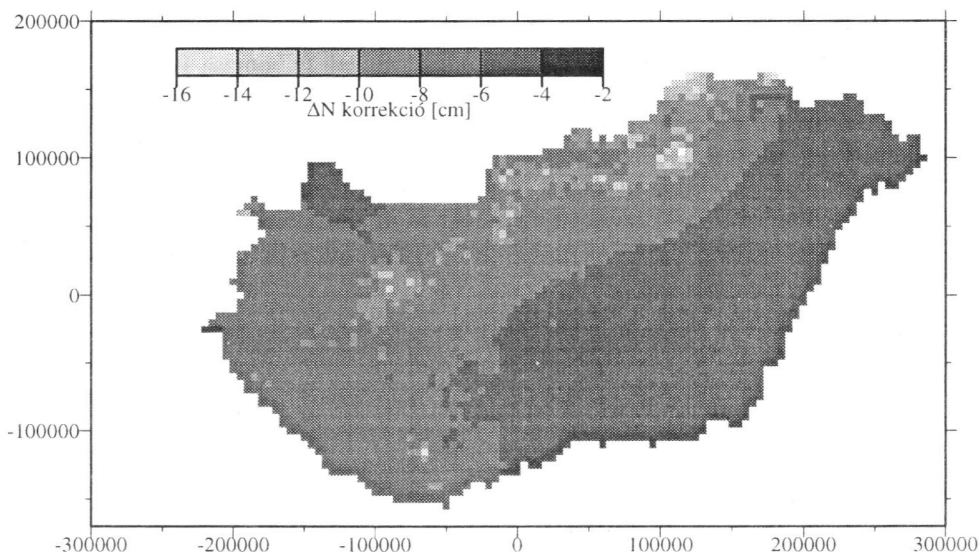
$$\delta \Delta g_{\text{free-air}} = (\partial^2 V / \partial z^2)_{\text{modell}} z,$$

ahol  $z$  a topográfiai felszín modellből meghatározott magassága.

A rendellenesség változásokból pl. a Stokes-FFT módszer alkalmazásával (Sideris, 1996) geoidundulációk számíthatók (8. táblázat), így meghatározható az a változás, amelyet a  $\partial g / \partial H - \partial \gamma / \partial h$  különbség okoz a geoid képében (4. és 5. ábrák). A számítások konzisztenciájának ellenőrzésére két, némileg különböző litoszféra modellt (A és D jelűek) is alkalmaztunk (Papp 2000; 1. táblázat).



**4. ábra.** A nehézségi gyorsulás vertikális irányú szabadlevegő gradiensének területi változásából származó  $\Delta N$  geoidunduláció változások az A modellből meghatározva.



**5. ábra.** A nehézségi gyorsulás vertikális irányú szabadlevegő gradiensek területi változásából származó  $\Delta N$  geoidunduláció változások a  $D$  modellből meghatározva.

**6. táblázat.** A magyarországi VG-mérések és a számítási eredmények statisztikai összehasonlítása. Az adatok eötvös egységben értendők.

adatok	adatok száma	min	max	mintaközép	szórás
Csapó (1999)	31	2519	3805	3021	$\pm 342.7$
A	3739	2710	3565	3082	$\pm 55.7$
D	3739	2739	3548	3077	$\pm 51.6$

**7. táblázat.** A pontonként változó szabadlevegő gradienssel számított szabadlevegő nehézségi rendellenességek változásainak statisztikái az alkalmazott litoszféra modellek függvényében. Az adatok mGal egységben értendők.

modell	adatok száma	min	max	mintaközép	szórás
A	3739	-27.4	11.8	-0.1	$\pm 1.9$
D	3739	-25.1	11.5	0.0	$\pm 1.8$

**8. táblázat.** A pontonként változó szabadlevegő gradienssel számított nehézségi rendellenességek változásaiból számított geoid undulációk statisztikái. Az adatok cm egységben értendők.

modell	adatok száma	min	max	mintaközép	szórás
A	3739	-23.8	-10.9	-12.5	$\pm 1.4$
D	3739	-16.5	-4.4	-6.5	$\pm 1.2$

Az AKP programnak köszönhetően a BME sósokúti teszhálózatán végzett lokális vizsgálatokhoz a terep modelljének felbontását másfél nagyságrenddel sikerült megnövelni, mivel a kiindulásként alkalmazott domborzat modell felbontása  $10\text{ m} \times 10\text{ m}$  volt. Így a 6 db vizsgálati pont egy kb.  $40\text{ km} \times 40\text{ km}$ -es környezetében a topográfiát reprezentáló térfogatelem-rendszert nagyobb felbontására cseréltük és a vizsgálati pontokban, melyeknek EOv koordinátáit hálózati GPS mérésekből vezették le (Dede és Szücs 2000) kiszámítottuk a modell hozzájárulását a nehézségi gyorsulás vertikális gradiensének „tényleges” értékéhez. Mivel ezekben a pontokban in situ mérések is rendelkezésre állnak, lehetőségünk nyílt a mért és a számított értékek közvetlen összehasonlítására (9. táblázat).

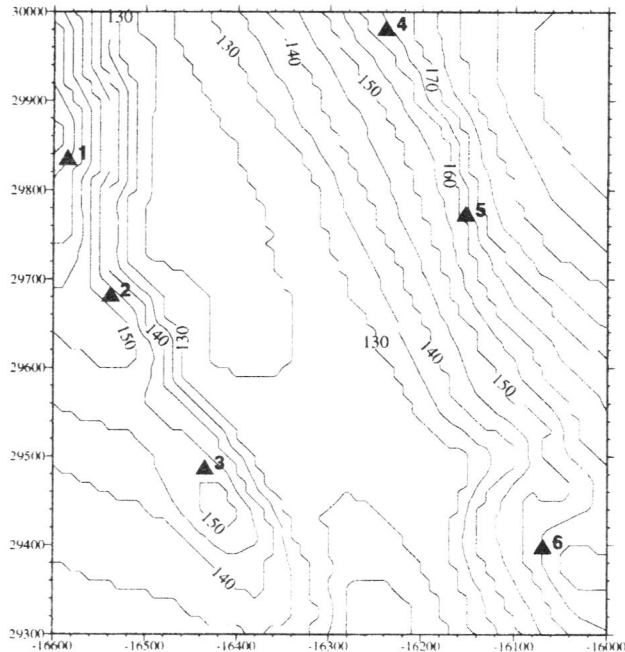
**9. táblázat.** A mért és a számított VG-értékek pontonkénti összehasonlítása a sósokúti geodéziai hálózatban.

pont	H (m)	VG <sub>mért</sub> (E)	VG <sub>számított</sub> (E)
1	170	3599	3156
2	157	3636	3440
3	150	3805	3120
4	169	3189	3491
5	169	3203	3193
6	163	3559	2261

*A modellezés eredményeinek értékelése*

Az 6. táblázatban felsorolt változások ill. eltérések statisztikáit megvizsgálva megállapíthatjuk, hogy a vertikális gradiens modellezéssel előállított értékei jó egyezést mutatnak a mérési eredményekkel, hiszen a mérések alapján tapasztalt intervallum szélesség (a szélsőértékek közötti távolság) még kicsit meg is haladja a számításokból kapott intervallum szélességet. Ez arra mutat, hogy a vertikális gradiens változékonyságát a modell „alul reprezentálja”. Ezt a megállapítást a számított szórás értékek is alátámasztják, hiszen az alkalmazott modellek által keltett erőter jóval „simább”, azaz kisebb változékonyságú, mint a valódi.

Ennek következtében a geoid unduláció változásokra kapott számadataink (8. táblázat) mindenképpen alul becsültnek tekinthetők. Azonban látható, hogy a regionális eltérések még így is deciméter nagyságrendbe esnek, és a lokális jellegű változások is elérik a néhány centimétert. Tekintettel arra, hogy a GPS mérésekből szintezés segítségével levezetett geoid undulációk és a gravimetriai geoid undulációk között észlelt szisztematikus és véletlenszerű eltérések éppen a fenti nagyságrendekbe esnek, (Kenyeres és Virág 1998; Tziavos és mások 1998) valószínűsíthető, hogy legalábbis az eltérések egy része a vizsgált hibaforrásból (ti. a nehézségi gyorsulás mérések szabad-levegő redukciójához használt vertikális gradiens normál értéke nem eléggé reprezentálja az adott helyen a tényleges értéket) származik. Természetesen a topografikus (terrain) korrekcióval ellátott szabadlevegő (Faye-féle) nehézségi rendellenességek használata bizonyos mértékben kompenzálja a vertikális gradiens elégtelen ismeretét, de ez kizárólag a topográfiából származó „zavaró” hatásokra vonatkozik.



**6. ábra.** A sóskúti geodéziai teszthálózat környezetének topográfiai viszonyai. A szintvonalköz 5 m, a síkkoordináták centrális EOVS rendszerűek, m-ben adottak. A számozott fekete háromszögek a geodéziai pontok helyét jelölik. A szintvonalak a 10 m × 10 m-es DTM alapján készültek.

Pontenként vizsgálva a mérések és a számítások eredményeit az ellentmondások azt mutatják, hogy az 500 m × 500 m-es horizontális felbontás nem elégséges a helyi részletek megfelelő szintű modellezéséhez. Még a nagyságrenddel nagyobb 10 m × 10 m-es digitális domborzat modell is csak a lokális tendenciák kimutatásához alkalmas, ha derékszögű hasáb térfogat-elemeket és egyszerűsített sűrűségeloszlást alkalmazunk. A 9. táblázat szerint az összes sóskúti ponton a vertikális gradiens értéke nagyobb a normálértéknél, amelyet egy pont kivételével a modellszámítások is indikálnak. A 6. számú pont esetében azonban felmerül a gyanú, hogy a pont helyzete a digitális terepmodellhez viszonyítva nem a valóságnak megfelelő, hiszen amíg a pont valójában egy helyi kiemelkedés tetején van, addig a DTM-hez képest a pont a kiemelkedés oldalára kerül (6. ábra). Ennek a horizontális eltolódásnak a következtében annyi tömeg kerül a ponton átmenő vízszintes sík fölé, amennyi jelentősen csökkent a vertikális gradiens normál értékét.

## Összefoglalás

Eddigi vizsgálatainkkal kimutattuk, hogy a gravimetriában alkalmazott mérőműszerek jelenlegi pontosságá miatt a mérési eredmények feldolgozásához már nem elégséges a vertikális gradiens elméleti értékét használni. A VG helyi értékének pontatlan ismerete a hazai alaphálózat pontjai között végzett mérések eredményét legalább 6  $\mu\text{Gal}$  értékkel meghamisíthatja.

Megállapíthatjuk továbbá, hogy a modellezéssel levezetett gradiens értékek statisztikailag, tehát a tényleges helyet figyelmen kívül hagyva jó egyezést mutatnak a mérési eredményekkel, a gradiens normálértékétől jelentős eltéréseket indukálva a Pannon-medence területén. A pont szerinti összehasonlítás, tekintettel a felszínhez közeli tömegeknek ehhez a feladathoz elégtelen geometriai és fizikai reprezentáltságára, inkább csak tendenciákat támasztanak alá. A jövőben, a felszínt illetően a polihedron térfogat-elem bevezetése hozhat javulást a mért és a számított értékek egyezésében, ill. pontosabb sűrűségeloszlást kell alkalmazni a jelenleginél. Hasznos lenne, ha az ország különböző részein szaporíthatnánk a méréssel meghatározott vertikális gradiensek számát, mert az e pontokra számíltással kapott értékekkel történő összehasonlítás a modellszámításoknál további finomításokat tenne lehetővé.

A gradiens értékének megváltozásából eredő unduláció változások szignifikáns értékeket mutatnak regionálisan a deciméteres, míg lokálisan a centiméteres tartományban. Az eltérések nagyságrendje összhangban van a GPS-mérésekkel kombinált szintezési adatokból ill. a nehézségi rendellenességekből előállított geoid undulációk különbségeinek nagyságrendjével.

### Köszönetnyilvánítás

A szerzők vizsgálataikat részben a 98-68 2.5 sz. AKP kutatási program keretében, részben a T015960 sz. OTKA támogatásával végezték. Papp Gábor külön köszöni a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj nyújtotta támogatást is.

### Hivatkozások

- Becker M et al.** (1995): Microgravimetric measurements at the 1994 International Comparison of Absolute Gravimeters. *Metrologia*, 32, 3, pp. 145-152.
- Csapó G** (1987): A mért abszolút g-értékek gyakorlati felhasználásáról. *Geomatikai Közlemények II.* 95-99.
- Csapó G** (1976): A műszerjárás figyelembevétele nagy pontosságot igénylő graviméteres mérések eredményeinek számítógépes feldolgozásánál. *Magyar Geofizika*, XVII. évf. 3. szám. Budapest.
- Csapó G** (2000): Jelentés a sóskúti geodéziai mozgásvizsgálati mikrohálózat 2000. évi relatív graviméteres méréseiről (kutatási jelentés a BME AKP pályázatához).
- Dede K, Szűcs L** (2000): Geodéziai mérések a sóskúti hálózatban. *Geomatikai Közlemények III.* pp. 125-132.
- Elstner C et al.** (1986): Determination of the local gravity field by calculations and measurements, *Reports of the Finnish Geodetic Institute*, 85:3, Helsinki.
- Heiskanen WA, Moritz H** (1967): *Physical Geodesy*. W.H. Freeman and Co., San Francisco and London. Eq. 2.56 és Eq. 2.20.
- Kalmár J, Papp G, Szabó T** (1995): DTM-based surface and volume approximation. *Geophysical applications. Comp. and Geosci.*, 21, 245-257.
- Kenyeres A, Virág G** (1998): Testing of recent geoid models with GPS/levelling in Hungary. In: Vermeer and Ádám (eds.), *Proceedings of the Second Continental Workshop of the Geoid in Europe*, Budapest, March 10-14. *Reports of the Finnish Geodetic Institute, Masala*, 98:4, pp. 217-224.
- Papp G** (1996a): On the application of physical filtering in 3-D forward gravity field modelling. In: Meurers, B. (ed.), *Proceedings of the 7th International Meeting on Alpine Gravimetry, Special Issue of Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik Heft 14*, pp. 145-154.

- Papp G** (1996b): A Pannon-medence nehézségi erőterének modellezése. Kandidátusi értekezés. MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, Sopron. 107 old.
- Papp G, Kalmár J** (1996): Toward the physical interpretation of the geoid in the Pannonian basin using 3-D model of the lithosphere. *IGeS Bulletin*, N. 5., pp. 63-87.
- Papp G** (2000): A nehézségi erőter Prey-féle gradiensének meghatározása. *Geomatikai Közlemények III.* pp. 173-184.
- Sideris MG** (1994): Geoid determination by FFT techniques. In: *Lecture Notes of the International School for the Determination and Use of the Geoid*, International Geoid Service, DIIAR Politecnico di Milano, Milano, pp. 165-229.
- Szagitov MU** (1984): A Sevrés-ben végzett abszolút nehézségi gyorsulás mérések eredményei közötti eltérések egy lehetséges értelmezése, *A Szovjetunió Tud. Akadémiája jelentései, Geofizika sorozat*, 274, No.2, 300–304., Moszkva (orosz nyelven).
- Tziavos IN, Ádám J, Tóth Gy, Andritsanos VD, Rózsa Sz** (1998): Recent geoid computations in Hungary and the surrounding area. In: Vermeer and Ádám (eds.), *Proceedings of the Second Continental Workshop of the Geoid in Europe*, Budapest, March 10-14. Reports of the Finnish Geodetic Institute, Masala, 98:4, pp. 257-262.

## GEODÉZIAI MÉRÉSEK A SÓSKÚTI HÁLÓZATBAN

*Dede Károly és Szűcs László\**

*Nagy pontosságú terepi geodéziai méréseket csak szabatos kényszerközpontosító berendezéssel épített észlelőpilléreken lehet végezni. A sóskúti mikrohálózat kielégíti ezeket a követelményeket ezért alkalmas szabatos vízszintes- és magasságmérési módszerek vizsgálatára valamint GPS technológiával végzett mérések elemzésére. A hálózatot egy feltételezett törésvonal két oldalára telepítették az esetleges vízszintes elmozdulások meghatározására, ezáltal biztosított a korábban végzett különböző mérések alapján a hálózatra vonatkozó deformáció analízis elvégzése is.*

### Bevezetés

A Budapesti Műszaki Egyetem Általános- és Felsőgeodézia Tanszéke 1999-2000-ben AKP kutatási program keretében különböző geodéziai és gravimetriai méréseket hajtott végre a sóskúti mikrohálózatban.

A hálózatot 1984-ben hozták létre egy feltételezett lemeztektonikai törésvonal mentén, hogy folyamatosan vizsgálhatóak legyenek a törésvonal mentén bekövetkező elmozdulások (Ádám et al. 1959, Földváry et al. 1986). A hálózat topográfiai környezet és állandósítása lehetőséget biztosít különböző geodéziai műszerekkel – terepi körülmények között – szélső pontosságú mérések végrehajtására, elemzésére.

Az AKP program keretein belül kívántuk megvizsgálni, hogy az eddig eltelt időben végrehajtott mérések és a projekt keretében elvégzett mérések felhasználásával kimutatható-e mozgás a hálózati pontok között, és vizsgáltuk a felhasznált mérőfelszerelésekkel elérhető mérési megbízhatóságot.

A hálózatban elvégzett szögmérések (vízszintes és magassági), felsőrendű szintezések, gravimetriai mérések, szabatos távmérések és GPS mérések közül most csak e két utóbbit elemezzük.

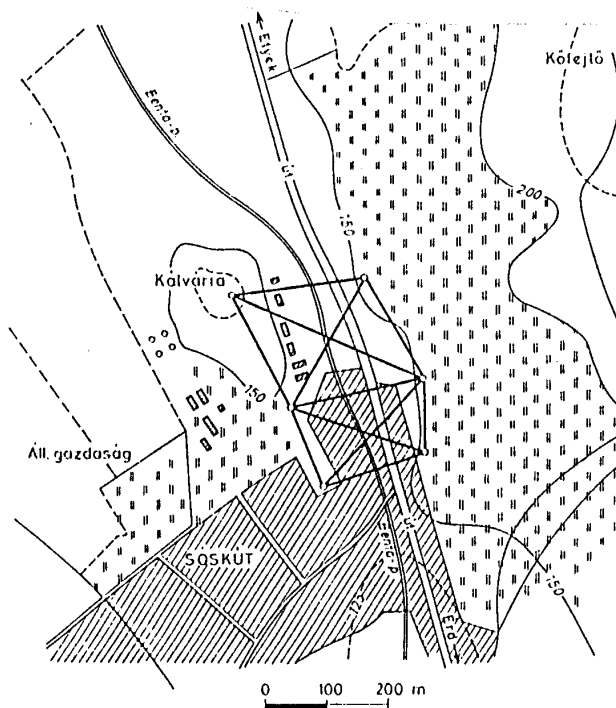
### A hálózat kialakítása

A Budapesti Műszaki Egyetem Geodéziai Intézete Dr. Miskolczi László tanulmányaira alapozva kéregmozgások kimutatása céljára 1984-ben mikrohálózatot hozott létre Sósokút község határában (Bottka et al. 1985). A hálózat hat pontból épül fel, melyből három a feltételezett törésvonal jobb, három pedig a bal oldalán található (1. ábra).

Mivel ezen a területen a kéregmozgások kimutatására évtizedek szükségesegek, a pontokat úgy kellett kialakítani, hogy ezen hosszú idő alatt is a környezet és a rongálók káros hatásai ne okozzák elpusztulásukat illetve tönkremenetelüket.

A mozgásvizsgálati hálózatokban a vizsgált objektumot a vizsgált pontokkal modellezzük, ezért fontos volt, hogy a pontokon kimutatható mozgásból szét tudjuk választani a vizsgálati objektum mozgását és a pontok saját mozgását. Ezeket a célokat és az akkori mérés technikai eljárásokat figyelembe véve a hálózati pontok vasbeton pilléreként lettek állandósítva (2. ábra).

A pillérek alapja a sziklába van bebetonozva 80-100 cm mélyen. A szerkezet így egy egyben mozgó testnek tekinthető fel. Az alapzat négy sarkába, a pillérek közép-pontjától egyenlő távolságban került beépítésre négy szintezési gomb amelyeket a pillérek dőlésének meghatározására használunk fel.



1. ábra. A sóskúti mikrohálózat elhelyezkedése.

A műszerek pilléren való elhelyezésére szolgál egy rátét elem, amely a pillér tetején kialakított vajatokba tizedmilliméter pontossággal helyezhető vissza. Minden pillér saját rátéttel rendelkezik. A rátétben található WILD menetes csavar középpontja jelöli ki gyakorlatilag a vizsgálati pontot. Amikor a hálózatban nincs mérés, a rátéteket eltávolítjuk és a pillérek fejezetét egy speciálisan kialakított, imbuszkulccsal zárható sapkával védjük.

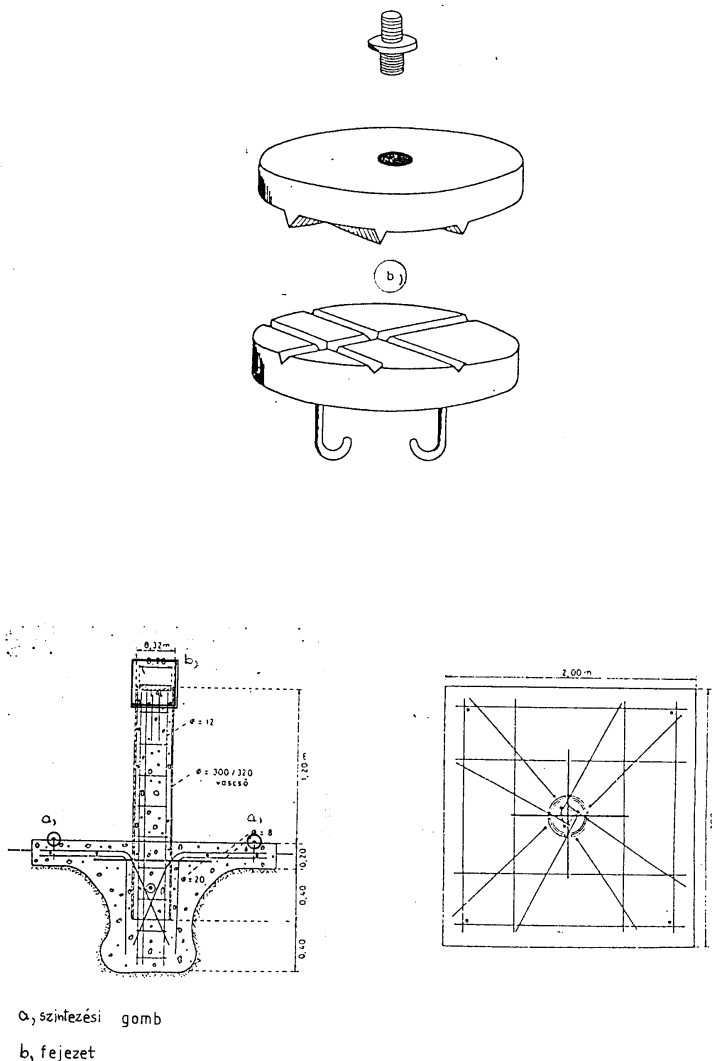
### Geodéziai mérések a hálózatban

A hálózat 1984-ben történt kialakítása óta több fajta mérést végeztek különböző időpontokban. Kezdetben, amíg a nagypontosságú elektro-optikai távmérők még nem terjedtek el, a hálózatban szögméréseket végeztek WILD T3 teodolittal. Ez a teodolit nagypontosságú háromszögelési munkálatokhoz készült, így a legalkalmasabb volt a hálózati oldalak által bezárt szögek meghatározására. Ilyen szögmérések voltak 1984 és 1992 között. Hosszú idő kihagyása után az AKP projekt keretében végeztünk megint szögmérést különböző jeltárcsákra 1999 őszén és 2000 tavaszán.

Távmerésekre kezdetben a Karlsruhei Műszaki Egyetemen való együttműködésben került sor. 1985-ben MEKOMETER 3000, 1986-ban GEOMENSOR és 1991-ben MEKOMETER 5000 típusú távmérőkkel mérték meg a hálózat oldalainak hosszát (Kuntz 1991). Az AKP projektben 1999 őszén és 2000 tavaszán a soproni GGKI munkatársai végeztek méréseket DI2002 távmérővel.

A GPS mérési technológia hazai megjelenése után ez a mikrohálózat volt hazánkban az első, ahol GPS méréseket végeztek mozgásvizsgálati célra. Az első mérésre 1990-ben került sor. A mérésben 2 darab GEOTRACER 100 egyfrekvenciás GPS vevőt

használtak fel (Faludi 1990). Hosszú szünet után a következő mérésre 1996-ban került sor két TRIMBLE 4000SE műszerrel. 1997-től minden évben a Karlsruhei Műszaki Egyetem Felsőgeodézia Tanszékével közösen végezzük a méréseket kétfrekvenciás geodéziai műszerekkel.



2. ábra. A pillérek kialakítása.

A hálózat pontjai közötti magasságkülönbségek meghatározására vonalszintezést végeztek 1988-ban Dr. Miskolczy László vezetésével. Az AKP projektben ismét meghatároztuk a magasságkülönbségeket felsőrendű szintezéssel, először 1999 végén, majd 2000 elején.

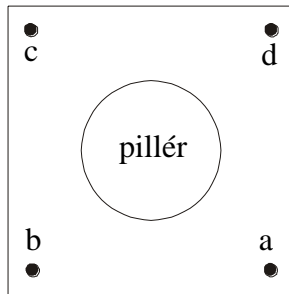
Minden egyes mérésnél szintezéssel megvizsgáltuk a pillérek dőlését, hogy a belőle származó vízszintes és magassági értelmű elmozdulásokat el tudjuk különíteni a terep elmozdulásaitól.

A továbbiakban csak a távmérések és a GPS mérések eredményeinek értelmezésével foglalkozunk. Ehhez először meg kell vizsgálnunk, hogy a pillérek dőlése milyen irányú és mekkora vízszintes értelmű elmozdulásokat okozott a pillérek tetején.

### A pillérek dőlése okozta elmozdulások

A hálózati pontok kialakítása lehetővé teszi, hogy a pillérek dőlését szintezéssel határozhatjuk meg. A dölések meghatározására felsőrendű szintezéssel határoztuk meg az egyes pillérek alapzataiba beépített szintezési gombok magasságát. Ezek a magasságok pillérenként egy helyi rendszerben értelmezettek, a nulla magasságúnak kiválasztott gombhoz képest.

Először meghatározzuk az A-C illetve B-D szintezési pontok (a két átló irányában) magasságkülönbségeit az egyes időpontokban ( $0$  a kezdeti,  $i$  a viszonyítási időpont) (3. ábra):



3. ábra. A pillér és a szintezési gombok elhelyezkedése az alapon.

$$\Delta H_0^{a-c} = H_0^c - H_0^a$$

$$\Delta H_0^{b-d} = H_0^d - H_0^b$$

$$\Delta H_i^{a-c} = H_i^c - H_i^a$$

$$\Delta H_i^{b-d} = H_i^d - H_i^b$$

Ezután meghatározzuk a dölések mérési időpontok közötti változását, amely az adott átló irányában való dőlésről ad információt:

$$\Delta\Delta H_{0-i}^{a-c} = \Delta H_i^{a-c} - \Delta H_0^{a-c}$$

$$\Delta\Delta H_{0-i}^{b-d} = \Delta H_i^{b-d} - \Delta H_0^{b-d} .$$

Ha ismerjük a pillérek geometriai adatait, meghatározható a két átló irányában a vízszintes elmozdulás a 4. ábra alapján ( $h$  a pillér magassága,  $t$  a szintezési pontok távolsága):

$$d_{0-i}^{a-c} = h \operatorname{tg} \alpha_{0-i}^{a-c} = \frac{h}{t} \Delta\Delta H_{0-i}^{a-c}$$

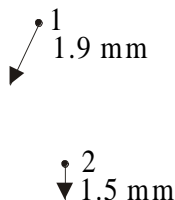
$$d_{0-i}^{b-d} = h \operatorname{tg} \alpha_{0-i}^{b-d} = \frac{h}{t} \Delta\Delta H_{0-i}^{b-d} .$$

Az átlókban történt elmozdulásokból számítható a pillér fejezetének elmozdulása:

$$d_{0-i} = \sqrt{(d_{0-i}^{a-c})^2 + (d_{0-i}^{b-d})^2} .$$

Az elmozdulás iránya a hálózat helyi koordináta-rendszerében a szintezési gombok hálózati irányaiból határozható meg.

Vizsgálataink azt mutatták, hogy az 1985-1999 között eltelt időszakban két pillér fejezetén okozott milliméternél nagyobb elmozdulást a pillérek dőlése. Az 1-es számú pillér fejezete  $220^\circ$  irányszögű irányban 1,9 millimétert, a 2-esé  $162^\circ$  irányban 1,5 millimétert mozdult el. A pillérek irányához viszonyított elmozdulásokat mutatja a 4. ábra.



**4. ábra.** Az 1. és 2. pillérek elmozdulásai.

Ezek a dölések már meghaladják a mérési pontosságot, ezért a hálózati mozgások értelmezésekor figyelembe kell vennünk értéküket, amikor a különböző években történt méréseket hasonlítjuk össze és vízszintes értelmű elmozdulás kimutatása a célunk.

### A távmérések eredményeinek értékelése

A hálózatban végzett távmérések eredményeit a terepi mérésekből kapjuk különböző korrekciók figyelembe vételével. Ezek a számítások mindig a mérés időpontjához kapcsolódtak. A legfontosabb adatok, melyeket figyelembe kellett venni a mérések feldolgozásánál a meteorológiai korrekció, a prizma összeadó-állandója, a műszer szorzóállandója voltak. Végül, hogy vízszintes távolságot kapjunk, redukáltuk a ferde távolságokat a vízszintesre, majd egy kötött magasságú alapfelületre, amelynek a magasságát a pillérek átlagmagasságához közel határoztuk meg, hogy a torzulások minél kisebbek legyenek.

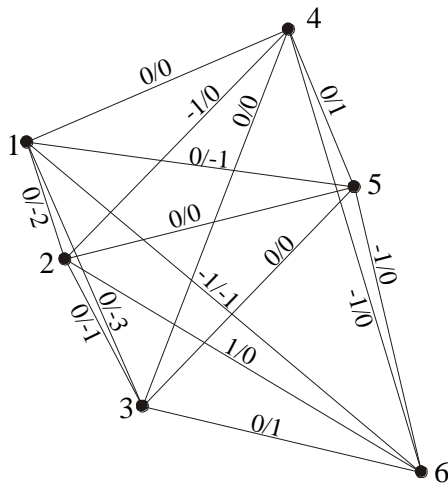
Amikor összehasonlítottuk az 1985-ben mért távolságokat az 1986-os, 1991-es és 1999-es távolságokkal, jelentős, több milliméteres szabályos jellegű eltéréseket tapasztaltunk, amely azt mutatta, hogy a távmérők szorzóállandója nem mindig felelt meg a valóságnak. Ezt az okozhatta, hogy a műszerek a mérés előtt nem azonos helyen voltak hitelesítve. Mivel 1999-ben és 1991-ben a gödöllői alapvonalon hitelesített távmérőkkel dolgoztak (ezt a két mérési sorozat hasonlósága is mutatja), utólagosan meghatároztuk a szorzóállandókat. Az 1999-es mérést fogadva el viszonyítási alapként, a következő értékeket kaptuk az előző évek méréseire ppm-ben kifejezve:

mérési év	szorzóállandó [ppm]
1991	+1
1986	+5
1985	-7

Ezek az értékek is mutatják, hogy a két hitelesített műszerrel történt mérés között gyakorlatilag nincs eltérés (Schaack 2000).

Megjavítva a távolságokat a meghatározott szorzóállandókkal, a szabályos jellegű hibák eltűntek, és az 5. ábrán látható távolságváltozásokat tapasztaltuk. Figyelembe véve

a pillérek dőléséből eredő elmozdulásokat, azt mondhatjuk, hogy a távmérések alapján a hálózati pontok elmozdulása nem kimutatható.



5. ábra. A távolságok változásai (1986-1991/1991-1999) [mm].

### A GPS mérések eredményeinek értelmezése

Az előzetes vizsgálatok azt mutatták, hogy csak azokat a GPS méréseket érdemes a mozgásvizsgálatba bevonni, amelyek megbízhatósági mérőszámait ismerjük és amelyek kétfrekvenciás geodéziai GPS műszerrel és geodéziai antennával voltak mérve (Dede et al. 1997, Szűcs et al. 1998). Így a további vizsgálatokból kiesett az 1990-es mérés, mivel csak a pontok koordinátái vannak meg, a pontossági mérőszámok hiányoznak. Kiesett az 1996-os, egyfrekvenciás műszerekkel történt mérés is, mert a műszerek nem geodéziai antennával voltak felszerelve. A vizsgálatokba csak az 1997 utáni méréseket vontuk be. A számításokat a Karlsruhei Műszaki Egyetem Felsőgeodézia tanszékén végeztük (Schaack et al. 2000, CODEKA).

A számítások első lépése a vektorok feldolgozása volt. Ahhoz, hogy meghatározzuk az optimális feldolgozási paramétereket, előzetes vizsgálatokat végeztünk. Az egyik vizsgálatban azt néztük meg egy rövid (161 m) és egy hosszú (676 m) vektort kiszámítva, hogy a minimális magassági szög 10 illetve 15 fokos beállítása mennyiben változtatja meg a vektor meghatározott koordinátáit. A két számítási mód között a különbség gyakorlatilag annyi, hogy a feldolgozásnál használhatjuk-e a 10 és 15 fokos magassági szög között található mesterséges holdakat. Az eredmények azt mutatták, hogy ilyen hosszúságú vektorok esetén a vektorok megoldásánál gyakorlatilag mindegy, hogy melyik magassági szöget állítjuk be, mivel a meghatározott koordináták és a vektor pontosági mérőszámai nem változtak.

A második vizsgálatban azt teszteltük, hogy a feldolgozó programba beépített többféle troposzféra modell közül melyiket használjuk a számítások során. A feldolgozó program három modellt tartalmaz: Niell, Hopfield és Saastamoinen modelleket. Itt is megvizsgáltuk a rövid és a hosszú vektor esetén a modelleket. Az eredmények azt mutatták, hogy a rövidebb vektor számításakor mind a három modell felhasználásával azonos koordinátákat és megbízhatósági mérőszámokat kapunk. A hosszú vektor meghatározásakor a Niell modellel számított eredmény kismértékben eltér a többitől, míg a Hopfield

és a Saastamoinen modellel számított eredmények teljes egyezést mutatnak. Ezért a további számításokhoz 15 fokos magassági szöget és Saastamoinen modellt használtunk.

A kiszámított vektorok alkotta hálózatot kiegyenlítettük és átszámítottuk a Gauss-Krüger vetületi rendszerbe, mert a deformációanalízist számító program ezeket a koordinátákat tudja csak kezelni. Ezáltal különválasztottuk a pontok vízszintes és magassági koordinátáit. Az egyes évekhez tartozó koordináták ponthibái érdekes eredményt mutatnak. 1997-ben, amikor csak két vevővel dolgoztunk és a mérési idő vektoronként kevesebb volt, mint egy óra, a ponthibák értéke 0,07-0,09 cm között változott. A következő években hosszabb idejű méréseket végeztünk, a ponthibák 1998-ban 0,01-0,04 cm, 1999-ben 0,09-0,25 cm között változtak. 2000-ben a mérési idő több mint 24 óra volt, a ponthiba értékek pedig 0,07-0,20 cm között voltak. Ezek az értékek azt valószínűsítik, hogy minél hosszabb ideig tartó mérést dolgozunk fel, a ponthibák értéke annál inkább megközelíti a valóságot. Rövid mérésidő esetén a ponthibák inkább csak a GPS rendszer egy bizonyos időjárás helyzethez tartozó belső pontosságáról adnak információt, azaz a meghatározásokból számított ponthibák „túl jó” értékeket mutatnak. A magasságok középhibáit vizsgálva hasonló következtetéseket vonhatunk le.

Ezután elvégeztük a deformációanalízist. Külön vizsgáltuk a pontok elmozdulását vízszintes és magassági értelemben (CODEKA). A vízszintes értelmű vizsgálat eredményeit az 1., a magassági értelmű vizsgálat eredményeit a 2. táblázatban foglaltuk össze.

**1. táblázat.** Vízszintes értelmű deformációanalízis eredménye.

	vizsgált pont							
	1	2	3	4	5	6	1,2,3	4,5,6
2000-1997								
2000-1998	mozog	mozog	mozog				mozog	
2000-1999	mozog						mozog	

**2. táblázat.** Magassági értelmű deformációanalízis eredménye.

	vizsgált pont							
	1	2	3	4	5	6	1,2,3	4,5,6
2000-1997	mozog			mozog	mozog	mozog	mozog	mozog
2000-1998	mozog			mozog	mozog	mozog	mozog	mozog
2000-1999			mozog		mozog		mozog	mozog

A vízszintes értelmű mozgásvizsgálat eredményei jó egyezést mutatnak a dőlésvizsgálat eredményeivel. A magassági értelmű mozgásvizsgálat eredményei azt mutatják, hogy a magasságok középhibái „túl jók” a valósághoz képest. Ha ezekkel az értékekkel dolgozunk, a koordináták változásai mozgásként lesznek kimutatva, azaz a vizsgálat nem megbízható.

## Hivatkozások

- Ádám-Marosi Sz** (1959): A Mezőföld természeti földrajza. Akadémiai kiadó, Budapest.
- Bottka L, Földváryné Varga M, Kertész Zs, Miskolczi L** (1985): Kéregmozgás-vizsgálati mikrohálózatok állandósítási kérdései. Geod. és Kart. 4.
- Dede K, Szűcs L** (1997): Vízszintes közetmosgások vizsgálata GPS mérések alapján. XXXVI. Bányamérő és továbbképző tapasztalatcsere, Tatabánya, május.
- Kuntz E** (1991): Hosszmérések a sóskúti hálózatban. Geodätisches Institut Karlsruhe. Kézirat.
- Faludi S, Sipos Gy, Tóth J** (1990): Mikrohálózat mérése GPS technikával. Geod. és Kart. 6.
- Szűcs L, Dede K** (1998): Horizontal Rock Movement Examination by GPS Measurements. Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering, Austria.
- Pécsi M** (1959): A Magyarországi Duna-völgy kialakulása és felszín alaktana. Akadémiai kiadó, Budapest.
- Schaack P, Heck B, Seitz K, Mayer M** (2000): GPS-Auswertung und Deformationsanalyse im Testnetz Sóskút. Geodätisches Institut Karlsruhe. Kézirat.
- Földváry Sz, Miskolczi L, Ráday Ö** (1986): Törésvonalak vizsgálata geodéziai mikrohálózatokkal. Földtani Közlöny, 116/1.
- Szűcs L, Takács N** (1998): Vízszintes mozgásvizsgálatok műszerfeltételei. Geodézia és Kartográfia, szeptember, pp. 21-28.
- CODEKA1D, CODEKA2D** (Deformationsanalyse-Programm). Geodätisches Institut Karlsruhe. Kézirat.

## LOKÁLIS GRAVIMETRIAI GEOIDMODELLEZÉS A SÓSKÚTI TESZTTERÜLETEN

*Tóth Gyula\* és Rózsa Szabolcs*

*Lokális, nagyfelbontású gravimetriai geoidmodellt határoztunk meg a sóskúti teszterületre, alapul véve a Magyarország területére legújabban meghatározott HGTUB2000 gravimetriai geoidmegoldást és annak adatait. Megoldásunkat összevetve a GPS/szintezésből meghatározott geoidmagasságokkal a hálózati pontokon, erőteljes K-Ny irányú dőlést találtunk, melynek magyarázata további vizsgálatokat igényel.*

### Bevezetés

Hálózati pontjaink magasságait korábban szinte kizárólag szintezéssel határoztuk meg. Ma már úgy tűnik, a harmadrendű szintezést a GPS technikával végzett magasságmeghatározás váltja fel. Ehhez viszont ismernünk kell a GPS-szel mért ellipszoid feletti és a szintezésből nyert tengerszint (geoid) feletti magasságok viszonyát, amelyet a geoid-ellipszoid távolságok, azaz a geoidfelület ismerete teremt meg.

A magasságmeghatározásban szélső pontosságra törekedve a geoidfelületet is szélső pontossággal kell ismernünk és különösen ez a helyzet olyan teszthálózat esetében, mint a sóskúti hálózat, amelyet eleve ilyen célra hoztak létre. Tehát a jelen vizsgálatunkban arra törekedtünk, hogy minden rendelkezésre álló adat bevonásával a sóskúti mikrohálózat pontjaiban ilyen szélső pontosságú geoidmagasságokat határozzunk meg.

Felmerülhet az a kérdés, hogy egyáltalán mi szükség van a gravimetriai geoid meghatározására egy ilyen kicsiny kiterjedésű hálózat esetében, hiszen a GPS és szintezett magasságok különbsége éppen a hálózat kis mérete (néhány száz méter) miatt bizonyosan elég jól leírható egy egyszerű felülettel (például lineáris kapcsolattal). A válasz erre az, hogy mivel a gravimetriai úton számított geoidmagasságok a GPS-szel mért illetve szintezett magasságok kapcsolatának független, külső ellenőrzését adják, ezért nagy pontosságra törekedve kár lenne lemondani méréseink egy ilyen független ellenőrzésének lehetőségéről. A sóskúti hálózatban végzett vizsgálatunk is ennek a kijelentésnek a gyakorlati jelentőségét mutatják meg, melyre tanulmányunkban még visszatérünk.

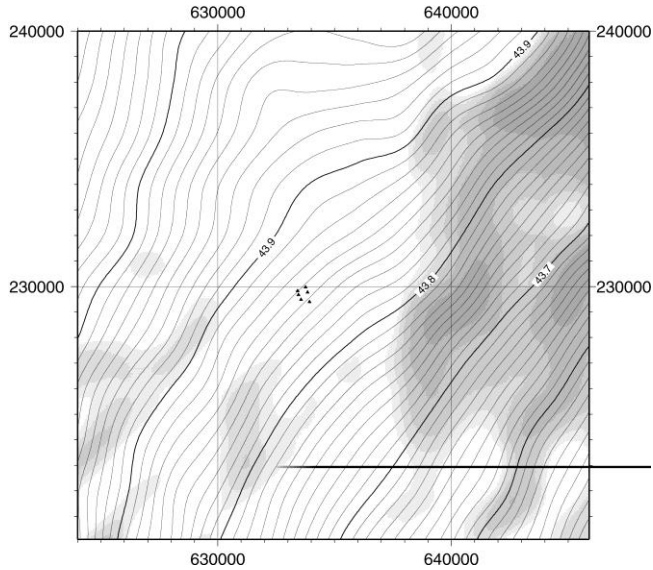
### Rendelkezésre álló adatok

A sóskúti teszterületen végzett geoidmeghatározáshoz az alábbi adatok álltak rendelkezésünkre.

Referencia modellként felhasználhattuk a Magyarország területére legújabban meghatározott gravimetriai geoidmegoldást (Tóth, Rózsa 2000), mely az ELGI-től (Eöt-vös Lóránd Geofizikai Intézet) kapott 1' × 1.5'-es Faye anomáliákon és az EGM96-os geopotenciál modellen alapult. (HGTUB2000 - FAY megoldás). Ennek a geoidmegoldásnak a vizsgált 22 × 20 km-es területre eső részét ábrázoltuk az 1.ábrán.

\*BME, Általános és Felsőgeodézia Tanszék, H-1521, Budapest, Műegyetem rkp. 1-3.

E-mail: [gtoth@geo.fgt.bme.hu](mailto:gtoth@geo.fgt.bme.hu)

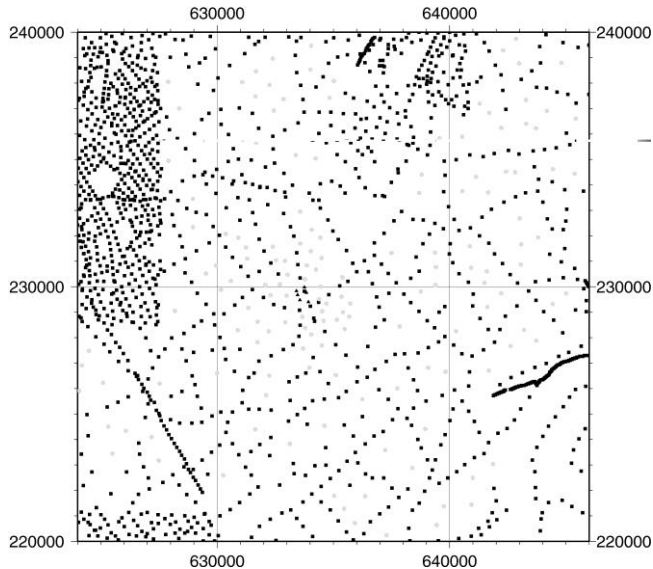


**1. ábra.** HGTUB2000 - FAY geoidmagasságok izovonalas ábrája a vizsgált területre (méterben).

Gravimetriai adataink a következők voltak:

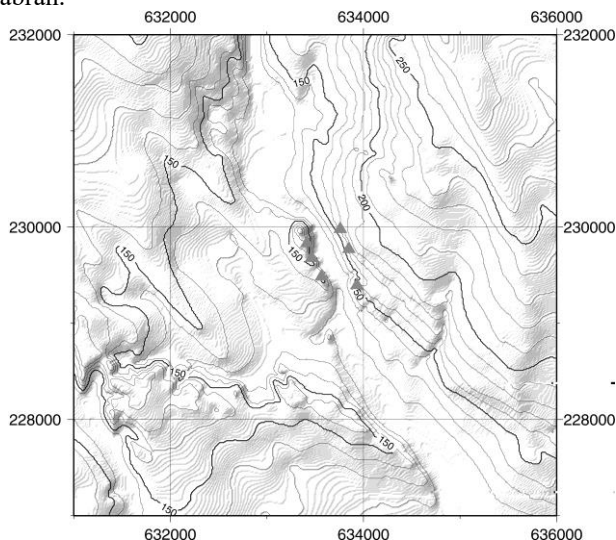
- Az ELGI adatbankjából a korábban már meghatározott 1459 db pontbeli szabadlevegő és Faye nehézségi rendellenesség
- Gravimetriai sűrítő mérésekkel újonnan meghatározott 151 pont nehézségi rendellenességei
- A sósikúti teszhálózat pontjaiban (6 pont) meghatározott  $g$  értékek

A pontbeli  $g$  értékek eloszlása a 2. ábrán látható.



**2. ábra.** 1616 pontbeli nehézségi rendellenesség eloszlása a vizsgált területre (szürke színnel a sűrítő mérések).

A számításokhoz rendelkezésünkre állt továbbá egy 10 m-es felbontású digitális terepmodell (DTM) is, amelyet az MH TÉHI bocsátott rendelkezésünkre egy 40 × 40 km-es területről. Ennek a terepmodellnek a hálózat közelébe eső 5 × 5 km-es részét ábrázoltuk a 3. ábrán.



3. ábra. A sóskúti digitális terepmodellnek a hálózat közelébe eső része.

A teljes DTM adatrendszer statisztikai jellemzői az 1. táblázatban láthatók.

1. táblázat. A sóskúti 10 m-es DTM statisztikai jellemzői (méterben).

	min	max	átlag	szórás
10 m-es DTM	85	558	168	± 72

### A megoldás menete

Mivel már rendelkezésünkre állt a területre egy korábbi geoidmegoldás, a számításához felhasznált adatokkal együtt (1' × 1.5'-es Faye anomáliák , 1km-es DTM), ezért megoldásunk során a nagyból a kicsi felé haladás elve szerint ennek a megoldásnak az új adatokkal számított korrekcióit (javításait) határoztuk meg. A számítás lépései az alábbi összefüggésekkel írhatók le:

$$N = N_m + dN_{dg} + \delta N_{\delta N_{ind}} \tag{1}$$

A teljes geoidmagasság úgy számítható, hogy az alapul felvett modell  $N_m$  geoidmagasságához hozzáadjuk a gravimetriai adatok korrekciójából származó részt, illetve az elmélet szerint számítandó indirekt hatás korrekcióját,  $\delta N_{\delta N_{ind}} = \delta N_{ind} - \delta N_{ind(m)}$ -et. Az alsó indexben található  $m$ , illetve  $(m)$  jelölés mindig az *alapmodell* által szolgáltatott értékre utal. Az (1) összefüggésben a  $dN_{dg}$  a Stokes integrálból számítható az alábbi összefüggés szerint:

$$dN_{dg} = \iint_{\text{Sóskút}} S(\psi) \cdot dgdf \tag{2}$$

ahol  $S(\psi)$  a Stokes-függvény és  $df$  a felületelem. Az integrálási határok a 4. ábrán láthatóak. A  $dg$  számításához elő kell állítanunk a terepi korrekciók különbségét ( $\delta g_{TC} - \delta g_{TC(m)}$ ) is:

$$dg = \Delta g - \Delta g_m + \delta g_{TC} - \delta g_{TC(m)}. \quad (3)$$

A Stokes-integrál megoldásához a Faye  $\Delta g$  különbségeket ( $\Delta g - \Delta g_m$ )  $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ -es rácsra interpoláltuk. Ezek eloszlását a 4. ábrán mutatjuk meg, illetve a statisztikai jellemzőiket a 2. táblázatban foglaltuk össze, a terepi korrekciók különbségeinek statisztikai jellemzőivel együtt. Végül az 5. ábrán a számított  $dN_{dg}$  geoidmagasság korrekciók eloszlását láthatjuk a teljes teszterületre. Az ábráról látható, hogy a hálózati pontokra  $+6 \text{ mm}$  körüli geoidmagasság korrekció adódott a felvett referencia modellhez képest.

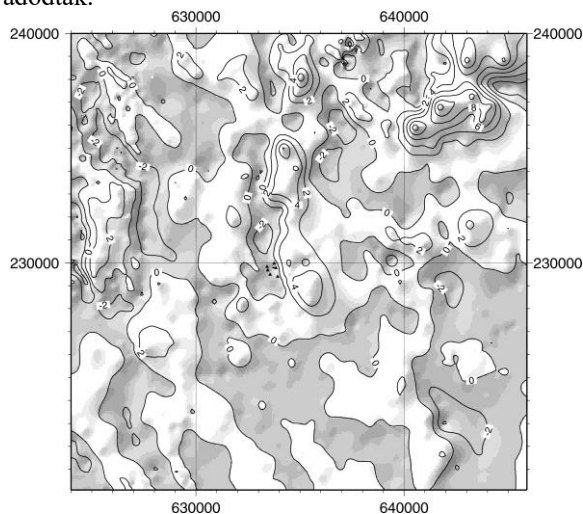
**2. táblázat.** A Faye rendellenességek és a terepi korrekciók különbségeinek statisztikai jellemzői (mGal).

	min	max	átlag	szórás
Faye rendellenesség	-4.82	13.08	0.33	$\pm 1.84$
Terepi korrekció különbsége	-0.29	3.14	0.13	$\pm 0.22$

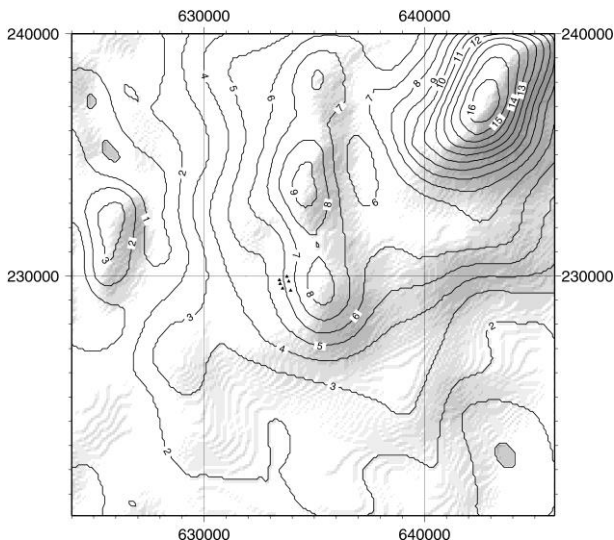
**3. táblázat.** A geoidmagasság korrekciók statisztikai jellemzői (milliméterben).

	min	max	átlag	szórás
Geoidmagasság különbségek	-0.1	16.9	4.1	$\pm 3.2$

A korrekciók statisztikai jellemzői, melyek a 3. táblázatban láthatók, azt mutatják, hogy átlagosan mindössze néhány mm-es változás adódott, de a maximum érték sem érte el a  $2 \text{ cm}$ -t. A gravimetriai geoidmodellezéssel tehát a hálózat pontjaiban a 4. táblázatban található értékek adódtak.



**4. ábra.** Faye nehézségi rendellenességek különbségei a választott referencia modell nehézségi rendellenességeihez képest,  $100 \text{ m}$ -es rácsra interpolálva. Izovonalköz:  $2 \text{ mGal}$ .



5. ábra. Geoidmagasság korrekciók eloszlása a vizsgált területre. Izovonalköz: 1 mm.

4. táblázat. Gravimetriai geoidmagasságok a sóskúti hálózat pontjaiban (méter).

Pontszám	1	2	3	4	5	6
Geoidmagasság	43.8654	43.8635	43.8595	43.8643	43.8610	43.8540

5. táblázat. Gravimetriai - GPS/szintezés: geoidundulációk eltérései (cm).

Pontszám/Év	1997	1998	1999	2000
1	14.7	16.5	16.1	16.4
2	13.8	15.4	14.9	15.1
3	12.3	12.7	12.9	13.8
4	9.3	9.3	9.3	9.3
5	7.0	9.0	7.8	7.4
6	5.8	6.7	5.7	6.1

### Összehasonlítás a GPS/szintezéssel

A gravimetriai úton meghatározott geoidunduláció értékek lehetőséget adtak arra, hogy ezeket összevessük a GPS-szel meghatározott ellipszoid feletti és a szintezéssel megmért tengerszint feletti magasságok különbségeivel a teszhálózat pontjaiban. Az összevetés eredményeként az 5. táblázatban található értékek adódtak az évenkénti GPS mérések vonatkozásában.

Az összevetés meglepő értékeket mutat. Ugyanis a táblázatból látszik az, hogy a hálózat K-i oldalán levő 1,2,3-as pont és a Ny-i oldalon levő 4,5,6-os pont között a GPS/szintezés igen erős K-Ny-i dőlést mutat. Számszerűen ez eléri a 2 cm/100 m-es, azaz 40"-es dőlést. Mivel ez közel 200 mGal-os oldalirányú gravitációs anomáliát jelentene, ezért igen valószínűtlen ennek az eltérésnek ily módon fizikai, gravitációs okkal történő magyarázata. Inkább arra gyanakszunk, hogy valamilyen módon a többutas terjedés (multipath) hamisította meg az eredményeket, ami a pillérek tetején elhelyezett

GPS antennák esetében előfordulhat. Ez a kérdés azonban még további vizsgálatokat igényel.

### **Következtetések és javaslatok**

Vizsgálataink megmutatták azt, hogy ha megfelelő gravitációs adatok és geoidmegoldás áll rendelkezésünkre, amit kiindulási alapként felhasználhatunk, akkor viszonylag egyszerű új méréseket felhasználva új geoidmegoldást meghatározunk az alapmegoldás korrekciójának számításával. A sósikúti teszhálózat területén ez néhány mm-es geoidunduláció változást okozott, a mikrohálózat pontjaiban.

Számításaink gyakorlati szempontból is illusztrálták méréseink külső ellenőrzésének szükségességét, különösen szélső pontosságra törekvés esetén. Ezért feltétlenül javasoljuk azt, hogy szélső pontossági igények esetén feltétlenül végezzünk más módon is magasságmeghatározást és ilymódon független meghatározással ellenőrizzük méréseinket. Ugyanis egy módszer belső pontossága helyett így képet nyerünk annak külső pontosságáról. Ez igaz bármely mérési technológia, így a GPS/szintezés esetében is. Ezért elmondhatjuk, hogy a lokális gravimetriai geoidmodellek jó független ellenőrzést adhatnak a szintezéssel együtt a GPS technológia (magassági összetevő) számára.

Mivel a hálózati pontokban vertikális gradiensmérések is történtek, ezért érdemes lenne gravimetriai adatokból ugyanezt kiszámítani és az eredményeket összehasonlítani. A következtetésekben foglaltak igazolásaként tervezzük a terepi függővonal-elhajlások közvetlen számítását is, hogy így ez a tényező ki legyen zárva, mint a talált K-Ny-i dőlés lehetséges magyarázata.

### **Köszönetnyilvánítás**

A szerzők számításaikat a 98-68 2.5 sz. AKP kutatási projekt keretében végezték.

### **Hivatkozások**

**Tóth Gy, Rózsa Sz** (2000): New Datasets and Techniques - an Improvement in the Hungarian Geoid Solution. Paper presented at Gravity, Geoid and Geodynamics Conference, Banff, Alberta, Canada July 31-Aug 4, 2000.

## SEKÉLY MÉLYSÉGŰ FŰRÓLYUK-DŐLÉSMÉRŐK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI LOKÁLIS GEODINAMIKAI JELENSÉGEK MONITOROZÁSÁRA

*Mentes Gyula\**

*Lokális geodinamikai jelenségek mérésére az MTA FKK Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézetben 1993-tól alkalmazzuk a sekély mélységű fűrőlyuk-dőlésmérőket. Kezdetben talajvízszint ingadozások és talajdölések kapcsolatát, valamint az épület- és talajmozgások közötti összefüggéseket vizsgáltuk velük. 1997-től a Mecsek-törésvonal mozgását monitorozzuk Applied Geomechanics Inc. gyártmányú, Model 722A típusú fűrőlyuk-dőlésmérőkkel. Ebben a tanulmányban egyrészt ismertetjük ezeket a műszereket és telepítésüket, másrészt bemutatjuk a kapott eredményeket, valamint rámutatunk azokra a zavaró hatásokra, amelyek a mérési eredmények értelmezését megnehezíthetik, ezért kiszűrésükről gondoskodni kell.*

### Bevezetés

Napjainkban a Föld népességének növekedésével együttjáró fokozódó energia-szükséglet, a fogyasztási igények egyre magasabb fokú kielégítésére irányuló törekvés egyrészt szükségszerűen oda vezetett, hogy egyre több olyan ipari objektum létesül, amelyek meghibásodásai súlyos környezeti katasztrófákat idézhetnek elő, másrészt pedig a termelés során keletkező veszélyes hulladékok megbízható, a környezetre veszélytelen elhelyezése jelent komoly problémákat. Mind a veszélyes ipari objektumok, mind pedig a hulladéktárolók helyének kijelölése, tervezése és üzemeltetése során szükség van az adott terület átfogó geodinamikai mozgásvizsgálatára.

A tektonikai, valamint a lokális mozgások többsége a jelenlegi geodéziai mérés-technikák felbontóképességénél kisebb, ezért csak hosszúidejű megfigyelésekkel mutathatók ki. A geodéziai mérések kampányszerűen, bizonyos időközönként való ismétlésekkel végezhetőek el. A jövőben ez alól kivételt fognak képezni a GPS technika és a videokamerákkal felszerelt robotteodolitok. Folyamatos mérés-technikákkal, mint pl. a dőlésmérők és az extenzométerek, a vizsgálandó mozgások nagyságrendjével azonos, vagy annál sokkal nagyobb felbontóképesség érhető el. E műszerek esetében azonban a lokális hatások (hőmérséklet, légnyomás, talajvízszint ingadozások, stb.) fedhetik el a vizsgálandó geodinamikai jelenségeket, amelyek a hosszúidejű (többéves) adatsorokból a lokális hatások korrekciójával megbízhatóan kimutathatók. A veszélyes létesítmények üzemeltetése során a lokális mozgások hirtelen megnövekedése csak folyamatos mérés-technikákkal mutatható ki. Ebben az esetben az időnkénti geodéziai mérések eredményei hozzájárulhatnak a lokális hatások kiszűréséhez, a dőlés ill. extenzométeres mérések eredményeinek interpretálásához.

Lokális geodinamikai mozgások kimutatására a kisebb installálási költségek miatt a sekélymélységű fűrőlyuk-dőlésmérők alkalmasabbak, mint az extenzométerek, amelyeket inkább a létesítmény deformációjának mérésére vagy a tektonikai lemezek belüli feszültségek megfigyelésére célszerűbb használni.

Ebben a tanulmányban a hazánkban meghonosított sekélymélységű fúróluk-dőlésmérési technikát mutatjuk be a Mecsek-törésvonalon végzett hároméves folyamatos mérés tapasztalatai alapján.

## **Az Applied Geomechanics Inc. Model 722A fúróluk-dőlésmérők felépítése és telepítése**

Az Applied Geomechanics Inc. Model 722A fúróluk-dőlésmérők érzékelője kétkomponensű folyadéklibella, amelynél a buborék elmozdulását ellenállásos mérőátalakító érzékeli. A folyadéklibella a hozzátartozó elektronikus egységgel együtt egy 0,85 m hosszú és 54 mm átmérőjű vízmentesen lezárt rozsdamentes acélsőben helyezkedik el. A műszerbe beépítettek egy 0,1 °C pontosságú hőmérőt is az érzékelő és a fúróluk hőmérsékletének mérésére. A hőmérséklet adatok felhasználhatók a műszerdrift által okozott hibák kiszűrésére. A dőlésmérő 8 m hosszú kábelének végén helyezkedik el a „switch box” csatlakozó egység, amelyhez az adatgyűjtő és a dőlésmérő tápfeszültségét biztosító +12 V-os és -12 V-os akkumulátorok csatlakoztathatók. A dőlésmérő két méréshatárral rendelkezik és az analóg kimenőjelet közvetlenül vagy egy szűrőn keresztül szolgáltatja. A dőlésmérő legfontosabb adatai:

Nagy érzékenységű „high gain” üzemmód:

Méréshatár:  $\pm 800 \mu\text{rad}$

Pontosság:  $\pm 0,1 \mu\text{rad} \cong \pm 0,02$  szögmásodperc

Skálátényező:  $0,1 \mu\text{rad/mV}$

Kis érzékenységű „low gain” üzemmód:

Méréshatár:  $\pm 2000 \mu\text{rad}$

Pontosság:  $\pm 1 \mu\text{rad} \cong \pm 0,2$  szögmásodperc

Skálátényező:  $1 \mu\text{rad/mV}$

Hőmérséklet kimenet:  $0,1 \text{ }^\circ\text{C/mV}$

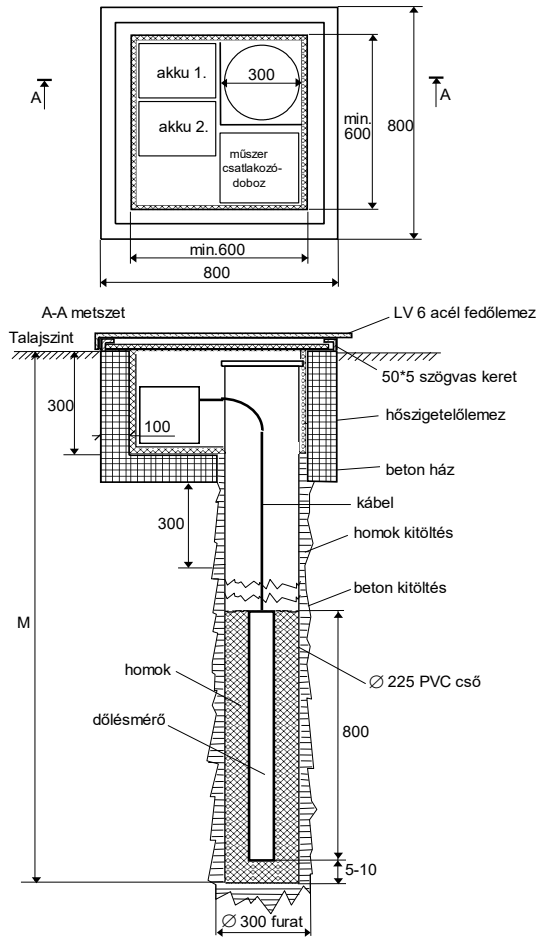
Tápfeszültség:  $\pm 12 \text{ V}$

Áramfelvétel: 11 mA (+12 V-ról) 6 mA (-12 V-ról)

Dőlésmérő méretei:  $\varnothing 54 \text{ mm} \times 850 \text{ mm}$

Működési hőmérséklettartomány:  $-25 \text{ }^\circ\text{C} - +70 \text{ }^\circ\text{C}$

A dőlésmérőt a jó hőmérsékletstabilitás érdekében - az 1. ábrán látható módon - 3-8 m mély 15-30 cm átmérőjű PVC csővel bélelt fúrólukban homokdöngöléssel kell rögzíteni. A PVC cső és a fúróluk (kőzet) közötti szoros kapcsolatot betonkiöntés biztosítja, amelyet a hővezetés csökkentése érdekében a felszín közelében homokfeltöltés helyettesít. Az adatgyűjtő, az akkumulátorok és a csatlakozóegység egy betonteknőben helyezkednek el, amely egy acéllemezrel lezárható. A belülről hungarocellel hőszigetelt betonteknő foglalja magába a fúróluk felső nyílását is.

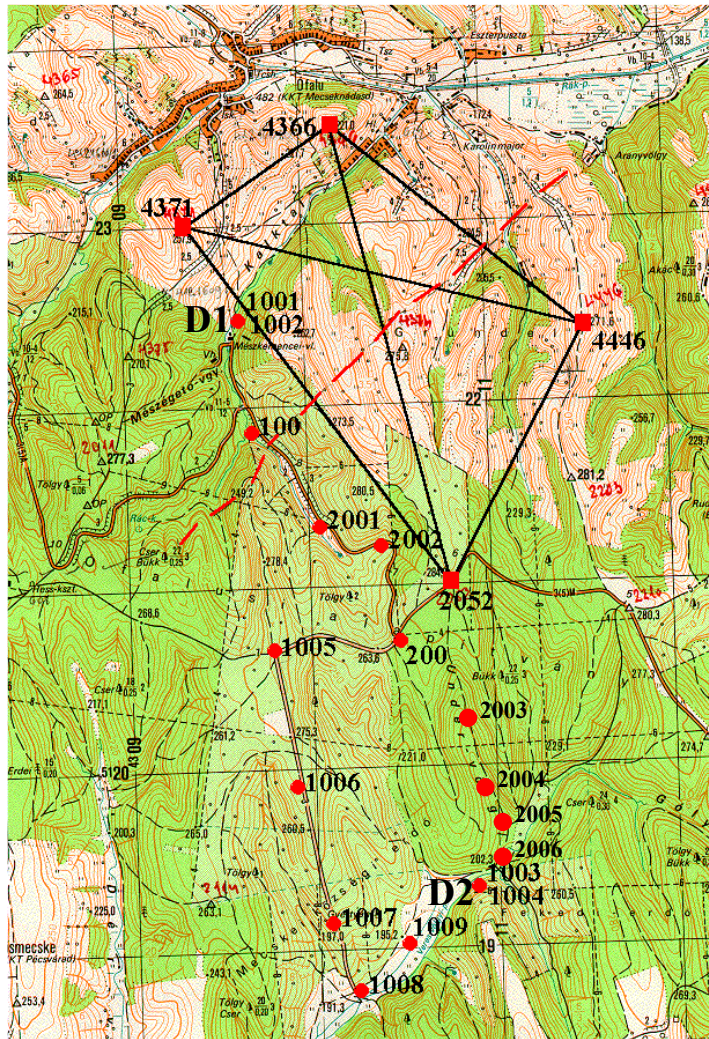


1. ábra. Az Applied Geomechanics Inc. Model 722A fúróluk-dőlésmérők installálása fúrólukban.

## A Mecsek-törésvonal mozgásának monitorozása fúróluk-dőlésmérőkkel

A dőlésmérőket 1997-ben helyeztük üzembe a Mecsek törésvonalon, Ófalu térségében és azóta folyamatosan üzemelnek. A törésvonal mozgásvizsgálatára két dőlésmérőt alkalmazunk. Mindkét dőlésmérő esetében a pozitív  $y$  irány az északi iránnyal egyezik meg. A 2. ábrán látható térképvázlaton a D1-gyel jelölt (északi) ponton 3,6 méter mélyen az alapkőzetben (mészkö), a D2-vel jelölt (déli) ponton 8 méter mélységben installáltunk egy-egy dőlésmérőt. Ez utóbbi helyen a fúróluk alsó, csak kb. 60 cm hosszú része érte el az alapkőzetet (gránit), ezért a fúróluk gyakorlatilag üledékben helyezkedik el. Emiatt ez a műszer sokkal érzékenyebb a lokális hatásokra, főleg a talajvízszint ingadozásokra, mint az északi ponton levő dőlésmérő. Mindkét mérőhelyen a két dőléskomponens és a fúróluk hőmérséklete mellett regisztráljuk a felszíni hőmérsékletet, valamint ezenkívül a déli ponton a talajvízszint változását. A dőlésmérési eredmények

értelmezéséhez az általunk mért adatokon kívül felhasználjuk a térségben rendelkezésre álló csapadék és talajvízszint mérési adatokat is.

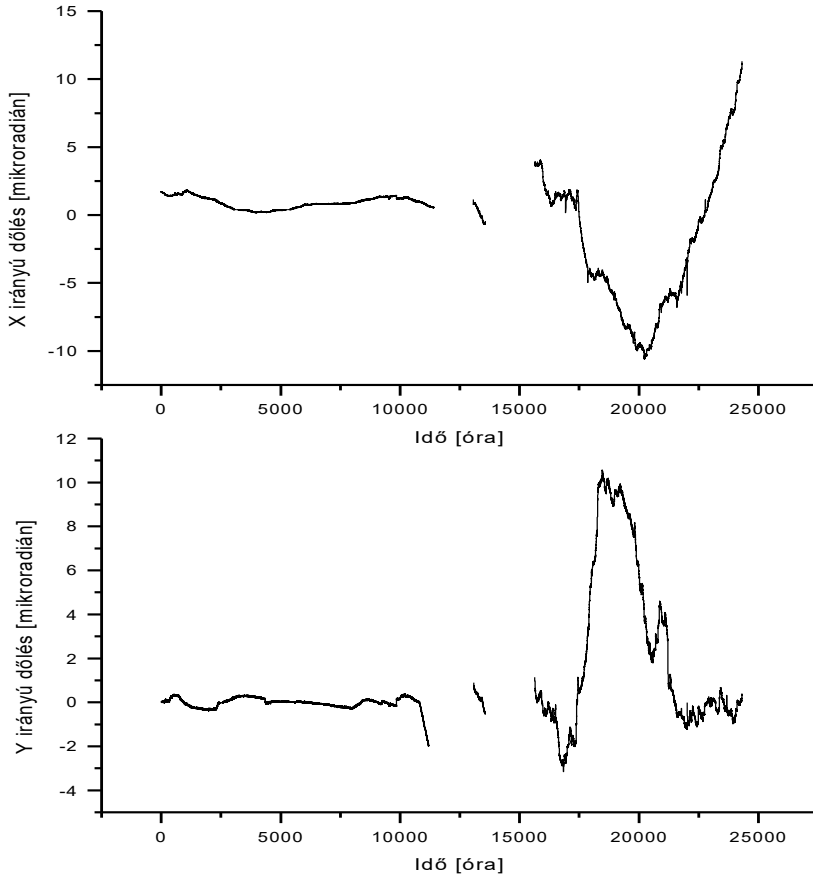


**2. ábra.** A Mecsek-törésvonal vizsgálatára kiépített geodéziai és dőlésmérő pontok térképázlata.

A két dőlésmérő pontot szintezési vonal köti össze, amelynek pontjait a 2. ábrán körök jelölik. A törésvonal vízszintes mozgásának mérésére négy, a térképen négyzettel jelölt mélyalaposzást pillért építettünk, amelyeken GPS méréseket végzünk, valamint a pillérek egymástól való távolságát elektronikus távmérőkkel mérjük. A geodéziai méréseket évente kétszer, tavasszal és ősszel végezzük. E mérések eredményei is jól használhatók a dőlésmérők működésének ellenőrzésére, a lokális hatások kiszűrésére és a mérési eredmények interpretálására. Ezért ez a komplex mérési hálózat a törésvonal megfigyelése mellett lehetővé teszi a sekély mélységű fúróluk-dőlésmérési technika, a kiértékelési eljárások és a mérési eredmények értelmezésének továbbfejlesztését is.

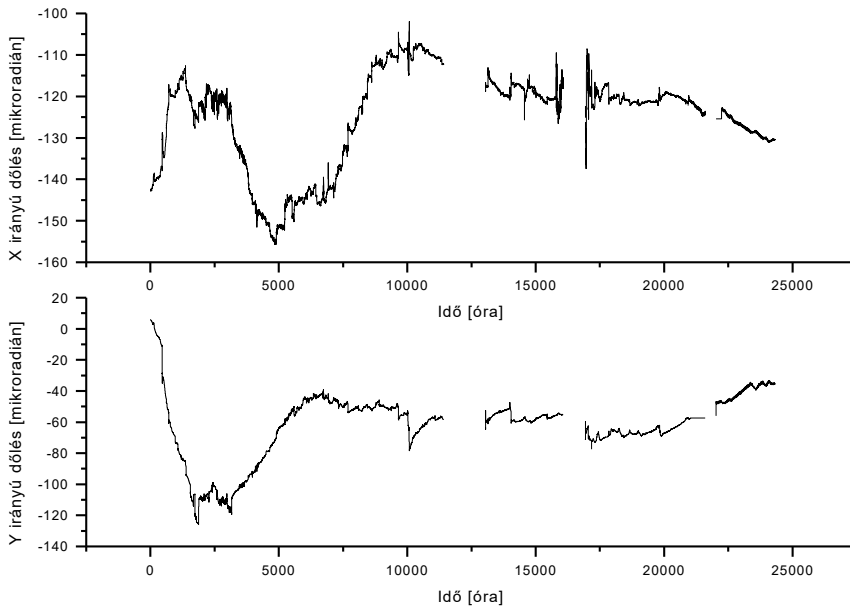
### A dőlésmérés eredményei

A dőlésmérők 1997. október 4.-től folyamatosan működnek. A 3. ábra az északi (D1), a 4. ábra a déli (D2) ponton óránként regisztrált nyers dőlésmérő adatokat mutatja 1998. január 1-től 2000. október 10-ig.



**3. ábra.** Az északi (D1) ponton óránként regisztrált nyers dőlésmérő adatok.

A nyers adatokat feltüntetető ábrákat tanulmányozva látható, hogy az északi D1 ponton, ahol a dőlésmérőt magába foglaló 3,6 m mély fúróluk teljes egészében az alapkőzetben helyezkedik el, a dőlésváltozás 10 mikroradiánon belül van, sőt 1998-ban gyakorlatilag nem regisztráltunk dőlést. Az 1999. évi májusi-júniusi nagy esőzések elárasztották a fúrólukat, ezért 1999. június 28-án a dőlésmérő nullpontját utándöngöléssel újra be kellett állítani. Ezt követően a műszer járása megnövekedett, amely a homok kiszáradása után valószínűleg le fog csökkenni. A műszer megnyugvása az Y komponensben már látható. Laboratóriumi mérésekkel igazoltuk, hogy a dőlésmérők vízzel elöntött fúrólukokban is működnek, a műszer és a kőzet közötti csatolás nem változik meg, azonban a vízszint változása nullpontvándorlást okoz. Az adatsorban látható szakadások az adatsorújtó meghibásodásának következményei.

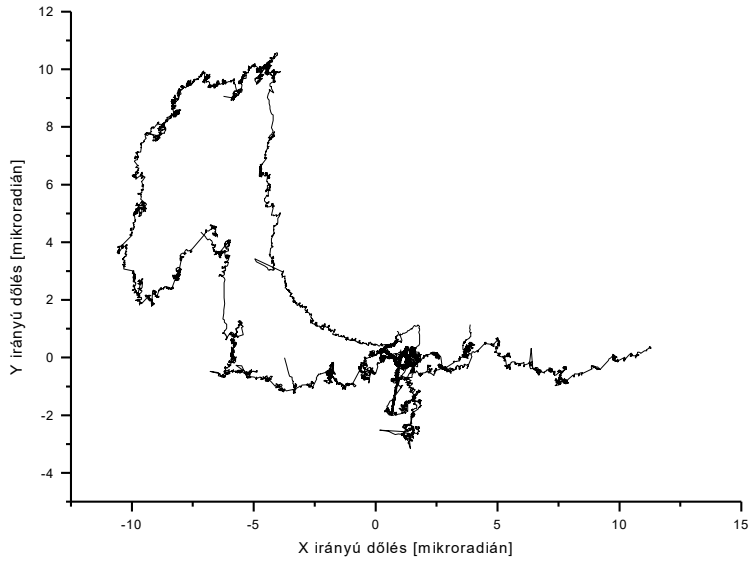


**4. ábra.** A déli (D2) ponton óránként regisztrált nyers dőlésmérő adatok.

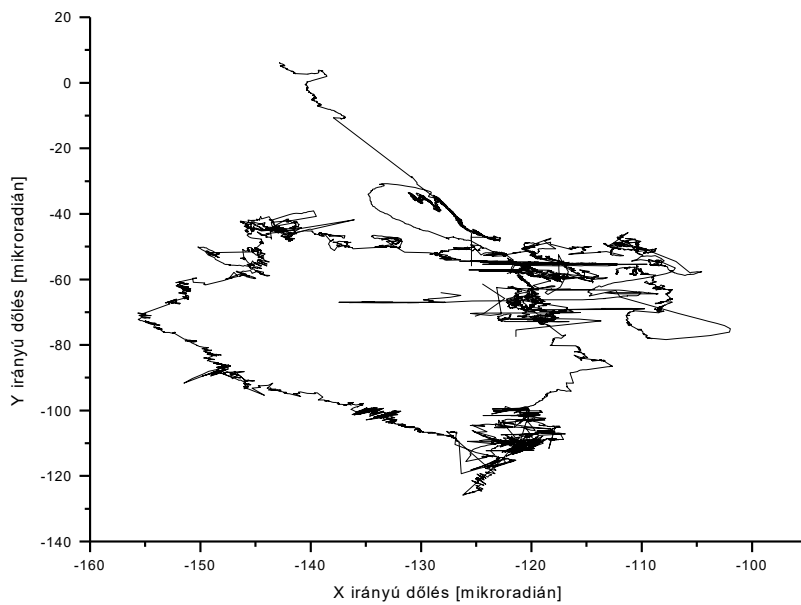
A déli (D2) ponton regisztrált adatok (4. ábra) nagyobb dőlés ingadozásokat mutatnak, mint amiket az északi ponton mértünk. Ez valószínűleg azzal van összefüggésben, hogy a 8 m mély fúróluk az üledékben helyezkedik el. Emiatt a műszer konszolidációja ezen a ponton sokkal hosszabb ideig, kb. 1998 májusáig tartott. Ezt követően a műszer járása lelassult. A déli ponton a nagyobb mozgások okának kiderítése céljából 1999. október 13-án installáltunk egy talajvízszint mérő műszert is. A műszerjárás és a talajvízszint ingadozása közötti kapcsolat vizsgálatához legalább egyéves adatsor szükséges. Az összefüggés matematikai vizsgálata folyamatban van.

A mért dőlésértékek az eddigi vizsgálataink szerint nincsenek korrelációban a felszíni és a csak igen kismértékben változó fúróluk hőmérsékletekkel.

A pontok dőlése jobban szemléltethető, ha az X irányú dölések függvényében ábrázoljuk az Y irányúakat (5. és 6. ábrák). Ha a görbe „körbe jár, és annak „középpontja” helyben marad, akkor nem tételzhető fel tektonikai mozgás. A zárt görbe átmérője a szezonális (meteorológiai), egyéb lokális hatások függvénye. A két görbéből jól látható, hogy az északi, alapkőzetben lévő műszer sokkal stabilabb, mint az üledékbe telepített.



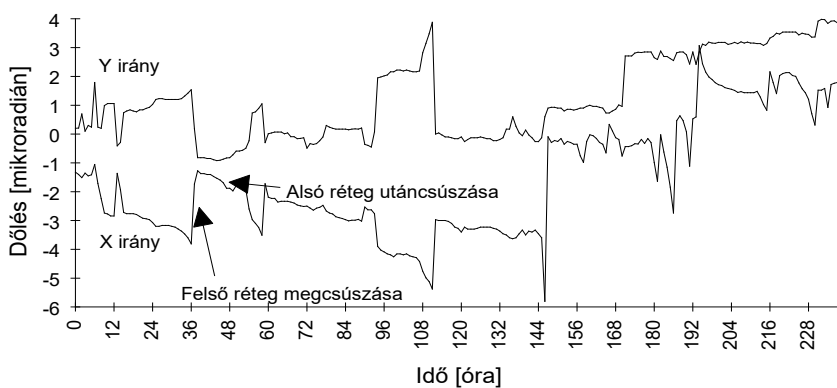
5. ábra. Az északi (D1) ponton mért dölések összetartozó X-Y értékei.



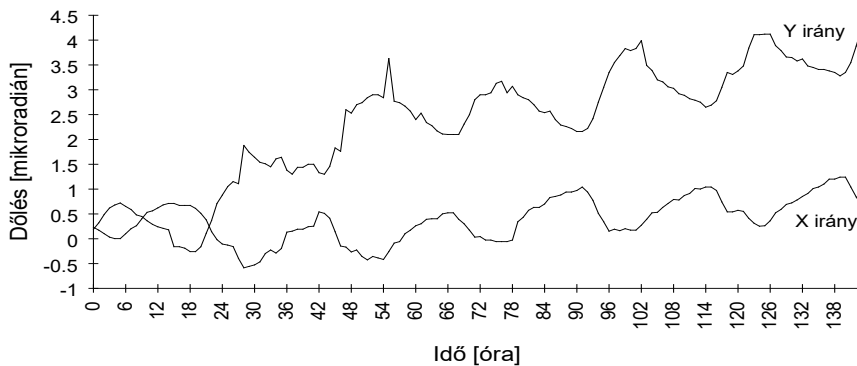
6. ábra. A déli (D2) ponton mért dölések összetartozó X-Y értékei.

A déli ponton, az üledékbe telepített műszer érzékeny a lejtőcsúszásokra. Itt a fúróluk egy domb lábánál helyezkedik el. Különösen nagyobb esőzések és főleg hóolvadások idején növekszik meg az igen kismértékű lejtőcsúszások száma, ami az adatsorok időbeli kinagyításával láthatóvá tehető. A 7. ábra a déli ponton 1998. 03. 24. és 1998. 04. 02. között regisztrált adatokat mutatja. Mindkét dőlés komponensen jól látható a lejtőcsúszások egy tipikus fajtája, amelynél először a felső réteg csúszik meg, megdönti a fúrólukat, majd az alsó réteg lassabban megcsúszva azt csaknem teljesen visszaállítja eredeti helyzetébe.

A lokális hatásokra egy másik példaként a 8. ábra a déli ponton 1998. 08. 11. és 1998. 08. 17. között mért adatokat mutatja kinagyítva. Az ábrán a fúróluk közvetlen közelében lévő erdő fái párologtatása miatt bekövetkező talajvízszint változása által okozott talajdőlés látható. A hullám periódusideje 24 óra. Az éjszakai órákban a fák párologtatása által előidézett dőlésváltozás nulla, napfelkelte után exponenciálisan növekszik, napnyugta után pedig exponenciálisan csökken nullára.

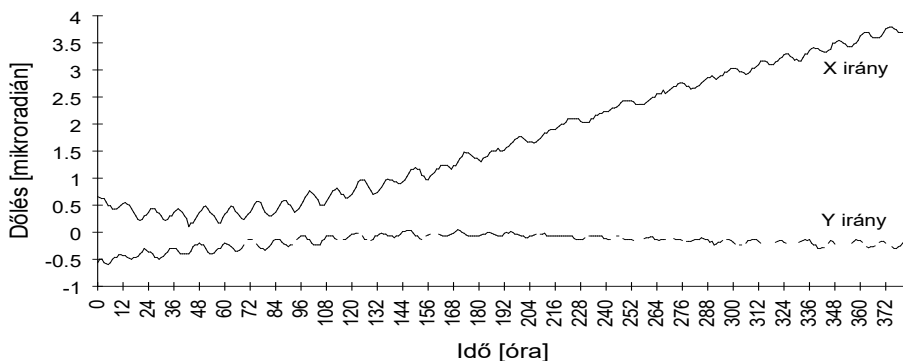


7. ábra. Lejtőcsúszásokat ábrázoló adatsor a déli ponton 1998. 03. 24. és 1998. 04. 02. között.



8. ábra. A fák párologtatása által okozott talajdőlés.

A dőlésmérők nagy érzékenységére és a vizsgált tektonikai mozgásokra szuperponált más geodinamikai jelenségekre példa az északi ponton regisztrált földi árapály, amelyet a 9. ábra mutat. Az alapkőzetbe telepített műszer stabilitása lehetővé teszi a földi árapály nagy amplitúdójú hullámainak regisztrálását is. A hullám periódusideje 12 óra (félnapos hullám). Az árapály hullámok megjelenése az adatsorban azt bizonyítja, hogy a műszer és a kőzet között szoros csatolás van.



9. ábra. Az északi (D1) ponton 1997. 10. 12. és 1997. 10. 28. között regisztrált árapály.

## Összefoglalás

A bemutatott mérési eredményekből jól látható, hogy egy adott mérési ponton a különböző geodinamikai jelenségek együttesen jelentkeznek. Ezekből, valamint az egyéb lokális zavaró hatásokból, mint pl. a meteorológiai paraméterek (hőmérséklet, légnyomás, csapadék) változása, talajvízszint ingadozása, stb. által okozott talajmozgásokból, műszerjárásokból a vizsgálandó geodinamikai jelenség az adatok gondos tanulmányozásával, feldolgozásával kimutatható. Az eddigi mérési eredmények azt is mutatják, hogy a hosszúperiódusú geodinamikai folyamatok, mint pl. a tektonikai mozgások csak hosszú adatsorokból mutathatók ki megbízhatóan.

Az eddigi dőlésmérési adatok alapján nem mondható ki, hogy a törésvonal mozog. Ezt támasztják alá a kampányszerűen végzett geodéziai mérések is. Ezekben az adatokban is kimutathatók szezonális változások, de ezek trendje a mérési pontosságon belül van. Ezért még további, több éves mérési adatsorokra van szükség.

## Köszönetnyilvánítás

Ez a tanulmány az OTKA T 031713 számú kutatási szerződés alapján, valamint a magyar-osztrák kormányközi tudományos és technológiai együttműködés keretében az A-2/99 számú szerződés alapján az OM Kutatási-Fejlesztési Helyettes Államtitkárság és külföldi szerződéses partnere, Bundesministerium für Auswärtige Angelegenheiten támogatásával jött létre. A szerző ezúton mond köszönetet Heribert Kahmen professzornak a mérés technikai problémák megoldásában, az együttműködés keretében nyújtott segítségért.

## EÖTVÖS-INGA MÉRÉSI ADATOK ÉS GEODÉZIAI ALKALMAZÁSUK

*Tóth Gyula\**

*Az Eötvös-inga mérések geodéziai célú felhasználását vizsgáljuk a tanulmányban. Ennek egy gyakorlati példaként nehézségi rendellenességeket állítottunk elő két magyarországi mintaterületre a legkisebb négyzetek szerinti kollokációval. Az eredményeket összevetve a rácsra interpolált nehézségi rendellenességekkel  $\pm 1-1.7$  mGal lett az eltérések szórása, ami igazolja a gradiensmérések gyakorlati geodéziai felhasználhatóságát.*

### **Bevezetés**

Napjainkban ismét előtérbe került a földi nehézségi erőter gradienseinek mérése. Ezeket elsősorban mobil hordozókra (légi, tengeri és űr eszközökre) telepítve kívánják megvalósítani (Bell et al. 1997, Pawlowski 1998). Kétségtelen előny a gradiensmérések viszonylagos érzéketlensége a hordozó eszköz kicsiny gyorsulásaira, amely például a légi gravimetria esetében az egyik fő problémát jelenti. Azonkívül az űrbe telepített gradiensmérő eszközök esetében (pl. GOCE) esetében a mérendő gravitációs jel rövidhullámú összetevői szintjének exponenciális csökkenését kedvezően ellensúlyozza a kétszeres deriválásból eredő viszonylagos erősítés ezeken a hullámhosszakon (Rummel et al. 1993).

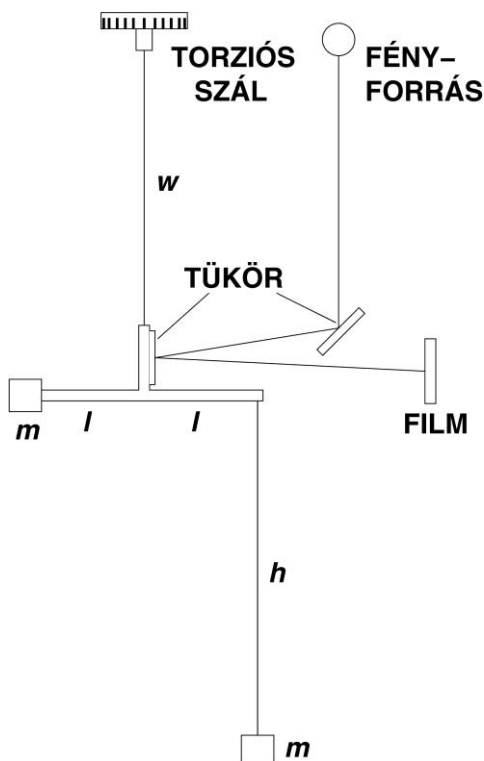
Ugyanakkor nem szabad elfelejtkeznünk arról a tényről, hogy Eötvös Lóránd munkássága nyomán a gradiometriát először földi mérések esetében alkalmazták nagy sikerrel a híres Eötvös-féle torziós inga segítségével. Magyarország e tekintetben igen kedvező helyzetben van, hiszen az idők során nagy mennyiségű mérési anyag gyűlt össze. Már Eötvös idejében ezeket a méréseket a nyersanyagkutatáson kívül geodéziai célra is hasznosították (Homoródi 1966). Jelen tanulmányban szeretnénk rámutatni ezen mérési anyag geodéziai célú hasznosításának lehetőségeire, tekintetbe véve a korszerű számítástechnikai lehetőségeken túl a geodéziai peremértékfeladat megoldásában elért legújabb elméleti eredményeket is.

Legelőször röviden bemutatjuk az Eötvös-inga mérési elvét és alkalmazásának rövid történetét. Azután szót ejtünk a Magyarországon végzett ingamérésekről, kiemelve azokat, amelyek az ELGI adatbankjában már elektronikus formában is rögzítve lettek. Ezután bemutatjuk ezeknek a méréseknek a felhasználási lehetőségeit a geodéziai peremértékfeladat megoldásában. Végül konkrét gyakorlati számítás keretében bemutatjuk azt, hogyan alkalmazható a kollokáció módszere nehézségi rendellenesség értékek predikciójára az Eötvös-ingával meghatározott gradiens értékekből.

\*BME, Általános- és Felsőgeodézia Tanszék, H-1521, Budapest, Műegyetem rkp. 1-3..

E-mail: [gtoth@geo.fgt.bme.hu](mailto:gtoth@geo.fgt.bme.hu)

## Az Eötvös-inga mérési elve és az ingával végzett mérések rövid története



1. ábra.

Az Eötvös-inga mérési elve

Az Eötvös-inga mérési elvét az 1. ábrán szemléltetjük. Az Eötvös által görbületi és nehézségi variométernek nevezett eszközben a nehézségi erőter változásából az  $m$  tömegekre olyan erő hat, amely forgatónyomatékokat gyakorol a vízszintes  $2l$  hosszúságú lengő karra. Ezzel a forgatónyomatékkal a  $w$  torziós szál csavarási nyomatéka tart egyensúlyt és a megfelelő szögelfordulás leolvasható illetve filmen rögzíthető a fotografikus regisztrálású ingáknál.

Az inga eredeti alakjában minden mérést 5 azimutban kellett elvégezni, hogy így a megfelelő 5 ismeretlen számítható legyen. Később a műszer továbbfejlesztett alakjában két, egymással szembe fordított ingát helyeztek el, amikor is elegendő volt 3 azimutban mérni, hogy a megfelelő 6 ismeretlen számítható legyen (kettős ingák). Megemlítjük azt is, hogy újabban Dorobantu (1999) vizsgálatokat végzett a Münchener Műszaki Egyetemen abból a célból, hogy automatikus elektronikus regisztrálással lássa el a torziós ingát.

Az ingával végzett első méréseket maga Eötvös vezette, először a Gellért-hegy tövében (1889), azután a Celldömölk

mölk melletti Sághegyen (1891), majd a Balaton jegén (1901-1903 telein). Ekkor bebizonyosodott, hogy a mért gradiensek összhangban vannak a tó mélységmérésének adataival. Az első sikeres gyakorlati célú kutatások után, melyekre 1916-ban a Morvamezőn, Egbell (Gbely) környékén került sor, megkezdődött az inga kiterjedt alkalmazása geológiai szerkezetek kutatására Németország, Magyarország és Csehország területén. Az USA-ban 1924-ben történt az első szénhidrogén telep felfedezése az ingával (Nash Dome).

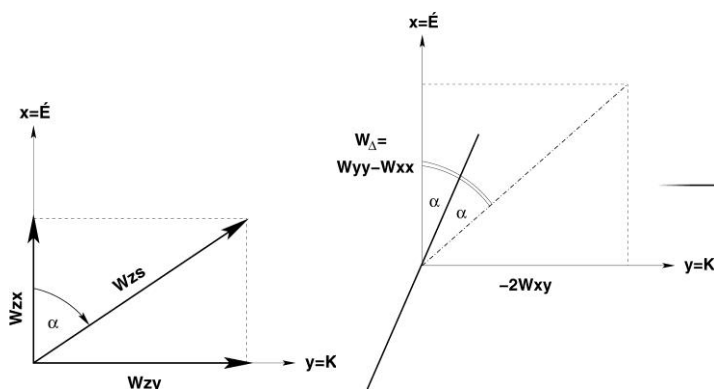
A modern asztatizált rugós graviméterek elterjedése az 1930-as évek végére az Egyesült Államokban teljesen kiszorította az Eötvös-ingával végzett terepi méréseket. Ennek oka nemcsak az ingával végzett mérések nehézsége volt (a terepi hatás számításához a mérési pont környezetét 8 irányban igen gondosan be kellett szintezni), hanem a mért gradiensek és görbületi értékek értelmezése sem volt olyan egyszerű, mint a graviméteres mérések esetében. Ez annyira igaz volt, hogy az ingával mért görbületi értékeket nem is használták fel nyersanyag-kutatási célokra, csak a gradiens értékeket. Az Eötvös-inga alkalmazása Európában még hosszabb ideig megmaradt, így például Magyarországon még az 1950-es években is folytak mérések az ingával.

## Az Eötvös-inga mérések eredménye és a magyarországi mérések

Az ingamérésekből minden mért ponton meghatározható a nehézségi erőter ún.  $\mathbf{W}$  gradienstenzorának (Eötvös v. Marussi-tenzor) a külső térben 5 független eleme közül három, illetve két másik elem különbsége, tehát összesen 4 adata. Ha

$$\mathbf{W} = \text{grad } g = \begin{bmatrix} W_{xx} & W_{xy} & W_{xz} \\ W_{xy} & W_{yy} & W_{yz} \\ W_{xz} & W_{yz} & W_{zz} \end{bmatrix} \text{-vel}$$

jelöljük az Eötvös-tenzor elemeit, akkor ezek közül az ingával mérhető  $W_{zx}$ ,  $W_{zy}$ , illetve  $W_{\Delta} = W_{yy} - W_{xx}$ . Szokásos ezek közül az első kettőt ( $W_{zx}$ ,  $W_{zy}$ ) gradiens értékek, a másik kettőt ( $W_{xy}$  illetve  $W_{\Delta}$ ) pedig görbületi értékek nevezni, mivel  $W_{zx} = g_x$ ,  $W_{zy} = g_y$  a nehézségi térerősség vektorának vízszintes irányú gradiensvektora összetevői, illetve  $W_{xy}$  és  $W_{\Delta}$  pedig a szintfelület görbületével állnak kapcsolatban.



2. ábra. Gradiens és görbületi értékek.

Hagyományosan a gradiens értékeket vektorokkal, a görbületi értékeket pedig vonalszakaszokkal ábrázolhatjuk a 2. ábra szerint. A gradiens értékek esetén a

$$\tan \alpha = \frac{W_{zy}}{W_{zx}}, \quad W_{zs} = \sqrt{W_{zx}^2 + W_{zy}^2}$$

összefüggésekből számíthatjuk a vektorok azimutját ill. hosszát, és ez a  $\kappa = W_{zs} / g$  összefüggés szerint kapcsolatban van a függővonal  $\kappa$  görbületével.

A görbületi értékekből számítható a szintfelület főgörbületi értékeinek a különbsége a

$$R = g \left( \frac{1}{r_{\min}} - \frac{1}{r_{\max}} \right) = \sqrt{W_{\Delta}^2 + (2W_{xy})^2}$$

kifejezés szerint, illetve a legnagyobb görbület irányának azimutja a

$$\tan 2\alpha = -\frac{2W_{xy}}{W_{\Delta}}$$

egyenletből. Ezt is ábrázolhatjuk térképen  $\alpha$  azimutú,  $R$  hosszúságú vonaldarabként.

A hazánkban végzett Eötvös-inga mérések eredeti jegyzőkönyveit az Eötvös Lóránd Geofizikai Intézetben (ELGI) tárolják és maga a mérési anyag korábban eléggé mostoha bánásmódban részesült, ennek tulajdonítható az, hogy bizonyos mérési anyagok mára már pótolhatatlanul elvesztek. A BME és az ELGI közötti tudományos együttműködés keretében 1995-2000 között elektronikus formában rögzítettek és átadtak 11795 pontbeli gradiens és görbületi értéket. Ezek jórészt az ország középső területét fedik le és a mérési pontok eloszlása a 3. ábrán látható. Ugyanezen az ábrán bejelöltük azt a két választott teszt területet is (a nagyobbik terület, az 'A' terület síkvidék jellegű, a kisebbik 'B' jelzésű terület dombos topográfiájú vidék) ahol részletesebb vizsgálatokat és számításokat végeztünk, melyre a továbbiakban még kitérünk.

Megvizsgáltuk az említett két területre nézve az adatainkat, melyek között szerepeltek maguk a mért gradiens és görbületi értékek, valamint a számított topográfiai hatás is. Ezek fontosabb statisztikai jellemzői az 1. táblázatban találhatók.

**1. táblázat.** Gradiens és görbületi értékek statisztikai jellemzői az A és B területekre (adatok száma: 752 ill 691; Eötvös egységben,  $1\text{E.U.}=10^{-9}\text{s}^{-2}$ ), topográfiai értékek, valamint a kettő lineáris korrelációs együtthatói.

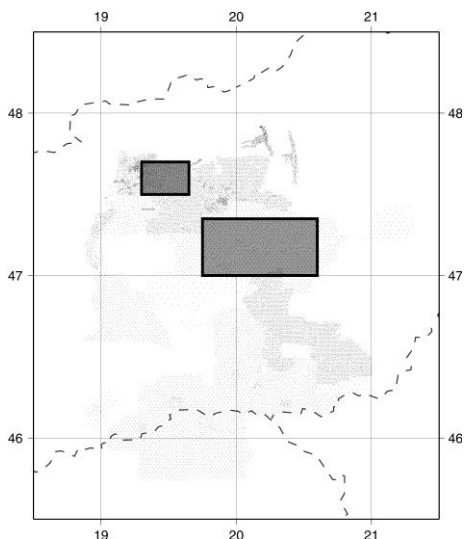
A terület	$W_{xz}$	$W_{yz}$	$2W_{xy}$	$W_{\Delta}$	$txz$	$tyz$	$2txy$	$t_{\Delta}$
min.	-16.3	-22.9	-29.1	-43.2	-10.3	-11.4	-36.7	-28.2
max.	42.5	27.6	32.3	33.7	8.5	13.3	22.4	16.2
átlag	8.5	0.6	4.3	0.5	0.0	-0.3	0.2	-0.1
szórás	$\pm 6.9$	$\pm 6.4$	$\pm 8.2$	$\pm 10.0$	$\pm 2.3$	$\pm 2.6$	$\pm 5.0$	$\pm 4.8$
lin.korr.eh	0.300	0.419	0.488	0.455				
B terület	$W_{xz}$	$W_{yz}$	$2W_{xy}$	$W_{\Delta}$	$txz$	$tyz$	$2txy$	$T_{\Delta}$
min.	-38.4	-65.8	-175.3	-324.3	-42.3	-38.4	-167.9	-292.6
max.	75.9	67.4	299.7	216.0	35.1	38.9	257.7	163.1
átlag	13.1	-8.6	2.1	-7.8	1.5	-2.4	-1.4	-5.5
szórás	$\pm 15.1$	$\pm 17.3$	$\pm 51.6$	$\pm 65.9$	$\pm 7.9$	$\pm 8.4$	$\pm 44.6$	$\pm 56.4$
lin.korr.eh	0.649	0.708	0.927	0.918				

A táblázatot vizsgálva szembevető a B területre nézve az igen magas korreláció, ami a mért gradiens és különösen a görbületi értékek esetében adódik a topográfiai tömegekkel. Ez azt jelenti, hogy ezek a mérések valóban igen érzékenyek a közeli topográfiai tömegekre, és ezeket a geodéziai célú alkalmazásoknál is figyelembe kell venni.

### Az ingamérések geodéziai felhasználásának lehetőségei

Az Eötvös-ingával végzett méréseket már korábban is felhasználták geodéziai célra és ezek alapját a különböző vonalintegrálok képezték, melyeket a gradiens és görbületi értékekkel fel lehetett írni a nehézségi rendellenességek illetve a függővonal elhajlás összetevők különbségére két pont között. Így lehetővé vált hálózatban, ismert értékekkel rendelkező pontok segítségével az összes hálózati pontra interpolálni nehézségi rendellenesség értékeit illetve függővonal-elhajlásokat (Völgyesi 1998).

Nagy elméleti előrelépés is történt a geodéziai peremértékfeladat megoldásában, mely van Gelderen és Rummel (2000) nevéhez fűződik. Nekik ugyanis először sikerült levezetni azokat a kombinációkat, melyekkel az Eötvös-tenzor elemei felhasználhatóak a peremértékfeladat megoldására és megadták azokat a magfüggvényeket is, amelyekkel felületi integrálok írhatóak fel a probléma matematikai megoldására, hasonlóan a Stokes-féle integrálhoz, mely nehézségi rendellenességek esetén adja meg a felületi integrál konkrét alakját és az alkalmazandó magfüggvényt. Ezen összefüggések segítségével az Eötvös-inga mérésekből alkotott  $\{W_{xz}, W_{yz}\}$  és  $\{2W_{xy}, W_{\Delta}\}$  kombinációk peremértékeként használhatóak a külső nehézségi erőter (például a potenciálzavar) meghatározására. Ezeknek az integráloknak a gyakorlati számításban való felhasználása még teljesen nyitott kutatási terület.



**3. ábra.** Eötvös-inga mérési adatok eloszlása. Felül a 'B', középen az 'A' jelű terület látható bekeretezve.

Hagyományos matematikai módszer a fizikai geodéziában a legkisebb négyzetek szerinti kollokáció (Tscherning 1994), mely módszer előnye az, hogy segítségével tetszőleges, a nehézségi erőterre vonatkozó mérés egyetlen meghatározásban összekapcsolható, így az Eötvös-inga mérések is. Az is előny, hogy egyetlen számítási eljárásban előállítható a nehézségi erőter bármely kívánt paramétere. A szakirodalomban ennek a módszernek az alkalmazására is találunk példát a GGSS gradiens adatainak (lásd Jekeli 1993) feldolgozása kapcsán (Arabelos és Tziavos 1992; Arabelos és Tscherning 1999). Ismert gyakorlati hátránya ennek a módszernek, hogy a mért pontok száma a néhány ezret nem nagyon haladhatja meg a kollokáció során invertálandó egyenletrendszer mérete miatt.

Ezt a módszert választottuk mi is a célból, hogy nehézségi rendellenességeket határozzunk meg az Eötvös-ingával mért gradiens ( $W_{xz}$ ,  $W_{yz}$ ) értékek segítségével.

### Nehézségi rendellenességek predikciója LKN kollokációval

Azért választottuk éppen a nehézségi rendellenességek predikcióját a nehézségi erőter paramétereinek közül, mert egyrészt ez számos geodéziai és geofizikai célú alkalmazás számára jó kiindulási értéként szolgálhat (geoidmeghatározás, erőter interpretáció, inverz probléma), másrészt mivel a kiválasztott teszt területekre rendelkezünk rácsra interpolált Faye nehézségi rendellenességekkel, melyeket az ELGI bocsátott rendelkezésünkre, és ez megfelelő ellenőrzést szolgáltatott a számításainkhoz. Tesztszámításainkban egyelőre csak a gradiens értékekkel foglalkoztunk, bár a görbüeti értékek felhasználása sem okoz gondot a kollokáció módszere számára, sőt akár együttes felhasználásuk is egyszerűen megoldható.

A nehézségi erőter kollokációval való modellezése esetén az első lépés az adatokból eltávolítani minden lehetséges trendet, hogy az így kapott maradék értékek már lehetőleg sima lefutásúak és jól interpretálhatók legyenek. E célból eltávolítottuk a gra-

diens értékekből az ún. normális hatást (Völgyesi 1982), az EGM96 geopotenciál modellből számolt hosszabb hullámú gradiens összetevőket (360 fokszámig bezárólag), valamint az előzőekben említett topografikus hatást.

A módszer alkalmazásához ezeket a redukált gradiens ( $W_{xz}$ ,  $W_{yz}$ ) adatokat felhasználva először is háromféle trend modell alkalmazásával tapasztalati (empirikus) kovariancia függvényeket kellett meghatározni. A három trend modell a következő volt:

- Egyszerű konstans eltolás
- Lineáris trend függvény
- Négyzetes trend függvény

A kapott empirikus kovariancia függvényekhez ezután analitikus kovariancia modellt kellett illeszteni, mely minden esetben iterációs kiegyenlítéssel határozta meg a Tscherning és Rapp szerinti 2-es típusú kovariancia modell paramétereit, a nevezőben  $B=4$ -es értéket felvéve (Tscherning 1994, 19-es egyenletét).

Az utolsó lépésben elkészítettük a Tscherning által írt GEOCOL program számára a vezérlő állományt, mely a tulajdonképpeni kollokáció lépésének elvégzésére szolgáló Fortran program számára leírja a szükséges paramétereket és állományokat. Ezzel megkaptuk a teszt területeinkre a különböző trend modellek választása esetén a predikált nehézségi rendellenességeket, melyek nem tartalmazzák a geopotenciális modell és a topográfia hatását.

Ezeket az eredményeket ezután összehasonlítottuk azokkal az ELGI által készített és részünkre átadott  $1' \times 1.5'$ -es rácsra interpolált Faye maradék anomáliákkal, melyekből az EGM96-os geopotenciális modell hatása szintén el lett távolítva. A különbségek statisztikai jellemzőit a két teszt területre, lineáris és négyzetes trend modell esetére a 2. táblázatban foglaltuk össze.

**2. táblázat.** Gravimetriai és  $W_{xz}$ ,  $W_{yz}$  gradiensékből predikcióval számított maradék Faye nehézségi rendellenességek eltéréseinek statisztikai jellemzői az A és B területekre (mGal egységben). T2 a lineáris, T3 a négyzetes trend modellt jelenti illetve F arra utal, hogy a maradék rendellenességekből egy illeszkedő kiegyenlítő sík lett levonva.

	A-T2	A-T2-F	A-T3	A-T3-F	B-T2	B-T2-F	B-T3	B-T3-F
min.	-2.52	-4.00	-2.14	-4.54	-11.95	-3.37	-12.99	-3.61
max.	3.66	2.21	4.77	2.09	3.31	4.08	1.50	4.95
átlag	1.30	0.00	1.38	0.00	-5.31	0.00	-6.07	0.00
szórás	$\pm 1.10$	$\pm 1.02$	$\pm 1.36$	$\pm 1.05$	$\pm 3.96$	$\pm 1.67$	$\pm 3.82$	$\pm 1.77$

A táblázat adataiból jól látszik az, hogy az eltérések szórása általában kedvezőbben alakul a lineáris trend modell figyelembe vétele esetén, valamint az eredmények kedvezőbbek a sík terület esetében, ami várható is volt. Igen alacsonynak mondható a sík terület esetében az eltérések  $\pm 1$  mGal körüli szórása, figyelembe véve azt, hogy Papp(1993) vizsgálatai szerint hasonló értékekre számíthatunk akkor, ha a nehézségi rendellenességeket magukból a nehézségi rendellenességekből állítjuk elő predikcióval.

A kapott eredmények összhangban vannak Völgyesi (1998) vizsgálataival is, aki függővonal-elhajlások ellenőrzése után  $\pm 0.60''$ - $0.65''$ -es eltéréseket kapott az ellenőrző pontokon, míg Tóth et al.(2000) vizsgálatai szerint a gravimetriai úton számított függővonal elhajlások és a mért értékek eltéréseinek szórása ugyancsak  $\pm 0.5''$ - $0.6''$  körüli. Ez is azt mutatja, hogy az Eötvös-inga mérések megfelelő feldolgozás után éppen olyan jól használhatók az erőtér leírására, mint a nehézségi rendellenességek.

## Következtetések és kitekintés

Vizsgálataink két teszt területen megmutatták, hogy a magyarországi Eötvös-inga gradienstérképek jól használhatók a nehézségi erőter meghatározására. Ez azt jelenti, hogy az ingamérések előnyösen kombinálhatók a nehézségi rendellenességekkel abból a célból, hogy még megbízhatóbb erőter meghatározást tudjunk végezni. Ugyanakkor ezek a gradiens és görbületi értékek önmagukban is felhasználhatóak lesznek a geodéziai peremértékfeladat megoldására, tekintetbe véve azt, hogy az adatok nagy száma miatt a kollokáció módszerének alkalmazása numerikus nehézségekbe ütközik. Így javasoljuk a kollokáció mellett más módszerek alkalmazásának megfontolását is (például a gyors Fourier-transzformáción alapuló numerikus integrálási módszereket).

További vizsgálatokat igényel a gradiens értékek mellett a görbületi értékek felhasználása is, hiszen pl. Arabelos és Tziavos (1992) vizsgálatai szerint ez némiképpen javította a megoldást. Tervezzük továbbá eredményeink összevetését a vonalintegrálokkal számított megoldásokkal.

Elmondhatjuk azt, hogy Magyarország valóban igen kedvező helyzetben van a földi gradiometriai szempontjából és kár lenne veszni hagyni azt az igen értékes mérési anyagot, amit gondos mérések során (bár nyersanyag-kutatási céllal) elődeink összegyűjtöttek. Tanulmányunkban szerettünk volna rámutatni arra, hogy e kivételes mérési adatok mind tudományos, mind gyakorlati célú felhasználása gyümölcsöző eredményeket hozhat még a jövőben a geodézia számára.

## Köszönetnyilvánítás

A szerző megköszöni mind az Országos Tudományos Kutatási Alapnak (T030177), mind a Magyar Tudományos Akadémia Fizikai Geodézia és Geodinamika elnevezésű kutatócsoportjának a támogatását, melyet e tanulmányban ismertetett kutatásaihoz nyújtott.

## Hivatkozások

- Arabelos D, Tscherning CC** (1999): Gravity Field Recovery from Airborne Gradiometer Data Using Collocation and Taking into Account Correlated Errors. *Phys.Chem.Earth(A)*, Vol 24, No 1, pp 19-25.
- Arabelos D, Tziavos IN** (1992): Gravity Field Approximation Using Airborne Gravity Gradiometer Data. *Journal of Geophys.Res.* Vol 97, No B5, pp 7097-7108.
- Bell RE, Anderson R, Pratson LF** (1997): Gradiometer spinning onto Gulf trends. *The American Oil & Gas Reporter*.
- Dorobantu R** (1999): Gravitationsdrehwaage. IAPG/FESG No 4, Technische Universität München.
- van Gelderen M, Rummel R** (2000): A General Least Squares Solution of the Geodetic Boundary Value Problem. Submitted for publication to *Journal of Geodesy*.
- Homoródi L** (1966): *Felsőgeodézia*. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Jekeli C** (1993): A review of gravity gradiometer survey system data analyses. *Geophysics*, Vol 58, No 4, pp 508-514.
- Papp G** (1993): Trend Models in the Least-Squares Prediction of Free-air Gravity Anomalies. *Periodica Polytechnica* Vol 37, No 2, pp 109-130.
- Pawlowski B** (1998): Gravity gradiometry in resource exploration. *The Leading Edge* January.

- Rummel R, Sansó F, van Gelderen M, Brovelli M, Koop R, Migliaccio F, Schrama EJO, Sacerdote F** (1993): Spherical Harmonic Analysis of Satellite Gradiometry. Netherlands Geodetic Commission, New Series, 39, Delft.
- Tóth Gy, Rózsa Sz, Andritsanos VD, Ádám J, Tziavos IN** (2000): Towards a cm-Geoid for Hungary: Recent Efforts and Results. Phys. Chem. Earth(A), Vol 25, No 1, pp 47-52.
- Tscherning CC** (1994): Geoid Determination by Least-square Collocation using GRAVSOF. in: International School for the Determination and Use of the Geoid, Milan, October 10-15, 1994, pp 135-164.
- Völgyesi L** (1982): Geofizika. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Völgyesi L** (1998): Geoid Computations Based on Torsion Balance Measurements. Second Continental Workshop on the Geoid in Europe, Reports of the Finnish Geodetic Institute 98:4, Maasala, Finland, pp 145-151.

## A GRAVIMETRIAI ADATOK SŰRŰSÉGÉNEK HATÁSA A STOKES-FFT MÓDSZERREL SZÁMÍTOTT GEOIDUNDULÁCIÓK PONTOSSÁGÁRA

*Benedek Judit\**

*A Pannon–medence 3D valóságű sűrűségmodelljének felhasználásával analitikus úton gravitációs anomáliát ( $\Delta g_A$ ) és geoidundulációt ( $N_A$ ) számítottunk, melyeket a Newton integrálnak a sűrűségmodellen való megoldásából nyertünk. A számítások a területet lefedő, különböző beosztású síkhálóok (10 km x 10 km, 5 km x 5 km, 2.5 km x 2.5 km, 1 km x 1 km méretű) pontjaiban történtek. A gravitációs anomália értékeket a sík közelítést alkalmazó Stokes-FFT transzformációval geoidundulációkká ( $N_{FFT}$ ) alakítottuk. A két különböző úton számított geoidunduláció értékek különbségének változását, vagyis a numerikus megoldásnak ( $N_{FFT}$ ) az analitikus ( $N_A$ ) megoldáshoz való konvergenciáját vizsgáltuk statisztikai paraméterek segítségével a pontsűrűség függvényében. Az eredmények alapján a különböző beosztású rácshálóok pontjaiban számított  $N_A$  és  $N_{FFT}$  geoidundulációk közötti eltérések  $-3 \pm 3$  cm nagyságrendűek. Az ilyen rendű egyezés a Pannon–medence esetében már a 2.5 km-es ráctávolság alkalmazásával elérhető. A numerikus megoldás ( $N_{FFT}$ ) konvergenciája az analitikus ( $N_A$ ) megoldáshoz nem javítható jelentősen a 2.5 km ráctávolság csökkentésével, vagyis a mintavételezési gyakoriság növelése egy határon túl nem eredményezi az eltérések csökkenését. Ez annak ellenére kimutatható, hogy a sűrűségmodell által generált gravitációs anomália jeltartalma még jelentős az 5 km alatti hullámhossz tartományban ( $\approx 0.1$  mGal).*

### Bevezetés

A gravitációs anomália, illetve a geoidunduláció modellezése 3D sűrűségmodell felhasználásával a fizikai geodéziában "forward modelling" néven ismeretes. A sűrűségmodell által generált tömegvonzási potenciál és a potenciál magasabb rendű deriváltjai egyértelműen meghatározhatók Newton törvénye alapján, a sűrűségmodell térfogatelemein vett integrálok analitikus megoldásával (Heiskanen és Moritz 1967). Az ún. prizma (derékszögű hasáb, mely a litoszféra modell térfogateleme) integrálással egyrészt a modell sűrűségeloszlása által keltett pontos geoidundulációt és gravitációs anomáliát határozhatjuk meg (Nagy 1966, 1988), másrészt az így kapott gravitációs anomália értékekből, pl. a sík FFT transzformációval (Sideris 1994) is számítható geoidunduláció. A két különböző módon számított geoidunduláció különbségének vizsgálata a pontsűrűség függvényében történt, statisztikai paraméterek segítségével.

### Az FFT-vel számított geoidunduláció ( $N_{FFT}$ ) konvergenciájának vizsgálata a pontsűrűség függvényében

A vizsgálatok során a Pannon–medence kéregszerkezetének valóságű 3D modelljét használtuk (Kalmár és mások 1995). A modellezett tartomány horizontális kiterjedése 1200 km x 1200 km, amely méret még lehetővé teszi a Föld sík közelítésének (flat–Earth approximation) alkalmazását a vizsgált területen. A modell térfogatelemei derékszögű prizmák, a legkisebb prizmaméret horizontális irányban 2 km x 2 km. A modell (1. ábra) a litoszféra három fő szerkezeti egységét tartalmazza: neogén-

\*FÖLDTUDOMÁNYI INTÉZET, Sopron, Csatkai u. 6-8.

E-mail: [benedek@ggki.hu](mailto:benedek@ggki.hu)

negyedkori üledékösszlet, alsó- és felső köpeny. A modell a geoid feletti tömegeket nem tartalmazza, így az analitikus úton számított geoidunduláció és gravitációs anomália harmonikus a számítási pontokban. A területet lefedő síkháló rácstávolságának csökkentésével (10 km x 10 km, 5 km x 5 km, 2.5 km x 2.5 km, 1 km x 1 km méretű) valósítottuk meg a pontsűrűség függvényében történő vizsgálatot, melynek fő lépései:

1. A Nagy (1966) által megadott képleteket felhasználva és a Papp (1996a) által kidolgozott szűrési eljárást követve a rácspontokban prizma térfogatelemen való integrálással analitikus úton meghatározásra került a sűrűségmodell által generált geoidunduláció (2. és 3. ábrák), gravitációs zavar és gravitációs anomália ( $\Delta g_A$ ). Első lépésben megvizsgáltuk a modell által generált gravitációs zavar és a definíció szerinti gravitációs anomália közti eltérést a  $2 \cdot T/R = -\Delta g - dT/dr$  egyenlet alapján (Sideris 1994), ahol  $\Delta g$  a gravitációs anomáliát,  $dT/dr$  a gravitációs zavart jelöli. Az eltérést statisztikai paraméterek segítségével jellemeztük. Hasonló vizsgálatot végeztünk az EGM96 globális adatsorból a modell területére számított gravitációs anomália és gravitációs zavar közti eltérésre vonatkozóan. A statisztikai paraméterek alapján (1. táblázat) arra következtettünk, hogy a litoszféra modellből számítható eltérés mértéke a modell területén  $0.002 \pm 0.538$  mGal. A rácspontokban analitikus úton számított gravitációs zavarból a  $2 \cdot T/R$  tag hozzáadásával képeztük a gravitációs anomália értéket.

**1. táblázat.** A gravitációs zavar és a gravitációs anomália közötti különbség statisztikája a litoszféra modell, illetve az EGM96 adatok alapján a vizsgált területre vonatkozóan.

Modell	Rácstávolság [km]	Különb-ségek	Átlag	Szórás	Különbségek minimuma	Különbségek maximuma
Litoszféra	1	mGal	0.0024	$\pm 0.5378$	-1.9564	1.3132
		m	0.0071	$\pm 0.0841$	-0.2258	0.1872
EGM96	10	mGal	11.2143	$\pm 3.169$	1.9680	16.7913
		m	14.011	$\pm 2.475$	6.8946	17.993

2. A numerikus megoldás esetében a geoidunduláció a rácspontokban számított gravitációs anomália és a Stokes magfüggvény konvolúciójaként állítható elő:

$$N(x_k, y_l) = \frac{1}{2\pi\gamma} \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^{N-1} \Delta g(x_i, y_j) l_N(x_k - x_i, y_l - y_j) \Delta x \Delta y + \delta N(x_k, y_l),$$

ahol

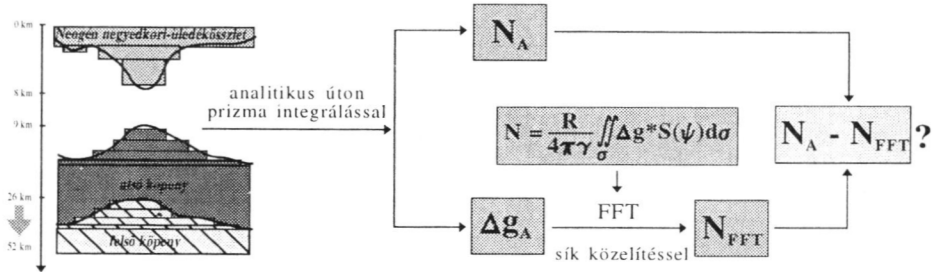
$l_N(x_k - x_i, y_l - y_j) = \left[ (x_k - x_i)^2 + (y_l - y_j)^2 \right]^{-1/2}$ , ha  $x_k \neq x_i$  vagy  $y_l \neq y_j$ , és  $l_N(x_k - x_i, y_l - y_j) = 0$  ha  $x_k = x_i$  vagy  $y_l = y_j$ , a Stokes magfüggvény alakja a sík közelítés esetében.  $\delta N$  a gravitációs anomáliának a hozzájárulása a geoidundulációhoz a számítási pontban, esetünkben az  $(x_k, y_l)$  rácspontban, melynek egy közelítő értékét a

$\delta N(x_k, y_l) = \frac{\sqrt{\Delta x \Delta y}}{\gamma \sqrt{\pi}} \Delta g(x_k, y_l)$  képlet szolgáltatja, ahol  $\gamma$  a normál nehézségi gyorsulás.

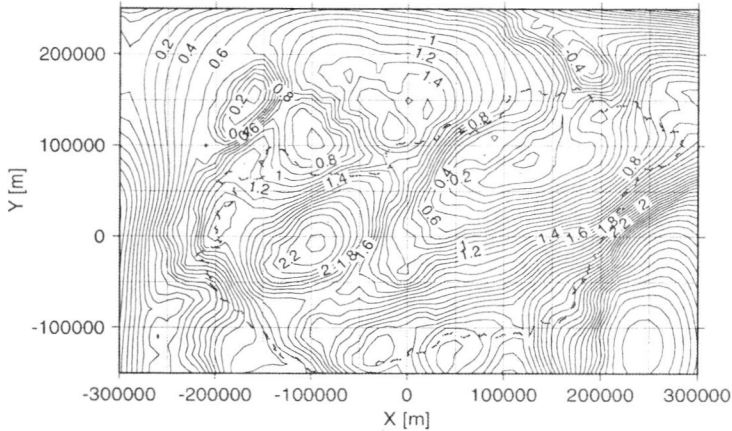
A konvolúció az FFT transzformáció segítségével végezhető el (Sideris 1994), így

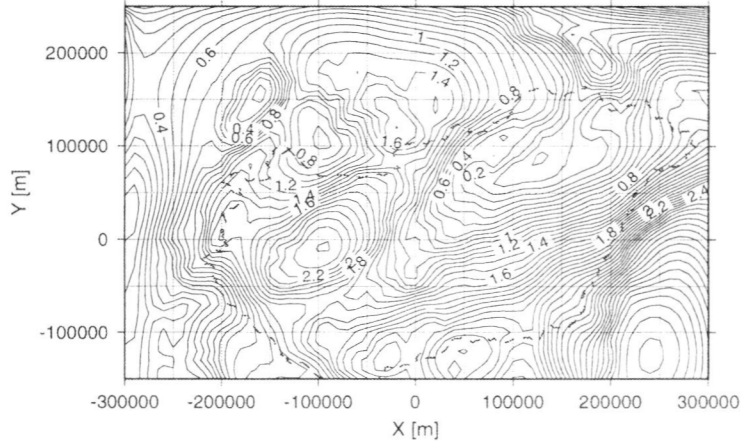
$$N(x, y) = \frac{1}{2\pi\gamma} F^{-1} \{ F \{ \Delta g(x, y) \} \} \{ F \{ l_N(x, y) \} \} + \delta N(x, y).$$

A 4. és 5. ábrák a  $\Delta g_A$  gravitációs anomália értékekből FFT transzformációval a rácspontokban számított  $N_{FFT}$  szintvonalas térképeit mutatják 10 km-es és 1 km-es ráctávolságok esetében.

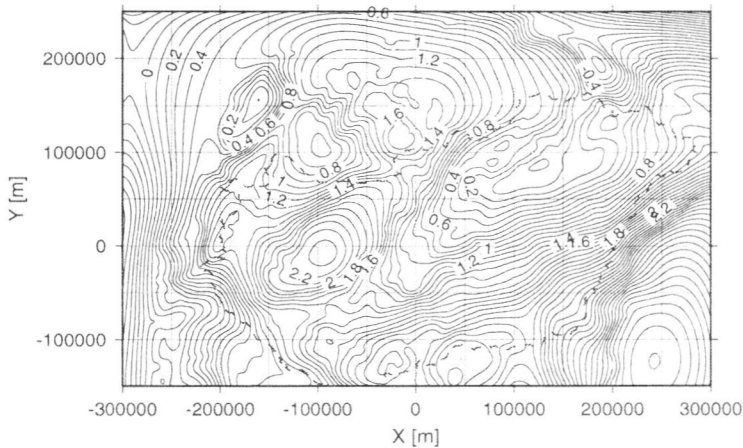


1. ábra. A geoidunduláció analitikus ( $N_A$ ) és numerikus úton ( $N_{FFT}$ ) történő számításának vázlatja.





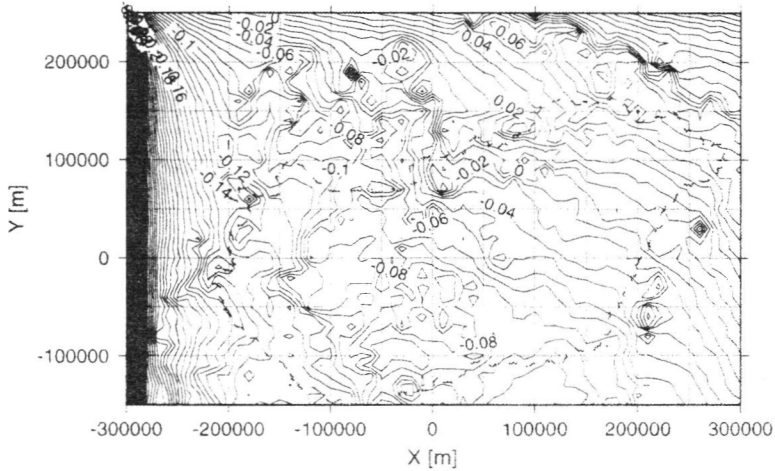
4. ábra. Numerikus úton, FFT-vel számított geoidunduláció ( $N_{\text{FFT}}$ ). Rácstávolság 10 km, szintvonalköz 0.1 m.



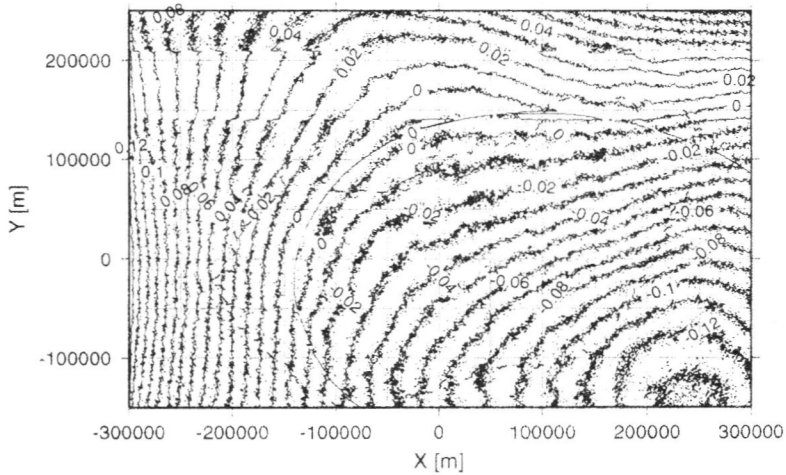
5. ábra. FFT vel számított geoidunduláció ( $N_{\text{FFT}}$ ). Rácstávolság 1km, szintvonalköz 0.1m.

3. A rácshálók pontjaiban képezzük a kétféle úton (analitikus, illetve numerikus úton) számított geoidunduláció közötti különbségeket (6. és 7. ábrák). A statisztikai elemzés a teljes területre, illetve Magyarország területére eső rácspontokban számított  $\Delta N = N_A - N_{\text{FFT}}$  geoidunduláció különbségek alapján történt (3. táblázat). A  $\Delta N$  különbségek átlagos eltérése a modell teljes területére számítva 4 cm, Magyarország területére eső rácspontokból számítva  $-3$  cm, a szórásra  $\pm 9$ , illetve  $\pm 3$  cm adódott (2. és 3. táblázat). Magyarország területére vonatkozóan a statisztikák alapján megállapíthatjuk, hogy a rácstávolságok között van egy küszöbérték, amely értéknél kisebb rácstávolságra erre a területre vonatkozó geoidunduláció különbségek statisztikája nem javul, vagyis a mintavételezési gyakoriság növelése egy határon túl nem eredményezi a különbségek csökkenését. Esetünkben a numerikus megoldás ( $N_{\text{FFT}}$ ) konvergenciája az analitikus geoidundulációhoz ( $N_A$ -hoz) a 2.5 km rácstávolságnál leáll. Az  $N_A - N_{\text{FFT}}$  különbségek átlagos eltéréseinek és szórásának értelmezéséhez megvizsgáltuk a  $\delta N$  tagból adódó átlagos eltérést a teljes területre vonatkozóan, amelynek értékére  $-0.0087$  cm adódott.

Ennek alapján a  $\Delta N$  különbségeknél tapasztalt átlagos eltérés a FFT transzformáció során kerülhet az adatokba. A továbbiakban a  $N_A - N_{FFT}$  különbségek értelmezéséhez megvizsgáltuk a gravitációs anomáliák és geoidundulációk jeltartalmát.



6. ábra.  $N_A$  és  $N_{FFT}$  geoidunduláció különbségek. Rácstávolság 10 km, szintvonalköz 0.01 m.



7. ábra.  $N_A$  és  $N_{FFT}$  geoidunduláció különbségek. Rácstávolság 1 km, szintvonalköz 0.01 m.

2. táblázat.  $N_A$  és  $N_{FFT}$  különbségek statisztikája a teljes területre vonatkozóan.

Rácstávolság [km]	Átlag [m]		Szórás [m]		Különbségek minimuma		Különbségek maximuma	
	1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*
10	0.0313	0.0245	±0.1368	±0.1285	-0.656	-0.583	0.716	0.687
5	0.041	0.0341	±0.0596	±0.0785	-0.195	-0.1341	0.412	0.3574
2.5	0.0468	0.0398	±0.0516	±0.0836	-0.061	-0.1432	0.445	0.3912
1	0.0483	0.0412	±0.0537	±0.0882	-0.063	-0.1509	0.464	0.4125

1\* - a számítások a 2T/R tag figyelembe vétele nélkül történtek

2\* - a számítások a 2T/R tag figyelembe vételével történtek

**3. táblázat.**  $N_A$  és  $N_{FFT}$  különbségek statisztikája Magyarország területére vonatkozóan.

Rácstávolság [km]	M.o területére eső pontok száma	Átlag [m]		Szórás [m]		Különbségek minimuma		Különbségek maximuma	
		1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*
10	935	0.021	-0.06	$\pm 0.0553$	$\pm 0.0524$	-0.15	-0.176	0.12	0.07
5	3739	0.037	-0.044	$\pm 0.0145$	$\pm 0.0267$	-0.02	-0.107	0.071	0.026
2.5	14945	0.049	-0.032	$\pm 0.0067$	$\pm 0.0287$	0.029	-0.109	0.073	0.04
1	93403	0.498	-0.030	$\pm 0.0082$	$\pm 0.0301$	0.023	-0.115	0.074	0.051

1\*- a számítások a 2T/R tag figyelembe vétele nélkül történtek

2\*- a számítások a 2T/R tag figyelembe vételével történtek

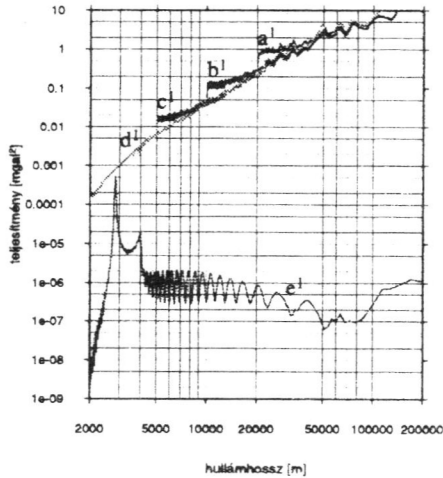
### Gravitációs anomáliák jeltartalmának spektrális vizsgálata

Számításainkban a sík közelítést alkalmazva, a különböző rácstávolságokkal számított gravitációs anomáliák sík pl. EOY koordináták függvényében írhatók le, így  $N = N(x,y)$ . A Fourier transzformáció az  $N(x,y)$  függvényt egyértelmű leképezéssel áttranszformálja az ún.  $f_x, f_y$  frekvencia vagy hullámhossz térbe, mely szintén kétdimenziós. A transzformációval előállított  $N(f_x, f_y)$  amplitúdó spektrum komplex értékeiből képezzük a valós és képzetes amplitúdók négyzetösszegét, ami a kétdimenziós teljesítményspektrumot eredményezi. Ez, egy frekvencia sávon belüli összegzéssel (Meskó 1984) transzformálható 1D, ún. radiális spektrummá. A következő számítások a 2T/R tag figyelembe vétele nélkül történtek. A teljesítményspektrum alapján az 5 km alatti hullámhossz tartomány jeltartalma megközelítőleg 0.1 mGal (8. ábra). A további elemzéshez egy "sakktábla" modell által generált gravitációs zavar (a sík FFT transzformációba bemenő jel) radiális teljesítményspektrumát is megvizsgáltuk. A szerkesztett modell horizontális kiterjedése 90 km x 90 km és 2 km x 2 km felbontás jellemzi, amely meggyezik a litoszféra modell legkisebb térfogatelemének méretével. A "sakktábla" modell által generált gravitációs zavar teljesítményspektruma alapján arra következtettünk, hogy az 5 km hullámhossz alatti tartomány még jelentős, kimutatható spektrális információt tartalmaz. Az 5 km hullámhossz 2.5 km-es mintavételezési gyakoriságnak felel meg.

A különböző rácshálók esetében analitikus úton számított geoidundulációk, illetve a sakktábla modellből szintén analitikus úton számított geoidundulációk spektrális jeltartalmát összevetettük a modellből numerikus úton számított  $N_{FFT}$  geoidunduláció (a sík FFT transzformációból származó jel) spektrális jeltartalmával. A 9. ábrán látható, hogy a 8 km alatti hullámhossz tartományban az analitikus és numerikus geoidundulációk jeltartalma eltér, 5 km alatti tartományban ez az eltérés meghaladja az egy nagyságrendet.

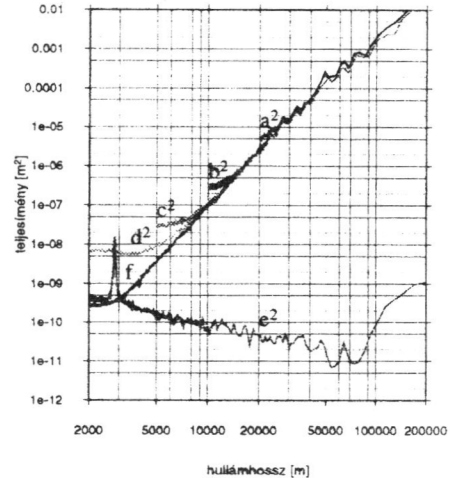
Megvizsgáltuk a 2T/R tag és ebből az FFT-vel kapott geoidunduláció teljesítmény spektrumait is (10. és 11. ábrák).

A numerikus megoldás konvergenciájánál tapasztalt leállás akár korrekciós taggal akár a nélkül (3. táblázat) azzal magyarázható, hogy az 5 km alatti hullámhossz tartomány jeltartalma nem jelenik meg az FFT-vel kapott geoidundulációkban. Ezen a problémán nem segít sem a mintavételezési gyakoriság növelése sem a korrekciós tag figyelembe vétele.

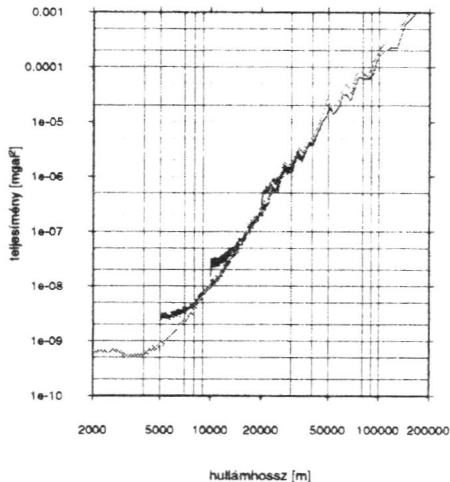


8. ábra. Különböző modellek által generált gravitációs zavar teljesítményspektrumai.

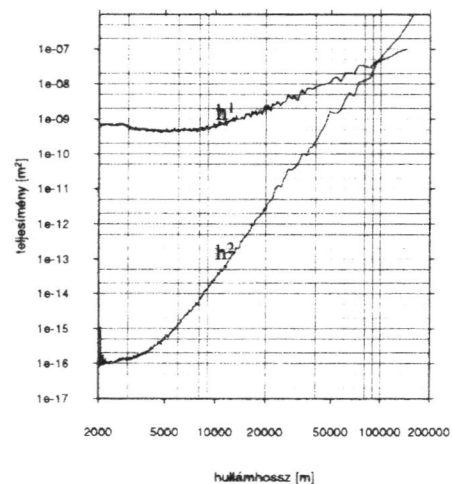
- $a^1, a^2$  — 10 km-es rácstávolság, litoszféra modell,  $dT/dr, N_A$
- $b^1, b^2$  — 5 km-es rácstávolság, litoszféra modell,  $dT/dr, N_A$
- $c^1, c^2$  — 2.5 km-es rácstávolság, litoszféra modell,  $dT/dr, N_A$
- $d^1, d^2$  — 1 km-es rácstávolság, litoszféra modell,  $dT/dr, N_A$
- $e^1, e^2$  — 1 km-es rácstávolság, saktábla modell,  $\Delta g_A, N_A$
- f — 1 km-es rácstávolság, litoszféra modell,  $N_{FFT}$



9. ábra. Különböző modellek által generált geoidundulációk teljesítményspektrumai.



10. ábra. Gravitációs anomália és gravitációs zavar ( $dT/dr$ ) különbségének teljesítményspektrumai.



11. ábra. Gravitációs anomália és gravitációs zavar különbségéből FFT-vel kapott geoidundulációk ( $h^2$ ), illetve az  $N_A-N_{FFT}$  geoidunduláció különbségek teljesítményspektrumai ( $h^1$ ).

## Összefoglalás

A vizsgálatok alapján a numerikus úton, vagyis az FFT transzformációval számított geoidunduláció konvergenciája az analitikus megoldáshoz a modell területén nem javítható tetszőleges mértékben sem a mintavételezési gyakoriság növelésével, sem a korrekciós tag (2T/R) figyelembevételével. Ez abban mutatkozik meg, hogy a Pannon-medence esetében a 2.5 km-es ráctávolság csökkentésével a különbségek statisztikájában nem tapasztalható jelentős változás.

A sűrűségmodell által generált gravitációs anomália jeltartalma a radiális teljesítményspektrum segítségével végzett elemzés alapján az 5 km alatti hullámhossz tartományban még jelentős ( $\approx 0.1$  mGal). Ez nem jelenik meg az FFT-vel kapott geoidundulációkban, ezért az  $N_{\text{FFT}}$ -nek az analitikus geoidundulációhoz való konvergenciája leáll és nem javítható a ráctávolság csökkentésével, vagyis a mintavételezési gyakoriság növelésével.

## Köszönetnyilvánítás

A tanulmányban leírt vizsgálatok a T025318 sz. OTKA kutatási program keretében történtek.

## Hivatkozások

- Heiskanen WA, Moritz H** (1967): Physical Geodesy. WH Freeman, San Francisco and London.
- Kalmár J, Papp G, Szabó T** (1995): DTM-based surface and volume approximation: Geophysical applications. Computers and Geosciences 21, 245-257.
- Meskó A** (1984): Digital Filtering: Applications in Geophysical Exploration for Oil. Akadémia Kiadó, Budapest. 636 old.
- Nagy D** (1966): The gravitational attraction of a right rectangular prism. Geophysics, Vol. XXXI, No. 2, 362-371.
- Nagy D** (1988): A short program for three-dimensional gravity modelling. Acta Geod. Geoph. Mont. Hung., 23 (2-4), 449-459.
- Papp G** (1996a): On the application of physical filtering in 3-D forward gravity modelling. In: Meurers (ed.): Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Meeting on Alpine Gravimetry. Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, Heft 14, 145-154.
- Papp G** (1996b): A Pannon-medence nehézségi erőterének modellezése. Kandidátusi értekezés, Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, Sopron.
- Sideris MG** (1994): Geoid determination by FFT techniques. In: Lecture notes of the "International School for the Determination and Use of the Geoid", International Geoid Service at D.I.I.A.R., Politecnico di Milano, 165-224.

## SŰRŰSÉGMODELLEK FELHASZNÁLÁSA A GEOIDMEGHATÁROZÁSBAN

*Rózsa Szabolcs\**

*A geoidmeghatározásban a terepi javítás, illetve a topográfia indirekt hatásának meghatározásakor az általában elfogadott  $\rho=2.67 \text{ g/cm}^3$  sűrűségértékkel számolunk. Annak érdekében, hogy a felszínközeli sűrűségváltozásokból származó nagyfrekvenciás információkat is figyelembe tudjuk venni, elengedhetetlen, hogy valamilyen matematikai modellt vezessünk be a felszínközeli sűrűségek leírására.*

*Jelen munkámban három sűrűségmodellt teszteltem, az első a már említett konstans sűrűségértékkel közelíti a valós helyzetet, míg a másik az ELGI által levezetett magasságtól függő sűrűségmodell, a harmadik pedig a Nettleton-módszer segítségével levezetett modell volt.*

### Bevezetés

A nagy pontosságú geoidmeghatározásban elengedhetetlen, hogy a felszínközeli tömegeket, és ezáltal azok hatásait is egyre pontosabban modellezzük. Az egyre nagyobb felbontású digitális terepmodellek alkalmazása lehetővé teszi, hogy a terepi javítás, illetve a topográfia indirekt hatásának meghatározásával a felhasznált adatok frekvenciatartományát kiterjesszük, és így a geoid meghatározását egy a valóságot jobban megközelítő modell segítségével pontosítsuk.

A már említett terepi javítás csakúgy, mint az indirekt hatás, nem csak a topográfától függ, hanem a felszínközeli tömegelemek sűrűségének változásától is, ami a Newton-integrálból következik. Éppen ezért a számítások pontosságának növelése érdekében nem elegendő csupán a digitális terepmodellek felbontását növelni, hanem a sűrűségváltozásokat is figyelembe kell venni.

Annak érdekében, hogy megvizsgálhassam a sűrűségmodellek alkalmazásának hatását a geoidmeghatározásra, három különféle modellel hajtottam végre a számításokat. Az első modell a korábban is alkalmazott konstans sűrűségű modell volt, amikor is  $\rho=2,67 \text{ g/cm}^3$  sűrűségértékkel vettem figyelembe a topografikus tömegek hatását. A másik módszer az ELGI (Eötvös Lóránd Geofizikai Intézet) munkatársai által meghatározott magasságtól függő sűrűségmodell volt, míg a harmadik a Nettleton-módszer alapján lett levezetve.

### Sűrűségmodellek

#### *Magasságtól függő sűrűségmodell*

Az ELGI munkatársai hazánk Bouguer-anomália térképének elkészítéséhez egy az egyes pontok tengerszint feletti magasságától függő sűrűségmodellt használtak fel. A modell levezetését megelőzően különféle topográfiajú területeken a Nettleton-módszer segítségével meghatározták a kőzetek átlagos sűrűségét. A vizsgálatok alapján egy olyan modellt vezettek be, amely megadja a kőzetek átlagos sűrűségét a tengerszint feletti magasságtól függően (Szabó, Páncsics 1999):

\*BME, Általános- és Felsőgeodézia Tanszék, H-1521, Budapest, Műegyetem rkp. 1-3..

E-mail: [szrozs@geo.fgt.bme.hu](mailto:szrozs@geo.fgt.bme.hu)

$$\rho_h = \rho_0 + 0,01 \frac{h - h_0}{5}, \quad (1)$$

ahol  $\rho_0 = 2000 \text{ kg/m}^3$ , a sűrűségérték a  $h_0 = 100 \text{ m}$ -es szinten,  $h$  pedig a pont magassága méterben.

Az (1) képlet alkalmazásával egy olyan modell állt elő, amely a  $100\text{m} \leq h \leq 435\text{m}$  tartományban lineárisan változó sűrűségértékeket ad vissza. Az (1) képlet csak ebben a tartományban érvényes,  $100$  méteres magasság alatt az átlagos sűrűséget egységesen  $2000 \text{ kg/m}^3$ -nek, míg  $435$  méter felett  $2670 \text{ kg/m}^3$ -nek tekintették.

### Nettleton-módszer alapján levezetett modell

A felszínközeli tömegek átlagsűrűségét a Nettleton-elv alapján is meghatározhatjuk, amely azt mondja ki, hogy ha helyes sűrűségértékekkel javítjuk meg a szabadlevegő anomáliákat, akkor a terep illetve az így meghatározott Bouguer-anomáliák között nem tapasztalunk korrelációt. A javított gravitációs anomáliák és a topográfia korrelációs együtthatóját az alábbiak szerint írhatjuk le (Meskó 1989):

$$k(\rho) = \sum_i \sum_k (g_{ik} - \rho \lambda_{ik}) h_{ik} = \sum_i \sum_k g_{ik} h_{ik} - \rho \sum_i \sum_k \lambda_{ik} h_{ik}, \quad (2)$$

ahol  $g_{ik}$  az adott pontban az anomália értéke,  $h_{ik}$  a terepmagasság,  $\lambda_{ik}$  pedig az alkalmazott korrekciótól függő tényező, amely Bouguer javítás esetén  $-0,04193 h_{ik}$ .

Ha a korrelációs együtthatót egyenlővé tesszük 0-val, és átrendezzük a képletet  $\rho$ -ra, akkor a sűrűségre az alábbi képletet kapjuk:

$$\rho = \frac{\sum_i \sum_k g_{ik} h_{ik}}{\sum_i \sum_k \lambda_{ik} h_{ik}}. \quad (3)$$

Természetesen lehetőség nyílik arra is, hogy ne csak a Bouguer javítást vegyük figyelembe, hanem a terepi javítást is, ekkor a képlet az alábbiaknak megfelelően alakul:

$$\rho = \frac{\sum_i \sum_k g_{ik} h_{ik}}{\sum_i \sum_k (-\Delta g_{ik}^t + 0,04193 h_{ik}) h_{ik}}, \quad (4)$$

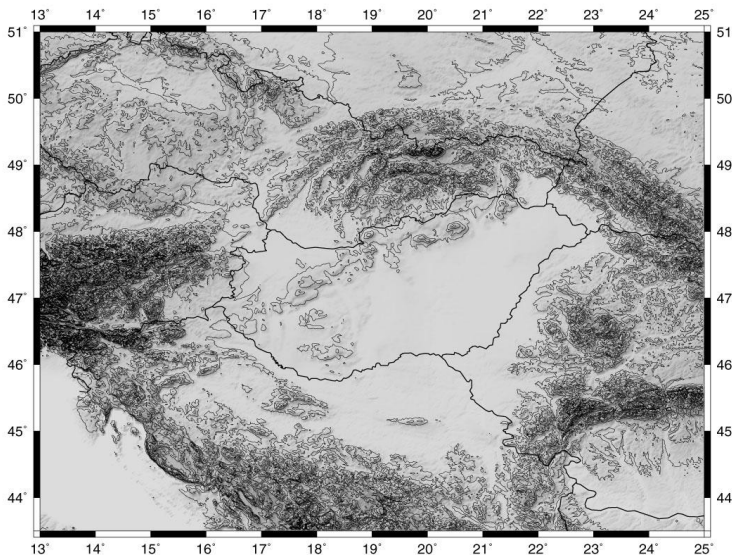
ahol  $\Delta g_{ik}^t$  az előzetesen meghatározott terepi javítás értéke konstans  $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$ -rel számítva. Az utóbbi képlet alapján könnyen számítható egy adott területre a felszínközeli tömegek átlagos sűrűsége. Azonban számunkra ez a megoldás nem célravezető, hiszen így ismét csak egy konstans sűrűségértéket kapnánk az egész területre, nem pedig egy a sűrűségeloszlást leíró modellt. Éppen ezért a képletben található összegzést le kell csökkentenünk egy kisebb területre, azaz egy ablakoló szűrőt kell bevezetnünk:

$$\rho(l, m) = \frac{\sum_{i=1-N}^{l+N} \sum_{k=m-N}^{m+N} g_{ik} h_{ik}}{\sum_{i=1-N}^{l+N} \sum_{k=m-N}^{m+N} \Delta g_{ik}^t h_{ik} - 0,04193 \sum_{i=1-N}^{l+N} \sum_{j=m-N}^{m+N} h_{ik}^2}. \quad (5)$$

A fenti képlet nagy előnye, hogy nagyon hatékonyan megoldható gyors Fourier-transzformáció (FFT) segítségével (Brigham 1988), amely jelentősen megnöveli a számítások hatékonyságát:

$$\rho(l, m) = \frac{F^{-1}\{F\{A\} \cdot F\{g_{ik} h_{ik}\}\}}{F^{-1}\{F\{A\} \cdot F\{\Delta g_{ik}^t h_{ik}\}\} - 0,04193 \cdot F^{-1}\{F\{A\} \cdot F\{h_{ik}^2\}\}}, \quad (6)$$

ahol  $F^{-1}$  az inverz-, az  $F$  Fourier-transzformációt,  $A$  pedig az ablakoló szűrőt jelenti.



1. ábra. A terepi javítások meghatározásához felhasznált digitális terepmodell.

### A számításokhoz felhasznált adatok

A sűrűségmodellek levezetéséhez digitális terepmodellt, illetve egy rácsra interpolált szabad-levegő gravitációs anomáliákat tartalmazó adathalmazt használtam fel. Az interpolált nehézségi anomáliákat az Eötvös Lóránd Geofizikai Intézet bocsátotta rendelkezésünkre, míg terepmodellként a MH Tóth Ágoston Térképészeti Hivatala által készített 500×500 méteres felbontású DTM-et vettem igénybe. Mind a két adathalmaz kizárólag Magyarország területére tartalmaz adatokat. Az adatok ugyanazon rácson voltak megadva, amelynek a paraméterei az alábbiak:

- $45^{\circ}01'00'' \leq \varphi_{\text{WGS-84}} \leq 49^{\circ}00'00''$ ,  $\Delta\varphi = 1'$
- $16^{\circ}00'00'' \leq \lambda_{\text{WGS-84}} \leq 22^{\circ}58'30''$ ,  $\Delta\lambda = 1,5'$

Meg kell említeni, hogy a gravimetriai geoidmeghatározáshoz nagyobb kiterjedésű digitális terepmodellt és gravimetriai adathalmazt használtam fel, amelyek megegyeztek a (Tóth et al. 2000)-ben leírt adatokkal. A digitális terepmodell az 1. ábrán látható.

A geoidszámításokhoz a fenti adatokon kívül az EGM96-os globális geopotenciál modellt használtam fel, mivel hazánkban ez az egyik modell, amely a legjobban írja le a nehézségi erőteret (Rózsa 1999).

## Számítások

### Sűrűségmodellek előállítása

A sűrűségmodelleket a 2. fejezetben leírtaknak megfelelően határoztam meg. A Nettleton-módszer alapján levezetett modellnél azonban meg kell adni az ablakoló szűrő méretét is. Ez esetünkben  $N=60$  volt, ami azt jelenti, hogy egy prizma sűrűségének meghatározásakor annak 60 km-es körzetében található nehézségi anomália és magassági adatokat vettem figyelembe.

A sűrűségmodelleket elsődlegesen a terepi javítások meghatározásakor kell felhasználnunk. Mivel a terepi javítást nagyobb területre célszerű meghatározni, mint amelyekre geoidot kívánunk számolni, ezért a sűrűségadatokat is erre a nagyobb területre kell kiszámítani. Nagyfelbontású magassági illetve nehézségi adatok azonban csak hazánk területére álltak rendelkezésemre, ezért az országhatáron kívüli területen a konstans  $\rho=2,67 \text{ g/cm}^3$ -es sűrűségértéket használtam fel. Az egyes sűrűségmodellek statisztikai jellemzői az 1. táblázatban szerepelnek, míg a Nettleton-módszer segítségével levezetett sűrűségeloszlásokat az 1. ábrán láthatjuk.

**1. táblázat.** A magasságfüggő és a Nettleton-módszerrel levezetett sűrűségmodellek jellemzői.

	Min [ $\text{g/cm}^3$ ]	Max [ $\text{g/cm}^3$ ]	Átlag [ $\text{g/cm}^3$ ]	Szórás [ $\text{g/cm}^3$ ]
Mag. függő modell	2,00	2,67	2,36	0,27
Nettleton-modell	1,62	3,41	2,56	0,43

### A terepi javítások meghatározása

A terepi javítások meghatározásakor mindhárom sűrűségmodellt felhasználtam. A számításokhoz a prizmás topográfiai modellt választottam, mivel ez jobban reprezentálja a tényleges tömegeket, mint a vonalas topográfiai modell (Li 1993).

A három terepi javítást tartalmazó adathalmaz statisztikai jellemzői a 2. táblázatban találhatóak meg.

**2. táblázat.** A terepi javítások jellemzői a különféle sűrűségmodellek alkalmazásakor.

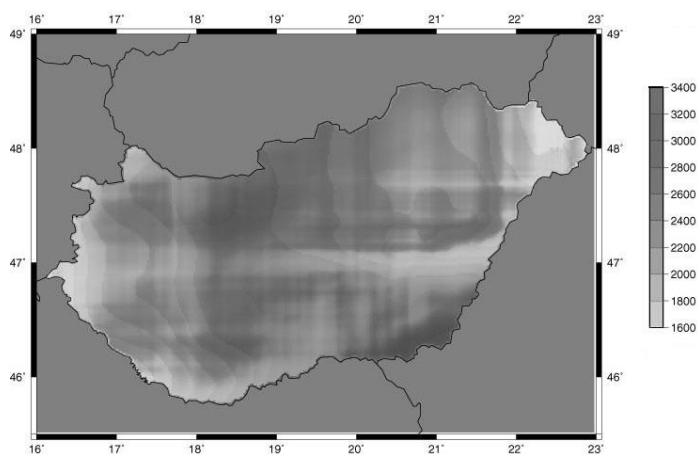
	Min [mGal]	Max [mGal]	Átlag [mGal]	Szórás [mGal]
Konst. Sűrűség	0,035	16,303	0,448	0,849
Magasságfüggő sűrűségmodell	0,034	16,115	0,427	0,819
Nettleton-modell	0,033	12,984	0,364	0,662

A statisztikai adatokból látható, hogy mind a magasságfüggő-, mind a Nettleton modell alkalmazásával simább lefutású terepi korrekció-értékeket kapunk eredményül.

### Gravimetriai geoid meghatározása

A gravimetriai geoidmeghatározáshoz a (Tóth et al. 2000)-ben leírt módszert alkalmaztam, amely a jól ismert „remove-restore” technikára alapul. A Stokes-integrált 1 dimenziós FFT módszerrel értékelttem ki. Az EGM96-os geopotenciálmodellből levezetett magassági anomáliákat, a Stokes-integrálból származó reziduál értékeket, valamint a topográfia indirekt hatásából származó értékeket összegezve három különféle geoidmodellt kaptam. Az indirekt hatás kiszámításánál természetesen a terepi javítás meghatározásához alkalmazott sűrűségmodellt használtam fel. Az így kapott gravimetriai

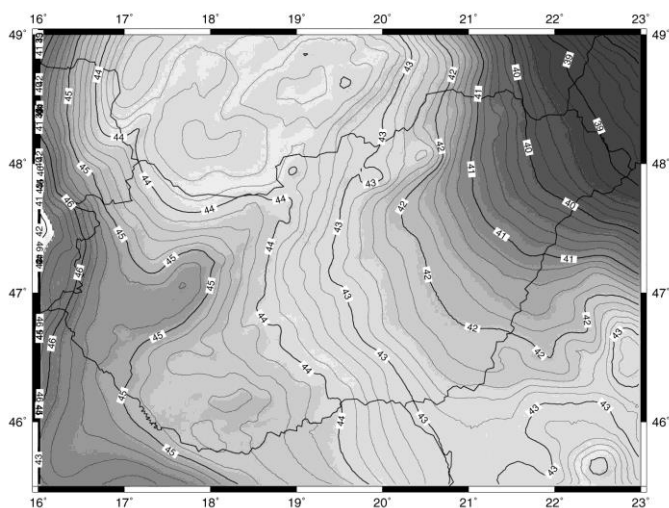
geoidmegoldások jellemzői a 3. táblázatban találhatóak meg. A 2. ábrán a Nettleton-féle sűrűségmodell felhasználásával számított gravimetriai geoidot mutatom be.



2. ábra. A Nettleton módszerrel levezetett sűrűségmodell.

3. táblázat. A gravimetriai geoidmegoldások jellemzői.

	Min [m]	Max [m]	Átlag [m]	Szórás [m]
Konst. sűrűség	36,986	47,171	43,163	1,791
Magasságfüggő sűrűségmodell	36,982	47,168	43,158	1,789
Nettleton-modell	36,975	47,168	43,146	1,792



3. ábra. A Nettleton-féle sűrűségmodell felhasználásával számított gravimetriai geoid.

## A megoldások értékelése

A gravimetriai geoidmegoldások értékelésére GPS/Szintezési adatokat használtam fel. A FÖMI által rendelkezésre bocsátott 308 pontra végeztem el a GPS/Szintezésből és a gravimetriai megoldásból származó undulációk összehasonlítását. Mivel a 308 pontból 95-öt a GPS mérések után szinteztek le, és várhatóan ezek szintezett magasságai pontosabban, ezért célszerűnek látszott, hogy erre a 95 pontra (3. ábra) külön is elvégezzem az összehasonlítást. Az ellentmondásokból egy lineáris trendet is levontam, az így kapott maradék ellentmondások a 4. táblázat szürke soraiban láthatóak.



4. ábra. A 95 újonnan szintezett GPS/Szintezési pont.

4. táblázat. A gravimetriai geoidmegoldások összehasonlítása GPS/Szintezési adatokkal.

Geoid modell	GPS/Szint. pontok száma	Min [m]	Max [m]	Átlag [m]	Szórás [m]
Konst. Sűrűségmodell	308	-0,253	0,195	0,031	<b>0,079</b>
		-0,153	0,139	0,000	<b>0,041</b>
	95	-0,160	-0,166	0,049	<b>0,072</b>
		-0,101	0,124	0,000	<b>0,035</b>
Magasságfüggő sűrűségmodell	308	-0,250	0,199	0,036	<b>0,079</b>
		-0,155	0,138	0,000	<b>0,041</b>
	95	-0,154	0,170	0,053	<b>0,071</b>
		-0,100	0,123	0,000	<b>0,035</b>
Nettletonmodell	308	-0,235	0,207	0,047	<b>0,076</b>
		-0,158	0,132	0,000	<b>0,041</b>
	95	-0,134	0,177	0,065	<b>0,069</b>
		-0,094	0,119	0,000	<b>0,035</b>

A táblázatból jól látható, hogy a magasságfüggő sűrűségmodell nem okozott nagy változásokat a gravimetriai geoidmegoldásban. Ezzel szemben a Nettleton-modell felhasználásával nyert felszínközeli sűrűségértékek a gravimetriai geoidmegoldás pontosságát növelik, bár meg kell említeni, hogy a lineáris trend levonása után mindegyik megoldás azonosnak tekinthető a szórásokat tekintve. Ugyanakkor megfigyelhetjük, hogy a 95 új

GPS/Szintezési pontra (Kenyeres 1999) végzett összehasonlításokban a Nettleton módszerrel levezetett sűrűségértékek esetén kaptam a legkisebb maximális eltéréseket a lineáris trend levonása után.

### Összegzés, javaslatok

Az előbbiekből látható, hogy annak ellenére, hogy hazánk topográfiája nem igazán tekinthető változatosnak, a felszínközeli sűrűségek modellezésével finomítani lehet a gravimetriai geoidmegoldást. A sűrűségeloszlások modellezésére a vizsgálatok szerint a Nettleton-modell a legcélravezetőbb. Ugyanakkor meg kell említeni, hogy lényeges változást nem okozott a sűrűségmodellek bevezetése a geoidmegoldásba, hiszen a lineáris trend eltávolítása után mindhárom megoldás gyakorlatilag azonosnak tekinthető.

Az FFT módszeren alapuló matematikai eljárások lehetővé tették, hogy a Nettleton-módszert alapul véve nagyon hatékonyan vezessünk le olyan területekre sűrűségértékeket, ahol eddig csak nehézségi anomáliák, és digitális terepmodell állt rendelkezésünkre. Az alkalmazott módszer további pontosítása érdekében célszerűnek látszik egy iteratív módszer bevezetése, mivel jelenleg a Bouguer-redukció hatását a pontbeli sűrűségérték segítségével határozzuk meg, ami a változó sűrűségek miatt egy matematikai közelítésnek fogható fel. Az iteratív megoldás lehetővé tenné, hogy ettől a közelítéstől is megszabadulhassunk.

A Nettleton-módszeren alapuló számítási eljárásnak várhatóan nagyobb szerepe lesz az olyan lokális geoidmeghatározásokban, ahol viszonylag kis területekre (néhány 10 km-es kiterjedésű körzet) kell nagypontosságú geoidot meghatározni.

### Hivatkozások

- Brigham EO** (1988): *The Fast Fourier Transform and Its Applications*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc., 448 pp.
- Kenyeres A** (1999): Completion of the Nationwide GPS-Gravimetric Geoid Solution for Hungary, *Phys. Chem. Earth (A)*, Vol 24, No 1, pp. 85-90.
- Li YC** (1993): Optimized Spectral Geoid Determination. UCGE Reports 20050, The University of Calgary.
- Meskó A** (1989): Bevezetés a Geofizikába (Tankönyvkiadó, Budapest, 1990).
- Rózsa Sz** (1999): Globális geopotenciál-modellek vizsgálata Magyarországon, *Geodézia és Kartográfia*, 1998/8, pp 23-29. Budapest.
- Szabó Z, Páncsics Z** (1999): Bouguer anomaly map of Hungary corrected using variable density, *Geophysical Transactions*, Vol 42, No 1-2., pp. 29-40, Budapest.
- Tóth Gy, Rózsa Sz, Andritsanos VD, Ádám J, Tziavos IN** (2000): Towards a cm-Geoid for Hungary: Recent Efforts and Results, *Phys. Chem. Earth (A)*, Vol 25, No 1, pp.47-52.

## A NEHÉZSÉGI ERŐTÉR PREY-FÉLE GRADIENSÉNEK MEGHATÁROZÁSA

Papp Gábor\*

*A Prey-féle gradiensnek fontos szerepe van az orthométeres magasságok kiszámításában, mivel ez a mennyiség jellemzi a nehézségi gyorsulás függőleges irányú változását a Föld topográfiáját alkotó tömegeken belül. Ennek a változásnak az ismeretében, bizonyos feltételek mellett meghatározható a függővonal megfelelő szakaszának hossza a felszíni pontokra vonatkozó geopotenciális értékekből. A Föld litoszféráját leíró alkalmas (ti. valóság-hű) modell birtokában megkísérelhető a Prey-féle gradiens értékének meghatározása modellszámítások alapján és összevethető a hagyományos úton számított értékkel. Az eddigi gyakorlatban használt érték, gömbszimmetrikus sűrűség-eloszlásúnak feltételezett egyszerűsített földmodell segítségével és az ún. Bouguer-lemez közelítés alkalmazásával származtatható. A különböző módszerekkel számított gradiensek közötti eltérések átszámíthatók pl. orthométeres magassági változásokká, azaz meghatározható a gradiens értékek különbségének hatása az orthométeres magasságokra.*

*A számítások szerint Magyarország területén ez a hatás átlagosan 1 mm körüli érték, de a középhegységi területeken elérheti az 1 cm értéket is.*

### Bevezetés

A Föld nehézségi erőterében két pont hagyományos értelemben vett magassági viszonyát (azaz azt a helyzetet, amelyet a víznek a két pont közötti folyási iránya jellemmez) a pontokhoz rendelhető geopotenciális értékek határozzák meg egyértelműen. A geopotenciális érték ismerete több szempontból is fontos. Egyrészt, ha valamely pontnak ismert adott magassági alapszintre vonatkozó geopotenciális értéke, akkor ebből elvileg egyszerűen számítható hosszegységben kifejezett bármely típusú (orthométeres, normál, stb.) magasság érték. Másrészt a magassági hálózatokban a zárt vonalakra vonatkozóan a zérus záróhibát kifejező kényszerfeltételi egyenletek kizárólag a potenciál különbségekre igazak, azaz az ilyen típusú hálózatok kiegyenlítése csak a geopotenciális értékekkel helyes. Ugyanis a Föld nehézségi erőterének rendellenességei miatt a geometriai szintezés eredménye útvonalfüggő.

A gyakorlati igényeket is kielégítő és a földi nehézségi erőteréhez természetes módon viszonyuló  $H$  orthométeres magasság a geopotenciális értékből a következőképpen számítható (pl. Heiskanen és Moritz, 1967):

$$H_P = C_P / \bar{g}_P, \quad (1)$$

ahol  $C_P$  a  $P$  pont geopotenciális értéke,  $\bar{g}_P$  a nehézségi gyorsulás átlagértéke a  $P$  ponton átmenő függővonal mentén a  $W_P$  és a  $W_0$  potenciálértékű szintfelület között a felszíni topográfiát alkotó közettömegek belsejében. Az orthométeres magasság elvileg a  $P$  pontnak a magassági hálózat kiindulópontján átmenő alap-szintfelülettől mért távolsága a rajta átmenő függővonalon mérve, ha a magassági alap-szintfelületen  $C_0 = 0$ .

Maga a geopotenciális érték szintezéssel és a hozzá kapcsolódó nehézségi mérésekből vezethető le, míg  $\bar{g}_P$  pontos számításához szükséges lenne a nehézségi erőter finom szerkezetének ismerete a Föld tömegein belül a kérdéses pont környezetében.

\*MTA FKK GGKI Sopron, Pf. 5.

E-mail: papp@apollo.ggki.hu

Mivel az erőtér a Föld belsejében a kellő pontsűrűségben jelenleg nem mérhető, ezért  $\bar{g}_p$  értékét az eddigi gyakorlat szerint a Prey-Poincaré-féle redukció segítségével (Heiskanen és Moritz 1967) határozzuk meg. Számítógépes feldolgozásra alkalmas, azaz megfelelően diszkrétizált térfogatsűrűség modell segítségével azonban a Newton-féle tömegvonzási törvény alapján az erőtér szerkezete a tömegeken belül is vizsgálható.

Ebben a dolgozatban arra keressük a választ, hogy a Pannon-medence litoszféra modellje ad-e lehetőséget a Prey-Poincaré-féle redukció tanulmányozására ill. finomítására annak érdekében, hogy a rendelkezésre álló geopotenciális értékekből a jelenleginél pontosabb orthométeres magasságokat lehessen levezetni Magyarország területén.

### A nehézségi gyorsulás Prey-Poincaré-féle redukciója

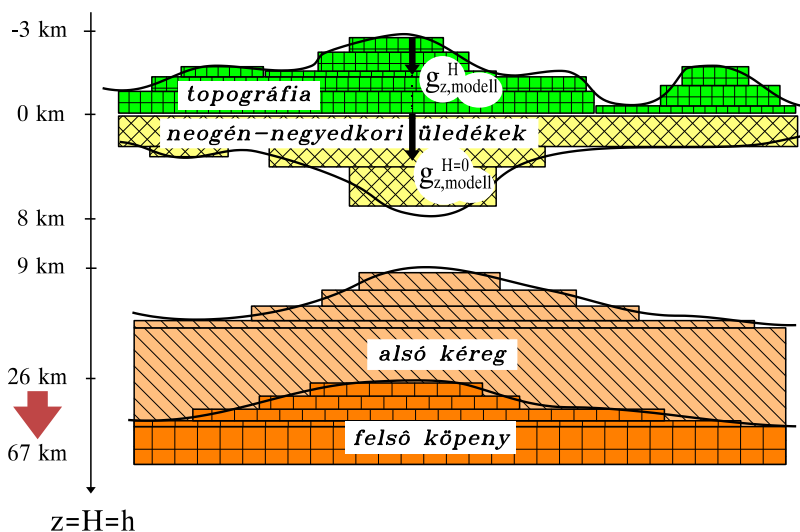
A nevezett módszer célja az, hogy a felszíni  $g$  értékekből a topográfiai közzöttömegek helybenhagyásával olyan  $g$  értéket vezessünk le a Föld belsejének tetszőleges pontjában, amely megegyezik azzal az értékkel, amit abszolút graviméterrel mérhetnénk a kérdéses pontban. Ha pontról-pontra megbízhatóan ismernénk a nehézségi gyorsulás függőleges gradiensét a tömegeken belül, akkor a feladat egyszerűen megoldható lenne. A gyakorlatban használt közelítések alapján azonban csak becsülni tudjuk a gradiens értékét, amelyet a normál erőtér szabadlevegőre vonatkozó függőleges gradienséből ( $\partial\gamma/\partial h = +0.3086$  mGal/m) és a  $\delta g_B$  Bouguer redukció meghatározásához használt ún. Bouguer-féle együttható értékéből ( $\partial\delta g_B/\partial h = 4.1909 \cdot 10^{-5} \rho_t$  mGal/m, ahol  $\rho_t$  a topográfiai tömeges átlagos sűrűsége) számíthatunk ki (Heiskanen és Moritz 1976. 165. old.):

$$(\partial g / \partial H)_I \cong (\partial g / \partial h)_I = \partial\gamma / \partial h - 2\partial\delta g_B / \partial h, \quad (2)$$

ahol  $(\partial g / \partial H)_I$  a nehézségi gyorsulás függőleges gradiense, azaz az ún. Prey-féle gradiens a  $\rho_t$  sűrűségű tömegeken belül a Föld valódi erőterében,  $H$  a függővonalon,  $h$  az ellipszoidi normálison mért magasságot jelöli és mind  $H$ , mind  $h$  a szokásostól eltérően a Föld tömegközéppontja felé növekszik a számításokhoz használt balsodrású derékszögű koordinátarendszernek megfelelően. A gradiens hagyományos úton, Bouguer-lemez közelítéssel levezetett számértéke  $+0.0848$  mGal/m, ha  $\rho_t = 2670$  kg/m<sup>3</sup>. A pozitív előjel arra utal, hogy a vizsgált  $I$  tartományban (ti. a topográfiai tömegeken belül) a Föld középpontja felé közeledve a nehézségi térerősség ill. gyorsulás növekedik.

### A Prey-féle együttható meghatározása 3D sűrűség modell felhasználásával

A Pannon-medence és orogén környezetének litoszféra modelljéből a következőképpen határozható meg a Prey-féle együttható értéke a modell balsodrású derékszögű koordináta-rendszerében, feltételezve, hogy  $H \parallel h \parallel z$  (1. ábra). Az  $x, y$  vízszintes koordináták ún. centrális EOVS rendszerűek, azaz az  $x=y=0$  sík koordináták közvetlenül a vetületi kezdőpontra vonatkoznak. A modell a litoszféra legfelső kb. 70 km vastagságú tartományát foglalja magába, vízszintes irányú kiterjedése kb. 1000 km  $\times$  1000 km. Ebben a tartományban a fő szerkezeti elemek (topográfia, neogén-negyedkori üledékösszet, alsó kéreg és felső köpeny) a felső kéreg 2750 kg/m<sup>3</sup> sűrűségű, homogén eloszlásúnak feltételezett tömegeihez viszonyított rendellenességeket jellemzik, derékszögű, változó méretű térfogatelemek alkalmazásával. Ennek értelmében a felső kéreg, mivel önmagához viszonyítva nem jelent eltérést, nem eleme a modellnek (1. ábra).



1. ábra. A számításokban használt litoszféra modell és a számítási módszer vázlatja.

A modell által leírt rendellenes tömegeloszlás keltette erőteréből származó tömegvonzási gyorsulás három,  $x, y, z$  irányú komponense mind a topográfiai felszínen, mind a felszín alatt (pl. a geoid szintjében) analitikus képletekkel kiszámítható (pl. Nagy et al. 2000). Papp és Benedek (2000) eredményei alapján, elhanyagolva a függővonal görbületét és torzióját, valamint a modell tömege által keltett függőleges ( $z$  irányú) szabadlevegő gradienst (1. táblázat) kiszámítható adott  $(x, y, H)$  felszíni pontra és a neki megfelelő  $(x, y, H=0)$  vetületi pontra is a modellbe foglalt tömegeloszlási rendellenességek vonzó hatásának  $g_{z,model}^H$  ill.  $g_{z,model}^{H=0}$  függőleges, azaz  $z$  irányú összetevője (1. ábra). Az így kapott értékek a valódi és a normál nehézségi gyorsulás különbségeként értelmezhetők az ismertelt feltételezések mellett.

1. táblázat. A litoszféra modell által keltett szabadlevegő gradiensek statisztikái 3966 pontbeli érték alapján meghatározva. Az adatok összevetendők a  $+0.3086 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-2}$  normál értékkel. Az adatok mértékegysége  $\text{s}^{-2}$ .

min	max	átlag	szórás
$-0.333 \cdot 10^{-6}$	$+0.407 \cdot 10^{-6}$	$+0.550 \cdot 10^{-8}$	$\pm 0.532 \cdot 10^{-7}$

Képezve a különbséget:

$$\delta g_{z,model} = g_{z,model}^{H=0} - g_{z,model}^H \tag{3}$$

értelemben megkapjuk a nehézségi gyorsulás függőleges irányú változásának azt a összetevőjét, amelyet a modell által leírt helyi tömegeloszlás rendellenességei okoznak. Ennek értéke a vizsgált területen mindig negatív, hiszen a tengerszint feletti tömegek ellentétes irányban hatnak a litoszféra domináns szerkezeteivel (neogén-negyedkori üledékek, alsó kéreg és felső köpeny). A különbséghez hozzáadva a normál nehézségi gyorsulás szabadlevegő gradienséből adódó növekményt, becslést kapunk a Föld nehézségi erőtere által létrehozott valódi gyorsulás változásáról a tömegeken, azaz az  $I$  tartományon belül:

$$\delta g_I = +0.3086 H + \delta g_{z,\text{modell}} = (\partial g / \partial H)_I H . \quad (4)$$

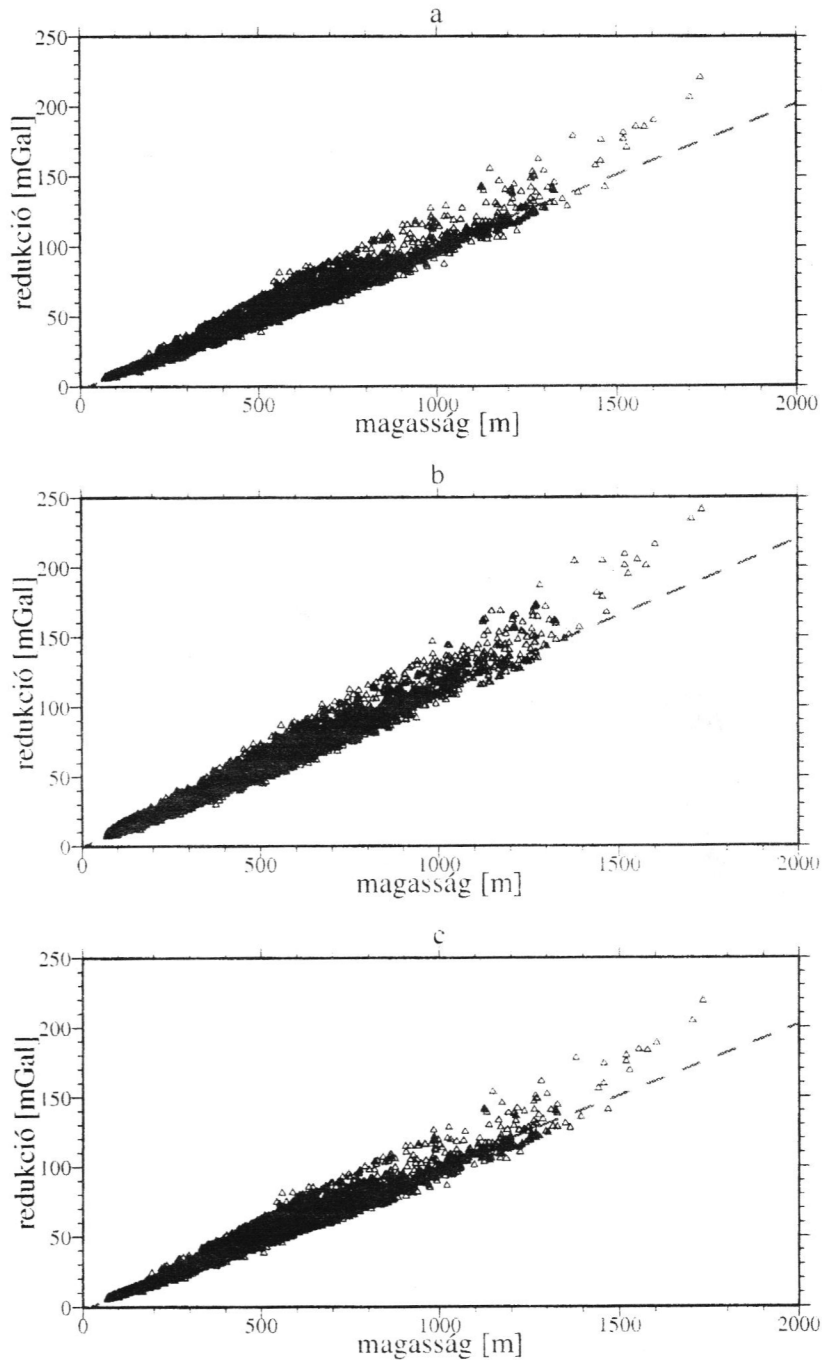
A  $\delta g_I$  értékét egy 121 x 81 pontot tartalmazó 5 km x 5 km-es centrális, azaz a szokásos eltolás nélküli EOVS rácsháló pontjaiban ( $-300 \text{ km} \leq y \leq 300 \text{ km}$ ;  $-150 \text{ km} \leq x \leq 250 \text{ km}$ ) kiszámítva olyan adatsort kapunk, amely pontról-pontra becslést ad arra vonatkozóan, hogy mennyit változik a  $g$  értéke a felszín és a tengerszint ill. geoid között. A 2/a ábra a  $\delta g_I$  változásoknak a  $|H|=|z|$  topográfiai magasságokkal való korrelációját mutatja abban az esetben, ha a topográfiai tömegek modellbeli  $\rho_t$  sűrűsége egységesen  $2670 \text{ kg/m}^3$ .

Feltételezve, hogy e korreláció lineáris, a regressziós egyenes meredeksége, azaz az egységnyi magasságváltozásra jutó nehézségi gyorsulásváltozás, amely a regressziós egyenes legkisebb négyzetes illesztésével határozható meg, becslést ad a Prey-féle gradiens értékére. A számítások ellenőrzésére, az elsőtől (ti. a homogén sűrűség-eloszlású topográfiai tömegeket tartalmazó ún. **A** modelltől) különböző további két litoszféra modellel végeztünk számításokat. A számításokban használt litoszféra modell variánsok leírása a 2. táblázatban megtalálható.

**2. táblázat.** A számításokban használt modell variánsok sűrűség adatai.

modell	topográfia	üledék	alsó kéreg	felső köpeny
<b>A</b>	$\rho = 2670 \text{ kg/m}^3$	$\rho =$ Bielik-féle (Bielik 1991) kompakciós modell ( $\Delta\rho = \Delta\rho(d)$ , ahol $d$ a mélység, $\Delta\rho$ a felső kéreg sűrűségéhez viszonyított sűrűség kontraszt és $\Delta\rho < 0$ )	$\rho = 3050 \text{ kg/m}^3$	$\rho = 3250 \text{ kg/m}^3$
<b>B</b>	$\rho \neq$ állandó $\bar{\rho} = 2460 \text{ kg/m}^3$	$\rho =$ Bielik-féle modell	$\rho = 3050 \text{ kg/m}^3$	$\rho = 3250 \text{ kg/m}^3$
<b>C</b>	$\rho = 2670 \text{ kg/m}^3$	$\rho =$ módosított Bielik féle modell ( $\Delta\rho = \Delta\rho(d)/2 < 0$ )	$\rho = 2900 \text{ kg/m}^3$	$\rho = 3000 \text{ kg/m}^3$

A 2/b ábra mutatja a  $\rho_t \neq$  áll. véletlenszerűen inhomogén (Papp és Benedek, 2000), azaz véletlenszám generátor alkalmazásával létrehozott ún. **B** sűrűségmodellből számított  $\delta g_I$  értékek korrelációját a felszíni magasságokkal, míg a 2/c ábrán olyan sűrűség-eloszlásból (az ún. **C** modelltől) számított adatok korrelációja látható, melyben  $\rho_t = 2670 \text{ kg/m}^3$ , de a tengerszint alatti szerkezeti egységeknek a felső kéreg  $2750 \text{ kg/m}^3$  átlagos sűrűségéhez viszonyított sűrűség különbségeit egységesen a felére csökkentettük. A 3. táblázat tartalmazza a Prey-féle gradiens értékét és megbízhatóságát mindhárom esetre vonatkozóan. Látható (v.ö. a 3. táblázatban az **A** és a **B** modellekből kapott



**2. ábra.** A  $\delta g_i$  nehézségi gyorsulás változásának korrelációja a  $|z|$  topográfiai magassággal a topográfiát alkotó közztömegek belsejében, különböző sűrűségmodellek esetében. a) **A** modell, b) **B** modell és c) **C** modell (2. táblázat)

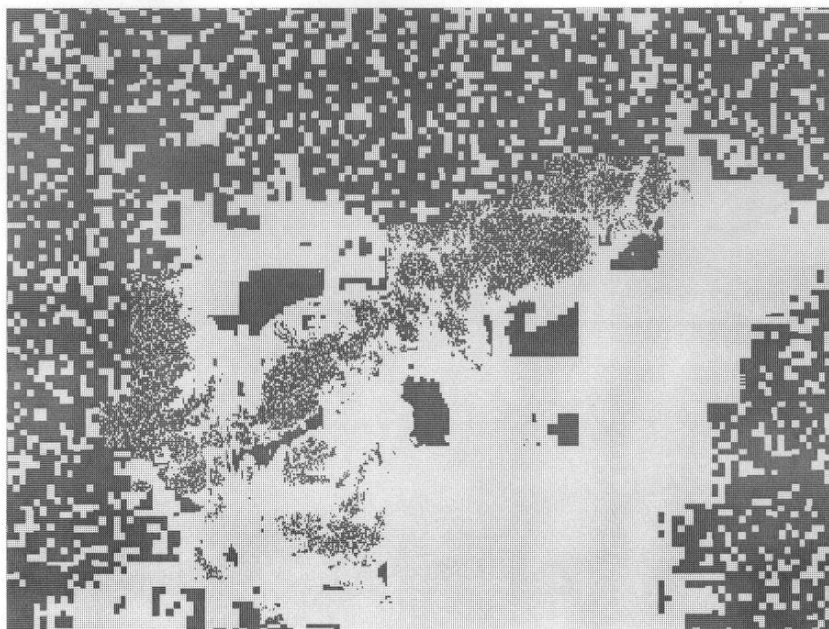
eredményeket), hogy egyik mennyiséget sem befolyásolja szignifikánsan a tengerszint alatti tömegek sűrűség-eloszlásának realiztikus mértékű megváltoztatása.

**3. Táblázat.** A Prey-féle gradiens ( $\partial g / \partial H$ ), értékei három különböző sűrűségmodell alapján.  $\mu_0$  a lineáris modell illeszkedését általánosan jellemző súlyegység középhibája.

modell	Prey-féle gradiens [mGal/m]	$\mu_0$ [mGal]	becsült $\rho_t$ [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>A</b>	+0.103760±0.00015	±3.65	2445
<b>B</b>	+0.116060±0.00018	±4.30	2298
<b>C</b>	+0.102760±0.00015	±3.66	2457

Az inhomogén topográfiával számított Prey-féle gradiens értékének a homogén modellből kapott értékhez viszonyított növekedése jó összhangban van a vizsgálati terület topográfiáját alkotó közettömegek átlagos sűrűségének csökkenésével (3. ábra).

Bármelyik megoldást tekintjük is, az világosan látszik, hogy jelentős eltérés tapasztalható a Bevezetésben hivatkozott Prey-féle gradiens érték és annak a litoszféra modell variánsok alapján számított értéke között a Pannon-medence belsejében.

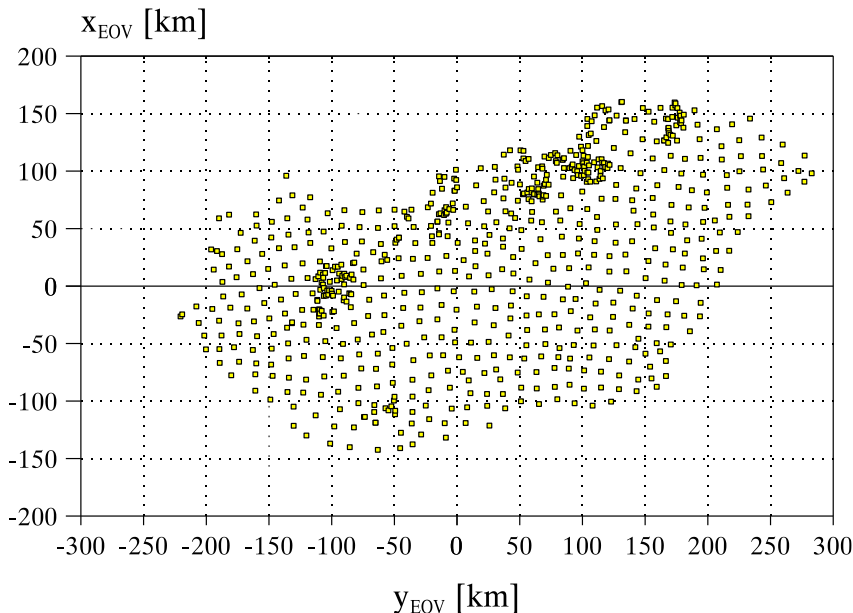


**3. ábra.** Véletlenszerűen inhomogén sűrűség-eloszlású topográfiai modell. A világoszürke területeken  $2000 \text{ kg/m}^3 \leq \rho_t \leq 2400 \text{ kg/m}^3$ , a sötétszürke területeken  $2400 \text{ kg/m}^3 < \rho_t \leq 2900 \text{ kg/m}^3$ . Az ábra a  $-300 \text{ km} \leq y \leq 300 \text{ km}$ ;  $-200 \text{ km} \leq x \leq 250 \text{ km}$  centrális EOV koordinátákkal határolt területet mutatja.

### Felszíni $g$ mérések redukciója Prey-Poincaré módszerével

Annak ellenőrzésére, hogy a litoszféra modell alapján számított Prey-féle gradiens felhasználásával valóban olyan  $g$  értékhez jutunk, amely jól tükrözi a nehézségi erőter szerkezetét a Föld tömegein belül, a Prey-Poincaré redukciót alkalmaztuk a ma-

gyar gravimetriai hálózat 730 pontjában. Ezekben a különböző topográfiai viszonyok figyelembe vételével összeválogatott pontokban (4. ábra) rendelkezésre állt a pontbeli kiegyenlített  $g$  érték (Potsdam dátum) és a ponthoz tartozó adriai tengerszint feletti magasság is.



4. ábra. A számításokhoz használt gravimetriai pontok helyzeti eloszlása.

A magassági adatok és a levezetett gradiens értékek (3. táblázat) alapján meghatároztuk a  $g$  értéket a tengerszinten ( $H = 0$ ), majd a pont ellipszoidi megfelelőjében a GRS80 (Gravity Reference System 1980) paramétereivel kiszámítva a nehézségi gyorsulás normál értékét képeztük a  $\Delta g_{Prey}$  nehézségi rendellenességeket:

$$\Delta g_{Prey}^{H=0} = g + (\partial g / \partial H)_I H - \gamma. \quad (5)$$

A mérésekből (5) szerint levezetett adatsor összevethető a litoszféra modellből analitikus, közelítésektől mentes képletek segítségével számítható nehézségi zavar értékekkel. Így ellenőrizhető, hogy a modell milyen mértékben tükrözi az erőter szerkezetének rendellenességeit az  $I$  tartományban a benne foglalt sűrűség-eloszláson keresztül. Jelen esetben eltekinthetünk attól a különbségtől, amely definíció szerint a nehézségi zavar és a nehézségi rendellenesség között fennáll (Heiskanen és Moritz, 1976). Az egyezés a mérésekből levezett és a modell számításokból kapott adatok között számszerűsíthető, ha pl. lineáris korrelációt tételezünk fel:

$$\Delta g_{Prey}^{H=0} = a + b \Delta g_{modell}^{H=0}, \quad (6)$$

ahol  $a$  és  $b$  modell paraméterek és  $\Delta g_{modell}^{H=0}$  a litoszféra modellből számítható nehézségi rendellenesség ill. zavar.

Papp (1998) modellszámítások alapján bemutatta, hogy a szabadlevegő nehézségi rendellenességek még a nemzetközi összehasonlításban igen "sima", azaz enyhén változékony topográfiával bíró Magyarországon is az elméletnek megfelelően jelentősen eltérnek ill. ellentétes tendenciákat mutatnak a tengerszinten, a tömegek belsejében számítható nehézségi rendellenességekhez viszonyítva. A felszíni mérések szabadlevegő redukciójával meghatározott anomáliák ezt a tendenciát még világosabbá teszik. Az 5. ábrán jól látszik, hogy a Prey-féle gradienssekkel (3. táblázat) a felszíni mért  $g$  értékekből a tengerszinten számított (5) rendellenességek pozitív értelemben korrelálnak a modelltől számítható  $\Delta g_{\text{modell}}^{H=0}$  értékekkel. Hasznosnak tűnik számszerűsítve bemutatnunk, hogy a szabadlevegő anomáliák esetében a korrelációs együttható értéke negatív, és a korreláció kevésbé vagy egyáltalán nem szignifikáns a Prey-féle anomáliákhoz viszonyítva (4. táblázat).

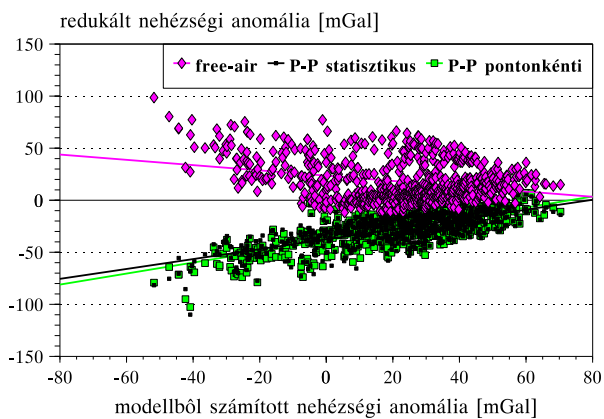
**4. táblázat.** Regressziós paraméterek.  $r$  a korrelációs együttható,  $b$  a regressziós egyenes meredeksége.  $\text{Prey}_1$  az adott modellre vonatkozó átlagos (statisztikus) Prey-féle gradienssel számított rendellenesség,  $\text{Prey}_2$  az adott modelltől pontonként meghatározott nehézségi gyorsulás változással számított rendellenesség.

modell	$\Delta g$ típusa	$r$	$b$
<b>A</b>	free-air	-0.30	-0.25
	Prey <sub>1</sub>	+0.72	+0.52
	Prey <sub>2</sub>	+0.74	+0.48
<b>B</b>	free-air	-0.28	-0.24
	Prey <sub>1</sub>	+0.71	+0.44
	Prey <sub>2</sub>	+0.71	+0.49
<b>C</b>	free-air	-0.58	-0.66
	Prey <sub>1</sub>	+0.81	+0.72
	Prey <sub>2</sub>	+0.84	+0.80

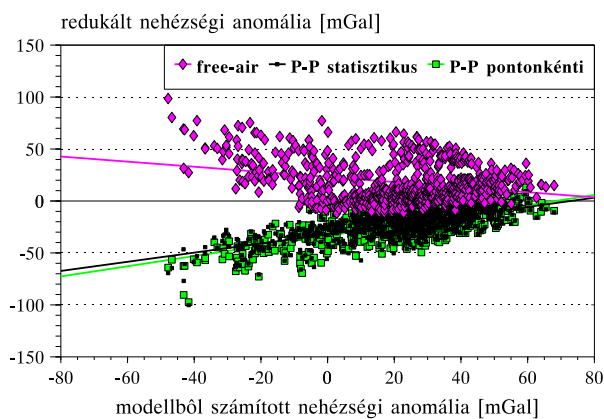
Ha a felszíni mérésekből levezetett Prey-féle rendellenességek az  $a$  állandó értéktől (6) eltekintve teljesen megegyeznének a modelltől számítható értékekkel, akkor a regressziós egyenes  $b$  együtthatója +1 lenne (egy-az-egyben megfelelés). A 4. táblázatból látható, hogy az **A** és **B** jelű litoszféra modellek esetén átlagosan kb. kétszer nagyobb rendellenességeket hoz létre a sűrűség-eloszlás, mint amekkora a mérések alapján várható. A **C** modell csökkentett tartományszélességű sűrűség értékeivel kapott rendellenességek esetén azonban  $b$  értéke +0.7 - +0.8-ra növekedett. Ez azt jelzi, hogy a tengerszint alatti fő szerkezeti egységek átlagos sűrűségei közelebb vannak a felső kéreg átlagos sűrűségéhez, azaz a sűrűség változás a litoszféra vizsgált tartományaiban kisebb skálán mozog, mint azt eddig pl. az **A** és **B** modellben feltételeztük.

### A Prey-féle együttható hatása az orthométeres magasságokra

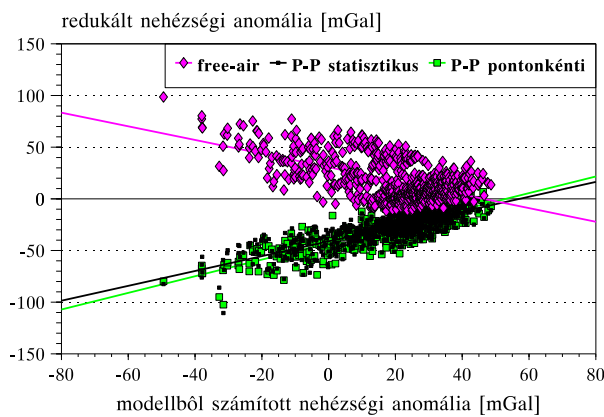
Amint az (1)-ből következik, ha valamely pont geopotenciális értéke adott, akkor a pont orthométeres magassága csak a ponton átmenő függővonal menti átlagos  $\bar{g}$  ér-



a



b



c

5. ábra. Különböző típusú redukcióval számított nehézségi rendellenességek korrelációja a litoszféra modellből számított értékekkel. a) **A** modell, b) **B** modell, c) **C** modell

téktől függ. Az  $\bar{g}$  érték kiszámításában mutatkozó bizonytalanságok ennek értelmében megmutatkoznak  $H$  értékében is. Feltételezve  $g$  változásának linearitását a felszín és a tengerszint között (homogén közegre és a viszonylag rövid szakaszra ez mindenképpen elfogadható közelítés) a felszíni adatok és a hozzájuk tartozó magasságok segítségével meghatározható, hogy mekkora különbséget jelent az orthométeres magasságok vonatkozásában, ha (2) szerint ill., ha a modellszámításokból, a különböző litoszféra modellek segítségével levezetett statisztikus Prey-féle gradienssel végezzük a redukciót. A geopotenciális érték állandósága miatt:

$$H_2 \bar{g}_2 = H_1 \bar{g}_1 \quad (7)$$

valamint

$$\bar{g}_1 = g + 0.0848 H_1 / 2, \quad (8)$$

$$\bar{g}_2 = g + (\partial g / \partial H)_I H_1 / 2, \quad (9)$$

ahol  $(\partial g / \partial H)_I$  a litoszféra modell variánsokból meghatározott valamely kiválasztott gradiens érték (2. táblázat),  $H_1$  a nehézségi mérési állomás ill. pont tengerszint feletti nyers szintezett magassága. Ebben az esetben a  $\bar{g}_2$  értékét adatsoronként, azaz litoszféra modellenként állandó Prey-féle gradienssel határozzuk meg. Mivel azonban a  $g$  változása a felszín és a tengerszint között pontonként is kiszámítható, ismét a változás linearitását feltételezve és (4)-nek (9)-be helyettesítésével:

$$\bar{g}_2 = g + (0.3086 H_1 + \delta g_{z,\text{modell}}) / 2. \quad (10)$$

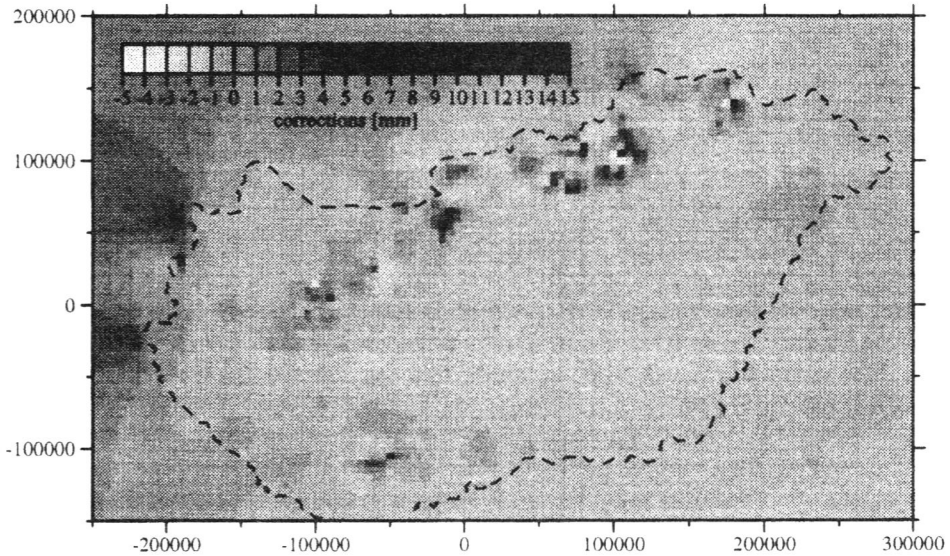
A (10) alkalmazásával gyakorlatilag pontonként változó, azaz helytől függő gradiens értékeket alkalmazunk  $\bar{g}_2$  értékének becslésére.

A  $\Delta H = H_1 - H_2$  különbségek statisztikáit az 5. táblázat foglalja össze. Mivel az **A** és **C** jelű litoszféra modellek hatása a Prey-féle gradiensre nem különbözött jelentősen, ezért a számításokat csak a **B** és **C** jelű modellekből kapott adatokkal végeztük el.

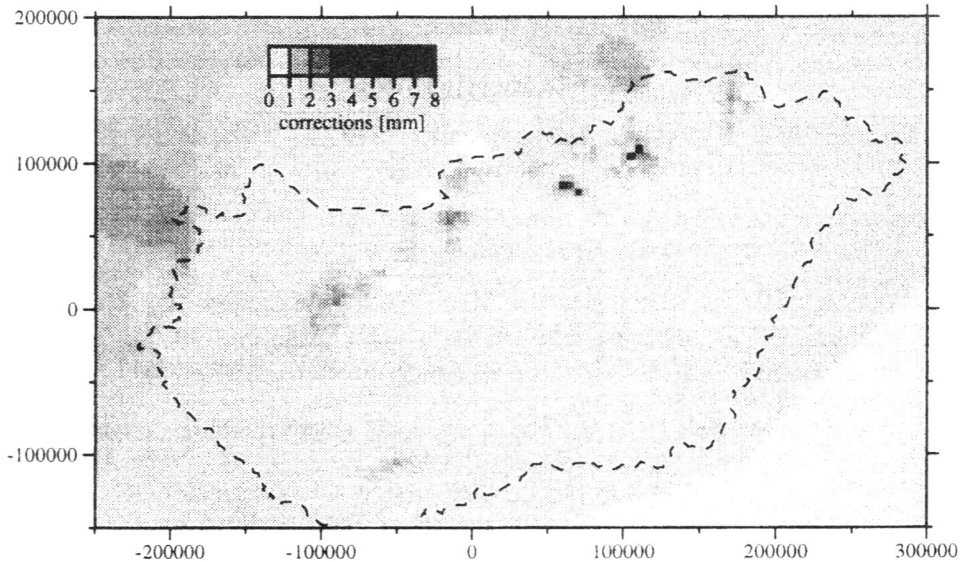
**5. táblázat.** A különböző Prey-féle gradiensekkel ill. a nehézségi gyorsulás változásának pontonkénti ismeretében meghatározott orthométeres magasságok különbségeinek statisztikái. A referencia magasságokat (8) képlettel számítottuk.

modell	$\Delta H$ [mm]			
	min	max	átlag	szórás
<b>B</b>	+0.10	+12.04	+1.03	$\pm 1.37$
<b>B</b> (pontonként)	-2.34	+14.20	+0.85	$\pm 1.54$
<b>C</b>	+0.06	+6.91	+0.59	$\pm 0.78$
<b>C</b> (pontonként)	-4.61	+8.81	+0.31	$\pm 1.11$

A  $\Delta H$  eltérések területi eloszlását a 6. és 7. ábrák mutatják.



**6. ábra.** A *B* modell felhasználásával pontonként meghatározott orthométeres magassági eltérések területi eloszlása. A szaggatott vonal Magyarország határvonalát jelöli, a sík koordináták centrális EOV rendszerben és méter egységben adottak.



**7. ábra.** A *C* modellből számított statisztikus Prey-féle gradiens felhasználásával meghatározott orthométeres magassági eltérések területi eloszlása. A szaggatott vonal Magyarország határát jelöli, a sík koordináták centrális EOV rendszerben és méter egységben adottak.

### Az eredmények értékelése és összefoglalása

Az eredmények alapján megállapítható, hogy jelentős eltérés mutatkozik a hagyományos, Bouguer-lemez közelítés alkalmazásával levezethető ill. a Pannon-medence litoszféra modellje alapján kiszámítható Prey-féle gradiens értékek között. A statisztikai-lag meghatározott gradiens értékekkel számított  $\Delta H$  korrekciók, melyek a felszíni pontok orthométeres magasságainak a  $g$  nehézségi gyorsulás függővonal menti átlagos értékének megváltozásából származó magasság változásokat jellemzik nem különböznek jelentősen a pontonként (10) szerint meghatározott  $\bar{g}_2$  értékekkel számított korrekcióktól. Talán az egyetlen lényeges különbség az, hogy a pontonkénti redukcióval képzett átlagos  $g$  értékek használatával negatív korrekciók ( $\Delta H < 0$ ) is észlelhetők a vizsgálati területen, mindkét litoszféra modell (**B** és **C**) esetében. Érdekes módon a jelentősebb negatív értékek sok esetben helyileg közvetlenül kapcsolódnak a  $\Delta H$  pozitív szélsőértékeihez (ld. a pontonként meghatározott korrekciókat az 5. és 6. ábrákon).

Ez bizonyosan a terep változékonyságával van összefüggésben és azt eredményezi, hogy a litoszféra modell alapján számított orthométeres magasság különbségek viszonylag rövid ( $\approx 10$  km) távolságokon akár cm-nyire is eltérhetnek a Prey-féle gradiens hagyományos (2) értékével meghatározott magasság különbségektől. Annak ellenére, hogy a tanulmányban levezetett Prey-féle gradiens értékek kb. 20-40 %-al nagyobbak a gyakorlatban használt értéknél, ennek hatása az orthométeres magasságokra csak néhány milliméter, a területi átlagot tekintve azonban alig éri el a +1 mm-t. A korrekciók területi eloszlása alapján figyelembe veendő értékek csak a középhegységi területeken és a Mecsek hegységben mutatkoznak. Az orthométeres magasságoknak ezen hibái a belőlük levezetett egyéb paraméterekben (pl. GPS geoid undulációk) is jelentkeznek és mindenképpen azt mutatják, hogy az erőter finom szerkezetének részletes ismerete nélkül a magassági rendszerek centiméter alatti ill. néhány terület vonatkozásában centiméteres pontossága nem biztosítható.

### Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti az Országos Tudományos Kutatási Alapot, amiért a T025318 sz. és a T015960 sz. kutatási programokon keresztül finanszírozta az ismertetett vizsgálatokat.

### Hivatkozások

- Bielik M** (1991): Density inhomogeneities of the Earth's crust of the Intra-Carpathian Region. Contr. Geophys. Inst. Slov. Acad. Sci., 21, 79-92.
- Heiskanen WA, Moritz H** (1967): Physical Geodesy. W.H. Freeman and Co., San Francisco and London.
- Nagy D, Papp G, Benedek J** (2000): The gravitational potential and its derivatives for the prism. Journal of Geodesy, 74. pp. 552-560.
- Papp G** (1998): Szabadlevegő nehézségi rendellenességek és geoidundulációk szimulációja a Pannon-medencében. Éves részjelentés a 22807 sz. BME kutatási program számára, MTA GGKI, Sopron.
- Papp G, Benedek J** (2000): Numerical modelling of gravitational field lines - the effect of mass attraction on horizontal coordinates. Journal of Geodesy. 73. pp. 648-659.

## A HAZAI AKTÍV GPS HÁLÓZAT KIÉPÍTÉSÉNEK ÉS FENNTARTÁSÁNAK AKTUÁLIS KÉRDÉSEI

*Borza Tibor*\*

*Az 1-2 cm pontosságú helymeghatározás leghatékonyabb eszköze a GPS technika. Ezt a pontosságot, egyidejűleg több GPS vevő méréseinek különbség képzésével, azaz relatív mérési módszerrel lehet elérni. A relatív mérésnél a GPS felhasználónak gondoskodnia kell ismert ponto(ko)n felállított ún. bázisvevő(k) üzemeltetéséről. Egyetlen bázisvevő, a pont egy meghatározott környezetében, tetszőleges számú felhasználót képes kiszolgálni. Ebből adódik, hogy ha az alkalomszerűen felállított bázisállomások helyett, folyamatosan üzemelő ún. permanens GPS állomásokat telepítünk, akkor nem csak a bázisállomásról való gondoskodás feladata szűnik meg, de az egységes referencia rendszer biztosításának a kérdése is megoldódik. A permanens állomások közös irányítás alatt álló, a mérések egységes kezelését ellátó rendszerét nevezzük aktív GPS hálózatként. A tanulmányban az állami földmérés keretében tervezett hazai aktív GPS hálózat létesítésének körülményeivel, költségkihatásával, valamint a hagyományos technikával való összehasonlításával foglalkozunk.*

### Bevezetés

Az állami földmérés egyik alapfeladata az ország geometriai rendjének a fenntartása, biztosítása. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy a geodéziai alaphálózatokat a kor követelményeihez kell alakítani. A jelenkor nagy kihívása, a több száz éves, kővel állandósított hálózatok felváltása aktív GPS hálózatra. Nemzetközi aktív hálózatot már a GPS technika kezdetekor létrehoztak (CIGNET), az ebből kinövő IGS (Nemzetközi GPS Szolgálat) vagy EUREF hálózatok pedig mára meghatározó szerepet töltenek be a földtudományokban. Az első országos hálózat terve is igen korán elkészült (Delikaraoglu 1986). Az aktív GPS hálózat létrehozását, mint a jövő elkerülhetetlen fejlődési irányát, egyre több ország ismerte fel, ennek megfelelően, a fejlett, elsősorban kisebb területű országok mára kiépítették saját hálózatukat.

A hazai geodéziában éppen egy évtizede jelent meg a GPS technika és mára elismerten a legnépszerűbb helymeghatározási eszköz lett annak ellenére, hogy:

- A technika nem olcsó, ráadásul a geodéziai (relatív) mérésekhez legkevesebb egy műszerpár szükséges.
- A GPS technika a szokásosnál nagyobb felkészültséget igényel. El kell sajátítani a térbeli számítási eljárásokat, ismerni kell a geocentrikus, valamint a hazánkban hivatalos EOV rendszer közötti átszámítást és a geoid szerepét is.

E nehézségeken sokat segít az aktív GPS hálózat, amelyre támaszkodva egyetlen GPS vevővel is lehetséges a cm pontosságú helymeghatározás, és ha a felhasználó nem akar foglalkozni a mérések feldolgozásával, akkor lehetősége nyílik arra is, hogy megkerülje. A felhasználónak nem kell bázisállomást telepíteni; nem kell az ismert pont adatait beszerezni, nem kell a pontot felkeresni és azon mérést végezni. Teljes figyelmeztetést az új pontok meghatározására fordíthatja. Természetesen az aktív hálózat szolgáltatásaiért térítést kell fizetni, de annak összege lényegesen alatta marad a bázisállomás üzemeltetési költségeinek.

Az aktív GPS hálózat kiépítésének első lépése a permanens állomások felállítása. Magyarországon 1996-tól működik eddig az első permanens GPS állomás a FÖMI KGO üzemeltetésében (Kenyeres, Borza 1996). A permanens állomás nem azonos egy adott helyen működő GPS vevővel. Meghatározásával, feladatával, felépítésével a (Kenyeres 1998) írásban találkozunk. A penci állomás nemzetközi összehasonlításban is példaértékű (Kenyeres 1999), az ott szerzett tapasztalatok jól hasznosíthatók a további permanens GPS állomás létesítésénél.

### **A rendszer üzemeltetőjéről**

Bár nincs akadálya annak, hogy egy országban több aktív GPS hálózat is létesüljön, a hálózat egy kézben tartása nyilvánvaló előnyökkel jár. Hatékonyabb, ha valamilyeni állomás egységes vezérléssel, azonos adatstruktúrával, azonos technikai felszereltséggel üzemel. Kisebb így a hiba lehetősége, könnyebb azok elhárítása, kevesebb tartalék berendezés kell, de könnyebb a felhasználók dolga is, hiszen egyetlen szervezettel kell csak tartani a kapcsolatot, egyetlen adatkezelési formát kell csak elsajátítaniuk. A referencia rendszert néhány mm pontossággal, a permanens állomások koordinátái biztosítják. Ügyelni kell ezért, hogy ezen koordinátákban, csak rendkívül indokolt esetben következzen be változás. Több üzemeltető esetén az egységes referencia kérdése is bizonytalanná válhat.

Bár a helymeghatározást éppen a GPS technikának köszönhetően egyre szélesebb körben használják, a cm pontos, tehát a kataszter és más jogkövetkezmennyel járó geodéziai feladatok jelentősége miatt az állami földmérés a leghivatottabb az aktív GPS hálózat megvalósítására. Van azonban európai példa arra is, hogy több ágazat együttesen üzemelteti a rendszert (Husti 2000). A hálózat egy kézben tartása nem jelenti azt, hogy ne lehetne akár a magán szektorra is támaszkodni. A költségekhez hozzájáruló cégek, szervezetek, kedvezményes szolgáltatásokhoz juthatnának.

### **Hány állomásból álljon a magyar hálózat?**

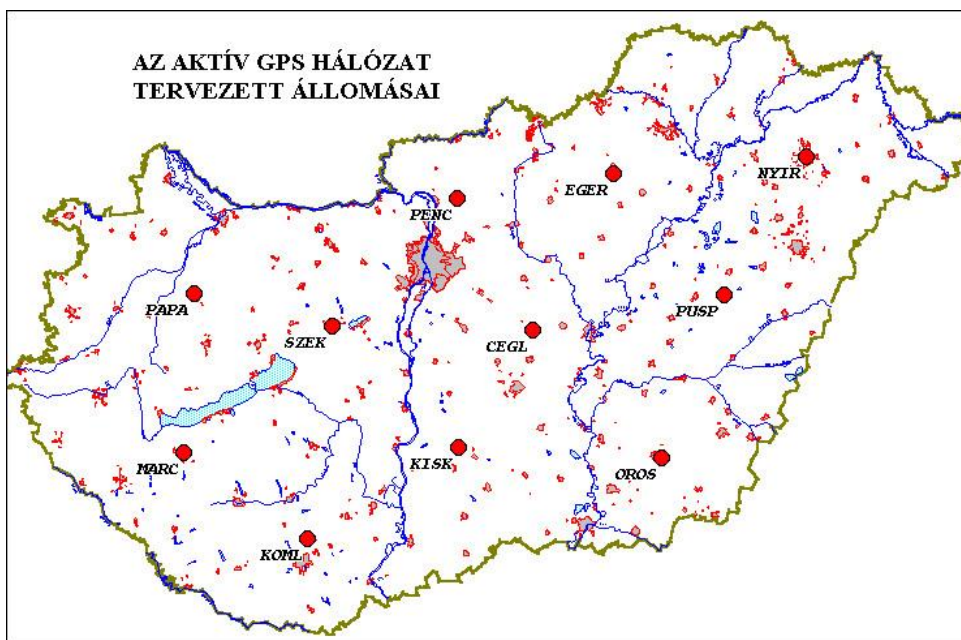
A felhasználók szempontja egyértelmű, minél sűrűbb egy hálózat annál jobb, hiszen a rövidebb vektorok meghatározásához kevesebb észlelési idő szükséges. A fenntartási költség azonban állomásonként (később látni fogjuk) 2.5 mFt (nettó), ezért a feltétlenül szükséges állomásszám jöhet csak szóba. Meg kell tehát találni az optimális arányt, ami mind a felhasználó, mind az állami földmérés számára már, ill. még megfelelő.

Kétfrekvenciás GPS vevőkkel jelenleg mintegy 50 km hosszú vektorok megbízható méréséhez kb. 30 perc szükséges. (Ha a feltételek optimálisak, 10 perc is elegendő.) Fél óránál több időt mérésre fordítani ezért, felhasználói szempontból már nem gazdaságos. Biztosítani kell tehát, hogy az ország minél nagyobb területéről legfeljebb 40-50 km távolságra elérhető legyen egy permanens állomás. Hazánkat tekintve ehhez legkevesebb 11 permanens állomás szükséges. Összehasonlításképpen; Ausztria 15 (Erker et al. 1999), Belgium 7 (Bruyninx et al. 1999), Hollandia 5 (Molendijk et al. 1999), Svájc 6 (Gubler et al. 1999), állomást üzemeltet. A mi tervezett 11 állomásunk tehát megfelel egy szerényebb európai sűrűség szintnek. Egyfrekvenciás vevőkkel a 30 km-t nem célszerű túllépni. Ennek az igénynek a kielégítésére több mint 30 állomást kellene működtetni, aminek a megvalósítása egyelőre irreális. A tervezett sűrűségű aktív GPS hálózatot az egyfrekvenciás vevők ezért csak az ország területének 40 %-án képesek használni.

Ha az állami földmérés a hálózat gazdája, akkor a legtöbb állomást a földhivatali rendszeren belül célszerű üzemeltetni. A helyszín kiválasztásánál meg kell mérni a kiválasztott pontok elektromágneses zajszintjét is.

Hol legyenek a permanens állomások? Penc, mint központ már adott. A további 10 állomást, az 50 km-es feltétel figyelembevételével, körültekintő tervezéssel jelöltük ki (1. ábra). Nyugatról keletre haladva a legvalószínűbb állomáshelyek: Pápa, Marcali, Komló, Székesfehérvár, Kiskőrös, Cegléd, Eger, Orosháza, Püspökladány, és Nyíregyháza.

A permanens állomások mérési adatai automatikusan naponta a penci központba érkeznek. Ott kerülnek archiválásra, szolgáltatásra, ill. feldolgozásra. A feldolgozás eredménye egyrészt a referencia rendszert hivatott ellenőrizni, másrészt egyedülálló tudományos célt is szolgál.



1. ábra. Az aktív GPS hálózat tervezett állomásai.

Megemlítjük még, hogy a BME Általános és Felsőgeodéziai Tanszéke ez év őszén beindította a saját permanens állomását Budapesten. Az állomás nem lesz szerves része az állami földmérés hálózatának, de Budapest térségében jól kiegészíti azt. Az adatok azonos feltételekkel és módon lesznek hozzáférhetők. Az együttműködést elsősorban tudományos területre terjesztjük ki.

### Az aktív GPS hálózat szerepe, hasznosítása

Az egységes vonatkozási rendszer, valamint a minden igényt kielégítő pontosság biztosítása mellett, címszavakban az alábbi további területeken látjuk még a hálózat kiemelkedő jelentőségét.

- A földhivatalok műszaki színvonalának fejlesztése, minőségbiztosítási és ellenőrző feladatainak korszerű ellátásához,

- a digitális térképek frissítésére rendszeres időközönként végzett fotogrammetriai repülésekhez földi bázishálózat biztosítása,
- birtokrendezési, topográfiai feladatok hatékony, helyszíni végzése,
- általánosságban az állami földmérés szolgáltatási feladatainak magasabb szintű végzése,
- felhasználók kiszolgálása.

A földhivatalokat az ország azon térségében célszerű GPS technikával ellátni, ahol az aktív GPS hálózat kiépült. A földhivatalok bekapcsolása a rendszerbe, jelentős mértékben hozzájárul a legkorszerűbb, egyben leghatékonyabb helymeghatározási technika általános használatához, elterjesztéséhez.

### **Költségbecslés**

Bármennyire is vonzó egy terv, a megvalósításának sarokpontja legtöbbször a költségek előteremtése. Mibe kerül egy 10 állomásos aktív GPS hálózat kiépítése és fenntartása? (A 11-ik állomás Penc mint IGS és EUREF állomás a hazai hálózattól függetlenül is üzemel.) Mai árakon (2000 év) egy permanens állomáshoz a szükséges hardver eszközök (GPS vevő, számítástechnika, szünetmentes tápellátás, hálózati elemek), valamint hálózati és vezérlő szoftver, beleértve a rendszer installálását is, kereken 10 mFt-ból megoldható. A technika amortizálását vegyük 5 évre, ami azt jelenti, hogy a 10 állomásból évente kettőnek a cseréjére kerül sor. A lecserélt két műszer értékesítésével, az egyik új műszer beszerezhető.

A kiépítési időszakban évi 3-4 állomással célszerű számolni, hogy 3 év alatt a rendszer teljes legyen. A kiépítés utáni időszakban az eszközökre fordított költség évente 20 mFt. Az egyes állomások felügyelete, valamint a központi állomás megnövekedett feladatainak ellátása további 5 mFt-ot igényel. A 11 db. permanens állomásból álló hazai hálózat fenntartása tehát 2000 évi árakon számítva 25 mFt/év, amiből lejön a lecserélt GPS műszerek értékesítéséből származó bevétel. Az összegek nettó árak! Szembeállítva a hagyományos hálózat fenntartási költségeivel, annak töredékét teszi csak ki.

Az aktív GPS hálózat működtetése egyfajta szolgáltatás, tehát bevétellel is jár. Sőt a geodéziai hálózatok történetében először nyílik lehetőség a vonatkozási rendszer fenntartásának akár a megtérülésére is. Ameddig a hagyományos hálózatok esetében a felhasználók csupán a pontok koordinátáit igénylik, addig itt a szinkron méréseket is be kell hogy szerezzék. A mérési adatokat ellentétben a pontleírásokkal, nem lehet eltenni, és újra felhasználni. Jelentősen nő tehát az értékesített termék aránya. További lehetőség még a terepi mérések feldolgozásának a felvállalása, tehát a koordinátaszámítás. Vannak vállalkozók, akik a GPS használatát az új pontok megmérésére szeretnék korlátozni.

### **Összehasonlítás a korábbi technikákkal**

Az aktív GPS hálózat azt a szerepet tölti be, amit korábban a kövel állandósított hagyományos hálózatok. Biztosítja a lehetőséget a pontmeghatározáshoz az ország egész területén és biztosítja a néhány mm pontos referencia rendszert. Elvi akadálya tehát nem lesz annak, hogy vitás ügyekben eljárva, a koordinátarendszerhez képest, tehát abszolút rendszerben, 1cm pontosan lehessen a mérést elvégezni. (Más kérdés, hogy a földnyilvántartás jogi és műszaki oldala között, mikor lesz teljes az összhang.)

Az 1. táblázatban összefoglaltuk a jelenleg használatos pont meghatározási eljárásokat. Mindhárom technika alkalmazható, de az aktív GPS hálózatos meghatározás szembevetően a legkedvezőbb. Hangsúlyozni szeretnénk, hogy a hagyományos hálózat felváltása nem azt jelenti, hogy ezt a több milliárd forintos értéket kidobjuk az ablakon,

csupán azt, hogy új pontok GPS koordinátáit a jövőben nem a kövel állandósított hálózati pontokból vezetjük le.

**1. táblázat.** A Magyarországon jelenleg használatos pont meghatározási módszerek összefoglalása.

	Hagyományos hálózat, földi technika	GPS hálózat, GPS technika	Aktív GPS hálózat, GPS technika
<b>Referencia rendszer és alaphálózati jellemzők</b>			
Vonatkozási rendsz.	HD-72	ETRS-89	ETRS-89
Alaphálózat neve	EOVA	OGPSH	aktív GPS hálózat
Pontok száma	50 000	1150	11
Karbantartás	2-10 évente	2 évente	üzemszerűen
Pontpusztulás	1-2% / év	1-2% / év	nincs
<b>A hálózatok létesítési, megtérülési és fenntartási költségei (nettó, 2000-ben)</b>			
Létesítési költségek	5-8 milliárd Ft	60 millió Ft	110 millió Ft
Értékesítendő adatok	EOVA pontleírás	OGPSH pontleírás	GPS mérési adatok
Adatok díja	700 Ft/pont	1000 Ft/pont	5000 Ft/nap
Opcionális értékesítési lehetőség	nincs	nincs	mérések feldolg. (1000-3000Ft/pont)
Évi közvetlen bevétel	2-3 mFt		6-12 mFt <sup>1</sup>
Háló.fenntart. költs.	100 mFt/év <sup>2</sup>		16 mFt/év <sup>3</sup>
Közvetett megtérülés	20 mFt <sup>4</sup>		
Megtérülési idő	nem térül meg		6 év
<b>V. rendű és felmérési alappontok meghatározásával kapcsolatos jellemzők</b>			
<i>A munkavégzés feltételei</i>	időjárás és napszak függő	időjárás és napszak független	időjárás és napszak független
Előkészületi munka	EOVA pontok kigyűjtése	OGPSH pontok kigyűjtése	nincs
Mérő személyzet min.	2 fő	2 fő	1 fő
Felkeresett ismert p.	min. 2 db	min. 2 db	nincs
Mérési idő	30 perc - 3 óra	10-30 perc	10-30 perc
Kapott koordináták	EOV (2+1D)	EOV, OGPSH (3D)	EOV, OGPSH (3D)
Vízs. pontosság	1-2 cm	1-2 cm	1-2 cm
Magass. pontosság	3-20 cm (trigma)	2-4 cm	2-4 cm
Költség/pont <sup>5</sup>	6-15 eFt	5-7 eFt	4-5 eFt

<sup>1</sup>Tervezett összeg, az aktív GPS hálózat teljes kiépítése utáni időszakra

<sup>2</sup>A földhivatali pontfelügyelet-, valamint a rongált, elpusztult pontok helyreállítási költségeire

<sup>3</sup>A két db amortizálódott GPS vevő értékével csökkentve (enélkül 25 mFt)

<sup>4</sup>Az adatérték díj összegének (400 mFt) az 5 %-át az alappont hálózat képezi

<sup>5</sup>A mérés és feldolgozás költsége több mint 10 db pont meghatározása esetén

Az így meghatározott pontok EOVS koordinátáit azután a környező - mindkét rendszerben ismert pontok (mint az OGPSH), - alapján kell transzformálással számítani. Az EOVS rendszerben nem keletkezik tehát feszültség, ugyanakkor szükség esetére, az EUREF'89 (ittthon OGPSH) rendszerben rendelkezésre állnak a nagyobb pontosságú GPS koordináták.

A hagyományos hálózat karbantartása azonban igen sok pénzt igényel, ezért már ma sem vagyunk képesek a pontpusztulás mértékével tartani a lépést. Zemplén és Szabolcs megyékben (ahol a legrégebbi a hálózat) például az OGPSH létesítésekor több helyen 10 km-es körzetben egyetlen pontot se sikerült találni, így újakat kellett állandósítani. A jövőben, mivel a technikai feltétele megvan, elegendő ott és akkor végezni a pontsűrítést, ahol és amikor az valóban szükséges. Ez a leghatékonyabb módja az alapponatok létesítésének, mert nem kerül sor olyan pont állandósítására, amelyet a későbbiekben nem használunk fel.

### **A tőlünk független műholdas rendszerre való támaszkodás kockázata**

A hagyományos hálózat teljes megtartása mellett kardoskodók meg szokták kérdezni: Mi lesz a hazai geodéziai alapokkal, ha az USA váratlanul zárolja a GPS technikát. (Technikai lehetősége egy ilyen akciónak elvileg fennáll.)

Az USA a GPS rendszert nem a külföldiek számára hozta létre, hanem elsősorban a saját érdekeit szem előtt tartva. Nem véletlen, hogy a GPS rendszer felhasználóinak döntő részét az USA adja. Erre épül az Intelligens Közlekedési Rendszer, a teljes térinformatika, geodézia stb. Ha a rendszer használatát lehetetlenné tennék a civil felhasználók számára, akkor ennek mindenképp az amerikai társadalom látná kárát. A fenti aggodalmak eloszlatására, az amerikai elnök 1996-ban egy dekrétumot adott közre. A dekrétum leszögezi, hogy a polgári felhasználást garantálják, sőt 10 éven belül a pontossági romlást is kikapcsolják. (Nem kellett 10 évet várni, mert 2000 május 2-án kikapcsolták az SA-t.) Az idej elnöki közlemény kimondja, hogy további civil frekvenciát fognak felhelyezni a holdakra. A tendencia tehát éppen az ellenkezője annak, mint azt az aggodalmaskodók várnák.

Ha ennek ellenére továbbra is kételyeink lennének a GPS technika maradandóságában, megjegyezzük, hogy 2008-ig Európa is kiépíti saját rendszerét a Galileot, nem beszélve a működő orosz GLONASS-ról. Nem valamilyen korlátozásra kell tehát számítani, hanem sokkal inkább a globális helymeghatározás kiszélesítésére, az üzemeltetők versenyére. Ha a szkeptikusokra hallgatnánk, még ma is a logarlécet és szögfüggvénytáblát használnánk, persze a termelői kapacitásunk is ennek megfelelő szinten állna.

Befejezésül még egy gondolat. Konzervatív szemlélet szerint csakis a kövel állandósított geodéziai alappontok garantálják az egységes vonatkozási rendszert. A hálózat sérülése tehát a vonatkozási rendszerünk sérüléséhez vezet. Ennek az érvelésnek van egy hibája. Megfeledeznek arról, hogy a referenciarendszert már nem csupán a kifejezetten erre állandósított alappontok rögzítik. Folyamatban van az ország digitális felmérése, amelynek eredményeként minden településen sok ezer koordinátával rendelkező azonosítható pont keletkezik. A cél, belátható időn belül az ország lefedése digitális térképekkel. Azokon a területeken, ahol ez az állapot fennáll, a geodéziai jelek elveszítik kizárólagosságukat, mert valamennyi digitális pont (adott pontossággal) rögzíti a vonatkozási rendszert is.

## Összefoglalás

Az aktív GPS hálózatok jelentik a geodéziai pontosságú, legkorszerűbb helymeghatározás infrastruktúráját. A hálózat létrehozását ezért késleltetni lehet, de megakadályozni nem. Az állami földmérés történetében először van esély arra, hogy a térinformatika alapját képező geodéziai hálózatok és vonatkozási rendszerek kifejlesztésébe fektetett költségek megtérüljenek. Az aktív GPS hálózat lehetővé teszi, hogy a felhasználók lényegesen kedvezőbb feltételek mellett használják a GPS technikát, ezért a műholdas helymeghatározás elterjedési ütemének felgyorsulása várható. A GPS technika használatának mértéke jó fokmérője az ágazat általános technikai színvonalának. Az állami földmérés által koordinált aktív GPS hálózat kiépítésével párhuzamosan javasoljuk megoldani a földhivatalok technikai továbbfejlesztését.

## Hivatkozások

- Delikaraoglu D** (1986): Report on a Canadian Active Control System using GPS. Reprint from the Institute of Navigation Proceedings of the National Technical Meeting, Long Beach, CA.
- Kenyeres A, Borza T** (1996): Az első hazai permanens állomás: PENC . 11. Kozmikus Geodéziai Szeminárium kiadványa, Budapest.
- Kenyeres A** (1998): Permanens állomás(ok) a hazai geodéziai gyakorlatban. Geomatikai Közlemények I. Sopron.
- Erker E et al.** (1999): National Report of Austria. EUREF Publication No.7/1. Frankfurt.
- Bruyninx C et al.** (1999): National Report of Belgium. EUREF Publication No.7/1. Frankfurt.
- Molendijk R et al.** (1999): National Report of the Netherlands. EUREF Publication No.7/1. Frankfurt.
- Gubler E et al.** (1999): National Report of Switzerland. EUREF Publication No.7/1. Frankfurt.
- Kenyeres A** (1999): Az aktív GPS hálózatok helyzete Európában és Magyarországon. A 12. Kozmikus Geodéziai Szeminárium előadásainak gyűjteménye. Székesfehérvár.
- Husti GJ** (2000): Global Positioning System. Delft University Press – III.

## EOMA 2000-BEN

*Németh Zsuzsanna, Virág Gábor\**

*Ez az anyag röviden áttekinti Magyarország szintezési hálózatait és alapfelületeit, az EOMA létesítését és a jelenleg folyó munkálatait, a szintezési szabályzatokat és hazánk részvételét a nemzetközi kiegyenlítésekből.*

### **Magyarország szintezési hálózatai**

A mai Egységes Országos Magassági Alaphálózatunk (EOMA) áttekintése előtt röviden a korábbi magassági (= szintezési) hálózatokat tekintjük át, mivel a mai hálózat nem csupán az előző munkák tapasztalatait vette át, hanem konkrét fizikai valóságában is van közöttük kapcsolat.

#### **1) A Bécsi Katonai Földrajzi Intézet szintezési hálózata (1873 – 1913)**

Magyarország területén az első összefüggő, szabatosnak nevezhető, előre megtervezett szintezési hálózat kialakítására az „Európai Fokmérés” 1871. évi ülésének határozata alapján került sor. Az Osztrák-Magyar Monarchia területén a szintezést 2 szakaszban végezték, a magyarországi részt 1873 – 1899 között. A Monarchia területén 7 főalappontot építettek, ezek közül 4 esett az akkori Magyarország területére, és csak egy maradt az új határainkon belül: az 1878-ban épített Nadap főalappont (őspont, melyet ma gyakran Nadap I-nek nevezünk)

Az Osztrák-Magyar Monarchia magassági alaphálózat alapszintjét az Adriai tenger Triesztben lévő Molo Sartorio mareográfjához való csatlakozással határozták meg, amelynek során a mareográf 1875. évi megfigyeléseit vették figyelembe. Ezt nevezzük Adriai alapszintnek.

Az 1900-as évek elején megállapították, hogy az 1875 évi középtengerszint 9 cm-rel tért el az ezt követő 8 év méréseinek középértékétől. A Monarchia más területein létrehozott egyes szintezési hálózatoknál ezt az eltérést már figyelembe vették, de hazánkra vonatkozó adatokban továbbra is az 1875. évi középtengerszint szerepelt. A legutóbbi horvát-szlóven vizsgálatok szerint a 18 éves periódusra vonatkozó középtengerszint 12 cm-re tér el az 1875. évitől.

#### **2) Az 1921 – 44. évi magassági alapponthálózat – Gárdonyi-féle szintezés**

A Háromszögelő Hivatal az előző szintezési hálózat pontjait is felhasználva kb. 6000 km elsőrendű vonalhosszúságú 38 elsőrendű poligonból álló, világviszonylatban is nagyon jónak számító hálózatot hozott létre (1. ábra). Mivel hazánk ekkor már nem rendelkezett tengeri határral, ezért kénytelenek voltak Nadap főalappontnak a Bécsi Katonai Földrajzi Intézet által meghatározott 173.8385 m-es magasságát elfogadni, és így a szintezés alapfelülete az a szintfelület volt, amely a Nadap ősponton áthaladó függővonal érintőjének a pontjel alatt 173.8385 méterre lévő pontján megy át. Ezt a szintfelületet nevezzük Nadapi alapszintnek.

\*Földmérési és Távérzékelési Intézet, Kozmikus Geodéziai Observatórium  
1373 Budapest, Pf.546.

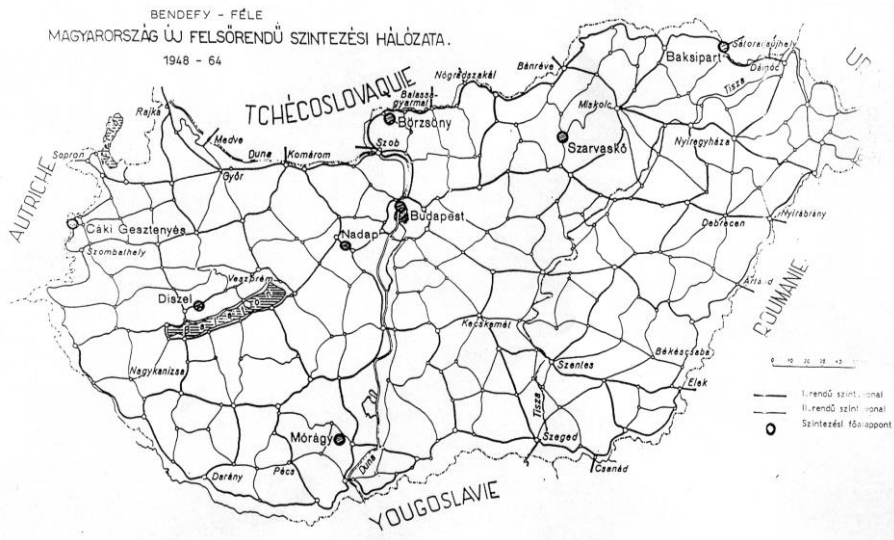
E-mail: [nemeth@sgo.fomi.hu](mailto:nemeth@sgo.fomi.hu)  
[Virag@sgo.fomi.hu](mailto:Virag@sgo.fomi.hu)



1. ábra. Gárdonyi-féle szintezés (1921-44).

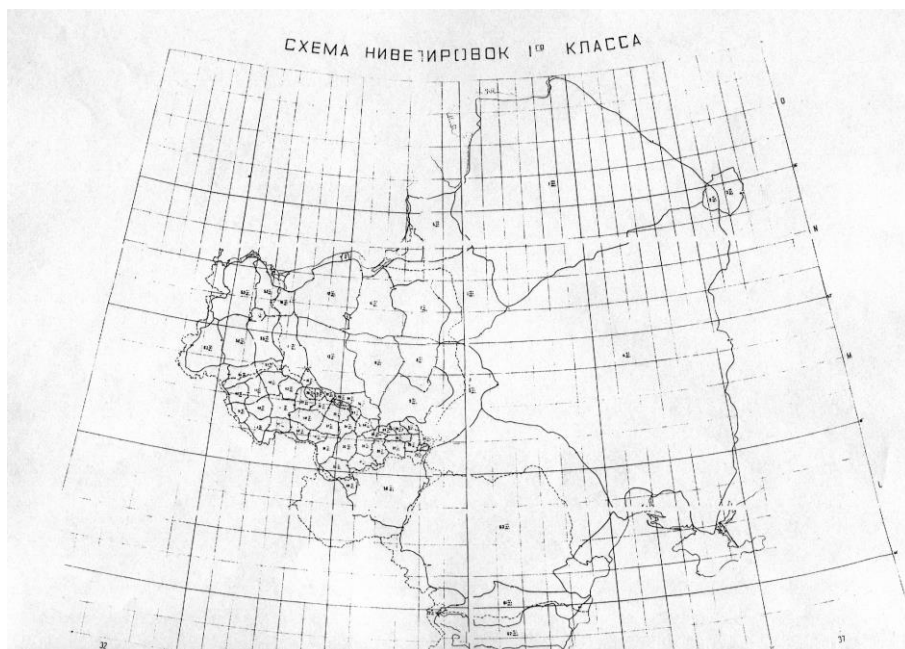
### 3) Az 1948 – 64. évi szintezési hálózat – Bendefy-féle szintezés

A második világháborúban elpusztult a geodéziai pontjelek tetemes része és fontos irodai munkarészek tűntek el. Ezért szükség volt új hálózat létrehozására (Bendefy 1957). Az elsőrendű hálózat 33 poligonból állt (2. ábra). A felsőrendű hálózat – beleértve az I, II, III. rendű vonalakat, a mellék és kiegészítő hálózatot is – teljes hossza kb. 30 ezer km volt, több mint 21 ezer alapponttal. 1951-ben megépítették Nadap-II. új főalappontot (Nadap I. őspont gránitba csiszolt, közel sík lapfelülete nem tette lehetővé a szabatos pontraállást) és még 7 sziklába telepített főalappontot (Baksipart, Börzsöny, Budapest, Cáki gesztenyés, Diszel, Mórág, Szarvaskő).



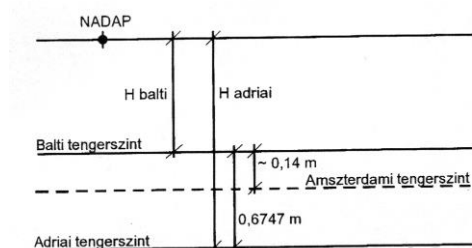
2. ábra. Bendefy-féle szintezés (1948-64).

A Szocialista Országok Geodéziai Szolgálati egy ún. Kelet-Európai Szintezési Hálózatot hoztak létre (Szovjetunió nyugati területe, Lengyelország, Csehszlovákia, Német Demokratikus Köztársaság, Magyarország, Románia és Bulgária részvételével), melyet 1957-ben kiegyenlítettek (3. ábra). Magyarországról az addig lemért 4 szintezési vonal vett részt a kiegyenlítésben: Rajka – Kápolnásnyék, Szob – Kápolnásnyék, Kápolnásnyék – Elek, Elek – Záhony. A kiegyenlítésből Nadap őspont levezetett magassága 173.1638 m. E nemzetközi kiegyenlítés alapszintfelülete a Balti tengeren lévő Kronstadti mareográf adataira vonatkozott és ezért Balti alapszintnek nevezzük.



3. ábra. Kelet-Európai szintezési hálózat (1957).

A Bendefy I. rendű hálózat 1958-as kiegyenlítésénél Nadap őspont 173.8385 m-es adriai magasságát kötötték vették fel, valamint a SzOGSz 1957-es kiegyenlítésben részt vevő csomópontok közötti kiegyenlített magasságkülönbségeket kényszerként vitték be. A hálózat alapszintfelülete eredetileg nadapi, majd az Állami Földmérési és Térképészeti Hivatal rendeletére 1960-tól a Balti-alapszintre tértek át (a hálózat pontjainak nadapi szintre vonatkoztatott magasságait eltolták a Nadap őspontnak a két kiegyenlítésből kapott magasságértékek különbségével) (4. ábra).



4. ábra. A magassági alapfelületek eltérései.

1899 – Nadap adriai magassága	173.8385 m
1957 – Nadap balti magassága	<u>173.1638 m</u>
	0.6747 m

#### 4) *Egységes Országos Magassági Alapponthálózat (1973 -, Kéregmozgási Hálózat)*

Ezt a hálózatot speciálisan az ún. függőleges földkéregmozgás vizsgálatok céljára tervezték és eredetileg Kéregmozgási Hálózatnak nevezték (az elnevezés nem szabatos, mert hazánk geológiai felépítése miatt a szintezési vonalak nagy része üledékes területeken megy át.) Már a 60-as években sor került a hálózat optimális kialakításával és a legmegfelelőbb állandósítási formákkal kapcsolatos kutatásokra (BGTV 1968). 1968-ban megkezdődtek a hálózat állandósítási munkái: az ötvenes években létesített sziklás főalappontok számát 15-re bővítették (Letkés, Nórádszakál, Nyergesújfalú, Sajóalgóc, Sopron, Telkibánya, Tokaj) és még 25 db 10 – 20 m mélyen alapozott ún. fúrt ikerpontot létesítettek. A szintezési vonalakon átlag 5 km-enként – a talajtípustól függően 3 – 5.5 m-es mélyalapozással – 832 db ún. közbenső kéregmozgási alappontot, KKP-eket építettek.

A kéregmozgási hálózat belső zárt poligonjainak száma 11, amelyeket 27 vonal alkot. A csomópontok száma 17. Ezen kívül a szomszédos országokkal való csatlakozásokhoz még 23 vonalat létesítettek. Így e hálózat teljes hossza megközelíti a 4000 km-t. A hálózat vonalai 90%-ban a régebbi országos hálózati vonalakon futnak, a mintegy 5000 szakaszvégpont közül kb. 3000 a Bendefy hálózatnak is pontja volt.

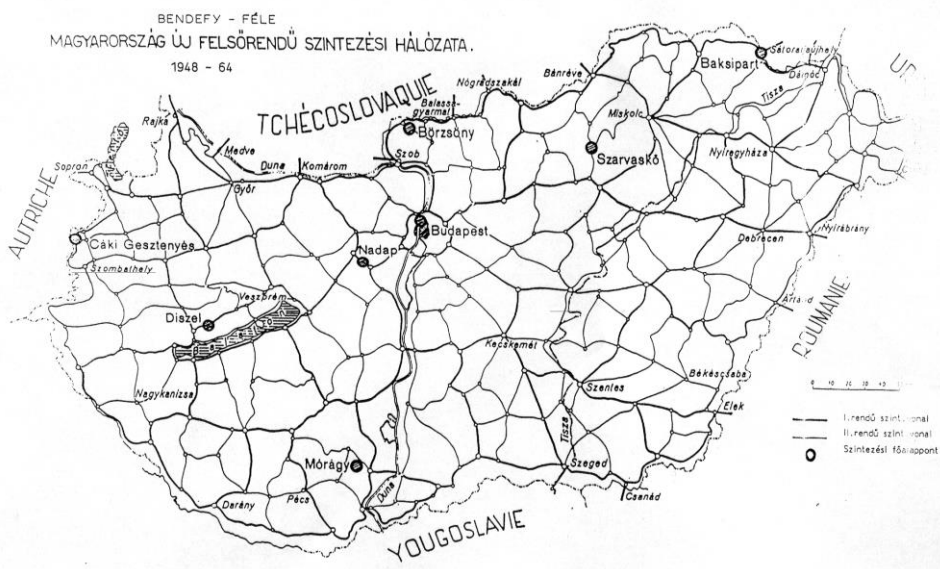
A hálózatot 1973 – 78 között észlelték a szabatos szintezés szigorú szabályai szerint MOM NiA3, NiA31 kompenzátoros és Wild N3 libellás szintezőműszerekkel. A szintezési szakaszok magasságkülönbségeit hőmérsékleti javítással, normáljavítással és luniszoláris korrekcióval látták el. A normáljavításokhoz a szintezési munkákkal párhuzamosan nehézségi gyorsulás méréseket is végeztek. Graviméteres pont volt minden főalappont és minden KKP, de dombvidéken 2 – 3 kilométerenkénti pontsűrűségben végezték a gravimetriai méréseket.

1977-ben a Földmérési és Térképészeti Tudományos Tanács „Magyarország magassági alapponthálózatának rekonstrukciója” címmel megvitatta az országos szintezési hálózat helyzetét. Elsősorban Dr. Homoródi Lajos professzor úr észrevétele alapján a hálózat elnevezése megváltozott: „... felhagyhatnánk a kéregmozgási hálózat, de főként a nagyon is furcsán hangzó és téves képzeteket keltésére alkalmas „nulladrendű” hálózat elnevezéssel és a jövőben ezt az új hálózatot röviden **elsőrendű hálózatnak** neveznénk.” (Sajnálatos tény, hogy a Földmérési és térképészeti tevékenységről szóló 1996. évi LXXVI-os törvényben is ez a zavaró „nulladrendű” magassági hálózat fogalom szerepel I. rendű elnevezés helyett.)

1978-ban született meg a döntés a Mezőgazdasági és Élelmiszerügyi Minisztérium Országos Földügyi és Térképészeti Hivatal Földmérési Főosztályán az Egységes Országos Magassági Alapponthálózat kidolgozásáról. Mielőtt ennek részletébe mennénk, itt szeretnék megemlékezni e nagy volumenű munka meghatározó személyiségeiről: elsősorban Dr. Joó Istvánról, a MÉM OFTH főosztályvezetőjéről, aki kutatási ambícióin keresztül is kötődött – kötődik az alaphálózatokhoz. A munkák tervezését és irányítását a Földmérési Intézetben Thury József, Szűcs Károly Endre és Nagy Zoltán végezték. A munkák kivitelezését pedig a Budapesti Geodéziai és Térképészeti Vállalatnál: Csatkai Dénes, Feles László, Selmeczi Aurél, Törjék András, majd Paulik Sándor nevére kell megemlékeznünk.

A hálózat kiegyenlítését 1980-ban a Nadap főalappont balti magasságnak megkövetésével végezték. A hálózat alapszintfelülete a Nadap II. főalappont függővonalának érintőjén mérve a pontjel alatt 176.2338 m-re levő szintfelület, tehát megegyezik a balti alapszinttel. A kiegyenlítéskor más pontokra nem vittek be magassági kényszert (BGTV 1982). Ezeket a magasságokat nevezzük EOMA magasságoknak. (Az 1957-es SzOGSz kiegyenlítés csomópontjaiban a balti és EOMA magasságok közötti különbség maximális értéke 4 cm.)

Az EOMA II. és III. rendű hálózatai egyidőben, poligononként kerültek kialakításra. 1978-ban az ország ÉK-i részén a 9-es poligon kitöltésével kezdődtek meg a sűrítési munkálatok. Ezt követően a 8-as, a 7-es, a 6-os és az 5-ös poligonok és a mellettük lévő félpolygonok sűrítését végezték, majd 1987-ben megkezdődtek a 10-es elsőrendű poligonban is a munkálatok. A nyolcvanas évek végi kilencvenes évek eleji politikai-gazdasági és szakmai rendszerváltása súlyos nyomot hagyott e munkán, ma 2000-ben sem zárult le még a 10-es poligon állami átvétele (5. ábra).

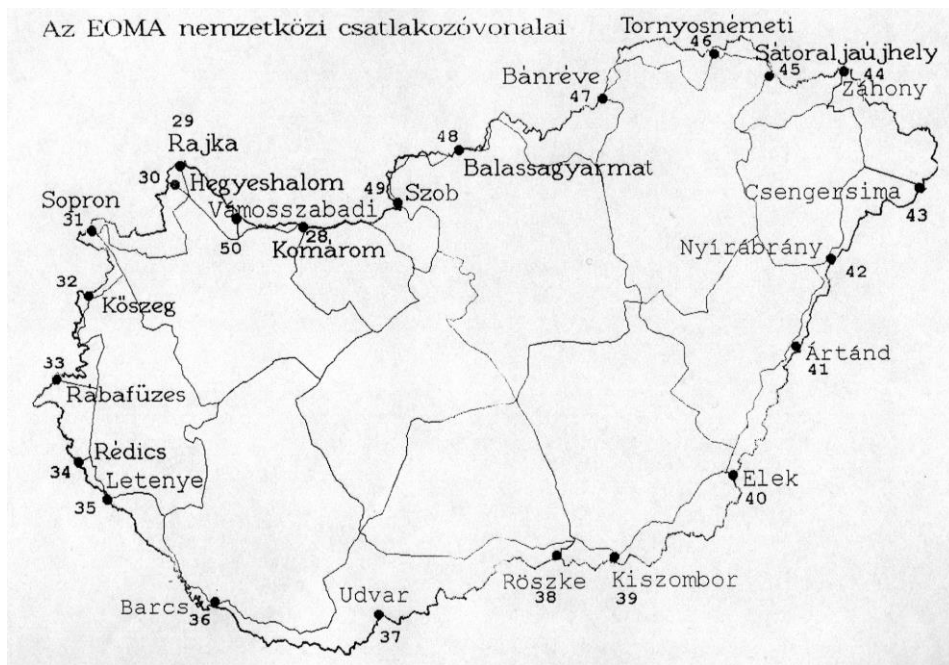


5. ábra. Magyarország új felsőrendű szintézis hálózata.

Az EOMA létesítésekor kialakították a szomszédos országok felé a nemzetközi csatlakozó vonalakat, amelyeken a határ mentén mindkét fél végzett szabatos szintézis méréseket (6. ábra). Ezek a szintézis vonalak a nemzetközi hálózatok kialakításakor töltenek be nélkülözhetetlen szerepet.

Az EOMA I. rendű hálózatának lemérése után 20 évvel az országos szintézis hálózat alatt a Dunától keletre az EOMA I-II-III. rendű hálózatát értjük, de Dunántúlon még ma is a Benffy hálózat áll csak a felhasználók rendelkezésére. Ennek a visszás helyzetnek a felszámolására 1997-ben újból beindultak az EOMA sűrítési munkái a 31-es fél- és a 11 poligonokban, majd az 1-es poligonban. A másodrendű hálózat beillesztését az I. rendű hálózat mérése óta eltelt 20-25 év alatt bekövetkezett mozgások és pont pusztulások nehezítik. Szakmai szempontból kétségtelenül vitathatatlan a teljes I. rendű hálózat új-

ramérésének szükségessége, azonban a jelenlegi gazdasági helyzetben erre még nem gondolhatunk.



6. ábra. Az EOMA nemzetközi csatlakozó vonalai.

A GPS technika és technológia napjainkra elérte azt a fejlettséget, hogy országos magassági alaphálózat pontossági igényeit is kielégítse. A Földmérési és Távérzékelési Intézet, Kozmikus Geodéziai Observatóriumában 1997-ben kidolgoztak egy nagyon hatékony technológiát, amelyben a III. rendű színtezést GPS mérések helyettesítik (Kenyeres, Borza 2000). 1998-ban Gödöllő - Gyömrő - Nagykáta - Hatvan térségében sikeres tesztméréseket végeztek. A tesztmérések eredményei igazolták az előzetes várakozásokat, ezért 2000-ben a szlovén és a horvát határ mentén lévő 17-es, 19-es és 20-as félpoligonokban a III. rendű pontsűrítésnél már GPS technikát alkalmaztak.

A GPS-es magasságmeghatározáskor (az angol irodalomból GPS színtezésnek is nevezik) ellentétben a színtezéssel, nem vonalszerűen építkezik a hálózat, hanem a pontok területi lefedést biztosítanak. A hálózat mérésekor a meghatározandó ponton 6 óras észlelést végeznek, míg a keretpontokként szereplő színtezési pontokon (EOMA I. és II. rendű pontjain) 12-30 órát. Az Országos GPS Hálózatnak (OGPSH) pedig egy pontján a terület mérésének teljes időtartamában folynak GPS észlelések. E mérési technológia és megfelelő sűrűségű pontosságú geoid térkép birtokában a GPS-es magasságmeghatározás mérési bizonytalansága 5 mm.

Most, az ezredfordulón érkeztünk el oda, hogy amikor magassági alaphálózatról beszélünk, ezalatt nem csupán színtezési hálózatot értünk, hanem színtezési + GPS-es magassági hálózatot.

Fel kell hívni a figyelmet, hogy a vízszintes hálózat pontjai, még ha színtezett magassága is van egy részének, akkor sem tartoznak az országos magassági alaphálózathoz az állandósítás módja és a magasságmeghatározása miatt sem. Ugyanígy az

1152 pontos Országos GPS Hálózat – mely elsősorban az EOV III. és IV. rendű pontjai közül lett kiválasztva – sem alkalmas magassági alapponthálózatnak. (Az OGPSH pontjainak magassági középhibája 5 cm körüli érték.)

Az EOMA munkáit a 3 poligonban tervezzük folytatni. A helyszíni bejáráson alapuló, a mérendő hálózat tervére és technológiájára javaslatot tevő ún. „sűrítési tanulmány” alapján folyik a közbeszerzési eljárás. A nyertes ajánlattevő kezdheti meg az állandósítási munkákat, majd a következő évben az észleléseket. Látható, hogy az EOMA munkái tetemes költségük mellett nagyfokú előrelátást és szervezettséget igényelnek. A költségek becslésénél érdemes a 10 szerez inflációhoz viszonyítani a geodéziai munkák árainak alakulását: 1978-ban átlagosan 3200 Ft/km (vagy Ft/pont) volt az EOMA II – III. rendű hálózatának költsége, addig 2000-ben ez 150 – 160 eFt/pont körüli érték volt.

Előfordulhat, hogy 25-50 év múlva már újabb egységes országos magassági alapponthálózatunk lesz, és ezt a mai nagyon jó EOMA-t **Joó-féle** hálózatnak fogják hívni.

## Szabályzatok

Az EOMA létesítésére és pontjainak nyilvántartására, helyszínelésére és karbantartására vonatkozó A4 és A6 jelű szabályzatokat 1979-80-ban adta ki a MÉM-OFTH. Ezeknek a szabályzatoknak az átdolgozását az azóta bekövetkezett technikai, technológiai és gazdasági változások tették szükségessé: digitális szintezőműszerek, GPS magasságmeghatározás, DAT-szabályzat, számítógépes nyilvántartási rendszer, dunántúli EOMA sűrítési munkák beindítása.

Az új szabályzat-tervezetben az EOMA tervezésénél megkövetelt és a gyakorlatban is bevált, világviszonylatban is megbízható hálózatot adó pontossági mérőszámokon nem változtattunk, sőt ezek betartásának szigorú ellenőrzéseire tettünk javaslatot.

Az átdolgozott szabályzatokat (A.4.1. és A.6.1.) az FVM – FTF még nem adta ki, de az ezévi sűrítési munkálatok már e szerint folynak.

## Nemzetközi kiegyenlítések

### *1957-58-as Kelet-Európai kiegyenlítés*

A Szocialista Országok Geodéziai Szolgálati Szovjetunió nyugati területe, Lengyelország, Csehszlovákia, Románia, Bulgária, Magyarország és Német Demokratikus Köztársaság I. rendű hálózataiból egy közös kiegyenlítést végzett. Minden résztvevő ország csak a saját területére eső pontok magasságát kapta meg és ez a katalógus is szigorúan titkos volt 1990-ig. A hálózat kezdőpontja a Balti tengeren lévő Kronstadt sziget mareográfja volt, így ezt az alapszintet „Balti alapszintnek” nevezzük. (Sajnos még ma sem tudunk róla pontosabban.)

### *1982- Kelet-Európai kiegyenlítés*

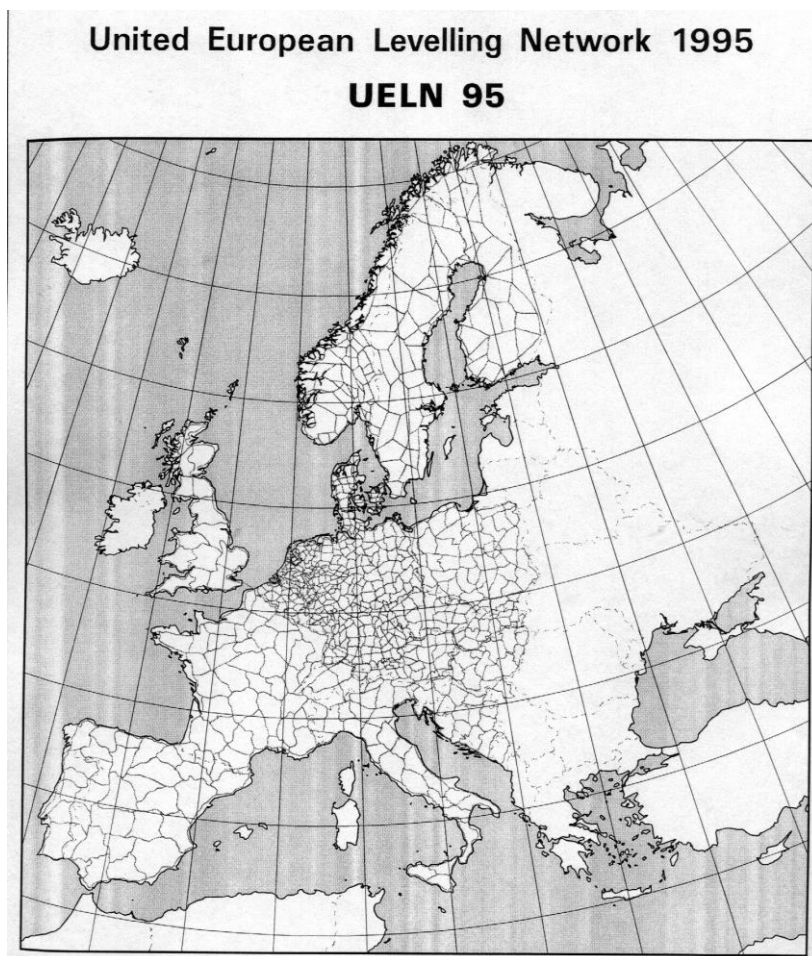
A hetvenes évek végére az egyes országok új szintezési hálózatot hoztak létre. Az angol elnevezéséből – United Precise Levelling Network – a mai magyar irodalomban is gyakran UPLN-nek nevezik a kiegyenlítést.

### *1995 – UELN*

A Nemzetközi Geodéziai Szövetség (IAG) 1954-ben albizottságokat hozott létre az európai országok geodéziai alaphálózatai egységbefoglalásának elősegítésére. Az Egységes Európai Szintezési Hálózat (United European Levelling Network) első ki-

egyenlítésének elnevezése UELN-55, utalva a munkálatok 1955-ös kezdő évére, majd továbbfejlesztése 1973, 1982 és 1986-ban történt.

Az UELN-95 az előzőekben részt vevő hálózatok új mérési adatainak, valamint a Közép- és Kelet Európa egyes országai felsőrendű hálózatának hozzáadásával készült (Ádám et al. 1999) (7. ábra). A kiegyenlítés geopotenciális értékekben történt Amsterdam mareográf kezdőponttal. A kiegyenlítés utáni középhibák elemzése azt mutatja, hogy a bővülő hálózat egészére vonatkozó pontosság növekedett. Ez a kedvező eredmény a kisebb szintezési poligonoknak és a Közép-Kelet-Európai országok jó minőségű hálózatainak köszönhető. A résztvevő országos hálózatok 1 km-es szintezési hosszra vonatkozó egysúlyú mérés középhibája Magyarország hálózata esetén a legkisebb, értéke 0.50 kgal\*mm.



**7. ábra.** Egységes Európai Szintezési Hálózat UELN – 1995.

Az European Vertical Network célja, hogy egységes, dm pontosságú magassági rendszert hozzanak létre. Az 1997-es mérési kampányban összesen 196 ponton folyt GPS észlelés: EUREF pontokon, permanens GPS állomásokon, szintezési alappontokon

és mareográfokon, illetve ezek kombinációján. Magyarország 4 ponttal vett részt ebben a mérésben (Ádám 1997).

Terv:

*EVS – 2000*, mely célja cm-es pontosságú kinematikai magassági hálózat létrehozása.

### Hivatkozások

**Bendefy L** (1957): Szintezési munkálatok Magyarországon. Akadémiai Kiadó, Budapest  
Magyarország országos felsőrendű magassági alaphálózatának **műszaki leírása**. BGTV  
kutatási beszámoló, Budapest, 1968.

**Műszaki leírás** az Egységes Országos Magassági Alaphálózat I. rendű szintezési hálózata-  
ról. BGTV kutatási beszámoló, Budapest, 1982.

**Ádám J, Németh Zs, Tokos T** (1999): Az EOMA elsőrendű hálózatának csatlakoztatá-  
sa az egységes európai szintezési hálózathoz. *Geodézia és Kartográfia* 1999/2, 16-  
24.

**Ádám J** (1997): EUVN97 jelű GPS mérési kampány az egységes magassági rendszer  
létrehozására. *Geodézia és Kartográfia* 1997/6, 40-43.

**Kenyeres A, Borza T** (2000): Technológiafejlesztés a III. rendű szintezés GPS-  
technikával történő kiváltására. *Geodézia és Kartográfia* 2000/1, 8-14.

## ÚJ GRAVIMETRIAI HÁLÓZAT MAGYARORSZÁGON (MGH-2000)

Csapó Géza\*

*Az előadó az új alaphálózat létesítésének okait, majd a hazai gravimetriai alaphálózatok rövid történetét ismerteti és tájékoztat az új alaphálózat legfontosabb paramétereiről. Bemutatja annak szerkezetét, a mérési anyagok feldolgozásának és kiegyenlítésének módját. A hálózat része az "Egységes Európai Graviméteres Hálózatnak", ezért megemlíti a csatlakozás érdekében szükségszerűen végzett munkákat. Végül röviden tájékoztat az új hálózat alkalmazási lehetőségeiről.*

### Bevezetés

A Magyarországon bekövetkezett politikai változások egyik következménye a gravimetriai adatok titkosságának megszüntetése volt a kilencvenes évek elején, ami lehetővé tette a szakterület kutatóinak bekapcsolódását a nemzetközi szakmai szervezetek munkaprogramjaiba.

A Nemzetközi Geodéziai és Geofizikai Szövetség (IUGG) régóta tervezi egy kontinentális méretű, egységes méretarányú és alapszintű gravimetriai hálózat létrehozását. Ennek feltételei mára megvalósultak, mert számos ország rendelkezik már Európában is – egységes méretarányt biztosító és a jelenlegi pontossági követelményeknek megfelelő – hordozható abszolút graviméterrel (AXIS, JILAG, GABL–M, stb.). Ugyanakkor a globális geodéziai referencia rendszerek pontosításának igénye, számos geodinamikai és geotektonikai feladat, valamint geofizikai térképezési munka napi feladattá tette ennek a célkitűzésnek a realizálását.

Az európai országok gravimetriai alaphálózatai mind az abszolút állomások száma, mind pontsűrűség (I. és II. rendű bázisok száma és területi eloszlása), mind pedig pontosság tekintetében meglehetősen heterogének. Célszerű és szükséges egy olyan egységes hálózat kiépítése, amelynek alapelveit a NATO Geodéziai és Geofizikai Munkacsoportja (GGWG) és a Kelet-Európai Hadseregek Térképész Szolgálati polgári szakértők bevonásával 1994-ben Budapesten tartott tanácskozásán ajánlottak. Ennek lényege egy cca. 100–150 km átlagos távolságú abszolút pontokból álló hálózat (nulladrendű pontok), amelyen belül az I. és II. rendű bázispontok nehézségi gyorsulási értékét korszerű relatív graviméterekkel kell meghatározni. Az abszolút pontok nehézségi gyorsulási értékeit három évnél nem ritkábban célszerű ismételtelen ellenőrizni. Törekedni kell arra, hogy a létesített nulladrendű pontok az országos GPS alaphálózati pontokkal integrált hálózat létrehozását tegyék lehetővé, és az integrált pontok megfelelő sugarú környezetében – ahol szükséges – sűrítsék a földi graviméteres mérési pontok számát.

Az USA Védelmi Térképész Szolgálat (DMA) 1991-ben elkezdte a WGS–84 referencia ellipszoid pontosítási munkáit Közép-Európában, amely munka keretében Magyarországnak is hathatós segítséget nyújtott mind a "Katonai GPS Hálózat" (KGPSH), mind az abszolút graviméteres alaphálózat létrehozásában.

### Előzmények

Magyarország első – az egész ország területére kiterjedő – gravitációs hálózatát (MGH–50) az ötvenes évek első felében létesítette az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet

\*Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, H-1145 Budapest, Columbus utca 17-23.

E-mail: csapo@elgi.hu

(ELGI) egy Heiland gyártmányú graviméterrel (Renner 1959). Ez a hálózat megfelelő alapot biztosított az akkor indult ún. "országos áttekintő gravimetriai felmérés" munkáihoz. A hatvanas évek nagyarányú ipari- és infrastrukturális fejlesztései miatt az utak mellé telepített pontok rohamosan pusztultak, vagy váltak mérésre alkalmatlanná.

A hatvanas években akkor korszerűnek tekinthető graviméterekhez jutott az ELGI, ami lehetővé tette az I. rendű hálózat újramérését és kibővítését. A repülőtereken állandósított 19 hálózati ponton 1971-ben három CG-2 típusú Sharpe műszerrel, repülőgépes műszerszállítással végezték az észleléseket. A hálózati pontokból egymáshoz oldalaikkal kapcsolódó három- és négyszögpoligonokat alakítottak ki, amelyeket folytonos "körbejárással", ismétléssel mértek (Csapó, Sárhidai 1990a).

A hetvenes években az országos, ún. "kéregmozgási szintezési hálózat" kiépítése során a magasságmérések normálkorrekciójának meghatározásához graviméteres méréseket kellett végezni, amely munkához kapcsolódva új II. rendű gravimetriai alaphálózatot létesítettünk: a bázispontokat a szintezési vonalak kötőpontjainak közelében kiválasztott időtálló építmények (általában templomok, vagy kastélyok) kertjében állandósítottuk 60x60x100 cm-es betontömbökkel. Azok felső, talajszinten lévő síklapja közepébe sárgaréz magassági gombot cementeztünk. A pontok magasságát a Földmérési és Távérzékelési Intézet (FÖMI) a kéregmozgási vonalak szintezési munkáival összekapcsolva határozta meg. A hálózat graviméteres méréseire két Sharpe CG-2 és egy geodéziai LaCoste Romberg (LCR-G) műszerrel 1980-89 között került sor. A pontok távolsága 10-20 km, amelyek között a műszerek és észlelők szállítását személygépkocsival végeztük. A hálózat egymáshoz oldalakkal kapcsolódó háromszögekből állt, az egyes oldalak végpontjainak nehézségi térerősség különbségeit ( $\Delta g$ ) ismétléssel határoztuk meg A-B-A-B-A mérési rendszerben (A és B a megfelelő háromszögoldal két végpontja). Az 1971. évi és az 1980-89 közötti mérések eredményeinek együttes kiegyenlítésére és a pontkatalógus elkészítésére 1991-ben került sor. Az MGH-80 nevű új alaphálózat kiegyenlítés utáni hálózati középhibája ( $M_0$ )  $\pm 16 \mu\text{Gal}$  ( $1 \mu\text{Gal} = 1 \times 10^{-8} \text{ms}^{-2}$ ) volt (Csapó, Sárhidai 1990b).

A bevezetőben említett egységes, nagyobb területre kiterjedő gravimetriai hálózat létrehozására irányuló törekvés a közép-kelet európai országok geodéziai szolgálatainak korábban létezett együttműködési terveiben már a hatvanas évek közepén szerepelt, amely hálózat koncepciója nagyon hasonlított a jelenlegi elképzelésekhez. E terv részbeni megvalósulásának köszönhető az első öt, szovjet gyártmányú GABL abszolút graviméterrel mért abszolút állomás létesítése Magyarországon (Csapó 1981) éppúgy, mint a mára realizálódott közös cseh-magyar-szlovák gravimetriai hálózat (EGH). E közös hálózat kialakításához szükséges méréseket az ELGI szakemberei két- és többoldalú együttműködési keretben 1972 óta folyamatosan végezték (Csapó et al. 1994).

1992-93-ban kétoldalú együttműködésben hálózat-összekapcsoló graviméteres mérések történtek Ausztria és Magyarország között. Ez a munka relatív- és abszolút méréseket tartalmazott, amelyeket 4-5 db LCR-G relatív, és az osztrák tulajdonú JILAG-6 abszolút graviméterrel végezték (Csapó et al. 1993).

Az "Egységes Európai Gravimetriai Hálózat" (UEGN) gyakorlati megvalósítása a közép-kelet európai országokban 1993-ban kezdődött, nemzetközi együttműködésben. Nemzetközi expedíció létrehozására azért volt szükség, mert ezen országok egyike sem rendelkezik abszolút graviméterrel. A magyarországi abszolút méréseket 1993-95 között a DMA AXIS FG5 No. 107 és az osztrák JILAG-6 berendezésekkel végezték. A munkákat részben a "Magyar-Amerikai Kutatási Alap", részben a költségvetés finanszírozta. A méréseket a DMA expedíciója, illetve az ELGI és az osztrák Szövetségi Geológiai

Hivatal közötti tudományos együttműködési megállapodás alapján a bécsi "Mérésügyi- és Földmérési Szövetségi Hivatal" (BEV) realizálta.

1994-ben kezdődött az abszolút állomások relatív graviméterekkel történő összemérése 4 db LCR-G műszerrel, gépkocsival történő műszerszállítással. Az abszolút állomások Magyarországon átlagosan 100–120 km távolságban vannak egymástól, ezért az összeméréshez I. és II. rendű bázispontokat használtunk kötőpontoknak. A munka pénzügyi fedezetét az "Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság" biztosította és a DMA is támogatta az ELGI-nek hosszútávra kölcsönzött 2 db geodéziai típusú LCR graviméterrel.

A korábbi alaphálózatok létrehozásának legfontosabb szempontja az volt, hogy a szakmai intézmények, vállalatok által különböző helyeken és időben, többféle típusú graviméterrel, zömmel nyersanyagkutatás céljából végzett graviméteres mérések eredményeit egységes keretbe lehessen foglalni, és a bázispontok száma elegendő legyen a gazdaságos munkavégzéshez. A hatvanas-hetvenes években végzett ún. "részletező" méréseknek a pontossága furcsa módon nem növekedett a mérőeszközök fejlődésével, az évente egyre magasabb teljesítmény-követelmények miatt inkább csökkent, de a geofizikai igényeket kielégítette. Így azután az alaphálózat fejlesztése – a nyersanyagkutató geofizika szempontjából – perifériális kérdéssé vált. Az egykori szocialista országok Geodéziai Szolgálatai és Tudományos Akadémiái közötti tudományos munkaprogram keretében létrehozott "Nemzetközi Gravimetriai Hitelesítő Poligon" (MEGP) előkészítő munkái során kiderült, hogy ezen országok gravimetriai hálózatainak alapszintje esetenként 100÷150  $\mu\text{Gal}$  értékkel is különbözik. Éppen e tapasztalatok alapján dolgozták ki a már említett egységes hálózat tervét, amelynek megvalósítási munkái azonban – alapvetően gazdasági okok miatt – a nyolcvanas évek második felében abbamaradtak.

### **Az új alaphálózat koncepciója**

A kilencvenes években az egész világon csökkenő tendenciájú a nyersanyagkutató geofizikai mérések volumene. A nemzetközi együttműködés kiszélesedése ugyanakkor egyre több tudományos és gazdasági feladathoz igényel egységes szempontok szerint végzett kontinentális méretű méréseket, geofizikai térképeket és adatbázisokat. A katonai és polgári szféra "közeledése" pedig mindinkább szükségtelessé teszi az azonos témákban történő párhuzamos kutatásokat. Ennek jó hazai példája a polgári és katonai intézmények közötti hatásos együttműködés a GPS alaphálózati munkáknál.

Az új magyarországi gravimetriai alaphálózat tervezésénél és kivitelezésénél a következő szempontokat tartottuk fontosnak:

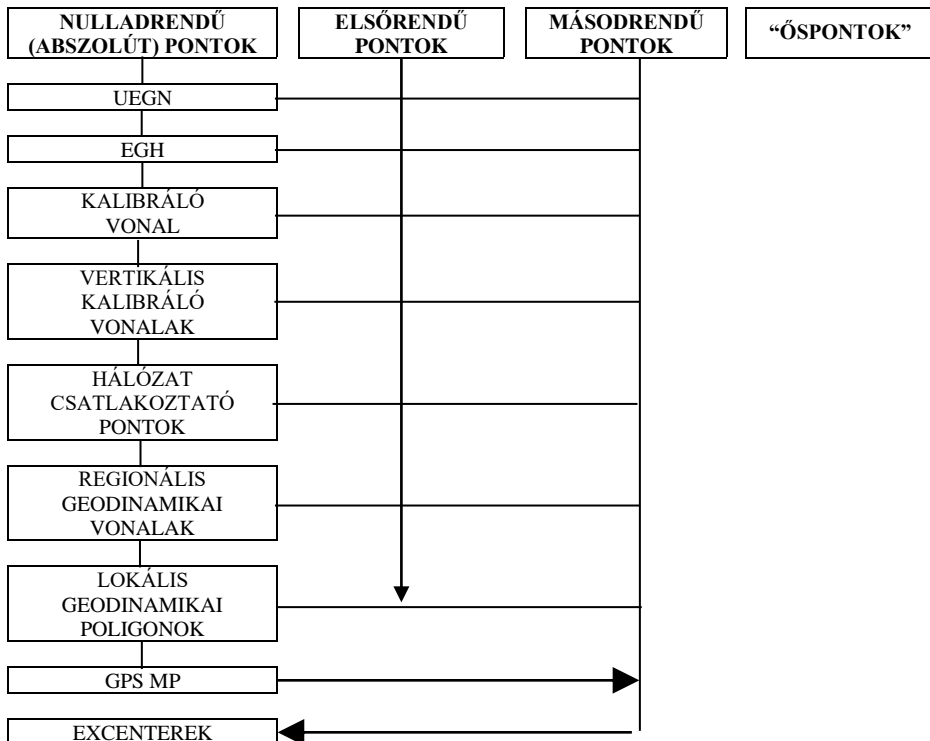
- Az országos gravimetriai alaphálózatot ugyanúgy geodéziai alaphálózatnak kell tekinteni, mint a vízszintes-, magassági-, vagy GPS alaphálózatot. A pontok védelmét, karbantartását és a hálózat folyamatos fejlesztését állami feladatnak kell tekinteni.
- A nulladrendű pontok (abszolút állomások) helyének tervezésénél azt tartottuk fontosnak, hogy egyrészt egyenletesen helyezkedjenek el az ország területén, másrészt közel kerüljenek a korábban telepített GPS mozgásvizsgálati pontokhoz (GPS MP) az integrált hálózat gazdaságos kialakítása miatt. Integrált hálózati pontok azok, amelyeken különböző típusú méréseket lehet központos felállással végezni (GPS és relatív graviméteres mérés, szintezés, stb.).
- Új pontok telepítésénél, illetve elpusztult pontok pótlásánál figyelembe kellett venni a megváltozott tulajdonviszonyokat, amely szempont szoros összefüggésben van a pontvédelemmel.

- Tekintettel arra, hogy az MGH–2000 része az említett EGH–nak, ezért a hálózat irodai tervezésénél a korszerű hálózattervezési módszereket csak részben lehetett alkalmazni, mivel az együttes formát a három ország korábbi és használható hálózatrészei alapvetően determinálják. Egyébként is az a tapasztalatunk, hogy a hálózati pontok megbízhatóságának optimalizálásához alkalmazott hálózattervezés olyan, egymástól távoli pontok közötti méréseket is megkövetelhet, amely mérések kivitelezéséhez (repülőgépes műszerszállítás) az ország jelenlegi gazdasági helyzetében nem lehet anyagi forrást biztosítani.

### Az MGH–2000 Szerkezete

A hálózat 0., I. és II. rendű pontokból áll (1. ábra). Ezeken kívül még 1954–ben 16 db ún. "akadémiai" pontot telepítettek abból a célból, hogy későbbi új és az aktuális hálózat között a transzformációs képletet meg lehessen határozni (a 16 ponttól az elmúlt negyven évben három elpusztult).

A **nulladrendű hálózatrész** célja az országos alaphálózat egységes méretarányának biztosítása és ellenőrzése a rajtuk végzendő ismétlődő meghatározásokkal. A nulladrendű hálózat jelenleg 15 abszolút állomásból áll (átlagosan 6200 km<sup>2</sup>/pont). Az abszolút állomásokat olyan jelentős építmények legalsó szintjére telepítettük, amelyek fennmaradása és a pontok hozzáférhetősége hosszú időn keresztül biztosítottnak tételezhető fel (várak, kastélyok, stb.). A pontállandósítás 120x120x100 cm méretű, padlószintig súlyosított betontömbökkel történt, melyeknek felső síklapja közepében sárgaréz gomb/tárcsa őrzi a pont Balti rendszerű tengerszint feletti magasságát.



1. ábra. Az MGH 2000 szerkezete.

Ezt az értéket az országos szintezési hálózat 2–3 pontjáról szintezéssel vezettük le  $\pm 5$  mm megbízhatósággal. Az állomások földrajzi koordinátáit topográfiai térképekről ( $M=1:10000$ ) olvastuk ki  $\pm 1$  szögmásodperc pontosan. Az abszolút graviméterek referenciamagasságára vonatkozó nehézségi gyorsulási értékeket LCR műszercsoporttal redukáltuk a pontjelre  $1,5 \div 3$   $\mu$ Gal megbízhatósággal.

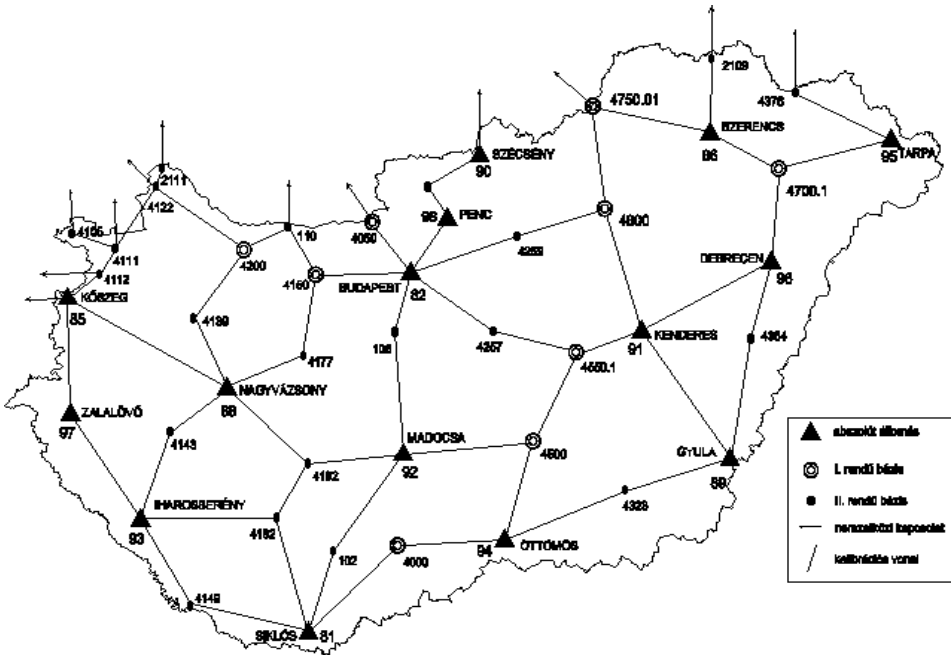
Ezen állomások között kiemelt jelentőségű a budapesti, amelyen 1980 óta 2–3 évente végeznek ellenőrző méréseket különböző típusú abszolút graviméterekkel. A többi állomás egy részén is történt már ismétlődő meghatározás. Valamennyi állomáshoz legalább egy, az épületen kívül  $80 \times 80 \times 100$  cm méretű betontömbbel állandósított – ún. "excenterpont" tartozik, amelyek "g" értékének az abszolút ponthoz viszonyított megbízhatósága nem rosszabb  $5$   $\mu$ Gal-nál. A nulladrendű hálózat pontjainak néhány adatát az 1. táblázatban állítottuk össze.

1. táblázat. A magyarországi abszolút állomások néhány adata.

állomás	szám	$\varphi$	$\lambda$	H	első/utolsó meghatározás	graviméter
Siklós	81	45-51-10	18-07-55	128,489	1978/1995	GABL/JILA
Budapest	82	47-32-00	19-01-00	201,563	1980/2000	GABL/AXIS
Kőszeg	85	47-23-24	16-32-33	284,461	1980/1993	GABL/JILA
Szerencs	86	48-09-56	21-12-21	111,243	1980/1993	GABL/JILA
Vázsony	88	46-59-23	17-42-00	241,085	1993/1997	AXIS/JILA
Gyula	89	46-38-42	21-17-14	89,053	1987/1995	GABL/JILA
Szécsény	90	48-05-07	19-31-08	166,888	1993/1996	AXIS
Kenderes	91	47-14-54	20-40-37	83,450	1993	AXIS
Madocsa	92	46-41-19	18-57-40	93,758	1994	AXIS
Iharosber.	93	46-21-48	17-06-17	203,898	1994	AXIS
Öttömös	94	46-17-04	19-40-47	124,042	1994	AXIS
Tarpa	95	48-06-14	22-31-40	110,778	1995/1996	AXIS
Debrecen	96	47-33-30	21-37-26	124,132	1996	IMGC
Zalalövő	97	46-50-51	16-35-13	190,816	1997	JILA
Penc	98	47-47-26	19-16-54	245,668	1998	ZZG

Az elsőrendű hálózat pontjai (2. ábra) nagyrészt azonosak az MGH–80 repülőterekre telepített bázisaival. Egymáshoz képesti távolságuk  $50 \div 70$  km (cca.  $4400$   $\text{km}^2/\text{pont}$ ). A pontok földrajzi koordinátáinak meghatározása hasonló volt a nulladrendű-eknél ismertetett eljáráshoz, az egyes pontok és az országos magassági alappontok közötti szintezéseket (magasságmeghatározás) a Budapesti Geodéziai és Térképészeti Vállalat (BGTV) és az ELGI végezte  $1 \div 10$  mm megbízhatósággal.

A másodrendű hálózat pontjainak zömét a hetvenes években telepítette az ELGI. A pontok távolsága a topográfiailag tagoltabb területeken  $10\text{--}15$  km, a síkvidéki országrészekben  $15\text{--}20$  km. Átlagos pontsűrűség:  $220$   $\text{km}^2/\text{pont}$ . Az elmúlt 20 évben elpusztult néhány tucat pontot folyamatosan újjal pótoltuk és elvégeztük azok bekötését is az MGH–2000–be. Ebben a hálózatban 430 db. II. rendű pont szerepel.



2. ábra. Az MGH–2000 abszolút állomásai, és egyéb UEGN pontjainak vázlata, (Az UEGN hazai hálózatrésze).

## A különböző osztályú bázispontok alkalmazási területe

Az alkalmazás területeit az 1. ábra függőleges oszlopában tüntettük fel. A nulladrendű pontok nem csupán az egyes országok gravimetriai alaphálózatának méretarányát biztosítják, de hasonló szerepet töltenek be kontinentális (esetünkben: UEGN), vagy regionális hálózatokban is, amilyen pl. az “Egységes Gravimetriai Hálózat” (EGH). Ez a Cseh Köztársaság, Magyarország és Szlovákia közös alaphálózata, a már említett korábbi nemzetközi együttműködésnek megvalósult eredménye.

Az országos gravimetriai kalibráló alapvonal pontjai igen fontos szerepet töltenek be minden ország alaphálózatában. Ugyan a relatív graviméterek műszerszoróját, illetve konverziós függvényét rendszeresen ellenőrizni kell. Ezt a műveletet nevezik a graviméterek kalibrálásának. Három módja lehetséges: horizontális, vagy vertikális kalibráló alapvonalon – ismert nehézségi gyorsulási értékű pontok közötti összehasonlító mérésekkel, vagy laboratóriumi eljárásokkal, illetve úgy, hogy egy nagyobb hálózat kiegyenlítésekor a mérésben résztvevő graviméterek műszerszorójához egy ismeretlen méretarány-tényezőt rendelünk és azt a kiegyenlítésből határozzuk meg. Az adott országban elfogadott méretarány ellenőrzése az abszolút mérések időnkénti megismétlésével történik. Ezt a méretarányt a gyakorlatban a relatív graviméterekkel végzett részletmérések során realizálják.

A hazai alapvonal országon belüli helye a 2. ábrán látható (Szécsény–Pénc–Budapest–MadoCSa–Siklós). Mai formáját 1969-től folyamatosan végzett fejlesztésekkel alakítottuk ki. A vonal mintegy 210 mGal-os  $\Delta g$  tartományában öt abszolút állomás található (az ország – bázispontok között mérhető – legnagyobb  $\Delta g$  értéke 250 mGal). A vonal többi pontja országos I. és II. rendű, egymástól átlagban 30 km távolságban lévő

bázispont. A vonalpontok közötti  $\Delta g$  értékeket korábban Askania GS-12, GAG-2, Sharpe és Worden, majd LCR gravimétercsoportokkal mértük meg. Négy LCR graviméterből álló műszer csoporttal végeztük a pontok vertikális gradiens értékeinek meghatározását  $4\div 7 \mu\text{Gal}$  megbízhatósággal. A vonalpontok relatív megbízhatósága  $8\div 12 \mu\text{Gal}$ . A teljes vonal része az EGH-nak, a Siklós–Budapest szakasz pedig a "**Kárpát–poligon**" déli szakasza.

A nehézségi erőter nem árapály jellegű időbeni változásainak vizsgálatára létesített regionális gravimetriai vonalak (pl. a Kárpát–poligon Siklós és Krakkó között) és hálózatok főpontjai célszerűen szintén abszolút állomások, továbbá közvetlen összekapcsoló pontok is lehetnek a szomszédos országok gravimetriai hálózatai között. Az MGH-2000, valamint az EGH méréseinél ezt a célt szolgálták a 2. ábrán feltüntetett határközeli abszolút állomások (a hálózat csatlakoztató pontjait az ábrán nyílakkal jelöltük).

Az I. rendű pontok a nagyobb távolságban telepített abszolút állomások között a hálózat sűrítését szolgálják és nagy pontosságú meghatározásuk miatt metrologiai szempontból hasonló szerepet töltenek be, mint az abszolút állomások.

A II. rendű bázisok felhasználási területe kiterjedtebb, mint a magasabbrendű hálózati pontoké, mert közvetlenül a részletmérések céljait szolgálják mind geofizikai, mind egyéb célú méréseknél. Magyarországon ezeket a bázisokat használjuk magasabbrendű pontok **excentereiként, vertikális bázisok** és lokális mozgásvizsgálati poligonok (pl. debreceni poligon) mérési pontjainak is.

A hazai gravimetriai alaphálózatban különleges helyet foglalnak el az Országos GPS Hálózat geodinamikai pontjai (OGPS MP), mert azok telepítésénél nem a gravimetria szempontjai voltak elsődlegesek, hanem egyrészt a GPS technika alkalmazhatósági feltételeinek kielégítése és geológiai megfontolások. Az integrált geodéziai hálózat kialakítása során ezért ezeket a pontokat megfelelő pontjel alkalmazásával alkalmassá tették arra, hogy rajtuk központosan relatív graviméteres méréseket is lehessen végezni, majd bekapcsoltuk azokat az MGH-2000 hálózatába. Tekintettel arra, hogy ezek a pontok általában a gravimetriai szempontból ritkábban felmért domb- és hegyvidéki területeken találhatók, ezért sűrítő mérésekhez gazdaságos munkavégzést biztosítanak, mint II. rendű bázisok.

Fontossága miatt külön fejezetben kell szólni az "**Egységes Európai Gravimetriai Hálózat**" (UEGN) magyarországi pontjairól, mert ezen pontok felhasználásával kapcsolódtunk be a kontinentális hálózat fejlesztési munkáiba.

### Az egységes európai gravimetriai hálózat

Az euroatlanti integrációs törekvések egyik fontos eredménye volt az "Egységes Európai Gravimetriai Hálózat" (UEGN) 1993-ban elkészült első változata (Boedecker 1993), amely 11 nyugat-európai ország együttműködésének eredményeként született. E hálózat célja egységes referenciarendszer szolgáltatása a résztvevő országok számára a különböző geodéziai, geodinamikai és geofizikai munkákhoz. Tekintettel arra, hogy a hálózathoz történő csatlakozás Magyarország számára is fontos és az ehhez szükséges műszaki feltételeket teljesíthetőnek ítéltük meg, 1993-ban elkezdtük azokat a munkákat, amelyek lehetővé tették, hogy az UEGN 2000-re tervezett 2. változatának már a hazai országos hálózat is szerves része lesz. Az irodai tervezés során 44 pontot választottunk ki az országos hálózatból úgy, hogy azok egyenletes eloszlásban fedjék le az ország területét. A pontok között az abszolút állomások, a kalibráló alapvonal fontosabb pontjai, valamint I. és II. rendű bázispontok szerepelnek. Az abszolút állomások között mérési

vonalakat alakítottunk ki az alacsonyabb rendű hálózati pontoknak, mint kötőpontoknak a felhasználásával, majd ezeket a vonalakat Négy LCR–G graviméterből álló műszer-csoporttal összemértük. Az UEGN tervezett magyarországi szakaszának vázlata a 2. ábrán látható.

### Az MGH–2000 mérési adatainak feldolgoása

**Abszolút mérések:** Az 1. táblázatból kitűnik, hogy a magyarországi abszolút méréseket öt különböző gyártmányú berendezéssel végezték az elmúlt két évtizedben. A mérési anyagok rendszerezésénél észrevettük, hogy az egyes berendezéseknél eltérés mutatkozik mind a mérési eredmények feldolgozási módjában, mind az alkalmazott korrekciók alkalmazásánál, illetve azok számításában. Ezért szükségesnek tartottuk valamennyi mérés egységes szempontok szerinti újrafeldolgozását. A műszeres korrekciókat az észlelők által megadott értékkel fogadtuk el. A legutóbbi időben kiderült, hogy a mérések eredménye függ a lézer interferencia csíkok fényerejétől. Abban az esetben, ha a berendezésben a régi (AMD686 típusú) interferencia-csík érzékelő egységet, pl. annak meghibásodása miatt újabbra (AD9696 típusú) cserélik, akkor bizonyos fényességi tartományban más nehézségi gyorsulási értéket kapnak, mint a régebbi egységgel (magán információ). Ez történt az AXIS FG5 No.107 berendezés esetében is, ezért a DMA valamennyi 1993 után végzett mérését újra feldolgozta. Az újrafeldolgozásból eredő esetleges változásokat az MGH–2000 méréseinek most tárgyalt kiegyenlítési változatánál már figyelembe vettük. A nem műszeres korrekciókat valamennyi abszolút mérésre vonatkozóan egységes elvek szerint vettük figyelembe:

**Az árapály korrekció** meghatározásához az árapály-potenciál számítását 505 hullámra végeztük el. A számításnál alkalmazott paraméterek értékeit a Pecny-i árapály-regisztráló állomás (Cseh Köztársaság) mérési eredményei alapján számították (Holub et al. 1988). Az óceáni árapály hatást nem vettük figyelembe.

**A Föld pólusmozgása** miatti korrekció. Az észlelt gravitációs értéket javítani kell a centrifugális gyorsulás változása miatt, ami a mérési pont és a Föld forgástengelye közötti távolság függvénye. A számításoknál a következő összefüggést alkalmaztuk:

$$\Delta g_{pm} = 1,164 \omega^2 \cdot R \sin 2\varphi (x \cos \lambda - y \sin \lambda) \text{ ms}^{-2},$$

ahol:

$$\begin{aligned} \omega &= 7,292 \cdot 10^{-5} \text{ rad /s}^2 && \text{(a Föld forgási szögsebessége),} \\ R &= 6,371 \cdot 10^6 \text{ m} && \text{(a közepes Földsugár),} \\ \varphi, \lambda &= && \text{az állomás földrajzi szélessége és hosszúsága.} \end{aligned}$$

A korrekció értéke  $\mu\text{Gal}$ -ban:

$$\Delta g_{pm} = -19,1 \cdot \sin 2\varphi (x'' \cdot \cos \lambda - y'' \cdot \sin \lambda),$$

$x$  és  $y$  aktuális értékei a Nemzetközi Földforgási Szolgálat (IERS) évkönyveiben találhatók.

**A változó atmoszférikus tömegek** miatti korrekció. Ebből az összetett hatásból csupán az állomások környezetére vonatkozó helyi hatást vettük figyelembe (DIN 5450. sz./1968)  $c = 0,30 \mu\text{Gal/hPa}$  empirikus együtthatóval. Az így számított korrekció a teljes atmoszférikus hatásnak mintegy 80%-át kompenzálja.

**A mért nehézségi gyorsulási érték redukálása a pontjelre.** A kiegyenlítésben minden esetben a pontjelekre vonatkozó nehézségi gyorsulási értékekkel dolgoztunk, ezért az abszolút méréseknek az alkalmazott berendezéstől függő, változó referencia

magasságra vonatkozó eredményeit a pontjelre relatív graviméter csoportokkal végzett  $\Delta g$  mérésekkel vezettük le.

**A relatív módszerrel végzett mérések eredményeinek feldolgozása.** A számítógépben tárolt terepi mérési jegyzőkönyvi adatokat az ELGI-ben készített programmal dolgoztuk fel – napi mérési szakaszonként és műszerenként. A feldolgozás lépései:

- az adott észlelési időkhöz tartozó műszer, és voltmérő-leolvasási értékek átszámítása mGal-ra (relatív "g" érték számítása),
- korrekciók számítása (árapály, műszermagassági redukció, barometrikus hatás, mérőrendszer periodikus hibái miatti korrekció),
- az adott időpontokhoz tartozó javított relatív "g" értékek számítása,
- műszerjárás számítása,
- a műszerjárással korrigált relatív "g" értékek számítása,
- a  $\Delta g$  értékek meghatározása,
- hibaszámítás.

### A mérési eredmények előzetes kiegyenlítése

Tekintettel arra, hogy az UEGN 2. változatának kiegyenlítése ezideig még nem történt meg (az abban szereplő magyarországi pontok kiegyenlítésből számított legvalószínűbb értékei lesznek az MGH-2000 kényszerei), ezért az ismertetésre kerülő kiegyenlítési változatot előzetesnek tekintjük.

A feldolgozott mérési anyaggal (5419 napi mérési szakaszból álló anyag, amely az MGH-2000 országon belüli mérésein kívül a határközeli abszolút állomásokat és az azokkal történt határmenti összekapcsoló méréseket is tartalmazza) normalitásvizsgálatot végeztünk. Ennek eredményeképpen 25 mérési eredményt kihagytunk a kiegyenlítésből. A "selejtezés" után az 5394 mérési eredményt a legkisebb négyzetek elvén, "kötött" hálózatként egyenlítettük ki. A korábbi hálózat kiegyenlítésénél alkalmazott LU dekompenzációs módszer (alakmátrix invertálása) helyett a mátrixortogonalizációs eljárást alkalmaztuk. A hálózat kényszerértékei az abszolút állomásoknak a legutolsó meghatározásból származó nehézségi gyorsulási értéke. Független mérési eredménynek (hibaelméleti megfontolások alapján) valamely "A" és "B" pont között végzett napi méréseknek a graviméterenkénti átlagos nehézségi térerősség különbségeit ( $\Delta g$ ) tekintettük (valamely graviméterrel A-B-A-B-A rendszerben végzett mérésnél a négy számítható  $\Delta g$  érték átlaga). A kiegyenlítésben 422 pont nehézségi gyorsulási értéke és 6 graviméter méretarány-tényezője szerepelt ismeretlenként.

A kiegyenlítési eljárás az irodalomból ismert, azonban a mérések súlyának meghatározási módszerét érdemesnek tartjuk e helyen ismertetni. Ennek lényege, hogy a megengedettnél nagyobb mérési hibáknak a kiegyenlítési eredményekre gyakorolt hatását csökkenthetjük, ha a nagyobb hibákkal terhelt mérésekhez kisebb súlyokat rendelünk. Magukat a hibákat azonban a kiegyenlítés végrehajtása előtt nem ismerjük. Az ellentmondást egy iterációs eljárás alkalmazásával oldhatjuk fel ("dán módszer"): az első iterációs lépésnél ( $j=1$ ) minden mérést ( $i$ ) egyenlő súllyal veszünk figyelembe ( $p=1$ ), a további iterációknál pedig:

$$p_{ij} = 1 / 1 + a_k \cdot v^2_{j-1}$$

súlyokkal számolunk, ahol "j" az aktuális iteráció. Az "a<sub>k</sub>" együttható értéke akkor helyes, ha a feltételezett hibás mérésekre  $p \leq 0.25$  adódik (Soha 1986). A hibák küszöbértékét a súlyegység középhibájának függvényében vehetjük fel, amikor is:

$$a_k = 3 / v^2_k,$$

ahol:

$$\begin{aligned} v_k = 3 \mu_0 & \text{ ha } v_{\max} > 3 \mu_0, \\ v_k = 2 \mu_0 & \text{ ha } 2 \mu_0 < v_{\max} < 3 \mu_0, \\ v_k = \mu_0 & \text{ ha } \mu_0 < v_{\max} < 2 \mu_0. \end{aligned}$$

A nagyobb hibával terhelt mérések az egymást követő iterációs lépéseknél egyre kisebb súllyal szerepelnek a kapcsolat kiegyenlítés utáni értékének kialakításában. Az iterációt addig kell ismételni, amíg a kiegyenlítés utáni súlyegység-középheza már nem változik számottevően. Az MGH–2000 esetében ez az állapot a harmadik iterációs lépés után állt elő. A kiegyenlítést **két változatban** készítettük el.

Az első változatban valamennyi graviméternek évenkénti méretarány-tényezőt számítottunk úgy, hogy az adott kényszerértékekkel műszerenkénti kiegyenlítést végeztünk. Ezután a már ismert méretarány-tényezőkkel együttes kiegyenlítést hajtottunk végre.

A második változatban valamennyi graviméterhez egy-egy léptékegyütthatót határoztunk meg a teljes mérési időintervallumra (1969–99) magából a kiegyenlítésből. Mindkét változattal elvégeztük a már említett iterációs lépéseket. Tekintettel arra, hogy a kedvezőbb kiegyenlítés utáni hálózati középhezát akkor kaptuk, amikor graviméterenként egységes méretarány-tényezőt alkalmaztunk a teljes mérési időszakra, az MGH–2000 kiegyenlítésénél ezt a változatot fogadtuk el.

### A kiegyenlítés eredményeinek ismertetése

A 2. táblázatban az egyes graviméterek méretarány-tényezőit, valamint az egy mérés műszerenkénti középhezát állítottuk össze. A mérési középhezát összehasonlítása információt ad az alkalmazott műszerek minőségére, bár ezt az összevetést megnehezíti a mérésszámok igen nagymértékű eltérése. A 3. ábra a mérési javítások hisztogramja, ahol látszik, hogy a mérések 90%-ának javítása a 40  $\mu\text{Gal}$ -t nem haladja meg és csak mintegy 2%-a nagyobb 65  $\mu\text{Gal}$ -nál (a graviméterek átlagos mérési hibájának háromszorosa). E mérések súlya viszont már olyan kicsi, hogy a pontok kiegyenlített értékének kialakításában alig játszanak szerepet. A pontok meghatározási megbízhatósága (az ismeretlenek legvalószínűbb értékének hibája) a 4–10  $\mu\text{Gal}$ -os tartományba esik. A hálózat kiegyenlítés utáni súlyegység középhezátja ( $M_0$ ) =  $\pm 14 \mu\text{Gal}$ .

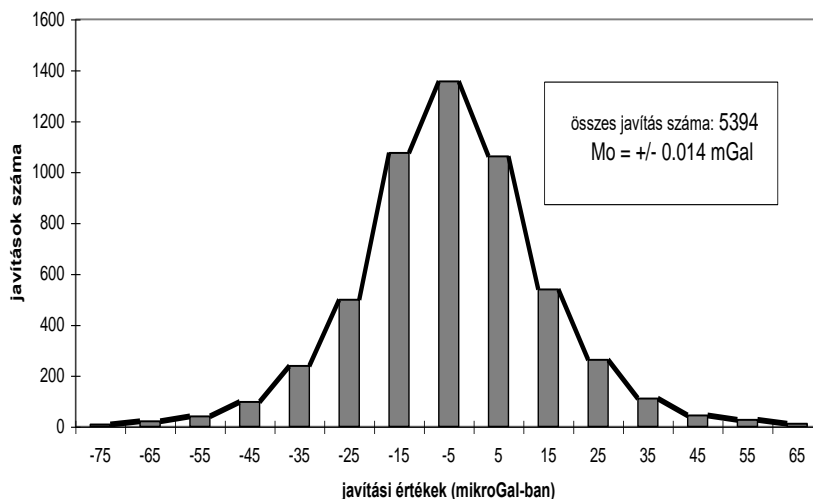
**2. táblázat.** A graviméterek néhány – a kiegyenlítésből számított – adata.

graviméter	méretarány-tényező	mérés szám	mérési középhiba (mGal)
LCR–G 220	0,996663	184	0,015
LCR–G 821	1,000590	272	0,013
LCR–G 963	1,000446	583	0,016
LCR–G 1919	1,000254	1865	0,013
Sharpe 181	0,998542	1228	0,015
Sharpe 256	0,999261	1262	0,013
<b><math>\Sigma</math></b>		<b>5394</b>	

A kiegyenlítés minőségének ellenőrzésére két összehasonlítást végeztünk. **Az elsónél** az EGH teljes mérési anyagával (tehát a külföldi pontokon, külföldiek gravimétereivel végzett méréseket is bevonva) és az MGH-2000 anyagával a második változat szerinti ELGI kiegyenlítések eredményeit hasonlítottuk össze. A két kiegyenlítésből az azonos pontokra kapott értékek különbsége egyetlen kivétellel 1–3  $\mu\text{Gal}$  közötti. Ez arra utal, hogy bár az első adatrendszer mintegy 20%-kal több mérési

kapcsolatot és az ezen kapcsolatok mérésénél alkalmazott további 6–7 külföldi graviméter adatait tartalmazza, az egyezés kiváló.

**A második összehasonlítás** az EGH-nak a szlovák és a cseh fél által “szabad hálózat” szerinti kiegyenlítései és az MGH-2000 “kötött hálózat” szerinti magyar kiegyenlítési változata között történt – az azonos pontokra vonatkozóan. A magyarországi bázispontokra a három kiegyenlítési változat között 0–20  $\mu\text{Gal}$  átlagos eltérések adódtak váltakozó előjellel, amely eltérések oka egyrészt a kiinduló adatbázisok erősen eltérő adatmennyisége, másrészt a kiegyenlítések elvi különbségei (szabad– ill. kötött hálózat szerinti kiegyenlítés, illetve az, hogy a cseh– és a szlovák kiegyenlítési változatokban független mérésnek a ponton végzett mérési eredményt tekintették). Szignifikáns eltérést a hálózatok referencia szintje között nem találtunk.



**3. ábra.** Az MGH-2000 kiegyenlítéséből származó javítási histogram.

Jelentős eltérés ( $> 30 \mu\text{Gal}$ ) az összehasonlított 105 pont közül csupán háromnál (Esztergom, Kunhegyes és Nyíregyháza) volt.

**Összehasonlítást** végeztünk továbbá az osztrák és a magyar hálózat referenciaszintje közötti eltérés kimutatása céljából is. A nyolc vizsgálati pont alapján a magyar gravimetriai hálózat referenciaszintje  $18 \mu\text{Gal}$  értékkel magasabb az osztrákénál.

**Végül összehasonlítottuk** az UEGN' 94 és az MGH-2000 kiegyenlítéséből az identikus pontokra vonatkozó nehézséggyorsulási értékeket. Az 1992–93-ban végzett osztrák–magyar hálózat-összekötő mérések magyar pontjait ugyanis figyelembe vették az említett kiegyenlítésnél. A 3. táblázatból kitűnik, hogy az öt pont alapján a magyar hálózat referenciaszintje mintegy  $14 \mu\text{Gal}$ -al magasabb a nemzetközi hálózaténál.

**3. táblázat.** Összehasonlító eredmények az UEGN '94 és az MGH-2000 között.

UEGN' 94	MGH-2000	UEGN'94	MGH-2000	Különbség ( $\mu$ Gal)
Pont száma neve		nehézségi érték $\mu$ Gal –ban		
1835 FRTOD	4111 Fertőd	...222 $\pm$ 8.0	...234 $\pm$ 4.9	12
1836 HGYEHAL	4122 Hegyeshalom	...449 $\pm$ 12.0	...460 $\pm$ 7.0	11
1837 KESZG	85 Kőszeg	...705 $\pm$ 15.0	...713 $\pm$ 5.0	8
1838 SPRO	4105 Sopron	...350 $\pm$ 14.0	...375 $\pm$ 5.4	25
1839 VELCJ	4112 Völce	...189 $\pm$ 14.0	...203 $\pm$ 4.1	14

### Összefoglalás

Magyarország új graviméteres alaphálózata szerves része az Egységes Európai Gravimetriai Hálózatnak; mind a pontok számát és azok területi eloszlását illetően megfelel a jelenlegi nemzetközi követelményeknek. Alkalmas mindazon tudományágak igényeinek kielégítésére, melyek a nehézségi gyorsulás helyi értékét  $5 \pm 15 \mu$ Gal megbízhatósággal igénylik. 1999-ben az Országos Mérésügyi Hivatal a hálózat nulladrendű részét etalonnak minősítette a magyarországi metrológiai célú graviméteres mérések céljára (kalibrálás, nagy megbízhatóságú „g” értékek levezetése kalibráló laboratóriumok számára, stb.).

### Hivatkozások

- Boedecker G** (1993): Ein einheitliches Schweregrundnetz für Europa: Unified European Gravity Network (UEGN). Zeits.f. Verm.wesen 8/9, pp. 422-428.
- Csapó G** (1981): Nehézségi gyorsulási értékek meghatározása Magyarországon ballisztikus lézer graviméterrel. GK, 33, 3, pp. 176-180.
- Csapó G, Sárhidai A** (1990a): Magyarország új gravimetriai alaphálózata (MGH-80). GK, 42, 2, pp. 110-116.
- Csapó G, Sárhidai A** (1990b): Magyarország új gravimetriai alaphálózatának (MGH-80) kiegyenlítése. GK, 42, 3, pp. 181-190.
- Csapó G et al.** (1993): Interconnecting gravity measurements between the Austrian and the Hungarian network. Geoph.Transactions, 38,4, pp.251-259.
- Csapó G et al.** (1994): Unified Gravity Network of the Czech Republik, Slovakia and Hungary. International Association of Geodesy Symposia 113, Gravity and Geoid, Springer, pp. 72-81.
- Holub J et al.** (1988): Tidal Observations with Gravity Meter Gs15 No. 228 at Station Pency. Travaux Geoph., XXXIV, pp. 584-593.
- Renner J, Szilárd J** (1959): Gravity Network of Hungary. Acta Technica Academiae Scientiarum Hungaricae, XXIII, 4.
- Soha G** (1986): Robusztus kiegyenlítés javításoktól függő súlyozással. GK, 4.
- Völgyesi L** (2000): Nagyméretű, ritkán kitöltött mátrixok számítógépes kezelése a kiegyenlítő számításban. GK, 52, 9, pp. 33-36.

## GEODÉZIAI TESZTHÁLÓ SOPRONBAN

*Bácsatyai László\**

*A tesztháló (más neveken: minta-háromszögelési hálózat, mérőpálya, későbbi - pejoratívabb, s elsősorban a hallgatók közötti népszerűsítést célzó - elnevezéssel: "tanszéki libalegelő") ötlete először 1981-ben merült fel és többszöri újramérés után, 1984-ben készült el. Az utóbbi időben a soproni geodéziai (oktatási, kutatási, gyakorlati) intézmények között erősödő kapcsolat, az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézete munkatársainak a Nyugat-Magyarországi Egyetem oktató munkájában való egyre intenzívebb részvétele, valamint Dr. Bányai László kollégának egy távmérő kalibrációs célokra alkalmas, több pontból álló alapvonal létesítésére irányuló - sajnos, eddig beteljesületlen - törekvései a legutóbbi években újra aktuálissá tették ezt a témát. A magyarországi kutatási célú kalibrációs vonalak számára "lefoglalt" "teszt" elnevezés helyett talán célszerűbb lenne tesztháló helyett mérőpályáról beszélni. Hogy most melyik kifejezés a helyesebb, talán döntse el a kedves olvasó a tanulmány elolvasása után. Már ha eljut odáig.*

A tanulmány két részből áll: a létesítési szakaszt (1981, 1982, 1984) és az újramérést, ellenőrzést leíró részből (2000).

### **A tesztháló létesítése (1981-1984)**

A tesztháló létrehozásakor kettős cél vezérelte tanszékünket (mai nevén: Földmérési és Távérzékelési Tanszék): részben oktatási, részben kutatási cél. *Oktatási vonalon* az erdőmérnök hallgatók igényes, optimális feltételeket biztosító terepgyakolatainak végrehajtását tűztük ki célul, mert az addigi, az Egyetem Botanikus kertjében lévő terület egyre kevésbé volt alkalmas a geodéziai gyakorlatok számára: a növényzet növekedése miatt az egyes pontok közötti összeláthatóság már nem volt biztosítható, a terület pedig kicsi volt. *Kutatási vonalon* azt reméltük, hogy az alaposan, tudományos igénnyel megtervezett tesztpálya lehetőséget ad majd a különböző jellegű mérési eljárások összehasonlítására, geodéziai műszerek vizsgálatára és hitelesítésére.

A geodéziai tesztháló létesítésének gondolatát a létesítés előkészítésébe bevonni kívánt társintézmények (BGTV Soproni Osztálya - Gellai István, Neher Tibor, Horváth József, MTESz Geodéziai és Kartográfiai Egyesülete, BME Geodéziai Intézete Általános Geodézia Tanszéke - Dr. Krauter András, Szaládi Károly) kedvezően fogadták, hasznosnak és szükségesnek tartották és kifejezték együttműködési szándékukat. Az alább közölt megoldást közösen dolgoztuk ki és valósítottuk meg.

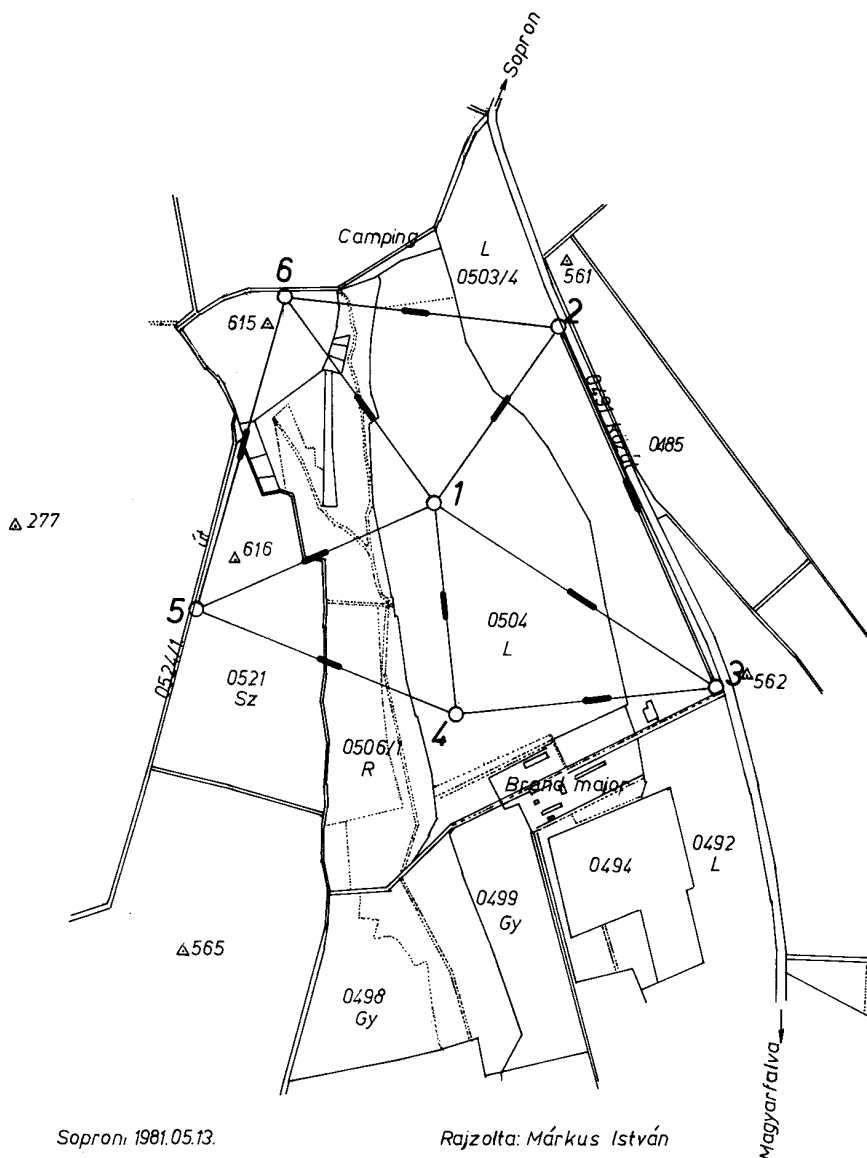
A legalkalmasabb területet több variáció tüzetes vizsgálata eredményeképpen választottuk ki az ún. Harkai plató Camping és a Brand major közé eső részén (*a szerencsés területválasztást visszaigazolta az idő: geodéziai terepi mérőgyakolataink jelentős részét, így több esetben is a geodéziai nagy-gyakorlatot - ma is, közel 20 év elteltével is itt tartjuk. S bár nem a mi érdemünk, hanem feltehetőleg szerencsés egybeesés, e terület mellett létesült később (1989-ben) hazánk egyik első GPS referencia pontja, a SOPR elnevezésű, a Harkai dombon lévő EUREF pont, ld. a 4. ábrát!*). A jelzett területen 6 pontból álló "centrálhálót" jelöltünk ki, amelyben egy oldalt távolságmérő műszerek hitelesítésére is alkalmas mérőpályának tettünk alkalmassá. Beszereztük a szükséges engedélyeket, elkészítettük a hálózat kitzúzési vázlatát (1. ábra) és meghatározási tervét,

kitűztük a hálózati pontok végleges helyét, különös tekintettel az összeláthatósági viszonyok minél további biztosítottására (az azóta eltelt több mint 15 év, sajnos, néhány pontunkat erdő-bozót mögé rejtett, ahova többnyire csak külpontokkal tudunk csatlakozni).

# GEODÉZIAI TESZTPÁLYA

## KITŰZÉSI VÁZLAT

M=1:10000

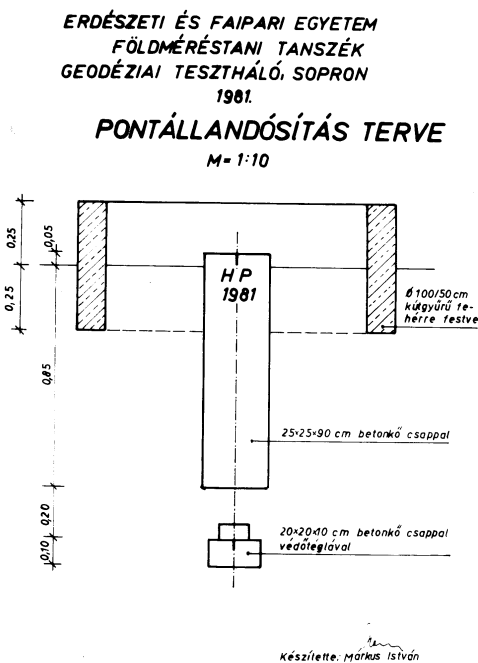


Sopron, 1981.05.13.

Rajzolta: Márkus István

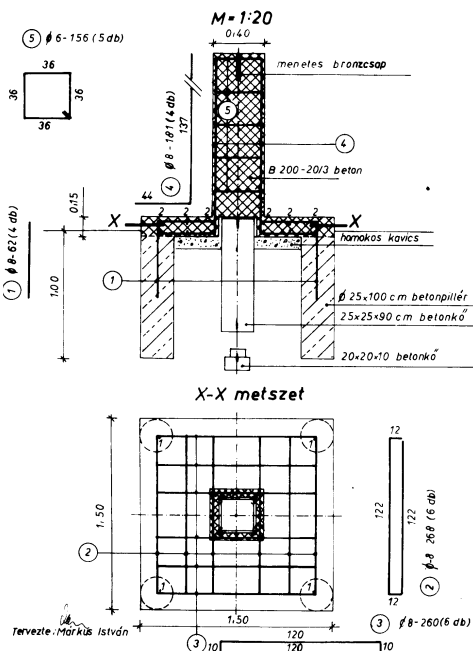
1. ábra. A tesztháló kitűzési vázlat.

Az 1, 4, 5, 6 sz. hálózati pontok állandósítását szabványos 25\*25\*90 cm méretű, csappal ellátott betonkövel és 20\*20\*10 cm méretű betonból készített földalatti jellel végeztük el a IV. rendű vízszintes alappontok létesítésére vonatkozó előírások betartásával (2. ábra). A távolságmérő műszerek hitelesítésére szolgáló mérőpályát (2. és 3. sz. hálózati pontok) a legkedvezőbb elhelyezkedésű - közel vízszintes - Sopron-Magyarfalva közöttal párhuzamos hálózati oldalban képeztük ki. A végpontokon a fagyhatárig alapozott vasbeton pilléreket építettünk (3. ábra). A pillérfejeket a geodéziai műszerek szabatos felhelyezését biztosító menetes bronzcsapokkal láttuk el. Az esetleges elmozdulás miatt a központok helyzetét 4-4 db. 20\*20\*10 cm méretű csappal ellátott beton örkővel biztosítottuk. Az egymástól eltérő talpkiképzésű műszerekhez megfelelő közdarabokat gyártottunk, hogy a pillérekre bármely műszerrel fel tudjunk állni. A hálózati pontok magasságát mm élességgel mértük.



2. ábra. Állandósítás kövel.

**ERDÉSZETI ÉS FAIPARI EGYETEM FÖLDMÉRÉSTANI TANSZÉK. GEODÉZIAI TESZTHÁLÓ. BAZISVÉGPONT**



3. ábra. A pillérek állandósítása.

Több szempont mérlegelése után úgy döntöttünk, hogy a hálózatot helyi rendszerben, az elérhető legnagyobb pontosságra törekedve alakítjuk ki, s csak utólag kapcsoljuk be az országos vízszintes alappont-hálózatba (ezt 1982-ben két hallgatónk TDK-dolgozat keretében végezte el budapesti sztereografikus rendszerben, majd a 80-as évek második felében a BGTV Soproni Osztálya a pontok EOV koordinátáit is meghatározta).

A hálózat mérését Krauter András vezetésével Szaládi Károly kolléga végezte a MEKOMETER 3000 elektronikus távmérővel, 1981-ben, 1982-ben és 1984-ben, tehát időbázissal. Az egyes mért oldalhosszakokat a 2. sz. pillér tetősíkjának magasságára redukálták. A mért oldalakat éves bontásban az 1. sz. táblázat tartalmazza (Bácsatyai 1985).

Az 1982. és 1984. évi méréseknek az 1981. évi mérésekhez viszonyított eltérései a 2. táblázatban találhatóak.

**1. táblázat.** A mért hálózati oldalak éves bontásban.

Álláspont	Irányzott pont	Távolság (m)		
		1981	1982	1984
1	2	495.9256	495.9276	495.9270
	3	675.0934	675.0921	675.0929
	4	383.0017	383.0018	382.9986
	5	490.0300	490.0289	490.0242
	6	531.0191	531.0162	531.0164
2	1			495.9267
	3	859.0973	859.1002	859.0956
	6			527.6052
3	1			675.0921
	2	859.0973	859.1000	859.0957
	4	445.4541	445.4538	445.4509
4	1			382.9987
	3			445.4507
	5	648.4411	648.4388	648.4376
5	1			490.0248
	4			648.4363
	6	596.7725	596.7649	596.7720
6	1			531.0166
	2	527.6052	527.6093	527.6058
	5			596.7711

**2. táblázat.** A mért hálózati oldalak eltérései.

Álláspont	Irányzott pont	Eltérések (mm)	
		1982 – 1981	1984 - 1981
1	2	+2.0	+1.4
	3	-1.3	-0.5
	4	+0.1	-3.1
	5	-1.1	-5.8
	6	-2.9	-2.7
2	3	+2.9	-1.7
3	2	+2.7	-1.7
	4	-0.3	-3.2
4	5	-2.3	-3.5
5	6	-7.6	-0.5
6	2	+4.1	+0.6

A 2. táblázatbeli adatok nem adtak megbízható információt a pontok elmozdulásának jellegére. Mivel így az együttes kiegyenlítés végrehajtásához hiányzott az egyes pontokra vonatkozó mozgási trend modellje, a különböző időpontokban végzett méréseket helyi rendszerben külön-külön egyenlítettük ki, a közvetítő mérések módszere (koordináta-kiegyenlítés) szerint. Az 1981. évi eredmények értékelésekor kiegyenlítésre nem volt szükség, mert a mért oldalakból 0.1" élességgel számított centrumban lévő szögek összege pontosan 360<sup>0</sup> volt. Az 1982. és 1984. évi mérési eredmények kiegyenlítésekor az 1. és a 4. pontok koordinátáinak elfogadtuk az 1981. évi adatokat (e pontokat mozdatatlannak tételeztük fel).

Az egyes hálózati pontok kiegyenlített koordinátái az egyes mérési kampányokban az alábbiak voltak (3. táblázat):

**3. táblázat.** A kiegyenlített pontok hálózati koordinátái.

Pont száma	Koordináták (m)					
	1981		1982		1984	
	Y	x	Y	x	y	X
1	+389.1320	1307.4386	+389.1320	1307.4386	+389.1320	1307.4386
2	0.0000	+1000.0000	-0.0043	+1000.0007	0.0039	+999.9953
3	0.0000	+1859.0973	-0.0014	+1859.0971	0.0022	+1859.1018
4	+412.0109	+1689.7563	+412.0109	+1689.7563	+412.0109	+1689.7563
5	+873.6921	+1234.4253	+873.6950	+1234.4247	+873.6925	+1234.4198
6	+481.6027	+784.5328	+481.6072	+784.5418	+481.6044	+784.5273

A kiegyenlítéskor az összes, az 1. táblázatban felsorolt mérési eredményt figyelembe vettem. Az egyes hálózati pontok kiegyenlített koordinátáinak koordináta-középphibáit a 4. táblázatban mutatom be.

**4. táblázat.** A kiegyenlített pontok középphibái.

Pont száma	Középphibák(mm)					
	1981		1982		1984	
	y	x	Y	x	y	x
1	0	0	0 (feltétel)	0 (feltétel)	0 (feltétel)	0 (feltétel)
2	0	0	±0.4	±0.4	±0.6	±0.5
3	0	0	±0.4	±0.4	±0.5	±0.5
4	0	0	0 (feltétel)	0 (feltétel)	0 (feltétel)	0 (feltétel)
5	0	0	±0.3	±0.2	±0.6	±0.3
6	0	0	±0.2	±0.6	±0.3	±0.7

A teszháló pontjainak koordinátáit az országos vetületi rendszerekbe (EOV, sztereografikus) illesztés után az 5. táblázat tartalmazza. A beillesztéshez a 2. és 3. pilléreket hosszúoldalú sokszögvonalba foglalták, majd e két pont alapján a többi teszháló pont koordinátáját sík (főlős pont nélküli Helmert-) transzformációval határozták meg. A pontosság a beillesztés után csökkent, hiszen magán viseli a hálózati kényszert (hallgatóink a hálózatba nem tartozó pontokra is irányoznak, tájékoznak), ezt jelzi a koordináták cm-es élessége. A geodéziai gyakorlatok céljára ezek az adatok is kiválóan alkalmasak, kutatási szempontból azonban csekély a jelentőségük.

**5. táblázat.** A hálózati pontok koordinátái EOV és sztereografikus rendszerben.

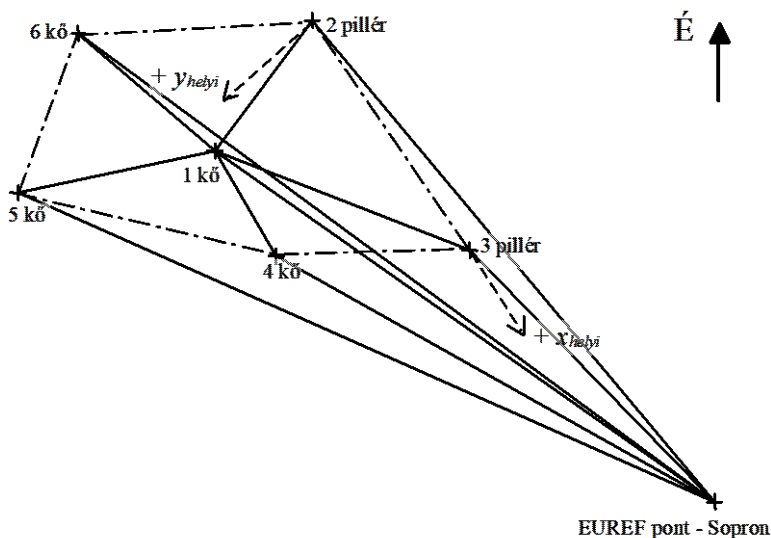
Pont száma	Koordináták (m)			
	EOV		Sztereografikus	
	y	X	y	x
1	465348.06	259845.61	184673.54	-21773.11
2	465585.42	260281.01	184435.97	-22208.52
3	465922.28	259490.78	184099.26	-21418.08
4	465476.92	259484.99	184544.75	-21412.35
5	464873.72	259722.79	185148.03	-21650.37
6	465057.99	260290.34	184963.57	-22218.03

### A tesztháló újramérése GPS technológiával (2000)

Az eddigi megállapítások a mérőpálya kialakításának "klasszikus" módszerét érintették. Hosszú kihagyás után került sor újabb mérésre, bár ma már talán ennek "korszerűsége" is megkérdőjelezhető. A hálózat pontjainak összeláthatósága az összesen 10 irány közül ma már csak 3 irányban biztosított, több helyen már a külponos felállás sem segít. Ezért, meg részben szakmai érdeklődésből is, 2000. szeptember 28-án a Földmérési és Távérzékelési Tanszék TRIMBLE 4000 SST típusú GPS vevőpárjával, Dr Bányai László kolléga aktív közreműködésével, relatív helymeghatározást végeztünk a hálózat pontjaira. Az alkalmazott mérési módszer a gyors statikus volt, a SOPR EUREF (EOV száma 71-40561) pont és az 1. kő bázisállomással. Az 1. kővön gyors statikus mérést is végeztünk. A GPS mérések vázlatát a mért vektorokkal a 4. ábrán mutatom be. Folyamatos vonallal a vektorokat, pontozott-szagatott vonallal a tesztháló GPS-sel nem mért külső vonalait, szagatott vonallal a helyi koordináta-rendszer tengelyeit ábrázolom. A 4. ábra szerinti fölös mérések kiegyenlítésre is lehetőséget adtak. A kiegyenlítést Bányai László végezte GPS-net programjával. A 6. táblázatban a GPS mérési eredményeket, pontosabban a két bázisállomásra kapott átlagértékeket és a kiegyenlített koordinátákat mutatom be. Az 5. és a 6. pontokon külponosan kellett felállnunk. A külponossági elemeket Sokkia PowerSet mérőállomással Kovács Gyula kollégám mérte, ill. számította ki a külponos EOV-koordinátáit, majd utóbbiak alapján a közponos GPS-mérésekből származtatott koordinátáit is. Ezeken a pontokon kiegyenlítés nem történt.

**6. táblázat.** Mért és kiegyenlített GPS koordináták.

P.sz.	Mérési eredmények			Kiegyenlített koordináták		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	4125079.459	1228867.303	4691428.195	4125079.461	1228867.302	4691428.198
2	4124713.544	1228991.596	4691739.506	4124713.546	1228991.596	4691739.510
3	4125154.574	1229500.260	4691205.742	4125154.580	1229500.263	4691205.746
4	4125288.413	1229075.804	4691184.112	4125288.412	1229075.803	4691184.116
5	4125323.434	1228449.294	4691349.375			
6	4124863.167	1228485.717	4691727.631			
5külp.	4125318.600	1228467.752	4691344.230	4125318.601	1228467.750	4691344.231
6külp.	4124891.940	1228484.492	4691702.416	4124891.941	1228484.492	4691702.419



4. ábra. A GPS technikával mért vektorok.

Az 5. és 6. pontoknak nem voltak koordinátái a Bányai-féle kiegyenlítésből, ezért a további számításoknál a mérési eredményeket használtam. A WGS84 koordinátákat a Sopron közelében lévő 15 OGPSH pont közös GPS és EOVS koordinátáinak, ill. Balti tenger szintje feletti magasságai alapján másodfokú polinomos transzformációval számítottam át az EOVS-be, ill. a Balti tenger szintjére. Az 5. és 6. központok WGS84 koordinátáit a központok GPS-mérések alapján transzformált EOVS-koordinátáinak hasonló transzformációjával kaptam. A 7. táblázatban az adott és a GPS mérésekből számított EOVS koordinátákat, ill. a Balti tenger szintje feletti magasságokat, a 7. táblázat utolsó oszlopában pedig a GPS mérési eredményekből a kapott ellipszoidi magasságkülönbségek alapján számított tengerszint feletti magasságokat látjuk. Kiindulásul az 1. kő magasságát fogadtam el, s a - kis területre tekintettel - a geoidundulációkat figyelmen kívül hagytam.

7. táblázat. Az ismert és a GPS mérésekből levezetett EOVS koordináták.

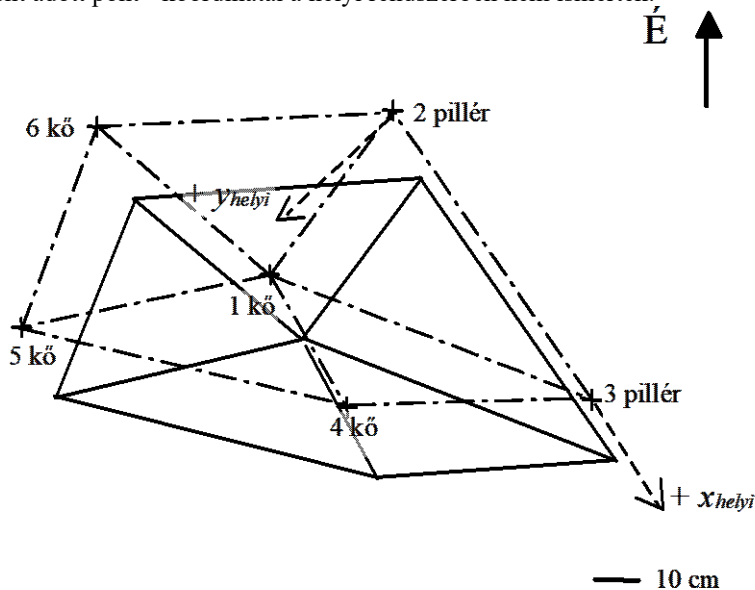
Pont száma	Koordináták (m)						
	EOVS adott		MBf adott	EOVS transzformált		mBf transzfor-mált	MBf a GPS Mérések Alapján
	y	x	m	Y	X	m	M
1	465348.06	259845.61	235.68	465348.00	259845.79	235.75	235.68
2	465585.42	260281.01	253.51	465585.39	260281.16	253.57	253.48
3	465922.28	259490.78	241.53	465922.25	259490.96	241.60	241.51
4	465476.92	259484.99	230.29	465476.88	259485.17	230.34	230.27
5	464873.72	259722.79	254.51	464873.67	259722.95	254.60	254.55
6	465057.99	260290.34	244.00	465057.92	260290.53	244.07	244.01
5külp.	464892.65	259718.27	251.14	464892.61	259718.42	251.23	251.18
6külp.	465047.44	260253.55	243.70	465047.37	260253.74	243.77	243.71

Az adott és számított koordináták eltérései a 8. táblázatban láthatók. Az eltérések azonos nagyságrendjéből és előjeleiből egyértelmű, hogy a transzformált EOVS-koordináták az adottaktól szabályosan térnek el, a hálózat önmagához képest eltolódott mind vízszintes, mind pedig magassági értelemben, de belső harmóniáját megőrizte (5. ábra). Pontozott-szaggatott vonallal az eredeti, folyamos vonallal a transzformálás utáni helyzetet jelölöm.

**8. táblázat.** Az adott és a számított koordináták különbségei.

Pont száma	Eltérések (m)			
	EOV adott - EOV transzformált		MBf adott - transzformált	mBf adott - GPS-ből számított
	$\Delta y$	$\Delta x$	$\Delta m$	$\Delta m$
1	+0.06	-0.18	-0.08	0.00
2	+0.03	-0.15	-0.06	0.03
3	+0.03	-0.18	-0.07	0.02
4	+0.04	-0.19	-0.05	0.02
5	+0.05	-0.18	-0.09	-0.04
6	+0.07	-0.19	-0.07	-0.01
5külp.	+0.04	-0.15	-0.09	-0.04
6külp.	+0.07	-0.19	-0.07	-0.01

A további vizsgálatok céljára a GPS koordináták alapján számított ferde távolságokat (a GPS-sel nem mért külső hálózati oldalakat is) a vízszintesre, ill. - a MEKOMETER-es mérésekkel való összehasonlíthatóság céljából - a 2. sz. pillér tetősíkjának magasságára redukáltam. Az eredményeket - az 1. táblázatban már bemutatott 1984. évi eredmények átlagos értékeivel együtt - a 9. táblázatban mutatom be. Az EUREF pontot közvetlenül nem vonhattam be ismert pontként a kiegyenlítésbe, hiszen - bár egyébként adott pont - koordinátái a helyi rendszerben nem ismertek.



**5. ábra:** A tesztáló helyzete a GPS-koordináták EOVS-be való transzformációja után.

**9. táblázat.** A GPS mérésekből levezetett távolságok eltérései.

Álláspont	Írányzott pont	Átlagos magasság mBf (m)	Távolság (m)			
			Tengerszintre redukált távolság (m) (2000)	Vízszintes távolság a 2 pillér tetősíkjában (m)		Eltérések (mm) 2000-1984
				2000	1984	
1	2	244.660	495.9035	495.9232	495.9268	-3.6
	3	238.675	675.0509	675.0777	675.0925	-14.8
	4	233.045	382.9768	382.9920	382.9986	-6.6
	5	245.175	489.9947	490.0142	490.0245	-10.3
	6	239.910	531.0005	531.0216	531.0165	+5.1
2	3	247.585	859.0400	859.0741	859.0956	-21.5
	6	248.820	527.5694	527.5903	527.6055	-15.2
3	4	235.970	445.4241	445.4418	445.4508	-9.0
4	5	242.470	648.4093	648.4351	648.4370	-1.9
5	6	249.335	596.7509	596.7746	596.7716	+3.0

Az így kialakított helyi hálózatot kiegyenlítettem úgy, mintha távolságmérési háromszögelési hálózat lenne, a 9. táblázatbeli távolságmérési eredményekkel. Az 1. és a 4. pontok koordinátái e kiegyenlítésben sem vettek részt: az 1982. és 1984. évi kiegyenlítéshez hasonlóan az 1. pontot és a 4. pontot mozdulatlanak tételeztem fel.

A koordináta kiegészítő értékeket és a kiegyenlített helyi rendszerbeli koordinátákat a 10. táblázat tartalmazza.

**10. táblázat.** A hálózati kiegyenlítés eredményei.

Pont száma	Koordináták (m)					
	Közéltítő koordináták (1981)		Koordináta kiegészítő értékek		2000	
	y	x	$\delta y$ (mm)	$\delta x$ (mm)	y	x
1	+389.1320	1307.4386	0	0	+389.1320	1307.4386
2	0.0000	+1000.0000	+8.0	-2.9	+0.0080	+999.9971
3	0.0000	+1859.0973	-14.9	+6.8	-0.0149	+1859.1041
4	+412.0109	+1689.7563	0	0	+412.0109	+1689.7563
5	+873.6921	+1234.4253	-10.3	-18.0	+873.6818	+1234.4073
6	+481.6027	+784.5328	-6.7	-25.5	+481.5960	+784.5073

Az egyes hálózati pontok kiegyenlített koordinátáinak koordináta-középlehibáit - a szemléletesség kedvéért az 1981, 1982. és 1984. évi mérési kampányok 4. táblázatban már bemutatott adataival együtt - a 11. táblázatban mutatom be. Figyelembe véve, hogy a hálózatot GPS mérésekből számított "távolságmérési eredményekből" vezettem le, a kapott eredmények jónak mondhatók (a középhibák alapján talán gyanúsán túl jónak is), azzal együtt, hogy a GPS koordinátákból számított távolságok korreláltak, így az alkalmazott eljárás nem tökéletesen korrekt. Egy szignifikancia vizsgálat választ adhat arra a kérdésre, hogy a GPS technológiával kapott eredmények valóban elmozdulások-e (mint

láttuk, azzal a feltételezéssel, hogy az 1. és a 2. pontok nem mozdultak el). Az elmozdulások és a középhibák előzetes összevetése alapján legalábbis úgy tűnik.

**11. táblázat.** A különböző hálózati kiegyenlítések középhibái.

Pont száma	Középhibák (mm)							
	1981		1982 (MEKOMETER)		1984 (MEKOMETER)		2000 (GPS)	
	y	x	y	x	y	x	y	x
1	0	0	0 (feltétel)	0 (feltétel)	0 (feltétel)	0 (feltétel)	0 (feltétel)	0 (feltétel)
2	0	0	±0.4	±0.4	±0.6	±0.5	±1.8	±1.6
3	0	0	±0.4	±0.4	±0.5	±0.5	±1.7	±1.5
4	0	0	0 (feltétel)	0 (feltétel)	0 (feltétel)	0 (feltétel)	0 (feltétel)	0 (feltétel)
5	0	0	±0.3	±0.2	±0.6	±0.3	±1.7	±1.0
6	0	0	±0.2	±0.6	±0.3	±0.7	±1.0	±2.4

Az adatokban még számtalan kihasználatlan lehetőség van, így a vizsgálatot nem tekinthetem befejezettnek.

Szubjektív annak a megítélése, hogy a fenti adatok alapján a "klasszikus" és a GPS- geodézia oktatására irányuló feladatokon túl mire használható a helyi rendszerben kialakított teszháló (mérőpálya). Az elektrooptikai távmérők kalibrálására történő kiterjesztésre Bányai (1998) tett javaslatot, a 2. és 3. vasbeton pillérek kiegészítéseként, ill. meghosszabbításaként. Megállapítása szerint "a pillérek egy kevésbé forgalmas országút mentén helyezkednek el, és az eddigi mérési tapasztalatok alapján a terület stabilnak tekinthető, alkalmas lehet kalibrációs alapvonal kiépítésére is." Az 1984 óta eltelt idő és a kapott eredmények e megállapítást alátámasztani látszanak. Bányai kolléga elkészítette a teszhálózathoz csatlakozó kalibrációs vonal tervét, a készítés folyamata azonban az út mentén elhelyezkedő közművek gazdáinak (MATÁV, Gázművek) ellenállásán, ill. a pénzügyi feltételek részleges hiánya miatt sajnos egyelőre elakadt.

### Hivatkozások

- Bácsatyai L** (1985): Zárójelentés "A geodéziai teszháló létrehozása" c. MTESZ munkabizottsági tevékenységről.
- Bányai L** (1998): Az elektrooptikai távmérők kalibrálása. Geomatikai Közlemények, I. 21-26. old.

## A GPS PONTOSSÁGA SA NÉLKÜL

*Takács Bence\**

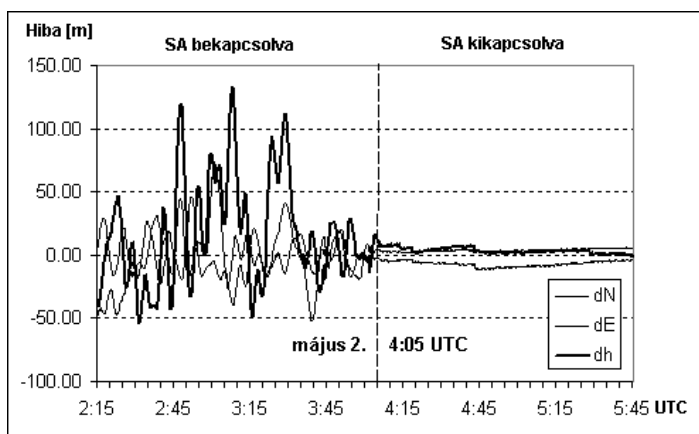
*Clinton elnök döntésére európai idő szerint 2000. május 2-án hajnalban megszüntették a GPS pontosságának mesterséges rontását. A hivatalos közlés szerint ezzel a valós idejű helymeghatározás pontossága tízszeresére nőtt, azaz a vízszintes helymeghatározás hibája mintegy tíz méterre csökkent. A gyakorlati tapasztalatok szerint azonban sok esetben néhány méteres pontosság is elérhető. Ebben a tanulmányban megpróbálunk választ adni arra a kérdésre: milyen pontos az abszolút helymeghatározás SA nélkül. Különböző vevőkkel végeztünk kísérleti méréseket, ezek eredményeit és a velük kapcsolatos tapasztalatokat foglaltuk össze.*

### Bevezetés

A pontosság vizsgálatára 24 órás méréseket végeztünk ismert pontokon, ennek során a valós időben meghatározott koordináták hibáit vizsgáltuk. A tesztmérést elvégeztük kézi vevőkkel és geodéziai műszerekkel is, keresve, hogy mi a különbség az egyes típusok között. Megvizsgáltuk azt, hogy a pozíciók különböző időintervallumokon végzett átlagolásával hogyan növelhető a pontosság.

### A GPS pontosságáról

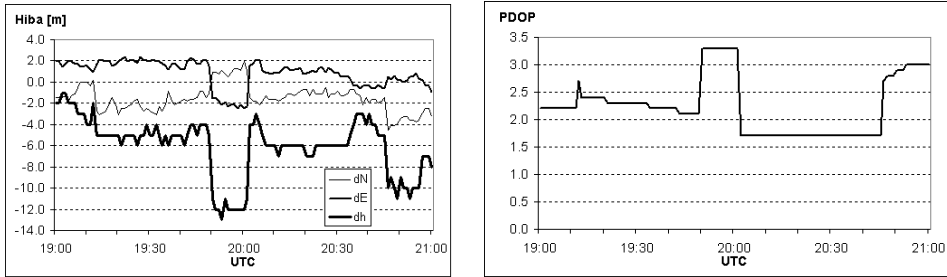
A GPS pontossága több tényezőtől függ aszerint, hogy abszolút vagy relatív helymeghatározást végzünk, hogy az eredményeket valós időben vagy utólag dolgozzuk fel és így tovább. Elsősorban a pontosság mesterséges rontásának következtében (SA) a valós időben egyetlen műszerrel meghatározott pozíciók hibája az esetek 95%-ában vízszintes értelemben nem több mint 100 m, magassági értelemben nem több mint 156 m (Langley 1999). Az elnöki döntés szerint a korlátozott hozzáférés megszüntetésével a valós időben meghatározott koordináták pontossága tízszeresére nőtt (Statement 2000).



**1. ábra.** A penci permanens állomás méréseiből számított abszolút pozíciók hibája május 2-án hajnalban.

## Az abszolút pozíciók jellemzői

Az SA korszakában, a valós időben meghatározott abszolút koordináták időbeli változása nagyon gyors volt, néhány perc alatt akár több tíz méteres változások is megfigyelhetők voltak. Az SA kikapcsolása után a koordináták időbeli változása lassú, de a műhold-geometria változásának megfelelően ugrások figyelhetők meg. A 2. ábrán a valós időben meghatározott pozíciók hibája és a hozzátartozó DOP értékek közötti erős korreláció látható:

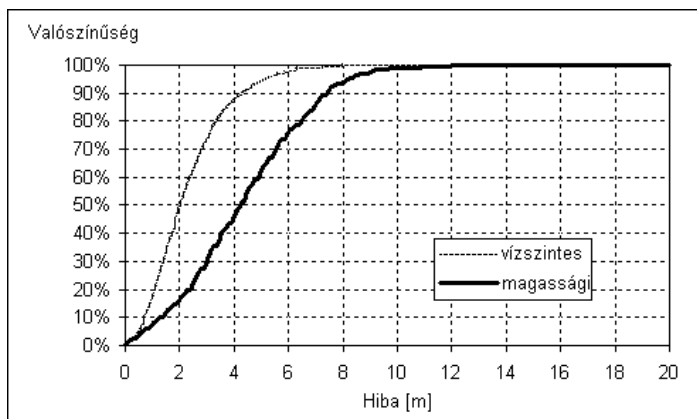


2. ábra. Pozícióhibák és a hibákhoz tartozó DOP értékek.

Ha tehát a vevő a helymeghatározáshoz egy „új” műholdat is figyelembe vesz, vagy egyet elhagy az addig figyelembe vettek közül, akkor a koordináták ugrásszerűen megváltoznak, a következő hasonló jelenségig viszont a koordináták gyakorlatilag állandók maradnak.

## Az abszolút mérések vizsgálata

Ismert ponton elhelyezett műszerrel 24 órán keresztül végeztünk kódéréseket a műszer által valós időben meghatározott koordináták rögzítésével. Az eredmények az időben lassan változnak, ezért elegendő azokat percenként rögzíteni. A „mért” koordinátákat az álláspont ismert és hibátlanak tekintett koordinátaival hasonlítjuk össze, az eltérések tehát valódi hibáknak tekinthetők. A továbbiakban az É-D és K-Ny irányú eltérések „eredőjét” vízszintes hibának, a magasság-eltérések abszolút értékét pedig magassági hibának nevezzük.



3. ábra. Egy jellemző tapasztalati eloszlásfüggvény.

Az értékeléshez elő állítottuk a hibák tapasztalati eloszlásfüggvényét, amely megmutatja, hogy az esetek hány százalékában kaptunk tetszőleges értéknél nem nagyobb hibát (Detrekői 1991). Egy jellemző tapasztalati eloszlásfüggvény látható a 3. ábrán. Megjegyezzük, hogy két műszer közül az a „pontosabb”, amelynek hibasorozatából előállított eloszlásfüggvény a másik eloszlásfüggvénytől „balra” helyezkedik el úgy, hogy a görbék nem metszik egymást. Az összes meghatározott tapasztalati eloszlásfüggvényt hely hiányában nem tudjuk grafikusán megmutatni, ezért táblázatosan megadunk néhány fontos konfidenciaszinthez tartozó hiba-értéket. Ezek a konfidenciaszintek annak valószínűségét adják meg, hogy normális eloszlást feltételezve a hiba a várható értéktől nem tér el jobban, mint a középhiba egyszerese (68.3%) kétszerese (95.4%) illetve háromszorosa (99.7%) (Krauter 1995). A koordináta hibák a helymeghatározást terhelő számos szabályos hiba hatása miatt nem tekinthetők normális eloszlásúnak, a vízszintes és magassági hibák még kevésbé. Nyilvánvaló, hogy az a műszer a pontosabb, amelynek eloszlásfüggvényén az adott konfidenciaszinthez kisebb hiba-érték tartozik.

A fent ismertetett vizsgálatot több különböző műszerrel elvégeztük és az eredményeket az 1. táblázatban foglaltuk össze.

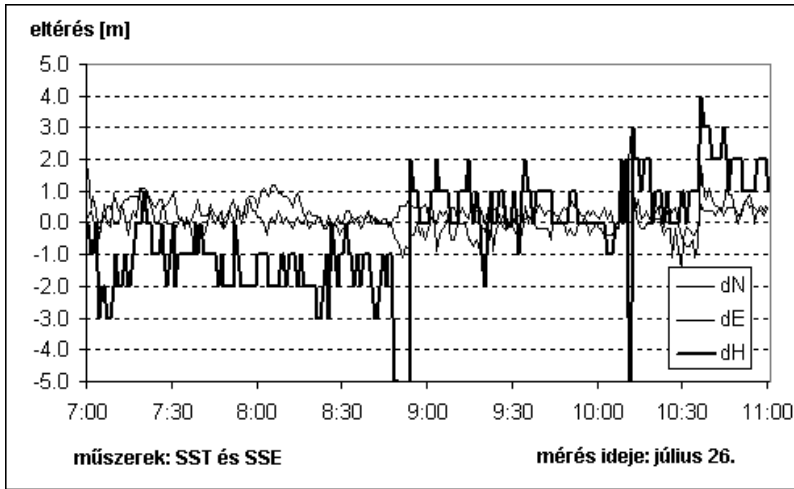
**1. táblázat.** Különböző műszerekkel végzett abszolút mérések vizsgálata.

Műszer	Vízszintes hiba [m]			Magassági hiba [m]		
	68.3% (1 $\sigma$ )	95.4% (2 $\sigma$ )	99.7% (3 $\sigma$ )	68.3% (1 $\sigma$ )	95.4% (2 $\sigma$ )	99.7% (3 $\sigma$ )
Trimble 4700	2.1	4.3	9.7	5.3	9.2	15.1
Trimble 4000 SSE	2.8	5.3	6.8	3.0	7.0	9.0
Trimble 4000 SST	3.8	6.7	9.3	6.0	11.0	16.0
Pathfinder CBS	2.7	4.4	7.7	3.1	7.4	10.0
Topcon Turbo-G1	2.6	4.7	8.4	10.9	15.1	20.0
Garmin eMap	2.7	5.2	7.8	4.2	7.2	10.8

A táblázat első három sorában három geodéziai vevő látható, a második három sorban térinformatikai vevő. A Pathfinder vevő fázisméréssel simított kódmerést végez. Az eredményeket tekintve a következő megállapításokat tehetjük:

- A táblázatban található értékek alapján 95 százalékos valószínűségi szinten a vízszintes pozíciók hibája körülbelül 5 méter, a magassági pozícióké pedig 8 méter.
- A kézi vevők és a geodéziai műszerek között nincs jelentős különbség.
- A különböző műszerekkel meghatározott vízszintes pozíciók pontossága alig különböző. Egyedül az SST műszer – a legöregebb vevő – eredményei térnek el jelentősen a többi eredménytől.
- A magassági hibák között már vannak különbségek. A Turbo-G1 műszerrel meghatározott magasságokat bizonyára valamilyen szabályos hibahatás terheli, ennek a kiderítése további vizsgálatokat igényel.

Az egyes műszerek közötti különbségek bemutatására a következő kísérletet végeztük el. Két különböző vevőhöz (SST, SSE) közös antennát csatlakoztattunk és összehasonlítottuk a két műszer által meghatározott koordinátákat. Ebben az esetben a két műszer mérési körülményei azonosak.

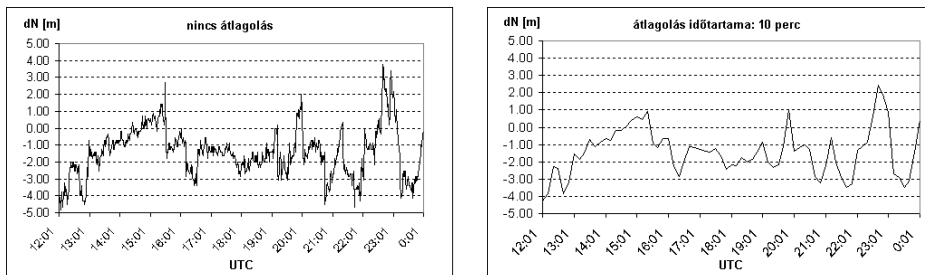


4. ábra. Két különböző vevő közös antennán.

A 4. ábra alapján a magassági eltérések lényegesen nagyobbak a vízszintes eltéréseknél, előbbi elérheti a 3 métert is, utóbbi 1 méteren belül marad. A magassági eltérések két esetben az 5 métert is meghaladják, ez a jelenség is további vizsgálatot igényel. A kísérletet két azonos vevővel (SSE) is elvégeztük, ebben az esetben az összetartozó koordináták között nem tapasztaltunk eltérést.

### Az átlagolás pontosságnövelő hatásának vizsgálata

Ebben a fejezetben arra a kérdésre keressük a választ, vajon érdemes-e egy ponton hosszabb ideig mérni a pontosság növelése érdekében. Eddig egymástól elvileg független pozíciókkal foglalkoztunk, most 10, 20, 30 és 60 perces időszakokra kiszámítjuk a percnként rögzített koordináták középértékét és az átlagolt koordinátákat vetjük alá a korábban ismertetett vizsgálatnak.



5. ábra. Koordináta hibák átlagolás nélkül és 10 perces intervallumon végzett átlagolással. A mérést Trimble SSE vevővel végeztük július 10-én.

Az átlagolás tulajdonképpen egyfajta simításnak tekinthető. Az 5. ábra egy 12 órás mérés É-D irányú koordináta hibáit mutatja átlagolás nélkül és 10 perces átlagolás után. Az átlagolás során a grafikon jellege nem változik meg, ugyanakkor a kiugró értékek csökkennek. Jó példa erre a 23 óra körül jelentkező kiugró pozitív előjelű hiba: az első esetben ez közel 4 méter, átlagoláskor már alig több mint 2 méter.

A 2. táblázat egy 24 órás mérés különböző átlagolási időtartamokhoz tartozó tapasztalati eloszlásfüggvényének néhány jellemző értékét mutatja.

**2. táblázat.** Az átlagolás pontosságnövelő hatása különböző időtartamokon.

Időtartam	Vízszintes pontosság-javulás [%]			Magassági pontosság-javulás [%]		
	68.3% (1 $\sigma$ )	95.4% (2 $\sigma$ )	99.7% (3 $\sigma$ )	68.3% (1 $\sigma$ )	95.4% (2 $\sigma$ )	99.7% (3 $\sigma$ )
10 perc	0	2	12	7	7	4
20 perc	3	5	19	7	10	5
30 perc	3	11	28	17	6	9
60 perc	13	18	30	20	8	23

Ez alapján azt mondhatjuk, hogy a 68.3 százalékos konfidenciaszinthez tartozó hiba az átlagolás során alig csökken – a vízszintes hiba egy órás mérések esetén is mindössze 13 százalékkal, a magassági hiba pedig 20 százalékkal csökkent. A 95.4 és 99.7 százalékos konfidenciaszintekhez tartozó hibák már valamivel erősebben csökkennek. Ezek alapján megállapítható, hogy nem érdemes hosszabb időt eltölteni egy-egy pont abszolút meghatározásával, mert az idő növelésével az átlagolt pozíciók pontossága alig javul.

## A kinematikus mérések pontossága

Vannak feladatok, amikor a pontok helyzetét elegendő néhány méter pontosan megadni. Például egy szintezési alappont helyzetét vízszintes értelemben is meg kell határozni, erre az SA kikapcsolása óta egy olcsó kézi vevő is alkalmas.

Az SA kikapcsolása igazából a kinematikus alkalmazásokat érinti kedvezően. Az SA hatásának kiküszöbölésére eddig is volt technológia, a valós idejű DGPS. Ezután a differenciális korrekciókat alkalmazó mérési technika jelentősége bizonyára csökkenni fog, hiszen a navigációs igényt kielégítő pontosság a korrekciók nélkül is elérhető.

A kinematikus mérések pontossága nehezen adható meg, mivel nehezen határozható meg a mozgó vevő által meghatározott koordináták hibátlan értéke. Végeztünk kísérleti méréseket egy mozgó gépjármű helyzetének meghatározására stop and go technikát alkalmazva, de a tereptárgyak takarása miatt a fázismérés állandóan megszakadt. A pontosság meghatározásának másik módszere, hogy a mozgó vevő által meghatározott pozíciókat összehasonlítjuk az út nagy pontossággal ismert térbeli helyzetével (például geodéziai felmérés során megmértük a burkolatszéleket). Ebben az esetben kiszámíthatjuk a mért pont távolságát a mozgás elméleti pályájától (például a sáv közepétől), de ez az adat nem a mért pozíció, hanem a keresztirányú eltérés hibája, a navigációból jól ismert cross track error, hiszen a mozgásirányú összetevő értékét nem tartalmazza.

A statikus mérések során meghatározott pontossági mérőszámok általában a kinematikus mérések pontosságának jellemzésére is alkalmasak. Valószínű, hogy a kinematikus mérések során a pontosság valamivel kisebb, mert több a zavaró tényező (multi-path jelenségek) és a tereptárgyak takarása miatt egyes holdak kimaradnak a helymeghatározásból.

## Összefoglalás

A cikkben bemutatott mérési tapasztalatok alapján a valós időben, egyetlen vevővel meghatározott vízszintes pozíciók hibája 95 százalékos valószínűségi szinten körülbelül 5 méterre tehető, ugyanez magassági értelemben 8 méter. A mérések során kiderült, hogy a különböző geodéziai és a térinformatikai vagy kézi vevők között az abszolút helymeghatározás pontossága tekintetében nincs jelentős különbség, illetve, hogy a különbségek inkább a magasságok meghatározásában mutatkoznak meg.

Megvizsgáltuk az átlagolási technika pontosságnövelő hatását és azt tapasztaltuk, hogy néhány tíz percig tartó mérés során az átlagos pozíciók hibája alig csökken, viszont a „kiugró” hibák értéke valamivel erősebben csökken. Ezek szerint egyetlen vevővel hosszabb ideig végzett abszolút statikus mérések pontossága alig kedvezőbb annál, mint ami egy-két perc alatt elérhető.

## Hivatkozások

**Detrekői Á** (1991): Kiegyenlítő számítások. Tankönyvkiadó, Budapest.

**Krauter A** (1995): Geodézia. Műegyetemi Kiadó, Budapest.

**Richard B, Langley** (1999): Dilution of Precision. GPS World, május.

Statement (2000) by the president regarding the United States' decision to stop degrading Global Positioning System accuracy, május.

<http://www.pub.whitehouse.gov/uri-res/I2R?urn:pdi://oma.eop.gov.us/2000/5/2/7.text.1>

## INFORMÁCIÓS RENDSZEREK ADATBÁZISÁNAK KIALAKÍTÁSA MOBIL TÉRKÉPEZŐ RENDSZEREKKEL

*Kis Papp László\**

*A társadalom részéről egyre jobban nő az igény a korszerű információs rendszerek iránt. Felgyorsultak az események hazánk EU tagságát illetően is, ez a tény még inkább előtérbe helyezi a mérnöki feladatok információs rendszerek segítségével történő megoldását. Mivel a korszerű mérési technikák rendkívül nagy mennyiségű mérési adatot képesek szolgáltatni, ezek megfelelő kezelése, feldolgozása nem nélkülözheti a korszerű számítástechnikai eljárások alkalmazását.*

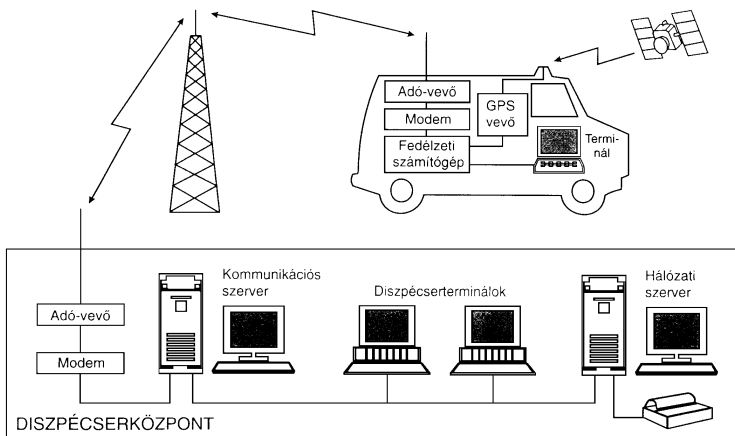
### Bevezetés

A térbeli helymeghatározás navigációs műhold-rendszerrel történő végrehajtása, valamint a digitális fotogrammetriának az utóbbi tíz évben végbement fejlődése következtében lehetőség nyílt az információs rendszerek geometriai és szakági adatbázisának mobil térképező rendszerekkel történő meghatározására. A rendszerek mozgó szállítóeszközre erősített különböző érzékelőkből állnak, amelyek képesek a jármű pályájának folyamatos helymeghatározására, és a jármű környezetében lévő tereptárgyakról digitális fotogrammetriai felvételek készítésére. A mérési eredményeket jelen időben utófeldolgozási üzemmódban kapják meg. A napjainkban folyó kutatások a jelen idejű adatszolgáltatást és az ehhez szükséges automatikus objektum-kiértékelést célozták meg. A mobil térképező rendszerekkel lehetőség van az utak mentén elhelyezkedő építmények, műszaki létesítmények geometriai és szakági adatainak meghatározására. Ezeknél az objektumoknál ugyanis a felmérendő tereptárgyak jelentős része függőleges síkban helyezkedik el, ezért a közel függőleges tengelyű légi- és műhold felvételeken nem látható.

### Mobil térképező rendszerek

A mobil térképező rendszerek alapvetően két **alrendszerből** tevődnek össze: A **térbeli adatok gyűjtésére** szolgáló alrendszer digitális leképező műszerekből áll: leggyakrabban CCD kamerákat alkalmaznak, de alkalmazhatnak képalkotó lézert is, ebben az esetben a kép mellett a szenzortól mért távolságot is meg lehet határozni, ami növeli a meghatározás pontosságát. Vasúti űrszelvények mérésekor profilozó lézert használhatnak. Az impulzus radarok képesek a vizsgált objektumok vastagságának meghatározására is, ezért rendszerint a burkolati hibák felderítésére használatosak. Az ultrahangos érzékelők szintén poláris koordinátákat (távolságokat és szögeket) határoznak meg, utak hossz- és keresztiszelvény méréseinél kerülnek alkalmazásra. A térbeli adatok gyűjtésénél kiegészítő adatgyűjtő eszközként a videokamerák alkalmazása is előfordul.

Az **integrált helymeghatározó** alrendszer a térbeli adatoknak a referencia-rendszerbe történő elhelyezését szolgálja. A mérőkocsi folyamatos helymeghatározásának lehetőségét biztosítja a GPS. A GPS rohamosan terjed a járműnavigációs alkalmazások körében. A GPS alapú gépjármű-navigáció működési elvét az **1. ábrán** mutatjuk be.



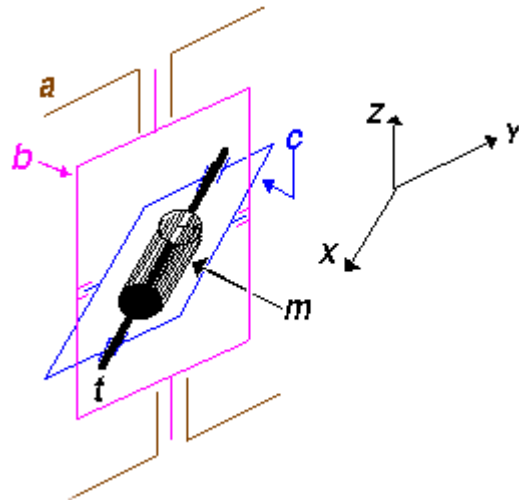
1. ábra. GPS alapú gépjármű navigáció működési elve.

A mobil térképező rendszerek esetében a GPS önmagában nem tudja a különböző feladatok pontossági igényeit kielégíteni, ezért kiegészítő navigációs eszközként vagy inerciális navigációs rendszert (INR) vagy kerék-fordulatmérőket és pörgettyús tájolókat használnak. Az inerciális navigációs rendszert használó mérőkocsik adatait is kiegészíthetik pl. az **ABS** blokkolásgátló rendszerek fordulatomérőivel. A mobil térképező rendszerek integrált helymeghatározó alrendszere – az előzőekben tárgyaltakon túlmenően – egyéb helymeghatározó eszközökkel is fel van szerelve (pl. barométerrel, hajlasmérő műszerekkel). Ezek a műszerek a helymeghatározás esetleges durva hibáinak kiszűrésére alkalmasak. A különböző műszerek vezérlése, a nyert adatok tárolása és a valós időben történő számítások fedélzeti számítógéppel hajthatók végre.

### Inerciális navigációs rendszerek (INR)

Az inerciális navigációs rendszerek alapelvét úgy képzeljük el, hogy létrehozunk egy háromdimenziós koordináta-rendszert, amely a Földhöz viszonyított helyzetét a mérőkocsi haladása közben nem változtatja meg. Az egyes tengelyekre szerelt gyorsulásmérők mérési eredményeit kétszeresen integrálva megkapjuk a jármű kezdeti helyzetéhez képest a megtett út koordináta vetületeit. A rendszer gyakorlati végrehajtásához tehát biztosítani kell a koordináta-tengelyek mozdulatlanságát. Ezt a feladatot giroszkópok végzik. A mérőkocsi tengelyeire mechanikusan gyorsulásmérőket kell felszerelni, végül számítógépséget kell a rendszerhez kapcsolni a jelek gyűjtésére és a kétszeres integrálás elvégzésére. A **2. ábrán** bemutatjuk a korábbi rendszerekben alkalmazott hibás megoldások alapelvét.

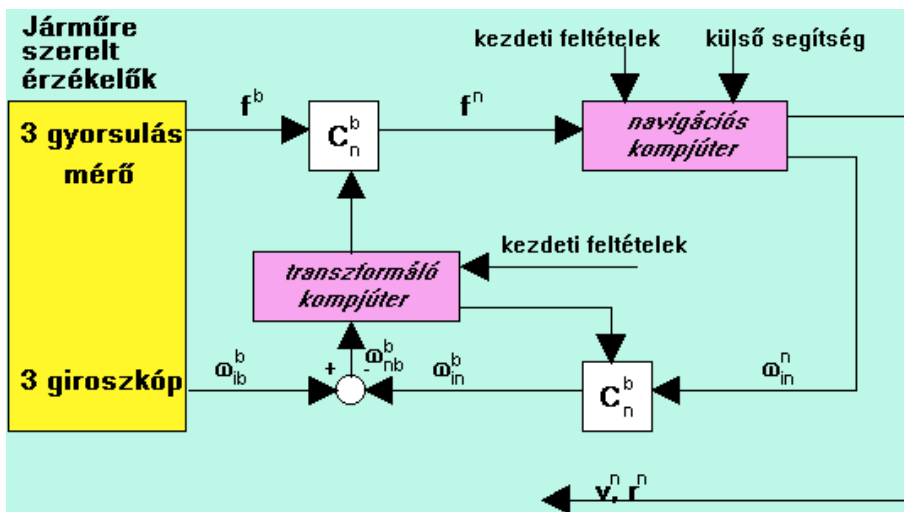
Az **m** motor gyors forgása következtében a **t** tengely párhuzamos az **X** koordináta-tengely kezdeti helyzetével. A **2. ábrán** látható koordináta-rendszert az **a** járműtesthez rögzítettük. Ha a mérőkocsi elfordul **Z** tengely körül, úgy a **b** keret a **2. ábrán** látható csapágyakban szintén elfordul **a**-hoz képest és a **t** tengely helyzete nem változik. A bemutatott vázlatokból is látható, hogy a stabilizált tengelyekkel működő inerciális navigációs rendszerek berendezései igen szabatos mechanikai kialakítást igényelnek. A finommechanika viszonylag lassúbb fejlődése nem tette lehetővé, hogy ezzel a megoldással pontos, relatíve olcsó és kisméretű rendszereket alakítsanak ki.



2. ábra. Himbás rendszerű giroszkóp működési elve.

Az új típusú rendszerek a navigációs koordináta-rendszert analitikusan állítják elő fedélzeti számítógép segítségével. Az alkalmazott giroszkóp tulajdonképpen nagy pontosságú szögsebességmérő, amelynél a sebességértékek idő szerinti integrálásából meghatározható a kezdeti állapothoz viszonyított, a giroszkóp tengelye körül végzett elfordulás. Mivel az analitikus inerciális navigációs rendszerekben nincsenek valódi inerciális tengelyek a mérési eredményeket számítással kell transzformálni a mérőkecsi ún. testkoordináta-rendszerébe, illetve a földrajzi helyi függőleges koordináta-rendszerbe, melyben a pont helyzetét  $\varphi$  szélességgel,  $\lambda$  hosszúsággal és  $h$  ellipszoid feletti magassággal határozzuk meg.

A 3. ábrán a Litton-cég inerciális rendszerének számítási blokkvázlatát mutatjuk be.



3. ábra. Litton-cég inerciális rendszerének blokkvázlata.

A számítás **első lépésében** kalibrációs javításokkal látják el a gyorsulásmérők és a giroszkópok outputját. A **második lépésben** a **b** test-koordináta-rendszerből az **n** navigációs-koordináta-rendszerbe transzformáló mátrix  $\mathbf{C}_b^n$  számítását kell elvégezni a következő differenciál-egyenlet numerikus megoldásával.

$$\mathbf{C}_b^n = \mathbf{C}_b^n \mathbf{\Omega}_{nb}^b,$$

ahol,  $\mathbf{\Omega}_{nb}^b$  az  $\boldsymbol{\omega}_{nb}^b$  vektorból kialakított antimetrikus forma.

Ugyanis, ha  $\boldsymbol{\omega}^T = [\omega_1, \omega_2, \omega_3]$ , úgy:

$$\mathbf{\Omega} = \begin{vmatrix} \mathbf{0} & -\omega_3 & +\omega_2 \\ +\omega_3 & \mathbf{0} & -\omega_1 \\ -\omega_2 & +\omega_1 & \mathbf{0} \end{vmatrix}.$$

Az  $\mathbf{\Omega}_{nb}^b$  meghatározásához a navigációs rendszernek az inerciális rendszerre vonatkozó szögsebesség-vektorát  $\boldsymbol{\omega}_{in}^b$ -t ki kell vonnunk visszacsatolás formájában a mért inerciális szögsebesség vektorból  $\boldsymbol{\omega}_{ib}^b$ -ből:

$$\boldsymbol{\omega}_{nb}^b = \boldsymbol{\omega}_{ib}^b - \boldsymbol{\omega}_{in}^b.$$

A számítás **harmadik lépésében** a **b** test-koordináta-rendszerben mért gyorsulásokat alakítjuk át az **n** navigációs koordináta-rendszerbe:

$$\mathbf{f}^n = \mathbf{c}_b^n \mathbf{f}^b.$$

Ezt követően az átalakított értékeket betápláljuk a navigációs kompjuterbe. A nehézségi erőter és a Föld forgásából eredő Coriolis-erő hatásának kompenzálása után két egymást követő integrálás eredményeképpen a rendszer kimenetén megkapjuk a  $\mathbf{V}^n$  sebességvektort és az  $\mathbf{r}^n$  helyzetvektort. A  $\mathbf{V}^n$  a szélesség és hosszúság szerinti sebességkomponensek, valamint a Föld forgássebessége ( $\boldsymbol{\omega}_{ie}^n$ ) alapján  $\boldsymbol{\omega}_{in}^n$  meghatározható, és ennek segítségével az előzőekben már említett visszacsatoláshoz szükséges  $\boldsymbol{\omega}_{in}^b$  számítható.

### A Kalman szűrő szerepe

A Kalman szűrési technikát 1960 óta számos feladat megoldására használják: a geológia, az oceanográfia, a navigáció, a geodézia, stb. tudományterületen. A Kalman szűrési technika a Gauss-féle legkisebb négyzetek módszerén alapszik.

A módszer alap gondolata:

- ha valamely mennyiségek meghatározására méréseket végzünk, és a mérések száma több, mint amennyi a meghatározáshoz szükséges, akkor a mérési hibák miatt a mérések ellentmondanak egymásnak;
- az ellentmondásokat kiegyenlítéssel lehet megszüntetni úgy, hogy minden mérési eredményhez egy-egy javítást rendelünk;

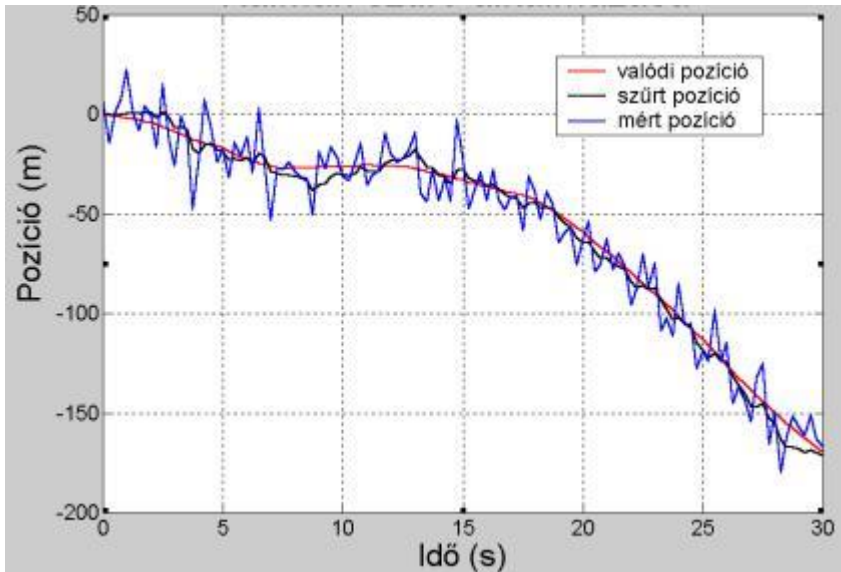
- a végtelen sok javítási lehetőségek közül azt választjuk, amelyben a javítások a legkisebbek,
- ha a mérések súlya különböző, a keresett javítási rendszerben a javítások négyzetének súlyozott összege a lehető legkisebb kell, hogy legyen,
- a javítások keresett rendszerét matematikai módszerrel, szélsőérték keresésével határozhatjuk meg.

A Kalman szűrési rendszer olyan matematikai eljárás, amely dinamikus modell felhasználásával megbecsüli valamely  $k+1$  időpontban a rendszer állapotát és egybeveti ezt az értéket valamely pontos értékkel a kérdéses időpontban. A rendszer statisztikai tulajdonságai, valamint a becült és mért értékek eltérése alapján a módszer megjavítja a két mérés közé eső előzetes értékeket és a folyamat folytatódik.

A Kalman szűrési rendszer előnyei:

- minden időpontra végzett becslés tartalmazza az összes korábbi információt, vagyis a korábbi mérési eredményeket nem kell tárolni;
- az egyes paraméterek értékeire minden időpontban előrejelzéssel rendelkezünk, ami lehetővé teszi a durva hibák (több-utas terjedés, ciklusugrás) kiszűrését;
- az egyes paraméterek becült értéke valós időben határozható meg, ez a lehetőség fontos a navigáció szempontjából;
- a számítás viszonylag egyszerű mátrix-műveleteket igényel.

A BME Általános és Felsőgeodézia Tanszéke OTKA pályázat keretében szimulált adatokkal olyan példa kidolgozását végezte el, amelynek eredménye a **4. ábrán** látható.



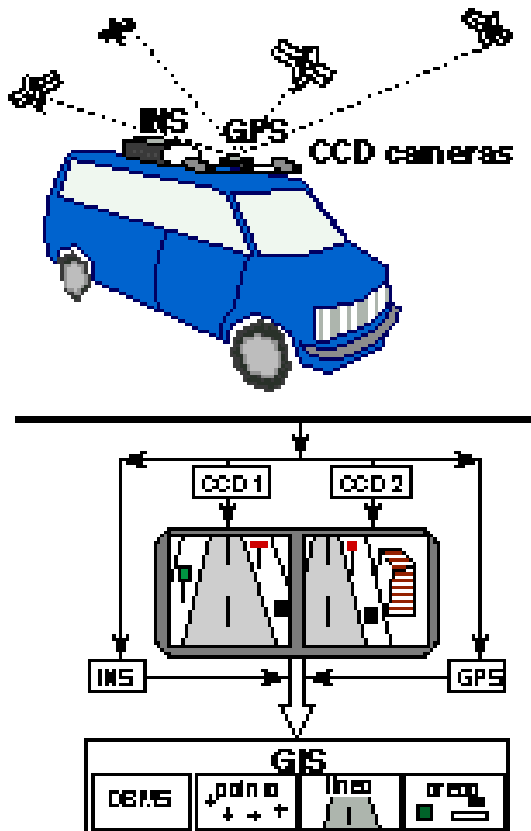
**4. ábra.** Kalman szűrővel végzett vizsgálatok eredménye.

Tekintsünk egy egyenes vonalon mozgó járművet, melynek mozgását minden időpontban egy véletlen gyorsulás okozza. A jármű helyzetére méréseket végzünk és a mérési eredményeket Kalman-szűrés technikával dolgozzuk fel. Vékony vonallal ábrá-

zoltuk a mozgó jármű valódi helyzetét, vastag vonallal a mért pozíciókat és szaggatott vonallal a Kalman szűrővel becsült értékeket. A **4. ábrán** az látható, hogy a Kalman szűrővel meghatározott becsült pozíciók a rendkívül zajos mérési eredmények ellenére is viszonylag jól megközelítik a jármű valódi helyzetét.

### Megvalósult mobil térképező rendszerek

A mobil térképező rendszerek kutatásában Canadából, USA-ból, Japánból, Ausztráliából és Nyugat-Európa néhány országából olvashatunk eredményekről. A rendszerek általános jellemzője, hogy céljuk a közlekedési hálózatok (utak, vasutak) állapotának térképezése, illetőleg az utak 10-100 méteres környezetében lévő épületekről, műszaki létesítményekről, geometriai és szakági adatok gyűjtése. A térképező rendszerek integrált helymeghatározó alrendszere GPS-INR integrációján keresztül valósul meg, a térbeli adatok gyűjtése pedig digitális ikerkamerák, illetőleg videokamerák segítségével történik. A kapott információk lehetőséget biztosítanak szakági információk (utak minőségi jellemzői, épületek állaga, stb.) gyűjtésére is. Az **1. táblázatban** összefoglaltuk a jelen időben létező rendszerek legfontosabb adatait. Az **5. ábrán** a VISAT (Canada) rendszer vázlatát mutatjuk be.



**5. ábra.** VISAT-rendszer működési elve.

## 1. táblázat. Működő mobil térképező rendszerek.

Megnevezés	Jellemzői		Megjegyzés
	Integrált helymeghatározó alrendszer	Térbeli adatok gyűjtésére szolgáló alrendszer	
1. <b>VISAT</b> /Calgary Egyetem Geomatika Tanszék Canada/	<b>GPS, INR</b> Az ABS rendszer fordulatszám-láló kimenetét az expozíciós időpontok kijelölésére használják.	<b>CCD digitális kamerák</b> 8 db CCD sztereókamera, amely lehetővé teszi, hogy az objektumot mindig azokból a képekből értékeljük ki, amelyek tartalmi és pontossági szempontból a legtöbbet nyújtanak. <b>Videokamera</b>	A mérési eredmények feldolgozása: munkaállomásra telepített szoftver együttes és Kalman szűrő.
2. <b>GPS van™</b> /Ohioi Állami Egyetem Térképészeti Központ Japán/	<b>GPS</b> Nem alkalmaz INR-t, helyette a kerékfordulatszámok méréséből interpolálja a két GPS mérési pont közé eső helyzeti koordinátákat.	<b>CCD digitális kamerák</b> 1,8 m bázisú sztereókamera a pixelméret: 1000x1000.	Ipari felhasználásra 9000 km vasúti szekrény felmérése.
3. <b>GPS Vision</b> /Lambda Techn. International/	<b>GPS /Trimble ProXL/</b> <b>Liton LN-200-as</b> inerciális navigációs rendszer. Négy olyan szatellita szükséges, amely mind a mozgó mind a bázisállomásról észlelhető.	<b>CCD digitális kamerák</b> 2 m-es bázisú sztereókamera, a képek kiértékelése WINDOWS NT 95 alatt futó felhasználóbarát programrendszerrel történik.	Decentralizált szűrő módszert alkalmaz.
4. <b>Kiss-Kinematik Survey System</b> /A Bundeswehr Egyetem Geodéziai Intézet München/	<b>GPS, Giroszkóp gyorsulásmérők</b> mérési eredményeiből analitikusan a fedélzeti számítógép állítja elő a navigációs koordinátarendszert.	<b>CCD digitális kamerák,</b> <b>Videokamera</b>	Kísérletek, utak és környezetük kiértékelésére.
5. <b>Datakart Stanav Van mérőkocsi</b> /Datakart Geodézia Kft. Budapest/	<b>GPS, INR</b> 12 csatornás Trimble 4700 TS jellegű GPS vevőberendezés, 120 órás belső memóriával.	<b>Sztereo-képrögzítő rendszer</b> az adatforrások, szinkronizációjához összeépített célszámítógép.	Közút hálózat felmérése, adatrögzítés, kiértékelés.

## Összefoglalás

A mobil térképező rendszerek jelen időben a gyakorlati felhasználásuk kezdeti stádiumában vannak. A kutatások intenzitásából azonban arra lehet következtetni, hogy néhány éven belül nélkülözhetetlenek lesznek a vonalas létesítmények, városok, közművek, ingatlanok naprakész térképi adatbázisának előállításában és kezelésében.

## Hivatkozások

- Brown RG, Hwang PYC** (1992): Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering, John Wiley & Sons, Inc. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore.
- Detrekői A, Szabó Gy** (1995): Bevezetés a térinformatikába. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- Hoffmann-Wellenhof B, Lichtenegger H, Collins J** (1992): Global Positioning System. Theory and Practice Springer Verlag, Wien, New York.
- Krauter A** (1995): Geodézia, Műegyetemi Kiadó, Budapest.
- Salychev OS** (1998): Inertial Systems in Navigation and Geophysics, Bauman MSTU Press, Moscow.
- Sárközy F** (1999): Térinformatika. Elméleti oktatóanyag:  
[http://bme-geod.agt.bme.hu/tutor\\_h/terinfor/t36.htm](http://bme-geod.agt.bme.hu/tutor_h/terinfor/t36.htm)
- Strang G, Borre K** (1997): Linear algebra, Geodesy and GPS, Wellesley-Cambridge Press.
- Takács B** (2000): Mobil térképező rendszerek áttekintése Elméleti oktatóanyag:  
<http://bme-geod.agt.bme.hu>

## A DIGITÁLIS KÉPALKOTÁS ÉS -FELDOLGOZÁS ÚJ LEHETŐSÉGEI

*Barsi Árpád\**

*A digitális kamerák fejlesztése napjainkra jutott el arra a szintre, hogy megfelelő feldolgozási és kiegészítő technológiák alkalmazásával sikerült digitális légifényképező kamerákat készíteni. Ezeknek az eszközöknek a jelentősége abban rejlik, hogy a digitális fotogrammetria technológiája végre a képalkotástól a termék elkészítéséig zárt, a jövőben várhatóan automatizálható folyamat lehet. Tanulmányomban ezeknek a berendezéseknek a megoldási módjaival és a velük készíthető termékekről fogok szót ejteni.*

### Bevezetés

A digitális fotogrammetria minél szélesebb körű és sikeresebb alkalmazásának komoly korlátja volt az "igazi" digitális képalkotó berendezés hiánya. Noha napjainkra már komoly geometriai felbontású digitális fényképezőgépeket lehet vásárolni s digitális kamerák is léteznek, a fotogrammetria igényeinek megfelelő digitális eszköz fejlesztése számos probléma miatt csak lassan haladt.

A digitális fotogrammetriai technológia amúgy zárt folyamatába így kényszerből a képek bevitelkor az analóg képalkotást kellett beilleszteni. A légifényképezéskor alkalmazott filmek információtartalmát digitalizálással, *szkenneléssel* lehetett a folyamatba illeszteni. A fotogrammetriai szkennerek nagyobb méretű berendezések, melyek képesek a film felbontásával egyenértékű digitális állományt készíteni. (Barsi 1999) Ezek a szkennerek igen drága eszközök, csak viszonylag kevés vállalkozás engedheti meg világszerte, hogy ekkora beruházást valósítson meg. A másik hátrány, hogy a teljesen zárt – és a jövőben megvalósuló automatikus – feldolgozási folyamatot nem támogatja.

Ezek alapján igen indokolt a műszergyártók, kamerakészítők erőfeszítései a digitális fotogrammetriai kamerák terén. A légifényképező kameráknak napjainkra elkészültek a már elfogadható minőségű digitális változatai.

### A digitális képalkotás eszközei

A digitális kamerák gyakorlatilag két igen fontos alkatrész kialakításától, fejlesztésétől függnnek. Az egyik a képet létrehozó szenzor, a másik pedig a kész kép tárolására szolgáló egység.

A tárolóegységek, melyek egyébként az informatikában hihetetlen fejlődést követnek, nem jelentettek korlátot a fotogrammetriai kameráknál. A mindennapos gyakorlatban kapható és használható digitális fényképezőgépeknél fontos szempont a tároló berendezés egyszerűsége, kis mérete. A légifényképező kamera kötött méretű optikai rendszeréhez képest a megfelelő kapacitású tárolóelem nem jelent gondot. A fejlesztésnél csupán a nagyobb adatátviteli sebességen és megnövelt tárolókapacitáson kellett dolgozni. A soros képalkotású berendezés ismertetésekor néhány konkrét technikai adatra is kitérek.

*\*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék  
H-1111 Budapest, Műegyetem rkp.3.K.1.24.  
barsi@eik.bme.hu*

A képet létrehozó szenzor megvalósításával már jóval több gond jelentkezett. A légifényképezésben használt kamerák képformátuma hagyományosan  $230 \times 230$  mm. Ha a film felbontásával egyenértékű digitális szenzort akarunk készíteni, akkor megközelítőleg  $5 \mu\text{m}$ -es geometriai felbontásra van szükség. Ez pedig olyan szenzort követel, amelynek  $46000 \times 46000$  érzékelő eleme van! Ekkora számú helyesen működő érzékelőt egyetlen lapkán ma még nem képes a technika előállítani. Ezért korábban csak optikai trükkökkel "feljavított" szkennerekkel lehetett jó minőségű digitális képet készíteni. A digitális kamerák fejlesztői előtt a feldolgozási algoritmusok ismeretében tulajdonképpen két út állt. (Loedeman 2000)

Az egyik megoldás szerint a ma létező legnagyobb tömbös érzékelőkből kialakított mátrix adja ki ezzel a felbontással a képméretet. Ezt a megoldást a következő fejezetben ismertetem.

A másik lehetőség, hogy a szkennerek többségében használt soros képalkotást kell egyes algoritmusok segítségével a légifényképező kamerában megvalósítani. A dolgozatban ezt a változatot is bemutatom.

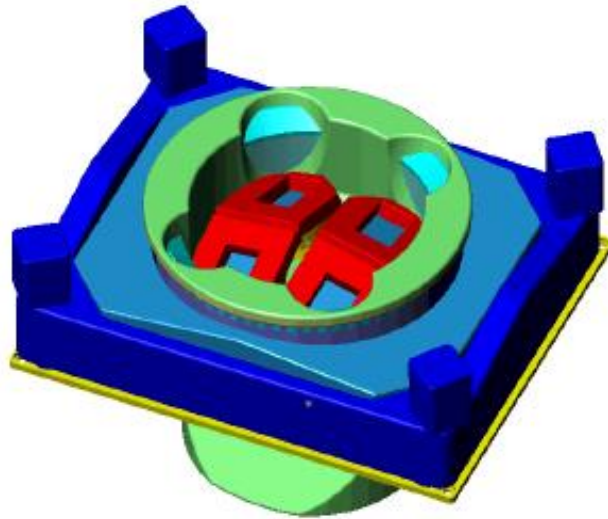
A konkurens kameragyártó cégek érdekes módon vagy az egyik vagy a másik megoldás mellett kötelezték el magukat. A tudományos kutatóknak igen érdekes lenne azonos teszterületen összehasonlítani a két megoldást, azonban a nemzetközi fórumok elé ilyen vizsgálat eddig nem került.

További érdekes fejlesztési stratégia manapság, hogy nem csupán fekete-fehér (pánkromatikus) vagy csak színes képet lehessen az új szenzorokkal készíteni, hanem tartalmazzanak több spektrális sávra érzékenyített szenzort. Ennek eredménye, hogy a pánkromatikus szenzorokon kívül színes (RGB), sőt akár infravörös érzékelő is helyet kap a kameratestben.

## Képalkotás tömbös szenzorokkal

A Zeiss és Intergraph cégek közös vállalkozása, a Z/I Imaging a tömbös szenzorokat tartalmazó képalkotó berendezés ötletét valósította meg. Az elkészített kamera a **Digital Modular Camera** (Digitális Moduláris Kamera – **DMC**) elnevezést kapta, mert modulszerűen lehet a képet elkészítő kamerákat cserélni a foglalatban. A DMC már korábbi hagyományokra épül, hiszen többlencsés fényképezőgépek már az 1940-es években is használatosak voltak.

A DMC kamera a szokásos légifényképező kamera méretével (pl. RMK TOP) közel azonos nagyságú, giroszkóppal stabilizált berendezés. A kamerát alkotó modulokból összesen nyolc van: 4 nagyfelbontású pánkromatikus és 4 kisebb felbontású multispektrális érzékelő. A pánkromatikus érzékelők  $7000 \times 4000$  pixelt tartalmaznak, így a teljes kép  $14000 \times 8000$  pixelből áll. A pixelméret megközelítően  $12 \mu\text{m}$ , a szenzorok 12 bites lineáris dinamikus tartományban dolgoznak. A nagyfelbontású érzékelő kamerák elhelyezkedését az 1. ábra mutatja be sematikususan. A multispektrális képet  $3000 \times 2000$  pixelt tartalmazó szenzormátrix készíti.



**1. ábra.** A Z/I Imaging Digital Modular Camera pánkromatikus érzékelőmátrixainak elhelyezkedése a kameratestben.

A kamera által készített óriási adatmennyiség nagysebességű FDDI interfészen keresztül kapcsolódik egy RAID-egységhez, amely cserélhető s melynek maximális tárolókapacitása 840 GB. Ez mintegy 3000 kép rögzítésére elegendő. A rendszerhez természetesen GPS és inerciális navigációs egység (IMU) kapcsolódik. A vezérlést és szabályozást alkalmas terminálon keresztül végzik, ahol repülés közben lehetőség van a kép gyors megtekintésére (Quicklook) is. (Hinz 2000)

A kamera kompatibilis a korábban alkalmazott objektívekkel.

### A soros képalkotás megvalósítása

A soros képalkotásra a fotogrammetria történetén belül több próbálkozás is volt. Az egyik legkiemelkedőbb megoldás a német űrkutatási intézet, a DLR által kifejlesztett WAOSS kamera volt. Ezen kívül a fejlesztés fontos állomása volt a szintén német (DLR) HRSC-A (High Resolution Stereo Camera – Airborne), amely soros képalkotású berendezés volt s már sztereó képeket tudott készíteni. A kamerát elsődlegesen a Mars Misszió számára fejlesztették ki, de a kipróbálása igen sikeresnek bizonyult a fotogrammetriában is. (Lehmann 2000)

A WAOSS és a HRSC-A fejlesztése és tesztelése során megszerzett tapasztalatok alapján készítették el az LH Systems (korábbi nevén Leica-Helava) laboratóriumában az idén bemutatott **Airborne Digital Sensor ADS40** jelű kamerát.

Az ADS40 kamerába nyolc érzékelőt építettek be: 3 pánkromatikus és 5 spektrális, ami a színes csatornákból (RGB) és két infravörös csatornából tevődik össze. A pánkromatikus szenzorok ráadásul duplázottak a nagyobb felbontás érdekében; két, egymástól fél pixellel eltolt CCD sorból készülnek a pán-képek. A kamera további előnye, hogy a három pán-érezkelő irányítottága is más és más: egyik előre, a következő nadír irányban, a harmadik pedig hátrafelé néz. Ez az elrendezés magában rejti a sztereó képalkotás lehetőségét. Fontosságát aligha kell hangsúlyozni a fotogrammetriában!

Mindegyik érzékelősor 12000 CCD-elemet tartalmaz, a pán-érzékelők esetében pedig a duplázás miatt 24000. A pixelméret körülbelül 6.5  $\mu\text{m}$ -t tesz ki. A képpontok 12 bites dinamikus tartomány leképzését jelentik. (Sandau 2000)

A soros kamera is hihetetlen adatmennyiséget produkál, melyet üvegszálak kábelen keresztül, mintegy 45 MB/s sebességgel juttatnak el a háttértároló egységhez. A háttértár repülés közben cserélhető, 6  $\times$  36 GB, azaz 216 GB kapacitású diszktömb. (Eckardt 2000, LH Systems 2000)

A soros képalkotás során kiemelt jelentősége van a kép elkészítésével egyidőben rögzített pozíciós adatoknak. Ezért a kamerához szorosan csatlakozik egy nagy pontosságú GPS vevő, és egy pontos és igen gyors inerciális navigációs egység. A repülés alatt így további jelentős tárolandó adatmennyiség keletkezik, amelynek az utólagos feldolgozásban van nagy szerepe.

Az ADS40 légifényképező kamerához újonnan kifejlesztett nagyfelbontású érintőgombos monitor tartozik, amelyen a vezérlés teljes mértékben ikonok megnyomásával valósul meg. A billentyűzet ezért a repülés alatt szükségtelen.

Az ADS40-el készült digitális légifényképekből a következő fejezetben mutatok be néhány részletet.

### **A teljesen digitális feldolgozási mód**

A korábbi fejezetekben bemutatott kétféle kamera megoldás előnyei a következők szerint foglalható össze:

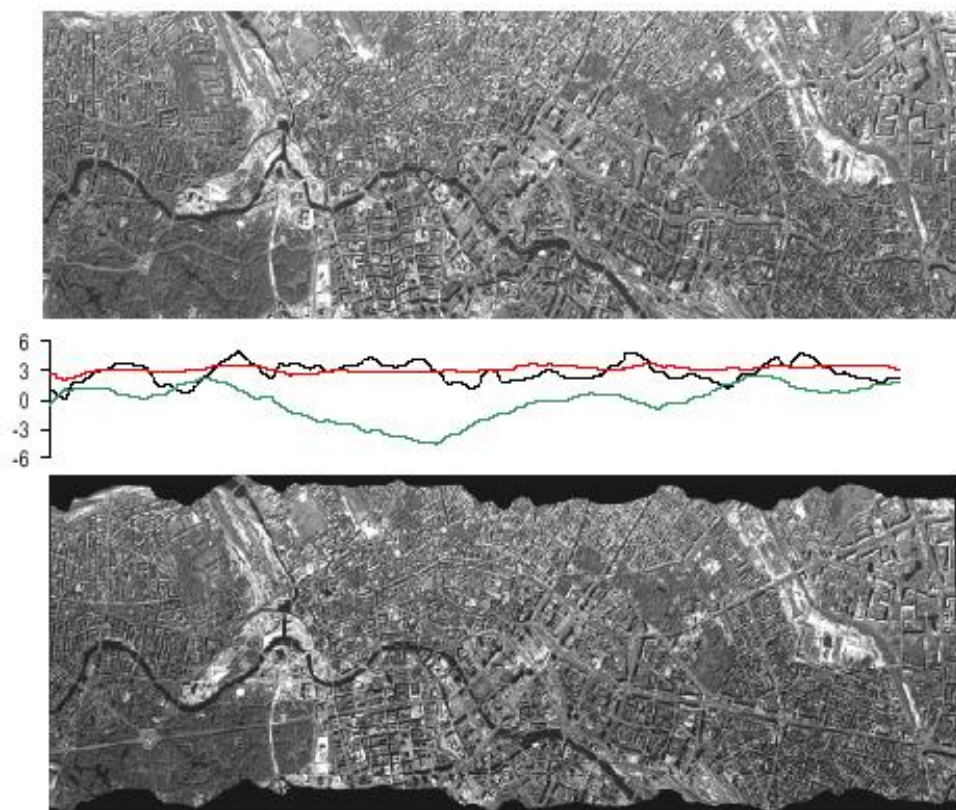
- többféle spektrumra érzékenyített szenzort tartalmaznak (fekete-fehér + színes + infra),
- jelentős megtakarítást lehet elérni a labormunkáknál (filmhívás, nagyítás, vegyszerhasználat), valamint a szkennelésnél,
- jóval hatékonyabb tárolási mód alkalmazható (filmtárolás kontra fájlok tárolása – helyigény, a keresés gyorsasága stb.),
- folytonos sztereó képalkotás lehetősége (a hagyományos 60 %-os átfedési sávokkal szemben),
- esetlegesen kevesebb földi illesztő adat igénye; ez a terepi munka csökkentésével költségkímélő megoldást jelent,
- teljesen digitális feldolgozási módra nyílik lehetőség.

Ez utóbbi azért emelkedik ki a többi közül, mert a digitális fotogrammetriában alkalmazott képezelési eljárások azonnal használhatók, a képek feldolgozásában megtalálható módszerek, eljárások közvetlenül végrehajthatók és fotogrammetriai munkaálmásokon előállítható a végeredmékek széles skálája. A teljesen automatikus feldolgozás felé óriási elmozdulást jelent a tisztán digitális feldolgozási folyamat. Addig azonban még néhány fontos feldolgozási problémát kezelni és megoldani kell.

A többkamerás tömbös képalkotás felveti az egyes kamerák által készített képek "összehangolásának", színeinek kalibrálási kérdéseit. A Z/I Imaging ezért a klasszikus normalizálási eljárásokat továbbfejlesztette és az "egy kamera – egy LUT" elvet alkalmazza. Ez azt jelenti, hogy a legsötétebb és legvilágosabb részletek alapján radiometriai együtthatót (gain) és eltolást (offset) határoznak meg, majd ez alapján az egész képet transzformálják. Az együtthatók alkalmas megválasztásával a különböző kamerák képe megközelítőleg azonos tónusúvá válik, annak látszatát keltve, mintha egyetlen kamerával készültek volna a képek. Innentől pedig a digitális fotogrammetriában kifejlesztett módszerek megmaradhatnak, és fel lehet velük dolgozni ezeket a képeket is. (Diener 2000)

A soros képalkotású felvételkedzésnek van egy igen komoly nehézsége, nevezetesen az, hogy egy-egy sor letapogatása után a repülőgép elmozdul a felszínhez képest. Vagyis úgy készül a kép, hogy állandóan változnak a sorok tájékozási elemei. (A távérzékelésben egyébként a pushbroom-elvet követő SPOT műholdak képalkotása nagyban hasonlít a soros légifénykép-készítéshez. Ott már kidolgozták a képek soronkénti tájékozásán alapuló képtranszformáció eljárását. A műhold esetében azonban nagyobb a repülési magasság, amelyhez kisebb terepi felbontás is társul.)

Az iménti problémát a készült digitális kép soronkénti tájékozásával lehet megoldani. Ebben pedig nagyon fontos szerep jut a járulékos pozícionáló berendezéseknek (GPS, IMU), valamint a soronkénti tájékozás algoritmusának. A sorosan készült kép feldolgozásánál ezért utólag a szenzor kalibrációjának és esetleg rendelkezésre álló közelítő digitális domborzatmodellnek van jelentősége. A soronkénti tájékozással a repülőgép imbolygását küszöböljük ki. Ez a 2. ábrán jól látható.



**2. ábra.** Soros képalkotással (ADS40) készült nyers felvétel, a repülőgép imbolygásának grafikonja a navigációs berendezés alapján és a korrigált digitális légifénykép. (LH Systems)

A kép szélein jól látszik a tájékozással megvalósított képtranszfomáció hatása. Sokkal szembetűnőbb azonban a transzformáció a kép kinagyított részletén. (3. ábra) (Tempelmann 2000)



**3. ábra.** Az eredeti nyers képrészlet és annak transzformált változata.

A soronkénti tájékozásban ezért az inerciális navigációs berendezés (az ADS40-hoz egy 200 Hz-es Applanix-egység tartozik) sebessége nagyon fontos. A navigációs adatok viszonylag nagyobb frekvenciája azért szükséges, mert a két egymást követő navigációs adat meghatározása között is mozdul a kamera s ezekre a helyzetekre is szükséges a pozíció és tájolás ismerete. A GPS és IMU adatok pontos figyelembevétele a meglehetősen összetett és számításigényes Kálmán-szűrőt igényli. A mai számítási teljesítmények mellett azonban ez már nem jelent akadályt.

A pozíció-adatokkal és a kamera kalibrációs adataival végre lehet hajtani a kép transzformációját, mely már ezután a mai digitális fotogrammetriai technológiába beilleszthető. A termékek elkészítése a mai, modern módszerekkel történhet.

## Összefoglalás

Tanulmányomban megkíséreltem bemutatni a legkorszerűbb digitális fotogrammetriai munkákhoz kifejlesztett képalkotó berendezések két tipikus változatát illetve az azokkal készített felvételek feldolgozásának néhány momentumát. Látható, hogy az új digitális kamerákkal megvalósulhat a közvetlenül digitális formában történő légifényképezés, mely a technika és a fotogrammetriai algoritmusok fejlesztésének köszönhető. A két kiragadott példa alapján két piacvezető műszergyártó és -fejlesztő cég technológiájának és a mögötte álló elméletnek a lényegét illusztráltam.

Talán a nem is olyan távoli jövőben a teljesen digitális fotogrammetriai technológia átalakulhat automatizált feldolgozássá, sőt így akár a repüléssel egyidőben megtörténhet a képek kiértékelése is. Akkor majd a légifényképező repülőgép leszállásával már csak egyetlen munkaszakasz marad: a végtermék kiolvasása a fedélzeti fotogrammetriai számítógépből. Bár a mobil kommunikáció bevetésével már erre sem lesz szükség...

## Köszönetnyilvánítás

A cikk elkészüléséhez a szerző köszönettel tartozik az F032153 számú OTKA kutatási projektnek. A tanulmány a Bólyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült.

## Hivatkozások

- Barsi Á** (1999): A digitális fotogrammetria szerepe az automatikus geoinformatikai adatnyerésben. *Geomatikai Közlemények I*, 131-140.
- Diener St, Kiefner M, Dörstel Ch** (2000): Radiometric Normalisation and Colour Composite Generation of the DMC. *ISPRS Archive of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXII, Part B1, 82-88.
- Eckardt A, Braunecker B, Sandau R** (2000): Performance of the Imaging System in the LH Systems ADS40 Airborne Digital Sensor. *ISPRS Archive of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXII, Part B1, 104-109.
- Hinz A, Dörstel Ch, Heier H** (2000): Digital Modular Camera: System Concept and Data Processing Workflow. *ISPRS Archive of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXII, Part B2, 164-171.
- Lehmann F, Hoffmann A et al.** (2000): The High Resolution Stereo Camera – Airborne (HRSC-A). *GIM International*, Vol. 14, No. 7, 12-17.
- LH Systems** (2000): Introduction to the ADS40 Airborne Digital Sensor. 1-57.
- Loedemann JH** (2000): 'Three-Line Linear' versus 'Multi-Head Array'. *GIM International*, Vol. 14, No. 5, 68-71.
- Sandau R, Braunecker B et al.** (2000): Design Principles of the LH Systems ADS40 Airborne Digital Sensor. *ISPRS Archive of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXII, Part B1, 258-265.
- Tempelmann U, Börner A et al.** (2000): Photogrammetric Software for the LH Systems ADS40 Airborne Digital Sensor. *ISPRS Archive of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXII, Part B2, 552-559.

## DIGITÁLIS KÉPEK TÉRINFORMATIKAI INTEGRÁCIÓJA

*Récsei István, Barsi Árpád\**

*A cikkben áttekintést kívántunk adni a térinformatikai rendszerekben előforduló digitális képekről és azok kezelésének feltételeiről, megvalósítási módjairól. A korszerűnek mondott rendszerekben a mai képforrások által előállított képek fizikailag betölthetők, azonban ekkor még nem használhatók adatgyűjtésre, netán elemzésre. Ahhoz, hogy a képeket használni is lehessen, mindenképpen integrálnunk kell. A képintegrációnak a geometriai kérdéseivel tüzetesen foglalkoztunk, többek között a képek különböző felbontásaival és a lehetséges transzformációkkal. A cikkben egy konkrét kísérlet során kipróbált transzformációk tapasztalatait írtuk le.*

### Bevezetés

Napjaink térinformatikai rendszerei, a földrajzi és területi információs rendszerek (angol rövidítéssel GIS és LIS rendszerek) egyre komolyabb adatmennyiség feldolgozását képesek elvégezni. A számítógépek és a rajtuk futó szoftverek mind gyorsabbak lettek. Ezzel párhuzamosan megnövekedett az adatokkal, azok minőségével szemben támasztott elvárás is.

Az egyre gyakrabban igényelt, egyre nagyobb tömegű, egyre pontosabb és egyre látványosabb adattömeg begyűjtése komoly erőfeszítéseket igényel a térinformatikai rendszerek használóitól. A digitális képek készítésével, feldolgozásával foglalkozó diszciplínák azonban szerencsés módon igen gyorsan fejlődtek és fejlődnek ma is. A képi információ, s ezen belül is a digitális változat használata nagyon kézenfekvőnek látszik. Ezt a „hipotézist” azonban meg kell vizsgálni alaposan. A kutatásunk során ennek az átfogó vizsgálatnak egy-egy kérdésére kerestünk választ.

Cikkünkben azt a kérdéskört szeretnénk körbejárni, amely a különböző képi információforrásokat, ezen belül pedig a digitális formában elérhető forrásokat érinti. A képforrásokat követően a kereskedelmi forgalomban is kapható (off-the-shelf) térinformatikai szoftverek képekezelését, képek integrálásának megvalósíthatóságát vettük szemügyre, majd a különböző integrálási módok közül saját tesztünkhöz kiválasztott módszert fogjuk bemutatni.

### A digitális képek forrásai és minőségi kérdései

Digitális képeket képféle úton lehet előállítani:

- analóg képről szkenneléssel és
- közvetlenül digitális kamerával.

A szkenneléssel készített digitális képek, melyek közül mi most csak a térinformatikában használhatókat fogjuk áttekinteni, lehetnek légifényképek illetve úrfelvételek. A légifényképek közül mind a fekete-fehér, mind a színes, mind pedig a hamisinfra képek szóba jöhetnek. A geometriai felbontást tekintve a fekete-fehér filmé a legjobb minőség, ezt követik a kicsit gyengébb színes, illetve infravörös felvételek. A tartalmát tekintve a színes és hamis színes képek jóval több információt hordoznak az ábrázolt

*\*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék  
H-1111 Budapest, Műegyetem rkp.3.K.1.24.  
E-mail: recsei@eik.bme.hu, barsi@eik.bme.hu*

területről, mint az egysávosnak tekinthető fekete-fehér változat. A légifényképek elkészítését adott eseményhez lehet igazítani, így az aktualitásuk időzíthető. Például egy folyón lehúzódnó árvíz idején lehet légifényképezni, majd a képeken ábrázolt területet térinformatikai rendszerben feldolgozni, elemezni.

A légifényképek digitalizálására alkalmas berendezések az átvilágító adapteres (transparency adapter) irodai síkágyas szkennerek és természetesen a fotogrammetriai célú filmszkennerek. Az előbbi kategóriába tartozó eszközök geometriai felbontása 300-tól 1200 dpi-ig terjed, míg a fotogrammetriai berendezések könnyedén képesek akár 5000 dpi-t meghaladó felbontásra is. A szkennerekkel elérhető radiometriai felbontás (a megkülönböztetett színárnyalatok tárolásához szükséges bitek száma) 8 és 12 bit között mozog. Ez a számérték az emberi és számítógépes képinterpretáció alkalmazásában fontos jellemző. Az 1. táblázatban egy 23 cm × 23 cm méretű szkennelt színes légifelvétel adatait adjuk meg a szkennelési felbontás, képi felbontás, terepi felbontás és tárolási helyigény viszonylatában.

**1. táblázat.** Szkennelt légifelvétel digitalizálási-, képi- és terepi felbontása, tárolási helyigénye.

Szkennelési felb. [dpi]	300	400	600	800	1200	1600
Képi felbontás [μm]	84,7	63,5	42,3	31,8	21,2	15,9
Geometriai felbontás [m]	1,10	0,83	0,55	0,41	0,28	0,21
Tárolási igény [Mbyte]	21,11	37,53	84,45	150,14	337,81	600,55

Az analóg filmek felhasználásával a már meglevő film adattárak által gondozott információ használható fel. Ezek például archivításuk következtében dokumentum értékűek, amik önkormányzati GIS/LIS rendszerekben például bizonyítékként hasznosíthatók. Hasonló módon a régészetben jelenthet igen jó támogatást a korábban, esetleg a második világháborúban és azelőtt készített felvételek. (Milyen kár, hogy az ókorban még nem ismerték a repülőgépet és a fényképet!)

Közvetlenül digitális képek előállíthatók digitális kamerákkal és letapogató berendezésekkel. A légifényképezésben mostanában kezdik használni a digitális légifényképező kamerákat (Barsi 2000). A berendezésekkel 12000 illetve 14000 pixel szélességű sávban lehetséges a területről közvetlenül digitális képeket készíteni.

A letapogató berendezések (melyet angolul itt is scanner-nek neveznek), találhatók meg a Föld körül keringő mesterséges holdak fedélzetén. A térképezési célú műholdak között Magyarországon leggyakrabban az amerikai LANDSAT TM szenzorral készült felvételeket használják. A képek legfontosabb adatait a 2. táblázatban foglaltuk össze. A francia SPOT műhold képei nagyobb geometriai felbontással képesek digitális képeket készíteni. Igen jól alkalmazható, bár nem elterjedt az indiai IRS nevű képalkotó szenzor. Napjaink legnagyobb geometriai felbontását az idén pályára állított IKONOS kereskedelmi műhold jelenti. Használata még csak kialakulóban van a felhasználók körében. Nagy geometriai felbontásából adódóan bizonyos típusú feladatok megoldásában a légifényképek alternatívájának tekinthető, azzal a nagy előnnyel, hogy rendszeresen visszatér ugyanabba a felszín feletti pozícióba, így kép idősorok készíthetők, majd elemezhetők segítségével.

**2. táblázat.** Néhány fontosabb műholdas szenzor főbb adatai (Campbell 1996)  
A nagyobb geometriai felbontás a szenzorok pankromatikus sávjaira vonatkoznak.

Szenzornév	Geometriai felbontás	Sávok száma	Radiometriai felbontás
LANDSAT TM, ETM, ETM+	15 m, 30 m, 60m, 120 m	7, 8	8 bit
SPOT	20 m, 10 m	4	8 bit
IRS-1C LISS-III	10 m, 23 m, 70 m	5	8 bit
IKONOS	1 m, 4 m	4	8 bit

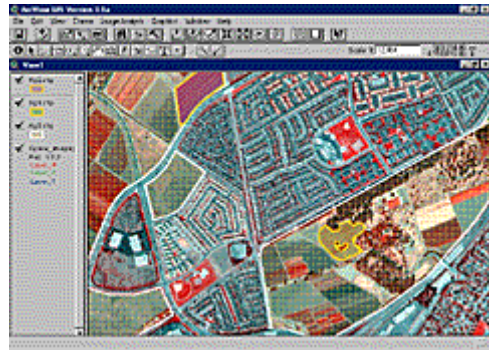
Az aktív képalkotó berendezések közé tartozó radarfelvételek szintén bizonyos helyzetekben jól használhatók. Mivel az időjárástól majdnem függetlennek tekinthetők, ezért katasztrófa-helyzetekben (pl. nagyobb esőzések, árvizek idején) is lehetőség van a kérdéses területről képeket készíteni. A radar sajátosságait – különösen „vízérzékenységet” – kihasználva az árvizes és belvizes területek térképezése egészen egyszerű. Ennek a mezőgazdaságban és az árvízvédelemben van kiemelkedő haszna.

A térinformatikai adatbázisok létrehozásában, frissítésében nem kizárólag térképészeti célú műholdak képállományai juthatnak szerephez. Környezeti adatok esetében például a meteorológiai műholdak képei is használhatók, bár ezek geometriai felbontása jóval alacsonyabb. Nagyságrendileg a néhány száz és a kilométeres felbontási tartományba tartoznak. Nagy előnyük viszont, hogy az időbeli felbontás (a képek készítésének frekvenciája) jóval nagyobb, akár félóránként kaphatunk a területről képeket. A meteorológiai műholdak közül nálunk talán az EUMETSAT a legismertebb.

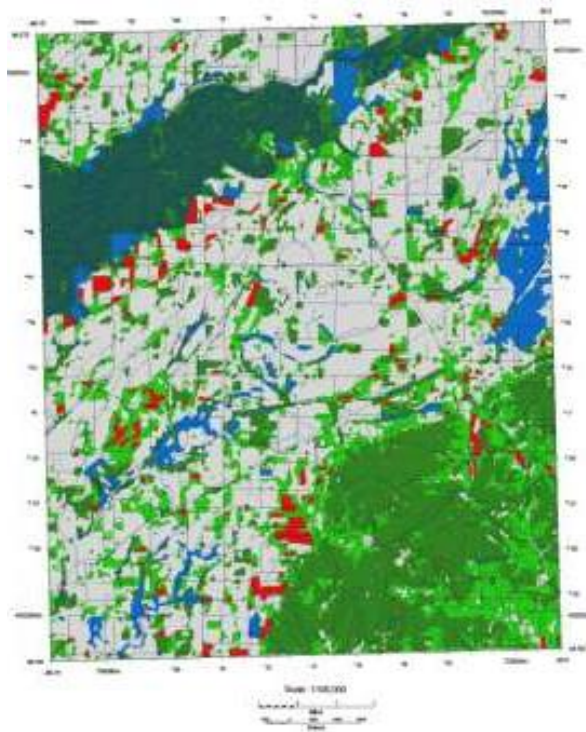
Különlegesnek számítanak az igen sok felvételi sávban egyidőben képet készítő ún. hiperspektrális berendezések. A legismertebb hiperspektrális képalkotó berendezés az AVIRIS, amelynek 224 sávját leginkább a nyersanyagkutatásban lehet hasznosítani. Térinformatikai szempontból ezért kisebb jelentőségű, azonban a jövőben elképzelhető, hogy hiperspektrális adatokat is be fognak vonni az elemzésekbe.

## A digitális képek integrációja a térinformatikai rendszerekben

Az összegyűjtött adatok integrációja során még akkor is ütközhetünk korlátokba, ha az általunk használt térinformatikai szoftver lehetővé teszi számunkra az eltérő típusú, azaz a vektoros és raszteres adatok együttes kezelését. Gyakorlatilag az adatok integrációját az általunk elérendő cél (pontossági igény), a rendelkezésre álló anyagi és egyéb források és az időtényező határozza meg. A digitális képek integrációja során elkülöníthetjük a geometriai és a tartalom szerinti integrációt. A tartalom szerinti integráció a digitális képek esetében kevésbé jellemző, főként a raszteres tematikus térképek átalakításánál előforduló műveleteket jelenti, amelyek során a térképek tematikus dimenzióit, a kategóriák számát és tartalmát módosítjuk. Ebben a fejezetben főként a geometriai integráció kérdéseire koncentrálnunk.



## Landcover Classification



Grey	Bare Soil
Green	Deciduous Forest
Light Green	Scrub / Brush
Red	Winter Crop
Dark Green	Wetlands
Blue	Water

The classification above is based on a Landsat Thematic Mapper image taken in an early spring flood event. The vector information was derived from USGS 1:100,000 Digital-Line Graphs.

The image map was created using Intergraph's Image Analyst.

**1. ábra.** Digitális képek a térinformatikában: vizualizáció, képosztályozás, tematikus térképezés.

A digitális képek geometriai integrációjának első és talán legfontosabb lépése, hogy a képet a térinformatikai rendszer referencia rendszerébe transzformáljuk. A referencia rendszert célszerű úgy kiválasztani, hogy az megegyezzen a legnagyobb tömegű adatot tartalmazó adatgyűjtési technológia referencia rendszerével, így ugyanis jelentős mértékben csökkenthetjük a transzformációs műveletek számát. A referencia rendszer kiválasztásánál természetesen fontos tényezők az adatbázissal szemben támasztott igények, a megvalósíthatóság kérdése, a megrendelő igényei és az érvényben levő szabályok, előírások. A digitális képek georeferálására a térinformatikai szoftverek két módot kínálnak fel. Az első a georeferenciával már rendelkező digitális képek beolvasása. Az ilyen képek származhatnak közvetlenül valamely adatgyűjtő cégtől, például a műholdas képalkotó szenzorok által távérzékelte adatokat többnyire valamely nemzetközi földrajzi referencia rendszerbe transzformálva teszik közzé, vagy légifelvételek esetében lehetőségünk van az elterjedt és nagy geometriai pontosságú digitális ortofotók készítésére digitális fotogrammetriai szoftverek használatával. A térinformatikai szoftverek is rendelkeznek egyszerűbb transzformációs modulokkal. A legáltalánosabban használt ilyen transzformáció az affin transzformáció, amelyet a digitalizáló táblánál használunk a digitalizáló tábla és a rajzfájl koordináta-rendszere közti kapcsolat leírására. A térinformatikai szoftverekben megtalálható transzformációs modelleket a későbbi fejezetekben tárgyaljuk. A transzformációs módszer kiválasztása után meg kell határoznunk a transzformáció paramétereit. A transzformációs paraméterek meghatározását követően már átranzformálhatjuk adatainkat a térinformatikai rendszer referencia rendszerébe. A közelítő képleteket használó transzformációt követően, – de a zárt képletek szerinti transzformációnál is, a kiinduló adatok hibái miatt – a transzformált adatokat hiba terhel. A hiba mértékét matematikai eszközökkel határozhatjuk meg.

A közös referencia rendszerbe történő transzformációt követően a digitális képek esetében felmerülhet az igény a digitális képek felbontásának egységesítésére, amely során a képeknek azonos felbontást rendelünk (pl. pankromatikus SPOT és LANDSAT TM felvételek integrációja során). A kontrasztkiegyenlítés a fotómozaikok készítésénél alkalmazott művelet a képek kontraszt és fényerősség különbségeinek simítására.

A térinformatikai rendszerekben, – a szoftverek adottságaiból kifolyólag, – szükség lehet még a vektoros és raszteres adattípusok közti konverzióra. A digitális képek integrációjának egy másik esete tehát a raszter-vektor átalakítás. A képek tartalmának vektorizálása során a raszteres tartalmat vektorgrafikával helyettesítjük. A következő fejezetben a térinformatikai rendszerek fejlődését tekintjük át napjainkig, a hibrid rendszerek alkalmazásáig.

## **A térinformatika fejlődése a kezdetektől napjainkig**

Mielőtt kitérnénk a térinformatikai rendszerek képkezelési lehetőségeire, először áttekintjük a térinformatikai rendszerek és az őket kísérő számítógépes grafika fejlődésének főbb mozzanatait.

A térinformatikai rendszerek hardver és szoftver összetevői jelentős fejlődésen mentek át az elmúlt évtizedek során. A számítógépes grafika megjelenésétől a térinformatikai rendszerek kialakulásáig még nagy utat kellett megtennie az informatikai világnak. Az 1950-es években kifejlődött vektorgrafika és a 1960-as években megjelenő interaktív grafika teremtette meg az alapot az első igazi térinformatikai rendszerek számára. Az 1970-ben bevezetett kanadai erdőterület nyilvántartási rendszer, a Canada GIS tekinthető az első térinformatikai rendszernek. Az ezt követő években főként a nyilvántartási célú rendszerek térhódítása jellemezte a térinformatikai piacot. A '80-as években

jelentek meg a döntéstámogató rendszerek a térinformatikai alkalmazások között. A '90-es években elterjedő multimédia a térinformatikai rendszerekre is rányomta bélyegét. Az évezred utolsó dekádjában a kép-, hang- és videó anyagokat tartalmazó térinformatikai rendszerek megjelenése figyelhető meg.

A térinformatikai rendszerek fejlődése, ahogy azt már említettük, egy sor kapcsolódó tudomány és ipari terület fejlődésének is a folyamánya. Az egyik legfontosabbat, az adatgyűjtő diszciplínák fejlődését az előző pontban már áttekintettük. A másik nagyon fontos terület az informatikai és a számítástechnika fejlődése. A számítástechnika fejlődésének dinamizmusát az a megállapítás jellemzi legjobban, mely szerint a „világ számítástechnikai kapacitása 18 hónaponként megduplázódik”. Az elmúlt évtizedben a számítógépek háttértárolóinak kapacitása az ezerszeresére növekedett (40 Mbyte-ról 40 Gbyte-ra, a személyi számítógépek esetében). A kapacitás-növekedés mellett egyéb háttértároló eszközök is megjelentek, mint például az optikai és magneto-optikai tárolóegységek, amelyek nagy mennyiségű adat tartós elhelyezésére alkalmasak. Az operatív tár (memória) sebesség és méret növekedésének köszönhetően pedig a gyors feldolgozás is elérhetővé vált. De hiába is sorolnánk tovább az elmúlt néhány év újításait, a számítástechnikai ipar olyan iramban fejlődik, hogy a térinformatikai rendszerek hardver-összetevőinek bármilyen tárgyalása a szinte azonnali elavulás és az új technológiák gyors megjelenése miatt eleve csak egy régi, már nem aktuális helyzet leírása lehet. Így a hardver-elemek vonatkozásában inkább csak a fejlődési trendek felvázolásának van értelme.

A térinformatikai rendszerek szoftver komponensei azonban jobb időállóságuknak hála már részletesebb tárgyalást is lehetővé tesznek. A következő fejezetben a térinformatikai rendszerek szoftver-környezetének fejlődését és a jelenlegi szoftvereket elsősorban a digitális képekkel kapcsolatos műveleteik és funkcióik szempontjából tárgyaljuk.

## **A térinformatikai rendszerek képekezelési lehetőségei**

A térinformatikai rendszerek között megkülönböztetünk vektoros, raszteres és hibrid rendszereket. A raszter alapú rendszerek szabályos és szabálytalan tesszelációk segítségével modellezik a valós világ objektumait. Ezek a rendszerek voltak az első felhasználói a légi és műholdas távérzékelési adatgyűjtő eljárások termékeinek. A raszteres rendszerekben a digitális képekkel kapcsolatos számos feladat elvégzésére van lehetőség. A legmodernebb szoftverekben helyet kapnak a digitális fotogrammetria és képfeldolgozás műveletei is. (Ezen műveletek részletes leírására a cikk terjedelme miatt itt nincs lehetőségünk).

A vektoros rendszereket elsősorban a nyilvántartási és hálózat topológiával rendelkező adatok feldolgozására hozták létre. A vektor alapú rendszerek ezért és a technológia fejlettsége miatt kezdetben nem rendelkeztek a digitális képek kezelésére szolgáló műveletekkel.

A digitális képek kezelésére szinte az összes mai térinformatikai szoftverben van lehetőség. A legegyszerűbb vektoros rendszerek is tartalmaznak olyan funkciókat, melyekkel digitális képek jeleníthetünk meg vektorgrafika háttérben, vizualizációs célokból. A vektoros rendszerek műveletei tehát a képek beolvasásából, megjelenítéséből, esetleg kontraszt, fényerő és gamma korrekció beállításából állnak. A hibrid rendszerek jelentik a térinformatikai rendszerek legújabb generációját. A hibrid rendszereket három kategóriába sorolhatjuk. Az első csoportba azok a *vektoros* rendszerek tartoznak, amelyek rendelkeznek valamilyen raszter-vektor átalakítási lehetőséggel. Az átalakításhoz szükséges a képek számos felbontás (mind geometriai, mind radiometriai) paraméteré-

nek változtatása, így ezeknek a hibrid rendszereknek tartalmazniuk kell az ezzel kapcsolatos műveleteket is. A vektoros formátumba konvertált adatokon az átalakítás után már vektoros műveletek hajthatók végre. A *raszter alapú hibrid* rendszerekben a vektoros adatok vektor-raszter átalakítására van lehetőség. A *hibrid* adatmodellen alapuló rendszerek még kísérleti jellegűek.

A hibrid rendszerek a konverziós műveleteken kívül még számos más feladat elvégzését is lehetővé teszik. Az élkiemelő-, simító- és egyéb konvolúciós szűrésektől a hisztogram manipulációs műveleteken át a képosztályozásig szinte minden képkezelési és feldolgozási műveletre létezik függvény vagy eljárás napjaink térinformatikai rendszereiben.

### Az integrált képhasználat egy mintapéldája

Ebben a fejezetben egy kísérletet mutatunk be, amely során azt vizsgáltuk, hogyan lehet egy légifelvételt interpretációs célokkal egy digitális alaptérképre illeszteni és milyen pontossággal hajtható végre ez az illesztés. A rendelkezésünkre állt egy digitális másolattérkép, amelyet 1:4000-es földmérési alaptérképek digitalizálásával állítottak elő, és egy színes légifelvétel. A légifelvételt egy síkágvas szkennelben digitalizáltuk. A vizsgálatot MicroStation Descartes szoftver segítségével egy személyi számítógépen hajtottuk végre.

Mivel a két alapanyag mind referencia rendszerében, mind típusában különbözött, szükség volt az adatok geometriai integrációjára. A vektoros térkép és a raszteres kép együttes kezelését a szoftver oldotta meg. A digitalizált képet kellett tehát térkép EOVS rendszerébe transzformálni (ezt a műveletet egyes szoftverek a kép regisztrációjának nevezik). A légifelvételeket digitális ortofotó készítésével illeszthetjük be a legpontosabban a geodéziai koordináta-rendszerbe. Erre azonban itt nem volt lehetőség, mivel csak egyetlen kép állt a rendelkezésünkre, és hiányzott a terület digitális domborzat modellje is. A feladatot a már említett egyszerűbb transzformációs modellek segítségével oldottuk meg. Az általam használt modellek a következők voltak:

- egybevágósági-,
- hasonlósági-,
- affin-,
- projektív-,
- polinomos transzformációk.

A transzformáció során azonos pontnak a tereptárgyak jól azonosítható pontjait használtuk. A transzformációt más képekkel és más terepalakulatok felett is megismételtük. A transzformáció pontossága természetesen a tagoltabb, nagy magasságkülönbségekkel rendelkező területeken rosszabb volt (akár nagyságrendekkel is), amit a térképi vonalak és a képen azonosítható objektumok határvonalainak elcsúszásából és egybeeséséből is látni lehet. A 2. ábrán egy enyhén tagolt területet láthatunk, amelyen az affin transzformáció is eredményesnek bizonyult. Az ábrán megfigyelhető a digitális képen azonosítható eltérő mezőgazdasági használat alatt álló területek határainak és a digitális alaptérkép vonalainak egybeesése.



**2. ábra.** A transzformált digitális légifotó az alaptérkép mögött megjelenítve.

A földhasználat jellegű kiértékelésre a transzformált színes képek alapján került sor. A transzformáció során ugyan megváltozott a digitális képek geometriai felbontása, de ez nem befolyásolta a kiértékelés eredményét.

## Összefoglalás

Napjaink térinformatikai rendszerei a térinformatika, a kapcsolódó tudományok és a technika fejlődésének köszönhetően képesek a digitális képek integrációjára a térinformatikai adatbázisban. Az integráció mértékét befolyásolják a rendszer célkitűzései, a kiindulási anyagok és a rendelkezésre álló hardver és szoftver elemek. Ennek megfelelően az egyes térinformatikai rendszerekben az integráció különböző fokozataival találkozhatunk, az egyszerű megjelenítéstől a bonyolult műveletek elvégzését igénylő képosztályozási műveletekig. A rendszerek fejlődése természetesen jelen pillanatban is folytatódik. A jövő térinformatikai rendszereiben, akár egyszerű személyi számítógépes környezetet alapul véve, talán már lehetőség lesz szabatosabb digitális fotogrammetriai műveletek elvégzésére is, ahogy azt a technika fejlődése előre jelezni engedi.

## Köszönetnyilvánítás

A cikk a 0625/1999 számú Felsőoktatási Kutatás-Fejlesztési Program (FKFP) kutatási projekt során, annak eredményei alapján készült.

## Hivatkozások

**Barsi Á** (2000): A digitális képpalkotás és -feldolgozás új lehetőségei. Geomatikai Közlemények III, 239-245.

**Campbell JB** (1996): Introduction to Remote Sensing, Taylor & Francis, London.

<http://www.autodesk.com>

<http://www.bentley.com>

<http://www.esri.com>

<http://www.intergraph.com>

## POTENCIÁLIS FÖLDRENGÉSFÉSZKEK FELKUTATÁSA TÉRINFORMATIKAI RENDSZER FELHASZNÁLÁSÁVAL

*Gribovszki Katalin\*, Szeidovitz Győző*

*Cikkünk a földrengésfészkek helyének felkutatásához készülő térinformatikai adatrendszer bemutatását és a térinformatikai rendszer szükségességének alátámasztását tűzi ki célul, beszámolva hazánkban a potenciális földrengésfészkek meghatározására tett eddigi erőfeszítésekről és azok eredményeiről is.*

### Bevezetés

Több eljárást dolgoztak ki napjainkra a földrengés-kockázat megbecslésére. Ezeket a módszereket nagyobb rengések tanulmányozása során fejlesztették ki, és a magyar viszonyok közötti alkalmazásuk bizonyos esetekben helytelen eredményt szolgáltat. A nehézségek áthidalásához a Magyarországon keletkezett nagyobb rengések környezetét tanulmányozva a potenciális fészkek felderítésére munkahipotézist állítottak fel, melynek segítségével elkészítették (Jámbor és Szeidovitz 1995) Magyarország kvarter kinematikai térképét 1: 500000 méretarányban. A kinematikai térképet a földrengés adatokkal egybevetve megállapították, hogy a rengések nagy része a kinematikai térképen megjelölt szerkezetek környezetében keletkezett, de voltak olyan rengések is, amelyek keletkezési helyére a kinematikai térkép nem adott magyarázatot. Ennek okait kutatva arra a következtetésre jutottak, hogy a potenciális földrengésfészkek feltárása az eredeti elgondolásnál bonyolultabb problémához vezet, ezért a hagyományos elemzés már nem elegendő eredménnyel. A megnőtt adathalmaz kezeléséhez mindenképpen számítógépes feldolgozásra van szükség. A cikk utolsó harmadában beszámol az épülő térinformációs rendszer jelenlegi állapotáról.

### A földrengés-kockázati módszerek hazai alkalmazásának problémái

Az Alp-Himalája aktív zónától távolabb lévő Magyarország nem tartozik ugyan a Föld a rengéses öveibe, de 50-100 évente hazánkban is keletkezik egy-egy pusztító ( $M=6$ ,  $I_0=8-9^0$ ) földrengés. Ezek a rengések túlnyomórészt sekélyfészkek (5-10 km), ezért a környezetükben lévő településeken súlyos épületkárokat okoznak. Mindezekből következően megállapíthatjuk azt, hogy a földrengés-érzékeny létesítmények földrengés-kockázatának számítása Magyarországon is indokolt.

A földrengés-kockázat megbecslésére több eljárás használatos. Ezeket a módszereket nagyobb rengések tanulmányozása során fejlesztették ki. Talán ez az oka, hogy néhány esetben hazánkban lévő egy-egy létesítmény területére, az eddig megfigyelt földrengés-tevékenységet messze meghaladó értékeket kaptunk. A konzervatív becslések az ismeretek hiányát tükrözik:

- A legnagyobb nehézséget a földrengésfészkek kijelölésében mutatkozó bizonytalanságok jelentik. A néhány száz éves megbízhatóbbnak tekinthető földrengés megfigyelés nem reprezentálja hazánk aktivitását. Az egyes nagyobb rengéseket gerjesztő földrengésforrásokból eddig csak egy főrengést azonosítottunk (Szombathely 456., Buda 1561., Komárom 1763. stb.).
- A további okokat kutatva megállapíthatjuk, hogy az adatbázis térben és időben valamint a rengések méretét illetően inhomogén. E hibák korrekciójára van ugyan bizonyos lehe-

\*MTA FKK GGKI, 9400 Sopron, Csatka u. 6-8.

E-mail: [kgribovs@ggki.hu](mailto:kgribovs@ggki.hu)

tóság, de gyakran megoldhatatlan. (Ez utóbbi alátámasztására elég utalni arra a tényre, hogy a földrengések egy része mesterséges eredetű, ezért ezeket nem szabad az adatbázisban felhasználni.)

— További gondot jelent azon rengések leválasztása az adatbázisról, amelyek nem tektonikai eredetűek és csak bizonyos területeken keletkeznek.

Sok egyéb nehézséget nem is említve már az elmondottakból is kitűnik, hogy az aktív területekre kifejlesztett módszerek a Kárpát-medence földrengés tevékenységének meghatározására alkalmatlannak tekinthetők.

Mivel a földrengés-kockázati eljárások hazai alkalmazásakor a legnagyobb nehézséget a földrengésfészkek kijelölésében jelentkező bizonytalanságok okozzák, így realisabb eredményhez jutnánk, ha sikerülne a földrengésforrásokat megfelelő pontossággal meghatározni.

### **A kinematikai térkép szerkesztésének fő irányelvei és a térkép korlátozott alkalmazhatósága**

Az előző fejezetben magyarázott nehézségek áthidalásához a Magyarországon keletkezett nagyobb rengések környezetét tanulmányozva a következő munkahipotézist fogadták el a potenciális fészkek felderítésére:

I. A feszültség-felhalmozódást létrehozó regionális erők a kéregre hatnak, nagyságuk és irányuk csak lassan változik.

II. A Pannon medence kisebb-nagyobb lemezekre (blokkokra) tagolt kéregrészekből áll, amelyek – a vízen úszó jégtáblákhoz hasonlóan – bonyolult mozgásokat végeznek.

III. A feszültség-felhalmozódás folyamata nem zavartalan. A nagyobb rengéseket kisebb mikrorengések előzik meg.

E három kézenfekvőnek tűnő megállapításhoz nem szükséges sok magyarázat. A geológiai időlépték szerint változó magma áramlások feltételezése indokolt. A Pannon medence kisebb lemezekre tagolódásának feltételezését (Gutdeutsch, Arich 1986) már többen felvetették. Ezt az elképzelést támasztja alá a különböző sebességgel emelkedő és süllyedő blokkok (Rónai 1977) jelenléte a Kárpát-medencében.

A munkahipotézis harmadik része a földrengések keletkezését megelőző feszültség felhalmozási folyamat bonyolultságára kíván utalni. Az igazság az, hogy gyakran előfordul, hogy a nagyobb rengéseket előrengések vezetnek be, de most egy hosszabb folyamat (ezer vagy akár tízezer év) időnkénti kisebb rengésekkel történő megszakítására gondolunk.

A fenti munkahipotézisből következik, hogy a rengések területi eloszlása bizonyos stabilitást kell, hogy mutasson, aminek a következményeit az alábbi pontokba lehet foglalni:

1. Egy-egy fészkekben több rengés keletkezett a pleisztocén (elmúlt 2,4 millió év) folyamán, amelyek - ha külön-külön nem is okoztak észrevehető változást a felszínen - együttes hatásuk már tetemes lehet. Töréses zónák találhatók a mélyszerkezetben, és ezek a fiatalabb rétegeket is elvetik. Ezen mozgások esetleg geomorfológiai, neotektonikai kutatásokkal kimutathatók elsősorban a közel vízszintes területeken, ahol már kis emelkedések vagy süllyedések megváltoztathatják a vízhálózat térbeli helyzetét. A rekonstruált ösföldrajzi kép elemzéséből az aktív területek esetleg kijelölhetők. A rengések a különböző sebességgel mozgó lemezek (mikrolemezek, blokkok) határán keletkeznek, aminek következtében a rengésforrások kijelölik a töréseket esetleg a lemezek kontúrjait. A lemezek méreteiből a várható rengések erőssége becslhető.

2. A nagyobb rengések környezetének aktivitása az átlagosnál magasabb. Ennek a feltevésnek a szeizmoaktív területek felismerésében van jelentősége.

Az elmondottakból következően az előzőekben körvonalazott modell alapján a rengésfészkek jelentős része nyomonkövethető, de néhány esetben törésvonalakhoz nehezen kapcsolható rengésfészkeket is megfigyelhetünk. A vázolt ismérvek alapján (Jámbor és Szeidovitz 1995) elkészítették Magyarország kvarter kinematikai térképét 1: 500000 méretarányban (1. ábra). A térkép szerkesztésénél figyelembe vettek minden olyan kutatási eredményt, amely az utóbbi években született. A földtani, geomorfológiai, geofizikai és geodéziai kutatások eredményeinek elemzésén alapuló kinematikai térképet a föld-rengésadatokkal egybevetve megállapították, hogy a rengések nagy része a kinematikai térképen megjelölt szerkezetek környezetében keletkezett, de voltak olyan rengések is, amelyek keletkezési helyére a kinematikai térkép nem adott magyarázatot.

A térkép tehát nem váltotta be teljes mértékben a hozzá fűzött reményeket. Ennek okait kutatva arra a következtetésre jutottak, hogy a süllyedő medencéken belül és azok környezetében gyakran igen sekély mélységben is várhatóak rengések. Ezen állítás alátámasztására a következőket kell átgondolni:

A Pannon-medencék feltöltődése során a lerakott anyag mennyisége elérte az 50-100 ezer  $\text{km}^3$ -t az elmúlt 10 millió év folyamán. A pleisztocén kor alatt 10 ezer  $\text{km}^3$  anyagáthalmazást lehet feltételezni. Ennek a hatalmas tömegű anyagnak az újra ártrendeződése (konszolidációja, tömörödése) nyilván feszültséget kelt a medencén belül, és a medence környezetében is. A feszültség felhalmozódások rengések formájában kioldódhatnak, gondoljunk csak arra, hogy a rezervoárok vízzel való feltöltésénél is megfigyeltek földrengéseket (Gupta et al. 1976). A két folyamat között sok hasonlóság van, ezért nem véletlen, hogy Guptáék egy korábbi szerzőpáros közetrétegek mozgásával, eltolódásával kapcsolatos vizsgálatainak eredményeit használták fel a Dams and earthquake c. munkájukban a földrengések keletkezésének magyarázatára.

Tekintettel arra, hogy az eredeti elképzelésnél sokkal bonyolultabb probléma a potenciális földrengésfészkek feltárása, ezért a hagyományos elemzés (meglévő földtani, geofizikai, geomorfológiai és geodéziai térképek "szemrevételezése") már nem kecsegtet eredménnyel, ugyanis ismernünk kell a depressziós medencék fejlődéstörténetét az egyes rétegekben uralkodó pórúsvíznyomást és egyéb adatokat, a medence kiterjedéséről nem is beszélve.

A megnőtt adathalmaz eredményes kezeléséhez mindenképpen számítógépes feldolgozásra van szükség.

### **A térinformatikai rendszer jelenlegi térképei és adatbázisai**

A számítógépes feldolgozást térinformatikai rendszer létrehozásával valósítjuk meg, amihez a szükséges térképeket digitális formában kell előállítanunk vagy beszerez-nünk, a térképekhez kapcsolódó adatbázisokat pedig táblázatkezelő programba kell be-olvasnunk. Autodesk World 2.5 térinformatikai szoftvert használunk (2. ábra) a digitális térképek megjelenítésére, és azok táblázatos adatbázisokkal való összekapcsolására.

Jelenleg rendelkezésünkre álló elkészített vagy más intézményektől beszerzett di-gitális térképek (és formátumaik):

— A harmadidőszaki medencealjzat mélysége a Kárpát-medencében (szintvonalas tér-kép),

A Magyar Állami Földtani Intézet (továbbiakban: MÁFI) adatállományából kapott pontkoordináták és magasságok segítségével Surfer v. 6.04 program-

- ban állították elő az Eötvös Lóránt Geofizikai Intézetben (továbbiakban: ELGI), (DXF formátum);
- Pleisztocénban aktív törésvonalak és süllyedék területek térképe,  
Szerkesztették: Balogh J, Juhász Á, Marosi S, Pécsi M, Schweitzer F, Somogyi S 1993. Témavezető: Schweitzer F, MTA Földrajztudományi Kutató Intézet,  
M=1: 500000 térkép digitalizálásával az MTA GGKI-ban állítottuk elő, (DXF formátum) 2. ábra ;
  - Kinematikai és Földrengés Epicentrumok térképe,  
Szerkesztette: Jámbor Á, Mónus P, Szeidovitz Gy.  
Az észlelési hely (falu, község) EOV koordinátája alapján CorelDraw v. 7.0 programban állították elő az ELGI-ben. Tartalmazza a rengésintenzitás jelét, a rengés évét az adott helységben, és a helység nevét, (DXF formátum) 3. ábra;
  - A negyedidőszaki képződmények vastagsága Magyarországon,  
Szerkesztette: Franyó F 1992. MÁFI, M=1:500000.  
Digitális formáját kutatási együttműködés keretében kaptuk a MÁFI-ból, OTAB része, (ArcView SHP formátum) 4. ábra;
  - Magyarország részletes vízrajza,  
Kutatási együttműködés keretében kaptuk a MÁFI-ból, OTAB része, (ArcView SHP formátum);
  - Az 1961-80-as években előfordult legkisebb és legnagyobb talajvízállások térképe,  
M=1: 500000 térkép digitalizálásával az MTA GGKI-ban állítottuk elő, (DXF formátum);

A digitális térképi adatállományhoz egyes térképeknél rendelkezésre áll már részben kész táblázatos adatbázis:

- A „Pleisztocénban aktív törésvonalak és süllyedék területek térképe” esetén minden törésvonal és süllyedék terület számmal azonosított. Az azonosító szám alapján rendeltük a térkép objektumaihoz a papírtérkép magyarázó füzetének megállapításait ACCESS adatbázisban.
- A „Kinematikai és Földrengés Epicentrumok térképe” esetén részletes, digitálisan már meglévő ACCESS adatbázis áll rendelkezésre, amelyet az INCO-COPERNICUS projekt keretében készítettek el az elmúlt évben. Az adatbázis a rengések számos jellemzőjét tartalmazza (pl.: percre pontos idejét, az epicentrum pontos helyét, intenzitását, a mért hullámok nagyságát, az okozott károk nagyságát, stb.) magában foglalva az izoszeizma térképeket és az okozott károk mértékét is képi információkkal együtt.

Ahhoz, hogy vizsgálatainkat elvégezhessük még feltétlenül szükségünk van a következő térképek digitális formájára és térinformatikai rendszerbe illesztésére:

- Magyarország Pannóniai (S. L.) képződményei. A Dunántúli Főcsoport (=Felsőpannóniai képződmények) talpmélység térképe.  
Szerkesztette Csíky G, Erdélyi Á, Jámbor Á, Kárpátiné Radó D, Körössy L 1987;
- Magyarország Geomorfológiai Térképe.  
Szerkesztette Pécsi M, a munkaközösség tagjai: Ádám L, Borsy ZM, Buczkó E, Gazdag L, Góczán L, Hahn Gy, Kaiser M, Láng S, Leél Össy S, Lovász

- Gy, Marosi S, Pécsi M, Pinczés Z, Rétvári L, Somogyi S, Székely A, Szilárd J;
- Magyarország Pleisztocénben aktív törésvonalainak térképe.  
Szerkesztette: Jámbor Áron, Bihari Dániel, Chikán Géza, Franyó Frigyes, Kaiser Miklós, Radócz Gyula, Síkhegyi Ferenc, MÁFI 1993;
  - A Pleisztocénben aktív törések és töréses övek összesítő térképe.  
Szerkesztette: Balla Zoltán, Schweitzer Ferenc, Szabó Zoltán 1993;
  - A Földrengések sűrűsödési övei és különböző lineamensek.  
Szerkesztette Balla Zoltán, Szabó Zoltán, Szeidovitz Győző 1993;
  - Magyarország Domborzata és Vizei.  
Cartographia 1995;
  - Magyarország Neotektonikai térképe Morfotektonikai, Fototektonikai és Hidrográfiai Adatok Alapján.  
Fülöp J, Dank V, Barabás A, Bardócz B, Brezsnýánszky K, Császár G, Haas J, Hámor G, Csíky G, Erdélyi Á, Jámbor Á, Kárpátiné Radó D, Körössy LSz, Kilényi É, Nagy E, Rumpler J, Szederkényi T, Völgyi L, Síkhegyi F adatai alapján szerkesztette Moldvay Loránd 1987;
  - Magyarország geotermikus viszonyai. (Geothermal Conditions of Hungary)  
Dövényi P, Horváth F, Liebe P, Gálfi J és Erky I 1983;
  - Magyarország Bouguer anomália térképe.  
Kovácsvölgyi S, Sárhidai A 1994 ELGI kézirat;  
Körössy L, Balogh K: (1968) Tektonische Karte Ungarns in Masstabe 1:1000000. Acta Geologica Academiae Scintiarum Hungaricae Tomus XII;
  - Map of Recent Vertical Movements in the Carpatho-Balkan Region editor-in-chief István Joó, Printed by Cartographia Joó I. et al. 1985, Budapest.

A felsorolt térképek mellett a süllyedő medencéken belül lévő túlnyomásos rétegek térbeli helyzetének és kiterjedésének az ismeretére és a feszültségtérre is szükség lenne.

### **A földrengésfészkek felderítésének módszere**

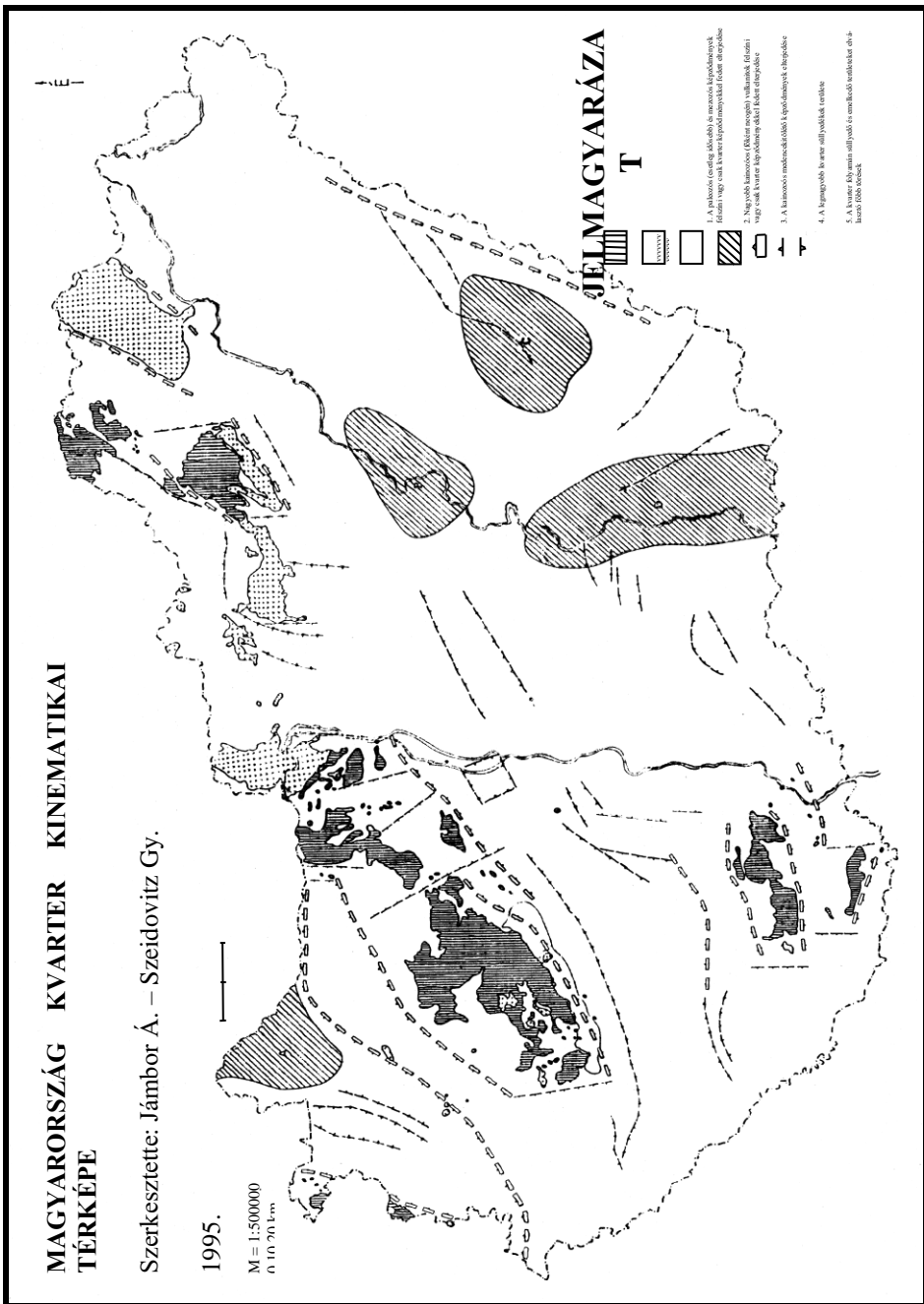
- I. Az ismert nagyobb földrengések geo-környezetének elemzése.
  - II. A kisebb rengéseket gerjesztő fészkek környezetének vizsgálata.
  - III. A nagyrengésekhez hasonló geo-környezetek kijelölése
- A fentiek alapján a Kárpát-medencében kijelöljük azokat a sávokat, ahol nagyrengésekre számíthatunk.
- A vizsgálatok eredménye 1: 500000 méretarányú térkép lesz, egy térképmagyarázóval, amelyben lefektetjük azokat az ismérveket, amelyek alapján a térkép készült.
- Tekintettel arra, hogy az elemzések eredményeként körvonalazott zónák – a feladat természetéből adódóan – tartalmaznak kisebb nagyobb bizonytalanságokat, ezért ezeket a bizonytalanságokat az egyes zónákhoz rendelt mérőszámmal fogjuk jelezni.

### **Összefoglalás**

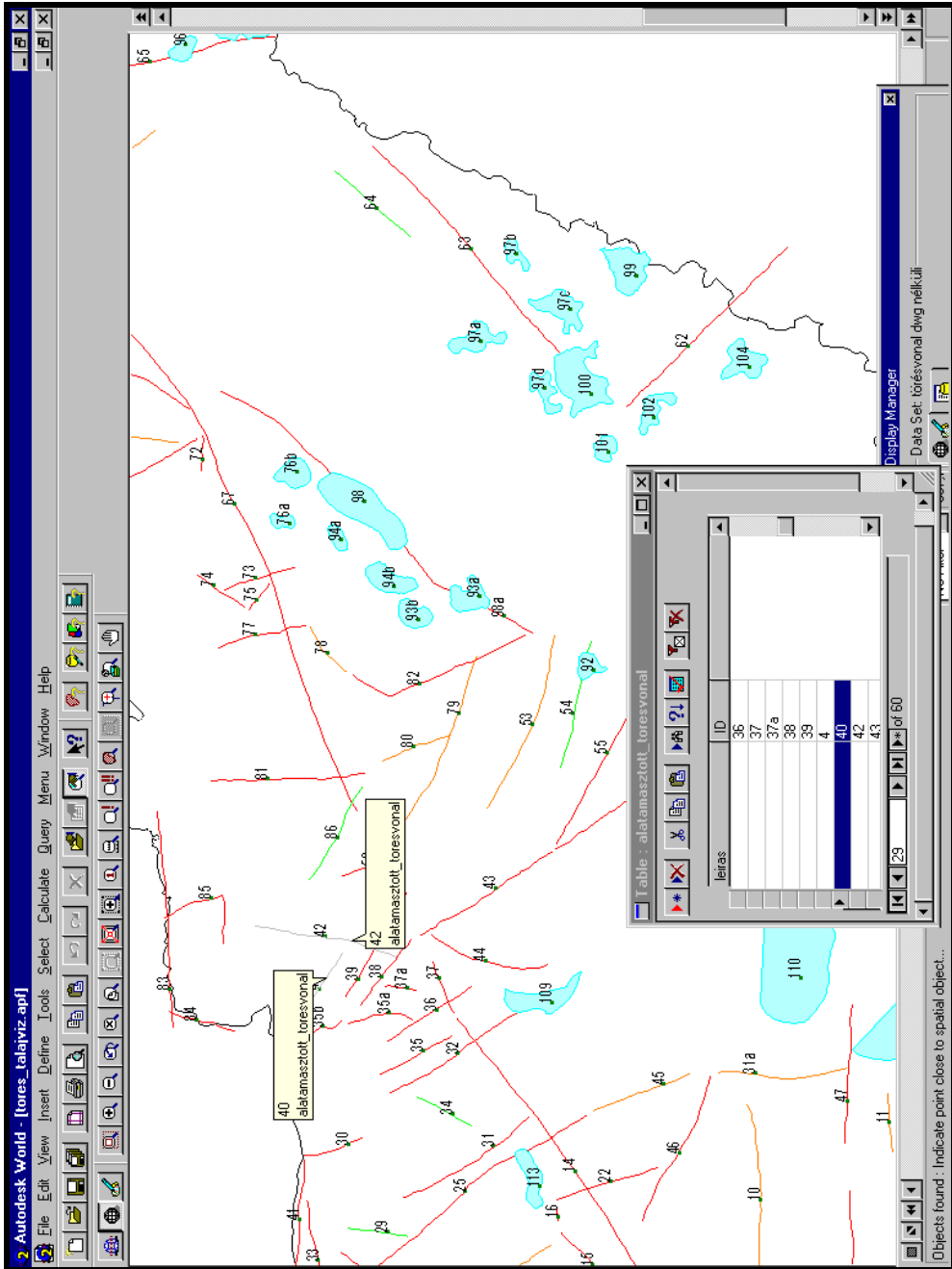
A készülő térinformatikai adatrendszer reményeink szerint a rengések környezetének részletes és sokrétű vizsgálatához megfelelő háttérteret teremt, és találunk olyan földtani, tektonikai stb. paramétereket, amelyek eléggé specifikusak a nagyföldrengések környezetére. Az előzetes vizsgálatok alapján ennek van némi esélye.

## Hivatkozások

- Fülöp J, Dank V** (1987): Magyarország földtani térképe a kainozoikum elhagyásával. Magyar Állami Földtani Intézet.
- Gupta HK, Rastogi BK** (1976): Dams and earthquakes, Elsevier.
- Gutdeutsch R, Aric K** (1986): Geophysical Aspects of the Crustal Structures of the Eastern Alps Tectonic Block Models Based on the Seismicity in the East Alpine-Carpathian and Pannonian Area.
- Jámbor Á, Szeidovitz Gy** (1995): Preliminary Investigation of the seismic hazard of the areas identified for siting a new NPP. ETV-ERŐTERV.
- Kilényi É, Sefara J** (1989): Pre-Tertiary basement contour map of the Carpathian basin beneath Austria, Czechoslovakia and Hungary. Published by ELGI.
- Kőrössi L, Balogh K** (1968): Tektonische Karte Ungarns in Masstabe 1: 1000000. Acta Geologica Academiae Scintiarum Hungaricae Tomus XII.
- Rónai A** (1977): A negyedidőszaki kéregmozgások a Magyar-medencében. (Quaternary tectonic Movements in the Hungarian Basin). Földt. Közl. 107 (3-4): 431-436.
- Rónai A** (1973): Map of the Quaternary crustal movements in Hungary. MTA X. Osztályának Közleményei 6. (1-4.) pp. 241-243.
- Rónai A** (1963): Thickness of the Quaternary layers. M= 1:400 000.
- Szeidovitz Gy, Mónus P** (1993): A magyarországi földrengések eloszlása. Jelentés az ETV-EŐTERV Rt-vel kötött 5065-47. sz. szerződés teljesítéséről. Kézirat, ETV-ERŐTERV Rt. Adattár, Budapest.
- Urbancsek J** (1979): Thickness of the Quaternary deposits. M=1: 1500000. In: Urbancsek J. (ed.) Cadastre of the deep bored wells of Hungary. Volume VII. Fig. 21.
- Dövényi P, Horváth F, Liebe P, Gálfi J és Erky I** (1983): Magyarország geotermikus viszonyai. (Geothermal Conditions of Hungary) Geofizikai Közlemények 29. kötet 1. sz. 59-114 old.
- Egyed L** (1957): A kéregmozgások okai és a magyarországi kéregmozgások. Geofizikai Közlemények 6. kötet 1-2. sz. 47-52 old.
- Franyó F** (1992): A negyedidőszaki képződmények vastagsága Magyarországon M=1: 500000. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.

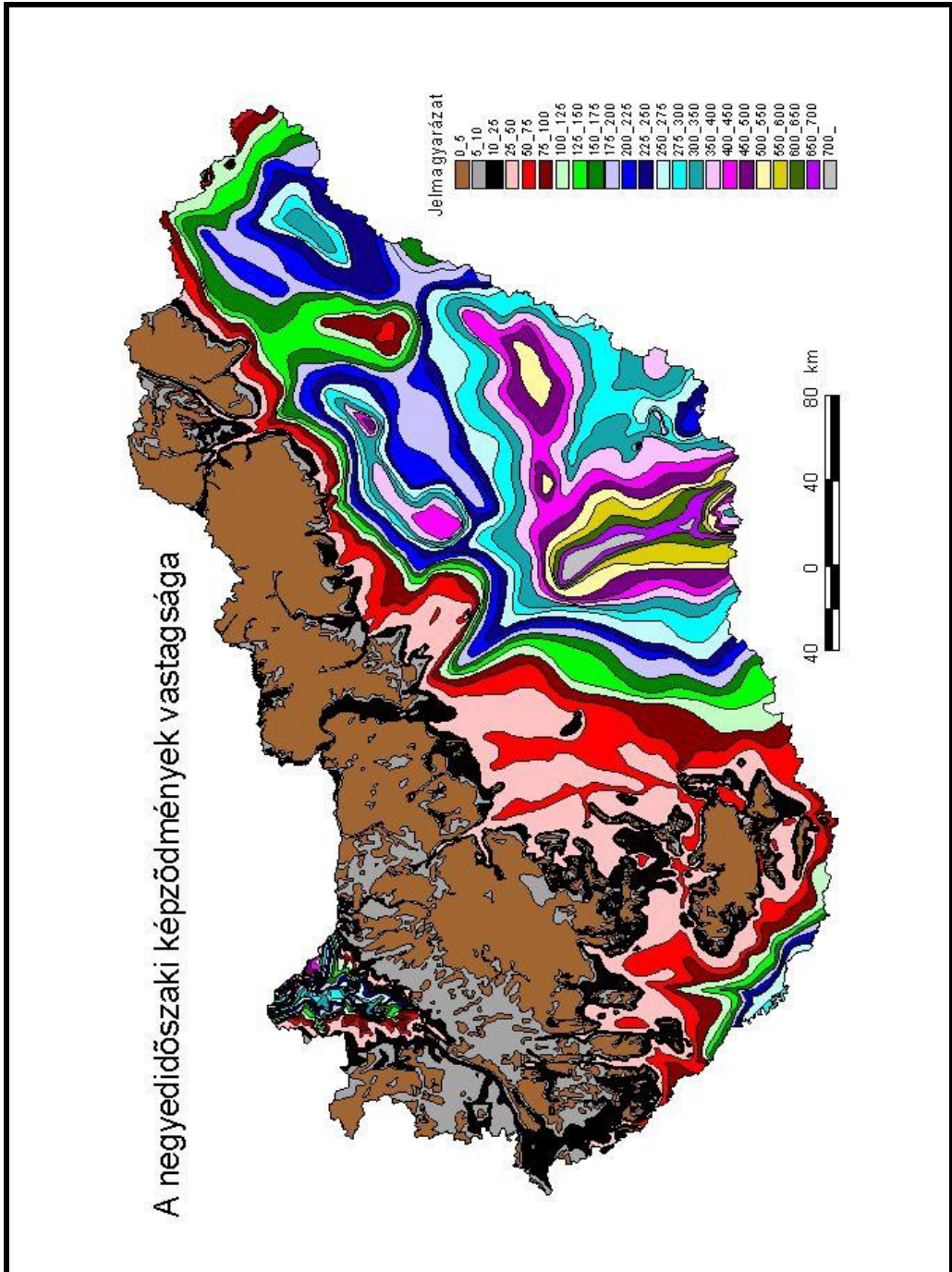


1. ábra. Magyarország kvarter kinematikai tépképe.  
Szerkesztette: Jámor Á, Szeidovitz Gy (1995).



**2. ábra** A térinformatikai rendszer (Autodesk World szoftverben) bemutatása. A képen a pleisztocén törésvonalak térkép egy részlete látható a hozzákapcsolt táblázatos adatbázissal.





4. ábra. A negyedidőszaki képződmények vastagsága (digitális térkép).

## „LINFO” A LINDE GÁZ MAGYARORSZÁG RT. TÉRKÉPALAPÚ KÖRNYEZETVÉDELMI INFORMÁCIÓS RENDSZERE

*Bogdán Olivér,\* Füle László,\*\* Magyar Imre,\*\* Mógor Emil\*\*\**

*Ez az előadás a LINFO névre keresztelt, a LINDE GÁZ MAGYARORSZÁG RT.-nél alkalmazott Környezetvédelmi Információs Rendszert mutatja be, annak előzményeit, fejlesztését és alkalmazását.*

### Bevezetés

1999. januárjában a LINDE GÁZ MAGYARORSZÁG RT egy térkép alapú környezeti információs rendszer kiépítését tűzte ki célul, amely a LINDE GÁZ MAGYARORSZÁG RT. telephelyein fog működni.

Az információs rendszer a környezetvédelemmel kapcsolatos törzs- és idősoros adatokat tartalmazza.

A fejlesztés Windows NT 4.0 operációs rendszeren az ARCVIEW 3.1 térinformatikai és a MICROSOFT ACCESS szoftverekkel történt.

A térkép alapú környezetvédelmi információs rendszer kiterjed minden környezeti elemet terhelő tevékenységre, alkalmas azok nyilvántartására, az adatok térbeli és időbeli kombinálására, topologikus adatok valamint időben változó, ismétlődő mérési adatok tárolására egyaránt.

A rendszer a LINDE GÁZ MAGYARORSZÁG RT összes telephelyére került kidolgozásra. Az információs rendszer működését az alábbiakban ismertetjük.

### Tárgyalás

A környezeti információs rendszer egy üzemben a környezetvédelmi tevékenységgel kapcsolatos információk szisztematikus összeállítására, feldolgozására szolgáló rendszer. Ez elsősorban a technológia környezetterhelések, szennyezőanyag kibocsátások és azok megelőzésének és csökkentésének védelmi intézkedéseinek megállapítására szolgál. (REY 1998)

A LINDE GÁZ MAGYARORSZÁG RT 1998-tól üzemeltet MSZ EN ISO 14001 szerint tanúsított Környezeti Irányítási Rendszert (továbbiakban KIR). A KIR feladata a vállalatnál az összes környezetvédelemmel kapcsolatos tevékenységek rendszerbe foglalása, ezek nyomon követése és a környezeti teljesítmény növelése.

A KIR működtetéséhez jelentős munkaráfordítás és költségek szükségesek. Ilyen például a célok, előirányzatok, programok végrehajtása, az ehhez szükséges adatnyerés, jelentéskészítés.

A KIR alkalmazása során nem csak a vállalat "image"-ének javítása, hanem a munkatársak motivációja is nagy szerepet játszik, amit az oktatással lehet elérni. Talán az egyik legfontosabb része a jogi előírások betartása.

\*LINDE GÁZ MAGYARORSZÁG RT, 9653 Répcelak, Carl von Linde u 1.

E-mail: [bogdoly@sarvar.compunet.hu](mailto:bogdoly@sarvar.compunet.hu)

\*\*Veszprémi Egyetem Környezetmérnöki és Kémiai Technológiai Tanszék

E-mail: [ful003@almos.vein.hu](mailto:ful003@almos.vein.hu)

E-mail: [mim023@almos.vein.hu](mailto:mim023@almos.vein.hu)

\*\*\*Veszprémi Egyetem Információs Rendszerek Tanszék

E-mail: [mogor@almos.vein.hu](mailto:mogor@almos.vein.hu)

A környezetirányítás fejlesztési lehetőségét vizsgálva, gyakori az a benyomás, hogy további eredmények, csak viszonylag magas anyagi ráfordítással érhetőek el, ezért a vállalatok keresik azokat a területeket, ahol beavatkozva aránylag kisebb anyagi ráfordítással nagy környezetvédelmi javulást tudnak elérni. Talán ezért a KIR egyik legnagyobb fejlesztési lehetősége, az információk feldolgozására egy számítógépes adatfeldolgozási információs rendszerben. Ez magába foglalhatja az office eszközök használatát, valamint a saját elvárásoknak megfelelő fejlesztett rendszereket is. Bár a szoftver piacon elég nagy a kínálat, mégis elég nehéz a cég elvárásainak teljesen megfelelőt találni. Ezért egyre inkább a saját fejlesztésű (a meglévők kombinálása, teste szabása, jelen esetünkben az ARCView 3.1 és MSACCESS) programok kerülnek előtérben.

Az ilyen környezeti információs rendszerek célja, hogy a felhasználók (adminisztrátorok, mérnökök, vezetők, döntéshozók) számára egy könnyen használható, egyszerű rendszert adjanak, ami képes a környezetvédelmi tervezésben, döntéshozásban támogatást adni az adatok nyilvántartásával, térképi megjelenítéssel, szemléletességgel. További cél az adatszolgáltatási idő megrövidítése, valamint a költséghatékonyság. (Fedra 1998)

## **A Linde Környezetvédelmi Információs Rendszer Környezete**

A LINDE KÖRNYEZETVÉDELMI INFORMÁCIÓS RENDSZER fejlesztése során a telephelyek digitális térképeinek kezeléséhez az ARCVIEW 3.1 térinformatikai szoftvert választottuk. A program a vektoros térinformatikai rendszerek közé tartozik, a térképi és a leíró adatok kezelésére egyaránt képes. A térképi objektumokat pont, vonal és területi elemekként kezeli, melyekhez azonosító pontokon keresztül, DBF-formátumú file-ként leíró adatok kapcsolódnak.

Az ARCVIEW program képes más térinformatikai rendszerek, tervező szoftverek által kezelt térképi állományokat is felhasználni (pl. MICROSTATION, MAPINFO, AUTOCAD stb.), melyek a rendszerbe maradéktalanul áttöltethetők. A fejlesztés során több esetben kihasználtuk ezt a kedvező tulajdonságot, hiszen az egyes telephelyek már meglévő DWG, illetve DXF állományait konvertáltuk át az ARCVIEW által kezelt SHP formátumba. A logikailag azonos csoportba tartozó objektumok, ezáltal egy-egy réteget, fedvényt képeznek, melyek a térképkezelőben különféle jelkulcsi elemekkel gyorsan megjeleníthetők. A digitális térképen gyors helymeghatározást, mérést végezhetünk, a kiválasztott térképészletet ábraként ki is nyomtathatjuk. Az ARCVIEW 3.1 a leíró adatok lekérdezése, elemzése mellett térbeli elemzésre is alkalmazható.

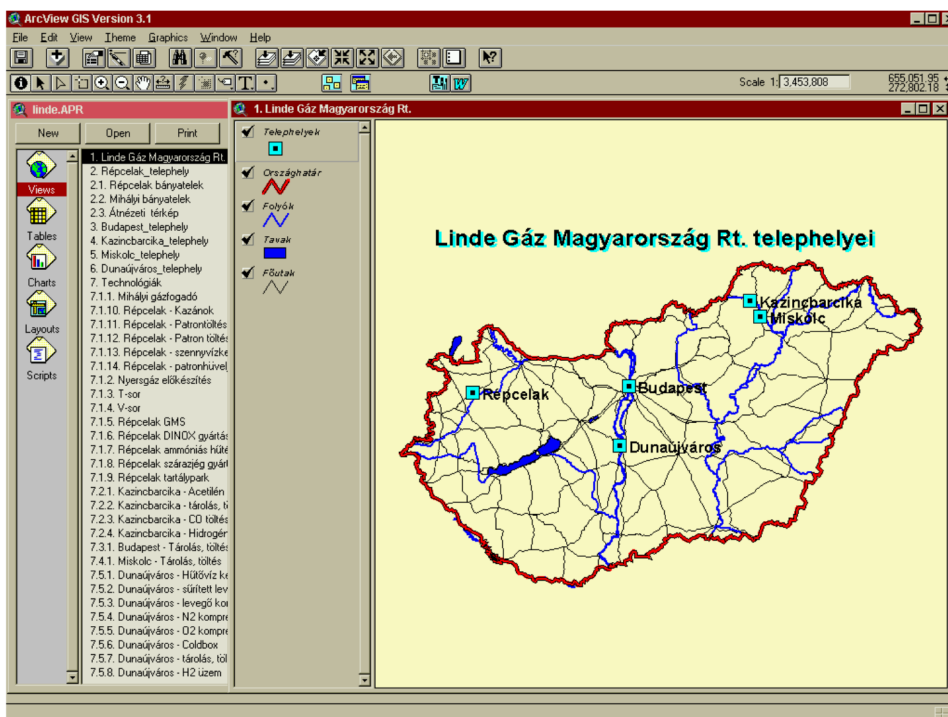
A Környezetvédelmi Információs Rendszernek egyaránt alkalmasnak kellett lennie topológiai adatok, valamint időben változó, ismétlődő mérési adatok tárolására. Erre a feladatra a keretrendszerként választott ARCVIEW 3.1 adattárolási struktúrája (egy térképi fedvényhez egy adattábla tartozik) csak részben alkalmas. Ugyanakkor viszont tartalmazza azokat az eszközöket (SQL kapcsolat, AVENUE programnyelv, DDE), amelyekkel hatékonyan megoldható egy külső adatbázis-kezelő rendszerhez való kapcsolódása, abban adatok tárolása és lekérdezése. A program az AVENUE programnyelvvvel fejleszthető, mely speciális alkalmazásokat enged meg: támogatja a hagyományos strukturált adatbázisokkal való kapcsolatot (pl. ORACLE, DBASE, ACCESS, EXCEL), a térképhez kapcsolt bármilyen objektum önálló alkalmazását (pl. újabb adatlap előhívás, hang-, kép- és videóanyag futtatása, modellezés, bármilyen rendszerszintű program, parancs, adatbázis- és táblázatkezelő, szövegszerkesztő indítása) és támogatja a dinamikus adatcserét (DDE).

A kialakított információs rendszerben a külső adatbázis funkciókat az MSACCESS látja el, melynek fejlesztésével megvalósult a táblázatok adatainak automatikus leválogatása, összesítése, számítási műveletek végzése, a pontforrások idősoros nyilvántartása, veszélyes hulladék nyilvántartása, telephelyi technológiák modellezése és az adatkapcsolat kiépítése a LINDE GÁZ MAGYARORSZÁG RT hálózatához. Az adatkapcsolat térképkezelő felület és az adatbázis között mindkét irányban működik.

A program kezelői felülete könnyen kezelhető, a különböző funkciók menüből, nyomógombról indíthatók. Az információk térképi, táblázatos és grafikon formájában is megjeleníthetők. A kialakítás során a telephelyek digitális térképi állományaihoz hozzákapsoltuk a környezeti adatokat tartalmazó külső adatbázist, melybe az üzemek vonatkozó környezeti adatai kerültek.

## Térképkezelés

Mint már az előzőekben említettük a digitális térképek kezelése a LINDE KÖRNYEZETVÉDELMI INFORMÁCIÓS RENDSZERbe épített ARCVIEW 3.1 térinformatikai rendszer működésén alapszik. Az alapprogram menüjét és nyomógombjait alapvetően nem változtattuk meg, de néhány olyan új nyomógombot tettünk a kezelői felületre, mely megkönnyítik az információs rendszer működését.



1. ábra. LINDE GÁZ MAGYARORSZÁG RT. telephelyei.

Az ARCVIEW 3.1 térinformatikai rendszer a telephelyek térképfelületeit ún. **Projektekben** tárolja. A projekt az ARCVIEW komponenseiből álló, a felhasználó igényei szerint összeállított kombináció, mely térképeket, táblázatokat, térképmellékleteket, diagramokat és fejlesztői programokat tartalmazhat.

A Linde Környezetvédelmi Információs Rendszer esetében a telephelyek térképeit és a technológiák ábráit a környezetvédelmi feladatok elvégzése érdekében állítottuk össze egy projektbe. A térképkezelő indításakor automatikusan Magyarország digitális térképvázlata jelenik meg a LINDE GÁZ MAGYARORSZÁG RT telephelyeinek feltüntetésével. A térkép szenzitív, a megfelelő helysége kattintva nyitható meg az aktuális telephely térképe (1. ábra).

A **Telephelyi térképeken** (Répcelak, Budapest, Kazincbarcika, Miskolc, Dunaújváros) a telephely alaprajzán a környezetvédelemhez kapcsolódó legfontosabb objektumokat tüntettük fel. Az objektumok fedvényeiről (pl. pontforrások, zajmérési pontok, gázkutak, veszélyes hulladék gyűjtőhelyek) az adatbázisban tárolt környezetvédelmi adatok a megfelelő környezeti elemre kattintva érhetők el.

## A Linde Környezetvédelmi Információs Rendszer adatbázisa

A LINDE KÖRNYEZETVÉDELMI INFORMÁCIÓS RENDSZER adatbázisa az MSACCESS adatbázis kezelő rendszer fejlesztésével készült. A program általános kezelése az MSACCESS általános működésén alapul és annak minden komponensét felhasználja. A környezeti adatokat a **Táblák** tartalmazzák, melyek kigyűjtése, összegzése a **Lekérdezésekkel** történt. A fejlesztés során különböző **Modulokkal** és **Makrókkal** egy felhasználóbarát környezetet alakítottunk ki. Ennek eredményeként a felhasználó munkája során csak jól áttekinthető **Űrlapokkal**, valamint automatikusan készülő **Jelentésekkel** találkozik, az MSACCESS többi komponense a háttérben dolgozik.

A több felhasználó egyidejű munkavégzésének érdekében, a hálózaton elhelyezett adatbázishoz csatlakozni kell. A bejelentkezés után a rendszer Főmenüje jelenik meg, mely az alábbi menüpontokból áll:

Adatok	Adatbevitel	Levegő	Gázkutak	Zaj	Szennyvíz	Munkák	Veszélyes anyag	Veszélyes hulladék	Havária	Technológia	Súgó
--------	-------------	--------	----------	-----	-----------	--------	-----------------	--------------------	---------	-------------	------

Az egyes főmenü pontok és azon belüli almenük használata felhasználói jogosultságtól függ. Minden menüpontra betekintési, adatbeviteli, javítási jogosultsággal csak a Rendszergazda rendelkezik, a többi felhasználó csak a hatáskörébe és illetékességébe tartozó adatokat kezelheti. A jogokat a Rendszergazda definiálhatja, személyenként, üzemenként korlátozva a betekintést, adatbeviteli és javítási lehetőségeket.

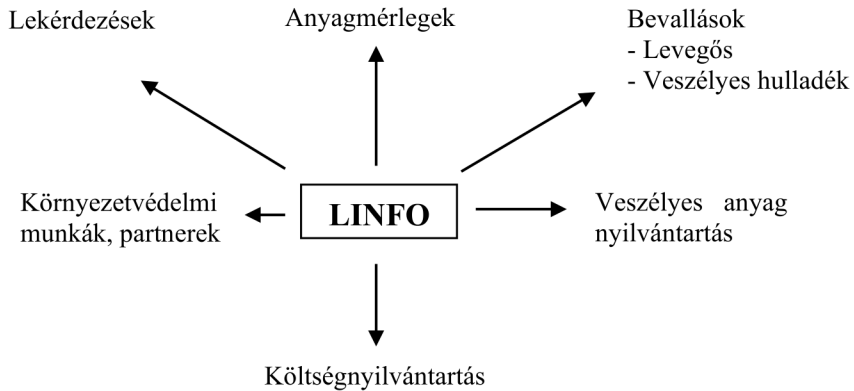
A LINFO sikeres működésének alapfeltétele a naprakész adatbázis. Az adatgyűjtési szakaszban a különféle adatok bevitele történik. Ilyenek a termelési adatok, üzemi nyilvántartások, környezetvédelmi mérések eredményei, határozatok, jogszabályok elvárásai, szerződések, költségek.

Az információs rendszert úgy terveztük, hogy a különböző felhasználók eltérő jogosultságokkal rendelkezzenek. Nem minden felhasználó szerkesztheti, javíthatja az adatokat, illetve csak azokat az adatokat, melyekért felelősséggel tartozik. Valamennyi űrlapon szerkesztési jogosultsággal csak a Rendszergazda rendelkezik, a Vezetők és az Üzemek lekérdezhetik az adatokat, de a legtöbb esetben nem javíthatják.

Az idősoros adatokat, amelyet a napi munka során az üzemek tartanak nyilván, célszerű, hogy ha ők töltik fel azokat az adatbázisba. E célt szolgálják az adatbeviteli menüpontok, űrlapok, melyeken az egyes üzemek a saját felelősségük alá tartozó objektumok időben változó adatait rendszeresen felviszik, megkönnyítve ezzel a Rendszergazda munkáját. Ilyen idősoros adatok például a veszélyes hulladékot eredményező alapanyagok, veszélyes hulladékok mennyisége, a légszennyező pontforrások üzemelési

ideje. Ezeket az adatbeviteli menüpont alatt végezhetik el a felhasználók. Az ún. törzs-adatok módosítása csak a rendszergazdának engedélyezett.

A LINFO legfontosabb célja a naprakész nyilvántartáson alapuló adatszolgáltatás. A következő (2.) ábra szemlélteti a LINFO adatszolgáltatási lehetőségeit.



**2. ábra.** LINFO adatszolgáltatási lehetőségei.

A LINFO működésének megértéséhez nézzük a lehetőségekből vett példákat:

### ***Levegő***

A rendszer képes a törvényi előírásoknak megfelelően a levegőt szennyező pontforrások nyilvántartására. Tartalmazza az azonosítási, földrajzi, műszaki adatokat (telephely, azonosítási szám, magasság). Továbbá elérhető a pontforrások kilépő komponensei, azok határértékei. Az előírások szerint a pontforrások üzemelési idejét nyilván kell tartani.

A rendszer egyik legnagyobb előnye a tárolt és rendszerezett mérési, üzemelési és termelési adatok alapján automatikusan elkészülő levegős hatósági bevallás, mely a formai követelményeknek is eleget tesz.

### ***Veszélyes hulladék***

A LINDE GÁZ MAGYARORSZÁG RT. környezetvédelmi tevékenységének egyik legjelentősebb részét képezi a keletkezett veszélyes hulladékok gyűjtése, elszállítása, nyilvántartása.

A veszélyes hulladékok kezeléséhez elengedhetetlen feltétel a hulladékok törzsadatainak nyilvántartása. Erre példa a 3. ábra:

**Veszélyes hulladék törzsadatok** Bezár

Alapanyagok | Hulladékok | Átmeneti gyűjtőhelyek | Gyűjtőhelyek | Technológiák | Kezelés típusok

Azonosító:

Név:

Leírás:

Veszélyességi osztály:

Térfogatsúly:  kg / m<sup>3</sup>

Fizikai meg. forma:

Veszélyességi jellemzők:

Rekord:  összesen 32

**3. ábra.** Veszélyes hulladék törzsadatok.

A már említett adatbevitel során a tárolt adatok összegezve, és természetesen időszakonként, üzemenként és hulladék fajtánként megtekinthetők.

**Veszélyes hulladékot eredményező technológiák alapanyagai** Bezár

Keresés

**Patrontöltő Üzem (PTF) gépolajok felhasználás**

Dátum	Felhasznált mennyiség [kg]	Év
1998. 01. 31.	165,00	
1998. 02. 28.	0,00	
1998. 03. 31.	115,00	
1998. 04. 30.	50,00	
1998. 05. 31.	405,00	
1998. 06. 30.	60,00	
1998. 07. 31.	210,00	
1998. 08. 31.	60,00	
1998. 09. 30.	110,00	
1998. 10. 31.	150,00	
1998. 11. 30.	10,00	
1998. 12. 31.	0,00	
<b>Összesen</b>	<b>1 335,00</b> [kg]	

**4. ábra.** Alapanyag nyilvántartás.

**Veszélyes hulladék átmeneti gyűjtőhelyek forgalma** Bezár

Keresés

**Répcelak** Iékép

**PTF - Patrontöltő Üzem**

**Fáradt olaj átmeneti gyűjtőhely forgalma**

Dátum	Keletkezett mennyiség [kg]	Átadott mennyiség [kg]	Bizonylatszám
1998. 03. 23.	50,00	50,00	12/55630
1998. 03. 27.	20,00	20,00	12/55691
1998. 04. 29.	15,00	15,00	20/136880
1998. 05. 19.	181,00	181,00	20/136888
1998. 06. 18.	40,00	40,00	20/136839
1998. 08. 27.	10,00	10,00	19/136868
1998. 12. 03.	50,00	50,00	74/10038
<b>Összesen</b>	<b>366,00</b>	<b>366,00</b>	

**5. ábra.** Veszélyes hulladék átmeneti gyűjtőhely forgalom.

A veszélyes hulladék anyagmérleg számítása, a bemenő forgalom (adatfeltöltés), és a 102/1996 számú Veszélyes hulladékokról szóló kormányrendelet szerinti SZ-jegyű kiszállítások alapján történik.

A gyűjtőhely forgalom kimutatása menüpont segítségével automatikusan egy nyomtatható jelentés készül egy-egy gyűjtőhely éves veszélyes hulladék forgalmáról. A kimutatásban a gyűjtőhely és a tárolt hulladék neve alatt az adott évre vonatkozóan a

gyűjtőhelyre beszállított és a kiszállított mennyiségek listája található. A lista alatt megjelenik a gyűjtőhely év eleji nyitó készlete, évi bevitt mennyiség, évi kivitt mennyiség és az év végi záró mennyiség.

Nemcsak a levegős bevallás, hanem a veszélyes hulladék bevallás is az adatbázisban tárolt adatok alapján automatikusan készül. Ezt a H-lap, T-lap, SZ/I-lap jelenti. A H-lap egy adott Technológiából keletkezett veszélyes hulladék adatait tartalmazza a technológia összes hulladékára. A T-lap szintén a veszélyes hulladék bevallás része, mely a Telephelyi technológia adatait adja meg. Az Sz/I lap a Kísérőjegyek összesítő adatait készíti el.

### *Veszélyes anyag*

Nem csak biztonságtechnikai, hanem környezetvédelmi szempontból is nagyon fontos a veszélyes anyagok kezelése. Ennek érdekében hangsúlyt kellett fektetni erre az információs rendszerben. A LINFO a veszélyes anyagok törzsadatainak nyilvántartásán túl, kérésre képes az anyaghoz csatolt Biztonságtechnikai adatlapot is megnyitni, nyomtatni (6. ábra).

6. ábra. Veszélyes anyagok nyilvántartása.

### *Partnerek, költségek*

Környezetvédelmi tevékenység nem folytatható partnerek nélkül. Gondoljunk csak a hatóságokra, és az általuk előírtakra. Vagy a veszélyes hulladékok elszállítóira, ártalmatlanítóira. Esetlegesen beszállítókra, alvállalkozókra. Ezért az információs rendszernek képesnek kell lennie a környezetvédelmi munkákkal kapcsolatos partnerek nyilvántartására is. Továbbá bizonyos tevékenységek csak hatósági engedélyek birtokában lehetséges, ilyen a veszélyes anyag kezelése, forgalmazása, veszélyes hulladék elszállítása

stb. Sok esetben a vállalat nincs tisztában azzal, melyik partnere rendelkezik engedéllyel, és az érvényes-e. Valamint a KIR programok szerint végrehajtott fejlesztések, hulladék elszállítási, ártalmatlanítási költségek nyomon követése, év végi visszakeresése is nehéz. A rendszernek ezzel a lehetőségével az év folyamán a költségek folyamatosan tervezhetők, figyelemmel kísérhetők.

### Összefoglalás

A fentiekben ismertetett Linde Környezetvédelmi Információs Rendszer a LINDE GÁZ MAGYARORSZÁG RT. teljes környezetvédelmi tevékenységét lefedi. Az egy-máshoz kapcsolt térinformatikai szoftver (ArcView 3.1) és MS Access alkalmazása nem csak hazai viszonylatban egyedül álló. Alkalmazása nagy segítséget jelent az ipari vállalatok működéséhez. Megkönnyíti az adatok tárolását, nyilvántartását, a visszakereshetőséget, anyagmérlegek készítését. Az automatikus bevallások jelentősen gyorsítják az ügyintézését.

Az 1999. évre vonatkozó levegős és veszélyes hulladék bevallások a LINDE GÁZ MAGYARORSZÁG RT.-nél már a LINFO-val készültek. A tapasztalatok szerint a telephelyen a feltöltést végző munkatársak is szívesebben tartják nyilván az adatokat a rendszer segítségével. Kisebb problémákat okozott a bevétel során az elütések, téves adatok beírása. Ezt az okozta, hogy a jóváhagyás előtt az adatok helyességét a munkatársak nem ellenőrizték, viszont minden esetben jeleztek a rendszergazdának, aki a javításokat azonnal el tudta végezni.

A LINFO használhatóságát jelzi, hogy 4-5 egyszeri felhasználói munka, közös adatbázis használata esetén sem történt a rendszer működésében változás, valamint az is, hogy az adatbázis folyamatos feltöltése, aktualizálása ma már a napi rutin feladatok közé tartozik. Folyamatos töltés esetén heti maximum egy-két óra munkát jelent az adatfeltöltőknek. A bevallás során az adatgyűjtési és adatfeldolgozási időt, ami a rendszer használata nélkül két hónap, napokra rövidíti.

Az adatok egységes kezelése maga után vonta az azonnali adatszolgáltatásokat vállalaton belül és kívül. A térképi megjelenítés szemléletessége nagyban segít abban, hogy a felhasználó képet kapjon az üzemben folyó tevékenységekről hosszadalmas két-három órás ellenőrző bejárás nélkül.

További munkák során a meglévő LINFO környezetvédelmi információs rendszert, szeretnénk továbbfejleszteni, mint adatszolgáltatót a KIR hatékony működtetésére, ún. hatásregiszterek készítésére, modellezésre, hatásterület becslésre. A lehetőségek tárháza széles, és a vállalati igények nagyok.

### Hivatkozások

**Füle L, Magyar I, Mógor E** (1999): Linde Környezetvédelmi Információs Rendszer Felhasználói Kézikönyv.

**Rey U, Jürgens G, Weller A** (1998): Betriebliche Umwelt Information Systeme, Umwelt, november.

**Fedra K** (1998): ECOSIM An Urban Environmental Management Information System, Environment And Related Transport Telematics Results International Conference 1998.

102/1996 (VII.12) Veszélyes hulladékokról szóló Kormányrendelet.

MSZ EN ISO 14001 Környezetközpontú irányítási rendszerek szabvány.