

ÉVFOLYAM
Volume

IX

2006

GEOMATIKAI KÖZLEMÉNYEK

Publications in Geomatics

SZERKESZTŐK
Editors

ZÁVOTI J, BÁNYAI L, PAPP G

Építési geodézia a Paksi Atomerőműben
Egyéb tudományos publikációk
Sopron, 2006. október

HU ISSN 1419-6492



MTA GEODÉZIAI ÉS GEOFIZIKAI KUTATÓINTÉZET
SOPRON

Geomatikai Közlemények

Publications in Geomatics

kiadja a

MTA 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

felelős kiadó:

Závoti József
igazgató

szerkesztő:

Závoti József, Bányai László és Papp Gábor

technikai szerkesztő:

AnKa

készült a

LŐVÉR PRINT Kft. nyomdájában
9400 Sopron, Ady Endre u. 5.
tel.: 99 - 329-977

megjelent 150 példányban
Sopron, 2006

HU ISSN 1419-6492

ÉPÍTÉSI GEODÉZIA A PAKSI ATOMERŐMŰBEN

EGYÉB TUDOMÁNYOS PUBLIKÁCIÓK

Sopron

szervezte:

MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet

Szervező bizottság:

Závoti József

zavoti@ggki.hu

Papp Gábor

papp@ggki.hu

Bányai László

banyai@ggki.hu

TARTALOMJEGYZÉK

<i>Tartalomjegyzék</i>	3
<i>Előszó</i>	5

Építési geodézia a Paksi Atomerőműben

Ágfalvi Mihály	9
A mérnökgeodézia oktatás-kutatás szerepe a szakember utánpótlásban <i>The Role of the Training and the Research in the Field of Engineering Surveying in Surveyors' Higher Education</i>	
Lovas Antal, Homolya András	15
Magyar építőmérnök BSc-MSc képzés és a tervezői jogosultságok <i>The Hungarian Civil Engineering BSc-MSc Curricula and the designer's entitlement</i>	
Kiss Antal	25
A BME Geodézia Intézet tevékenysége a Paksi Atomerőműben <i>Coordinate transformation with the estimation of geoid undulations</i>	
Csemniczky László, Homolya András	31
A zártláncú geodéziai - fotogrammetriai rendszer szerepe a Paksi Atomerőmű építkezésénél <i>Datum transformation problems of the forestry maps</i>	
Kis Papp László	41
A Paksi Atomerőmű létesítményeinek állapotfelmérése hagyományos és digitális fotogrammetriai eljárással <i>Coordinate transformation with the estimation of geoid undulations</i>	
Gazsó Márta	47
A Paksi Atomerőmű Rt. térinformatikai adatbázisának karbantartása és adatgyűjtésének jelenlegi feladatai <i>Coordinate transformation with the estimation of geoid undulations</i>	
Ábrahám György, Kovács Gábor, Németh András	55
Reaktorok helyzetmérési eredményei, mérési technológia és a gyakorlat 1990-2004 <i>Datum transformation problems of the forestry maps</i>	
Czellár András, Zergi István	67
Nagy pontosságú geodéziai mérések végrehajtása a Paksi Atomerőmű reaktorainak tervszerinti kivitelezésénél <i>Coordinate transformation with the estimation of geoid undulations</i>	
Bányai László, Mentés Gyula	71
Deformáció vizsgálatok geodéziai módszerei <i>Coordinate transformation with the estimation of geoid undulations</i>	

Egyéb tudományos publikációk

Závoti József	89
Nem teljes rangú Gauss-Markov modell minimum normás becslése <i>The closed form solution of 7 parameter 3D transformation</i>	

Polgár Rudolf	97
Általánosított bilineáris spline approximáció	
<i>Transformation Methodes of the Traditional and Satellite Based Networks</i>	
Fekécs Sándor	105
Az egész Héron-háromszögek fogalma és szerkesztése	
<i>The closed form solution of 7 parameter 3D transformation</i>	
Völgyesi Lajos, Tóth Gyula, Csapó Géza, Szabó Zoltán	111
A nehézségi erőter nem árapály jellegű időbeli változásainak vizsgálata	
<i>Web-based application for coordinate transformation using neural networks</i>	
Kiszely Márta	123
A Kárpát-medence 1900-2005 közötti földrengéseinek statisztikai elemzése	
<i>Web-based application for coordinate transformation using neural networks</i>	

E l ő s z ó

A „Geomatikai Közlemények” a IX. évfolyammal egy újabb mérföldkőhöz érkezett. A szerkesztőség a folyóirat által szervezett továbbképző szemináriumok anyaga mellett közölt már tudományos disszertációt és egyetemi tananyagot is. Jelen kiadványban döntő részt a Paksi Atomerőmű ZRt. által szervezett tudományos, gyakorlati és történeti jelentőségű konferenciák előadásainak szerkesztését és lektorált kiadását vállalta.

Köszönetet szeretnénk mondani azoknak az önzetlen előadóknak, akik vállalták a szigorú tartalmi és formai követelmények teljesítését. Külön köszönetet szeretnénk mondani a Paksi Atomerőmű ZRt. elvi és anyagi hozzájárulásáért is.

a szerkesztők

E l ő s z ó

az „Építési Geodézia a Paksi Atomerőműben” című írásokhoz

A Geomatikai Közlemények szaklap rendhagyó módon lehetőséget adott arra, hogy a geodéziai szakterület tudományos publikációi között megjelenjenek a Paksi Atomerőmű létesítményéhez kapcsolódóan egy kiadványban azok az ismeretek, amelyek még így egyben soha nem kerültek publikálásra. Az építési geodézia speciális területe a geodézia tudományának, hiszen mint egy kohó a különböző adalékokkal, felhasználja a geodéziának és szakterületeinek szinte minden részterületét, de más szakterületek tudományos és gyakorlati eredményeit is hasznosítja. A földtudományok területei, mint a geofizika, geológia, hidrológia, talajmechanika, általános- és felsőgeodézia, vagyis a földmérés és a térképészet, a mérnökgeodézia és még folytatathatnánk a felsorolást, kiegészítve az informatika alkalmazásaival, mind a nagy egész műszaki tudásbázis részelemei és egyben forrásai a gyakorlati élet számára.

A tudomány eredményei és annak gyakorlati alkalmazásai együtt biztosítják azt a mérnöki tudást, amely képes úgy alkotni, hogy a létrehozott mű a vele szemben támasztott követelményeknek megfeleljen.

A Paksi Atomerőmű az elmúlt 30 évben az egyetlen olyan műszaki alkotás, amely komoly kihívásokat jelentett a mérnökgeodézia szakterületének a létesítés időszakában, de esetenként napjainkban is az üzemeltetés során. Azok a módszerek és technológiák, amiket alkalmaztunk, vagy jelenleg is használunk, az emberi tudás olyan eredményei elsősorban, amelyeket az adott időszak megoldandó műszaki kérdései generáltak az akkori lehetőségek szerint.

A mérnökgeodézia tapasztalatainak összefogása és szükség szerinti bővítése tudja megteremteni az alapot a közeljövő várható építési geodéziai feladatainak támogatására, amely az egységes műszaki követelményeket nem csak lokálisan, de országos szinten is biztosítja a tervezés, létesítés, üzemeltetés és geometriai alapokra épülő műszaki információs adatbázisok feladatainál.

Az erőmű építésének és jelenlegi működésének különböző fázisait jól lehetne szemléltetni egy adott időszakra vonatkozóan az akkor elvégzett mérnökgeodéziai feladatokra jellemző műszaki tartalommal, annak gyakoriságával és a végrehajtáshoz szükséges pénzügyi forrásokkal. Ezek a jellemzők az erőmű zöldmezős beruházásától napjainkig egy-egy jellemző tevékenységi kört és egy folyamatban való részvételt jelentenek, így a beruházási folyamatban a tervezés és létesítés, vagy az üzemeltetés és karbantartás mérnökgeodéziai tevékenységeit mutatják meg.

A mérnökgeodézia az a szakterület, amely a létesítmény összes elemével – műszaki objektumával – úgy kerül kapcsolatba, hogy azok elhelyezésére vonatkozóan legfontosabb feladata a geometriai rend biztosítása a beruházás folyamatában, a tervezéstől indulóan az üzembe helyezésig. Ez nem más, mint a különböző tervezési fázisokba tartozó tervek és a valóság összhangjának biztosítása a mérnökgeodézia eszközeivel. Az eszközök köre az alkalmazott technológiától függően különböző elemeket foglal magában. Így elsősorban azt a szakmai tudást és háttérrel, amely az egész rendszert működteti annak minden szükséges elemével – így a mérési technológia mérőműszerei és tartozékai, a számítás és feldolgozás elméleti és gyakorlati eszközein keresztül egészen a térképezés és adatbázis készítés hardver és szoftver eszközeiig. Ezt egy olyan környezetben kell működtetni, amely lehetőleg harmonikusan illeszkedik más szakterületek által generált igényekhez és általuk is alkalmazott informatikai alapú megoldásokhoz, a tágabb környezetben lévő elvárások és adottságok figyelembe vétele, valamint a folyamatos fejlődés követése mellett.

Valójában az eltelt időszak egyes szakaszaihoz tartozó tevékenységek technológiai megoldásairól általában kijelenthető, hogy mindig a lehetőségek csúcsát választottuk a rendelkezésre álló források optimális felhasználása mellett. Ugyanazok a feltételek azonban még egyszer nem ismétlődnek, hiszen a körülöttünk és velünk együtt zajló fejlődés ezt kizárja. Sok technológia kialakításában úttörő szerepet vállalt az Atomerőmű a műszaki igények és a források által biztosítható lehetőségek alapján. Ezek szinte mind hasznosultak az erőmű telephelyén kívüli alkalmazásukkal is.

A mérnökgeodéziával szemben megfogalmazott elvárások folyamatosan alakulnak a környezetében működő folyamatok igényei szerint. A hangsúlyok jelenleg is eltolódnak, változnak. Jelenleg előtérbe került a műszaki nyilvántartások digitális adatbázisokkal történő támogatása, azok egységes integrált rendszerben való összefogása és kapcsolódása az üzemeltetés és karbantartás tevékenységeihez is. Megnőtt és érezhető módon felértékelődött a térinformatika szerepe, mint interfész adatbázis a műszaki és gazdasági nyilvántartások között. Ez teljesen természetes folyamat, hiszen az integrált vállalati nyilvántartások középpontjában is csak azok a műszaki objektumok állhatnak, amelyre vonatkozóan adatainkat különböző szempontból nyilvántartjuk és elemezzük.

Műszaki nyilvántartási szempontból az Atomerőmű telephelye, mint üzemi terület, méretében egy kisebb városhoz hasonlítható. A telephely nyilvántartása a rajta lévő technológiai és ellátó rendszerek, létesítményeik, és az egy hektárra eső műszaki objektumok darabszáma miatt magyarországi körülményeink között különleges rendszernek számít.

A szakmai rendezvényeken jól eső érzés volt találkozni azokkal a kollégákkal, akikkel az eltelt idő alatt hosszabb-rövidebb ideig együtt dolgoztunk. Különösen nagy élmény volt néhányukat 25 év után ismét viszontlátni, emlékezve arra a fizikailag is megterhelő, de mégis felvillanyozó munkára, amit csak az tud átérezni, aki abban részt vett.

Vannak olyan kollégáink is, akik már nem lehetnek közöttünk, de mindig szívesen gondolunk rájuk az emlékezés során. Így Szerovay Antal, aki a generáltervező ERŐTERV Rt. megbízójaként az 1-4 blokk megvalósításánál szakterületünk egyik legfontosabb támogatója volt. A Geodéziai Terv (GT) kidolgoztatójaként és az akkor alkalmazott mérési technológiák igénylőjeként, olyan fejlesztések valósultak meg támogatásával, amelyek eredményei nem csak az Atomerőműben, hanem széles körben hasznosultak az oktatástól elkezdve a mérési technológiák, adatfeldolgozások, elemzések, adatbázis kezelések, fotogrammetriai, digitális térképezési és térinformatikai fejlesztések során.

A 2000. évben elhatároztuk, hogy megújítjuk a még érvényben lévő és műszaki szabványként kezelt 1-4 blokk Geodéziai Tervét, felváltva egy új, a kor követelményeit és a szakmai háttérrel is figyelembe vevő mérnökgeodéziai minőségbiztosítási tervvel, amely tevékenységeink szabályozott kereteit adja. A terv tíz kötetben, témakörökre bontva, foglalja össze azokat a feladatokat, amelyek az erőműben a mérnökgeodéziai feladatokat jelentik. A terv további részleteinek és kiemelten a térinformatikai adatkapcsolatra vonatkozó integrált

műszaki rendszer (IMR) rendszerszintű adatkapcsolatainak a kidolgozása most van folyamatban.

Az ismeretek rögzítésének és a mérnökgeodéziai szakmai tudás bővítésének a céljából rendeztük meg 2004. május 27-28-án az "Építési geodézia múltja az Atomerőműben és jövője az Európai Unióban", valamint 2005. október 20-21-én az „Építési geodézia a gyakorlatban” című szakmai fórumokat Tengelícen a Paksi Atomerőmű ZRt., a Tolna Megyei Mérnöki Kamara, valamint a Magyar Mérnöki Kamara Geodéziai és Geoinformatika Tagozatával közösen.

Az elhangzott előadások közül néhánynak a szerkesztett változatát tartalmazza a jelen kiadvány, amit ajánlok azoknak a szakembereknek, akik az erőmű beruházásában részt vettek, akik mérnökgeodéziával foglalkoznak és a szakmatörténet iránt is érdeklődnek. Egyben köszönöm a fáradságot az összeállításban részt vállaló szerzőknek, szerkesztőknek és a kiadó MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézetnek.

Paks, 2006-09-23.

Németh András

Paksi Atomerőmű ZRt.

MIG MFO Építész Műszaki Osztály
csoportvezetője

okl. építőmérnök, földmérőmérnök

A MÉRNÖKGEODÉZIA OKTATÁS-KUTATÁS SZEREPE A SZAKEMBER UTÁNPÓTLÁSBAN

Ágfalvi Mihály*



The role of the training and the research in the field of engineering geodesy in surveyors' higher education – The paper gives an overview on the formation of engineering geodesy in the Hungarian higher education. It describes the time, the course and the reasons of the formation and summarises the objectives of this professional field. The paper comprises the task of education and research through the examples of our college's faculty, emphasizing how the curriculum and content of this subject were planned and carried out according to the continuously changing requirements in our profession. The new structure of the Hungarian higher education system is also described and the role of research in the education is featured.

Keywords: engineering geodesy, education, new higher education system, training of technicians

A dolgozat bevezetője a mérnökgeodéziai ismeretanyag megjelenését vázolja röviden a magyar felsőoktatásban. A következő fejezet a szakterület kialakulásának idejét, és okait mutatja meg. Ezután a mérnökgeodézia feladatainak összefoglalója következik. Áttérve az oktatás-kutatás feladataira, a főiskolai kar példáján keresztül mutatja be a tantárgy tartalmának kialakítását, a törzssanyagot, a gyakorlatban előforduló feladatok változását, az ezzel összefüggő tantárgyi tartalom korszerűsítésének folyamatos igényét. Szól az új rendszerű felsőoktatás szerkezetéről, és annak az oktatásra gyakorolt hatásáról, majd röviden a kutatás szerepéről a szakemberképzésben.

Kulcsszavak: mérnökgeodézia, oktatás, új rendszerű felsőoktatás, szakemberképzés

1 Bevezetés

A mérnökgeodézia oktatása 1960 óta szerepel a magyar földmérőmérnök-képzésben. Vincze Vilmos volt az első, aki ezt a tantárgyat bevezette a hazai felsőoktatásba. 1961-ben jelent meg első egyetemi jegyzete, Ipar geodézia I. címmel (Vincze 1961). Vincze Vilmos oktató munkáját 1965 után Székesfehérváron, a kezdeményezésére alakult oktatási intézményben folytatta, ahol a tantárgyat szintén az általa készített jegyzetből (Vincze 1970) tanulták a főiskola (akkori nevén felsőfokú technikum) hallgatói. Az elmúlt negyven évben több jegyzet (Ódor 1967, Karsay 1974, Ágfalvi 1977, Detrekői-Ódor 1984) is gazdagította a téma szakirodalmát. A tantárgy időközben „nagy karriert” futott be, s ma már nem csak a felsőfokú, hanem a középfokú (szak)oktatásnak is szerves részévé vált.

Miért vált ki a geodéziából, s fejlődött önálló szakterületté ez a tevékenység, hiszen a mérnöki alkotások (pl. folyószabályozások, út- és vasútépítések stb.) nagy részének létrehozását minden korban geodéziai munkák kísérték a tervezéstől egészen a kivitelezésekig és gyakran azon túl is?

2 A szakterület kialakulása és feladatai

A mérnökgeodézia része egy nagyobb tudományterületnek, a geodéziának. Kialakulásának idejét, önálló szakterületté fejlődését több irodalmi forrás is (pl. Koren 1968, Gabos-Kiss 1970, Welsch 1976, Hennecke et al. 1994) a múlt század középső évtizedeire datálja, amikor a II. világháború után nagyszabású építkezések indultak meg világ- és Európa-szerte. A feladatok sokfélesége és gyakran újszerűsége, az egyre bonyolultabb és nagyobb méretű építmények, mérnöki szerkezetek, a megnövekedett pontossági követelmények együttesen hatottak oda, hogy a szakterület fejlődésnek indult és rövid idő alatt önállósult.

Hazánkban is a 20. század közepére tehető a geodéziai ilyen célú alkalmazásának erőteljes megjelenése. Miután nálunk kezdetben elsősorban olyan ipartelepek tervezéséhez, építéséhez kötődik e tevékenység, mint például a Dunai Vasmű, a Tiszai Vegyikombinát, a Százhalombattai Kőolajfino-

*NYME GEO, 8000 Székesfehérvár, Pirosalma u. 1-3.

E-mail: am@geo.info.hu

mító, ezért a hazai szakirodalomban mai is sokszor ipari geodéziának nevezik ezt az ipartelepi alkalmazásokat is magába foglaló szakterületét a geodéziának.

A geodézia feladatainak széles körét mindannyian nagyon jól ismerjük, hisz az egyszerű területosztástól egészen a Föld elméleti alakjának a meghatározásáig, a globális helymeghatározástól a mérnöki szerkezetek kitűzéséig lehetne sorolni a példákat. A szakirodalom a feladatokat is sokféle képpen kísérli meghatározni. A különböző definíciók lényegét talán úgy lehetne megragadni, hogy a mérnökgeodéziához soroljuk mindazokat a geodéziai feladatokat, amelyeket a felszíni- és földalatti mérnöki (műszaki) létesítmények telepítése, tervezése, megvalósítása és üzemeltetése során kell megoldanunk. Ezekben a munkákban a geodéták a különböző mérnöki létesítményeket tervező és létrehozó építő-, gépész- stb. mérnökökkel szorosan együtt dolgoznak, mert a megoldás a geodézia módszereivel és eszközeivel eredményesen segíthető. Ez teszi különösen érdekessé és változatossá a szakterület feladatait.

Igaz tehát, hogy a mérnök-geodéta a legtöbb műszaki tervezési, építési-szerelési folyamatban jelen van. Adatokat gyűjt és dolgoz fel, s ezekből különböző (mérnök) geodéziai adatállományokat, térképeket, rajzi munkarészeket szolgáltat numerikus és/vagy grafikus formában a létesítmények tervezésének időszakában. Elvégzi a kivitelezések megindításához szükséges kitűzéseket, szükség esetén geodéziai művezetéssel segíti a szerkezeti kitűzéseket. Mérési módszereivel ellenőrzi (gyakran még a kivitelezés időszakában) a tervezett és kivitelezett állapot összhangját. A kivitelezéseket követően elvégzi az új létesítmény(ek) felmérését, és térképeken (helyszínrajzokon stb.) ábrázolja azokat. Ez a feladat gyakran lényegesen eltér a megszokott geodéziai hagyományoktól, hisz a felmérés-ábrázolás tárgyát nem csak a felszíni, hanem a földalatti létesítmények, az építmények belső terei stb. is jelenthetik. Ugyanakkor lehetnek feladatai a létesítmények üzemelésének időszakában is, hisz sok építmény, szerkezet, különösen a nagy erőhatásoknak kitett objektumok esetében, a folyamatos deformáció- és mozgásvizsgálati mérések nélkülözhetetlenek azok zavartalan működési feltételeinek ellenőrzéséhez.

Ezekből a feladatokból következik, hogy a mérnökgeodéziának kettős „természete” van (Welsch 1976): módszereiben és eljárásaiban „geodéziai”, alkalmazásait tekintve sokoldalú műszaki tevékenység. A mérnöki alkotó tevékenységhez kapcsolódva a mérnökgeodézia ugyanakkor olyan szakterület, amely az alkotásokkal való kölcsönhatásból következően módszereiben, technikájában, állandó fejlődésben van (Koren 1970).

3 A mérnökgeodéziai oktatás-kutatás feladatai

A következőkben a szakterület főiskolai oktatásának feladatait szeretném összefoglalni. Az előbbi részben vázolt szerteágazó feladatok nehezítik a tárgy tartalmának, témaköreinek meghatározását. Ha a feladatokat az oktatás számára rendszerezni akarjuk, akkor többféle rendezési elvet választhatunk. Ha azt hangsúlyozzuk, hogy a mérnöki alkotások rendszerint egy beruházási folyamat során jönnek létre, akkor a beruházások különböző időszakjaihoz illeszkedően mutathatjuk be a mérnökgeodéziai feladatokat. Ha a geodéziai munkák fajtái szerint rendszerezünk, akkor az alapismeretektől (mérőműszerek – mérési módszerek – számítási eljárások) indulva, a vízszintes és magassági alapponthálózatok problémáit (önálló hálózatok, belső terek hálózatai) tárgyalva haladhatunk a feladatok sorában a kitűzésen és a részletes felmérésen, a gyűjtött információk grafikus vagy numerikus ábrázolásán át egészen a mozgás- és deformációvizsgálatokig. Mi az, amit a lehetséges témákból oktatnunk kellene? Mit kell kiválasztanunk, s abban milyen részletességig jussunk el? Számítatlan kérdés merül fel a tantervek összeállításánál, s a gyakorló szakembereket megkérdezve sem egyértelmű a vélemény.

A tantárgy oktatásában a főiskolán az idők folyamán, elődeink munkájának eredményeként alakult ki az a tradíció, az oktatott témáknak az a sora, amely máig is gerincét adja a főiskolai tananyagnak. Ez az előbb vázolt kétféle megközelítésnek egy kombinációja, amely a szakterület oktatását a tantervben kellően megalapozott geodéziai és műszaki-mérnöki ismeretekre építi.

A tantárgy szintetizáló jellegű. A tárgy oktatását megelőző félévekben megtanult ismeretekre támaszkodva, azt felhasználva mutatja be a geodéziai módszerek-műszerek használatát egy, a hagyományos geodéziai munkákétól eltérő környezetben. A nehézségeket egyrészt a környezet gyak-

ran szokatlan volta, másrészt esetenként a szigorú pontossági igények jelentik. A körülmények gyakran eltérő volta miatt még a látszólag azonos feladatok esetében is igen körültekintően kell megtervezni a mérési technológiát, az ahhoz felhasználandó műszerek-eszközök sorát, a pontossági mérőszámokat, hogy a geodéziai munkákkal szemben támasztott kívánalmakat ki lehessen elégíteni. Ezt az oktatásban kellő hangsúllyal meg kell világítani.

Ahogy erre már az előbb utaltam, az oktatásnak van egy tradicionálisan kialakult törzsanyaga. A főbb témákat nagyjából a Mérnökgeodéziai Szabályzat (M1) témakörei adják, azaz az alappont-sűrítéstől kezdve a vízszintes- és magassági kitűzési feladatokon át a mozgásvizsgálatokig terjed az állandónak (törzssanyagnak) tekinthető tananyag. Az alaptémákon túl azonban számos más témát is fel kell dolgozni (válogatott példák a mérnökgeodézia köréből!). Ezek (majdnem) mindig a szakterületen éppen aktuális építési-fejlesztési feladatokhoz kapcsolandók.

Volt egy időszak, amikor a nagy lakótelep-építések okán rossz szakmai zsargonnal a „panelgeodézia” került az oktatás ún. szabadon választott témáinak az előterébe. A múlt század utolsó évtizedeiben kezdődtek és még ma is tartanak a különböző közművek fejlesztésének-építésének munkálatai. Ennek oktatása nélkülözhetetlen a szakemberek felkészítésében. A szakterület fejlődése, az újabb munkalehetőségek megszerzése szempontjából különös lehetőséget teremtett a magas fokon elektronizált mérőműszerek (mérőállomások), és a nagy műveleti sebességű és tárolókapacitású asztali, majd terepi számítógépek kombinációinak megjelenése. Ezekkel az ún. ipari mérőrendszerekkel a mérnök-geodéta egy újabb területre - a gépészetre - terjeszthette ki sikeresen a tevékenységét. Ami a múlt század végén még kérdés volt (Werner 1987), az ma már természetes tevékenysége a szakemberek egy részének. Ilyen és hasonló trendek teszik óhatatlanul szükségessé a tananyag rendszeres korszerűsítését, a hangsúlyok folyamatos áthelyezését.

Napjainkban a szakmai tartalmak változásán túl van egy másik oka is ennek a folyamatos munkának. Ez az oktatás hagyományos struktúrájának az átalakulásából következik. Az elmúlt években indult és 2006 őszéig elhúzódó folyamatban megszűnik a felsőoktatás ún. duális jellege, azaz a főiskolai és egyetemi képzés egymás melletti létezése. Lineárisrá válik a felsőoktatás szerveződése. Ez azt jelenti, hogy a felsőfokú oktatás rendszerébe került hallgatók az első fokozatban alapképzésben vesznek részt. Ez hét féléves oktatási időt jelent (a BME-n nyolc féléves lesz a képzés), melynek befejezéseként alapidipломát (az angolszász oktatási rendszerben használt elnevezéssel BSc fokozatot) lehet szerezni, majd erre épülően további négy féléves tanulással mesterdiplomához (MSc fokozathoz) lehet jutni. Sajátos szintje a felsőfokú oktatásnak a négy féléves ún. akkreditált felsőfokú szakképzés, amely a középiskolából kikerülő, de a felsőoktatásra - finoman fogalmazva - még nem felkészült tanulókat fogadja be. Ebből a képzésből - a négy félévi tanulás után - két kimenet lehetséges. Az egyik lehetőség egy felsőfokú szakképzettséget jelentő bizonyítvánnyal - a mi szakterületünkönél maradvá, mérnökasszisztensként - elhelyezkedni a gyakorlatban. A másik lehetőség, eredményes tanulmányi munkával felkészülve, átlépés a felsőoktatásba.

A felsőoktatás szerkezetének vázolt átalakítása során erősödik egy másik törekvés, nevezetesen a kontaktórák (az iskolában kötelezendően meghallgató órák) számának a csökkentése a hallgatói önálló tanulmányi munka idejének növelése érdekében. Mindezek mellett változatlan célunk megtartani azt, ami szerintünk nagy erénye oktatásunknak, a gyakorlatorientált képzést.

Hogyan lehet mindezt a gyors változást az alapképzésben érvényesíteni, hisz az oktatásnak szüksége lenne bizonyos fokú nyugalomra, a témák érlelésére, az esetleges hibák kijavítására, amivel szemben áll a folyamatos és gyors (gyakran kikényszerített) változás. A tananyag gyors átalakítását, adaptálását a szakmai trendekhez természetesen a környezetünk is sürgeti, ahova a végzett szakemberek kilépnek, s ahol a korszerű ismeretek mellett készségeket és jártasságot is felmutató, azonnal munkába vonható ifjú szakembereket várnak. Az alapképzés mindezt egyszerre nem tudja vállalni, de az alapvető dolgokat mindenesetre megtaníjtuk a hallgatóknak.

Mi az, ami hátráltatja az azonnal hasznosítható tudás átadását-megszerzését? Egyik alapvető oka ennek, hogy a dolgok természeténél fogva a mérnökgeodéziában gyakran előforduló (elsősorban mérési) feladatok oktatási környezetben nehezen reprodukálhatók. Megpróbáljuk modellezni azokat, de még a jó modell sem a valóság. Addig, amíg pl. az alappont-sűrítés, a globális helymeghatározás vagy a részletes felmérés technikája könnyen bemutatható az iskola környéki terepi környezetben is, addig a legtöbb mérnökgeodéziai feladat, amit az iskolai gyakorlatokon megoldunk, nem

életszerű. Hátráltatja az eredményes munkát az is, hogy a tantervek összeállítása során a tantárgyakra fordítható idő egyre szűkül. Az oktatás technikai átrendezése (keresve az új módszereket, pl. a feladatok ún. projekt rendszerű megoldását), csak átmeneti segítséget jelentenek. Ezért reményt keltő az új képzési struktúrában a hetedik félév, amelynek egyik fontos része a szakdolgozat készítése lesz. Bár eddig is törekedtünk arra, hogy a szakdolgozatuk készítése során élő mérnökgeodéziai feladatokat oldjanak meg a hallgatók, azonban ezt túlnyomó részben a szorgalmi időszakban kellett végezniük. Ennek hátrányait, pl. a mulasztást a tanórákon, a lemaradást a napi feladatokban, azt hiszem nem kell részletezni. Ez most feloldódni látszik.

A hetedik félév másik fontos része az üzemi gyakorlat. Az új rendszerű oktatás bevezetésével ez eddigi képzés egyik fő vezérelve, a gyakorlat-orientált képzés elve, megtartható lesz. A kontaktórák számának a csökkenésével együtt jár az évközi gyakorlatok óraszámának bizonyos mértékű csökkenése is. Ezt lehet ellensúlyozni a hetedik félévvel megnövelt oktatási idővel. Az alkalmasan kiválasztott gyakorló helyek, együttműködve az oktatási intézményekkel, segíthetik azt az ellentmondást is feloldani, ami az üzemi gyakorlatok életszerűsége és az oktatási körülmények között, minden igyekezetünk ellenére jelen van.

Mind a tartalmas oktatásban, mind a hallgatók felkészítésében fontos szerep jut a kutatásoknak. A kutatásokat céljaik szerint szokás az alap-, az alkalmazott-, és a diszciplináris (tantárgyfejlesztő) kutatások körébe sorolni. Mi az, ami ebből a felsőoktatás jelenlegi körülményei között művelhető annak érdekében, hogy a szakmai utánpótlás ebben a tekintetben is felkészült legyen? Az alapkutatáshoz a főiskolán nincsenek meg a feltételek. A képzés hátterében csak az alkalmazott és a diszciplináris kutatások vannak jelen. A gyakorlatorientált oktatás igényei szerint elsősorban a technológia fejlesztési témák megoldásában való részvételt szorgalmazzuk. Ehhez a műszer-számítógépes háttér rendelkezésre áll, a környezetünkől a feladatok nagyrészt ilyen témákra érkeznek. A tantárgyfejlesztő kutatások részben az alapképzés, részben a továbbképzés tananyagának korszerűsítését segítik. A rendszeressé vált mérnökgeodéziai (építési geodézia) posztgraduális (szakmérnök) képzésben résztvevők érzékenyen reagálnak a tananyag aktuális, korszerű tartalmára. Itt különösen fontos a szakmai trendek azonnali beépítése a tananyagba. A távoktatás technikáját használó képzés digitális jegyzetekre, segédletekre támaszkodik, ezek könnyen és gyorsan frissíthetők, így a feltételek azonnal kielégíthetők. A szakmérnök-képzésben feldolgozásra kerülő témák fokozatosan átkerülnek az alapképzésbe, ezáltal ebben a képzési formában is megteremthetők a hallgatók ismereteinek állandó frissítése.

4 Összefoglalás

A magyar felsőoktatásban 1960 óta szereplő mérnökgeodézia kialakulása a II. világháború utánra tehető. Feladata a felszíni- és földalatti mérnöki (műszaki) létesítmények telepítéséhez, tervezéséhez, megvalósításához és üzemeltetéséhez szükséges geodéziai munkák elvégzése. A magyar szakemberek a múlt század ötvenes éveitől kezdve művelik intenzíven ezt a szakterületet. A szakember-utánpótlás érdekében folyamatos igény az oktatás tartalmának célszerű kialakítása, aktualizálása. Több tekintetben hatást gyakorol az oktatásra az új rendszerű felsőoktatás szerkezete is, amely újabb feladatokat támaszt a szakember-utánpótlás kiképzésében. Fontos eleme az oktatott tananyag korszerűsítésének az aktívan művelt alkalmazott és tantárgyfejlesztő kutatás is, amely elsősorban az alap (BSc) képzést segítheti, de megalapozhatja a ráépülő mester (MSc) képzést is.

Hivatkozások

- Ágfalvi M (1977): *Mérnökgeodézia I. Jegyzet*, Székesfehérvár.
 Detreköti Á, Ódor K (1984): *Ipari geodézia I-II*. Tankönyvkiadó, Budapest.
 Gabos Gy, Kiss K (1970): A mérnökgeodézia kialakulása és fejlődése Magyarországon a felszabadulás óta. *Geodézia és Kartográfia* 10, 188-191.
 Hennecke et al. (1994): *Handbuch Ingenieurvermessung. Band 1. Grundlagen*. Wichmann Verlag, Heidelberg.
 Karsay F (1974): *Építőipari geodézia*. Tankönyvkiadó, Budapest
 Koren I (1959): Az ipari geodézia rendszertani áttekintése. *Geodézia és Kartográfia* 11, 194-197.
 Koren I (1966): A mérnökgeodézia rendszertani felépítése, viszonya a mérnöki alkotótevékenységhez és az általános geodéziához. *Geodézia és Kartográfia* 20, 249-255.

- Ódor K** (1967): Ipari geodézia I. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Vincze V** (1961): Ipari geodézia I. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Vincze V** (1970): Ipari geodézia I. Jegyzet, Székesfehérvár.
- Welsch W** (1976): Ein Beitrag zur Formierung der Disziplin „Ingenieurgeodäsie“ als Forschungs- und Lehrgebiet. Zeitschrift für Vermessungswesen 3, 97-104.
- Werner H** (1987): Ist auch der Maschinenbau ein Arbeitsfeld des Vermessungsingenieurs? Verm.- Technik, 35 H. 1, 8-9.

A MAGYAR ÉPÍTŐMÉRNÖK BSC-MSC KÉPZÉS ÉS A TERVEZŐI JOGOSULTSÁGOK

Lovas Antal*, Homolya András*



The Hungarian civil engineering BSc-MSc curricula and the designer's entitlements – According to the “Bologna process of Higher Education” the Hungarian civil engineering curricula will be extraordinarily modified. The following three levels of the course will be established: Undergraduate (BSc 240 credits) construction, managing, maintenance, planning (basic); Master (MSc 90 credits) planning (leader) expert, technical development; Doctoral/Postgraduate (PhD 180 credits) research, education, technical development. There are three branches within the Undergraduate Course, such as structures, infrastructures and geoinformatics. The Master Course based on the BSc education consists of three branches also, after which, finishing the MSc Course one can apply for and enter into the doctoral level (PhD). This report presents the process and development of the education system at the Faculty of Civil Engineering, Budapest University of Technology and Economics (BME) in the last 30 years, especially focusing on the BSc level started in September 2005 and on the MSc level.

Keywords: higher education, civil engineering training/education, geoinformatics training/education, BSc/MSc Courses, designer's entitlement

A Bologna folyamat eredményeként jelentősen átalakul a magyarországi építőmérnök képzés. A létrejövő három szint: alapképzés (BSc 240 kredit): kivitelezés, üzemeltetés, fenntartás, alaptervezés; mesterképzés (MSc 90 kredit): vezető-tervezés, szakértés, fejlesztés; doktori képzés (PhD 180 kredit): kutatás, oktatás, fejlesztés. Az alapképzésben a hallgatók szerkezet-, infrastruktúra- és geoinformatika-építőmérnök ágazatokban tanulnak. Ezt követi a mesterképzés a BSc három ágazatának megfelelő három szakon. Mindkét képzéshez szakirányú továbbképzések kapcsolódnak. A doktorandusz képzés esetén a belépés feltétele az MSc fokozat megléte. A dolgozat áttekinti a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) Építőmérnöki Kar oktatásának 30 év alatti fejlődését, különös tekintettel a 2005. szeptemberében indult BSc képzésre és a ráépülő MSc képzésre.

Kulcsszavak: felsőoktatás, építőmérnök képzés, geoinformatikus képzés, BSc-MSc képzés, tervezői jogosultságok

1 Bevezetés

Az építőmérnöki szakma jellegzetessége, hogy alkotásait a társadalom egésze nap, mint nap látja és használja (épületek, utak, vasutak, hidak, vízellátás és csatornázás, vízrendezés és folyószabályozás, hulladék-elhelyezés, stb.). Az építőmérnökök felelőssége talán a legnagyobb a mérnöki tevékenységek közül, kisebb mérnöki hibák is emberéletet követelhetnek, leginkább befolyásolja a természetet és gyakorlatilag minden építőmérnöki alkotás egyedi. Fontos a szerepünk a természeti vagy ember által okozott katasztrófák elhárításában is.

A jelenlegi magyarországi infrastrukturális és lakásépítési igények kielégítése a 10-20 éves prognózisok szerint is stabil építőmérnöki szükségletet jelent. Az építőmérnöki területen már korábban is sok olyan vállalkozás létezett, amelyik több kontinensen működött, ez a tendencia a globalizáció terjedésével csak erősödött. A múltban, a jelenben és várhatóan a jövőben is igény van magasan képzett, nyelve(ke)t beszélő, informatika alkalmazásában jártas, team munkában jól dolgozó kreatív építőmérnökökre.

* BME Építőmérnöki Kar, 1111 Budapest, Műgyetem rkp. 3.
E-mail: alovas@mail.bme.hu, homolya@agt.bme.hu

2 A jelenlegi állapot és annak kialakulása

Magyarországon a felsőfokú képzésbe való bekapcsolódás feltétele az összesen 12 év hosszúságú elemi- és középiskolai képzés elvégzése, érettségi vizsga letétele. A kontinentális képzési rendszernek megfelelően az egyetemi képzés eddig ötéves időtartamú volt.

Az Építőmérnöki Kar a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem leghosszabb múlttal rendelkező egysége. Tantervi reformra az elmúlt 224 évben többször is sor került, a fontosabbak az alábbiak.

A 1960-as évek közepén az oktatás négy szakon szerveződött:

- Közlekedésepítő szak;
- Szerkezetépítő szak;
- Vízépítő szak és
- Földmérőmérnöki szak.

Az egységes építőmérnök képzés 1992-ben került bevezetésre, majd a következő évben a kredit-rendszerű képzés indításakor létrejött a jelenlegi két szak:

- Építőmérnöki és a
- Földmérő és térinformatikai szak.

A kredit rendszerű képzés kezdeti anomáliáit (25 záróvizsga tantárgycsoport, mintegy 150 záróvizsga tantárgy, több mint 120 szabadon választható tantárgy stb.) felülvizsgálva 1998-ban vezettük be – a Mérnöki Kamarával egyetértésben – a szakirányok rendszerét (12 szakirány), majd további korrekcióval az ágazatokat (szerkezetépítő mérnöki-, infrastruktúra és környezetmérnöki ágazat, valamint az önállóan megjelenő földmérő és térinformatikai mérnök szakot) tartalmazó ÉPÍTŐ 2000 tantervet. Ebben az első három szemeszter azonos, a képzési irányról a harmadik félév után kell dönteni. Ez lehetővé teszi a hallgatók számára a szakma és a kari tanszékek jobb megismerését.

A karon a felvétellel jelentkező hallgatók száma és a felvételi ponthatár évről-évre nő, az egyetemen belül a mérnök szakok közül a legmagasabb között van. A lemorzsolódás mind az államilag finanszírozott, mind a költségtérítéses hallgatóknál magas; az átlagos képzési idő meghaladja a hat évet.

Az oktatásfejlesztési munka ezzel nem állt meg, 1998-ban kapcsolódtunk be az European Civil Engineering Education and Training projektbe, elkészítettük az európai építőmérnök képzés helyszíntfelmérését, és elkezdődtek a kétciklusú képzésre való áttérés előmunkálatai (Manoliu és Bugnariu 2001, Manoliu 2003 és 2004). A 240 kredites építőmérnök BSc képzést a Magyar Akkreditációs Bizottság 2003-ban akkreditálta, a képzés 2005-ben indult. Az új tanterv az ÉPÍTŐ 2000 tanterven alapul, megtartva annak struktúráját és a kötelező tantárgyak többségét. Az építőmérnöki kötelező törzsanyag és az ágazati törzsanyag együttes aránya a korábbi 66,7%-ról 76,7%-ra nőtt, az első három szemeszter azonos.

3 Az építőmérnöki alapképzés (BSc)

3.1 A képzési cél

A BSc alapszak képzési célja: felkészült, nyelvtudással rendelkező építőmérnökök képzése, akik alkalmasak építési, fenntartási és üzemeltetési, vállalkozási és szakhatósági feladatok ellátására, a képzésnek megfelelő tervezési és egyszerűbb fejlesztési feladatok önálló megoldására, bonyolultabb tervezési munkákban való közreműködésre. A jogszabályban meghatározott tervezői jogosultság az előírt gyakorlati idő után az elvégzett ágazat és azon belüli szakiránynak megfelelően szerezhető meg.

Alapfokozat birtokában az építőmérnökök képesek az építőmérnöki szakma teljes területén műszaki vezetői tevékenység és építési műszaki ellenőri tevékenység végzésére, építési, fenntartási és üzemeltetési, vállalkozási és szakhatósági feladatok ellátására, településmérnöki és településüzemeltetési munkakör betöltésére az önkormányzatok területén.

Az új 240 kredites „építőmérnök” alapképzés kiváltja a jelenlegi építőmérnöki, földmérő és térinformatikai mérnöki, településmérnöki egyetemi szintű, illetve az építőmérnöki, településmérnöki és részben környezetmérnöki (vízi-környezet, hulladékgazdálkodás, az épített környezet problémái, stb.) főiskolai szintű képzéseket.

A BME Építőmérnöki Kar 2003. őszén adta be szakalapítási és szakindítási kérelmét az építőmérnök alapképzésre, amit a MAB jóváhagyott.

A képzés főbb jellemzői:

- 240 kredit
- 3000 kontakt óra
- 21 nap mérőgyakorlat
- 4 hét technikai gyakorlat
- 1 hónap kivitelezői, fenntartói, üzemeltetői gyakorlat (választható)
- 1 hónap tervezői gyakorlat (választható)

3.2 A közös törzsanyag meghatározása

A 2003-2004 években a EUCEET (European Civil Engineering and Training) SP1 csoportjában felmérés és ajánlat készült a kötelező építőmérnöki törzsanyagra vonatkozóan. A tantárgycsoportok meghatározásakor több esetben elég jelentős nézetkülönbség volt a résztvevők között. A felmérés kiértékelésekor a kiugró értékek matematikailag kiszűrésre kerültek és egy jó átlagot jelentenek.

A hazai helyzetet tekintve a törzsanyag kimérete (136 kredit) gyakorlatilag megegyezik a javaslattal. Jelentősen több geodéziai, geotechnikai, valamint gazdasági és menedzsment ismereteket oktunk, mint a EUCEET felméréséből készült javaslat (Farkas és Lovas 2004).

3.3 A képzésben szereplő tantárgyak csoportosítása

Az építőmérnöki képzés EUCEET szerinti felosztását alkalmazva (Manoliu és Bugnariu 2001) a tantárgyakat az alábbi nyolc csoportba soroltuk:

- Alaptudományok: ~10% (mindhárom ágazaton azonosan matematika, építőmérnöki ábrázolás, építőmérnöki fizika, építőipari kémia).
- Mérnöki tudományok: ~9% (mindhárom ágazaton azonosan statika, szilárdságtan, dinamika, informatika).
- Építőmérnöki törzsanyag: ~27% (mindhárom ágazaton azonosan: pl. geodézia, térinformatika alapjai, geológia, hidraulika, hidrológia, vízépités és vízgazdálkodás, építőanyagok, közművek, talajmechanika, földművek, alapozás, utak, vasúti pálya, méretezés alapjai, fa-, falazott-, kő-, acél- és vasbetonszerkezetek, magasépítés).
- Építőmérnöki specializáció: ~27% (ágazatonként változó kötelező tantárgyak és a szakirányos tantárgyak 20 kreditese blokkja).
- Gazdaságtan, menedzsment: ~9 % (mérnöki közgazdaságtan, mérnöki létesítmények kivitelezése, építési és vállalkozási jog, vállalkozás, számvitel, adó, stb., település-régiófejlesztés, munkavédelem, továbbá ágazatonként további 2-3 ágazat specifikus tantárgy. Az építőmérnöki tárgyakba beépítve is találhatók gazdasági ismeretek, 4-6 % mértékben);
- Humán, nyelv, testnevelés (kredit érték nélkül, így a 100% felett), továbbá szabadon választható tantárgyak: ~6%;
- Mérőgyakorlatok: ~3 % (geodézia és ágazatonként speciális mérőgyakorlatok; ide sorolható – kredit érték nélkül – a négyhetes „technikusi gyakorlat” is);
- Diplomamunka: 10%.

A fentiek szerint kialakult képzés arányai az alábbiakban foglalhatók össze:

- | | | |
|-------------------------|-----|--------|
| – Közös törzsanyag: | 131 | kredit |
| – Ágazati törzsanyag: | 53 | kredit |
| – Szakirány: | 20 | kredit |
| – Szabadon választható: | 12 | kredit |

– Diplomamunka: 24 kredit

3.4 Differenciált szakmai törzsanyag, szakirányok

A differenciált szakmai törzsanyag látszólagos nagyobb súlya annak a következménye, hogy a korábbi szakok számának csökkentése csak az ágazatok bevezetésével volt elérhető és ágazatonként 53 kreditet képvisel az ágazati törzsanyag. Ez a speciális blokk szükséges ahhoz, hogy a hallgatók szakképzettséget is kapjanak. Minden ágazatban egy-egy szakirányt kell kötelezően választani 20 kredit értékben. A szakirányok teljesítése szakmai kompetenciát is jelent, amit a Magyar Mérnöki Kamara a tervezői jogosultság megadásánál figyelembe vesz. A szakirányhoz szorosan kapcsolódik a 24 kredit értékű diplomamunka készítése.

Szerkezet-építőmérnök ágazat:

Kötelező: Anyagismeretek, Tartószerkezetek, Acél- és Vasbetonszerkezetek, Hídépítés, Földalatti műtárgyak, Épületszerkezetek, Épületfizika, Lakóépületek tervezése.

Szakirányok: Magasépítési, Híd és műtárgy, Geotechnika, Építési menedzsment.

Infrastruktúra-építőmérnök ágazat:

Kötelező: Közlekedési létesítmények, Közműhálózatok, Vízmérnöki ismeretek, Víz-környezetmérnöki ismeretek, Geoinformatika

Szakirányok: Közlekedési létesítmények, Vízmérnöki, Települési, Környezeti

Geoinformatika-építőmérnök ágazat:

Kötelező: Földmérőmérnöki és felsőgeodéziai alapok, Kiegyenlítő számítások, Geoinformatika, Fotogrammetria, Távérzékelés, Topográfia, Kartográfia

Szakirányok: Építőipari geodézia, Térinformatika

3.5 Szabadon választható tantárgyak

A BME sajátossága, hogy a hallgatók a képzés befejezéséhez szükséges minimálisan szükséges 240 kredithez képest további 20%-ot térítésmentesen vehetnek fel. Ezt a kontingenst használhatják a sikertelenül felvett tantárgyak ismételt felvételére, illetve további szakirány teljesítésére.

Maximum 12 kreditpont értékben választható olyan tantárgy, amely nem tartozik sem a kötelező, sem a kötelezően választható csoportok tantárgyai közé. A hallgatók számára ezek a tárgyak főként azok lehetnek, amelyeket nem saját ágazat törzstárgyai közül választanak, vagy azért vesznek fel, hogy a kötelező szakirányokon kívül további szakirányok kötelezettségeit is teljesíthessék. Választhatnak a tanszékek által meghirdetett szabadon választható tantárgyak közül (pl. GPS az építőmérnöki gyakorlatban, vagy A geodézia története), de lehetnek ezek az Egyetem más karain indított tárgyak, vagy más egyetemek tantárgyai is (pl. akár Anatómia vagy Zeneelmélet is).

3.6 Az előtanulmányi követelmények rendszere

A mintatanterv (BME Bulletin 2005-2006) tartalmazza azt is, hogy melyik tantárgy felvételének melyik másik tantárgy előzetes teljesítése a feltétele. A kötelező tantárgyak a mintatanterv időtáblázatába a 8 szemeszteres eszmei tanulmányi idő, valamint az előtanulmányi rendszer figyelembe vételével kerültek bele.

3.7 A diplomamunka

A diplomamunka 24 kreditpont értékű tantárgy teljesítése, amelynek során a hallgató – konzulensek segítségével – a korábban tanultak alapján komplex tervezési feladatot hajt végre. A diplomamunka védésére a záróvizsgán kerül sor. Két szakértő a záróvizsga előtt áttanulmányozza és bírálja az elké-

szített diplomamunkát. A záróvizsgára jelentkező hallgató a bírálatot a záróvizsga előtt legalább egy héttel megkapja, és annak alapján készül fel a záróvizsgára, diplomamunkájának megvédésére.

A védés két részből áll:

- A mérnökjelölt 15-20 perces előadásban ismerteti a munka tartalmát, megindokolja a választott megoldást (konceptiót), bemutatja a tervezés során felmerült érdekes problémákat, majd válaszol az írásos bírálatban és a záróvizsga bizottság tagjai által feltett kérdésekre.
- A második részben a jelölt záróvizsgát tesz a szakirányhoz tartozó tantárgyak alapján összeállított kérdésekből. Az előzetesen nyilvánosságra hozott kérdések célja a jelölt szintetizált tudásának lemérése. A záróvizsga bizottság elsősorban arról dönt, hogy a mérnök-jelölt tudása elégséges-e ahhoz, hogy megfeleljen a szakma követelményeinek.

3.8 A BME javaslata a tervezői jogosultság kredit követelményeire

A Magyar Mérnöki Kamara a tervezői jogosultságok kiadását a végzettségen kívül képzettséghez is köti, amelyet kreditekben határoz meg. Ezen kívül legalább két év beosztott tervezői gyakorlat szükséges az adott szakterületen. Ennek 3 évre való emelése a BSc alapidiploma után indokolható. Az öt fő szakterület: tartószerkezetek, geotechnika, közlekedési létesítmények, vízi létesítmények és geodézia. A javasolt képzettségi követelmények a következők:

Építőmérnöki alapismeretek: 60 kredit

Geodézia I.-II.; Térinformatika alapjai; Geológia; Építőanyagok; Talajmechanika; Földművek; Alapozás; Méretezés alapjai; Acélszerkezetek I.; Vasbetonszerkezetek I.; Fa-, falazott és kőszerkezetek; Magasépítéstan; Utak; Vasutak; Környezetmérnöki alapok; Közművek; Hidraulika I.; Hidrológia I.; Vízépítés, vízgazdálkodás; Üzleti jog; Település- és régiófejlesztés; Közigazgatás és ingatlan nyilvántartás;

Differenciált szakmai ismeretek: 30 kredit

Szerkezet-építőmérnök (Tartószerkezetek, geotechnika tervezés):

Építőanyagok II.; Kőzetmechanika; Tartók statikája; Végeselemes modellezés; Acélszerkezetek II.; Vasbetonszerkezetek II.; Hídépítés; Szerkezet-technológia; Földalatti műtárgyak, mélyalapozás; Épületszerkezetek és épületfizika I.-II.; Lakóépületek tervezése; Szerkezetek és anyagvizsgáló labor; Szerkezetek geodéziája; Szerkezet kivitelezés-tervezés; Szerkezet kivitelezés-vállalkozás;

Infrastruktúra-építőmérnök (Közlekedési és vízi létesítmények tervezése):

Infrastruktúra geoinformatika; Infrastruktúra műtárgyak; Közlekedési létesítmények pályaszerkezetei; Közlekedési hálózatok; Forgalomtechnika; Regionális közmű rendszerek; Víz- és környezetkémia, hidrobiológia; Városi környezetvédelem; Vízminőség szabályozás; Hidraulika II.; Hidrológia II.; Vízgazdálkodás; Infrastruktúra tervezés; Útvasút mérőgyakorlat; Vízmérnöki mérőgyakorlat; Infrastruktúra létesítmények kivitelezése; Víz- és környezeti jog;

Geoinformatika-építőmérnök (Geodéziai tervezés):

Geoinformatika; Vetülettan; Nagyméretarányú digitális térképezés; Geofizikai alapismeretek; Geodéziai alaphálózatok; Felsőgeodézia; Globális helymeghatározás; Mérnökgeodézia; Kiegyenlítő számítások; Fotogrammetria; Távérzékelés; Topográfia, Kartográfia; Ingatlan nyilvántartás; Alaphálózatok mérőgyakorlat; Térinformatika mérőgyakorlat; Mérnöki létesítmények geodéziai kivitelezése; Ingatlan értébecslés, Földügyi jog;

Szakirányos tárgyak: 20 kredit

Tartószerkezetek tervezése:

Magasépítési acélszerkezetek; Magasépítési vasbetonszerkezetek; Mérnöki faserkezetek; Szerkezetek megerősítése; Magasépítési öszvérszerkezetek; Ipari és mezőgazdasági épületek tervezése; Acél hidak; Vasbeton hidak; Öszvérszerkezetű hidak; Mélyépítési műtárgyak; Fahidak;

Geotechnikai tervezés:

Geotechnika; Alagútépítés; Mélyépítési vasbetonszerkezetek; Szigetelés és betontechnológia; Mélyépítési mérnökgeológia;
 Közlekedési létesítmények tervezése: Úttervezés; Vasúttervezés; Útépítés és fenntartás; Vasútépítés és fenntartás; Közlekedési földművek; Települési közlekedés; Településtervezési gyakorlat; Településüzemeltetés;

Vízi létesítmények tervezése:

Vízkárelhárítás; Vízhasznosítás; Vízyűjtőgazdálkodás; Hidroinformatika; Vízmérnöki projektek; Víz- és szennyvíztisztítás; Közműhálózatok tervezése; Településtervezési gyakorlat; Településüzemeltetés;

Geodéziai tervezés:

Építésirányítás, mozgásvizsgálatok; Mérnöki létesítmények geodéziája; Földalatti mérések; Közműnyilvántartás; Minőségbiztosítás geodéziai módszerei; Mérnökfotogrammetria; Térinformatikai elemzések; Térinformatikai adatrendszerek; Topográfiai adatbázisok; Környezet és távérzékelés; Digitális képanalízis; Kataszteri informatika;

Diplomamunka: 24 kredit

Ha a diplomamunka nem szakirányú tervezési tárgyú, akkor további 12 kredit differenciált szakmai, ill. szakirányos tárgyat kell teljesíteni.

3.9 A geodéziai szakterület tervezői jogosultságának sajátosságai

A geodéziai (földmérési) szakterületnek 2002 előtt nem volt szabályozva az önálló tervezői jogosultsága, csak építési geodéziai szakértői engedély létezett.

Sajátossága viszont ennek a szakmának az „Ingatlanrendezői földmérői minősítés”, amit már több mint 15 éve ad ki a Földművelési és Vidékfejlesztési Minisztérium (FVM régebben FM). Ez a jogosultság szükséges ahhoz, hogy egy mérnök az állami alapadatokban változást eredményező munkát végezhesen. (21/1997. (III. 12.) FM-HM együttes rendelet)

A 34/2002. (IV. 27.) FVM rendelet újra szabályozta a tervezői és szakértői jogosultságokat, és meghatározta többek között a geodéziai vezető tervező és geodéziai tervező fogalmát. Ennek kiadását a Magyar Mérnöki Kamara hatáskörébe utalta.

A földmérési szakterület jogosultságait 2003-ban Holéczy Ernő, a Magyar Mérnöki Kamara (MMK) Geodéziai és Geoinformatikai Tagozatának jelenlegi elnöke foglalta össze a tagozat honlapján. (www.agt.bme.hu/kamara). Ennek kivonatát az 1. táblázat tartalmazza. Jelenleg ez a szabályozás érvényes.

Az idézet honlapon további információkat is találhatunk a tagozat működéséről, valamint állásfoglalást a szakterületet érintő egyes kérdésekről.

A tervezési jogosultságok módosuló törvényi szabályozása és a BSc-MSc képzés elindítása nem hagyja érintetlenül a geodéziai szakterületet sem.

Várhatóan változik a jogosultságok elnevezése. Így a geodéziai tervező (GD) lesz a földmérési szakterületen teljes körű jogosultság, a korlátozott jogkörű geodéziai tervező (GD-k) a régi GD2 szerepét veszi át. A vezető tervező (GD-v) elismerő címként adható. További döntést igényel az ingatlanrendező földmérői minősítés és geodéziai tervezői jogosultság kapcsolata. A jelenlegi elkötelezettség szerint az építési geodéziai szakértés (SZGD) MSc végzettséghez kötődik.

Az új szabályozás a tervek szerint 2008-ban lép életbe. Ez a bevezetési időpont megfelelőnek tűnik, hiszen az első BSc végzettségű építőmérnök – legkorábban – 2009-ben végezhet. Kedvező lenne viszont, ha a szabályozás már előbb nyilvánosságra kerülne. Mint láttuk, a jogosultságok kreditpontokhoz, így tantárgyakhoz kötődnek. Azok a hallgatók, akik jelenleg a BSc képzés szerint tanulnak, hamarosan döntési helyzetbe kerülnek: milyen ágazatot válasszanak, és ezzel együtt milyen tantárgyakat vegyenek fel.

1. táblázat A földmérési szakterület jogosultságai

jogosultság megnevezése	Végezhető földmérési feladatok	Kiadja	A megszerzés feltételei
Ingtatlanrendező földmérői minősítés	Az állami alapadatokban változást eredményező munkák önálló végzése, illetve minőségtanúsítása	Kiadja az FVM Ingatlanrendezői Földmérői Minősítő Bizottsága (A nyilvántartást a FÖMI vezeti)	Szakirányú felsőfokú végzettség, legalább öt éves földmérői gyakorlat, referencia munkák igazolása.
GD1 geodéziai vezető tervező	Földmérési szakterületen teljes körű	Az állandó lakóhely szerinti területi (megiei) mérnöki kamara. (a kötelező országos tagozati véleményezést követően)	Ingtatlanrendező földmérői minősítés, valamint szakirányú egyetemi végzettség+6 év gyakorlat; illetve részlegesen szakirányú egyetemi végzettség, vagy szakirányú főiskolai végzettség+2 év továbbképzés +10 év gyakorlat;
GD1É geodéziai vezető tervező	Földmérési szakterületen teljes körű, kivéve az állami alapadatokban változást eredményező munkák	Az állandó lakóhely szerinti területi (megiei) mérnöki kamara. (a kötelező országos tagozati véleményezést követően)	Szakirányú egyetemi végzettség+6 év gyakorlat; illetve részlegesen szakirányú egyetemi végzettség, vagy szakirányú főiskolai végzettség+2 év továbbképzés +10 év gyakorlat;
GD2 geodéziai tervező	Tervezési térkép 1 hektárig, vonalas létesítmények esetében 1 km-ig, megvalósulási térképek készítése 2000 m ² -ig, vonalas létesítmény esetében 1 km-ig; Geodéziai művezetés 1000 m ² alapterületig, illetve 30 m magasságig	Az állandó lakóhely szerinti területi (megiei) mérnöki kamara.(helyi szakmai csoport véleményezése szükséges)	Szakirányú egyetemi végzettség+2 év gyakorlat; illetve részlegesen szakirányú egyetemi végzettség, vagy szakirányú főiskolai végzettség+5 év gyakorlat
SZGD építési geodéziai szakértő	Az épített környezet tervezésével, kivitelezésével, fenntartásával, használatával, működtetésével, megőrzésével kapcsolatos, megbízás alapján végzett geodéziai műszaki szakértői tevékenység.	Az állandó lakóhely szerinti területi (megiei) mérnöki kamara. (tagozati véleményezés kötelező)	Szakirányú egyetemi végzettség+8 év gyakorlat; illetve szakirányú főiskolai végzettség+10 év gyakorlat

4 Az építőmérnöki mesterképzés (MSc)

4.1 A képzési cél

Az MSc szakok képzési célja: „mesterdiplomás” építőmérnökök kibocsátása, akik a BSc képzésben leírt célokon túl – bizonyos gyakorlat után – képesek az építőmérnöki létesítményekkel kapcsolatos műszaki fejlesztési, kutatási feladatok önálló ellátására, továbbá bonyolult és speciális mérnöki létesítmények tervezésére és szakértésére. A vezetőtervezői, szakértői jogosultság az előírt gyakorlati idő után az elvégzett szak és azon belüli szakiránynak megfelelően szerezhető meg. A mesterdiploma megszerzése feljogosít a doktori képzésben való részvételre.

Az építőmérnök MSc képzések kialakítását már 2003-ban megkezdjük. 2005. év elején a Konferenciák Bologna Bizottságának társelnökei, Dr. Molnár Károly és Dr. Sima Dezső megbízást adtak Dr. Lovas Antalnak az építőmérnöki területhez tartozó mester szakok kereteit kidolgozó Építőmér-

női Albizottság vezetésére és a képesítési követelmények kidolgozására. Az albizottság munkájában részt vettek és a kidolgozott anyaggal egyetértettek a társintézmények, a Magyar Mérnöki Kamara, a minisztériumok és a cégek képviselői, az Építési Vállalkozók Országos Szövetségének, valamint az Építési és Építésügyi Szakmai Testület vezetői. A nyilatkozatokat a MAB anyaghoz csatoltuk.

4.2 Szakok és szakirányok

Az alapképzés ágazatainak megfelelően a mesterképzés három szakon folytatódhat: szerkezet-építőmérnök, infrastruktúra-építőmérnök, földmérő és térinformatikai mérnök.

A képzés arányai:

Természettudományos ismeretek:	17 kredit
Gazdasági és humán ismeretek:	8 kredit
Szakmai törzsanyag:	8 kredit
Szakirány szakmai törzsanyag:	12 kredit
Differenciált szakmai törzsanyag:	20 kredit
Szabadon választható:	5 kredit
Diplomamunka:	20 kredit

Szerkezet-építőmérnöki szak szakirányai:

Magasépítő és rekonstrukció
Szerkezetinformatika
Tartószerkezetek- és geotechnika-mérnöki
Mérnökgeológia
Ingatlanmérnöki
Mérnökgeológia

Infrastruktúra-építőmérnöki szak szakirányai:

Út- és vasútmérnöki
Települési mérnöki
Víz- és vízi környezetmérnöki

Földmérő és térinformatikai szak szakirányai:

Földmérőmérnöki
Térinformatikai

A Magyar Akkreditációs Bizottság 2005. decemberében akkreditálta az MSc szakokat és szakirányokat.

4.3 A földmérő és térinformatikai mérnök mesterszak tantárgyai

Természettudományos ismeretek

Matematika MSc; Numerikus módszerek; Adatbázis rendszerek; Informatika MSc; Geofizika;

Gazdasági és humán ismeretek

EU ismeretek; Angol nyelvi kommunikáció; Mérnök etika; Geoinformatika menedzsment;

Szakmai törzsanyag

Térbeli adatgyűjtés; Térinformatika MSc;

Földmérőmérnöki szakirány szakmai törzsanyag

GNSS elmélete és alkalmazása; Deformációmérések és -analízis; Intelligens közlekedési rendszerek és járműnavigáció;

Földmérőmérnöki szakirány differenciált szakmai törzsanyag

Fizikai geodézia és gravimetria; Geodéziai hálózatok és vetületek; Dinamikai szatellitageodézia; Koszmikus geodézia; Építésügyi eljárások és geodéziai szakértés; Automatikus felmérő rendszerek és mérésfeldolgozás; Komplex geodéziai mérőgyakorlat; LIS rendszerek; Alagút- és bányamérés; Műszaki földrendezés;

Térinformatika-mérnöki szakirány szakmai törzsanyag

Topográfia; Térinformatikai rendszerek; Intelligens közlekedési rendszerek és járműnavigáció;

Térinformatika-mérnöki szakirány differenciált szakmai törzsanyag

Komplex térinformatikai gyakorlat; Fotogrammetria MSc; Térinformatikai adatbázisok; Térinformatika modellezés; Integrált mérőrendszerek; Üzleti térinformatika; Környezeti térinformatikai rendszerek; IT eszközök; Számítógépes grafika; Kartográfia;

Szabadon választható

Az Építőmérnöki Kar, a BME többi kara, vagy más egyetemek által meghirdetett tantárgyak közül választható.

*Diplomamunka***5. ÖSSZEGZÉS**

A BME Építőmérnöki Karán a Bolognai folyamatnak megfelelő képzési rendszer kialakítása megtörtént. Sajátossága a 240 kredités BSc és a 90 kredités MSc program. A program kialakításában részt vettek a társintézmények, a Magyar Mérnöki Kamara, a minisztériumok és cégek képviselői, az Építési Vállalkozók Országos Szövetségének, valamint az Építési és Építésügyi Szakmai Testület elnökségének delegáltjai.

Az alapképzés 2005. év szeptemberében elindult. (Tájékoztató a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen a 2005/2006 tanévben induló képzésekről. Bulletin 2005-2006. Budapest, ISSN: 1588-8843)

Hivatkozások

- Farkas Gy, Lovas A** (2004): Hungarian BSc-MSc Program after Joining the EU. Proc. of the 5th AECEF Symposium on Civil Engineering in the Next Decade (ASCEND) Strategies for Education, Research, Innovation and Practice, Helsinki, Finland, 81-88.
- Manoliu I, Bugnariu T** (ed.) (2001): Inquiries into European Higher Education in Civil Engineering. First EUCET Volume, European Civil Engineering Education and Training Socrates-Erasmus Thematic Network Project, ISBN 973-85112-1-6.
- Manoliu I** (ed.) (2003): Inquiries into European Higher Education in Civil Engineering. Third EUCET Volume, European Civil Engineering Education and Training Socrates-Erasmus Thematic Network Project, ISBN 973-85112-6-7.
- Manoliu I** (ed.) (2004): Civil Engineering Education in Europe – 2004. Fourth EUCET Volume, European Civil Engineering Education and Training Socrates-Erasmus Thematic Network Project, ISBN 973-85112-7-5.

A BME GEODÉZIA INTÉZET TEVÉKENYSÉGE A PAKSI ATOMERŐMŰBEN

Kiss Antal*



The activity of Geodetic Institute of Budapest University of Technology and Economics in Nuclear Power Station Paks – The role of the Geodetic Institute (Departments of Surveying, Geodesy and Photogrammetry) in construction, operation and lifetime expansion of Nuclear Power Station Paks is summarised. Planning and elaborating of Quality Management System with EU-conformity is also described.

Keywords: BME Geodetic Institute, Nuclear Power Station Paks, quality management

A BME Geodéziai Intézet (Általános és Felsőgeodézia, Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék) mérnökgeodéziai feladatait foglaltuk össze a Paksi Atomerőmű építésénél, üzemeltetésénél és az üzemidő meghosszabbításánál. A mérnökgeodéziai feladatok EU-konform minőségirányítási rendszernek tervezését és kialakítását is bemutatjuk.

Kulcsszavak: BME Geodéziai Intézet, Paksi Atomerőmű, minőségbiztosítás

1 Bevezetés

A BME Geodéziai Intézet szervezetéhez az Általános Geodézia Tanszék, a Felsőgeodézia Tanszék és a Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék tartozott. E tanszékek szakembereinek többsége folyamatosan részt vett a Paksi Atomerőművel kapcsolatos feladatok megoldásában. E tevékenységeket jelenleg az Általános- és Felsőgeodézia Tanszék koordinálja. A Tanszék tevékenységét Kiss et al. (2002) ismerteti.

A BME fenti intézményei szakmai színvonalát jellemzi, hogy a mérnökgeodéziával foglalkozó oktatók többsége GD-1 vezető tervezői címmel, a vezető oktatók tudományos minősítéssel rendelkeznek, és a tanárok közül három akadémikus. Az utóbbi időben a fenti tanszékcsoport adta a BME rektorait.

E tanszékek Magyarország több jelentős beruházásának (mint pl.: irodaházak, árvízvédelmi töltések, városrészek, hidak, gyárak, erőművek létesítése) mérnökgeodéziai munkáiban vettek részt. E teendők közül a Paksi Atomerőművel kapcsolatos feladatok szerepe kiemelkedő. E tevékenységeket az Intézet, illetve a tanszékek vezetői mindig támogatták. Az Atomerőmű építés során Dr. Sárközy Ferenc intézetvezetőként látta el a témavezetői teendőket.

A vezetői politika a Paksi Atomerőmű esetén mindig fontosnak tartotta a megbízókkal, a tervezőkkel és a társ geodéziai intézményekkel való folyamatos együttműködést és egymás munkájának a segítségét. (ERŐTERV, ERBE, PAV, PA Rt., FTV, PGTV)

A Paksi Atomerőművel kapcsolatos feladatokat történelmi sorrendben ismertetjük.

2 Az Atomerőmű építés előkészítési időszakában végzett feladatok 1967-1975-ig

Az Általános Geodézia tanszék 1967-ben kapott megbízást az Atomerőmű területén az építés előkészítés geodéziai munkáinak elvégzésére. Az ipartelep helyi rendszerű főalapponthálózatát létesítette és a hűtővízcsatornák építésénél tereprendezési kitűzési munkákat végzett.

Az építési munka szüneteltetése után a Tanszék által létesített alapponthálózat szolgált az ipartelep főalapponthálózatául, amelyből kiindulva történt az ipartelepi kitűzési hálózat kitűzése és meghatározása.

* BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék, 1111 Budapest, Műgyetem rkp. 3.
E-mail: kiss@agt.bme.hu

3 Az Atomerőmű építése és beüzemelése alatti feladatok az 1975–1987 közötti időszakban

Az Atomerőmű építése és beüzemelése alatt az 1975-1987 közötti időszakban jelentkezett a legnagyobb igény a BME szakértői iránt. Az Atomerőmű 1. számú épülete építésének kezdetétől, 1975-től a magassági mérésekben vettünk részt.

Az Általános Geodézia Tanszékét magába foglaló Geodéziai Intézet 1979-ben kapott megbízást a Paksi Atomerőmű építése, szerelése közbeni méretellenőrzési, méretpontosság biztosítási feladatok ellátására (szuperkontroll végzésére).

3.1 Ellenőrző, vizsgálati és különleges igényű építésirányítási mérések és szakértések (szuperkontroll)

A Geodéziai Intézetet, mint külső „független harmadik” felet bízták meg az ellenőrzési munkák végzésével. Így elsődlegesen a kritikus geometriai paramétereket kellett minősítenie. Például:

- az ipartelepi alapponthálózatok koordinátáit,
- a technológiai egységeket, pl. a reaktor főtengelyeit,
- a reaktor beállítását meghatározó osztósík helyzetét,
- a darupályák fesztáv és sinkígyózás értékeit,
- az 1. akna, a TV akna, a pihentető medence palástját.

Az Atomerőmű rendkívüli követelményei azonban megkívánták, hogy Intézetünk a méretpontosságot befolyásoló összes tényezővel foglalkozzon. Ezért a Geodéziai Intézet feladatkörébe az is beletartozott, hogy speciális geodéziai feladatok megoldásában vegyen részt, vizsgálati, tervezési és műszaki fejlesztési feladatokat végezzen.

A műszerek, mérőeszközök vizsgálata, kalibrálása is a szuperkontroll feladatkörébe tartozott. A hossz mérő eszközök helyszíni kalibrálásához összehasonlító alapvonalak létesítésére és ezek folyamatos ellenőrzésére került sor.

3.2 Vizsgálati mérések

A vizsgálati mérések célja különböző volt. Többségében az építési pontosságot befolyásoló szerkezeti mozgások, torzulások és ezeket kiváltó környezeti és más hatások kimutatása volt a cél. Egyedi esetekben az épületszerkezetek mozgásait, torzulásait meghatározott hatásra, meghatározott célból kellett megvizsgálni.

A továbbiakban az Intézetnek e témakörbe eső tevékenységére adunk példákat.

Épületekben lévő technológiai alapponthálózatok mozgás (stabilitás) vizsgálata

E vizsgálatok elsődleges célja az alappontokra vonatkozó aktuális koordináták biztosítása. Járulékos adatként ebben az esetben a vizsgálati eredmények értelmezése révén információt lehetett nyerni az egyes szerkezeti elemek mozgására (relatív emelkedésére, süllyedésére és billenésére), torzulására, deformálódására. Az emelkedések és süllyedések abszolút értékeinek meghatározása az épületen kívüli alapponthálózathoz viszonyított vizsgálattal történt. A mozgás és deformációvizsgálatok tapasztalataival Kiss (1999) értekezése foglalkozik.

A IV. reaktor szereléséhez végzett mozgás- és torzulásvizsgálat, prognosztizálás

A reaktorok szerelésének, üzemelésének engedélyezéséhez szükséges mozgás-, torzulás vizsgálat és előrejelzés megrendelésére a IV. reaktor szerelése közben merült fel az igény. A Geodéziai Intézet e felkérésre – az épületekben lévő alapponthálózatok különböző intézmények által végzett magassági értelmű mozgásvizsgálatai eredményeinek összehasonlító elemzése alapján – gyors előzetes, majd féléves vizsgálat alapján részletes szakértést adott. A IV-es reaktor vizsgálatának tapasztalatait és eredményeit Kiss (1990, 1999) ismerteti.

E szakvélemény figyelembe vételével került kiépítésre a IV. blokk 30 éves mozgás-diagnosztizálásához szükséges rendszer, amelynél a vizsgálati méréseket a reaktor beüzemelése időszakában a Geodéziai Intézet végezte.

A lokalizációs tornyok falának túlnyomás hatására fellépő torzulásvizsgálata

Az I-IV. reaktorblokkok lokalizációs tornyainál a beüzemelést megelőző, integrális tömörségi próbához létesített $1,5 \times 10^5$ Pa túlnyomás hatására fellépő deformációk vizsgálatát kellett elvégezni. A lokalizációs tornyok vizsgált falméretei: 42 m x 50 m x 1,5 m. Ilyen természetű korábbi vizsgálatról nem volt információnk, így a vizsgálat tervezéséhez nem állt rendelkezésre viszonyító adat. Várható maximális falpont-elmozdulásra a statikus tervezővel folytatott konzultáció alapján 5-10 mm közötti értéktartományt lehetett figyelembe venni.

Az igen kismérvű falpont elmozdulások kimutatása egyedileg tervezett mérési és adatfeldolgozási technológiát igényelt, melynél a környezeti és egyéb befolyásoló tényezők hatását mind a mérési eredményekre, mind a mérés tárgyára vonatkozóan figyelembe kellett venni. A vizsgálat módszerei és eredményei a szomszédos országok atomerőmű építésénél is felhasználásra kerültek. E vizsgálatok részletes ismertetésével Kiss (1984 és 1999) publikációi, illetve értekezése foglalkozik.

3.3 Tervezési és műszaki fejlesztési feladatok

Az Atomerőmű építés rendkívül szervezett, különleges pontossági igényű és magas színvonalon végzett munkát igényel. Ennek végrehajtásához olyan technológiai tervet kellett készíteni, mely figyelembe veszi az atomerőmű méretekkel kapcsolatos pontossági igényeit, és az építés organizációját. Továbbá e tervcsomagnak foglalkozni kellett a minőségbiztosítási, minőségirányítási kérdésekkel is.

Rendkívüli feladatot jelentett, hogy az Atomerőmű építésének sajátos követelményei, pontossági igényei majdnem minden területen műszaki fejlesztést igényeltek. Így széleskörű vizsgálatokra, és kutatómunkára volt szükség. E fejlesztéshez nem állt rendelkezésre átfogó szakirodalom.

A Geodéziai Intézet az FTV-vel 1980-ban elkészítette „A Paksi Atomerőmű üzemelő egysége magassági értelmű mozgásvizsgálatához szükséges műszaki terv”-et (utasítást).

Az Atomerőmű építés sajátos geodéziai feladataira vonatkozó – az alábbiakban ismertetésre kerülő – GEODÉZIAI TERV 1981-ben készült el, melybe a fenti utasítás is beépült.

GEODÉZIAI TERV G.T. MŰSZAKI UTASÍTÁS a Paksi Atomerőmű III-IV. blokkjának mérnök-geodéziai munkáihoz 1981.

- 1.sz. melléklet: G.T.I. Vízszintes értelmű alapponthálózat, összehasonlító alapvonalak;
- 2.sz. melléklet: G.T.II. Magassági értelmű alapponthálózat;
- 3.sz. melléklet: G.T.III. Az Atomerőmű sajátos geodéziai feladatai és azok pontossági előírásai;
- 4.sz. melléklet: G.T.IV. A geodéziai munkák rendje;

A GEODÉZIAI TERV a műszaki fejlesztési feladatokkal is foglalkozott, előírta, hogy a geodéziai munkák végzéséhez korszerű mérő és feldolgozó elemekből álló technológiai rendszert kell létrehozni és alkalmazni.

A BME Geodéziai Intézet az ERŐTERV szakértőivel együttműködve kidolgozta az ún. „zártláncú, automatizált geodéziai, fotogrammetria információs rendszer” célszerű felépítését, majd feltárta a legkorszerűbb hardver és szoftver lehetőségeket, és az ERŐTERV és az ERBE segítségével beszerezte és telepítette azokat. A kidolgozott információs rendszert Detrekői et al. (1984) mutatja be.

3.4 Fotogrammetriai vizsgálatok

A Paksi Atomerőmű építése során szükségessé vált olyan technológiai rendszer kifejlesztése, amely a tervezési, építési-szerelési és üzemeltetési döntésekhez a létesítmény megvalósult állapotáról a telepítési geometriát tükröző információszolgáltatást biztosít.

A fotogrammetriai vizsgálatok a sugárveszélyes helyiségek készre szerelt állapotáról készült háromdimenziós állapotfelmérésre, az építési program időarányos teljesítésének ellenőrzésére, az építmények építés közbeni ellenőrző mérésére, valamint a reaktortérben történő szabatos ellenőrző mérésekre terjedtek ki. Fotogrammetriai vizsgálatok korszerű eszközkészletével Ugrin (1980) foglalkozik.

4 A PAE 2x1000 MW-os bővítés előkészítésével kapcsolatos feladatok 1987-1989 között

Fő feladatcsoportok:

- A 2x1000 MW-os bővítés előkészítéséhez szükséges vízszintes és magassági alapponthálózat ellenőrzése.
- A bővítéssel érintett területek ellenőrző mérései és megvalósulási térképezése, illetve a tervezési adatok GRADIS 2000 digitális adatbázisban való bevitele és folyamatos karbantartása.
- A 2x1000 MW-os bővítés ideiglenes geodéziai tervének készítése, melyet az alábbi címen magyar szabványként is elfogadtak:
 - A Paksi Atomerőmű 2x1000 MW-os bővítés Ideiglenes Geodéziai Terve
 - I. ütem: GT. Paksi Atomerőmű 1000/1 1987. MSZ 5067-11;
 - A Paksi Atomerőmű 2x1000 MW-os bővítés Ideiglenes Geodéziai Terve
 - II. ütem: GT. Paksi Atomerőmű 1000/2 1988. MSZ 5067-14;
- A 2x1000 MW-os bővítés mozgás és deformációmérő rendszer tervének készítése:
 - Építmény-diagnosztikai rendszerbe foglalt automatizált folyamatos működésű deformáció-mérő rendszerek a Paksi Atomerőmű bővítés 5.sz. és 6. sz. blokkjaiban (műszaki tervtanulmány) 1988;
- Megvalósulási térképezési feladatok.

Megjegyzés: A geodéziai tervek készítésében az ERŐTERV, az FTV és a PGTV szakértői is részt vettek.

A digitális megvalósulási térkép problémáit, műszaki fejlesztési lehetőségeit Csemniczky és Homolya (1996, 2001) és Homolya (1987, 1994, 1995) dolgozza fel.

5 A Paksi Atomerőmű üzemeltetése és az üzemidő meghosszabbítása során a BME aktuális, illetve várható feladatai 1990-től

- Igény szerinti ellenőrzési és vizsgálati feladatok, szakmai tanácsadás, szakértések.
- Vízszintes és magassági értelmű főalappontok mozgás (stabilitás) vizsgálata
- E vizsgálatok eredményei szolgáltak az alappontok minősítésére, a mozgásfolyamatok leírására, prognosztizálására és az alappontok aktuális koordinátáinak a meghatározására. E vizsgálati eredmények alapján lehet értékelni az altalaj mozgását is. A főalappontok mozgásvizsgálata kezdetben az I-IV. blokk alapponthálózatára vonatkozott, majd kiterjedt a bővített beruházási terület alappontjaira is.
- Adatfeldolgozási, számítási módszerek kidolgozása.
- A GHMF rendszer kialakítása és továbbfejlesztése.
- Új létesítmények alapponthálózatának ellenőrző meghatározása (pl. KÁT).
- Az Általános- és Felsőgeodézia Tanszék Paksi Atomerőművel kapcsolatos információbázisának rendelkezésre bocsátása.
- A K+F együttműködés keretében tervezett szabályozási, szabványosítási és műszaki fejlesztési feladatok megoldása.
- Korszerű mérési módszerek és eszközök feltárása.
- A Paksi Atomerőmű geodéziai feladatai minőségirányítási tervének elkészítése és ezzel kapcsolatos szabályozások kidolgozása.

E feladatkört a következőkben ismertetjük.

6 A mérnökgeodéziai feladatok EU konform minőségirányítási rendszerének tervezése, ki- alakítása

A Paksi Atomerőmű minőségbiztosítási rendszere kialakult. A geodéziai feladatokkal foglalkozó Építész Műszaki Osztály (ÉMO) tervbe vette a Paksi Atomerőmű mérnökgeodéziai feladatai minőségirányítási tervének elkészítetését.

Az eddig elkészült tervek és műszaki segédletek listáját az alábbiakban közöljük.

Paksi Atomerőmű mérnökgeodéziai feladatai minőségirányítási tervének kötetei és műszaki segédletei:

1. kötet: Alapismeretek. Jogi és műszaki szabályozás
 2. kötet: GHMFR adatbázis
 3. kötet: Vízsintes és magassági főalapponthálózatok pontjainak létesítése és karbantartása
 4. kötet: Vízsintes értelmű főalapponthálózat vizsgálata és ellenőrzése
 5. kötet: Magassági értelmű főalapponthálózat vizsgálata és ellenőrzése
 6. kötet: Főépületek sajátos geodéziai munkái
 7. kötet: Üzemi létesítmények mozgásvizsgálata
 8. kötet: Geodinamikai vizsgálatok geodéziai feladatai
 9. kötet: Üzemi, térképi és tervezési térképi adatok karbantartása, szolgáltatása
 10. kötet: Létesítések geodéziai feladatai
-
1. Műszaki segédlet: A Paksi Atomerőmű alapponthálózati rendszere, a beruházási terület főalapponthálózatai
 2. Műszaki segédlet: A PAE főépületeiben az építés alatt kialakított alappont és mozgásvizsgálati hálózatok
 3. Műszaki segédlet: A reaktor boxok és a reaktor technikai szerelésének geodéziai munkái
 4. Műszaki segédlet: Megvalósulási állapotörgzítés klasszikus és digitális fotogrammetriával
 5. Műszaki segédlet: Az üzemi térkép objektumainak egységes leírásáról (szabványosításáról)
 6. Műszaki segédlet: Az üzemi térkép és az állami alaptérkép (DAT) kapcsolata
 7. Műszaki segédlet: A lortorony és egyéb üzemi létesítmények deformációvizsgálata (feldolgozás alatt)

A tervezés során a BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék vállalta a teljes dokumentáció készítésének koordinálását, az 1–7. tervkötet és az 1–4. Műszaki segédlet elkészítését, továbbá a 7. Műszaki segédlet készítéséhez szükséges műszaki fejlesztés végzését és ezek eredményeinek felhasználását. A 8. tervkötetet a GGKI Sopron, a 9.-10. kötetet, és az 5–6. műszaki segédletet az NYME GEO Geodéziai Tanszék készítette.

E tervdokumentáció készítéséhez a PA Rt., ÉMO, és MBO szakértői folyamatos konzultációt és ellenőrzést biztosítottak. Külső szakértőként az ERŐTERV és az FTV szakértői is bevonásra kerültek.

7 A BME Geodéziai Intézet, illetve a geodézia profilu tanszékek Paksi Atomerőműnél végzett tevékenységének eredményei

7.1 Közvetlen eredmények

A BME a Paksi Atomerőmű geometriai paramétereinek minőségbiztosítását szolgálva hozzájárult ahhoz, hogy a Paksi Atomerőmű I-IV. blokkjainak épületei, szerkezetei hazai szervezésben, hazai műszaki fejlesztéssel és irányítással megépüljenek, beüzemelésre kerüljenek.

7.2 Közvetett eredmények

A Paksi Atomerőmű igényelte tervezési, kutatási és műszaki fejlesztési feladatok jelentős volumenű, tudományos igényű kutatás-fejlesztési lehetőséget biztosítottak a feladatokban résztvevő oktatóknak és kutatóknak.

A feladatok végrehajtásához tervezett műszaki fejlesztés keretében Magyarországra és a Tanszékekre is a legkorszerűbb mérő- és adatfeldolgozó rendszerek beszerzésére volt lehetőség. Az eszközkészletek felhasználásával jelentős műszaki fejlesztési és tudományos eredmények születtek. Ezen eredmények a Paksi Atomerőmű építési és üzemelési igényei kielégítése mellett magyar és nemzetközi konferenciákon előadásra kerültek, tudományos szakmai lapokban, tervezési-segédletekben, műszaki utasításokban, szabványokban, tanulmányokban, disszertációkban kerültek publikálásra, valamint beépültek a felsőoktatás tananyagába.

Hivatkozások

- Csemniczky L, Homolya A** (1996): A digitális térképfeldolgozás minőségi kérdései. VI. Országos Térinformatikai Konferencia kiadványa, Szolnok.
- Csemniczky L, Homolya A** (2001): A GRADIS-2000 interaktív grafikus rendszer rövid története. Fejezetek a térinformatika magyarországi történetéből a kezdetektől 2000-ig. Bonaventura GIS Bt. Budapest.
- Detrekői Á, Eőry K, Sárközy F** (1984): A Paksi Atomerőmű építése során létrehozott zárláncú, automatizált fotogrammetriai-geodéziai információs rendszer. Geodézia és Kartográfia 36, 4.
- Homolya A** (1987): Közműfelmérés automatizált feldolgozása és adatbank kialakítása a GRADIS-2000 interaktív grafikus rendszeren. Közművek Felmérése és Nyilvántartása Konferencia kiadványa, Pécs.
- Homolya A** (1994): Digitális térképek előállítása, problémák, megoldások, tapasztalatok. IV. Országos Térinformatikai Konferencia kiadványa, Szolnok.
- Homolya A** (1995): A kataszterek térképi és leíró adatainak feldolgozása, problémák, lehetőségek, megoldások. Geodézia és Kartográfia 47, 1.
- Kiss A** (1984): Deformation measurement of the localizing tower under overpressure of a nuclear power station. Proceedings of International symposium on Long-Term. Observation of Concrete Structures (Organised by the RILEM Technical Committee 45 LTO with cosponsorship of ACI), Budapest Home III, 62-72. Responsible publisher: M. Heincz. Institute for Quality Control of Building, Budapest.
- Kiss A** (1990): Analiz rezultatov issledovania peremesenia 4-ogo reaktora atomnoj elektrosztancii "Paks" sz tocski zrenia szosztavlenia prognoza peremescsenia i szozdania diagnoszticeszkj szisztemü. Periodica Polytechnica Ser. Civil Engineering 34; 1-2, 47-67.
- Kiss A** (1996): The influence of foundation body movements and deformations in quality of building construction. Periodica polytechnica ser. Civil Engineering 40; 2, 37-54.
- Kiss A** (1999): Építési munka minőségét befolyásoló szerkezeti mozgások és deformációk vizsgálata. PhD doktori értekezés Budapest, 139. + függelék.
- Kiss A, Czákó J, Csemniczky L, Deák O, Detrekői Á, Homolya A, Kis Papp L, Sárközy F** (2002): A Tanszék Paksi Atomerőmű építésénél üzeménél végzett műszaki ellenőrző, mérnökgeodéziai és fotogrammetriai feladatai. Geodézia és Kartográfia, 10.
- Ugrin N** (1980): Az OR-1 Ortofotó rendszer gyakorlati felhasználása. Geodézia és Kartográfia 5.

A ZÁRTLÁNCÚ GEODÉZIAI - FOTOGRAMMETRIAI RENDSZER SZEREPE A PAKSI ATOMERŐMŰ ÉPÍTKEZÉSÉNÉL

Csemniczky László*, Homolya András*



The role of the closed-chain geodetic - photogrammetric system in the building operations of Nuclear Power Station Paks – In connection with planning and building activities on Nuclear Power Station Paks the development of a new technological system becomes necessary. A new information service ensures continuous data supply about realized situation and it constitutes the basis of a uniform geometrical system. That was the reason of the establishment of a closed-chain geodetic photogrammetric interactive graphic system in the Powers Stations and Network Engineering Company and in the Technical University of Budapest.

Keywords: nuclear power station, CAD/CAM systems, digital utility map

A Paksi Atomerőmű párhuzamosan végzett tervezési és építési munkálatai egy új technológiai rendszer kiépítését igényelték. Szükségessé vált egy információszolgáltatás, amely folyamatosan biztosítja az adatokat a megvalósult állapotról és alapja az építkezés egységes geometriai rendszerének. Ennek az igénynek a kielégítésére kezdődött 1982-ben egy zártláncú geodéziai-fotogrammetriai interaktív grafikus rendszer telepítése, egyidejűleg az ERŐTERV-nél és a Budapesti Műszaki Egyetemen.

Kulcsszavak: atomerőmű, CAD/CAM rendszerek, digitális közműtérkép

1 Bevezetés

A Paksi Atomerőmű építése újszerű feladatok elé állította a magyar mérnököket, így a geodéziai munkák is más szemléletmódot, technológiát és felszerelést igényeltek (Czellár és Zergi 1982, Karsay és Speciár 1983). Ezért született meg a döntés, hogy az ERŐTERV-nél és a Budapesti Műszaki Egyetemen 1982-ben egy zártláncú geodéziai-fotogrammetriai interaktív grafikus rendszert telepítenek, amely a következő feladatok megoldására alkalmas:

1. adatfelvétel,
2. adatfeldolgozás,
3. feldolgozott adatok megjelenítése.

Lényegesnek tartjuk megjegyezni, hogy az alábbiakban vázlatosan bemutatott rendszer minden egyes alkotóeleme a telepítés idején a világszínvonalat képviselte. Ezzel a Paksi Atomerőmű napi informatikai igényeinek biztosítása mellett a rendszernek lényeges szerep jutott az oktatásban és a magyar mérnökök továbbképzésében. Tekintsük át a rendszer vázlatát (1. ábra) (Detrekői et al. 1984).

Megjegyezzük, hogy a későbbiekben közölt fényképek a BME akkori Oktatástechnikai Osztályának archív felvételei.

2 A zártláncú geodéziai-fotogrammetriai interaktív grafikus rendszer elemei

A helyszíni (terepi) adatfelvételt a német ZEISS cég ELTA-2 és a svájci KERN cég E-1 típusú mérőállomásai biztosították. (2. ábra)

Az ELTA-2 mérőállomások ipari mérőrendszert (ITH) alkotva bonyolult berendezések és csőrendszerek alkotóelemeinek pontos térbeli helymeghatározását is lehetővé tették és alkalmasak voltak a berendezések, csőrendszerek és áttörések fotogrammetriai feldolgozásához szükséges

* BME Építőmérnöki Kar, 1111 Budapest, Műgyetem rkp. 3
E-mail: csemniczky@digikom.hu, homolya@agt.bme.hu

ADATFELVÉTEL

ADATFELDOLGOZÁS

EREDMÉNY

GEODÉZIAI

OPTON
ELTA-2
mérőállomásKERN E1
mérőállomásOPTON
3TH
típusú mérő-
állomás

RAJZI

GRADIS
digitálizálás

FOTOGRAMMETRIAI

OPTON
SMK-40-L20WILD P31
kamerac-
rendszer

GRAFIKUS - DIGITÁLIS

CONTROL 85
GEOS 1, LANA
HP 9345 B, HP85GEO
PDP 11/23IMS
HP 85CONTRAVES
GRADIS 2800
PDP 11/44
Interaktív
adatfeldolgozó és
adatbázis rendszer

FOTOGRAMMETRIAI

WILD
AntapretAPT 1
Inter-
pretálásKERN DÖR 1
PDP 11/23
számítógép rendszer

SCORA

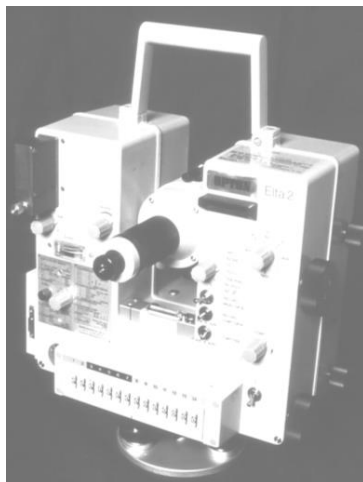
WILD OR-1
HELVET-1
LABOR ÜZEMOPTON
stereocam
C-3
HP 85

SORNYVITATÓ

FORMATIZÁLT
ADATLISTAKERN GP-1
BENSON rendszerTISZTÁZATI
TÉRKÉPDIGIGRAF 1612
HP
rajzoló rendszerKÖTÉS,
MÉRETEZETT,
MŰSZAKI
HELYSZÍNRAJZELŐHÍVÁS
SZERSZORÍTÁS

ORTOFOTÓ

1. ábra. A zártláncú geodéziai-fotogrammetriai interaktív grafikus rendszer felépítése



2. ábra. Zeiss ELTA-2

illesztőpontok meghatározására. A fotogrammetriai felvételek elkészítésére ZEISS SMK és WILD P31 kamara-rendszerek kerültek beszerzésre.

A rajzi (térképi) munkarészek adatfelvételéhez Contraves gyártmányú, GRADIS-2000 interaktív grafikus munkahelyek kerültek az ERŐTERV-hez és a BME Általános Geodézia Tanszékére. (3. ábra)



3. ábra. Contraves GRADIS-2000

Az interaktív grafikus rendszerek PDP 11/44 típusú számítógépen futó programrendszerei egyúttal az adatfeldolgozást, az általuk vezérelt lemezegységek az adatbank lehetőségét is biztosították.

Fotogrammetriai adatfeldolgozó egységként a KERN DSR-1 analitikus műszer (egy PDP 11/23 típusú számítógéppel) (4. ábra) és ZEISS Stereocord G-3 sztereokomparátor szolgált.



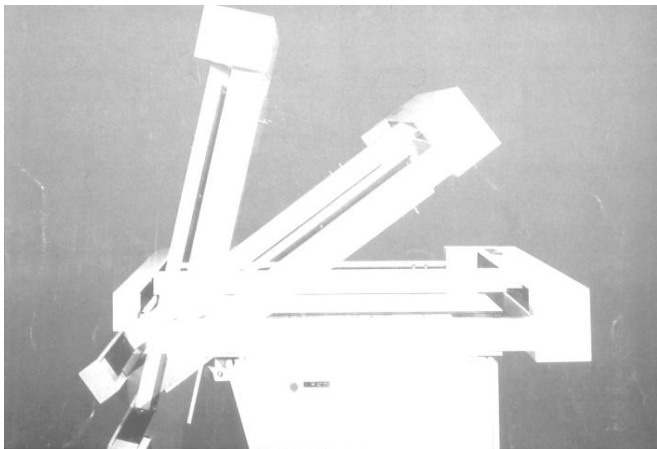
4. ábra. Kern DSR-1 és PDP 11/23

Az ortofotók előállítására alkalmas WILD OR-1 Avioplan biztosította a geometriai és fizikai információk együttes megjelenítését (5. ábra) (Ugrin 1980).

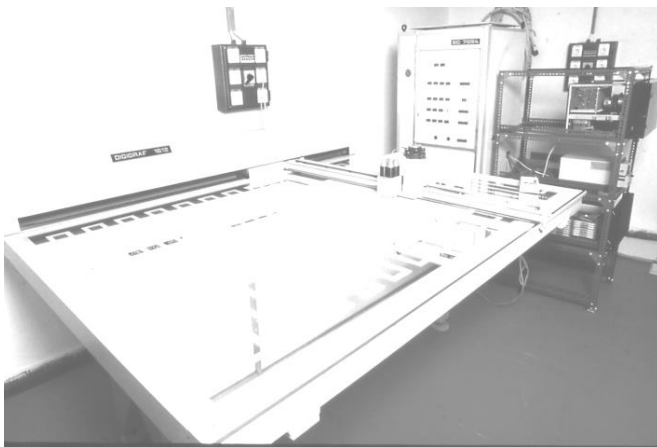


5. ábra. Wild OR-1

A rajzi megjelenítő eszközök - Kern GP-1 (6. ábra) és csehszlovák gyártmányú Digigraf (7. ábra) precíziós rajzgépek és egy Benson A0 dobplotter – szolgáltatták a tisztázati rajzokat, térképeket.



6. ábra. Kern GP-1



7. ábra. Digigraf

3 A GRADIS-2000 interaktív grafikus munkaállomás

Az alábbiakban részletesebben a GRADIS-2000 interaktív grafikus munkaállomással foglalkozunk.

1982-ben a svájci CONTRAVES cég által készített GRADIS-2000 jelentette Magyarországon az első valódi interaktív grafikus térképszerkesztő és nyilvántartó rendszert. A PDP 11/44 számítógépen, RSX operációs rendszer felügyelete alatt és egy speciális munkaállomáson futó programrendszer komoly lépés volt az automatikus térképszerkesztés és digitális feldolgozás magyarországi elterjedésében.

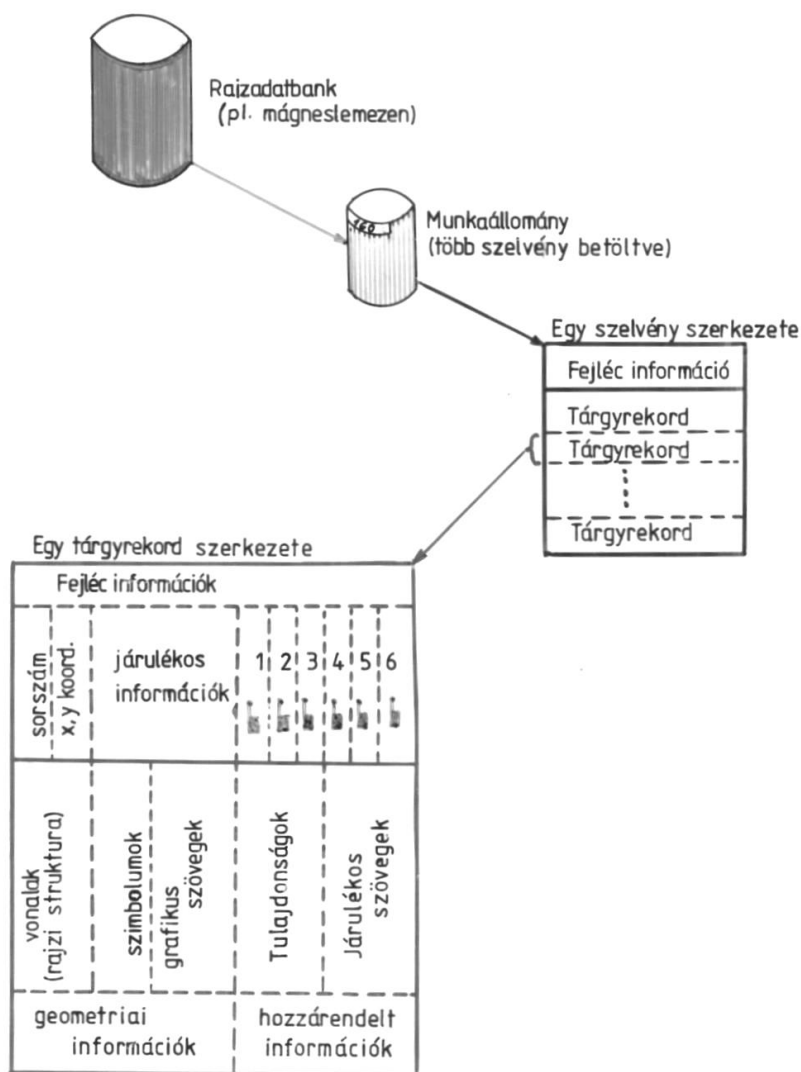
Az akkor legkorszerűbbnek tekinthető interaktív grafikus rendszer természetesen nem biztosíthatta a mai térinformatikai lehetőségeket, de a korszerű objektumorientált rendszerek egyik elődjének tekinthető, ezért az alábbiakban röviden ismertetjük a legfontosabb jellemzőit.

A programrendszer alfanumerikus billentyűzettel, menü billentyűzettel és digitalizáló táblán keresztül volt kezelhető. Ezáltal lehetővé vált a kényelmes grafikus adatbevitel és papírmű kialakítása is. A papírmű a felhasználó által szabadon definiálható, mátrixelrendezésű területe a digitáli-

záló asztalnak, amelynek egy-egy eleméhez tetszőleges parancsok (parancsok sorozatai) rendelhetők, a hozzátartozó paraméterekkel együtt is.

A GRADIS-2000 adatbázisában a grafikus és a leíró adatok (járulékos vagy attribútum információk) egységes kezelését valósították meg. Az adatok projektenként csoportosítva, úgynevezett típusonként, szelvényenkénti bontásban kerültek tárolásra. A szelvényen belül objektumok kialakítására van lehetőség. Egy objektumba kerülhetnek a logikailag összefüggő grafikus elemek és a hozzájuk tartozó attribútumok. Az objektumok azonosítására szolgálnak az objektumkulcsok.

Tekintsük át részletesen a GRADIS-2000 egy szelvényének felépítését. (8. ábra) A szelvény számítástechnikai szempontból nézve egy szekvenciálisan felépített adatfájl jelentett. Minden adatfájl egy fejléccel kezdődik, amelyet tetszőlegesen sok objektum követhet. A fejlécben található fontosabb adatok: megnevezés, típus, szimbólum és szöveg méretarány, koordinátatárolási élesség, a befoglaló terület lehatároló koordinátái, a létrehozás és az utolsó hozzányúlás dátuma stb. A fejlécben a felhasználó szabadon elhelyezhet az adott területre vonatkozó járulékos információkat (attribútumokat).



8. ábra. A GRADIS-2000 adatbázisa

Az objektumok a tárolás alapegységei. Minden objektum tartalmaz legalább egy, legfeljebb hat kulcsszámot, ami 1-7999 közötti egész szám lehet. Ez a kulcsszám alapvető jelentőségű a struktúrázás szempontjából, ugyanis ezek alapján lehet szelektálni az adatok között. Több objektum is rendelkezhet azonos kulcsszámmal vagy kulcsszámcsoporthal, így ezek együtt egy objektumcsoportot, egy szintet vagy egy főliát képezhetnek. Több kulcs egyidejű hozzárendelésével pedig magasabb fokú logikai csoportosításokat lehet megvalósítani.

Egy objektumban tetszőleges számú grafikus elemet helyezhetünk el. A grafikus elemek három típusát különböztetjük meg:

1. vonal
2. szimbólum
3. grafikus szöveg

A vonalelemeket a töréspontjaik koordinátaival és az összekötési információval tároljuk. Az összekötési információ utasítást adhat pont (szakadás), egyenes vonal, kör és interpolált spline görbe szerinti összekötésre. A töréspontokra elhelyezhetünk pontszimbólumokat (például numerikus birtokhatárpontok nullkörét), amik kirajzoláskor elfedik a vonal nem látható részét. A töréspontokat pontosztályba sorolhatjuk, ami lehetővé teszi csoportosításukat, illetve szükség esetén, a képernyőn feltűnő megjelenítésüket egy szimbólummal. A GRADIS-2000 alapvetően síkbeli, kétdimenziós rendszer, de lehetőség van vonalelemeknél a harmadik koordináta tárolására is.

A szimbólumelemek esetén a beillesztési pont koordinátáit, a dőlésszöget és a szimbólum sorszámát tároljuk. Ez utóbbi egy táblázatra utal, ahol az adott szimbólum geometriai leírását találjuk. Így egy-egy bonyolultabb jelkulcsi elemet csak egyszer kell elkészíteni és tárolni, ami mind idővel, mind tárolási kapacitással való takarékoskást jelent.

A grafikus szövegeket a beillesztési pont koordinátaival, a szövegmérettel, a dőlésszöggel és magával a szöveg 8 bites ASCII karaktereivel tároljuk.

A fenti elemekhez további grafikus leíró utasításokat is hozzárendelhetünk, amelyeket a felhasználói táblázatokban definiálhatunk. Ezek lehetővé teszik a méretaránytól viszonylag független grafikus megjelenítést.

Az objektumokhoz hozzárendelhetünk tetszőleges számban járulékos információkat, attribútumokat is. Ez a lehetőség biztosítja a grafikus és a leíró adatok egységes kezelését. Az attribútumokat egy hárombetűs azonosító címkével jelöljük meg és a szöveg 8 bites, ASCII karaktereivel tároljuk.

A GRADIS-2000 rendszerfilozófiájában alapvető jelentőségű a szelekciós (válogatási) lehetőség. Ez elsősorban az objektumkulcsokra épül. Az objektumkulcsok rendszerét igen körültekintően kell megtervezni, mert ez biztosítja a megfelelően strukturált adatbázis kialakítását. Lehet szelektálni egy-egy kulcs, vagy kulcstartomány szerint (ez közelítőleg megfelel a réteg, illetve layer szervezésű grafikus rendszereknél ismert ki-be kapcsolási lehetőségnek), de mód van összetettebb feltételeket is definiálni és ezekkel elvégezni a szelekciót. Ez a lehetőség mind alkalmanként összeállított feltételrendszert, mind ismétlődő lekérdezés esetén táblázatban előkészített szelekciót jelenthet. Egyszerűbb grafikus rendszereknél gyakran korlátozott az egy állományban létrehozható rétegek száma. Az objektumkulcs igen széles számtartománya, valamint az egy objektumhoz rendelhető hat különböző objektumkulcs gyakorlatilag korlátlan szelekciós lehetőséget és tetszőleges bonyolultságú struktúrát jelent.

A GRADIS-2000 további lehetősége, hogy járulékos információk szerint is lehet szelektálni az adatok között. Igen hasznos lehet objektum-csoportok kialakítása is. Ez annyit jelent, hogy "master-slave" (fő-alárendelt) objektumokat definiálhatunk. Amennyiben a fő objektumot kiválasztjuk, úgy az alárendelt objektumokat is aktivizálhatjuk

Külön kell szólni az adatbevitel különböző lehetőségeiről. A GRADIS-2000 alapvetően támogatja és segíti a digitalizálás munkafolyamatát. A digitalizálás megkezdése előtt lehetőség van hasonlósági és affin transzformációt végezni. A munkát folyamatosan figyelemmel lehet kísérni a grafikus ablakban, tetszőleges nagyításban is. Számos segédfunkció is rendelkezésre áll a digitalizálás megkönnyítésére, mint például a merőlegesség és a csatlakozások szabatos biztosítása. A később

bi változásvezetés elősegítésére a geodéziai szerkesztő utasításokat használhatjuk. Például előmetezés, ívmetszés, poláris és derékszögű pontmeghatározás stb.

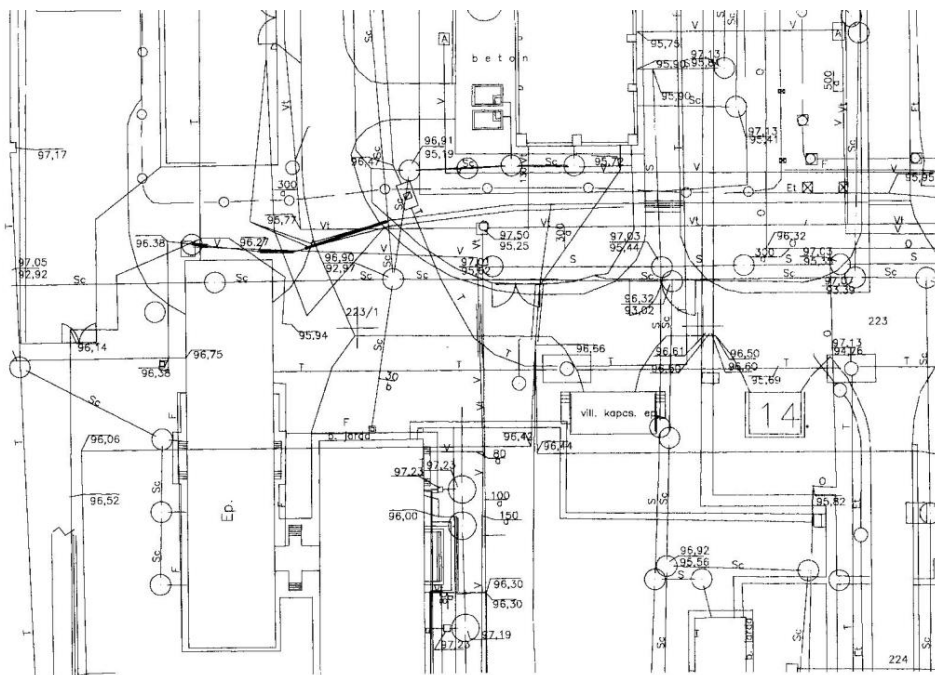
A GRADIS-2000 rendelkezett egy szabványos, úgynevezett logikai adatkapcsolási felülettel is. Ide állományokat lehet kivinni, illetve innen más állományokat be lehet olvasni. Kivételkor lehetőség van szelekcióra, valamint az állományok szétvágására illetve egyesítésére. Igen fontos az ilyenkor is alkalmazható hasonlósági illetve affin transzformáció. Így például biztosítható volt a Magyarországon használt többféle vetületi rendszer közötti áttérés is.

4 A Paksi Atomerőmű beruházás digitális megvalósulási térképei

A Paksi Atomerőmű beruházás digitális megvalósulási térképeinek elkészítése egyúttal a GRADIS-2000 interaktív grafikus rendszer első magyarországi alkalmazása volt (Homolya 1987, Kiss et al. 2002).

Kiinduló alapként már számos üzemi térkép állt rendelkezésre, amelyek korábban az atomerőmű térképrendszerében, 1: 250 méretarányban készültek az M-1 Mérnökgeodéziai Szabályzat és Jelkulcs előírásai szerint, az atomerőmű helyi adottságainak és a megrendelők igényeinek figyelembe vételével. A fontosabb, nagyobb pontosságot igénylő helyeken a digitalizálás útján nyert adatokat numerikus koordinátákkal helyettesítettük. Az újonnan épített létesítményeket mérési vázlatok alapján szerkesztéssel rögzítettük. A térképi struktúra kialakítására a GRADIS-2000 kulcsszámrendszerét használtuk fel, így sikerült a felhasználói igényeknek megfelelő lekérdezési lehetőségeket biztosítanunk.

A munka későbbi fázisában szükségessé vált a grafikus anyag mellé járulékos szöveges információkat is begyűjteni és betölteni. Ezt a rendszer az attribútumok kezelésével segítette elő. A Paksi Atomerőmű teljes udvartéri területére elkészült a digitális közmű megvalósulási térkép. (9. ábra)



9. ábra. Digitális közmű megvalósulási térkép részlete

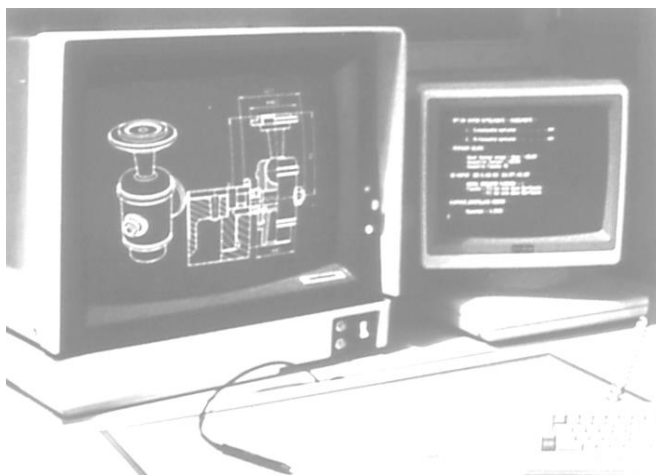
5 A GRADIS-2000 rendszer további alkalmazásai

A GRADIS rendszerek több mint 15 éves működése során – a már tárgyalt paksi digitális közmű megvalósulási térképeken kívül – még több érdekes munka készült el Magyarországon GRADIS rendszerek segítségével (Homolya 1995, Csemniczky és Homolya 2001).

1. A VÁTI külterületi nyomvonalas létesítmények nyilvántartási rendszerének kidolgozása, mintaállomány elkészítése. (1985.)
2. Budapest I. és XIII. kerület földmérési alaptérképeinek digitalizálása, vetületi- és szelvényrendszerének átdolgozása, IDS struktúrába átalakítása és az ÁSzSz adatbázisába való áttöltése. (1987-1988.)
3. Dunai Kőolajipari Vállalat üzemi térképeinek strukturált digitalizálása. (1989-1990.)
4. Németország, Schleswig-Holstein tartomány földmérési alaptérképeinek digitalizálása, vetületi- és szelvényrendszerének egységesítése. (1990-1996.)
5. Németország, Gießen város csatorna szakági térképeinek GIS rendszerbe való betöltése. (1993-1994.)
6. Győr város földmérési alaptérképeinek digitalizálása és az adatállomány előkészítése GIS rendszerben való felhasználáshoz. (1995.)
7. Budapesti kerületek digitális alaptérképi beltartalmának készítése. (1996-1998.)

5 A GRADIS rendszerek újabb fejlesztései

1992-ben került Magyarországra néhány új, strässle fejlesztésű GRADIS-2000 rendszer, amelyek VAX-Vistagraphic munkaállomáson futott, GRADIS-GINA néven. (10. ábra) Napjainkban már csak a digitalizáló berendezéseik vannak használatban PC szoftverekkel.



10. ábra. GRADIS-GINA

Meg kell még említeni a GRADIS szoftvercsalád legnagyobb tagját, a strässle által fejlesztett GRADIS-GIS térinformatikai szoftvert. Két rendszer Magyarországon is üzemelt. A GRADIS-GIS a 90-es évek egyik legjobban sikerült fejlesztése volt, de a strässle cég más szakterületeken fellépő piaci problémái a SIEMENS-NIXDORF-fal történő összevonáshoz vezettek és így ez a fejlesztés leállt.

1995-ben, Németországban a Hoebertz Datentechnik, Dortmund vette át a GRADIS-2000 rendszerek fejlesztését és ezután jelent meg a GRADIS-MOSKITO rendszer, amely már IBM-PC számítógépen fut. A MOSKITO szoftvercsalád fejlesztése jelenleg is folyik.

6 Összefoglalás

A zártláncú geodéziai-fotogrammetriai interaktív grafikus rendszer 1982. évi magyarországi telepítése új szemléletmódot hozott a mérnökgeodéziai feladatok megoldásában. A GRADIS-2000 munkaállomás és a hozzá tartozó szoftver – bár akkor még nem így neveztük – az objektumorientált térinformatikai rendszerek egyik elődjének tekinthetjük.

Hivatkozások

- Ugrin N** (1980): Az OR-1 ortofotorendszer gyakorlati felhasználása; *Geodézia és Kartográfia*, 32, 356-363.
- Czellár A, Zergi I** (1982): A Paksi Atomerőmű reaktortartályával kapcsolatos geodéziai mérések; *Geodézia és Kartográfia*, 34, 253-256.
- Karsay F, Speciár A** (1983): A Paksi Atomerőmű építésénél végzett geodéziai munkák eddigi tapasztalatai; *Geodézia és Kartográfia*, 35, 89-92.
- Detrekői Á, Eőry K, Sárközy F** (1984): A Paksi Atomerőmű építése során létrehozott zártláncú, automatizált fotogrammetriai-geodéziai információs rendszer; *Geodézia és Kartográfia*, 36, 233-238.
- Homolya A** (1987): Közműfelmérés automatizált feldolgozása és adatbank kialakítása a GRADIS-2000 interaktív grafikus rendszeren; *Geodinform*, XVIII. 6, 23-25.
- Homolya A** (1995): A kataszterek térképi és leíró adatainak feldolgozása, problémák, lehetőségek, megoldások; *Geodézia és Kartográfia*, 47, 40-43.
- Csemniczky L, Homolya A** (2001): A GRADIS-2000 interaktív grafikus rendszer rövid története; *Fejezetek a térinformatika magyarországi történetéből a kezdetektől 2000-ig*, Bonaventura GIS Bt. Budapest, 127-129.
- Kiss A, Czakó J, Csemniczky L, Deák O, Detrekői Á, Homolya A, Kis Papp L, Sárközy F** (2002): A Tanszék Paksi Atomerőmű építésénél és üzeménél végzett műszaki ellenőrző, mérnökgeodéziai és fotogrammetriai feladatai; *Geodézia és Kartográfia*, 54; 10, 32-38.

A PAKSI ATOMERŐMŰ LÉTESÍTMÉNYEINEK ÁLLAPOTFELMÉRÉSE HAGYOMÁNYOS ÉS DIGITÁLIS FOTOGRAMMETRIAI ELJÁRÁSSAL

Kis Papp László*



Condition assessment of the establishments of Nuclear Power Station Paks by means of traditional and digital photogrammetric procedure – During the construction and implementation of the Nuclear Power Station Paks a unique photogrammetric-geodetic system has been developed by Geodetic Institute of Technical University of Budapest – having significant impact for improvement of digital photogrammetry. Investments in reconstruction of traditional photogrammetric instrumentation made the solution of research and development problems possible, in connection with the actual tasks.

Keywords: nuclear power station, digital photogrammetry

A Paksi Atomerőmű építése során a BME Geodéziai Intézetben kifejlesztésre került számítógéppel vezérelt zártláncú automatizált fotogrammetriai-geodéziai rendszer jelentős előrehaladást jelentett a hagyományos és digitális fotogrammetria fejlesztésében. A rendszerhez kapcsolódó kutatási fejlesztési feladatok megoldása a műszertechnika jelentős fejlesztése révén valósulhatott meg.

Kulcsszavak: atomerőmű, digitális fotogrammetriai

1 Bevezetés

A Paksi Atomerőmű építése során szükségessé vált olyan technológiai rendszer kifejlesztése, amely a tervezési, építési-szerelési beruházási és üzemeltetési irányú döntésekhez a létesítmény megvalósult állapotáról a telepítési geometriát tükröző információszolgáltatást biztosítja. Olyan komplex technológia kiépítésére volt szükség, amely az akkori idők legkorszerűbb háromdimenziós mérés-technikáján alapult. Ezen belül, mint a leghatékonyabb eljárást a fotogrammetriát, és mint legfejlettebb tervezési információs rendszertechnikát a számítógépes grafikát tükrözte (Detrekői et al. 1984, Homolya 1994, Kiss 1999).

2 A zártláncú fotogrammetriai-geodéziai rendszer felépítése

A zártláncú fotogrammetriai geodéziai rendszer alkotóelemeit a következő alapvető funkciók szerint csoportosíthatjuk:

- az adatfelvétel és adattárolás,
- az adatfeldolgozás,
- az eredmények megjelenítése.

Az *adatfelvétel* geodéziai, fotogrammetriai és interaktív módszerrel történt. A Paksi Atomerőmű építése során és a készre szerelt helyiségek adatfelvételeinél a fotogrammetriai módszernek volt kiemelt szerepe. A feladat jellegéből következően a felvételeket mono- és ikerkamerákkal, illetőleg digitális felvételkamerával készítettük. Egyes kamaraként elsősorban az UMK kamerát, ikerkameraként a 120 cm fix bázison elhelyezett Zeiss ikerkamerát, digitális kameraként a CCD kamerát használtuk. A hagyományos felvételeket a pontossági igénytől függően üveglemezre, illetőleg mérettartó filmre készítettük. A külső tájékozási adatok, valamint az illesztőpontok meghatározása mérőállomás segítségével történt.

Az *adatfeldolgozáshoz* az 1980-as években piacra került analitikus plotter szolgált. A tudományos-műszaki fejlődés az 1980-as évek elején jelentős változásokhoz vezetett a fotogrammetriai műszer-

* BME Általános- és Felsőgeodézia tanszék
H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. K. mf. 16.
E-mail: kispapp@agt.bme.hu

iparban. A komputer technika és a szervo elektronika rohamos fejlődése, a digitális felvevő rendszerek megjelenése új műszer konstrukciók kialakulásához vezetett. Ezeknek a műszereknek a megjelenése jelentősen kiszélesítette a hagyományos fotogrammetria alkalmazási körét, ugyanis ezekkel a műszerekkel szinte minden felvétel kiértékelhető volt, tekintet nélkül a felvételek elhelyezkedésére. A szabvány fotogrammetriai felvételek, a nem mérő kamerákkal készült felvételek, vagy akár a nem hagyományos geometriájú felvételek feldolgozására is volt lehetőség a képtartó vezérlés szoftverjének megfelelő megválasztásával. Lehetőség volt továbbá arra is, hogy a számítógép kiértékelés közbeni szabad kapacitását is kihasználhattuk / komplex grafikus megjelenítés, tetszőleges adatrendezés, adatfeldolgozás/. Ez időben került a BME Geodéziai Intézethez a DSR-1 analitikus plotter. A DSR-1 tervezésénél a műszer konstruktőrök felhasználták a komputer technika -akkori idők – legújabb eredményeit, a műszer kialakítói arra törekedtek, hogy az analitikus plotter beilleszkedjen a már meglévő feldolgozási rendszerekbe. A decentralizált logikai felépítés minden speciális feladat elvégzésére külön – külön processzort alkalmazott, a vezérlő számítógép a perifériák közötti adatáramlást biztosította.

A rendszer az *eredmények* különböző – számszerű, grafikus, ill. képi -. *megjelenítésre* alkalmas. A Paksi Atomerőmű esetében az eredményeket számszerű, grafikus, ill. ortofotó formában dokumentáltuk. Az ortofotók a beruházás műszaki ellenőrei számára irodai körülmények között is biztosították a helyszíni információt, illetve a tervekkel történő összehasonlítás lehetőségét. Az eredményközlés legegyszerűbb formája az adatlista. A Paksi Atomerőmű reaktor karbantartási munkálatai során szükségessé vált a IV. sz. reaktoregység főoszósjában lévő töcsavarok helyzetének numerikus meghatározása, amely esetben az eredmények koordinátajegyzék formájában, ill. grafikusan is megjelenítésre kerültek.

3 A fotogrammetriai állapotfelmérés végrehajtása

A Paksi Atomerőmű építése során létrehozott zártláncú fotogrammetriai-geodéziai rendszernek az Atomerőmű építésében betöltött funkcióját a Geodéziai Terv a következőkben foglalta össze:

- a geodéziai mérések, és a hagyományos és digitális fotogrammetriai felvételek teljes körű feldolgozása és kiértékelése, beleértve a méréstechnológiai előírások folyamatos és hatékony ellenőrzését,
- a számszerű, a rajzi és egyéb járulékos információk számítógépes, adatbankszerű tárolása,
- a mérési és járulékos információknak a tervadatokkal történő automatizált összevetése, kiértékelése, az ütközések feltárása és kijelzése,
- az Atomerőmű üzemeléséhez a technológiai vezetékrendszerek teljes térbeli rögzítése,
- a sugárveszélyes zónákban az emberi beavatkozást igénylő feladatok kiküszöbölése

A helyszíni mérési, felvételkészítési, feladatok végrehajtása és ellenőrzése.

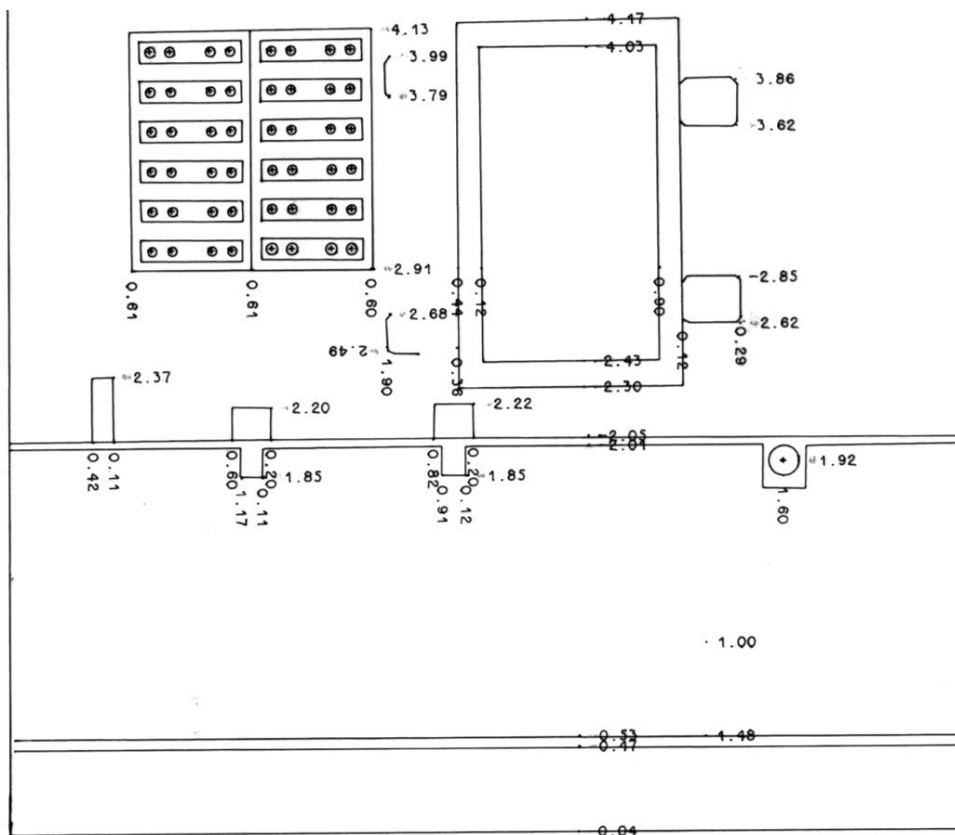
A mérőfotogrammetriai feladatok végrehajtását a mérési és felvételkészítési terv alapján tervezett mérőfelszereléssel, módszerrel, személyzettel és tervezett időszakban kellett elvégezni a mérési-illetőleg a felvételkészítési technológia nyújtotta pontosságnövelő és az ellenőrzési lehetőségek folyamatos kihasználásával.

Az Atomerőmű építése közben az előrehaladás folyamatos nyomonkövetése és a tervezési genplannal történő folyamatos összevetés miatt szükségessé vált az építkezés pillanatnyi állapotának fotogrammetriai úton történő állapotfelvétele. A fotogrammetriai felvételeket 60 méteres magasságból UMK mérőkamerával készítettük (1. ábra).



1. ábra. UMK mérőkamerával készített felvétel

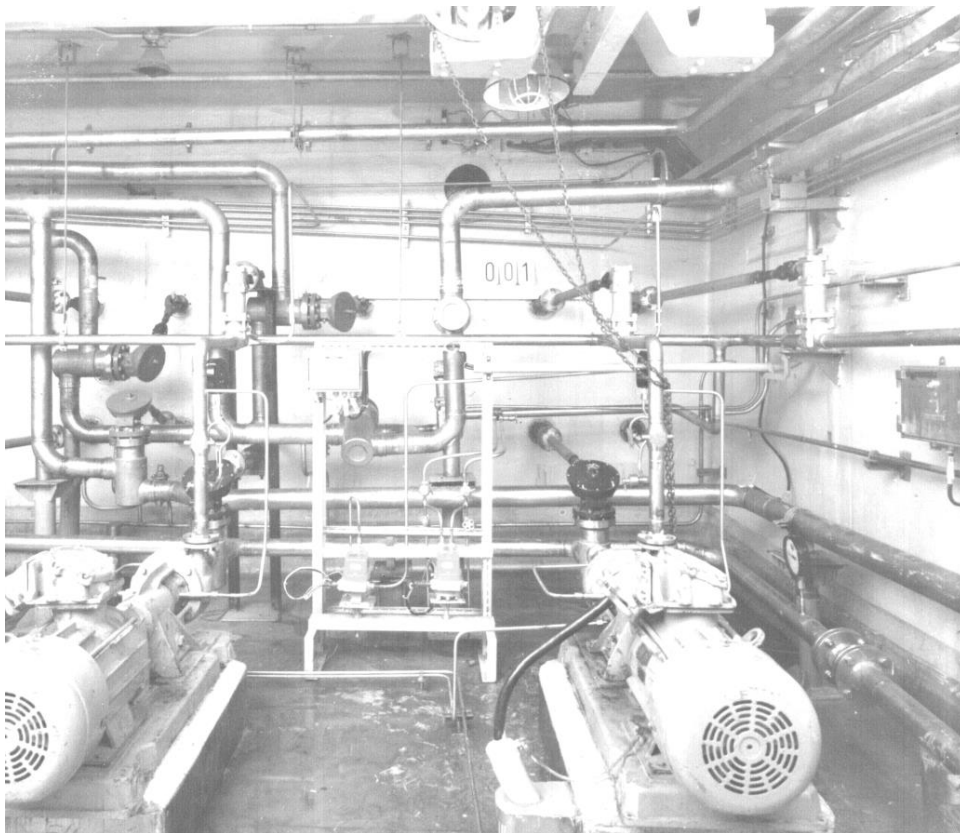
Az Atomerőmű belső helyiségeinek építése közben, - a szerelési munkák megkezdése előtt – minden helyiségről sztereofotogrammetriai felvételek, ill. digitális felvételek készültek abból a célból, hogy a felvételek kiértékelését követően a falakról készült 1: 50, ill. 1:10 méretarányú kiértékelési adatokat össze lehessen vetni a tervezési adatokkal. A digitális ortofotók ugyancsak lehetőséget nyújtottak a szerelési tervekkel történő összehasonlításra. A 2. ábrán egy sztereofotogrammetriai kiértékeléssel készült faltérkép- részletet mutatunk be.



2. ábra. Sztereofotogrammetriai kiértékeléssel készült faltérkép

A szerelési munkák befejeztével – a próbaüzem megkezdése előtt – ugyancsak elkészítettük a sztereofotogrammetriai felvételeket a készre szerelt állapot rögzítésére archiválási célból (3. ábra). Ezen felvételpárok negatívjait, illetőleg a felvételpárok pozitív –helyiségenként összegyűjtött - képeit a Paksi Atomerőmű adattárában példásan archiválták.

A „Paksi Atomerőmű RT mérnökgeodéziai feladatait támogató korszerű mérési és digitális adatkapcsolati technológia kidolgozása” 2005-ben indult és a 3 évre tervezett kutatási és műszaki fejlesztési program keretében „Az 1-4 blokkok lokalizációs tornyait vizsgálatát érintő tervek és információk összegyűjtése” részprogram megvalósítása során nagy segítséget jelentettek számunkra a helyiségek készre szerelt állapotáról készült sztereofotogrammetria felvételek.



3. ábra. Állapotrögzítés archiválási célból

4 Összefoglalás

A Budapesti Műszaki Egyetem Geodéziai Intézete, ill. jogutódja az Általános- és Felsőgeodézia Tanszék a Paksi Atomerőmű geometriai paramétereinek minőségbiztosítását szolgálva hozzájárult ahhoz, hogy az Atomerőmű I –IV blokkjának épületei, belső szerkezetei hazai szervezésben, hazai fejlesztéssel és műszaki irányítással megépüljenek és közel 30 éve problémamentesen üzemeljenek. Az Erőmű igényelte tervezési, kutatási és műszaki fejlesztési feladatok jelentős volumenű tudományos igényű kutatási feladatot biztosítottak a Geodéziai Intézet, ill. jelenleg az Általános- és Felsőgeodézia Tanszék oktatóinak és kutatóinak.

Hivatkozások

- Detrekői Á, Eöry K, Sárközy F (1984): A Paksi Atomerőmű építése során létrehozott zártláncú, automatizált fotogrammetriai-geodéziai információs rendszer. Geodézia és Kartográfia, 4. sz.
- Homolya A (1994): Digitális térképek előállítása IV. Országos Térinformatikai Konferencia kiadványa, Szolnok
- Kiss A (1999): Építési munka minőségét befolyásoló szerkezeti mozgások és deformációk vizsgálata. PhD értekezés, Budapest.

A PAKSI ATOMERŐMŰ TÉRINFORMATIKAI ADATBÁZISÁNAK KARBANTARTÁSA ÉS ADATGYŰJTÉSÉNEK JELENLEGI FELADATAI

Gazsó Márta*



Recent tasks of maintenance and data capture of database for spatial information system in the Nuclear Power Station Paks – This paper summarises the development course of the spatial database of the Nuclear Power Station Paks. The data maintenance and the data service of the public utilities are also shown. The data structure, content and tasks of the recently developed land use register are also presented in the paper.

Keywords: geoinformatics, land use

Az írás összefoglaló képet ad a Paksi Atomerőmű térinformatikai adatbázis kialakulásának folyamatáról, az udvartéri közműnyilvántartással kapcsolatos adat karbantartási feladatokról, és az adat-szolgáltatás folyamatáról. Bemutatja a közelmúltban létrehozott területhasználati nyilvántartás segítségével megoldható feladatokat, felépítését és adattartalmát.

Kulcsszavak: térinformatika, területhasználat

1 Bevezetés

A jól koordinált munkavégzés, és a vállalat szervezeti egységei által végrehajtandó feladatok összetettsége körültekintő figyelmet igényelnek. Az erőmű területe több mint 600 hektár, ennek áttekinthetőségéhez lényeges a térbeli elhelyezkedések és azok kapcsolat rendszereinek ismerete. A szervezetek munkáját megkönnyíti és gyorsítja a megbízható pontos információ, de ehhez elengedhetetlen a helyadat információ is.

Az Atomerőmű területén készített térképek a kezdetektől folyamatosan fejlődtek, bejárva azokat az állomásokat, amelyeket az állami földmérés és a hasonló ipari társaságok napjainkig szintén megtettek. „Ez egy olyan fejlődési folyamat, amelyben a technológia változásait a környezeti, első-sorban az informatikai technológia fejlődése mozgatott” (Németh 2001).

Bemutatom a területhasználati nyilvántartás létjogosultságát az épített környezetben. Ez a megoldás mind önkormányzati, mind nagy kiterjedésű ipari létesítmény esetén alkalmazható. A nyilvántartás elősegíti a helyfoglalással járó karbantartási, létesítési feladatok ütemezését, ütközésmentes koordinálását, mindezeket egy térképi alapú térinformatikai nyilvántartásban.

2 Történeti áttekintés

Az Atomerőmű beruházásának befejezése előtt - 1982 - igény volt a térképek digitális tárolására a generáltervezői feladatok ellátásához, ezzel elkezdődött a térinformatikai nyilvántartás kialakulása. A beruházás befejezése után a létesítmények és a közműrendszerek hiteles nyilvántartására és változás vezetésére volt szükség, a hozzátartozó műszaki adatokkal együtt.

Kezdetben a Contraves cég GRADIS 2000 rendszerrel digitalizálásra kerültek az üzemi térképek, amelynek elérhetősége csak Budapesten volt biztosított.

Az adatok folyamatos helyszíni elérhetőségének igénye miatt 1988-tól a digitális térképek átolvasásra kerültek ITR program alá, akkortól a helyszínen végezték az adatok folyamatos karbantartását. Ez a program nem volt alkalmas a kiegészítő információk tárolására. Ezért más megoldásra volt szükség.

1990-ben az Intergraph cég Microstation 3.3, 1992-ben a 4.0, 5.0 program verziókat használták. 1996-ban a digitális térképek feldolgozottsága elérte azt a szintet, hogy a szakági térképeket, és az összegyűjtött műszaki adatokat térinformatikai rendszerbe lehessen illeszteni.

*Atomix Kft. (PA Rt.), 7030 Paks Pf. 71
E-mail: gazzsom@npp.hu

1996 végén került kiválasztásra pályázat útján a GeoView Systems cég GreenLine GISTool programja. A szoftver nyújtotta lehetőségek által a grafikus és alfanumerikus információkat megfelelően tárolja (Geoview 2002).

Az Udvartéri Térinformatikai Rendszer adatbázis adatokkal való feltöltése 1997 első félévében készült el. Kezdetben, az udvartéri nyilvántartásban 10 alrendszer feltöltése történt meg, ma már 19 alrendszer működik. Az alrendszerek száma folyamatosan bővül az újabb igényeknek megfelelően.

A térinformatikai rendszer több felhasználós üzemmódban, objektum orientált adatbázis kezelést tesz lehetővé a felhasználók különböző jogosultságai szerinti adatlekérdező és adatkarbantartó feladatokhoz.

3 Udvartéri nyilvántartás

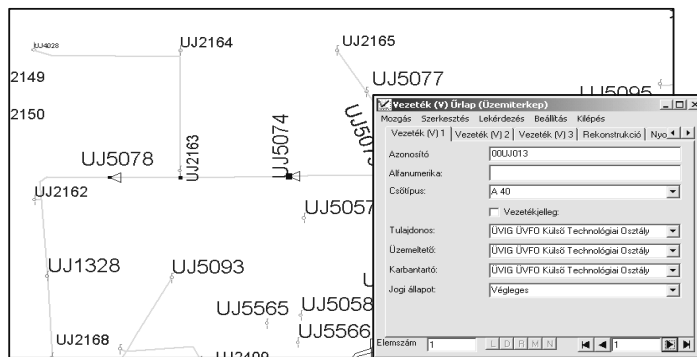
3.1 Adatgyűjtés, karbantartás

Az erőmű telephelyén részletes, valamint annak 30 km-es körzetét lefedő területen szelektív, áttekinthető tartalmú térképi adatnyilvántartás áll rendelkezésre digitális térinformatikai adatbázisban. A saját kezelésben levő területek hiteles üzemi és tervezési térképi adatait és ahhoz kapcsolódó műszaki információit az adatok folyamatos karbantartásával, valamint az ezekről szükséges adatszolgáltatásokat végezzük.

Az udvartéri térinformatikai adatbázis a telephely teljes területén (épületek falsíkján kívül), az udvartéren található felszíni, felszín alatti és az felett lévő létesítményeket (objektumokat) térképi ábrázolási móddal tartalmazza. Egyedi azonosítóval, és ha van, akkor alfanumerikus azonosítóval megkülönböztetve a jellemző műszaki, tervezési, geodéziai bemérési és karbantartási adataival, együttesen objektum-orientált adatbázisban tárolja (épületek, aknák, csatornák, csőszakaszok, kábelek, szerelvények stb.).

A szakági térkép az adott szakágra (villamos, hírközlés, környezet ellenőrzés, hűtővíz, gáz, ivóvíz, szennyvíz, hulladékvíz, csapadékvíz, távhőrendszer stb.) vonatkozóan részletesen tartalmazza a vezeték vízszintes vetületi helyzetét, műszaki és térbeli elhelyezkedésére vonatkozó adatokat (alfanumerika, fektetési mélység, tolózárok, elosztók stb.) szakáganként.

Az adott szakág objektumait (helyszínrajzi, geometriai, topológiai, műszaki és egyéb tulajdonság adatait) is az adatbázis tárolja (1. ábra).



1. ábra. Vízvezetékhez tartozó űrlap

A térinformatikai adatbázisból történő adatszolgáltatás formája lehet:

1. intranet felületen való publikálás (grafikus és szöveges adatok);
2. digitális formátumban (dxf, dgn, dlf);
3. papír adathordozón kinyomtatott térképszelvényen.

A térképi nyilvántartás az épületeken kívüli udvartéri létesítményeket, közműrendszereket, az ingatlan-nyilvántartás térképi és üzemi földkönyvi adatait érinti.

Az adatkarbantartáskor és az adatszolgáltatáskor a következőket kell biztosítani:

1. szakági közműrendszerek nyilvántartása és folyamatos karbantartása;
2. szakági közmű és céltérképek készítése digitális formában;
3. tervezési térkép biztosítása hagyományos és digitális módon;
4. a tervek és változások hagyományos és digitális adathordozón történő fogadása.

Az adatszolgáltatás az alábbi részfeladatok végrehajtásának eredményét jelenti:

1. Tervezési térképi (genplan) adatszolgáltatás térinformatikai adatbázisból, az udvartér területét érintő tervezési tevékenységhez szükséges adatokra, a már korábban elfogadott tervek (engedélyezési, kiviteli, stb.) adatainak figyelembe vételével.
2. Üzemi és szakági térképi adatok adatszolgáltatása térinformatikai adatbázisból a mindenkor megvalósult állapotra, szakági közműtérképi adattartalom szintjéig.
3. Megvalósulási dokumentációk feldolgozása, az udvartér területét érintő létesítések adatai alapján a térinformatikai adatbázis karbantartásával.
4. Térinformatikai adatbázis karbantartása az egyes, udvartéri rendszereket üzemeltető szervezetek műszaki adatai és támogatása alapján.
5. Kiegészítő geodéziai adatszolgáltatások, amelyek a térképi adatokhoz kapcsolódó általános és speciális feladatok elvégzését jelentik. Vízszintes és magassági alappont hálózatok karbantartása, egyedi kitűzések és ellenőrző bemérések, munkaterület átadások kitűzési adatai.

Az igény szerinti, helyszíni beméréssel kiegészített adatokat a tervezési és üzemi térképek adatszolgáltatását a geodéziai csoport végzi. A térinformatikai adatbázisba az adatok feltöltését és a karbantartást külső geodéziai vállalkozó a Geodézia Kft. végzi.

A tervek térinformatikai adatbázisba való rögzítése

Az elfogadott tervek (engedélyezési, kiviteli stb.) helyszínrajzi adatokat tartalmazó tervlapjai a térinformatikai rendszer tervadatbázisában nyilvántartásba kerülnek. Az adatbázis tartalmát generál-tervező tartja karban.

A létesítések (beruházás, felújítás, átalakítás, karbantartás) befejezését műszakilag dokumentáló megvalósulási dokumentáció helyszínrajzi tervlapjait a műszaki átadás-átvételt követő 3 hónapon belül témafelelős megküldi a tervezési és üzemi térképek adatszolgáltatását biztosító szervezet részére a térinformatikai adatbázisba való rögzítésre.

Térinformatikai adatbázis karbantartása

A térinformatikai adatbázis az üzemi térképek szakágakra bontott tartalmát objektum-orientáltan tartalmazza. Így a különböző szervezetekhez tartozó udvartéri közmű és technológiai rendszerek önálló alrendszerként alkotnak az adatbázisban.

Az adatbázis karbantartása, a helyszíni állapot felméréssel történő ellenőrzése, valamint az üzemeltetői megvalósulási dokumentációk egyeztetése során talált eltérés, vagy hiányosság rendezésekor történik, az üzemeltető témafelelősének bevonásával a Geodézia Kft. végzi.

Karbantartás végrehajtása

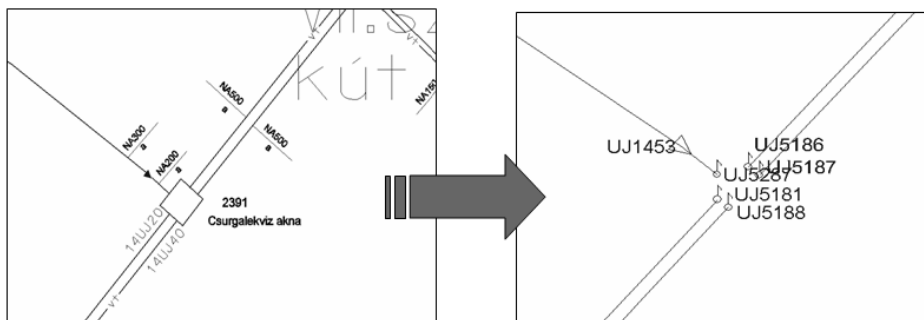
A térinformatikai adatbázis tartalmában változtatás az adatbázisba már betöltött adatok üzemeltetői ellenőrzése során talált ellentmondások javításakor, vagy a korábbi nyilvántartások adatainak további feldolgozásakor, a beruházások, felújítások, átalakítások és karbantartások adatainak adatbetöltésekor keletkezik. Az adatkarbantartást, a tervezési és üzemi térképek adatszolgáltatását az Építész Műszaki Osztály témafelelőse végzi.

Az adatkarbantartás jelenlegi feladata:

1. Módosítások naprakész vezetése, a műszaki objektumok nyilvántartása úgy, hogy azt a helyszínen bárki egyértelműen azonosítani tudja.
2. Hiányosságok felkutatása, és pótlása (2. ábra). Az adatbázis és az egyes szakágak olyan mértékű ismerete szükséges, hogy az előforduló ellentmondásokat a rendszer felelőse felismerje és kijavítsa.
3. Alfanyumikus azonosítók egyeztetése a többi műszaki nyilvántartásokkal való összevetés. „A társ szakterületek által használt informatikai alkalmazások ugyanazokat az objektumokat kezelik – grafikus megjelenítéssel – de ezeket nem térinformatikának, hanem műszaki

tervezésnek és tervfeldolgozásnak (CAD), gazdasági nyilvántartásnak (SAP), munkatervezési rendszernek (MIR), integrált műszaki dokumentációs rendszernek (IMDR) vagy ezek összekapcsolását biztosító integrált műszaki rendszernek nevezzük” (Németh 2003a).

4. Síkraíji változások nyomon követése, helyszínelés és feldolgozás.



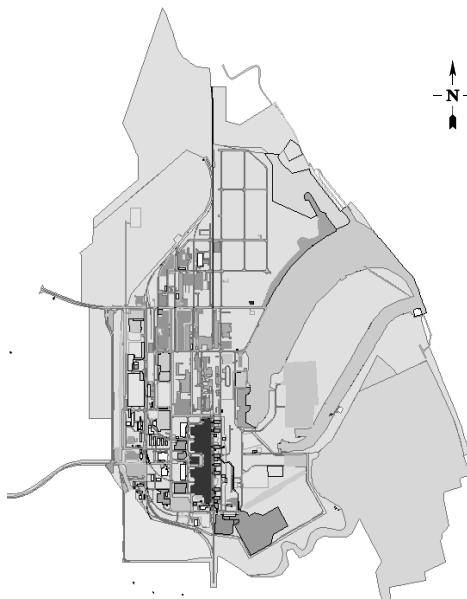
2. ábra. Beolvasási hiba (az akna helyett kút szerelvény)

4. Területhasználati nyilvántartás

A területhasználati nyilvántartás a gazdaszervezetek szerint lehatárolt területi egységek, - térrészek - rögzítése térinformatikai adatbázisban.

„A térrész, az a pontosan meghatározható a térben egyértelműen lehatárolható területi egység, amelyekre vonatkozóan a területhasználati mód ugyanaz és hozzá felelős területgazda tartozik. A térrész határvonalát rögzítő poligon kialakítása, az azonos használati egységet körülvevő jogi és műszaki objektumok metszéseivel történik” (Németh 2003b).

Erre épül a megoldandó feladat, a helyfoglalással járó tevékenységek ütemezése, a munkavégzés koordinálása, a területhasználati rend koordinálásának biztosítása (3. ábra). A poligonok színárnyalatai a különböző területhasználatokat jelölik.



3. ábra. Területhasználati nyilvántartás

4.1 A területhasználat elhatárolása

A térrészeket az ugyanarra a területre vonatkozó azonos használati mód alapján határoljuk el, amely a területgazda szervezet jellemző területhasználati tevékenységére, vagy magára az építményre utal (4. ábra).

Így lehet: üzemeltetés, raktározás, tárolás, út, vasút, parkosított terület, felvonulási zöld terület, külterjes művelésű terület, erdő, halastó, árok, beton burkolat, övcsatorna, árvédelmi töltés, parkoló, épület, telephely, biztonsági nyomsáv, termelőkút, környezeti távmérő állomás, építési törmeléklerakó, földút, illetve szükség szerint még további használati módok.

Ha a kialakítandó térrészek határvonala nem egyértelmű és nem határozható meg jogszabályi, vagy műszaki előírás alapján, akkor az érintett területgazda szervezetek megállapodása alapján történik az elhatárolás.

A nyilvántartás kiterjed minden olyan tevékenységre, ami a területet:

1. ideiglenes,
2. állandó módon érinti.

4. ábra. Állandó területhasználat adatlapja

Minden területnek (térrésznek) megvan a maga területgazda szervezete. A területgazda szervezet az azonos használati módú földterület felelős gazdája, aki az érintett térrészen végzett, bármilyen tevékenységről – elsősorban munkavégzési tevékenységről – naprakész információval rendelkezik. A terület mindenkor rendjéért és annak munka- és tűzvédelmi, valamint környezetvédelmi megfelelésségéért felelős.

4.2 Ideiglenes területhasználatot eredményező tevékenységek

A területgazdák felelősségi körébe tartozó térrészekhez, a térrésszel kapcsolatban lévő – létező, vagy tervezett - műszaki objektumokra ideiglenes területhasználati – területfoglalási - igények keletkezhetnek, amelyek közös jellemzője: a helyfoglalás időtartama és annak optimális határvonala.

Minden olyan változást területhasználati igényként kell kezelni, amely a terület jelenlegi, vagy jövőbeni használatát módosítja, a helyszín állapotában változást eredményez (ásás, térburkolat bontása, stb.), illetve a vele kapcsolatban lévő műszaki objektum helyzetében (nyomvonal csere, átépítés, megszüntetés, stb.) változást eredményez.

„A területhasználati igényt közvetlenül a területgazda szervezettel kell egyeztetni abban az esetben, ha az nem okoz a műszaki objektum fizikai helyzetében változást, vagy nem jár bármilyen nagyobb mértékű forgalomkorlátozással” (PA Rt. Tulajdonú területek állandó és ideiglenes terület-használati igényeinek nyilvántartása, Eljárásrend, 2003, ELJ-MSZA-03-01)

Területhasználati igények közös jellemzője:

1. helyfoglalás időtartama,
2. határvonala.

A tervezett új műszaki objektumok helyfoglalását már a tervezés előkészítési időszakában el kell indítani.

A helyfoglalás nyilvántartásba vétele lehetőséget ad:

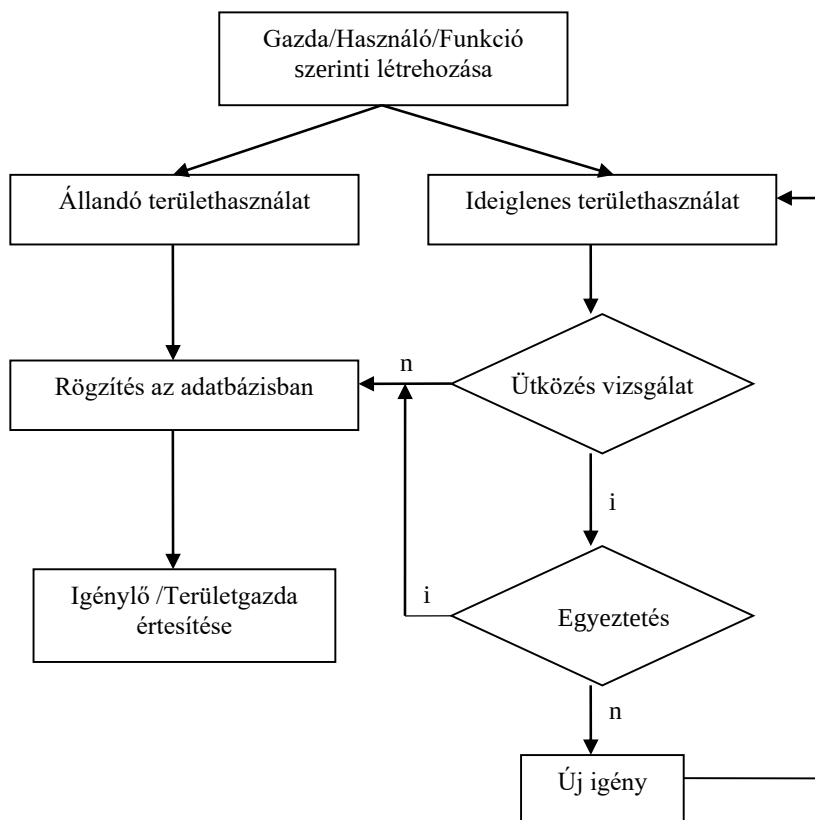
1. műszaki koordináció biztosítására,
2. tervezési térkép karbantartására.

A helyfoglalási igényt be kell vezetni a nyilvántartási adatbázisba, amennyiben ütközés áll fenn akkor, jelezni kell a tervezőnek. A nyilvántartó szervezet témafelelőse az optimális területfoglalás meghatározása után az azonos időtartamon belül megmaradó ütközésekről értesíti az érintett igénylőket. Az adott térrész foglalására másodikként beérkezett igénylője a megegyezés hiányában előterjesztést készít az eljárásrend szerint vezetői döntésre, amelyről témafelelős visszaigazolást küld a kezdeményező részére.

Az adatok közzététele az Atomerőmű Intranet felületén történik.

4.3 A területhasználati nyilvántartás blokk sémája

Területhasználati objektumok kialakítása:



5. Összefoglalás

Folyamatosan haladunk abba az irányba, ahol a térben elhelyezkedő objektumokat olyan adatbázisban képezzük le, amely már nem csak a digitális térkép igényeit elégíti ki, hanem biztosítani tudja a műszaki területek szakmai alapinformációit, a műszaki és gazdasági tervezéshez szükséges kapcsolódó adatokat, az objektumoknak a helyszínen történő módosításából eredő műszaki adatait.

Az üzemi terület kiterjedése több száz hektár, ahol számtalan szervezet és külső vállalkozó használja a terület egyes részeit, térrészeit. Az adatbázis alapját a térrészek képezik, területhasználat szerint lehatárolható területi egységekkel. Ennek részét képezi az állandó és ideiglenes területhasználati igények nyilvántartása. A térbeli ábrázolás támogatja, a folyamatok jobb modellezését a helyfoglalások döntéseinek előkészítésében, valamint a munkavégzések koordinálásában.

A területhasználati nyilvántartást mindenki megnézheti az Intranet hálózaton, amiből kiderül, hogy milyen tervezési feladatok vannak folyamatban, amiknek térbeli helyfoglalási vonzata van.

Hivatkozások

- Geoview Systems Kft.** (2002): Paksi Atomerőmű Rt. Udvardéri Térinformatikai Információs Rendszer - program dokumentáció, Budapest
- Németh A** (2001): Digitális térképek a Paksi Atomerőműben, Geodézia és Kartográfia, 10, 16-20.
- Németh A** (2003a): Térinformatika az Atomerőműben, Geodézia és Kartográfia, 04, 24-29.
- Németh A** (2003b): PA Rt. Tulajdonú területek állandó és ideiglenes területhasználati igényeinek nyilvántartása, Eljárásrend, ELJ-MSZA-03-01, Paksi Atomerőmű Rt.

REAKTOROK HELYZETMÉRÉSI EREDMÉNYEI – MÉRÉSI TECHNOLÓGIA ÉS A GYAKORLAT 1990-2004

Ábrahám György, Kovács Gábor*, Németh András***



Results of reactor position measurements - measurement technology and practice 1990-2004 – The presented measurement technology is a unique geometric method among the maintenance services of the nuclear power station, which proved to be an applicable procedure in the field of high precision size control. The measurement method adapted for the VVER 440 type of reactor in the Nuclear Power Station Paks is an example of the cooperation between different technical areas and the applicability of engineering geodesy in the field of mechanical size control.

Keywords: engineering geodesy, reactor position measurements

Az ismertetett mérési technológia egy olyan egyedül álló geometriai helyzetmérési módszer az atomerőmű karbantartási tevékenységei között, amely bizonyította alkalmazhatóságát a nagypon-tosságú méretellenőrzések körében. A VVER 440 típusú reaktorok közül a Paksi Atomerőműre ki-dolgozott mérési módszer példa a különböző szakterületek együttműködésére, valamint a mérnök-geodézia felhasználhatóságára a gépészeti méretellenőrzések területén.

Kulcsszavak: mérnökgeodézia, reaktor helyzetmérés, zónakosár

1 Bevezetés

A mérnökgeodézia az a szakterület a geodézia területén belül, amely a mérnöki létesítményekkel kapcsolatos geometriai adatok meghatározására specializálódik. A létesítmény és alkotó elemeire biztosít adatokat a geometriai helyzetük vizsgálatához a tervezett mérettűrűsük alapján.

A gépész technológia fogalmi használata szerint a rendszerelemeknek, vagyis a berendezéseknek és alkotóelemeiknek a geometriai adatait ismerni kell a különböző életciklusukban. A rendszerem életciklusa egy olyan folyamat, amely a tervezésükkel indul és a létesítésen keresztül az üze-meltetés indításával egészen annak leszereléséig tart. A mérnökgeodézia helye és szerepe a tervezett geometriai rend biztosításában könnyen érthető a kitzúzések és ellenőrző mérések feladatainál, azon-ban az üzemeltetés során a karbantartási tevékenységek között már nem jellemző tevékenység. Az igény ilyenkor csak akkor vetődik fel, ha a mérendő geometriai adatok túllépik a gépész szakterület által biztosítható mérőeszközök mérési tartományait. Ilyen geometriai adat biztosítására történt mérési technológia kidolgozása a reaktor tartály nagyberendezéseinek karbantartási folyamatában a geometriai helyzet ellenőrzésére 1990-ben, amit akkor a Budapesti Műszaki Egyetem Finommecha-nikai Optikai Intézete dolgozott ki (Ábrahám et al. 1993). A mérési technológia eredményesen bi-zonyította helyét a karbantartási tevékenység támogatásában.

Bemutatom a mérnökgeodézia feladatai között a mérési technológia helyét, célját és elméleti megoldását a fontosabb elemek ismertetésével a gyakorlati tapasztalatok alapján.

2 A mérnökgeodézia szerepe a létesítmény életében

A mérnöki létesítmények és alkotóelemeik életében a mérnökgeodézia elsősorban a tervezéshez és a létesítéshez nyújt támogatást a tervezett geometriai rend biztosításával, de feladatai itt nem fejeződ-nek be, folytatódnak a létesítmény fontosabb alkotóelemeinek (szerkezetek, berendezések) működé-sükhöz szükséges geometriai adatainak biztosításával, az előre megtervezett feltételek és az élettart-am gazdálkodási tevékenység igényei szerint.

A mérnökgeodézia feladatai:

1. Térbeli elhelyezés terv szerinti biztosítása (tervezési alaptérkép és kitzúzés)
2. Geometriai méret és méretváltozás meghatározása (ellenőrző és deformáció mérés)

*BME GPK MOMT, 1521 Budapest, Műegyetem rkp. E. ép III/13

**PA Zrt. MVIGH MIG MFO ÉMO

E-mail: abra@fot.bme.hu – anemeth@npp.hu

3. Valós helyzet meghatározása – x, y, z – (megvalósulási bemérés)

Az általánosan megfogalmazott feladatkörökben elhelyezhetőek mindazok a mérnökgeodéziai résztevékenységek, amelyek a napi gyakorlatban előfordulnak. A mérnökgeodéziai szakterület is, a geodéziai tevékenységek részeként, szolgáltatást biztosít (geometriai paraméterekkel) más szakterületek részére úgy, hogy a középpontban minden esetben maga az objektum van. Rá vonatkoznak azok az információk, amiknek összessége a működtetésük döntési adatait biztosítják. Hogy mely objektumok (alkotóelemek) esetében van szükség geometriai adatokra és azoktól milyen pontosságot várunk el, azt a tervezőnek kell eldöntenie. Természetesen a gyakorlati élet is hozhat további feladatokat, ilyen pl. a szerkezetek mozgásvizsgálata.

2.1 Reaktor Helyzetmérő Mérőrendszer (RHM)

A reaktor helyzetmérési technológia helye a mérnökgeodéziai feladatok között

A geometriai méret-meghatározási feladatok között kiemelkedő helyen szerepel a reaktorok nagyberendezéseinek helyzetellenőrzése. A karbantartási feladatok között az üzemanyag kiemelése után a nagyberendezések anyagvizsgálatára is sor kerül. Ilyenkor a tartályban elhelyezett zónakosár a fékezőcső blokk (FCSB) berendezéssel együtt kiemelésre kerül, majd a vizsgálatok után visszahelyezik a reaktor tartályba. A visszahelyezés ellenőrzése a reaktor tartály osztósíkjának felületéhez történik, amelynek korábbi módszere szerint a kb. 4000 mm-es távolság meghatározása mérőrúddal történt az eredeti karbantartási technológia szerint.

A mérési technológia feladata

A reaktor az erőmű szíve. Karbantartása során (Németh és Szarka 2000) a szerelési méretpontosság ellenőrzése nem csak műszaki kérdés, hanem üzembiztonsági és közgazdasági követelmény is.

A karbantartásuk során a reaktortartály nagyberendezéseinek szétszerelésekor szükséges a berendezések kiemelése előtti és visszahelyezés utáni geometriai helyzetének ellenőrző összehasonlítása. A geometriai helyzet viszonyító síkja a reaktor tartály osztósíkjá, amelyhez a berendezéseknek adott geometriai helyzetben kell lenniük. Ez a geometriai helyzet módosul, ha a berendezések közé „idegen test” kerül az összeszerelés során. Ez az összeszerelési hiba a védőcső blokk helyére illesztése után ismertté válik az RHM mérés nélkül is, ekkor azonban a zónakosarat ismételt ki kell venni, előtte a berakott üzemanyagot ki kell rakni. Az „idegen test” eltávolítása után emelhető be újból a zónakosár, ezután be kell rakni az üzemanyagot, majd folytatódhat a reaktor összeszerelése. Vagyis egy olyan szerelési folyamatban van helye a mérőrendszernek, ahol a szerelés megállítása, vagy folytatásának engedélyezése a kérdés.

A mérésnek a zónakosár első visszahelyezési pozíciójában kell egyértelmű döntési alapinformációt adnia az összeszerelés folytatásához.

A mérési technológia célja

1. A zónakosár geometriai helyzetének ellenőrző mérésével kimutatni az esetlegesen bekerült „idegen test”-et a zónakosár és az FCSB közös felfekvési felülete között, vagy az akna felfüggesztési felülete alatt, még az üzemanyag behelyezése előtti időpontban.
2. Az „idegen test” elfoglalt helyzetének a meghatározása az eltávolítási művelet megtervezéséhez.
3. Hitelesnek elfogadható mérési, számítási és dokumentálási módszer alkalmazása.

A mérési technológia elvárt eredményei

1. Az ellenőrző mérés eredményének megbízhatósága:
Az alpmérésben meghatározott nagyberendezés felső síkjának a reaktor osztósíkhhoz viszonyított síkhelyzete 0,2 mm abszolút bizonytalansággal ($\pm 0,1$ mm) adjon értékelhető eredményt a visszahelyezés utáni helyzetben ellenőrzött nagyberendezés felső síkjára, a felület ugyan azon vizsgálati pontjain felvett helyeken. (Három darab, a reaktor középpontból induló egymással 120 fokos szöget bezáró sugarú körön lévő vizsgálati pontban, adott számú csavarhelyek irányában.)
2. A nagyberendezés helyzetét rögzítő adatok:

A felvett vizsgálati pontokban a reaktor osztósíkja és a nagyberendezés felületét helyettesítő síkok közötti számított távolságok a legközelebbi és legtávolabbi pontokban, megadva ezen a helyeken a csavarhely pozícióját.

3. A visszahelyezés utáni helyzet kiértékelésének alapadata:

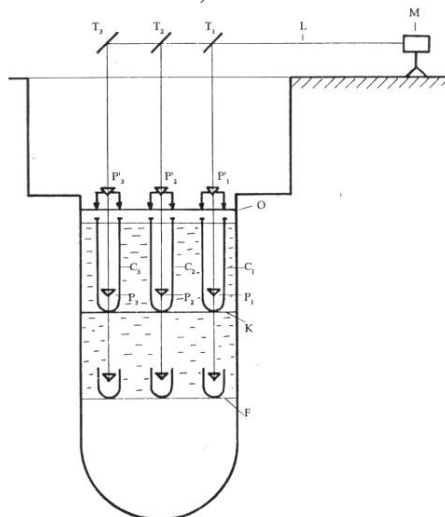
A viszonyító és visszahelyeztet helyzetet bemutató síkok azonos léptékben ábrázolt eltérés grafikonja, amely a két síkot a reaktor osztósíktól való ferdeség és a csavarhely irányok tengelyein ábrázolja. A ferdeség, a reaktor osztósíkjaival párhuzamos síktól való eltérésnek a mértéke tizedmilliméterben.

Az RHM működési elve

A működő atomreaktorok időszakos ellenőrzésekor a reaktor osztósíkoknak és a "kosár" felső felületének, valamint az osztósíkoknak és a fékezőcső-blokkok felső felszínének egymáshoz képesti helyzetét hivatott mérni. A mérést egymástól 120°-os szögben, tehát 3-3 egymás alatti pont távolságának meghatározásával kell elvégezni.

A reaktorok fokozatos szétszedésekor meghatározott méreteket kell összehasonlítani azok összerakásakor mért értékekhez. Ezek alapján megnyugtató döntést lehet hozni az összerakás hibamentes végrehajtását és a rákövetkező műveletek elvégezhetőségét illetően. Ezzel a módszerrel elkerülhető az, hogy csak az utolsó szerkezeti elem elhelyezésekor derüljön ki valamilyen szerelési pontatlanság.

Az RHM a lézeres távmérés elvén működik, amit az 1. ábrán mutatunk be.



1. ábra. A mérés elvi ábrázolása

Az M (Mekometer-5000, a továbbiakban ME-5000) polarizációs modulációs elven működő lézeres távmérő kibocsátja az L lézernyalábot, amely a T1, T2, vagy T3 tükrök segítségével irányt változtat és eljut a mérendő felületen elhelyezett C1, C2, C3 csövek alján belül rögzített P1, P2, P3 sarokprizmákhoz. A prizmák a csövek aljától ismert távolságra helyezkednek el. A fény a sarokprizmán önmaga irányába verődik vissza, és ugyanazon az úton eljut az M távmérőhöz. A távmérő meghatározza a P prizmák távolságát a távmérő álláspontjától.

Tekintettel arra, hogy nem a távmérőtől, hanem az O osztósíktól kell ismerni a K kosár, illetve az F fékezőcső-blokk felületek távolságát, így ezt követően meg kell határoznunk az osztósík távolságát is a távmérőtől, hogy azután a keresett méretet a két mért távolság különbségeként előállíthassuk. Az osztósík távolságának meghatározása újabb sarokprizmák (P'1, P'2, P'3) elhelyezésével történik a már felhasznált fénysugarak útjában. A C alulról zárt csövek alkalmazása azzal az előnnyel jár, hogy a lézerfénynek nem kell a primerkörű hűtőközegen áthatolnia, hanem levegőben teheti meg oda-vissza útját.

A mérésnél fontos betartani azt, hogy egy-egy függőlegesben történő két mérés közben a fénynyaláb a távmérő és a tükrök helyzete ne változzék meg.

A különbségmérés miatt a távmérő és az osztósíkon elhelyezett sarokprizma közötti távolság kicsik, így annak abszolút értékét nem is kell meghatároznunk.

A C1, C2, C3 mérőcsövek kétféle méretben kerülnek alkalmazásra attól függően, hogy a K kosár vagy az F fékezőcső-blokk mérése folyik.

A távmérésnél He-Ne lézertípust használunk. A mért távolság az ún. optikai úthossz lesz, ami a geometriai úthossztól annyiban tér el, hogy tartalmazza a közeg törésmutatóját is. A törésmutató függ a közeg hőmérsékletétől, páratartalmától és nyomásától, ezért ezeket a paramétereket is mérni kell, és az eredmények kiértékelésénél figyelembe kell venni.

RHM műszerrendszer leírása

ME-5000 lézer fénytávmérő műszer és a 46,5°-os tükrök

Az elektrooptikai fénytávmérő, lézermóduláló fénnyel működő műszer, amely a gyári katalógus szerint 20 métertől 8 km-ig $\pm 0,2$ mm távolságtól független és $+0,2 \cdot T(\text{km})$ ppm távolságtól függő mérési középhibával rendelkezik. A mért ferde távolságot egy processzor által vezérelt automatikus mérési folyamat végén 0,1 mm élességgel adja meg. Egy mérési folyamat időtartama átlagosan 2-3 perc. A műszer lehetővé teszi, hogy külső, csatlakoztatott számítógép segítségével program által vezérelt üzemmódban 20 méternél rövidebb távolságok is mérhetőek legyenek, és a mérési eredmények közvetlenül a processzorból kiolvashatóak 0,001 mm élességgel.

A műszer leírását külön a műszerhez szállított kezelési utasítás tartalmazza. A műszer távvezérléses üzemmódban kerül felhasználásra, beállítását illetően a számítógépi szoftver leírásánál feltüntetett üzemmódokat kell alkalmazni.

A műszer homlokfelületéhez egy speciális tükrörszéket kell csatlakoztatni, amely a helyes polarizációs viszonyok beállítását végzi, és eltéríti a lézernyalábot 93° -kal. A műszer táplálása egy hálózati adapterrel történik.

Laptop számítógép

A rendszert számítógép vezérli, és ugyancsak számítógép gyűjti az adatokat és végzi azok kiértékelését. A vezérlő programot a MekoWare v4-et 2002-ben Dr. Kovács Gábor aktualizálta Windows XP operációs rendszerre, amely már alkalmas a zónakosár helyzetmérése mellett, a mérőprizmák hitelesítésének mérési feladatára, valamint a hagyományos terepi távolságmérés adatainak jegyzőkönyvezett rögzítésére. A számítógépet az ME-5000 műszerrel RS 232 soros vonalon kell összekötni.

Tükrörszékek

A tükrörszékek függőleges és vízszintes tengely körüli mozgatóval rendelkező, a tükröket saját normálisuk és a vízszintes irány közötti $46,5^\circ$ -os szög vízszintes tengely körüli megváltoztatására, illetve az állvány és az ME-5000 relatív pozíciója szerint előre beállított szög függőleges tengely körüli megváltoztatására szolgáló szerkezeti elemekkel rendelkeznek.

A tükrörszékekbe befogott tükrök 160 x 200 x 6 mm-es alumíniummal gőzölt tükrök, amelyeknél biztosítani kell a tükrök felületek szennyeződés-mentességét. A tükrörszékek a csavarhely pozíció szerint számozással vannak megjelölve, így mindig arra a helyre kerülnek felhelyezésre.

Tükrőállvány

A 3 mérőhelynek megfelelően a tükrörszékek felfogatása az állvány feladata a reaktor akna felett. Az állványokat a 19, 39, 59 sorszámú reaktorkupola leszorító csavarhelyekre kell 3-3 töcsavarral rögzíteni a 22,40 méteres szinten, úgy hogy az állványok reaktorközép felé eső végére szerelt tükrök éppen a mérőcsövek fölé kerüljenek.

Az állványokhoz rögzíteni kell a tükrőmotorok távvezérlő kábeleit. A kábelek több ponton csatlakozókkal bonthatók, egyszerre csak egy mérőhely aktivizálható.

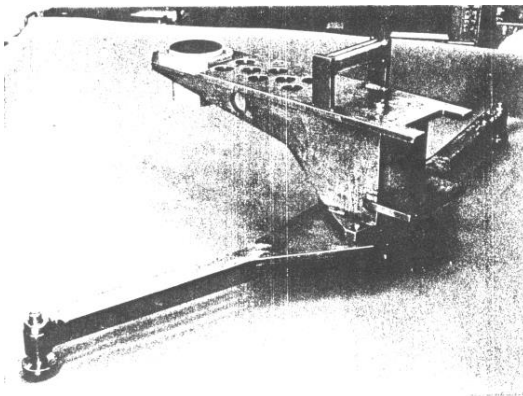
Távvezérlő

A távvezérlő a mérőműszer mellett van elhelyezve. Rendeltetése a tükrörszék motorjainak mozgátása a tükrök függőleges illetve vízszintes tengely körüli elfordítására.

Bázistranszformátor

A bázistranszformátor feladata az osztósík felületének, mint mérőbázisnak a lézerfény útjába történő transzformálása. Ezt oly módon valósítja meg, hogy állandó mechanikus kapcsolatot hoz létre a fény útjába helyezett referencia prizma és az osztósíkon illeszkedő 3 pontos felfekvést biztosító lábak között (2. ábra).

A lábak által reprezentált sík - amely az osztósík egy mintavételezett darabja - és a prizma között az osztósíkra merőlegesen állandó nagyságú távolság van. Ez a távolság a hitelesítés során kerül meghatározásra, és a mérőcsőben lévő prizmákkal együtt korrekcióként vesszük figyelembe. A bázistranszformátort a mérőcső prizmával létesített mérőnyalábba kell utólag betolni, és közben a fénynyalábot nem szabad megváltoztatni. A tükröket és az ME-5000-t nem szabad állítani, még jelmaximum keresés céljából sem.

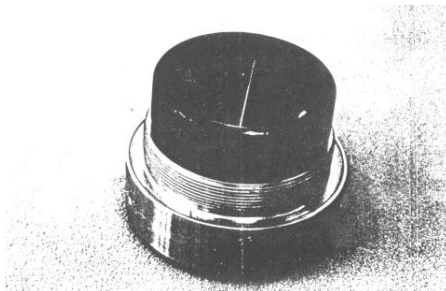


2. ábra. Bázistranszformátor

Mérőcsövek:

A mérőcsövek feladata hármas:

- hordozzák és befoglalják a mérőprizmákat, megvalósítanak a csövek alsó, tapintó felülete és a prizmák között egy-egy előre behitelesítet állandó távolságot, amit a kiértékelésnél figyelembe kell venni (3. ábra).
- biztosítják, hogy ne kerülhessen víz a fény útjába, így ne kelljen számolni annak törésmutatójával, esetleges zavarosságával és felszíni reflexiójával
- biztosítják a fénynyaláb helyes irányát oly módon, hogy felső részükön a karimán elhelyezett blendével és a csövek alján elhelyezett prizmával mintegy 5 szögpercnél nagyobb csőtengelyhez képesti hibával nem jöhet vissza fény a prizmákról. A méréshez biztosítani kell a mérőcső helyes irányát.



3. ábra. Mérőprizma foglalata tapintó felülettel

Tájéoló vonalzó a mérőcsövek pozicionálásához

A mérőcsövek alsó részén elhelyezett pozicionáló csapok biztosítják azok alsó végének helyzetét. A mérőcső felső végének z osztósíkba becsavart M 140-es zárókupakok külső átmérője szerinti felüle-

tei szolgálnak bázisként. Így a hozzáillesztett sablon pozicionálja a mérőcsövek felső végeit. (Az M 140-es zárókupakokat meg kell húzni a beállítás pontossága miatt).

Ez a pozicionálás ideiglenes jellegű és kézi végrehajtású. Csak addig kell használni, amíg a következő pont szerinti csőmegfogó szerkezet a sablon (tájéoló vonalzó) által előírt pozíció nem lett rögzítve.

Csőmegfogó szerkezetek

A reaktortartály osztósíkján egy biológiai fedél kerül elhelyezésre, amelyben a vizsgálati helyeken kinyitható nyílások biztosítják a mérőcsövek leengedését. A csövek felső helyzetének beállítását e szerkezetek biztosítják. Használatuk során a tájoló vonalzó által kijelölt helyzetű csövet körülveszik és megtámasztják ollószerűen.

Meteorológiai adatok meghatározására szolgáló műszerek

Az RHM tartozéka egy barométer, egy higrométer és egy vízhőmérő. Kezelésük a szokásostól a következőkben tér el:

A meteorológiai adatokat a mérőcsövekben lévő levegőre kell meghatározni a vízhőmérséklet alapján. Az ME-5000-től a mérőcsövekig kétszer mérünk távolságot (mérőcső prizmája és a bázis-trafó az osztósíkon), ezek korrekciója kiesik a kivonás miatt (relatív távolság számítása az osztósík és a nagyberendezés felső síkja között).

A légnyomás meghatározása a csarnok a 22 m-es szinten történik, és a kapott értékhez hozzá kell adni 1 Hgmm-t az osztósík 12 m-es mélysége miatt.

A relatív nedvességtartalmat az osztósíkon kell mérni, a hőmérsékletet pedig a vízben, közelítőleg a mérőcső felénél.

Segédberendezések és eszközök

Phsichrométer - a levegő páratartalmának meghatározásához használt száraz és nedves levegő hőmérsékletének mérésére használt eszköz.

Vízhőmérséklet mérő - a mérőcsövek mellett a primerkörü folyadék hőmérsékletének meghatározására.

Reaktortartály biológiai fedele - a reaktor tartály lefedését és a csőmegfogó szerkezetek elhelyezését biztosító berendezésem.

Mobil szerelő lift - a reaktorakna vízzár oldalán elhelyezett berendezés az aknába történő gyors be és kiszállás biztosítására, a biológiai fedél, a mérőcsövek beállítása, a meteorológiai adatok mérése, valamint a 39 és 59 pozícióban lévő állványok beállításának idejéig.

2.2 Az RHM rendszer kalibrálása

ME-5000 elektrooptikai fénytáv mérő műszer

A műszerrendszer alapeleme, amelynek mindenkor fizikai állapota kihat a mérési eredményekre. A He-Ne lézer mérőfrekvenciáját kvarc kristály biztosítja, amelynek „öregedése” a mérőfrekvencia változását és egyben a mért távolság abszolút értékének (mérőműszer – prizma) időbeni változását eredményezi. Ez különösen akkor jelenthet problémát, ha ugyan azt a távolságot nagy időbázissal ismételtelen meg akarjuk határozni. A műszernek ezt a változását hitelesítéssel, vagy kalibrálással kell meghatározni.

A reaktorelemek helyzetmérésénél a tapintóprizma és a bázis-trafó abszolút távolságainak a különbségeivel dolgozunk, ezért ez a hiba csak akkor jelenthet komolyabb problémát, ha a műszer kvarckristálya az egyes mérési pozíciók közötti időtartam alatt változna, vagy ha a szétszerelés előtti viszonyító mérés időpontja nagyon távol van a visszahelyezés utáni méréstől, és az egyes mérőpozíciók hosszkülönbségeit akarjuk közvetlenül összehasonlítani.

Az ME-5000 esetében általában biztosított a frekvencia ellenőrzése egy 50 Ω -os kimeneten keresztül, hitelesített atomórával történő kalibrálással. Az ellenőrzés eredménye közvetlen információt ad a kvarc kristály állapotáról és egy ΔL szorzó értékkel kell javítani az abszolút hosszértéket a számítások előtt.

Az ME-5000 esetében is fontos a kalibrálás, mert maximális pontosságot akarunk elérni. Ezért évente egy alkalommal a következő mérési kampányra való felkészülés keretében összefoglaló frekvencia-akalibrálást végeztetünk (MTA-MMSz Kft.). Egyúttal ilyenkor megtörténik a FÖMI megbízása keretében a Gödöllőn lévő alapvonal ellenőrző mérése is.

Bázistrafó, tapintóprizmák, tükrörszékek

Ezek a műszerelemek biztosítják RHM rendszerben a lézervény szabályozott útvonalát.

A bázistrafó és tapintó prizmak (A, B, C, D) összeadó állandója az az érték, amellyel a mért távolságok különbségértékét megjavítva a berendezés osztósíktól mért közvetlen távolságát kapjuk.

Az alap meghatározás 1990-1991-ben a BME FOT Optikai Laboratóriumában történt (1. táblázat).

1. táblázat. Mérőprizmak összeadó állandói

Tapintó jele/pozíciója	A/59	B/hosszú cső	C/19	D/39
$X_p - X_b$ (mm)	-140,379	-140,252	-139,923	-140,110

Ezek a műszerelemek saválló anyagba, illetve alumínium foglalatban tartalmazzák a mérőprizmakat. Az elemek felfekvési felülete kopás, sérülés, vagy a bázistrafó deformációja esetén módosítják az összeadó állandó értékét. Különösen kényes a bázistrafó prizma foglalatja, ezért ezt a műszer elemet fokozott gondossággal kell kezelni.

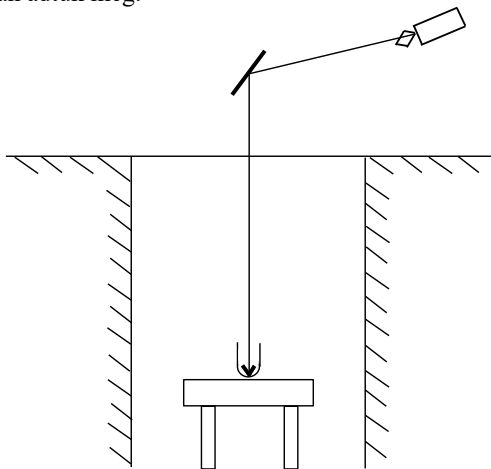
A műszerelemek kalibrálását évente egyszer, az ME-5000 műszer frekvencia kalibrálása után célszerű elvégezni a következő mérési kampány előkészítése keretében. A mérési elvet a 4. ábra mutatja.

A prizmak és a bázis trafó kalibrálása a valóságos viszonyokhoz hasonló optikai sugármenet szerint történik. (A tükrözög, az ME-5000 és a tükrözög közötti nyaláb vízszinthez viszonyított szög.)

A tükrörszéket tartó állvány, a vasúti bejáró fölött a 18,9 m szinten lévő két egymástól 10 cm távolságra elhelyezett fedlap közé behelyezett segédszerkezethez kerül rögzítésre. A vasúti bejáró szintjén, annak tengelyvonalában gránit lapot kerül elhelyezésre, libellával vízszintezve. Egy síktükörrel történik a függőleges irányvonal beállítása, amely nagy gyakorlatot igénylő feladat. A gránitlapon elhelyezett tapintó prizmakra és a bázistrafóra mért távolságok különbségéből a mérőprogram számolja a tapintó állandók értékét. Az eltelt időszak alatt nem változott meg az összeadó állandó értéke.

A tükrörszékekben található tükrözög kalibrálása az atomerőmű telephelyén nem lehetséges. Ezért szükség szerint BME GPK MOMT Optikai Laboratóriumában ellenőriztetjük (4. ábra).

A jelenlegi tükrözög cseréje és a tükrörszékek karbantartása 1999-ben megtörtént. A tükrözög görbületi sugarait a 2. táblázatban adtuk meg.



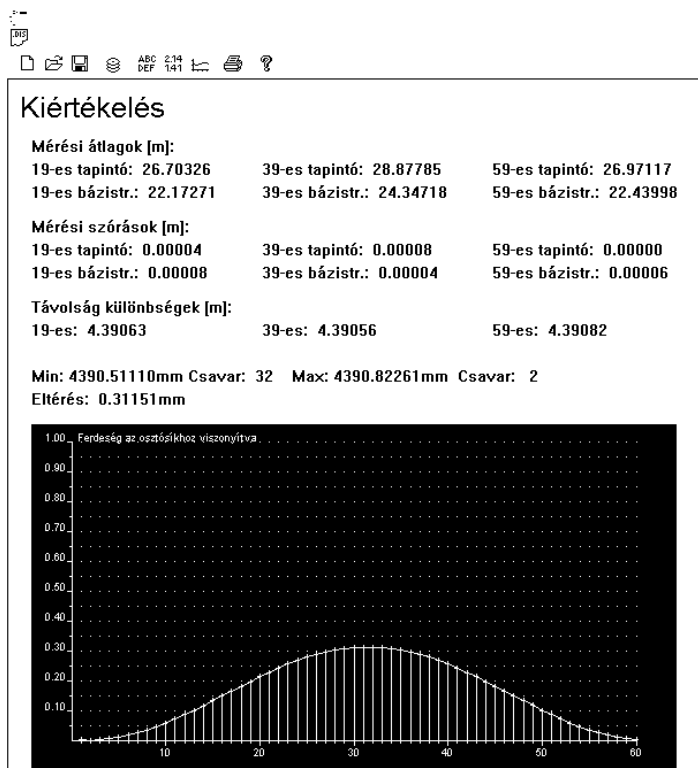
4. ábra. Mérőprizmak kalibrálása

2. táblázat. Tükrök görbületi sugarai

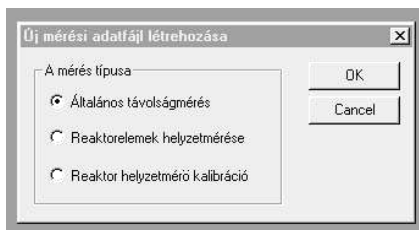
Pozíció száma	Görbületi sugár (m)
19	417
39	100
59	170/170

2.3 Az RHM mérőprogram

A mérést vezérlő program (5. ábra) kidolgozása biztosítja a hiteles dokumentálást, igazodva a mérési technológia egyik alapcéljához, vagyis a mérést végző személyektől független szubjektív hibák kizárását. Ha a mérőrendszer beállítása megtörtént, akkor csak a mérőpozíció kiválasztása szükséges a programban, majd az indítás után türelmes várakozás a mérés számának megfelelően. Az adatrögzítés a processzorból program által vezérelten megtörténik az adatlekérés indításával (6. ábra), figyelve a szignál jelet a mérőműszeren, amikor a mérési eredményt kijelzi. Ez azért jelentős támogatás a programtól, mert a műszer processzora a 1987-es év technológiáját tartalmazza.



5. ábra. A mérőprogram egyik képernyő felülete



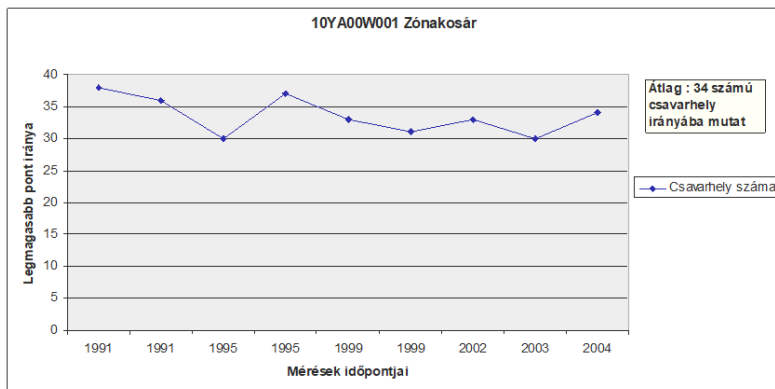
6. ábra. Mérés típusának kiválasztása

A mérőprogram használatát természetesen nem csak a kezelő személy gyakorlata, hanem a futtató hardver, mint környezet is befolyásolja. A tapasztalatok alapján a programnak további finomításai-val lehetne a felhasználást tovább támogatni a mérés során, de egyben szélesíteni az elemzési részét is, hiszen egyre több adatunk van az elemzésekhez (pl. hőmérsékletből adódó változások) a berendezések időben változó adatainak feldolgozásához.

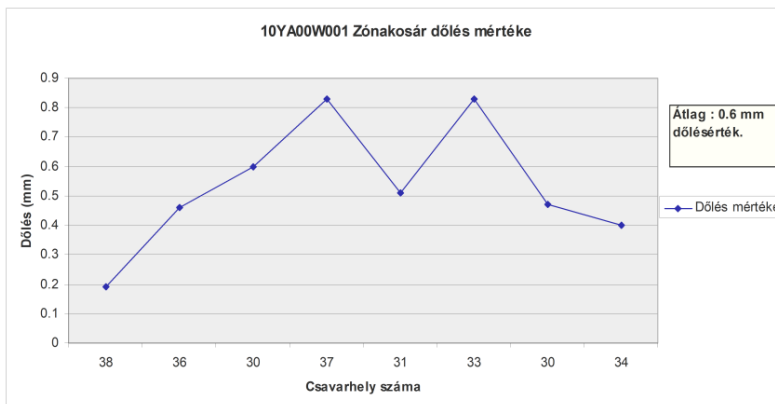
2.4 Az RHM mérési eredmények 1990-2004

A mérőrendszer mérési adatainak feldolgozott eredményét a három egymással 120°-os szöget bezáró vizsgálati pontra illesztett kiegyenlítő sík és annak adatai jelentik, amelynek viszonyító helyzetét a reaktor tartály osztósíkjára illesztett sík adja. Vagyis nem a vízszintes irány, hiszen a tartály belső berendezésének a tartály geometriai helyzetében kell a helyén lennie. Természetesen ez közel vízszintes síkot jelent az üzemeltetési feltételek miatt. A tartály osztósíkjának vízszinteségét, vagy ebből következően a tartály tengelyének függőlegességét, a tartályt alátámasztó un. támgyűrű és annak teherhordását biztosító épületszerkezeti teherhordó szerkezetek mozgása tudja befolyásolni. Ezeket a mozgásokat a mozgásvizsgálati mérésekkel lehet detektálni. Ennek kérdései az RHM rendszerhez közvetlenül nem kapcsolódnak, ezért nem ismertetem annak mérnökgeodéziai vonatkozása-it.

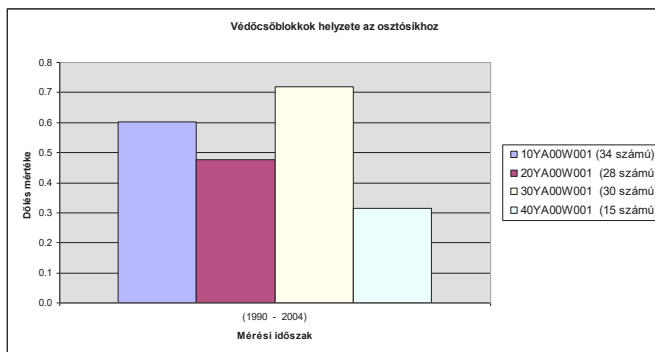
A kiegyenlítő síknak az osztósíkhöz való legközelebbi pontját határozza meg a feldolgozó program, megadva annak mértékét és csavarhely irányát a reaktor tartály gépészeti rendszerében értelmezve. Néhány mérési eredményt a 7-10. ábrákon mutatunk be.



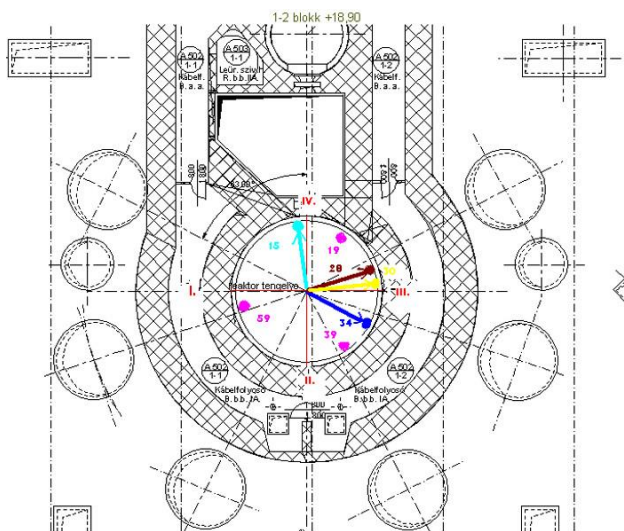
7. ábra. Az 1. számú reaktor zónakosár helyzetei



8. ábra. Az 1. számú zónakosár dőlésértékei



9. ábra. A védő csöblokk helyzetek dőlés mértékei



10. ábra. Együttesen feltüntetett dőlésirányok

A mérőrendszer bizonyította megbízhatóságát. A tapasztalati mérési szórás értéke a 0,001-0,090 mm közötti értékeket mutat. Ezek nagyon jó eredmények és csak megerősítik az ME-5000 mérőműszer megbízhatóságáról alkotott véleményemet, hiszen a gyári $\pm 0,2$ mm-es mérési megbízhatóságot rövid távolságokon óvatos és konzervatív értéknek tekinthetjük.

A mérések végrehajtása karbantartási körülmények között és az ikerblokk miatt üzemelő reaktor szomszédságában történik, ami helyi mozgásokat is okoz.

Idegen test kimutatására két alkalommal volt példa a mérőrendszer által kimutatott helyen. Az időben meghozott szerelésirányítási döntéssel időt lehet megtakarítani, amely természetesen így nem okozott pénzben kimutatható költségkiesést.

Az RHM rendszer a karbantartási technológia részeként felértékelte a mérnökgeodézia helyét és szerepét az atomerőműben.

3 Eredmények feldolgozása, értelmezése, bizonytalansági ill. zavaró tényezők

Mérési adatok feldolgozása

A program számítja a meteorológiai korrekciót, és ezzel az értékkel korrigálja a távolságokat. Az előzetesen hitelesítéssel meghatározott prizmaállandókkal kiszámolja a vizsgálati pont függőlegesében az osztósík bázisrafordítást által rögzített pozíciónak és a vizsgált berendezés felső síkja közötti tá-

volságot. Az így meghatározott három értékre (19, 39, 59) síkot helyez és kiszámítja a sík szélső pontjaiban (osztósíkhöz legközelebb és legtávolabb eső pontok) a párhuzamos helyzettől való eltéréseket és ezek csavarhely irányait. A mérés végeredménye a számított csavarhely irányokban a sík eltérése, magasság különbsége.

Mérési eredmények értelmezése

A reaktortartály osztósíkjához viszonyítottan ismertté válik a vizsgált berendezés felső síkjának esésvonal iránya a csavarhely pozícióban meghatározva, és a sík magasság különbsége a vizsgálati pont reaktor középponttól mért sugarának távolságában. Minél nagyobb a magasságkülönbség, annál nagyobb a két sík eltérése a párhuzamos helyzetükhöz képest.

Bizonytalansági és zavaró tényezők

A mérőrendszer sok elemből áll, ezért ezek együttes hatása eredményezi a mérési eredmény középhibáját.

- az épület rezgése, daruzás, mérés időtartama alatti vízszintváltoztatás (sz)
- műszerállvány stabilitása a felhelyezett tükörszékkel (mt)
- tükörök felülete (mt, k)
- tükörök alakja (síkbelisége)
- tükörszék tartó állványok stabilitása (mt)
- tükörszék mérésközbeni elfordulása (mt)
- bázisrafordító felfekvési felületének tisztasága az osztósíkon (sz, mt)
- bázisrafordító aszimmetrikus elhelyezése (mt)
- bázisrafordító deformációja (k)
- tapintóprizma felfekvési felületének kopása (k)
- tapintóprizma és mérőcső csatlakozás tömítetlensége (mt)
- tapintó prizma felcserélése a mérési kampányok során (mt)
- vizsgált berendezés felületének tisztasága (sz, mt)
- ME-5000 frekvencia változása (k)
- ME-5000 mérési megbízhatósága (k)

Ezek a tényezők különböző mértékben befolyásolhatják a végeredményt, de annak megbízhatóságát csak rontják. Ezért minden zavaró tényezőt ki kell zárni ill. hatásukat minimalizálni kell. Ezek egyik része szervezési (sz), másik része szigorú méréstechnológia alkalmazásával (mt), míg egyes eszköz elemek rendszeres kalibrálásával (k) uralható. Mindezen módszerek a teljes mérési technológia minőségbiztosítási elemeinek pilléreit jelentik.

4 Összefoglalás

Az RHM rendszer nagy pontosságú és különleges körülményekre kifejlesztett függőleges irányú távolságmérést biztosító mérőfelszerelés, amely a speciálisan kialakított eszközelemeivel az ME-5000 fénytáv mérőnek ad további felhasználási lehetőséget és feladatot a mérőszemélyeknek atomerőművi berendezések helyzetellenőrzésére karbantartásuk során. A kialakított mérőrendszer egyedül álló megoldás a VVER 440 típusú reaktorok karbantartási tevékenységében a geometriai helyzet ellenőrzésére.

Köszönetnyilvánítás. Ez az előadás és annak szerkesztett változata a mérési technológiát kidolgozók és az Atomerőmű szakembereinek önzetlen szakmai támogatása alapján készült, amelyet ezúton is köszönök.

Hivatkozások

- Ábrahám Gy, Wenzel K, Kovács G, Antal Á (1993): Development of Optical Telemetric Position Sensing Equipment for Nuclear power Station Reactors. 16 th Congress of the International Commission for Optics 9-13. August 1993. Budapest SPIE, 971-972.
- Németh A, Tóth F, Szarka L (2000): TGR-005 Karbantartási Utasítás – Reaktor Helyzetmérő Műszerrendszer (RHM) használata a reaktor belső berendezések helyzetméréséhez.

NAGYPONTOSSÁGÚ GEODÉZIAI MÉRÉSEK VÉGREHAJTÁSA A PAKSI ATOMERŐMŰ REAKTORAINAK TERVSZERINTI KIVITELEZÉSÉNÉL

Czellár András*, Zergi István*



Precise geodetic surveys in the course of reactor construction of the Nuclear Power Station Paks – The article briefly describes the precise engineering geodetic surveys applied in the reactor block 4, as a result of which the positioning of the built-in reactor elements were controlled at various levels.

Keywords: engineering geodesy, locating a point, coordinate transformation

A tanulmány röviden bemutatja a Paksi Atomerőmű 4. számú reaktorblokkjában alkalmazott nagypontosságú ipari geodéziai méréseket, melyek eredményeként a különböző szinteken beépítésre kerülő reaktorelemek tervszerinti elhelyezését irányítottuk.

Kulcsszavak: mérnökgeodézia, pontmeghatározás, koordináta transzformáció

1 Bevezetés

A Miskolci Egyetem Geodéziai és Bányamérési Tanszéke az 1980-as években közel egy évtizeden keresztül közreműködött a Paksi Atomerőmű beruházásának kivitelezési munkálataiban nagypontosságú geodéziai mérések elvégzésével.

Az erőmű üzembe helyezések évfordulójára meghirdetett konferencián munkánkról, valamint tapasztalatainkról előadásban számoltunk be, és jelen tanulmányunkban ismertetjük a 4. sz. reaktorbloknál alkalmazott mérési, és számítási eljárásokat. A mérési módszer természetesen az előző blokkoknál már megszerzett tapasztalatok alapján alakult ki, és véleményünk szerint itt jutottunk el az optimális megoldáshoz (Czellár és Zergi 1987).

A reaktor függőleges elhelyezését, melynek magassági mérete közel 20 m. A reaktortesthez különböző magasságokban mechanikai elemek (pl. primer- és szekunderköri vezetékek, stb.) csatlakoznak, és emellett a kezelőszinten a reaktorblokk felett technológiai műveleteket (pl. kiégett fűtőanyag-kazetták víz alatti kiemelését, illetve cseréjét, stb.) kell elvégezni.

Mindezek azt kívánják, hogy a különböző szintekhez tartozó tengelyirányok azonos függőleges síkban legyenek kitűzve. Pontossági igény, hogy a különböző szinteken kitűzött tengelyrendszerek megfelelő tengelypontjainak függőleges síktól való eltérése – a közel 10 m átmérőjű kör területén mérve – nem haladhatja meg a $\pm 0,7$ mm-es értéket.

2 A feladat ismertetése

A 4. sz. reaktorblokk + 6,00 m-es szinti, + 10,50 m-es osztószinti és a + 24,00 m-es úgynevezett kezelőszinti tengelyrendszereinek méréseit 1987. év folyamán végeztük.

Feladatunk volt a + 6,00 m-es szinten a reaktortesten állandósított gyári tengelyjelek, az osztószinten a blokk falára felhegesztett „fülek”-en állandósított megvalósulási tengelyek pontjainak bemérése, valamint koordinátaiknak meghatározása, egységes rendszerbe történő transzformálása, kapcsolódva a + 24,00 m-es kezelőszinti hálózathoz.

A geodéziai mérések további célja volt az egyes szinteken állandósított tengelyek egymáshoz viszonyított helyzetének, valamint a különböző szinteken elhelyezkedő tengelyrendszerek kölcsönös helyzetének meghatározása.

A feladat megoldását, és az egyes szinteken önálló koordinátarendszerben végzett mérések összhangját – optikai úton kitűzött, de csak ideiglenesen, kényszerközpontosan állandósított – két függőleges sík megfelelő szinti pontjainak bemérésével lehet megoldani, illetve biztosítani.

Az így végrehajtott nagypontosságú geodéziai mérések adatai alapján van lehetőségünk a különböző szinteken állandósított tengelypontok koordinátáinak egyetlen közös koordinátarendszerbe történő transzformálására, és a mérési eredmények eszerinti értékelésére.

3 A tengelyrendszerek bemérésének végrehajtása

A különböző szinteken elhelyezkedő két függőleges sík pontjait (szintenként 4-4 db) az autókolimációs távcső és a Wild cég által gyártott GAP típusú vetítő felhasználásával tűztük ki, és műszerlábon ideiglenesen állandósítottuk.

Az egyes szinteken megjelölt tengelypontokat, valamint a két függőleges sík pontjait méréstervezési számítások során kidolgozott, úgynevezett belsőszöges előmetszési – mint pontmeghatározási – eljárással mértük be. (A hibaelméleti számítások eredményeit itt most nem ismerjük.)

A geodéziai méréseket a megkívánt pontosságot biztosító eszközökkel végeztük. Munkánk során a Wild cég gyártmányait: T2 típusú 1 ccg közvetlen leolvasású teodolitokat, NL típusú függőleges optikai vetítőt, GAP típusú tükrösvetítőt, és 0,01 mm-es pontosságú bázislécet használtunk.

Az egyes szinteken más-más adottságú szűk munkaterületek álltak rendelkezésre, ezért minden szinten külön-külön önálló rendszerben végeztük el a szükséges méréseket. Megjegyezzük, hogy a + 10,50 m-es osztószinten a függőleges sík ideiglenesen állandósított pontjai egyben a belsőszöges előmetszési eljárás bázisvégpontjai is voltak, melyekről a nagypontosságú szögméréseket és távolságméréseket végrehajtottuk. Az egyes mérési eszközök cseréje kényszerközpontosan történt.

A kezelőszinten végrehajtott többletméréseket egy 7 – 8 m-es közel egyenlő oldalú háromszög sarokpontjairól – a már felsorolt eljárásokkal és eszközökkel – végeztük.

A tengelyrendszerek és a mérési pontok sematikus rajzát az 1. sz. ábra mutatja.

4 A mérési módszerekhez kidolgozott számítási eljárás

Minden szinten önálló koordinátarendszerben számítottuk az állandósított tengelypontok, valamint a függőleges síkok úgynevezett GAP (G1 – G4) pontjainak koordinátáit.

Meghatároztuk az egyes szinteken a GAP pontokat értelemszerűen összekötő egyenesek metszéspontjait, mint a két függőleges sík metszészvonala adott szinti pontjának koordinátáit.

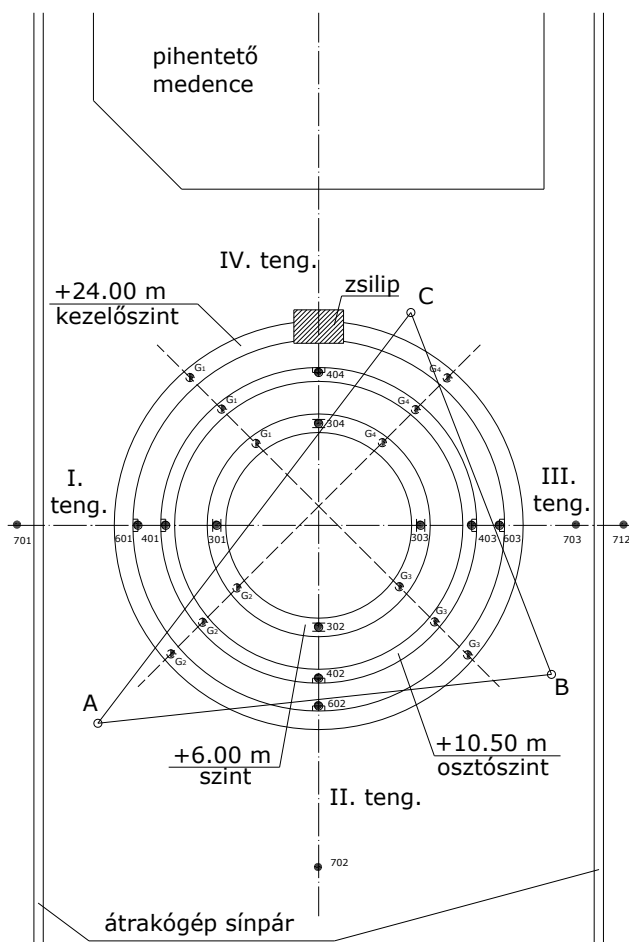
Mivel ez a metszészvonal függőleges, így ezeket a pontokat minden szinten origónak tekintettünk, és a G3 jelű pontok irányát vettük fel + Y tengelynek.

A következő lépésben az előzőekben számított szintenkénti origókat egy függőleges tengelyre „felfűzve” – a + 10,50 m-es szinti origót tartva meg az egységes koordinátarendszer középpontjának – a GAP pontokat mint illesztőpontokat felhasználva, valamint hogy a + Y tengely a reaktor II-es gyári tengelyjelen menjen keresztül, egységes úgynevezett reaktorblokki tengelyrendszerhez jutunk, és ebbe a rendszerbe transzformáltuk a különböző szinti mérési eredményeinket.

A kezelőszinten végzett további mérési eredményeket a tengelyjelek és a GAP pontok együttes felhasználásával transzformáltuk és kapcsoltuk az egységes koordinátahálózathoz.

5 A mérési eredmények értékelése

A geodéziai mérések adataiból nemcsak a pontok koordinátáit határoztuk meg, hanem a mérések megbízhatóságára vonatkozó értékeket (fok-perc-másodperc alakban) is számítottunk:



1. ábra. A tengelyrendszerek és a mérési pontok sematikus rajza

- a + 6,00 m-es szinten a reaktortest gyári jelei által bezárt szög

$$\beta_{+6,00} = 90 - 00 - 05,$$

- a + 10,50 m-es osztószinten „füleken” állandósított pontok alapján

$$\beta_{+10,50} = 90 - 00 - 14,$$

- a + 24,00 m-es kezelőszinten a hálózat megfelelő pontjait

$$\beta_{+24,00} = 89 - 59 - 36.$$

A megfelelő tengelyjeleket összekötő egyenesek metszéspontjait is meghatároztuk, és a koordináta-értékekből a beépített reaktorelemek középponti elhelyezkedésére és egymáshoz viszonyított helyzeteikre vonhattunk le következtetéseket.

Az átadott eredményeket a kivitelező hasznosította a reaktorelemek beállítása, és a további szerelések irányítása során.

6 Összefoglalás

A tanulmányunkban bemutatott nagypontosságú geodéziai mérések csak egy részét képezték a közel 10 évig folyó tevékenységünknek a Paksi Atomerőmű reaktortartályainak tervszerinti elhelyezésével kapcsolatos kivitelezési munkák megvalósítása során.

Feladatvégzéseink alkalmával mindig sikerült a Megbízó kívánságait és pontossági igényeit kielégíteni. Ennek következtében kaptunk többek között olyan feladatokat is, melyeket a pihentető medencében a kiégett fűtőelemek sűrített rácsosztású tárolásához oldottunk meg. Ebben az esetben a mérési eredményekkel szemben megkívánt koordináta-meghatározás pontossági követelménye $\pm 0,3$ mm volt, melyet szintén teljesíteni tudtunk.

A 4. számú reaktorblokk megépítésével a Paksi Atomerőmű reaktorainak tervszerinti elhelyezésével kapcsolatos nagy pontosságú geodéziai méréseink befeleződtek ugyan, de az itt szerzett tapasztalatok nemcsak az oktatásban, hanem más ipari geodéziai feladatok megoldásánál is messzemenően hasznosíthatóak voltak.

Hivatkozások

Czellár A, Zergi I (1987): A Paksi Atomerőmű reaktor-berendezéseinek helyzetellenőrző mérései, és a mérési eredmények feldolgozása. Kutatási részjelentés (NME Geodéziai és Bányamérési Tanszék, 1987. március)

DEFORMÁCIÓ VIZSGÁLATOK GEODÉZIAI MÓDSZEREI

Bányai László*, Mentés Gyula*



Geodetic methods of deformation investigations – The application of the free-network method for deformation investigations is summarised. The main conclusions of levelling and GPS measurements are presented according to the investigations in Ófalu. The geodynamic network and the results around the Nuclear Power Station Paks are also summarised. The attention has been drawn to the application of tiltmeters in engineering geodesy as well.

Keywords: deformation, levelling, GPS, tiltmeter

Röviden ismertettük a deformáció vizsgálatoknál alkalmazott szabadhálózatos adatfeldolgozási módszert. A szabatos szintezések és a GPS mérések legfontosabb tapasztalatait az ófalui mérések segítségével mutattuk be. A Paksi Atomerőmű telephelyének geodinamikai hálózatát és az eddigi mérés eredményeit is összefoglaltuk. Az eddigi tapasztalataink alapján felhívtuk a figyelmet a dőlésmérők mérnökgeodéziai alkalmazására.

Kulcsszavak: deformáció, szintezés, GPS, dőlésmérő

1 Bevezetés

Intézetünk az MTA GGKI a Paksi Atomerőmű környezetének geodinamikai vizsgálatába a csernobili balesetet követő időszakban kapcsolódott be, amelynek fő feladatát az erőmű földrengés veszélyeztettségének magyar szakértők által történő újraértékelése jelentette. A feladathoz kapcsolódó geodéziai vizsgálatok célját mind a mai napig az erőmű környezetében tellurikus és szeizmikai vizsgálatok alapján kimutatott törésvonalakhoz kapcsolódó felszíni deformációk (és mozgások) meghatározása jelenti.

A vizsgálatok kezdete óta a geodézia eszköztára és módszerei is jelentős fejlődésen mentek keresztül. A hagyományos szabatos geodéziai módszerek mellett az új GPS technológia megjelenése jelentette a legnagyobb kihívást. A legpontosabb geodézia technológiát még ma is a szabatos szintezés jelenti, ahol a hagyományos felsőrendű szintező műszereket digitális műszerek váltották fel. Ez lényegesen felgyorsította a még ma is költségesnek számító szabatos szintezést. A korábbi szabatos teodolitok és távmérő műszerek digitális mérőállomásként születtek újjá. Ezek a GPS technológia elterjedésével egy sikeres vetélytársa is találtak, különösen az alaphálózatok létrehozása és sűrítése területén.

Az említett eszközök geodinamikai alkalmazása során nagyon sok hasznos szakmai tapasztalatra tettünk szert, amelyben jelentős szerepet játszott a PA Rt. és jogelődjei által megrendelt vizsgálatok végrehajtása is. Az atomerőmű környezetének vizsgálata mellett a kis és közepes rádióaktivitású hulladéktároló tervezése során a Mecsekalja törésvonal mentén végzett vizsgálatok is nagyon hasznosnak bizonyultak.

Ebben a dolgozatban ezeket a tapasztalatokat szeretnénk bemutatni és felhívni a figyelmet egy új műszaki lehetőségre, a modern fűrőlyuk dőlésmérők mérnökgeodéziai alkalmazására.

2 A hálózati mérések deformáció vizsgálati feldolgozása

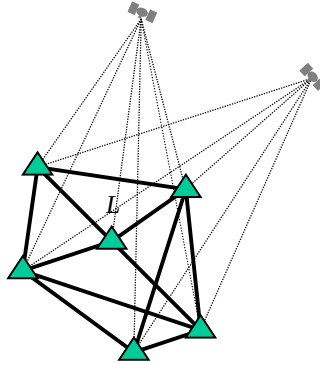
A deformáció vizsgálati célú geodéziai hálózat mérések feldolgozásának a matematikai eszköztára talán az egyetlen olyan terület, amely lényegében változatlanul tekinthető. Az új kihívásokat az újabb mérési technológiák megjelenése és a legalkalmasabb módszerek adaptációja jelentette.

A deformáció vizsgálat az ismételt hálózati mérések megfelelő feldolgozásán alapszik, függetlenül a hálózati alappontok között mért geometriai elemek fajtájától. Ezek akár a műholdakra vonatkozó megfigyelések, vagy azokból levezetett vektorok is lehetnek (1. ábra).

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

E-mail: banyai@ggki.hu

mentes@ggki.hu



1. ábra. A geodéziai hálózati mérések alapelve

A vizsgált geometriai elemek lehetnek a pontokon átmenő szintfelületek közötti magasságkülönbségek (1D hálózat), a pontok között mért vízszintes irányok (szögek) és távolságok (2D hálózat) és a GPS mérésekből származó térbeli vektorok (3D hálózat). A GPS technikával közvetlenül mért vevő-műhold áltávolságokat szintén hálózati kiegyenlítéssel dolgozzák fel. A feldolgozásból származó vektorok függetlenek a rendszer középpontjától.

A mérések feldolgozásának (linearizált – sorba fejtett) modelljét Detrekői (1991) alapján a következő jelölésekkel foglalhatjuk össze:

$$\begin{aligned} L &= f(X) \\ L &= f(X_0 + x) + v, \\ \mathbf{b} &= \mathbf{A} \mathbf{x} + \mathbf{v} \end{aligned} \quad (1)$$

ahol L a mért geometriai elemet jelöli,
 X a mérésekkel geometriai függvénykapcsolatban lévő alappontok koordinátáit jelöli,
 X_0 a koordináták előzetes értékei,
 x az előzetes értékek ismeretlen javításai,
 v a geometriai elem mérési javítása,
 $\mathbf{b} = [L - f(X_0)]$ a mérések és az előzetes koordináták ellentmondás vektora,
 $\mathbf{A}$ a mérések alakmátrixa, elemei az $a_{ij} = \partial L_i / \partial X_{0,j}$ összefüggéssel számíthatók,
 $\mathbf{x}$ az előzetes értékek ismeretlen javításainak a vektora,
 $\mathbf{v}$ a mérések ismeretlen javításainak a vektora.

Az egyenletrendszer legkisebb négyzetes megoldása a

$$\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v} = \min! \quad (2)$$

elv alapján:

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{x}} &= (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{b}) \\ \hat{X} &= X_0 + \hat{\mathbf{x}} \\ \hat{\mathbf{v}} &= \mathbf{b} - \mathbf{A} \hat{\mathbf{x}}, \\ \hat{\sigma}_0^2 &= \frac{\hat{\mathbf{v}}^T \mathbf{P} \hat{\mathbf{v}}}{f} \\ \mathbf{M}_{\hat{\mathbf{x}}} &= \hat{\sigma}_0^2 (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} = \hat{\sigma}_0^2 \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}} \end{aligned} \quad (3)$$

ahol $\mathbf{P}$ a mérések előzetes súlymátrixa, σ_0 a súlyegység becsült középhibája, f a fölös mérések száma, $\mathbf{M}_x$ az ismeretlenek becsült variancia-kovariancia és $\mathbf{Q}_x$ azok súlykoefficiens mátrixa továbbá t a transzponált mátrixot jelöli.

Ha a méréseknek előzetesen ismerjük az $\mathbf{M}_L = \sigma_0^2 \mathbf{Q}_L$ variancia-kovariancia mátrixát, akkor a súlymátrix $\mathbf{P} = \mathbf{Q}_L^{-1}$ és a súlyegység előzetes középhibáját egységnek választhatjuk ($\sigma_0 = 1$).

A normálmátrix csak akkor invertálható, ha minimális számú, alkalmasan megválasztott koordinátát rögzítünk (definiáljuk a dátumparamétereket), vagyis egyértelműen elhelyezzük a hálózatot a kiválasztott koordináta rendszerben. Deformáció vizsgálatok esetében célszerű megismételni az első kiegyenlítést az $\mathbf{x}^t \mathbf{x} = \min!$ járulékos feltételnek megfelelő szabadhálózatos kiegyenlítéssel is.

Ekkor a megoldást a szinguláris normál mátrixok ún. pszeudóinverze $((\mathbf{A}^t \mathbf{P} \mathbf{A})^+)$ szolgáltatja, de a mérési javítások és a koordináták ekkor már nem változnak.

A pszeudóinverz megszünteti az alappontok közötti megkülönböztetést, és az $\mathbf{M}_x$ mátrix spúrját minimalizálja, amely a statisztikai vizsgálatok során kedvező tulajdonság.

A pszeudóinverz a hálózatok dátumdefektusait, amelyek a hálózatnak a koordináta tengelyek mentén történő eltolásából, a tengelyek körüli elfordulásból és a méretarány definiálatlanságból származhatnak, úgy oldja fel, hogy az előzetes koordináták súlypontja változatlan maradjon, továbbá a pontoknak a súlypont körüli elfordulása és a méretváltozása nulla átlag értékű legyen. (Ez a Helmert-féle hasonlósági transzformáció alapelve is.)

A deformáció vizsgálatok során a pontthalmaz méretének és alakjának a változását az ismételt geodéziai mérések segítségével kívánjuk meghatározni. Ekkor célszerű előzetesen feltételezni azt, hogy a két időpont között a hálózat változatlan maradt és az eltérések csak a véletlen jellegű mérési hibák következményei. (Nagyon gyakran feltételezik már az első lépésben azt, hogy bizonyos pontok változatlanok tekinthetők, míg más pontok valamilyen oknál fogva nem. Azonban ekkor is meg kell győződnünk arról, hogy a változatlanok tekintett pontok valóban azok-e, ezért általában helyesebb az előbbi feltételezésből kiindulni.)

A feldolgozás tehát a következő null- és alternatív hipotézis vizsgálatával kezdődik:

H_0 : A hálózat alakja és mérete változatlan a két vizsgált mérési időpont között
(az eltérések csak a véletlen jellegű mérési hibák következménye)

H_1 : A hálózat alakja és mérete megváltozott
(az eltérések nem csak a mérési hibák következményei)

Ezt a geodézia nyelvén a következőképpen fordíthatjuk le:

$$H_0: \mathbf{X}_n = \mathbf{X}_m \quad \text{és} \quad H_1: \mathbf{X}_n \neq \mathbf{X}_m, \quad (4)$$

ahol n és m a mérések referencia időpontja. A null hipotézisnek megfelelően tehát akkor járunk el helyesen, ha az ismételt méréseknél a szabadhálózati elvet alkalmazzuk, vagyis az m időpontban végrehajtott mérések előzetes koordinátáinak az azt megelőző valamely n időpont koordinátáit választjuk

$$\mathbf{X}_{0m} = \mathbf{X}_n. \quad (5)$$

Az $\mathbf{x}^t \mathbf{x} = \min!$ minimumelvnek megfelelően a megoldás az $\hat{\mathbf{X}}_m - \hat{\mathbf{X}}_n$ koordináta változásokat szolgáltatja. A megoldás variancia-kovariancia mátrixa a hibaterjedés törvényének megfelelően:

$$\hat{\mathbf{M}} = \sigma_0^2 (\mathbf{Q}_{xn} + \mathbf{Q}_{xm}) = \sigma_0^2 \cdot \mathbf{Q}, \quad (6)$$

ahol $\sigma_0^2 = (f_n \cdot \sigma_{0n}^2 + f_m \cdot \sigma_{0m}^2) / (f_n + f_m)$ és a szabadságfokok is összegződnek ($f = f_n + f_m$).

Ha feltételezzük, hogy az ismeretlen mérési javítások nulla várható értékű normális eloszlású valószínűségi változók, a becsült várhatóértékek és azok variancia-kovariancia mátrixa segítségével a null hipotézist a matematikai statisztika nyelvén is lefordíthatjuk. Ez lehetővé teszi a különböző numerikus tesztek alkalmazását is (Mikhail 1976).

Egyetlen valószínűségi változó esetében azt vizsgálhatjuk, hogy a becsült várható érték nullának tekinthető-e:

$$H_0 : \hat{x}_i = 0$$

$$z = \frac{\hat{x}_i}{\sigma_i} = \frac{\hat{x}_i}{\sigma_0 \sqrt{q_{ii}}} , \quad P\{ -z_{\alpha/2} < z < z_{\alpha/2} \} = 1 - \alpha \quad (\text{normális eloszlás}) , \quad (7)$$

$$t = \frac{\hat{x}_i}{\hat{\sigma}_i} = \frac{\hat{x}_i}{\hat{\sigma}_0 \sqrt{q_{ii}}} , \quad P\{ -t_{f\alpha/2} < t < t_{f\alpha/2} \} = 1 - \alpha \quad (\text{student eloszlás})$$

ahol P a valószínűségi és α a hozzá tartozó szignifikancia szint, továbbá q_{ii} a (6) egyenletben szereplő Q mátrix főátlójában található.

Az első esetben ismertnek tekintjük a mérések középhibáit, ezért a normális eloszlás sűrűség függvényéből határozhatjuk meg a P valószínűségi szinthez tartozó intervallum küszöb értékeit ($\pm z_{\alpha/2}$), amelyen belül a koordinátaváltozás nulla várható értékűnek tekinthető. Ha a megbízhatóságot a kiegyenlítés alapján határoztuk meg, a student eloszlást kell alkalmazni ($\pm t_{f\alpha/2}$), ahol a szabadságfokot is figyelembe kell venni (második eset).

Több várható érték együttesen a következő mátrix művelettel tesztelhetünk:

$$H_0 : \hat{\mathbf{x}} = 0$$

$$F = \hat{\mathbf{x}}^t \mathbf{M}^{-1(+)} \hat{\mathbf{x}} , \quad P\{F < F_{n,f\alpha}\} = 1 - \alpha \quad (\text{Fisher eloszlás}) , \quad (8)$$

ahol a Fisher eloszlásnak megfelelően a várható értékek számát (n) és a szabadságfokot is figyelembe kell venni.

A sík (e,n) és térbeli (e,n,u) hálózatok pontjaihoz tartozó grafikus konfidencia intervallumvizsgálatoknál keressük azt a k értéket, amellyel a hiba ellipszis, illetve hiba ellipszoid tengelyeit megszorozva kijelölhetjük a P valószínűségi szinthez tartozó intervallum határait, amit a khi négyzet eloszlás tesz lehetővé:

$$P\left\{\left[\frac{\hat{n}_i^2}{\hat{\sigma}_{ni}^2} + \frac{\hat{e}_i^2}{\hat{\sigma}_{ei}^2}\right] < k^2\right\} = P\{\chi_2^2 < k^2\} = 1 - \alpha$$

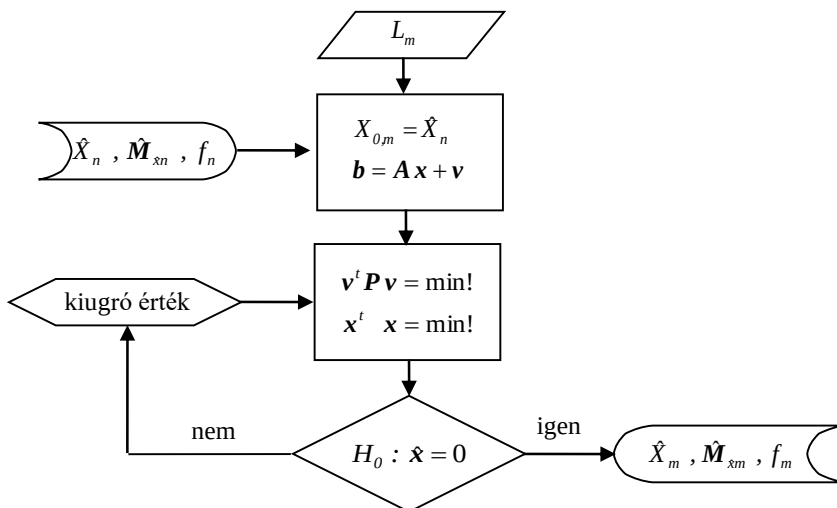
$$P\left\{\left[\frac{\hat{n}_i^2}{\hat{\sigma}_{ni}^2} + \frac{\hat{e}_i^2}{\hat{\sigma}_{ei}^2} + \frac{\hat{u}_i^2}{\hat{\sigma}_{ui}^2}\right] < k^2\right\} = P\{\chi_3^2 < k^2\} = 1 - \alpha \quad (9)$$

A szabadhálózat és a statisztikai tesztek segítségével a deformáció vizsgálatot a 2. ábrán található folyamatábra szerint hajthatjuk végre.

Amennyiben egy, vagy több alappont koordinátaváltozása kiugró értékek adódik, az ismételt minimalizálásból mindig ki kell hagyni a legnagyobb tesztértékkel rendelkező alappontot. Így iterációval megkereshetjük azt a pontthalmazt, amelynek az alakja és a mérete csak a véletlen jellegű mérési hibák következtében változott meg. Ezzel az eljárással meghatározhatjuk az egymást követő mérési időpontokhoz tartozó legvalószínűbb koordinátákat és azok középhibáit. Az így kapott idősorok elemzésével vizsgálhatjuk a változások időbeli jellegzetességeit és okait.

3 Szabatos szintezések

A bemutatott eljárást a szintezési hálózatok esetében is alkalmazhatjuk. Nyílt szintezési vonalak esetében azonban nincsen valódi fölös mérés, mivel az oda-vissza mért értékek a szabályos jellegű hibák kiejtését és a mérések statisztikai vizsgálatát teszik csak lehetővé. A szintezési hálózatok dátum defektusa egy, ezért minimálisan egyetlen pont magasságát kell rögzíteni.

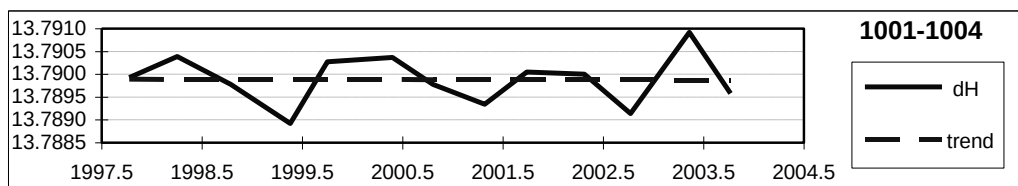


2. ábra. A deformáció analízis folyamatábrája

A szabad hálózat elvének alkalmazásával az ismeretlenek súlykoefficiens értékeit azonban most is levezethetjük, de a 0 szabadság fok miatt a súlyegység középhibáját nem tudjuk a mérésekből megbecsülni. Ha az egyes mért szakaszok magasságkülönbségeinek a súlyát az ismertnek tekintett középhibájuk alapján határozzuk meg ($p_i = 1/\sigma_i^2$), akkor a $\sigma_0 = 1$ közelítéssel élhetünk, és az egyes magasságváltozások a normális eloszlás segítségével tesztelhetők. A $P=0.95(95\%)$ valószínűségi szinten a nulla várható értékűnek tekinthető változásoknak a $\{-1.96\sigma_h < dh < 1.96\sigma_h\}$ intervallumba kell esniük, ahol dh valamely pont magasságváltozása és σ_h annak becsült középhibája.

A szabad szintezési vonalakra vonatkozó deformáció analízist a nagyon tanulságos ófalui mérések alapján mutatjuk be, ahol a vonal végpontjait az alapkőzeti kibúvásokban helyeztük el (~4.5 km). A vizsgálatot további kettő, vastag üledékben elhelyezett, mélyalapozású pont egészíti ki. A méréseket Leica NA3003 szabatos digitális szintezőműszerrel hajtottuk végre.

A végpontok között mért magasságkülönbségek idősorát, amely nem kiegyenlítésből származik, a 3. ábrán mutatjuk be. Jól látható, hogy a gyakorlatilag nulla trenddel rendelkező változások 0.5-1.0 mm amplitúdójú szezonális változást mutatnak.



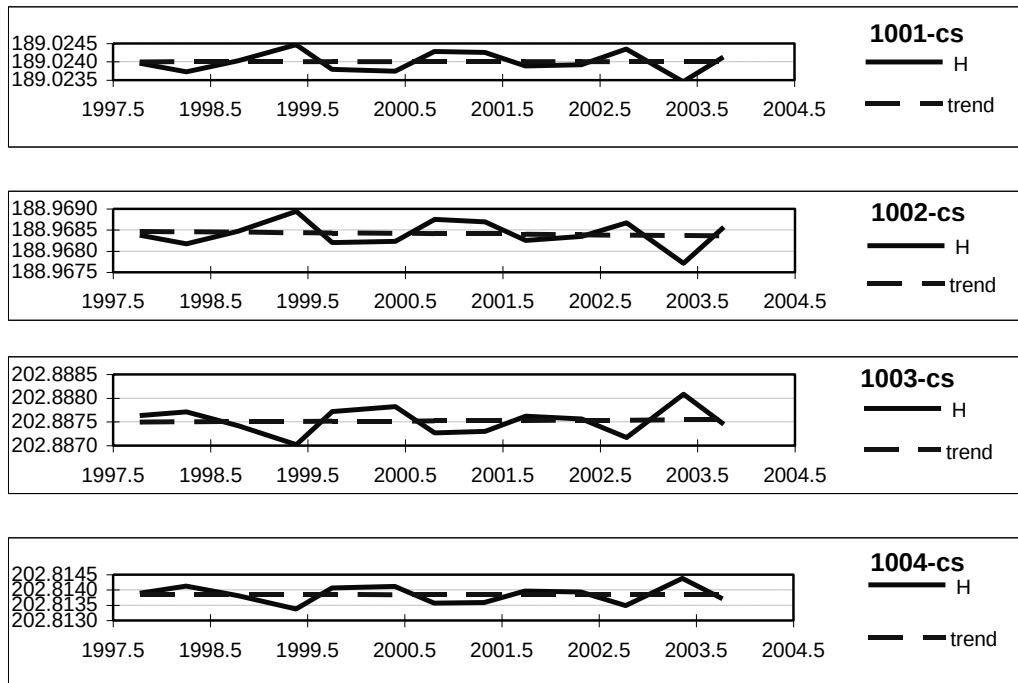
3. ábra. A végpontok között mért magasságkülönbség idősora

Mivel az alapkőzet kibúvások szabatosabb pontállandósításnak tekinthetők, mint a mélyalapozású pontok, és a végpontok közötti változások is kicsik, ezért a feldolgozásnál a végpontok változásainak a négyzetösszegét minimalizáltuk, amely gyakorlatilag az átlagos magasságukat rögzíti.

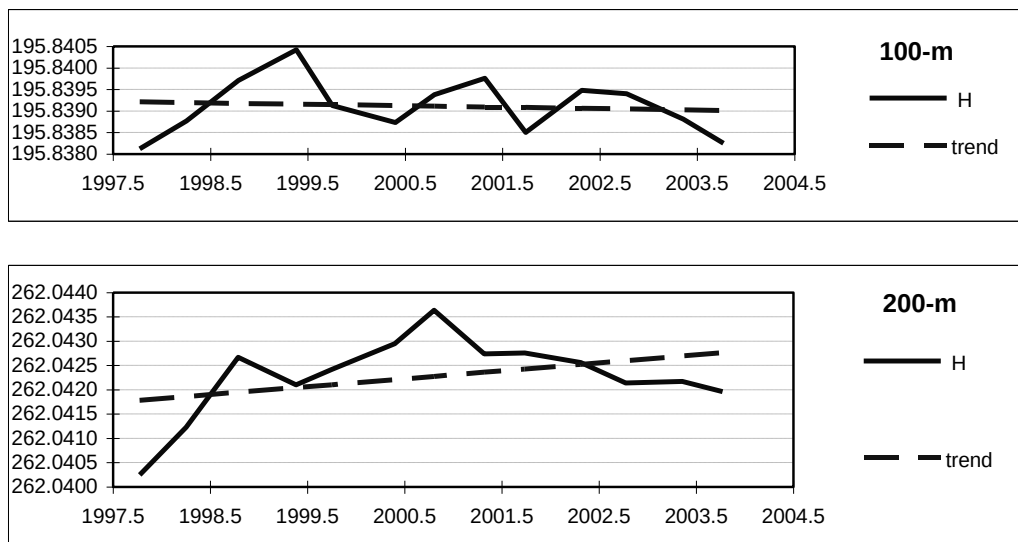
A 4. ábrán a végpontok mellett az azonos kibúvásban található őrpontok változásait is megadtuk, amely igazolja, hogy a kibúvások stabilnak tekinthetők. A két végpont azonos nagyságú de ellentétes irányú változása a speciális szabadhálózatos feldolgozásnak a következménye. A változások trendje természetesen itt is nullának tekinthető.

A mélyalapozású pontok a végpontokkal ellentétben szabadon változhattak (5. ábra). Itt már jóval nagyobb, szignifikáns változások is tapasztalhatók. A pontok kezdetben váratlan emelkedést mutattak, majd itt is megjelentek a szezonális változások.

Mivel a kőzetkibúvások mozgása alapján tektonikai változások nem valószínűsíthetők, ezért az üledéken elhelyezett mélyalapozású pontok mozgásának értelmezésénél, a bemutatott példa alapján, mindig nagyon óvatosan kell eljárni.



4. ábra. A végpontok szabadhálózatos magasságai



5. ábra. A mélyalapozású alappontok magasságai

4 Hagományos és GPS mérések

A hagyományos geodéziai mérésekkel történő horizontális deformáció vizsgálatoknál általában valamely vetületi síkban kiegyenlített szabatos irány (szög) és távolságméréseket használnak. Ebben az esetben a dátum defektusok két eltolásból és egy elfordulásból állnak.

A hagyományos mérések perspektivikus vetélytársra akadtak a GPS technika elterjedésével. A GPS mérésekből levezethető térbeli vektorok függetlenek a koordináta rendszer középpontjától, ezért a térbeli vektorokból meghatározható hálózat három eltolási defektussal rendelkezik. Mivel a vektorok ellipszoidi normális irányú komponensei pontatlanabbak, mint a horizontális komponensek, ezért a GPS technika első sorban horizontális deformáció vizsgálatokra alkalmas.

Különösen a GPS rendszer korai szakaszában merült fel az a kérdés, hogy melyik módszer a kedvezőbb. A választ természetesen csak nagyon sok szempont mérlegelése alapján lehet megadni.

A kérdés megválaszolására most is az ófalui méréseket hívjuk segítségül, ahol a GPS mérések szempontjából optimálisnak tekinthető körülmények között négy Trimble vevővel hajtottunk végre egyidejű, 24 óra időtartamú méréseket, amelyek három lineárisan független, és minden kombinációban hat összefüggő bázisvonal meghatározását teszik lehetővé. A Bernese program és pontos pályaadatok segítségével L1 és L3 (ionoszféramentes) kombinációk segítségével határoztuk meg az összefüggő vektorokat. Az előbbi kombináció ugyan nagyobb pontossággal jellemezhető, de rövidebb távolságok esetében sem ejti ki teljes mértékben az ionoszférikus hatásokat. A GPS-NET program segítségével megvizsgáltuk a különböző vektorok belső ellentmondásait és a két kombináció közötti ionoszférikus méretarány eltérését is.

A GPS vektorok térbeli hossza független a koordináta rendszer kezdőpontjától és tájékozásától is, ezért a hagyományos mérésekkel azonos vetületi síkba redukált hosszak összehasonlíthatók a szabatos távmérővel mért vízszintes távolságokkal. Az ófalui méréseknél három oldalt Leica DI2002 szabatos távmérővel is mindig megmértük a gödöllői alapvonalon történő kalibrációval közel egy időben. Az eredményeket a 6. ábrán foglaltuk össze.

Az ábrán L1/L3 jelöléssel azokat a távolságokat tüntettük fel, amelyeknél az ionoszférikus méretarány-eltérést együttes kiegyenlítéssel határoztuk meg. Ezek az értékek jól illeszkednek az L3 megoldásokhoz.

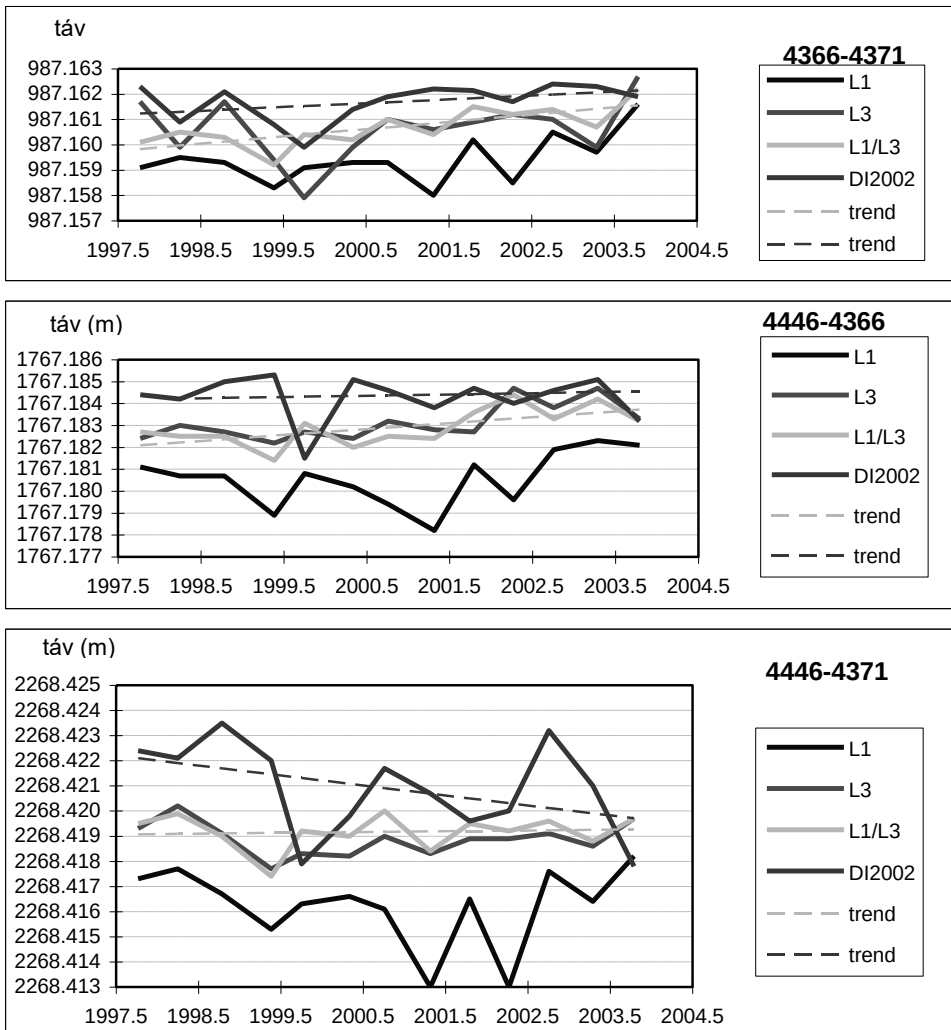
Az ionoszférikus hatások miatt az L1 távolságok (egy kivétellel) mindig a legrövidebb értékeket szolgáltatják. Az ionoszféramentes megoldások ugyan hosszabbak, de többnyire rövidebbek a távméréseknél, amelyeket az ionoszférikus hatások egyáltalán nem befolyásolhatnak. A távolság növekedésével az eltérések is nőnek, ezért valóban méretarány eltérésről van szó.

A távmérésnél a trendtől való véletlen jellegű eltérések a távolság függvényében sokkal jobban nőnek, mint a GPS mérések esetében. Ez részben annak a következménye, hogy a gödöllői alapvonal csak 840 m hosszú, és az ennél lényegesen hosszabb távolságok mérésekor a korrekciók is jóval bizonytalanabbak lesznek, másrészt a két végpontra mért meteorológiai adatokból a vonal menti átlagos törésmutatót nem lehet kellő pontossággal meghatározni. Az első két távolságnál a távmérés és a GPS távolságok trendjei is jó egyezést mutatnak. Ez a megállapítás a leghosszabb távolságnál csak az első adatok elhanyagolásával lenne igazolható.

Összességében tehát megállapíthatjuk, hogy a 2 km-nél nagyobb távolságok, optimális körülmények között, pontosabban határozhatók meg a GPS technika segítségével még az eltérő méretarány ellenére is. A nem modellezett hibahatások miatt azonban itt is csak hosszabb mérési sorozat alapján meghatározható trendek alkalmasak a deformációs folyamatok megfelelő értelmezésére.

5 A Paksi Geodinamikai Hálózat

A 7. ábrán bemutatott geodinamikai hálózat hosszabb időszak tapasztalatai alapján nyerte el a mai alakját. Az alappontok a valószínűsíthető törési zóna mindkét oldalán megtalálhatók. A 12012 és 12011 magassági alappontok az országos kéregmozgási hálózatnak is a tagjai. A további alappontokat csak később létesítették.



6. ábra. GPS technikával és távmérővel mért távolságok összehasonlítása

A szintezési mérések feldolgozásánál a 2. fejezetben bemutatott szabadhálózatos módszert alkalmaztuk. A zónától északra lévő pontok szabadhálózatos idősorát a 8. ábra tartalmazza. Megállapíthatjuk, hogy ez a szakasz stabilnak tekinthető, és a lineáris trendek elhanyagolhatók.

A zónától délre lévő pontok szabadhálózatos idősorát a 9. ábra mutatja. Itt a 12011 alappont az utóbbi években lényegében már nem változott, de az újabb 3341 alappont süllyedése egyértelműen kimutatható. Az ófalui tapasztalatok birtokában azonban tektonikai okokra visszavezethető változások kizárhatók, sokkal inkább az üledék és annak vízházartása lehet a kiváltó ok.

A vízszintes hálózat is szervesen kapcsolódik a telephely alappont hálózatához, amelyet most is hagyományos mérésekkel határoznak meg. Kezdetben a geodinamikai hálózat is hagyományos mérések segítségével készült. Már ekkor is látszott, hogy a pontok közötti összeláthatóság hosszabb távon csak egyre nagyobb költségek árán biztosítható, ezért már az első négy GPS vevő beékeztése után (FÖMI-KGO és MH TÁTI) elvégeztük az első kísérleti méréseket (Bányai et al 1990). Ekkor a hagyományos hálózat a GPS rendszer kezdeti fázisa miatt még pontosabbnak bizonyult.

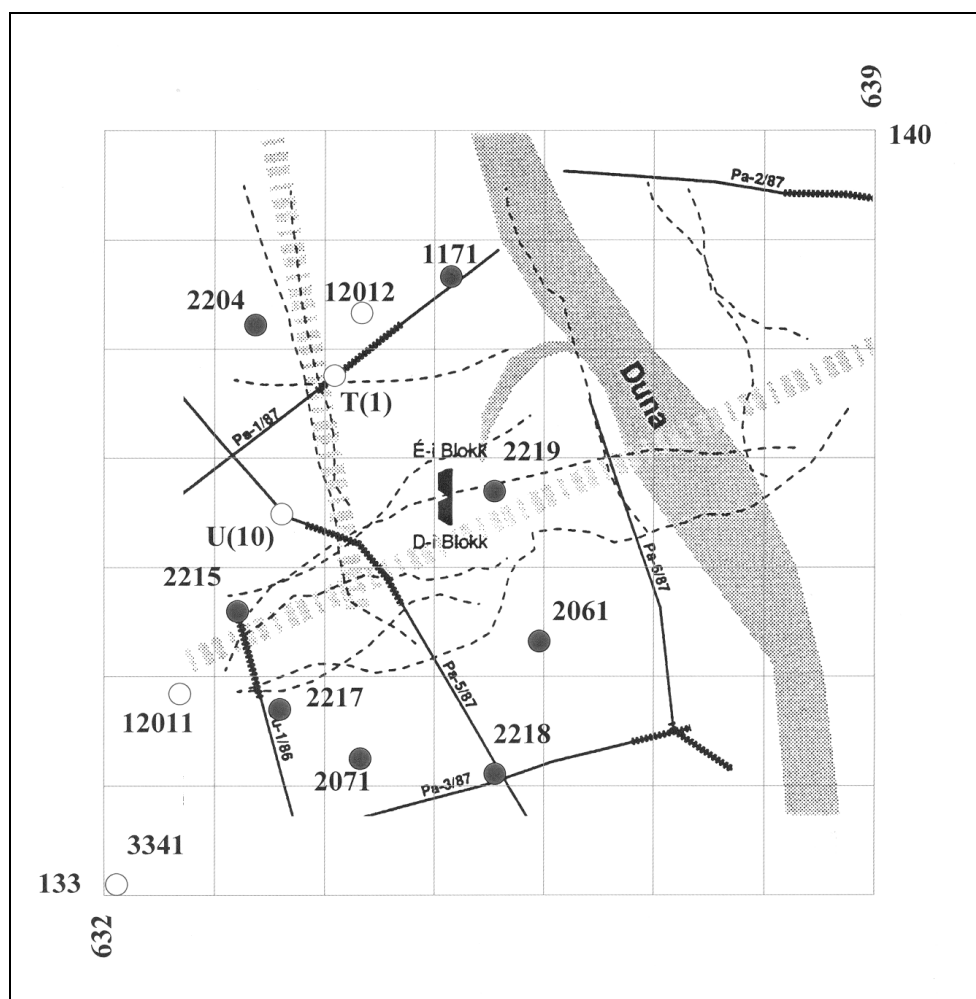
Később, 1996-ban már tíz állomáson végeztünk egyidejű GPS kísérleti méréseket közel nyolc órás megfigyelések feldolgozásával. Ekkor a környezeti változások miatt a hagyományos hálózatot

már nem lehetett a korábbi meghatározásnak megfelelően újramérni, de a GPS technika már kedvező eredményeket szolgáltatott.

A GPS rendszer teljes kiépítettségét követően és a korszerű feldolgozó programok megjelenésével 2002-ben végleg áttértünk az új mérési módszerre. Hét darab mérőpillért választottunk ki a korábbi hálózathoz és egy új pillér (2219) építése is szükségessé vált, hogy az erőmű környezetét megfelelően lefedjük (7. ábra). Annak ellenére, hogy a legkedvezőbb pontokat választottuk ki, az ófalui hálózathoz viszonyítva néhány pont környezete nem tekinthető ideálisnak.

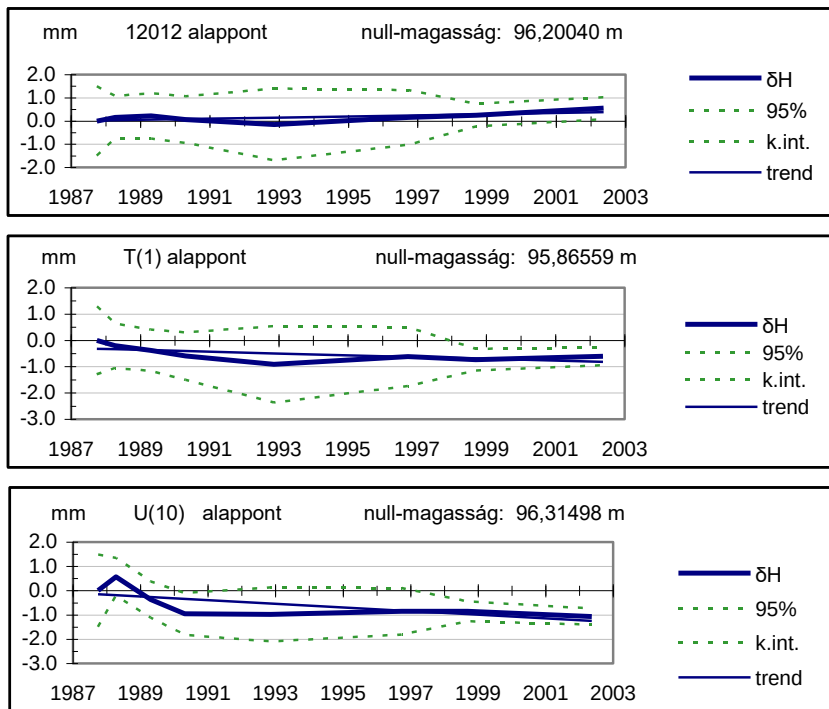
A horizontális koordinátaváltozásokat továbbra is a helyi ipari hálózathoz kell megadnunk, ezért a GPS vektorok kiegyenlítését követően az ellentmondástól mentes távolságokat az üzemi szintre redukáltuk és a szabadhálózatos elvnek megfelelően levezettük a koordinátaváltozásokat és megbecsültük azok pontosságát.

A távolságok ($1.0 \text{ mm} + 1.0 \text{ ppm}$) középpontjait ismertnek tekintettük. (A GPS feldolgozás belső pontossága általában $0.1\text{--}0.2 \text{ mm}$, ami az idősorok elemzése alapján felülbecsült értéknek tekinthető.) Az 1996–2002 közötti mérések eredményeit a $P=0.95$ valószínűségi szintre vonatkozó konfidencia ellipsziszekkel együtt a 10. ábrán mutatjuk be. A koordinátaváltozások gyakorlatilag elhanyagolhatók.

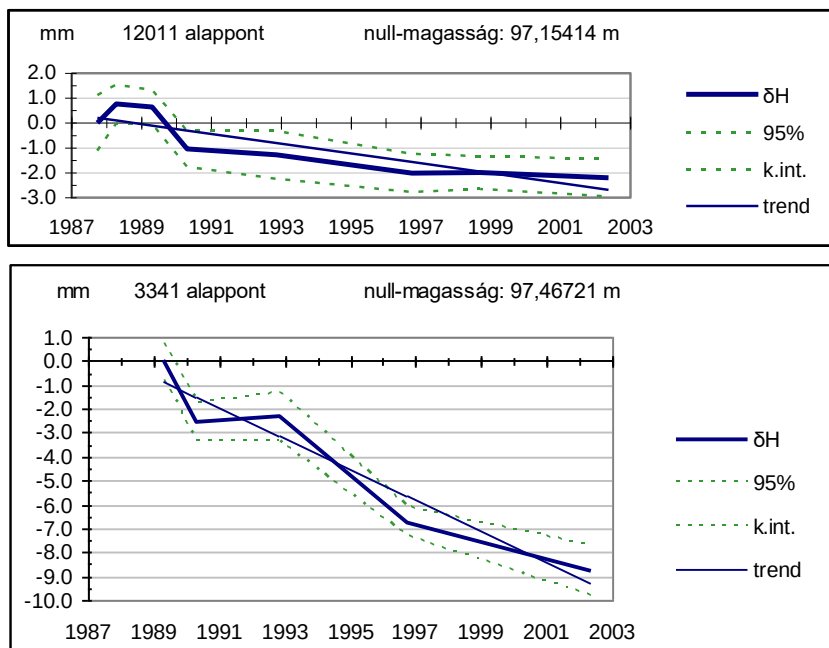


7. ábra. A Paksi Geodinamikai Hálózat

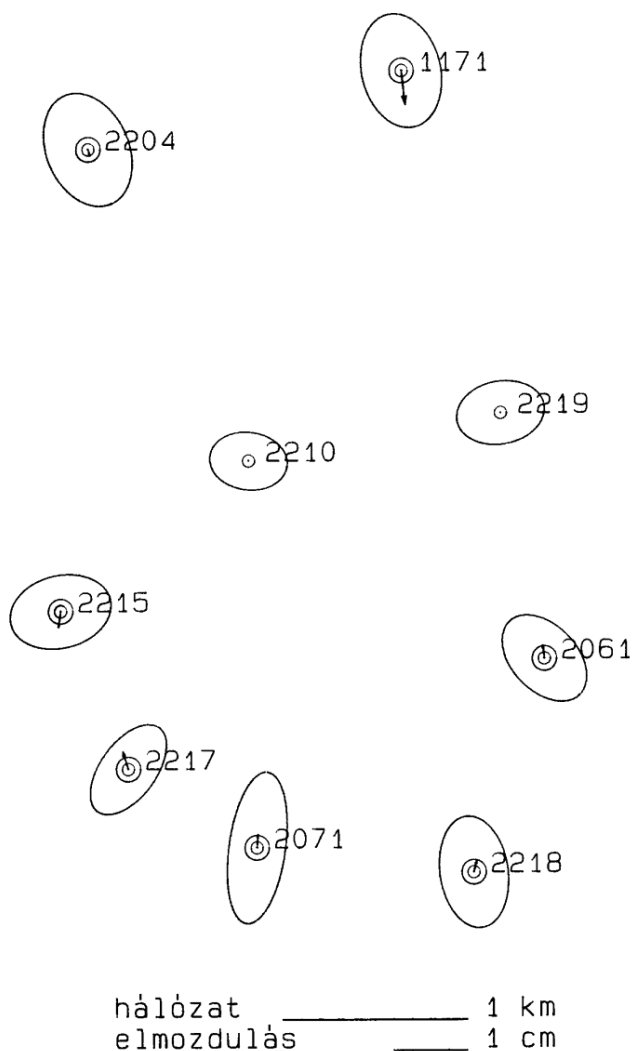
(Az ábra az EOVS kilométer hálózattal mellett a szeizmikus szerkezeti kutatások eredményeit is ábrázolja. Az üres körök a mélyalpozású szintezési alappontokat, a teljes körök a GPS hálózat vasbeton mérőpilléreit jelölik.)



8. ábra. Az északi pontok szabadhálózatos időszora



9. ábra. A déli pontok szabadhálózatos időszora



10. ábra. Az 1996-2002 évek közötti GPS mérésekből levezetett vízszintes koordinátaváltozások és a $P=0.95$ konfidencia ellipszisek

6 A dőlésmérők mérnökgeodéziai alkalmazása

Ebben a részben a fűrólyuk dőlésmérők mérnökgeodéziai alkalmazására szeretnénk felhívni a figyelmet, amely az épületek szerkezeti mozgásai mellett a talajmechanikai és tektonikai mozgások kölcsönhatásainak a kimutatására is alkalmas. Ezt a technológiát az erőműben még nem alkalmaztuk, ezért a hasznosíthatóságát más gyakorlati példákon keresztül mutatjuk be

A dőlésmérő szokásos installálást a 11. ábra mutatja. Az alkalmazott dőlésmérő fontosabb adatai a következők:

Applied Geomechanics Inc. Model 722A

Nagyérzékenységű üzemmód:

mérési tartomány: 800 μ rad

felbontás: 0,1 μ rad (0,02 ív mp.)

skála faktor: 0,1 μ rad/mV

Kisérzékenységi üzemmód:

mérési tartomány: 2000 rad

felbontás: 1 μ rad (0.2 ív mp.)

skála faktor: 1 μ rad/mV

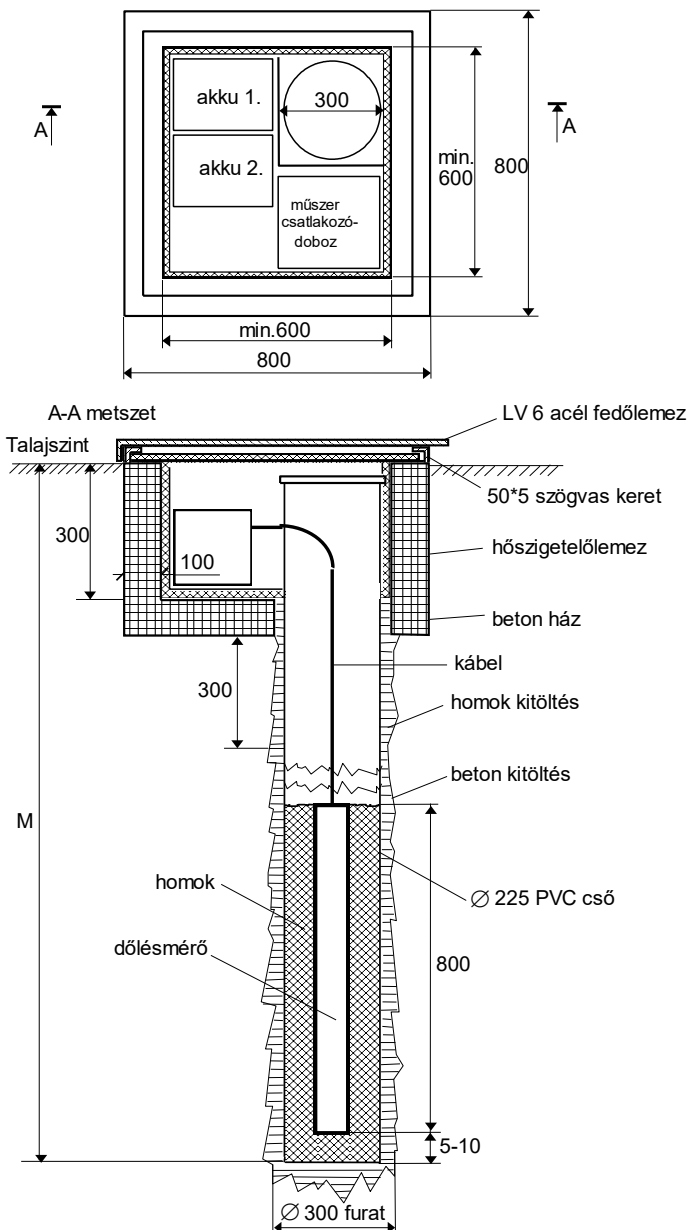
Hőmérsékleti kimenet: 0.1 C/mV

Tápfeszültség: 12 V

Áramfelvétel: 11 mA (+12 V-ról) 6 mA (-12 V-ról)

Méret: 54 mm x 850 mm

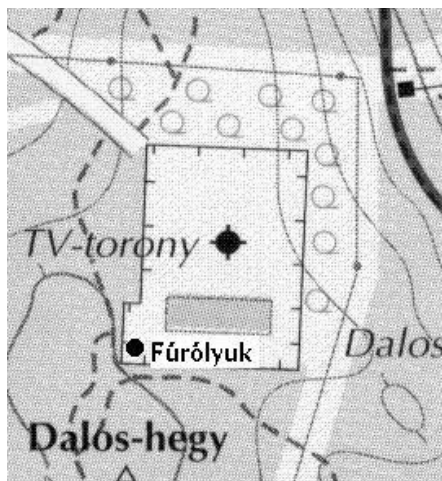
Hőmérsékleti tartomány: -25 C - +70 C



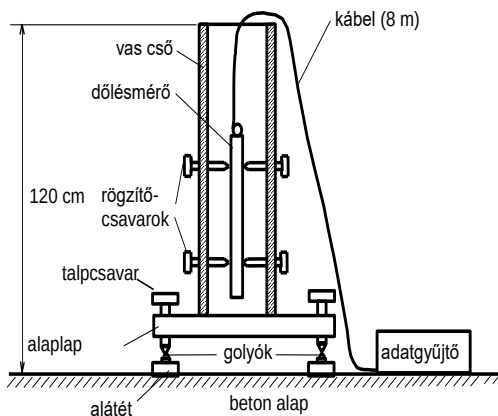
11. ábra. A fűrőlyuk dőlésmérők szokásos installálása

A folyamatos regisztrálású dőlésmérőket jól lehet alkalmazni tektonikai mozgások és felszíni tömegmozgások vizsgálatára, mivel a 3-8 m mély fúrólukak megfelelő hőmérsékleti stabilitást biztosítanak a műszereknek (Mentes 2002a, 2002b, 2003).

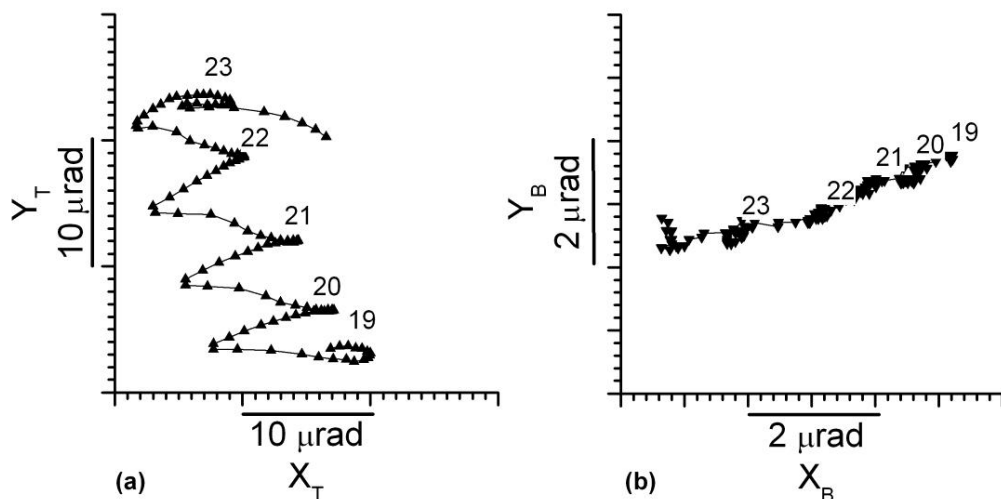
A következő példában a soproni TV-torony vasbeton alapján és attól 90 m távolságban, a kőzetben installált dőlésmérő eredményeit mutatjuk be. A 12. ábra a helyszínrajzot a 13. ábra az alapbetonon történő installálást mutatja. Mindkét dőlésmérő úgy lett installálva, hogy a pozitív Y irány északi, a pozitív X irány keleti irányba mutat. A 14. ábrán egy négynapos regisztrálás eredményeit mutatjuk be. A 14.a ábra a toronyban regisztrált dölések Y komponensét mutatja be az X komponens függvényében, míg a 14.b ábra a toronyon kívüli méréseket. Az 14.a ábra jól mutatja a toronynak a hőmérséklet hatására bekövetkező napi járását, amely jóval kisebb mértékben a 14.b ábrán is azonosítható. Ez azt mutatja, hogy a toronynak az alapkőzetre gyakorolt hatása még 90 m környezetben is érzékelhető. A hőmérsékleti járást az okozza, hogy a vasbetonból készült toronynak a Nap irányába eső oldala megnyúlik, ezáltal a torony súlypontja a Nappal áttellenes oldal irányába kimozdul a torony középvonalából és a torony kismértékben megdől. A Nap keletről nyugatig történő mozgása során a torony dőlésiránya nyugattól keletig változik, amely a talajnak is átadódik. A torony és a talaj dölése közötti kapcsolat a talajmechanikai jellemzők meghatározása mellett felhasználható, pl. a torony földrengéskockázatának becslésére is.



12. Ábra. A dőlésmérők elhelyezése



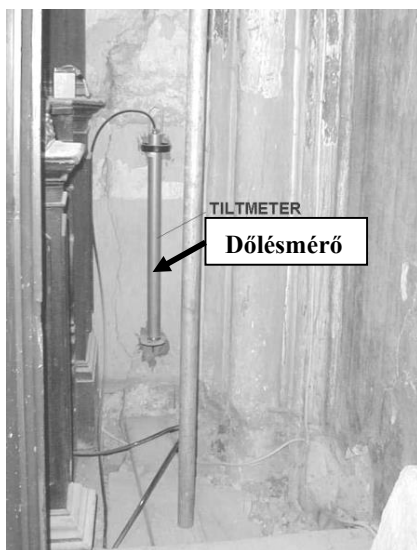
13. ábra. A dőlésmérő installálás az alapbetonon



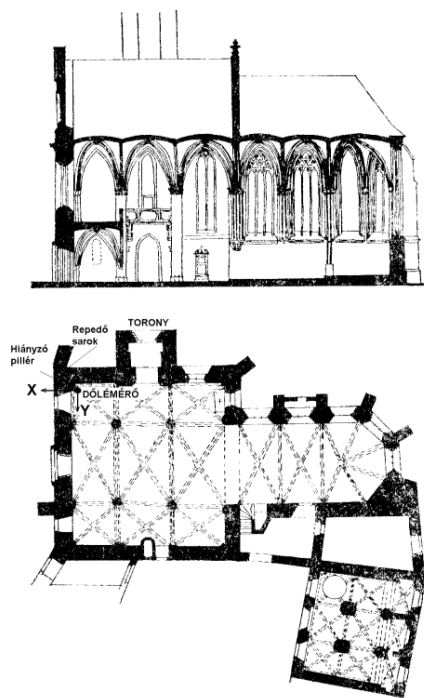
14. ábra. A soproni Dalos-hegyen regisztrált dölések
(a) a torony alapzatán, (b) a fűrólyukban

Gyorsregisztrálást alkalmazva a talaj és az épületdölések kapcsolata nagyobb szélviharok, mikroszeizmikus rezgések, valamint földrengések hatására bekövetkező mozgások során is vizsgálható. A rezgés spektrumának változásaiból az épület szerkezeti változásaira és a talaj épület közötti kapcsolat megváltozásaira is lehet következtetni, ezért ezek a mérések az objektum szerkezeti állapotának és földrengésbiztonságának felméréséhez is alkalmazhatók (Mentes és Fabian 2001, Mentes 2002c, 2004a, 2004b, 2005a).

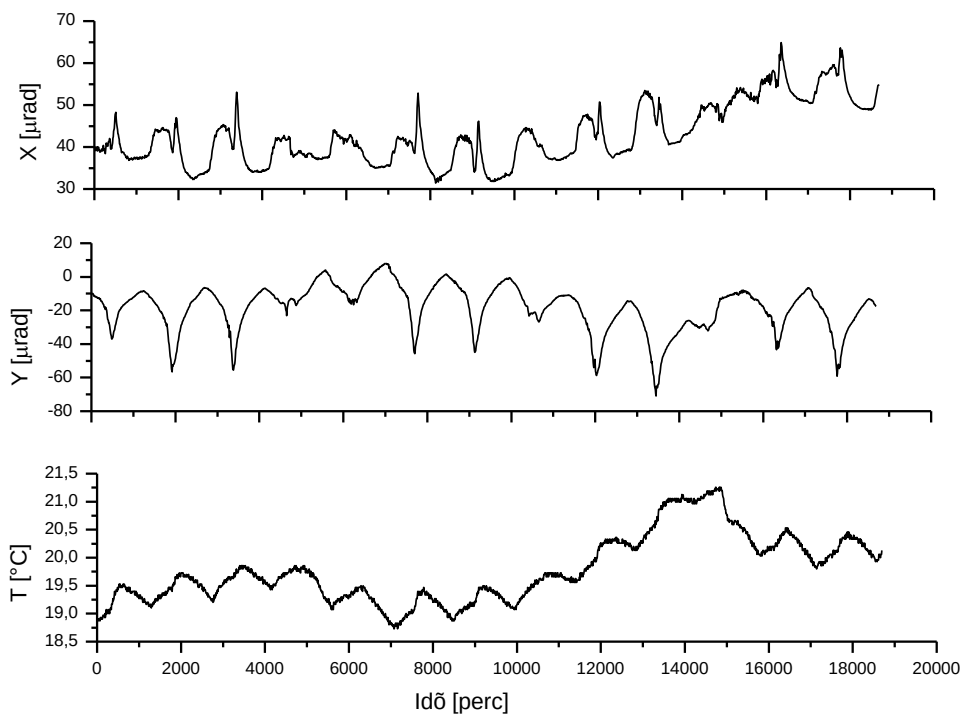
Utolsó példánk a soproni Kecse-templom falsíkjának a mozgásvizsgálatát mutatja. A műszer installálását és elhelyezését a 15. és 16. ábrák szemléltetik. A 17. ábrán egy többnapos gyors regisztrátumot mutatunk be, ahol a dölések napi járása nagyon szoros korrelációt mutat a hőmérséklet napi járásával. Hasonló következtetés vonható le az éves változások vizsgálatából is (18. ábra). Dölési trendet szerencsére nem tapasztaltunk. A vizsgálatot részletesen ismerteti Mentes (2005b).

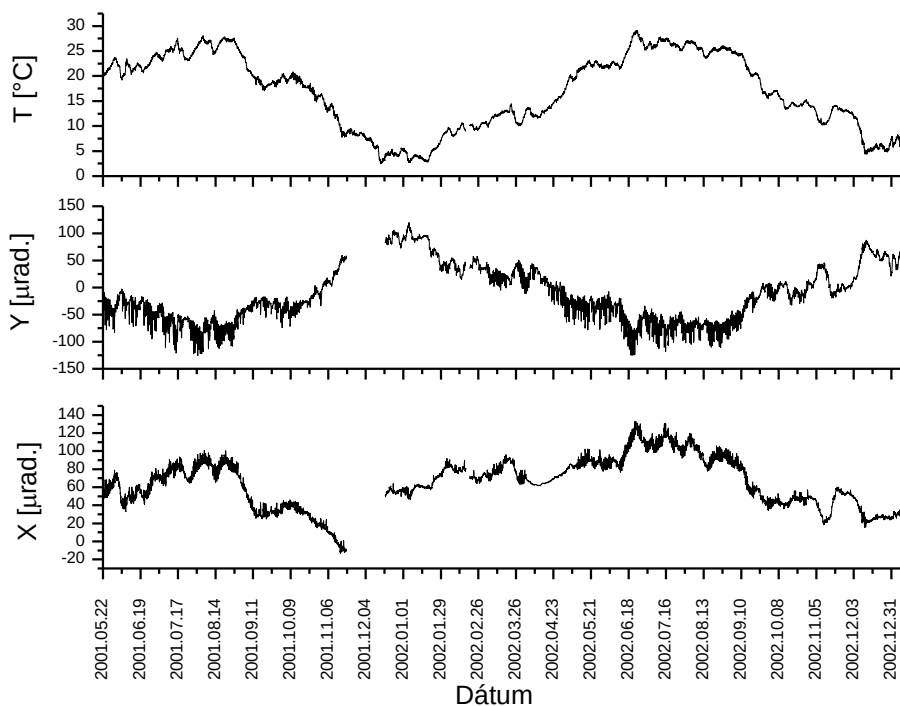


15. ábra. A dölésmérő installálása



16. ábra. A dőlsmérő elhelyezése

17. ábra. Gyorsregisztrálás a soproni Kecske-templomban
2001. május 5-21. időszakban



18. ábra. A Kecske templomban regisztrált nyers adatok

6 Összefoglalás

Összességében tehát megállapíthatjuk, hogy deformáció vizsgálati célra modern eszközök és módszerek állnak a rendelkezésünkre. A szabatos szintezések mellett, kedvező külső körülmények között, a GPS technika alkalmazása kerülhet az előtérbe. A dőlésmérők is fontos szerepet tölthetnek be, mivel nagyon kis változások folyamatos regisztrálására alkalmasak, kitöltve ezzel azt az időbeli űrt, amely két geodéziai mérés között eltelik.

A mérési technikák és módszerek megtervezésénél mindig nagyon gondosan és körültekintően kell eljárni. Úgy gondoljuk, hogy az eddigi tapasztalataink alapján a PA Rt. környezetében kialakított geodinamikai hálózat és minőség-irányítási rendszer is korszerű módon oldja meg az erőművel kapcsolatos feladatokat.

Ahogy a hálózat eddigi története is mutatja, mindig nyitottnak kell lenni a korszerű kihívásokra és azokat időben be kell vezetni.

Hivatkozások

- Bányai L., Faludi S., Rákóczi J., Sipos Gy., Szádeczky-Kardoss Gy (1990): Lokális geodinamikai hálózaton végrehajtott GPS kísérleti mérések eredményei. 9. Kozmikus Geodéziai Szeminárium előadásainak gyűjteménye, Budapest.
- Detrekői Á (1991): Kiegyenlítő számítások. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Mentes Gy., Fabian, M (2001): Investigation of ground and object motions at the TV tower in Sopron, Hungary. Acta Geod. Geoph. Hung., 36; 4, 391-398.
- Mentes Gy (2002a): Monitoring of Building and Related Ground Motions by Tiltmeters. In: Kahmen, H. Niemeier, W. Retscher, G. (Eds.): Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering II., Department of Applied and Engineering Geodesy, Institute of Geodesy and Geophysics, Vienna University of Technology, Vienna, Austria, (ISBN 3-9501492-1-X), 18-26.
- Mentes Gy (2002b): Földcsuszamlás monitorozása fűrólyuk dőlésmérőkkel. MTA FKK Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, Sopron, Geomatikai közlemények V, 91-97.

- Mentes Gy** (2002c): Monitoring of Local Geodynamical Processes by Borehole Tiltmeters in the Vicinity of the Mecsekalja-fault in Hungary. In: Kahmen, H. Niemeier, W. Retscher, G. (Eds.): Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering II., Department of Applied and Engineering Geodesy, Institute of Geodesy and Geophysics, Vienna University of Technology, Vienna, Austria, (ISBN 3-9501492-1-X), 278-287.
- Mentes Gy** (2003): Monitoring local geodynamical movements and deformations by borehole tiltmeters in Hungary. Proceedings of the 11th FIG Symposium on Deformation Measurements, Santorini, Greece, 43-50.
- Mentes Gy** (2004a): Measurement and Analysis of Cyclic Deformations and Movements of the TV Tower in Sopron. 1st FIG International Symposium on Engineering Surveys for Construction Works and Structural Engineering. Workshop on Measurements and Analysis of Cyclic Deformations and Structural Vibrations. University of Nottingham, Nottingham, United Kingdom, 28 June – 1 July 2004. CD, International Federation of Surveyors, Frederiksberg, Denmark (ISBN 87-90907-35-3), www.fig.net/nottingham/technical/programme.htm TS8.2 1-13.
- Mentes Gy** (2004b): Health Monitoring of structures Using Natural Effects as Excitation Signal. Proceedings of the 3rd International Conference on Engineering Surveying and FIG Regional Conference for Central and Eastern Europe INGeo 2004, November 11-13, 2004. Bratislava, Slovakia, CD, International Federation of Surveyors, Frederiksberg, Denmark (ISBN 87-90907-34-5), www.fig.net/pub/bratislava TS5. 1-9.
- Mentes Gy** (2005a): Investigation of the deformations and movements of the TV tower in Sopron influenced by weather variations and ground motions. In: Eds.: R. Flesch, H. Irschik, M. Krommer: Proceedings of the Third European Conference on Structural Control. Vienna, Austria, July 2004, Schriftenreihe der Technischen Universität Wien, (ISBN-3-901167-90-0), Volume II. S6-72-75.
- Mentes Gy** (2005b): A soproni Kecske templom mozgásvizsgálata folyamatos dőlésméréssel. Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, Sopron, Geomatikai közlemények VIII, 143-150.
- Mikhail E M** (1976): Observations and least squares. IEP-A Dun-Donnelley Publisher, New York.

NEM TELJES RANGÚ GAUSS-MARKOV MODELL MINIMUM NORMÁS BECSLÉSE

Závoti József*

 **Minimum norm estimation of the non-full rank Gauss-Markov model** – The spectral analysis, the singular value decomposition (SVD) of the design matrix is one of the up-to-date methods among the geodetic adjustment procedures. Studying the SVD method it was concluded that there are matrices which are ill-conditioned even with respect to the SVD decomposition. It was shown that one class of symmetric matrices in the geodesy, namely the normal matrices of levelling networks, is well-conditioned with respect to the singular values. They are less sensitive to the changes of the matrix elements.

Keywords: Gauss-Markov model, least-squares methods, principal component estimations

A geodézia korszerű kiegyenlítő számítási módszerei közé tartozik a spektrálanalízis, az alakmátrix szinguláris érték szerint felbontása (SVD – Singular Value Decomposition). Az SVD tanulmányozása során arra a következtetésre jutottunk, hogy léteznek mátrixok, amelyek éppen a sajátérték-feladat megoldására gyengén meghatározottak. A geodéziában előforduló szimmetrikus mátrixok egy osztályáról, a szintezési hálózatok normálmátrixairól, sikerült kimutatni, hogy annak sajátértékei jól meghatározottak, azaz kevésbé érzékenyek a mátrix elemeinek kis megváltoztatására.

Kulcsszavak: Gauss-Markov modell, legkisebb négyzetek módszere, minimum norma, főkomponens becslések

1 Bevezetés

A sajátvektorok nem minden esetben folytonos függvényei a mátrix elemeinek, ezért a mátrix egyes elemeit kissé megváltoztatva, a sajátvektorok nagy megváltozása fordulhat elő. Sikerült bizonyítani, hogy a sajátértékek érzékenysége attól függ, hogy mennyire különböznek a szomszédos sajátértékektől. Ha a sajátértékek jól elkülönítettek, akkor az hozzájuk tartozó sajátvektorok is jól meghatározottak.

A szinguláris érték szerint felbontás (SVD – Singular Value Decomposition) módszer szerinti megoldás középhibája igen nagy, ha a legkisebb nemnulla sajátérték közel van a nullához. A robusztus becslésekhez hasonlóan kidolgoztunk egy olyan új iterációs eljárást, amely az módszer középhibáját minimalizálja. A javított becslés az eredeti SVD megoldás súlyozott lineáris kombinációja. A levezetett súlyozás a kombinatív főkomponens becslésnél és az egyparaméteres főkomponens becslésnél is kisebb középhibát ad.

2 Matematikai modell

A geodéziai alkalmazások területén is nagy érdeklődés mutatkozik a szinguláris értékek szerinti felbontás iránt. Több publikációban – például Perelmutter (1979), Jia (1987) és Yang (1989) – tárgyalták az SVD módszer kiegyenlítő számításokban való alkalmazását. A robusztus becslések témakörében is találkozhatunk SVD-vel kapcsolatos kísérletekkel. A nem teljes rangú Gauss-Markov modellek alkalmazásával Koch (1987) foglalkozott. Az L_p normás becslések lineáris konform leképezésekre való alkalmazását Somogyi és Závoti (1996), valamint Závoti (1999) tárgyalta. Az SVD-vel folytatott kísérletekről jó áttekintést ad Qingming és Xurong (1993).

Tekintsük a Gauss-Markov (GM) matematikai modellt:

$$\mathbf{y} = \mathbf{A} \mathbf{x} + \mathbf{v} \quad , \quad \mathbf{D}(\mathbf{v}) = \sigma^2 \mathbf{P}^{-1} \quad , \quad \mathbf{E}(\mathbf{v}) = \mathbf{0} \quad , \quad (2.1)$$

ahol:

- $\mathbf{y}$ a megfigyelések egy véletlen vektora (elemek száma m),
- $\mathbf{v}$ a javítások vektora (elemek száma m)
- $\mathbf{x}$ az ismeretlenek vektora (elemek száma n)
- $\mathbf{D}$ az $\mathbf{y}$ vektor kovariancia mátrixa (sorok és oszlopok száma m),
- $\mathbf{P}$ az $\mathbf{y}$ megfigyelések ismert súlymátrixa ($\mathbf{P} > 0$),
- σ^2 ismeretlen tényező,
- $\mathbf{A}$ az együttható mátrix (sorok száma m , oszlopok száma n),
- $\text{rang}(\mathbf{A}) = n_0$, defektusa: $d = n - n_0$.
- E a várható érték.

Amennyiben $d = 0$ teljes rangú a G-M modell, ha $d > 0$, nem teljes rangú.

A mátrix szinguláris értékek szerinti felbontása a numerikus analízis korszerű technikái közé tartozik. Az SVD-vel általánosított értelemben megoldhatók olyan lineáris algebrai egyenletrendszerek, amelyeknek az együtthatómátrixa szinguláris, vagy numerikusan majdnem szinguláris.

Penrose (1955) alapján bármely valós $\mathbf{A}$ ($m \geq n$) mátrix felbontható a következő alakban:

$$\mathbf{A} = \mathbf{U} \mathbf{A} \mathbf{V}^T, \quad (2.2)$$

ahol

$$\mathbf{A} = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n), \quad (2.3)$$

$$\mathbf{U}^T \mathbf{U} = \mathbf{V}^T \mathbf{V} = \mathbf{V} \mathbf{V}^T = \mathbf{I}_n. \quad (2.4)$$

Az $\mathbf{U}$ mátrix n oszlopát az $\mathbf{A} \mathbf{A}^T$ mátrix n legnagyobb sajátértékéhez tartozó ortonormált sajátvektorok alkotják. A $\mathbf{V}$ mátrix oszlopai az $\mathbf{A}^T \mathbf{A}$ mátrix ortonormált sajátvektorai. A $\mathbf{A}$ főátló elemei az $\mathbf{A} \mathbf{A}^T$ mátrix sajátértékeinek nemnegatív négyzetgyökei. Ha az $\mathbf{A}$ mátrix rangja n_0 , akkor $\lambda_i > 0$ $i = 1, 2, \dots, n_0$. Tehát a pozitív saját értékek száma egyenlő az $\mathbf{A}$ mátrix rangjával. Az $\mathbf{A}$ mátrix spektrális felbontása során a Householder-transzformációk alkalmazásával kétátlós alakra redukáljuk, majd meghatározzuk a kétátlós mátrix szinguláris értékeit.

Az $\mathbf{A}$ mátrix Moore-Penrose pszeudoinverzének nevezzük az $\mathbf{A}^+$ mátrixot, ha kielégíti a következő négy feltételt:

$$\mathbf{A} \mathbf{A}^+ \mathbf{A} = \mathbf{A}, \quad \mathbf{A}^+ \mathbf{A} \mathbf{A}^+ = \mathbf{A}^+ \quad (2.5)$$

és

$$\mathbf{A} \mathbf{A}^+, \mathbf{A}^+ \mathbf{A}$$

szimmetrikus mátrixok.

Bebizonyítható, hogy minden $\mathbf{A}$ mátrixnak létezik egyetlen ilyen $\mathbf{A}^+$ mátrixa. Ha $\mathbf{A}$ nonszinguláris, négyzetes mátrix, akkor $\mathbf{A}^+ = \mathbf{A}^{-1}$.

Ha $\text{rang}(\mathbf{A}) = n$, akkor $\mathbf{A}^+ = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T$ és a G-M modell egyértelműen megoldható.

Ha $\text{rang}(\mathbf{A}) = n_0 < n$, akkor a pszeudoinverz mátrixot a szinguláris értékek szerinti felbontással állítjuk elő.

A kiegyenlítő számításban előforduló mátrixok általában túlhatározottak ($m > n$) és nincs megoldásuk. Ilyen esetben célszerű bevezetni az általánosított megoldás, illetve a legkisebb négyzetes megoldás fogalmát. Olyan $\mathbf{x}$ vektort keresünk, amely minimummá teszi az $\mathbf{y} - \mathbf{A} \mathbf{x}$ hibavektor euklideszi normáját. Ha az $\mathbf{A}$ mátrix n_0 rangja kisebb, mint n , akkor a megoldás nem egyértelmű. A megoldás egyértelművé válik, ha a megoldások közül a legkisebb euklideszi normájút keressük.

3 A legkisebb négyzetes, minimum normás becslés (LN)

A G-M modell legkisebb négyzetes, minimum normás becslése a

$$\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v} \rightarrow \min., \quad \mathbf{x}^T \mathbf{x} \rightarrow \min. \quad (3.1)$$

feltételekkel a következő:

$$\bar{\mathbf{x}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^+ \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{y}, \quad (3.2)$$

ahol $^+$ jelöli a Moore-Penrose-féle általánosított inverzet.

Legyenek:

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \dots \lambda_k \geq 1 > \lambda_{k+1} \geq \dots \lambda_{n_0} > \lambda_{n_0+1} = \dots = \lambda_n = 0 \quad (3.3)$$

a rendezett sajátértékei az $\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A}$ mátrixnak, $\mathbf{q}_1, \mathbf{q}_2, \dots, \mathbf{q}_n$ a megfelelő ortonormált sajátvektorok. Vezessük be a következő jelöléseket:

$$\begin{aligned} \mathbf{Q} &= (\mathbf{q}_1, \mathbf{q}_2, \dots, \mathbf{q}_n) = (\mathbf{Q}_{n_0}, \mathbf{Q}_0) \quad , \\ \mathbf{Q}_{n_0} &= (\mathbf{q}_1, \mathbf{q}_2, \dots, \mathbf{q}_{n_0}) \quad , \\ \mathbf{Q}_0 &= (\mathbf{q}_{n_0+1}, \dots, \mathbf{q}_n) \quad , \\ \mathbf{A} &= \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{n_0}, 0, \dots, 0_n) \quad , \\ \mathbf{A}_1 &= \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{n_0}, 1, \dots, 1_n) \quad . \end{aligned} \quad (3.4)$$

Ekkor

$$\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A} = \mathbf{Q} \mathbf{A} \mathbf{Q}^T = \sum_{i=1}^n \lambda_i \mathbf{q}_i \mathbf{q}_i^T. \quad (3.5)$$

Az $\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A}$ mátrix Moore-Penrose általánosított inverze egyszerűen kiszámítható, miután elvégeztük a $\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A}$ mátrix SVD felbontását, azaz előállítottuk a $\mathbf{Q}$ és $\mathbf{A}$ mátrixokat. Ben-Israel és Greville (1974), valamint Popper és Csizmás (1993) alapján írhatjuk:

$$(\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^+ = \mathbf{Q} \mathbf{A}^+ \mathbf{Q}^T = \sum_{i=1}^n \lambda_i^+ \mathbf{q}_i \mathbf{q}_i^T, \quad (3.6)$$

ahol

$$\mathbf{A}^+ = \text{diag}(\lambda_1^+, \lambda_2^+, \dots, \lambda_n^+) \quad (3.7)$$

és

$$\lambda_i^+ = \begin{cases} \frac{1}{\lambda_i} & , \quad \lambda_i \neq 0 \\ 0 & , \quad \lambda_i = 0 \end{cases} \quad (3.8)$$

A (3.6) összefüggést a (3.2) egyenletbe helyettesítve kapjuk a legkisebb négyzetes, minimális normájú becslés spektrális dekompozícióját:

$$\hat{\mathbf{x}}(\lambda) = \sum_{i=1}^n \lambda_i^+ \tilde{\mathbf{x}}_i, \quad (3.9)$$

ahol

$$\tilde{\mathbf{x}}_i = \mathbf{q}_i \mathbf{q}_i^T \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{y}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (3.10)$$

A (3.9) összefüggés alapján a (2.1) G-M modell $\mathbf{x}$ vektorára új becsléseket definiálhatunk:

$$\tilde{\mathbf{x}}(\mathbf{w}) = \sum_{i=1}^n \mathbf{w}_i \tilde{\mathbf{x}}_i. \quad (3.11)$$

A fenti alakból látható, hogy $\tilde{\mathbf{x}}(\mathbf{w})$ a $\mathbf{w}_i$ súlyokkal képzett lineáris kombinációja az $\tilde{\mathbf{x}}_i (i = 1, 2, \dots, n_0)$ független statisztikai mennyiségeknek.

Amennyiben $w_i = \lambda_i^+$, visszajutunk a legkisebb négyzetes, minimum normás becslésekhez, de egyéb alkalmas választási lehetőség is van. A (3.6) összefüggésből következik:

$$\tilde{x}(w) = Q W A_1 Q^T x(\lambda) . \quad (3.12)$$

3 A súlyozott becslések egy osztálya

A G-M modell legkisebb négyzetes, minimum normás becslésének középhibája *Qingming* és *Xu-rong* (1993) alapján:

$$MSE(\hat{x}(\lambda)) = \sigma^2 \sum_{i=1}^{n_0} \frac{1}{\lambda_i} + \sum_{i=n_0+1}^n (q_i^T x)^2 . \quad (3.13)$$

Abban az esetben, ha a legkisebb nemnulla sajátértékek a nullához közel esnek, a fenti középhiba nagyon nagy lehet. A legkisebb négyzetes, minimum normás megoldásokból kiindulva az (3.16) alakban megadott megoldáshoz olyan súlyok bevezetését javasoljuk, amelyek minimalizálják az alábbi középhibát:

$$MSE(\tilde{x}(w)) = \sigma^2 \sum_{i=1}^{n_0} w_i^2 \lambda_i + \sum_{i=1}^{n_0} (w_i \lambda_i - 1)^2 (q_i^T x)^2 + \sum_{i=n_0+1}^n (q_i^T x)^2 . \quad (3.14)$$

A fenti célfüggvény szélsőérték-helyei létezésének szükséges feltétele, hogy a parciális deriváltak eltűnjenek:

$$\frac{\delta MSE(\tilde{x}(w))}{\delta w_i} = 2\sigma^2 w_i \lambda_i + 2\lambda_i (w_i \lambda_i - 1) (q_i^T x)^2 = 0 , \quad i = 1, 2, \dots, n_0 . \quad (3.15)$$

Az egyenletrendszer megoldásai szeparálhatók:

$$w_i = \frac{1}{\lambda_i + \frac{\sigma^2}{(q_i^T x)^2}} , \quad i = 1, 2, \dots, n_0 . \quad (3.16)$$

A második parciális deriváltak alapján a szélsőérték-feladatnak minimuma van:

$$\sigma^2 \lambda_i + \lambda_i^2 (q_i^T x)^2 > 0 , \quad i = 1, 2, \dots, n_0 . \quad (3.17)$$

3.1 Kombinatív főkomponens becslés (CPC)

A kombinatív főkomponens becslés esetén *Jia* (1987) alapján:

$$\tilde{x}(\lambda_1^{-2}, \lambda_2^{-2}, \dots, \lambda_k^{-2}, 1, \dots, 1) = Q \text{diag}(\lambda_1^{-1}, \lambda_2^{-1}, \dots, \lambda_k^{-1}, \lambda_{k+1}^{-1}, \lambda_{n_0}^{-1}, 1, \dots, 1) Q^T \hat{x}(\lambda) . \quad (3.18)$$

3.2 Egyparaméteres főkomponens becslés (SPPC)

Legyen $\vartheta \in (\lambda_{n_0}, 1)$ adott szám. *Yang* (1989) alapján:

$$\begin{aligned} \tilde{x}\left(\frac{\lambda_1 - 1 + \vartheta}{\lambda_1^2}, \frac{\lambda_2 - 1 + \vartheta}{\lambda_2^2}, \dots, \frac{\lambda_k - 1 + \vartheta}{\lambda_k^2}, \vartheta, \dots, \vartheta\right) = \\ Q \text{diag}\left(\frac{\lambda_1 - 1 + \vartheta}{\lambda_1}, \frac{\lambda_k - 1 + \vartheta}{\lambda_k}, \vartheta \lambda_{k+1}, \dots, \vartheta \lambda_{n_0}, 1, \dots, 1\right) Q^T \hat{x}(\lambda) . \end{aligned} \quad (3.19)$$

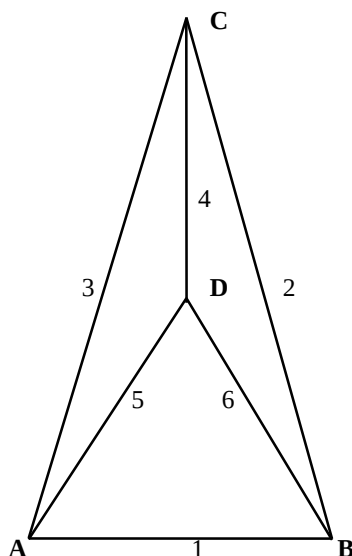
3.3 MSE minimalizálás

$$\tilde{\mathbf{x}}\left(\frac{1}{\lambda_1 + \frac{\sigma^2}{(\mathbf{q}_1^T \hat{\mathbf{x}}(\lambda))^2}}, \frac{1}{\lambda_2 + \frac{\sigma^2}{(\mathbf{q}_2^T \hat{\mathbf{x}}(\lambda))^2}}, \dots, \frac{1}{\lambda_k + \frac{\sigma^2}{(\mathbf{q}_k^T \hat{\mathbf{x}}(\lambda))^2}}, 1, \dots, 1\right) =$$

$$\mathbf{Q} \operatorname{diag}\left(\frac{\lambda_1}{\sigma^2}, \dots, \frac{\lambda_k}{\sigma^2}, 1, \dots, 1\right) \mathbf{Q}^T \hat{\mathbf{x}}(\lambda)$$
(3.20)

4 Numerikus példa

A módosított legkisebb négyzetes, minimális normájú becslések előnyeinek illusztrálására bemutatunk egy geodéziai példát. Kiegyenlítjük a 4.1 ábrán adott négy pontból, hat szintezési szakaszból, három zárt körből álló szabad szintezési hálózatot.



4.1. ábra. Szintezési hálózat

A 4.1 táblázat tartalmazza a négy pont közelítő magasságát, a korrelálatlan megfigyeléseket, – amelyek különbségei a megfelelő pontok magasságainak – és a megfigyelésekhez tartozó súlyokat.

4.1. táblázat. Mérési adatok

	megfigyelések (m)	súly		Közelítő magasságok (m)
1	1.015	0.5	A	33.3
2	11.561	0.3	B	34.3
3	12.570	0.4	C	45.9
4	6.414	0.2	D	39.5
5	6.161	0.05		
6	5.140	0.1		

A táblázatban szereplő súlyok fiktívek, csak a tárgyalta módszer alkalmazásának bemutatására szolgálnak.

Kiszámítottuk a négy pont kiegyenlített magasságát a hagyományos legkisebb négyzetes, minimum normájú becsléssel és az általunk javasolt módszerekkel.

Jelölje:

$$x_i = x_i^0 + \hat{x}_i, \quad i = A, B, C, D, \quad (4.1)$$

az ismeretleneket, ahol

- x_i az i -edik pont becsült magassága,
- x_i^0 az i -edik pont közelítő magassága,
- $\hat{x}_i$ ismeretlen paraméter, az x_i^0 érték korrekciója.

A megfigyelésekből felírhatunk hat közvetítő egyenletet:

$$\begin{aligned} (34.3 + \hat{x}_B) - (33.3 + \hat{x}_A) &= v_1 + 1.015, \\ (45.9 + \hat{x}_C) - (34.3 + \hat{x}_B) &= v_2 + 11.561, \\ (45.9 + \hat{x}_C) - (33.3 + \hat{x}_A) &= v_3 + 12.570, \\ (45.9 + \hat{x}_C) - (39.5 + \hat{x}_D) &= v_4 + 6.414, \\ (39.5 + \hat{x}_D) - (33.3 + \hat{x}_A) &= v_5 + 6.161, \\ (39.5 + \hat{x}_D) - (34.3 + \hat{x}_B) &= v_6 + 5.140. \end{aligned} \quad (4.2)$$

A fenti egyenlet mátrix alakban:

$$\begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}_A \\ \hat{x}_B \\ \hat{x}_C \\ \hat{x}_D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 15 \\ -39 \\ -30 \\ 14 \\ -39 \\ -60 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \\ v_6 \end{bmatrix}. \quad (4.3)$$

A tiszta tag értékei mm -ben adottak.

A levezetett normálmátrix és normálvektor:

$$\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0.95 & -0.5 & -0.4 & -0.05 \\ -0.5 & 0.9 & -0.3 & -0.1 \\ -0.4 & -0.3 & 0.9 & -0.2 \\ -0.05 & -0.1 & -0.2 & 0.35 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{y} = \begin{bmatrix} -38.55 \\ -14.80 \\ 49.10 \\ 4.25 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

Az $\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A}$ mátrix sajátértékei és a sajátértékekhez tartozó sajátvektorok, amelyek a megfelelő ortogonális mátrix oszlopait alkotják az alábbiak:

$$\lambda_1 = 1.45249, \quad \lambda_2 = 0.0, \quad \lambda_3 = 0.44749, \quad \lambda_4 = 1.2 \quad (4.5)$$

és

$$\mathbf{Q} = (\mathbf{q}_1, \mathbf{q}_2, \mathbf{q}_3, \mathbf{q}_4), \quad (4.6)$$

ahol

$$\mathbf{q}_1 = \begin{bmatrix} -0.77554 \\ 0.56149 \\ 0.28074 \\ -0.06669 \end{bmatrix}, \mathbf{q}_2 = \begin{bmatrix} 0.5 \\ 0.5 \\ 0.5 \\ 0.5 \end{bmatrix}, \mathbf{q}_3 = \begin{bmatrix} 0.36793 \\ 0.32527 \\ 0.16262 \\ -0.85580 \end{bmatrix}, \mathbf{q}_4 = \begin{bmatrix} -0.11470 \\ -0.57354 \\ 0.80296 \\ -0.11471 \end{bmatrix}. \quad (4.6)$$

A különböző módszerek eredményei a 4.2 táblázat adatai alapján hasonlíthatók össze, ahol

$$K = \frac{\max\{w_i, 1\}}{\min\{w_i, 1\}} \quad (4.7)$$

az egyenlet rendszer kondíciójára jellemző mennyiség, a becslés stabilitását jelöli.

4.2. táblázat. A különböző módszerek eredményei

		LN		CPC		SPPC		min MSE	
$\ \hat{\mathbf{x}}\ $		59.347		42.280		47.418		51.569	
σ		11.362		9.369		6.126		4.922	
MSE		697.0		247.087		137.592		113.1216	
K		3.246		2.109		1.559		1.456	
x_A	x_B	-35.736	-21.864	-22.419	-16.077	-26.839	-14.374	-29.036	-15.991
x_C	x_D	36.151	21.449	31.198	7.298	35.973	5.240	39.049	5.978
w_A	w_B	0.688	0.0	0.474	1.0	0.641	0.9	0.687	1.0
w_C	w_D	2.235	0.833	1.0	0.694	0.9	0.764	1.1	0.833

5 Összefoglalás

Egy új iterációs eljárást adtunk meg, amely hasonló a robusztus becslésekhez és amely minimalizálja a SVD módszerhez tartozó MSE középhibát. A javított becslés az eredeti SVD megoldás súlyozott lineáris kombinációja; a kapott MSE pedig kisebb, mint a kombinatív főkomponens becsléshez vagy az egyparaméteres főkomponens becsléshez tartozó érték. Megadtunk egy numerikus példát a nagyobb pontosság bemutatására és az alkalmazási lehetőségek illusztrálására.

Hivatkozások

- Ben-Israel A, Greville T** (1974): Generalised inverses: theory and applications, J. Wiley, New York.
- Jia Z Z** (1987): Combinative principal components estimate for regression parameter, J. of Matematical Statistics and Applied Probability, 2, 257-366.
- Koch K-R** (1987): Parameter estimation and hypothesis testing in linear models, Springer-Verlag.
- Penrose R** (1955): A generalized inverse for matrices, Proc. Cambridge Phil. Soc., 51
- Perelmutter A** (1979): Adjusment of free networks, Bulletin Geodesique, 4.
- Popper Gy, Csizmas F** (1993): Numerical methods for engineers, Publishing House of the Hungarian Academy.
- Qingming G, Xurong D** (1993): A class of biased estimates for LN estimations problem: a class of biased estimates for improving LN estimates, Manuscripta Geodaetica, 18, 1-9.
- Somogyi J, Závoti J** (1996): A comparison of weight-functions in robust regression using iteratively reweighted least squares, Acta Geod. Geoph. Hung., 31, 11-24.
- Yang H** (1989): A single parametric principal components regression estimator, J. of Applied Mathematics, 11, 169-180.
- Závoti J** (1995): Application of wavelet transform for compression of signals used in geographic information systems, Acta Geod. Geoph. Hung., 30, 217-225.

ÁLTALÁNOSÍTOTT BILINEÁRIS SPLINE APPROXIMÁCIÓ

Polgár Rudolf*



Generalized bilinear spline approximation – In this paper a new method of spline approximation is given, which is applicable for robust estimators. The constructed bilinear spline approximation is continuously differentiable to second order. The model computations have shown that the method is suitable for the accurate determination of the velocity and acceleration vectors in mechanical problems. Because of the good characteristic of the method, e.g. fast convergence, it seems to be widely applicable in engineering problems.

Keywords: spline, interpolation, approximation, regression, robust estimators, surface determination, contour maps



Műszaki, gazdasági jelenségek vizsgálatánál gyakran van arra szükség, hogy a mért adatokat egy alkalmasan választott függvénnyel valamilyen elv alapján közelítsük. Egy sztochasztikus szimulációs feladat kapcsán megadunk egy új approximációs bilineáris spline módszert, amely alkalmas robusztus becslésre, és előnyös tulajdonságai alapján széleskörű alkalmazásra található.

Kulcsszavak: spline, interpoláció, approximáció, regresszió, robusztus becslés, felület meghatározás, térkép szintvonal

1 Bevezetés

Műszaki, fizikai alkalmazások vizsgálatánál, térképészetben nagy jelentőséggel bír az összegyűjtött nagy adatszámú minták főbb jellemzőinek a becslése. Ennek egyik egyszerű módszere a regressziós modell alkalmazása. Itt az adatpontok geometriai elhelyezkedése alapján választunk egy úgynevezett lehetséges regressziós felületet, ami rögtön azt is jelzi, hogy megoldásunk nem egyértelmű. A feladatunkban legyen adott N pont, (x_i, y_i, f_i) , ahol $i=1, 2, \dots, N$, és legyen adott $g(x, y)$ regressziós függvény. Ekkor a legkisebb négyzetek módszere alapján keressük a

$$\sum_{i=1}^N (f_i - g(x_i, y_i))^2 = \min_g \quad (1.1)$$

megoldását, a $g(x, y)$ függvényeseregbe nézve.

Egy másik lehetséges mód az interpolációs- ill. approximációs-módszerek alkalmazása. Interpoláció alatt $f(x, y)$ függvény előállítását értjük a diszkrét $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_N, y_N)$ pontokban adott $f_1, f_2, \dots, f_N$ értékekből. Általában ennek sincs egyértelmű megoldása, hanem megelégedünk egy alkalmas polinommal, amely valamilyen adott értelemben a vizsgált tartományon legjobban közelíti a vizsgált függvényt. Ezen interpolációs módszerek során fellépő nem kívánatos oszcillációt, és polinom fokszámának növelésével járó nagy számítási műveletigényt elkerülhetjük a spline-interpolációval. Ebben az esetben olyan l -szer folytonosan differenciálható $g(x, y)$ függvény megadását értjük, amely megoldása a

$$\delta(g) = \iint_T (\partial_x^l g)^2 + (\partial_y^l g)^2 dT = \min_{W_2^l} \quad (1.2)$$

feladatnak, ahol W_2^l a négyzetesen integrálható, l -szer folytonosan differenciálható függvények terét jelöli. Ha $l < N$, akkor a megoldás egyértelmű lásd Sard és Weintraub (1971) bizonyítását, részhalmazuként előállított legfeljebb $(2l-1)$ -ed fokú egymáshoz simán csatlakozó polinomokkal. Leggyakrabban az $l=1$ vagy $l=2$ feladat megoldásával foglalkozunk.

Amennyiben az $f(x, y)$ függvény (x_i, y_i) rácpontbeli értékei nem pontosak, hanem hibával torzítottak, akkor ún. approximációs módszerrel valamilyen értelemben legjobban közelítő megoldást keresünk,

ami tulajdonképpen a regressziós és interpolációs (approximációs) görbék elméletének kompozíciója:

$$\delta(g) = \iint_T (\partial_x^l g)^2 + (\partial_y^l g)^2 dT + \sum_{i=1}^N p_i (f_i - g(x_i, y_i))^2 = \min_{w_2}, \quad (1.3)$$

ahol $\{p_i\}_{i=1}^N$ pozitív számok, mint súlyok, a hibamennyiségek ismeretében a simítás befolyásolására alkalmasak.

2 A feladat

Az előbbi gondolatmenetet általánosítjuk arra az esetre, amikor lényegesebben több diszkrét ponttal rendelkezünk, mint ahány spline-approximációs polinomot választunk, és a legkisebb négyzetek módszerének elve alapján a robusztus becslésekben megismert módon végezzük a súlyok választását, és magát a spline közelítést is iterációs eljárás eredményeképp kapjuk.

A T legyen az $[X_0, X_m] \times [Y_0, Y_n]$ téglalaptartomány, amelynek $X_0 < X_1 < X_2 < \dots < X_m$, $Y_0 < Y_1 < Y_2 < \dots < Y_n$ egy olyan felosztása úgy, hogy az $[X_{i-1}, X_i] \times [Y_{j-1}, Y_j]$, $i=1, 2, \dots, m$, $j=1, \dots, n$ résztartományban legyen adott az $(x_{ijk}, y_{ijk}, f_{ijk})$, $k=1, 2, \dots, K_{ij}$ a minta részhalmaza, ahol $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n K_{ij} = N$ és

ezen felírás mellett oldjuk meg a

$$\delta(g) = \lambda \iint_T (\partial_x^l g)^2 + (\partial_y^l g)^2 dT + \sum_{i=1}^N p_i (f_i - g(x_i, y_i))^2 = \min_{w_2}, \quad (2.1)$$

variációs feladatot, ahol λ az általánosított Lagrange-féle multiplikátor, és p_{ijk} súlyok pozitív számok.

A variációs feladat megoldását $l=1$ esetben résztartományonként bilineáris spline alakban keressük, amelyek nulladrendben folytonosak. Ez legyen

$$g(x, y) = \{g_{ij}(x, y), \quad X_{i-1} \leq x \leq X_i, \quad Y_{j-1} \leq y \leq Y_j \quad i=1, \dots, m \quad j=1, \dots, n \quad (2.2)$$

ahol

$$g_{ij}(x, y) = a_{ij} + b_{ij}(x - X_{i-1}) + c_{ij}(y - Y_{j-1}) + d_{ij}(x - X_{i-1})(y - Y_{j-1}). \quad (2.3)$$

Ezen felírás mellett a feladatunkat átfogalmazva, a Lagrange-féle multiplikátorok segítségével oldjuk meg az

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{K_{ij}} p_{ijk} (g(x_{ijk}, y_{ijk}) - f_{ijk})^2 + \\ & + 2 \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=1}^n [\Gamma_{ij} (g_{ij}(X_i, Y_{j-1}) - g_{i+1j}(X_i, Y_{j-1})) + \Delta_{ij} (g_{ij}(X_i, Y_j) - g_{i+1j}(X_i, Y_j))] + \\ & + 2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n-1} [X_{ij} (g_{ij}(X_{i-1}, Y_j) - g_{ij+1}(X_{i-1}, Y_j)) + \Theta_{ij} (g_{ij}(X_i, Y_j) - g_{ij+1}(X_i, Y_j))] \equiv Func \rightarrow \min \end{aligned} \quad (2.4)$$

szélsőérték feladatot.

Mint látszik, az $a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij}$ ismeretlenek száma $4mn$, ill. a $\Gamma_{ij}, \Delta_{ij}, X_{ij}, \Theta_{ij}$ multiplikátorok száma $2(m-1)n + 2m(n-1)$, ezért szükségünk van a megoldásukhoz $8mn - 2m - 2n$ független lineáris egyenletre, amiket az analitikus szélsőérték keresés alapján kapunk. Mivel az ismeretlenek száma megegyezik a lineáris egyenletrendszerben az egyenletek számával, így az elvileg megoldható. A feladat megoldásának nehézségét az ismeretlenek száma jelenti, amit lenti módon egy algoritmizált megoldásra lehet visszavezetni. További problémát jelent a p_{ijk} súlyok meghatározása. Először az egyenletrendszerünket egység súlyozással oldjuk meg, majd a kapott megoldás segítségével a robusztus becsléseknél megszokott gondolatmenet alapján újrásúlyozunk, és a kívánt iterációs feltétel teljesüléséig ismétéljük az eljárást.

3 Az egyenletek

Vezessük be a $h_{1i}=X_i-X_{i-1}$; $i=1, \dots, m$ és $h_{2j}=X_j-X_{j-1}$; $j=1, \dots, n$ jelöléseket. Ezzel a *Func* függvény Γ_{ij} , Δ_{ij} , $i=1, \dots, m-1$, $j=1, \dots, n$ és $X_{ij} \ominus_{ij}$, $i=1, \dots, m$, $j=1, \dots, n-1$ változó szerinti parciális deriváltjaira vonatkozóan:

$$a_{ij} + h_{1i}b_{ij} - a_{i+1j} = 0, \quad (3.1)$$

$$a_{ij} + h_{1i}b_{ij} + h_{2j}c_{ij} + h_{1i}h_{2j}d_{ij} - a_{i+1j} - h_{2j}c_{i+1j} = 0, \quad (3.2)$$

minden $i=1, \dots, m-1$, $j=1, \dots, n$ és

$$a_{ij} + h_{2j}c_{ij} - a_{ij+1} = 0 \quad (3.3)$$

$$a_{ij} + h_{1i}b_{ij} + h_{2j}c_{ij} + h_{1i}h_{2j}d_{ij} - a_{ij+1} - h_{1i}b_{ij+1} = 0 \quad (3.4)$$

minden $i=1, \dots, m$, $j=1, \dots, n-1$ esetén.

A további parciális deriváltak írásmódjának egyszerűbb jelölése végett legyen

$$U_{ijst} = \sum_{k=1}^{K_{ij}} p_{ijk} (x_{ijk} - X_{i-1})^s (y_{ijk} - Y_{j-1})^t \quad (3.5)$$

$$V_{ijst} = \sum_{k=1}^{K_{ij}} p_{ijk} f_{ijk} (x_{ijk} - X_{i-1})^q (y_{ijk} - Y_{j-1})^r \quad (3.6)$$

minden $i=1, \dots, m$; $j=1, \dots, n$; $s, t=0, 1, 2$; $q, r=0, 1$ esetén, és ekkor legyen

$$\Phi_{ijst} = U_{ijst}a_{ij} + U_{ijs+1t}b_{ij} + U_{ijst+1}c_{ij} + U_{ijs+1t+1}d_{ij} - V_{ijst} \quad (3.7)$$

minden $i=1, \dots, m$; $j=1, \dots, n$; $s, t=0, 1$ esetén.

A *Func* függvény a_{ij} , b_{ij} , c_{ij} , d_{ij} szerinti parciális deriváltjai ezután:

$$\Phi_{1100} + \Gamma_{11} + X_{11} = 0, \quad (3.8)$$

$$\Phi_{i100} + \Gamma_{i1} - \Gamma_{i-11} + X_{i1} = 0, \quad i = 2, \dots, m-1, \quad (3.9)$$

$$\Phi_{m100} - \Gamma_{m-11} + X_{m1} = 0, \quad (3.10)$$

$$\Phi_{1j00} + \Gamma_{1j} + X_{1j} - X_{1j-1} = 0, \quad j = 2, \dots, n-1 \quad (3.11)$$

$$\Phi_{ij00} + \Gamma_{ij} - \Gamma_{i-1j} + X_{ij} - X_{ij-1} = 0, \quad i = 2, \dots, m-1, \quad j = 2, \dots, n-1 \quad (3.12)$$

$$\Phi_{1j00} - \Gamma_{m-1j} + X_{mj} - X_{mj-1} = 0, \quad j = 2, \dots, n-1 \quad (3.13)$$

$$\Phi_{1n00} + \Gamma_{1n} - X_{1n-1} = 0, \quad (3.14)$$

$$\Phi_{in00} + \Gamma_{in} - \Gamma_{i-1n} - X_{in-1} = 0, \quad i = 2, \dots, m-1, \quad (3.15)$$

$$\Phi_{mn00} - \Gamma_{m-1n} - X_{mn-1} = 0, \quad (3.16)$$

$$\Phi_{i10} + h_{1i}\Gamma_{i1} + \Theta_{i1} = 0, \quad i = 1, \dots, m-1, \quad (3.17)$$

$$\Phi_{m10} + \Theta_{m1} = 0, \quad (3.18)$$

$$\Phi_{ij0} + h_{1i}\Gamma_{ij} + \Theta_{ij} - \Theta_{ij-1} = 0, \quad i = 1, \dots, m-1, \quad j = 2, \dots, n-1, \quad (3.19)$$

$$\Phi_{mj0} + \Theta_{mj} - \Theta_{mj-1} = 0, \quad j = 2, \dots, n-1, \quad (3.20)$$

$$\Phi_{m10} + h_{1i}\Gamma_{in} - \Theta_{m-1} = 0, \quad i = 1, \dots, m-1, \quad (3.21)$$

$$\Phi_{mn0} - \Theta_{mn-1} = 0, \quad (3.22)$$

$$\Phi_{1j01} + \Delta_{1j} + h_{2j}X_{1j} = 0, \quad j = 1, \dots, n-1, \quad (3.23)$$

$$\Phi_{ij01} + \Delta_{ij} - \Delta_{i-1j} + h_{2j}X_{ij} = 0, \quad i = 2, \dots, m-1, \quad j = 1, \dots, n-1, \quad (3.24)$$

$$\Phi_{mj01} - \Delta_{m-1j} + h_{2j}X_{mj} = 0, \quad j = 1, \dots, n-1, \quad (3.25)$$

$$\Phi_{1n01} + \Delta_{1n} = 0, \quad (3.26)$$

$$\Phi_{in01} + \Delta_{in} - \Delta_{i-1n} = 0, \quad i = 2, \dots, m-1, \quad (3.27)$$

$$\Phi_{mn01} - \Delta_{m-1n} = 0, \quad (3.28)$$

$$\Phi_{ij11} + h_{1i}\Delta_{in} + h_{2j}\Theta_{ij} = 0, \quad i = 1, \dots, m-1, \quad j = 1, \dots, n-1, \quad (3.29)$$

$$\Phi_{mj11} + h_{2j}\Theta_{mj} = 0, \quad j = 1, \dots, n-1, \quad (3.30)$$

$$\Phi_{m11} + h_{1i}\Delta_{in} = 0, \quad i = 1, \dots, m-1, \quad (3.31)$$

$$\Phi_{mn11} = 0. \quad (3.32)$$

4 A $\Gamma_{ij}, \Delta_{ij}, X_{ij}, \Theta_{ij}$ multiplikátorok eliminálása

(3.8) - (3.16) összegéből

$$\sum_{s=1}^m \sum_{t=1}^n \Phi_{st00} = 0. \quad (4.1)$$

(3.18), (3.20), (3.22) összegéből

$$\sum_{t=1}^n \Phi_{mt10} = 0, \quad (4.2)$$

illetve (3.26) - (3.28) összegéből

$$\sum_{s=1}^m \Phi_{sn01} = 0. \quad (4.3)$$

(3.17), (3.19), (3.21) összegének

$$h_{li} \sum_{t=1}^n \Gamma_{it} + \sum_{t=1}^n \Phi_{it10} = 0, \quad i = 1, \dots, m-1, \quad (4.4)$$

és (3.8), (3.9), (3.11), (3.12), (3.14), (3.15) összegének

$$\sum_{t=1}^n \Gamma_{it} + \sum_{s=1}^i \sum_{t=1}^n \Phi_{st00} = 0, \quad i = 1, \dots, m-1, \quad (4.5)$$

felhasználásával

$$\sum_{t=1}^n \left(\Phi_{it10} - h_{li} \sum_{s=1}^i \Phi_{st00} \right) = 0, \quad i = 1, \dots, m-1. \quad (4.6)$$

Hasonlóan (3.23) - (3.25) és (3.8) - (3.13) összegéből

$$\sum_{s=1}^m \left(\Phi_{sj01} - h_{2j} \sum_{t=1}^j \Phi_{st00} \right) = 0, \quad j = 1, \dots, n-1. \quad (4.7)$$

(3.18), (3.20) összegének

$$\Theta_{mj} + \sum_{t=1}^j \Phi_{mt10} = 0, \quad j = 1, \dots, n-1, \quad (4.8)$$

és (3.30) összevetéséből

$$\Phi_{mj11} - h_{2j} \sum_{t=1}^j \Phi_{mt10} = 0, \quad j = 1, \dots, n-1. \quad (4.9)$$

Hasonlóan (3.26) - (3.27) és (3.31) felhasználásával

$$\Phi_{m11} - h_{li} \sum_{s=1}^i \Phi_{sn01} = 0, \quad i = 1, \dots, m-1. \quad (4.10)$$

(3.8), (3.9), (3.11), (3.12) összege

$$\sum_{t=1}^j \Gamma_{it} + \sum_{s=1}^i X_{it} + \sum_{s=1}^i \sum_{t=1}^j \Phi_{st00} = 0, \quad i = 1, \dots, m-1, \quad j = 1, \dots, n-1, \quad (4.11)$$

(3.17), (3.19) összege

$$\Theta_{ij} + h_{li} \sum_{t=1}^j \Gamma_{it} + \sum_{t=1}^j \Phi_{it10} = 0, \quad i = 1, \dots, m-1, \quad j = 1, \dots, n-1, \quad (4.12)$$

(3.23) - (3.24) összege

$$A_{ij} + h_{2j} \sum_{s=1}^i X_{sj} + \sum_{s=1}^i \Phi_{sj01} = 0, \quad i = 1, \dots, m-1, \quad j = 1, \dots, n-1, \quad (4.13)$$

és (3.29) alapján

$$\Phi_{ij11} - h_{1i} \sum_{s=1}^i \Phi_{sj01} - h_{2j} \sum_{t=1}^j \Phi_{it10} + h_{1i} h_{2j} \sum_{s=1}^i \sum_{t=1}^j \Phi_{mt10} = 0, \quad i = 1, \dots, m-1, \quad j = 1, \dots, n-1. \quad (4.14)$$

5 A megoldás (gépi) algoritmus

Az iterációs eljárás a következőképp zajlik:

1. alkalmasan megválasztjuk a p_{ijk} , $i=1, \dots, m$, $j=1, \dots, n$, $k=1, \dots, K_{ij}$, kezdő súlyok értékét. Indításkor egységsúlyokat alkalmazunk.

2. kifejezzük a b_{ij} , c_{ij} , d_{ij} együtthatókat

2-1. (3.1)-(3.4)-ből

$$b_{ij} = \frac{1}{h_{1i}} (a_{i+1j} - a_{ij}), \quad d_{ij} = \frac{1}{h_{1i}} (c_{i+1j} - c_{ij}), \quad i = 1, \dots, m-1, \quad j = 1, \dots, n \quad (5.1)$$

$$c_{ij} = \frac{1}{h_{2j}} (a_{ij+1} - a_{ij}), \quad d_{ij} = \frac{1}{h_{2j}} (b_{ij+1} - b_{ij}), \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n-1 \quad (5.2)$$

$$d_{ij} = \frac{1}{h_{1i} h_{2j}} (a_{i+1j+1} - a_{i+1j} - a_{ij+1} + a_{ij}), \quad i = 1, \dots, m-1, \quad j = 1, \dots, n-1 \quad (5.3)$$

$$d_{in} = \frac{1}{h_{1i}} (c_{i+1n} - c_{in}), \quad i = 1, \dots, m-1, \quad (5.4)$$

$$d_{mj} = \frac{1}{h_{2j}} (b_{mj+1} - b_{mj}), \quad j = 1, \dots, n-1. \quad (5.5)$$

2-2. (3.32)-ből $d_{mn} = d_{mn}(a_{mn}, b_{mn}, c_{mn}) = \frac{1}{U_{mn22}} (V_{mn11} - U_{mn11} a_{mn} - U_{mn21} b_{mn} - U_{mn12} c_{mn}) \quad (5.6)$

2-3. (4.2)-ből $b_{mn} = b_{mn}(a_{m1}, \dots, a_{mn})$ és (5.7)

(4.3)-ből $c_{mn} = c_{mn}(a_{1n}, \dots, a_{mn}), \quad (5.8)$

és így $d_{mn} = d_{mn}(a_{1n}, \dots, a_{mn}, \dots, a_{m1}). \quad (5.9)$

2-4. (4.9)-ből és $b_{mj} = b_{mj}(a_{m1}, \dots, a_{mn}), \quad j = 1, \dots, n-1 \quad (5.10)$

(4.10)-ből $c_{in} = c_{in}(a_{1n}, \dots, a_{mn}), \quad i = 1, \dots, m-1 \quad (5.11)$

3. az a_{ij} együtthatók meghatározása

(4.14)-ből $a_{i+1j+1} = a_{i+1j+1}(a_{11}, \dots, a_{m1}, a_{12}, \dots, a_{1n}), \quad i = 1, \dots, m-1, \quad j = 1, \dots, n-1 \quad (5.12)$

(4.6)-ből $a_{i+1n} = a_{i+1n}(a_{11}), \quad i = 1, \dots, m-1, \quad (5.13)$

$$(4.5)\text{-ből} \quad a_{mj+1} = a_{mj+1}(a_{11}), \quad j = 1, \dots, n-1, \quad (5.14)$$

majd legvégül (4.3)-at megoldjuk a_{11} -re vonatkozóan.

4. ha a megállási feltétel teljesül leállunk, különben $g(x,y)$ spline segítségével újra meghatározzuk a p_{ijk} súlyokat és visszaugrunk a 2. lépéshez.

Megjegyzések a 4. lépéshez:

- egy lehetséges megállási feltétel lehet, hogy kiszámítjuk a megadott pontok és a kapott spline-nak az eltéréseinek a négyzetösszegét (a k . iteráció esetén legyen ez S_k), és az 1. iterációs lépésben választunk egy rögzített $\varepsilon > 0$ értéket, és emellett vizsgáljuk $\frac{|S_{k-1} - S_k|}{S_{k-1}}$ értékét.
- minél nagyobb az eltérés egy megadott $(x_{ijk}, y_{ijk}, f_{ijk})$ pontunk és a spline között, p_{ijk} értékét annál kisebbre ajánlatos választani. Például

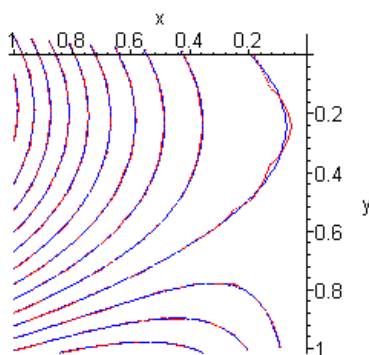
$$p_{ijk} = \begin{cases} \frac{1}{(f_{ijk} - g(x_{ijk}, y_{ijk}))^2}, & \text{ha } |f_{ijk} - g(x_{ijk}, y_{ijk})| > \varepsilon', \\ \frac{1}{\varepsilon'}, & \text{ha } |f_{ijk} - g(x_{ijk}, y_{ijk})| \leq \varepsilon', \end{cases} \quad (5.15)$$

ahol $\varepsilon' > 0$ alkalmasan elég kicsi szám.

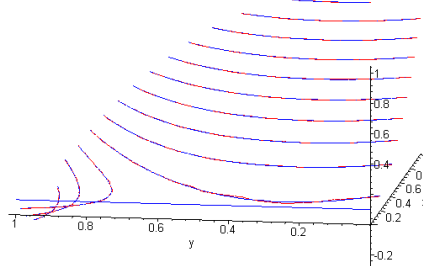
6 Mintapéldák

A megoldás gyakorlati alkalmazhatósága elsősorban úgynevezett sztochasztikus szimuláció alkalmazásával lett tesztelve: egy ismert megoldásgörbét választunk, majd szennyezzük valamilyen normális vagy Cauchy-eloszlású valószínűségi változóval, és a szennyezett adatokon vizsgáljuk a módszerünk alkalmazhatóságát. Másodsorban alakítani hasonlóság vizsgálatát Nagy et al. (1999) cikkében használt adatok alapján.

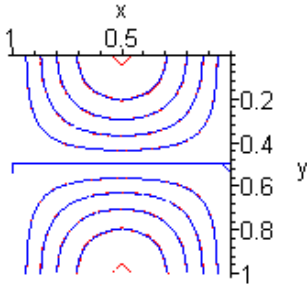
A mintafeladatban az adott $f(x,y)$ függvényt szennyeztük normális eloszlás alapján. Az osztópontokat a $[0,1] \times [0,1]$ tartomány $m=n=8$ részre való ekvidisztáns felosztása alapján vettük fel. Ezután a gépi algoritmusnak megfelelően MapleV Rel. 5 program segítségével lett az eredmény meghatározva, majd a *3dplot* paranccsal mutatva a pontos és közelítő felület szintvonalas ábráját.



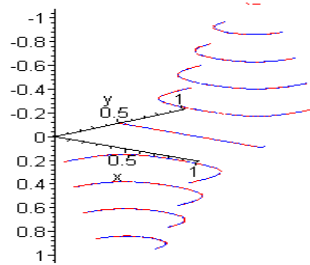
1. ábra $f(x,y) = x^2 - 2xy^2 + x(y-0,2) + 0,1$
Felülnézet



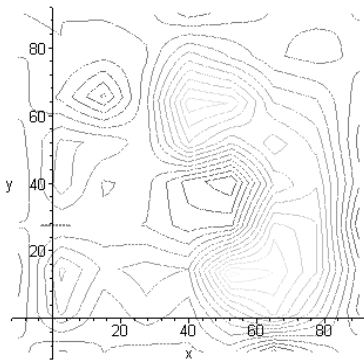
2. ábra $f(x,y) = x^2 - 2xy^2 + x(y-0,2) + 0,1$
Perspektivikus nézet



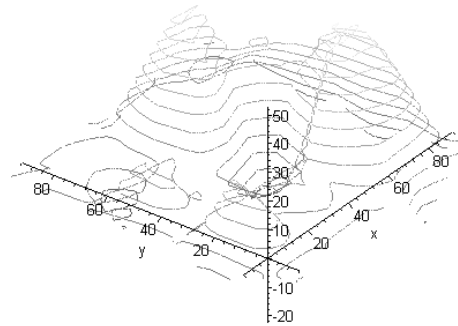
3. ábra $f(x,y)=\sin(\pi x)\cos(\pi y)$
Felülnézet



4. ábra $f(x,y)=\sin(\pi x)\cos(\pi y)$
Perspektivikus nézet



5. ábra [2] mintafeladata
Felülnézet



6. ábra [2] mintafeladata
Perspektivikus nézet

7 Összefoglalás

A nagy számú adatmintára illeszkedő függvényt tartományonként bilineáris spline-approximációs polinommal modelleztük. A megoldás olyan folytonos spline függvényt ad eredményül, amely a legkisebb négyzetek módszere alapján megadja a variációs feladat minimumát, és az adatokat a robosztus becsléseknél ismert módon közelíti.

A módszer újszerűsége abban áll, hogy tartományonkénti approximációval globális kiegyenlítést végez, úgy hogy tartományonként nagy vagy kis számú adataink vannak. Az eddigi spline-approximációs módszerekkel ellentétben, ahol minden adott pont között felvettünk egy-egy polinomot, ebben az eljárásban az adott pontokat csoportokba rendezzük, és ezen csoportokon adott értelemben vett és adott feltételek mellett legjobb közelítést adó felületeket keressük olyan feltétellel, hogy globálisan is az adott pontjainkra a lehető legjobb közelítéssel bírjon.

A modellszámítások során szembetűnő a módszer gyors konvergenciája, amelynek pontosabb ismerete további kutatás igényel.

Hivatkozások

- Sard A, Weintraub S (1971): A book of splines, John Wiley and Sons, Mc. New York
 Nagy D, Franke R, Battha L, Kalmár J, Papp G, Závoti J (1999): Comparison of Various Gridding Methods, Acta Geod. Geph. Hung., 41-47.

AZ EGÉSZ HÉRON-HÁROMSZÖGEK FOGALMA ÉS SZERKESZTÉSE

*Fekécs Sándor**



The Integer Heron Triangle (HT) has integers as the lengths of its sides - Its area is also an integer, none of its angles is a right-angle, that is, it is an oblique-angled triangle. Its name originates from the Greek mathematician Heron. The existence of HT is a natural consequence of the existence of Pythagorean Triangles (PT). From the work of G. Bacheton (1621) we know how to construct a Heron Triangle from a Pythagorean Triangle. This procedure of C.G. Bacheton is performed using the principle of coincidence.

Keywords: Pythagorean triples of integers, Heron-triangles, geometric coincidence

Az Egész Héron Háromszögnek (HH) az összes oldalhosszai egész számok, a területe úgyszintén egész számú, nincs derékszöge, vagyis ferdeszögű háromszög. A nevét Héron alexandriai görög matematikusról kapta. A HH a Pitagorasz-háromszögek (PH) létezésének a természetes következménye. C. G. Bacheton munkájából (1621) ismerjük a Héron-háromszögnek a Pitagorasz-háromszögekből való képzését. C.G. Bachetonnak ezen eljárása az illesztés.

Kulcsszavak: Pitagorasz számhármassok, Héron-háromszögek, geometriai illesztés

1 Bevezetés

Illesztés

Az illesztés geometriai művelet, amelynek során a két illesztendő Pitagorasz-háromszögnek egy-egy befogóját egymásra helyezve, kölcsönös fedésbe hozzuk egymással. Az illesztéshez tehát egy-egy befogó egyeztetése szükséges.

A korszerű matematika módszerei lehetővé teszik, hogy az illesztést virtuális elv szerint, mátrix-rendszerben végezzük el (Ore 1977, Dickson 1967). A geometriai szerkesztés tehát virtuálisan történik, a folyamatokat és az eredményeket pedig mátrix-szerkezetben jelenítjük meg. E mátrixok vektoros adatszerkezetekből állnak. Az adatok az illesztett Pitagorasz-háromszögek és a nyert Héron-háromszögek alkotórészeiből kerülnek ki. Ez az új eljárás a Héron-háromszögek második fénykorát hozhatja el. Az illesztéssel szerkesztett Héron-háromszögek öröklik a Pitagorasz-háromszögek tulajdonságait, a derékszög kivételével. Ezen körülmény igen hasznos a Héron-háromszögek képzésénél, rendszerezésénél. Az illesztés eredménye, hogy a két Pitagorasz-háromszög összeadása vagy kivonása során a derékszög eltűnik. A három oldal, a terület, és egy vagy több magasság is egész számú lesz.

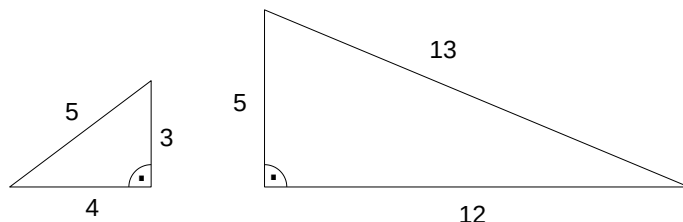
A mátrix szerkesztésében és a műveletek sorrendjében a precedencia-szabály balról-jobbra, fentről lefelé haladás, értendő. A mátrix vektorai és elemei elsőbbségi sorrendjüket e szabályból és a keletkezésük sorrendjéből kapják. A mátrix vektorainak és elemeinek itt természetesen, sajátos jelentésük és sajátos rendeltetésük van.

Az vektorok elemei: a háromszög három oldala, a három magassága, oldalдарabok, szögmértani számok, terület, átmérők, sugarak és számértékek. Ezek a műveletekben elemenként vesznek részt. Egyes elemek végleges eredmények, és a mátrixban elfoglalt helyük a tárolásukat szolgálja. A mátrixban a műveletek sorrendje áttekinthető, a szabályok szembeűnők, a rendszerezés egyszerű.

Első lépés a Pitagorasz-háromszögek rendezése. A rendezést az átfogók nagysága szerint végezzük. Az így rendezett Pitagorasz-háromszögek az angol abc nagybetűit kapták azonosítónak. Az illesztésbe az első 14 Pitagorasz-háromszöget vontam be. Ezekkel az összes lehetséges és szükséges illesztéseket elvégeztem.

1. táblázat. A Pitagoraszi-háromszögek adatai

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
3	5	8	7	20	12	9	28	11	16	33	48	13	36
4	12	15	24	21	35	40	45	60	63	56	55	84	77
5	13	17	25	29	37	41	53	61	65	65	73	85	85

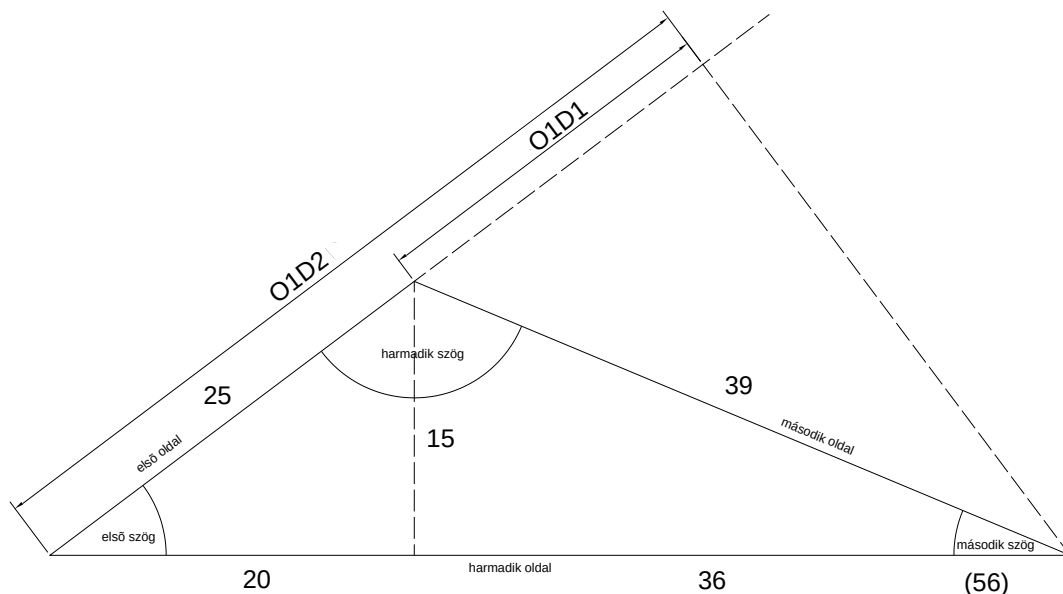


1. ábra. Az első két Pitagoraszi-háromszög

Az illesztéshez vett két Pitagoraszi-háromszög az illesztendő pár. Ezek illesztése közvetlenül az A-N tartományban csak egy esetben lehetséges, a BF család harmadik illesztésekor. Kivétel még, amikor a Pitagoraszi háromszöget önmagával illesztjük egyazon befogója mentén, például AA, BB, CC ... az első és a negyedik illesztésekor. Minden más esetben az illesztendő párból az vektornak skalárral való szorzásával illesztett párt szerkesztünk. Ebben a befogók már az egyeztetett értékükkel jelennek meg. Ez minden esetben a két illesztendő befogó legkisebb közös többszöröse.

Ha az összetartozó oszlopvektor-párt mátrixnak tekintjük, akkor illesztendő mátrixról, illesztett mátrixról és eredmény-mátrixról beszélhetünk.

Egy illesztendő párral négy illesztést végezhetünk. E négy illesztés eredménye a Héron-háromszög család. Egy illesztéssel, az összeadás-kivonás eredményeképpen, három Héron-háromszöget kapunk.



2. ábra. Héron-háromszögek illesztése

Összeg-, Maradék- és Kettőzött Héron-háromszögek

A kettőzött Héron-háromszögeket célszerűségből az AA, BB, CC ... családok illesztésekor szerkesztjük meg. Így a mindenkori illesztésben, virtuálisan meglévő, kettőzött Héron-háromszögekkel duplán nem foglalkozunk. Az egy illesztésből nyert összeg-, maradék-, valamint a kettőzött Héron-háromszögek között affinitás tapasztalható.

Egy családon belül is van affinitás, ami ilyen illesztési módszer esetén szembetűnő és áttekinthető. A család azonosítója: az első betű jelzi, hogy melyik Pitagorasz háromszög áll az illesztendő-párban elől, a második betű, vagy az arab szám pedig azt mutatja, hogy az elől álló Pitagorasz háromszögnek hányadik családjánál tartunk az indulástól számítva.

Családon belül az illesztéseket római számokkal jelöljük: I., II., III., IV. A fent említett BFIII. Illesztés tehát a B(5, 12, 13) és az F(12, 35, 37) Pitagorasz háromszögek második (12) befogóinak az illesztése.

Az illesztések során egyazon Pitagorasz háromszöggel kezdődő családok *nemzetséget* alkotnak. Az eddig leírtakból látjuk, hogy 14 nemzetség van az A-N tartományban. Az A nemzetség 14 családdal, az N nemzetség 1 családdal. Így a családok száma 105. A család azonosítója így is meghatározható: az első betű jelzi a nemzetséget, az arab szám, pedig a családok sorszámát a nemzetségen belül.

Az affinitás egy nemzetségen belül, és a nemzetségek között is megtalálható. A HH-ek rendszerezése tehát keletkezésük szerint, vagyis genetikai alapon történt.

A 105 család keretében 868 HH keletkezett, háromszögenként 22 racionális értékű alkotórész lett feltüntetve. Így a látható racionális alkotórészek száma 19096.

2 Az illesztés műveletei

Ezen előzmények után az illesztés műveleteinek leírása következik:

- Felírjuk a két illesztő Pitagorasz-háromszög (PH) oldalainak két oszlopvektorát.
- Az illesztés nyílát meghúzzuk.
- Leírjuk az első és a második szög szinusztát és koszinusztát.
- Leírjuk az illesztendő befogók legnagyobb közös osztóját.
- Leírjuk a két szinusz nevezőjének szorzatát.
- Elkészült az illesztendő mátrix.
- Elvégezzük a skalárral való szorzást. Az eredményből felírjuk a HH három oldalát és az alaphoz tartozó magasságát.
- Az alap és a magasság fél szorzata a terület, ezt is leírjuk.

Ez az Összeg Héron-háromszög.

- Kivonással megismételve a felírást, nyerjük a Maradék Héron-háromszöget. Az illesztett mátrixban leírjuk a háromszögek szögeinek szinusztát. Ennek nevezője az első és a második szögek szinusztának nevezőjéből kapott szorzat, a számláló pedig a harmadik oldal és a legnagyobb közös osztó szorzata. A harmadik szögek szinusztából látjuk, hogy valóban Héron-háromszögeket kaptunk, mivel a harmadik szögek sem derékszögek.
- Ezen szinusztok alá írjuk a hozzájuk tartozó koszinusztokat, nevezőjük a szinusztok nevezője, a számlálójuk pedig az első két szög szinuszt számlálójának és koszinuszt számlálójának páronkénti szorzatainak különbsége vagy összege.

Kész az illesztett mátrix.

- Számítjuk a hiányzó magasságokat.
- Első magasság egyenlő alapszor első szög szinuszt.
- Második magasság egyenlő alapszor második szög szinuszt.
- A magasságokat beírjuk az oszlopvektorukba.

- A legnagyobb közös osztóval elosztjuk a harmadik szögek szinuszának nevezőjét és megkapjuk a háromszög köré írható kör átmérőjét. Ez itt mindig nagyobb, mint a legnagyobb oldal.
- Mellé írjuk a Feuerbach-kör sugarát, amely ezen átmérőnek egynegyede.
- A területet a fél kerülettel elosztva nyerjük a háromszögbe írható kör sugarát. Ennek kétszerese mindig kisebb, mint a legkisebb magasság.

A háromszög csúcspontjának a szemben fekvő oldalon lévő vetülete az oldalt két darabra osztja. Ez az osztópont a háromszög magasságának a talppontja, tehát mondhatjuk, hogy a magasság az oldalt darabolja. Ezek a darabok a másik két oldalnak a vetületei a darabolt oldalon. A darabok sorszámát a precedencia-szabály adja meg. Az első oldal első darabja O1D1 egyenlő a második oldalnak az első oldalon lévő vetületével. Az O1D2 egyenlő a harmadik oldalnak az első oldalon lévő vetületével.

A darabokat az oldal sorába, egymás után írjuk. Amint látjuk, a HH-ben a magasságvonal az oldalt racionális darabokra osztja.

Elkészült a két eredmény-mátrix. Ezzel egy illesztést befejeztünk az alaphelyzetet tekintve.

3 A Héron-háromszögek tulajdonságai

A bemutatott mátrixot szemlélve látjuk, hogy a HH-ek egyes alkotórészei melyik PH alkotórészből keletkeztek, és milyen módon. Az első magasság törtrészének nevezője, és az első oldal darabok törtrészének nevezője megegyezik az első helyen álló Pitagorasz-háromszög alapon lévő szöge szinuszának nevezőjével és így tovább. Ezen egyezés a szerkesztés ellenőrzésére is alkalmas. Látjuk, hogy a vizuálisan meg nem jelenített kettőzött Héron-háromszög melyik Pitagorasz-háromszögből alakult ki virtuálisan.

Látjuk a Héron-háromszög síkbeli helyzetét, a fekvését is. Ennek a rendszerezésben van jelentősége. Nem egyfekvésű két HH, ha illesztéskor helyzetükben, a csúcspontjaik koordinátái nem azonosak. A fekvés értelmezése teszi lehetővé, hogy az AA, BB, CC... családokban a maradék Héron-háromszög más fekvésű affín párját is számba vegyük. Ez 14 HH-et jelent. Az egész magasság vándorlását is a HH fekvéséből láthatjuk meg, ez teszi láthatóvá. A vektor-mátrix elv alkalmazása itt rögzített fekvést biztosít az idom számára. Ez a rögzített fekvés a mátrixból kiolvasható.

Ha illesztéskor egy családon belül egybevágó HH-párt, affinpárt kapunk, akkor *belső affinitásról* beszélünk. A belső affinitás egy családon belül eredményez affinpárt, illesztés során. A *külső affinitás* az, amikor két családban jelenik meg az affinpárok egy-egy tagja. A külső affinitás a fontosabb, ennek jelentősége sokkal nagyobb, mint a belső affinitásé. A felsorolást táblázat adja meg. Az affinpárok és az affinhármasok első tagjai mindig az illesztésből közvetlenül kapott eredeti HH-ek.

Ha az illesztőpárban az első háromszög átfogója osztója a második háromszög átfogójának, akkor fele részben olyan HH-eket kapunk, amelyek oszthatók a kisebbik átfogóval, ezek az *anyaháromszögek*. Az osztás útján nyert háromszögek a *törpe háromszögek*. A törpe háromszögek sem egymással, sem az eredeti párjukkal nem egyfekvésűek. A törpe háromszögek létét elárulja az a tény, hogy az anyaháromszögnek két egész magassága van. A törpe háromszögben az ő eredeti párjának az illesztéskor alapja az egész magassággal együtt, az első oldal pozícióra kerül. Ez a jelenség az *Egész Magasság Vándorlás*.

A törpe Héron-háromszögekből, az eredeti háromszög-párjuk egyszerűen meghatározható. Ugyanis előállíthatjuk azt a két Pitagorasz-háromszöget, amelyekből az eredeti HH-t illesztettük. Itt vegyük figyelembe, hogy ha a PH-ek sorrendjét felcseréljük az illesztésben, akkor a HH-ek fekvése megváltozik.

Általánosan fogalmazva: az ismert HH-ből megkaphatjuk az öt alkotó két PH-et. Például (25, 29, 36) HH, az alaphoz tartozó magassága 20. E magasság és a másik két oldal felhasználásával megkapjuk a két metszék, 15-öt és 21-et. Így megvan a két PH hat oldala (3, 4, 5) és (20, 21, 29). E módszer hasznos lehet az illesztéssel alakított, és az általános képlettel nyert HH-ek közötti kapcsolat megteremtésére is.

Abban az esetben, ha az illesztendő párban az átfogóknak van legnagyobb közös osztójuk, akkor fele részben olyan HH-eket kapunk, amelyeknek oldalaik oszthatók ezzel a legnagyobb közös osztóval. Az osztás eredményeképpen kapjuk a ritka HH-et, és a Remete Ritka HH-eket, ez utóbbiak anyá háromszögének csak egy egész magassága van. Ez olyan HH, amelynek a három oldala és a területe egész számú, de nincs egy egész magassága sem. Ennélfogva nincs eredeti HH-beli affin-párja. Itt az affin-hármas minden tagja törpe HH. Ha az illesztendő párban az átfogók egyenlőek, akkor fele-fele részben olyan anyaháromszögeket nyerünk, amelyek az átfogók vagy egyik, vagy másik törzstényezőjével oszthatók. Az anyaháromszögnek itt is csak egy egész magassága van. A nyert törpe HH-ek fele-fele részben affin-hármasok tagjai, vagy Remete Ritka HH-ek lesznek.

Az A-N tartományban nyolc ritka HH-ből álló affin-hármas található. A Remete Ritka HH-ekből álló affinhármas található. A remete ritka HH-k száma 24.

Az egy illesztéssel nyert összeg-, kettőzött- és maradék HH-eket *ikerhármasnak* is vehetjük. Az ikerhármasok területeinek aránya a családon belül a következő szabályosságot mutatja. Az első és a negyedik illesztésből nyert ikerhármasok, valamint a második és a harmadik illesztésből nyert ikerhármasok területeinek aránya páronként egyenlő. A párok összetartozását az illesztés nyílának vízszintes vagy ferde fekvése mutatja. Ugyanez a szabályosság áll fenn az alapként értelmezett oldalaknál is. A területek egymás közti aránya és ezen oldalak egymás közti aránya is egyenlő. Ezen összefüggés felhasználásával kiszámíthatjuk az ikerhármas valamelyik HH-ébe írható körnek a sugarát, ha már ismerjük egy HH-ének az ilyen elemét.

Példa: az AB I és IV-ben az oldalak aránya (7, 5, 2) ismert, az AB IV maradék HH-be IK-nek a sugara $3/2$. Keressük meg az összeg HH-ben IK-nek a sugarát. Az oldalak aránya osztva a fél kerületek arányával, adja az M modulust. Ezzel szorozva az adott sugarat, nyerjük az összeg HH-be IK-nek az R sugarát ($M = 8/3$, $R = 3/2 \times 8/3 = 4$).

A virtuálisan jelenlévő kettőzött HH-be IK-nek ($M = 20/9$, $R = 3/2 \times 20/9 = 3 \frac{1}{3}$).

További összefüggések. Az első és a második szögek szinusz számlálójának szorzata osztva a legnagyobb közös osztóval egyenlő az alaphoz tartozó magassággal.

Az alaphoz tartozó magasság szorozva a legnagyobb közös osztóval, a nem illesztett befogók szorzata egyenlő a harmadik szögek koszinusz számlálójával.

4 Összefoglalás

A mátrixos tárgyalásmód lehetővé teszi, hogy a felhasznált matematikai apparátus egyszerű és áttekinthető legyen, továbbá megkönnyíti az illesztési feladatok általános és egyedi eseteinek megértését. Számpéldát csak ott mutattam be, ahol az algoritmus leírása ezt megkívánta. Ahol lehetett, ott eltekintettem a részletek algoritmus szintű ismertetésétől. Egy új fogalom akkor kel életre, amikor nevet kap. E tétel megfordítása is igaz, az új fogalomnak nevet kell adni. Ezen igénynek is igyekeztem mértéktartóan megfelelni.

Ez a tanulmány csupán a HH-ek mátrixos alakításával foglalkozik.

Hivatkozások

- Ore O. (1977): Bevezetés a számelmélet világába, *Gondolat*, Budapest.
 Dickson (1967): History of the Theory of Numbers, 2, Yale University.

A NEHÉZSÉGI ERŐTÉR NEM ÁRAPÁLY JELLEGŰ IDŐBELI VÁLTOZÁSAINAK VIZSGÁLATA

Völgyesi Lajos*, Tóth Gyula*, Csapó Géza**, Szabó Zoltán**



Investigation of non tidal variations of gravity – In our investigations such geological and geophysical models were investigated which may have an important role in non-tidal variation of gravity field. Absolute and relative gravimetric measurements were carried out to demonstrate and check the time variations of gravity. Special points were chosen for these investigations where former gravimetric measurements were carried out. Gravity effects of different types of moving vadose and underground waters were investigated and the connection between the time variation of gravity field and the Pannonian sediment's thickness were studied. It was proved, that gravity gradients have the advantage over gravity measurements that certain gravity gradient combinations are insensitive to surface movements, thereby allowing the time variation of the gravity field to be determined without repeated height measurements.

Keywords: time variation of gravity, vertical surface movements, rock compaction, gravity effect of ground water fluctuation, time variation of gravity gradients, relative and absolute gravity measurements

A nehézségi erőter időbeli változásával kapcsolatos kutatásaink során olyan lehetséges geológiai, geofizikai modelleket tanulmányoztunk, amelyek a nehézségi erőter időbeli változásában szerepet játszhatnak. A nehézségi erőter változásainak kimutatására illetve ellenőrzésére méréseket is végeztünk. A részben abszolút, részben relatív módszerrel végrehajtott graviméteres mérésekre elsősorban olyan pontokon került sor, amelyeken korábban már hosszabb időn át tartó nagy pontosságú abszolút és relatív mérések történtek, és így lehetőség nyílt a változások megfigyelésére. Vizsgáltuk a különböző földfelszíni és felszín közeli vizek mozgásának gravitációs hatását, a pannon üledékretegek vastagságának és a nehézségi erőter időbeli változásának kapcsolatát. Kimutattuk, hogy a nehézségi erő gradienseinek az előnye a nehézségi gyorsulásmérésekkel szemben az, hogy bizonyos gradiens kombinációk érzéketlenek a felszín elmozdulására és így lehetővé teszik a nehézségi erőter időbeli változásának meghatározását ismételt magasságmeghatározás nélkül is.

Kulcsszavak: nehézségi erőter időbeli változása, függőleges felszínmozgások, közettömörödés, talajvízszint ingadozás gravitációs hatása, a nehézségi gradiensek időbeli változása, relatív és abszolút graviméteres mérések

1 A nehézségi erő változását befolyásoló földtani tényezők vizsgálata

A graviméteres mérések pontossága napjainkra igen magas szintet ért el. Emiatt a μGal méréstartományban már feltétlenül vizsgálnunk kell mindazokat a külső körülményeket, amelyek befolyásolhatják a mért nehézségi értékeket. E hatásokat elsősorban akkor kell figyelembe vennünk, amikor a mért nehézségi erő változásából a Föld belsejében történő geodinamikai folyamatokra akarunk következtetni.

Ebből a szempontból igen fontos a függőleges felszínmozgás vizsgálata. A szintezési alappontok esetleges alapozási problémáitól eltekintve a függőleges kéregmozgásként (felszínmozgásként) értelmezett magasságváltozások olyan nagyrészt fiatal üledékekkel borított területen, mint a Pannon-medence, két okra vezethetők vissza: egyrészt az üledékek tömörödésére, másrészt a szerkezeti mozgásokra. Tekintettel arra, hogy az ország területének több mint 70 százalékát fiatal, konszolidálatlan üledékek borítják, ezek anyagától és korától függő tömörödése nyilvánvalóan befolyásolja a szintezési eredményeket. Emiatt mind regionálisan, mind lokálisan megvizsgáltuk a fiatal üledékek elterjedését, korát és vastagságát, valamint a kéregmozgási adatok közötti kapcsolatot. Az üledékek

* BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék H-1521 Budapest
MTA Felsőgeodéziai és Geodinamikai Kutatócsoport
E-mail: volgyesi@eik.bme.hu, gtoth@sci.fgt.bme.hu

** MÁELGI, H-1145 Budapest, Kolumbusz utca 17-23. E-mail: csapo@elgi.hu

tömörödése következtében előálló szintváltozás hatását korrekcióba véve lehetőség nyílik a belső geodinamikai hatásokra visszavezethető kéregmozgási összetevő meghatározására.

Vizsgálataink kezdetén első lépésben összegyűjtöttük a lehetséges összes információt a magyarországi alsó- és felsőpannóniai képződmények talpmélységéről, valamint a kvarter üledékek vastagságáról. Az 1. ábrán a magyarországi pannóniai képződmények elterjedése látható.



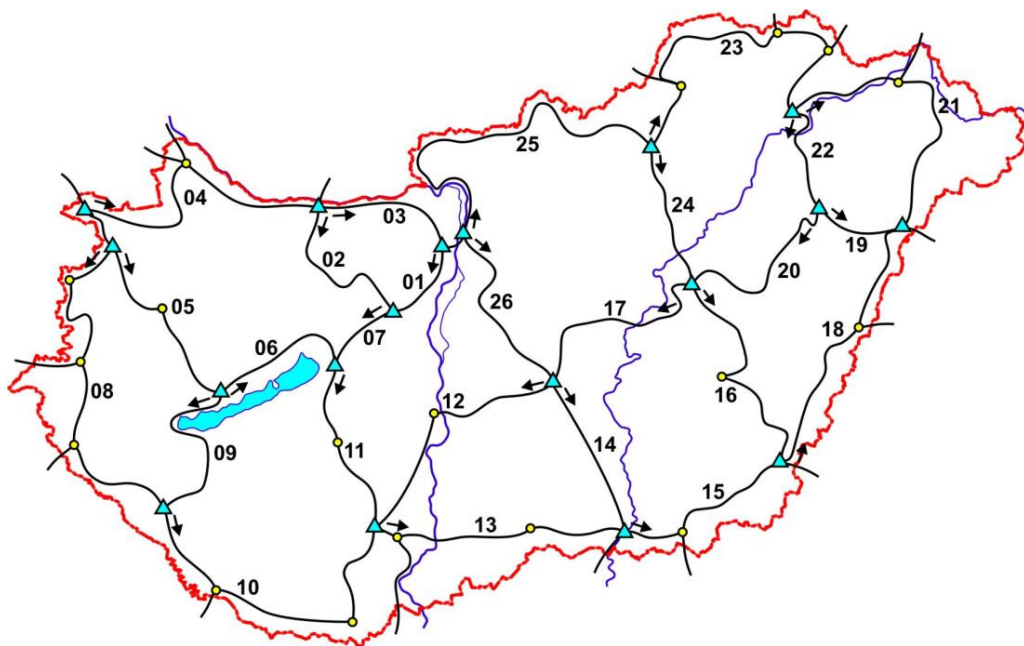
1. ábra. A magyarországi pannóniai képződmények elterjedése (Jámbor 1985)

1. Pannóniainál idősebb képződmények a felszínen (15%) 2. Pannóniai képződmények a felszínen vagy a felszínközelben (28%) 3. Pannóniai képződmények vastag pleisztocén fedő alatt (57%)

Emellett a magyarországi kéregmozgási szintezési hálózat vonalai mentén 5 km-es távolságokban kiolvastuk a szintváltozási értékeket és a szintezési vonalak ugyanezen pontjaira meghatároztuk az alsó- és felsőpannóniai, valamint a kvarter rétegek talpmélységét. Ezt követően a szintváltozási adatokat a Magyarország teljes területét lefedő – 2. ábrán látható – 26 különböző szintezési szelvény mentén összevetettük a pannóniai képződmények vastagságával (Völgyesi et al. 2004). Megállapítottuk, hogy az adatok viszonylag nagyfokú bizonytalansága ellenére sok szelvényen jelentkezik korreláció az üledékvastagság és a magasságváltozás között. Jó példák láthatók erre a 3. ábrán, ahol néhány jellegzetes szelvény mentén ábrázoltuk a pannon üledékvastagság és a felszínmozgások közötti kapcsolatot. A korreláció oka, hogy a fokozatosan süllyedő fiatal medencék a feltöltődésük során a rájuk települő fiatalabb rétegek súlyának hatására fokozatosan tömörödnek. Az üledékes kőzetek sűrűségét alapvetően porozitásuk és természetesen a pórusokat kitöltő folyadék (túlnyomórészt víz), vagy gáz sűrűsége határozza meg. A kőzetek porozitása csak bizonyos határok közt változhat; ideális esetben – homogén gömb alakú homokszemcsék feltételezése esetén – a porozitás elméleti értéke 47%. Ez az eset a valóságban nem fordul elő, mert a homok szemcse nagysága és alakja sohasem homogén. A mélység növekedésével a rétegek terhelése is nő, minek következtében csökken a pórustérfogat, és vele együtt a pórusokat kitöltő folyadék mennyisége; azaz nő a kőzet sűrűsége.

A sűrűségvizsgálatok arra utalnak, hogy a törmelékes üledékek sűrűsége a mélységgel fokozatosan növekszik, és 3200–3500 m mélységben gyakorlatilag eléri a legfontosabb kőzetalkotó ásvány, a kvarc 2670 kg/m³ sűrűségét. A rétegek tömörödése nyilvánvaló hatással van a felszín alakulására. Amennyiben a medence feltöltődése egyensúlyban van a rétegtömörödés mértékével, és a kéreg

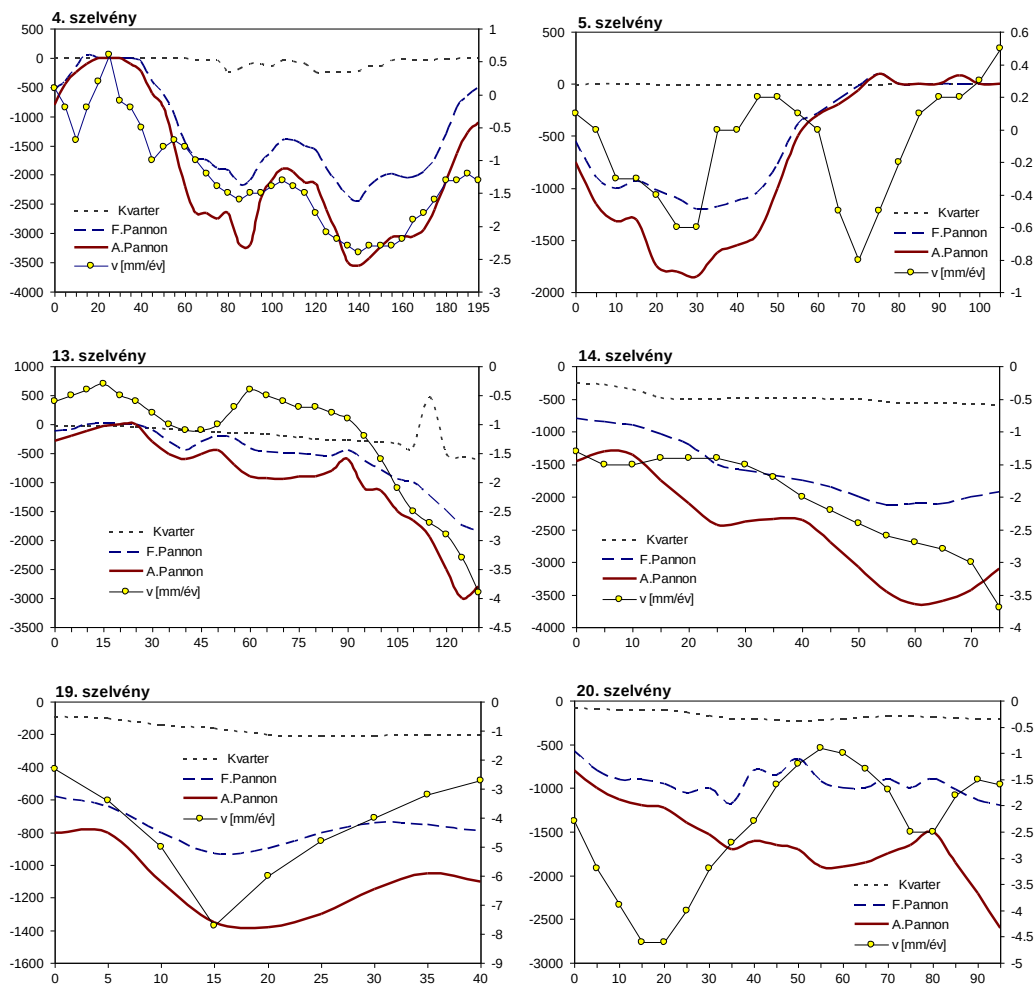
nyugalomban van, felszínmozgás nem észlelhető. A jelenlegi, feltöltődött állapotban a függőleges felszínmozgást a medencealjzat (kéreg) mozgásának függőleges összetevője, valamint az üledékek tömörödése okozhatja. E két tényező iránya és nagysága szabja meg a felszínen észlelhető változást. Földtani adatok alapján a fiatal-medencék átlagos süllyedési sebessége csak ritkán haladja meg az 1 mm/év sebességet. A Pannon-medencében ez az érték 0.3–0.4 mm/év körül van. Természetesen a földtörténet során lehettek gyorsabb és lassabb süllyedési periódusok, sőt süllyedő és emelkedő tendenciák is válthatták egymást.



2. ábra. A szintezési vonalak és szelvények helyszínrajzi vázlata a haladási irányok feltüntetésével

Vizsgálataink során megállapítottuk, hogy a korreláció a fiatalabb üledékek vastagsága és a felszínmozgási adatok között az egyes részmedencékben eltérő mértékű, sőt a Zala-medencében ellentétes korreláció tapasztalható. Ebből következik, hogy nem várható el az egész ország területére egységes összefüggés az üledékvastagság és a magasságváltozások között (Völgyesi et al. 2004). Tekintettel arra, hogy az egyes szelvények különböző földtani felépítésű és tektonikai helyzetű területek felett haladnak, a további korreláció számításokhoz össze kellett válogatni a hasonló jelleget mutató görbeszakaszokat és ebben az irányban kellett folytatni a részletes vizsgálatokat. A Kisalföld esete egyszerűnek bizonyult, mivel a Rába-vonaltól Ny-ÉNy-ra eső területet vizsgálataink céljából egységesnek tekinthetjük. Így vizsgálatainkba valamennyi, a Kisalföld területére eső szelvényszakaszt bevontuk. A Nagyalföldön már jóval bonyolultabbnak bizonyult a helyzet. A vizsgálatok arra utaltak, hogy az adatok két aránylag jól elkülöníthető tartományba: a mélyebb és a sekélyebb medencék területére esnek. Vizsgálatainkat a jól korreláló szelvényszakaszok kiválasztásával kezdtük, majd kiterjesztettük az azonos tendenciát mutató, szomszédos területrészekre is. Ezáltal nagyobb, összefüggő területekre vonatkozó adatsorokat kaptunk. Mindkét változatra korrelációs számítást végeztünk. A jól korreláló szelvényszakaszok esetében természetesen nagyobb korrelációs együtthatót kaptunk, mint abban az esetben, amikor a szomszédos területeket is bevontuk a számításokba. Ennek ellenére ez utóbbiakat tartjuk realitásabbnak. A mélymedence területére kisebb korrelációs együttható adódott, de ezt természetesnek tekinthetjük, mivel ezeken a területeken az üledékvastagság adatok is bizonytalanabbak. Vizsgálataink a meglepő jelenségre hívják fel a figyelmet, hogy míg a Kisalföld és a Nagyalföld mélyebb részein hasonló kéregmozgási értéket kaptunk, addig a Nagyalföld sekélyebb területein az előbbiektől lényegesen eltérő értékek adódtak. A jelen-

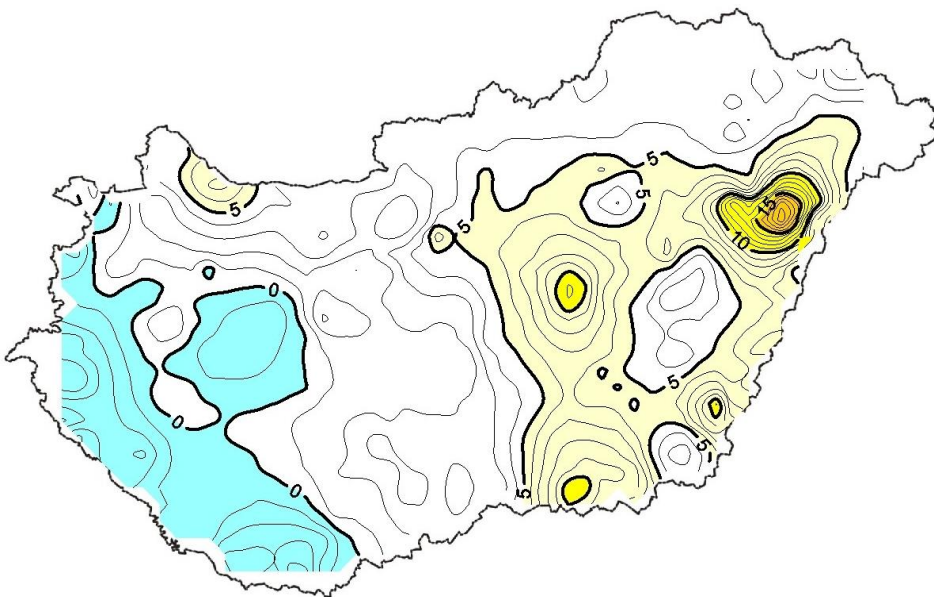
ség okának felderítése további vizsgálatokat igényel. A vizsgálatokból kizártuk egyrészt a 3500 m-nél mélyebb medencerészeket, mivel ebben a mélységben már nem valószínű a tömörödés; másrészt azokat a lokális felszínmozgási anomáliákat, amelyek intenzív víz- ill. szénhidrogén-termelésre vezethetők vissza. A három különböző területre vonatkozó korrelációs egyenesek jellemző adatait az 1. táblázatban foglaltuk össze – a táblázat adatai a 0, 1000, 2000 és 3000 m-es üledékvastagságra vonatkozó felszínmozgási adatokat jelentik, mm/év egységben; R pedig a korrelációs együttható.



3. ábra. A pannon üledékvastagság és a felszínmozgások közötti kapcsolat (a vízszintes tengelyen a távolság [km]-ben, bal oldalon a mélység [m]-ben, a jobb oldalon a felszínmozgási sebesség [mm./év]-ben)

1. táblázat. Különböző területre vonatkozó korrelációs egyenesek jellemző adatai

	tengelymetszet	1000 m	2000 m	3000 m	R
Kisalföld	+ 0.11	– 0.54	– 1.19	– 1.84	0.8769
Nagyalföld mélymedence	+ 0.15	– 0.54	– 1.23	– 1.92	0.7494
Nagyalföld sekélymedence	– 0.26	– 1.26	– 2.26	– 3.26	0.8537



4. ábra. A nehézségi erőter változása a felszínmozgás következtében $\mu\text{Gal}/10\text{év}$ egységben

A fenti vizsgálataink eredményeinek jelentősége abban nyilvánul meg, hogy a vertikális kéregmozgás során a földfelszíni pontok a nehézségi erőterben elmozdulva más potenciálértékű helyre kerülnek, így ennek megfelelően a kérdéses pontokban elhelyezett mérőműszerek időben változó nehézségi térerősség értékeket mutatnak. Ugyanakkor a közettömörödés miatt is megváltozik a nehézségi erőter értéke, hiszen ennek során megváltozik a közetek sűrűsége. Mindezeknek megfelelően meghatároztuk a nehézségi erőter ezekből eredő megváltozását Magyarország területére, mely értékek a 4. ábrán látható módon átlagosan -5 és $+20 \mu\text{Gal}/10\text{év}$ érték között változnak (Völgyesi et al. 2005).

2 A talajvízszint ingadozás gravitációs hatása

A nehézségi erő értékét jelentős mértékben befolyásolja a talajvízszint ingadozása is, amelynek több különböző periódusa van és a mértéke is széles tartományban változik. A talajvízszint változásában az időjárás- ill. csapadékviszonyok mellett helyenként nagy szerepe lehet az emberi tevékenységnek is. Annak érdekében, hogy a vízszintingadozásnak a nehézségi erő nagyságára gyakorolt hatását és mértékét figyelembe tudjuk venni, át kellett tekintenünk a talajvíztükör emelkedése, vagy süllyedése következtében fennálló térfogatsúly változásokat, amihez viszont ismernünk kell a talajvíztároló rétegek effektív porozitását. Tekintettel a felszínközeli rétegek nagyfokú változatosságára, célszerűnek látszott elsőként regionális áttekintést nyerni ezek eloszlásáról, majd a következő lépésben megvizsgálni a lokális hatásokat, amelyek már konkrét mérési poligonokhoz kapcsolhatók.

Kezdeti kutatásaink során kimutattuk, hogy a talajvízszint ingadozása a graviméteres mérési pontosságot meghaladó mértékben befolyásolhatja a mért g értékeket (Csapó et al. 2003). Ezt követően adatokat gyűjtöttünk az ország különböző területeiről azzal kapcsolatban, hogy a talajvíz jelenléte milyen mértékben befolyásolja a felszínközeli fiatal, laza üledékes képződmények sűrűségét. Vizsgálatainkhoz mérnökgeofizikai szondázások adatait használtunk fel (Csapó és Völgyesi 2005). Az elmúlt évek során az ország számos pontján végeztek mérnökgeofizikai szondázásokat. Ezek adatainak felhasználásával lehetőségünk nyílt megvizsgálni a talajvíz által a laza üledékekben okozott sűrűségváltozás nagyságának területi eloszlását. Vizsgálataink során az ország 24 különböző területén, főleg az Alföldön, összesen több mint 250 szondázás adataiból meghatároztuk a talajvíz által okozott sűrűségváltozás mértékét. A 24 területből azon körzetekben, ahol tíznél több szondázás adatai álltak rendelkezésünkre, meghatároztuk a területi átlagot is. Az Alföld területére vonat-

kozó adatokból számított sűrűségváltozás átlaga $30 \pm 5 \text{ kg/m}^3$. A szokásos Bouguer-lemezzel számolva ekkora sűrűségváltozás $\Delta g = 12.57 \pm 2.0 \text{ } \mu\text{Gal/m}$ gravitációs változást okoz.

Miután áttekintettük a sűrűségváltozási viszonyokat, figyelmünket a talajvízszint ingadozásának vizsgálatára fordítottuk. 1950 és 1955 között a Magyar Állami Földtani Intézet nagyszabású talajvíz térképezést végzett az ország síkvidéki részein. A térképezés során több mint 1 000 000 ástott talajvízkút és közel 16 000 fúrt kút adatait mérték meg és jegyezték fel. Az országos felmérés egyik legfontosabb feladata a talajvízszint felszín alatti mélységének meghatározása volt. A vízszintmérések tavasztól őszig, a teljes terepi időszakban folytak, ezért az évszakos változásokat az adott területre eső, a VITUKI által folyamatosan észlelt kutak adatai alapján azonos időpontra kellett vonatkoztatni. A mérések alapján több figyelemre méltó jelenség tapasztalható:

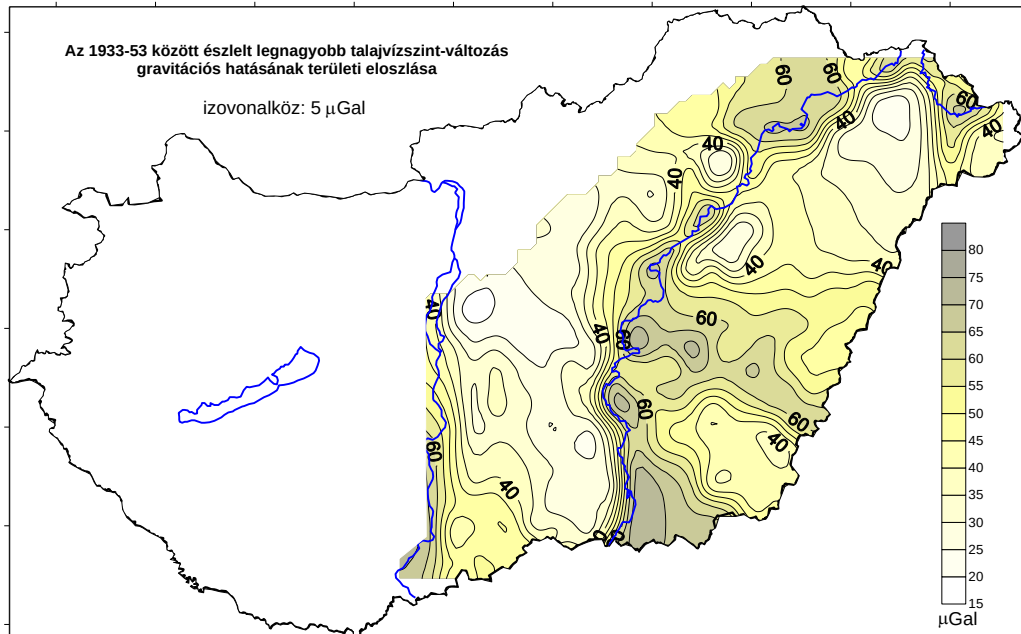
- a talajvíz szintje, lesimitottan ugyan, de követi a felszín domborzatát;
- lösszel fedett területeken a talajvízszint mélyebben helyezkedik el, mint homokfelszín alatt;
- finomszemcsés üledékekben nagyobb a talajvíz járása, mint homokban;
- a talajvíz szintje állandóan ingadozik, nyári nappalokon a párolgás miatt néhány cm-t süllyed, éjszaka kb. ugyanennyit emelkedik. Nagyobb (1–2 m nagyságú) változásokat észleltek az évi menetben. Nyár elején a kutak vízszintje süllyedni kezd, általában ősszel éri el a mélypontot, majd emelkedik és késő tavasszal éri el legmagasabb állását.
- A magasabb talajvízállás évei nem esnek egybe a legcsapadékosabb évekkel.

Ez utóbbi megfigyelés felveti a talajvíz utánpótlásának kérdését. A tapasztalat szerint az Alföldön a nyári csapadék nagy része elpárolog, még a hosszú esős időszakok sem nedvesítik át 20–30 cm-nél mélyebben a talajt. Egyedül az őszi-téli csapadék jut le mélyebbre a felszín alá, de az átnedvesedés így is ritkán haladja meg az 1–1.5 m-t. Tehát az átnedvesedés alsó határa csak ott érintkezik a talajvíztükörrel, ahol annak felszíne nem haladja meg ezt a mélységet. Mindebből az következik, hogy a talajvíz utánpótlása nem közvetlenül a csapadékból származik. A vízutánpótlás kérdése a geológusok körében is vitatott, egyesek szerint a hegyekből lefolyó bőséges csapadékvíz a medenceperemi durva lejtőtörmeléken keresztül, majd horizontális áramlással szivárog az Alföld belseje felé. Mások szerint a kompakció által kiszorított mélybeli víz képezi a talajvíz utánpótlását. Valószínűleg mindkét lehetőségnek szerepe van a tényleges folyamatokban.

Rónai és munkatársai által az Alföld területére megszerkesztett 1933–1955 közötti időszakban észlelt legmagasabb és legalacsonyabb havi közép-vízállások különbségének térképe alapján a nagyobb folyók közelében a szintváltozás eléri, sőt helyenként meg is haladja a 6 m-t. Ugyanakkor pl. a Nyírség, vagy a Duna-Tisza közének egyes részein a változás mértéke 2 m alatt marad. Térképeket 10 km-es négyzethálós sarokpontjaiban történő kiolvasással digitalizáltuk. Az így kapott vízszintváltozások és az Alföldre a fentiekben ismertetett módon megállapított sűrűség-változás ismeretében meghatároztuk a négyzethálós sarokpontjaira a talajvízingadozás okozta gravitációs hatást. Ezek 20–80 μGal nagyságú változásokat mutatnak. Ezen adatrendszer alapján az Alföld területére megszerkesztettük a talajvízingadozás okozta maximális gravitációs hatás területi eloszlásának 5. ábrán látható térképét. A térképről leolvasható, hogy az Alföld egyes területein mekkora gravitációs hatást okozhat a talajvízszint ingadozása.

A térkép alapján arra gondolhatnánk, hogy a nehézségi erőter nem árapály jellegű változását vizsgáló nagy pontosságú mérések esetében egyszerűen csak meg kell határozni a talajvízszint mindenkorai állásának megfelelő sűrűségváltozás nagyságát és a megismételt méréseknél ezekkel korrigálni az észlelt adatokat. A helyzet a valóságban sajnos nem ilyen egyszerű, mivel az Alföld talajvízszint térképe olyan megfigyelési adatok alapján készült, amelyek nem minden esetben elégítik ki a talajvíz klasszikus fogalmát. Talajvíz alatt ugyanis az első vízzáró réteg fölötti porózus rétegben elhelyezkedő vizet értjük. Ez a víztartó réteg rendszerint a felszínig ér és felülről nem zárja le egy nyomást előidéző, vizet át nem eresztő réteg. A vizsgálatok azonban azt mutatják, hogy az Alföld nagyobbik részén a kutakban feltárt víz nem felel meg ezeknek a követelményeknek. A felszínt sok helyen vizet át nem eresztő képződmények fedik és az ástott kutak is a felső vízzáró réteg alatti rétegvizet tárják fel. Az ilyen kutakban a nyugalmi vízszint a rétegnomás miatt 1–2 m-el magasabban helyezkedhet el, mint a tényleges talajvízszint. A kútban észlelt szintingadozás tehát nem a

talajvíz szintjének változása miatt, hanem a rétegben beálló nyomásváltozás miatt jön létre. A nyomásváltozásnak viszont nincs gravitációs hatása.



5. ábra. Talajvízszint változás gravitációs hatása

Ezek után fontosnak találtuk még megvizsgálni a csapadék hatását is a gravitációs mérésekre. A megfigyelések szerint a csapadék közel 1/3 része elfolyik, 1/3 része elpárolog és 1/3 része pedig beszivárog a talajba. A valóságban persze ezeket az arányokat nagymértékben befolyásolja a csapadék intenzitása, a domborzati viszonyok, a hőmérséklet és a talaj vízáteresztő képessége. Így pl. egy 120 mm csapadékot adó felhőszakadást feltételezve, ebből ha 40 mm beszivárog a talajba, akkor ennek a gravitációs hatása mintegy 1,7 μGal . Természetesen télen a csendesebb esők és a hóolvadás miatt a csapadék jelentősebb része képes beszivárogni a talajba. Feltételezve, hogy az országosan 600 mm-nek vehető átlagos évi csapadék fele az őszi-téli időszakban jut a felszínre, és ennek közelítőleg a fele azaz mintegy 150 mm szivárog be a talajba, az ennek megfelelő gravitációs hatás mintegy 6,3 μGal . Így megállapítható, hogy a talajvízjárástól függetlenül a beszivárgó csapadék is okozhat néhány μGal nagyságú gravitációs változást.

3 A nehézségi erőter második deriváltjai időbeli változásának vizsgálata

A geodéziai-geodinamikai peremérték-feladat megoldása kapcsán az egyik lényeges kérdés az, hogy mivel a nehézségi erőter az adott pontban részben az erőter megváltozása, részben pedig a felszín alakváltozása (a mérési pont elmozdulása) miatt is megváltozik, ezért ezt a két hatást nehéz szétválasztani. A geodéziai-geodinamikai peremérték-feladat megoldásával kapcsolatban megmutattuk, hogy az Eötvös-tenzor időbeli változását három részre bonthatjuk. Az első tag a felszínmozgásból adódó összetevő, a második a nehézségi erőter időbeli változását írja le az elmozdulás előtti pontban, a harmadik pedig egy csatolási tag. Az első és harmadik tag a nehézségi erő potenciálfüggvénye harmadik derivált tenzorából számítható ki. Ezeket a tagokat gömbi és sík közelítésben is felírhatjuk (Tóth 2005).

Kimutattuk, hogy a nehézségi erő gradienseinek az előnye a nehézségi gyorsulás mérésekkel szemben az, hogy bizonyos gradiens kombinációk érzéketlenek a felszín elmozdulására és így lehetővé teszik a nehézségi erőter időbeli változásának meghatározását ismételt magasságmeghatározás

nélkül is. A megfelelő gradiometriai-geodinamikai peremértékfeladat megoldását megmutattuk ismételt Eötvös-inga mérések segítségével. Megmutattuk azt, hogy a nehézségi erőter Eötvös-tenzorának a hely szerinti deriváltjában az Eötvös-inga mérések közül a második vízszintes deriváltak zérus együtthatóval szerepelnek és a vegyes második deriváltak együtthatói pedig függetlenek a magasságváltozástól (Tóth 2005).

Levezettük azokat az összefüggéseket, amelyek leírják a szintellipszoid nehézségi erőterében az Eötvös-tenzor elemi megváltozását. Ez a harmadrendű tenzor (a potenciálfüggvény harmadik deriváltja) 27 összetevőből áll, amelyből a szimmetria miatt csak 10 független. A tenzor vizsgálata megmutatta azt, hogy a nehézségi erőter Eötvös-tenzorának a hely szerinti deriváltjában az Eötvös inga mérések közül a második vízszintes deriváltak és a vegyes második deriváltak gyakorlatilag ellipszoidi erőterben is függetlenek a mérési hely kis térbeli elmozdulásaitól. Ez egyrészt vízszintes értelemben (második vízszintes deriváltak) illetve magassági értelemben (vegyes második deriváltak) jelentkezik, ami igen előnyös a geodéziai-geodinamikai peremérték-feladat megoldása számára, hiszen így az adott pontban ismételten mért Eötvös-inga mérésekből közvetlenül következtethetünk az erőter megváltozására.

Meghatároztuk azt a megoldást is, amelynek segítségével az ismételt Eötvös-inga mérésekből közvetlenül meghatározható az erőter potenciálváltozása illetve a nehézségi rendellenességek megváltozása az Eötvös geodéziai-geodinamikai peremértékfeladat megoldásán keresztül (Tóth 2004, 2005). A megoldás zárt alakú integrál, amelynek megfelelő zárt alakú magfüggvényei is előállíthatók, ha a torziós inga méréseket megfelelő kombinációkban kezeljük. Meghatároztuk ezeket a magfüggvényeket a potenciál, és ennek első illetve második deriváltjai esetében, amelyek Legendre-polinomok és függvények végtelen sorával állíthatók elő akkor, ha bizonyos kombinációkban kezeljük a méréseinket. Kimutattuk azt, hogy 12 féle magfüggvény adódik, amelynek megfelelő zárt alakú magfüggvényeit is előállíthatjuk a Jacobi-polinomok addíciós tételét felhasználva.

Megvizsgáltuk a magfüggvények csonkítási tulajdonságait és kimutattuk azt, hogy ebből a szempontból különösen kedvezőnek tűnik a kétszeres vízszintes derivált kombinációkat tartalmazó integrálokhoz kapcsolt magfüggvények felhasználása.

Adatalekészítést végeztünk annak érdekében, hogy olyan háromdimenziós tömegmodell álljon rendelkezésre a tesztszámításokhoz, amelyből a geodéziai-geodinamikai peremértékfeladat megoldását ellenőrizhetjük. Tesztszámításokat végeztünk több egyszerű sűrűségmodellt felvéve abból a célból, hogy elemezni tudjuk a gravitációs gradiensek időbeli változását és megbecsülhessük a különböző tagok egymáshoz viszonyított nagyságát (Tóth et al. 2004; Völgyesi és Tóth 2004; Tóth 2005). Poliéderekkel határolt háromdimenziós tömegmodell segítségével mutattuk be a geodéziai-geodinamikai peremértékfeladat esetében az ismételten megmért gravitációs gradiensek jelentőségét a felszín közeli tömegváltozások kimutatásában. Vizsgálataink megmutatták, hogy kedvezőbb jel/zaj viszony érhető el a gravitációs gradiensek ismételt mérése esetén felszín közeli tömegváltozások esetében az ismételt (abszolút vagy relatív) graviméteres mérésekhez képest, így várhatóan megbízhatóbb eredményeket érhetünk el gradienstmérésekkel.

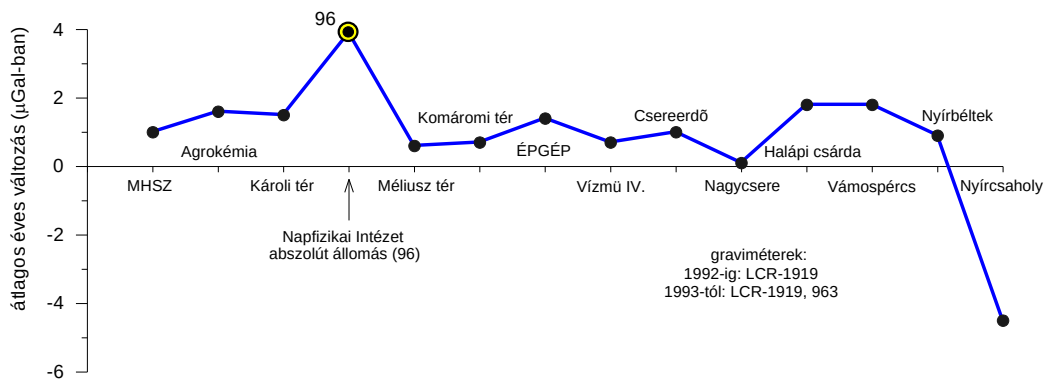
4 Ellenőrző mérések a nehézségi erőter változásainak kimutatására

A nehézségi erőter időbeli változásának abszolút mérési módszerrel történő vizsgálata során az alkalmazás módját tekintve vagy hosszú idejű regisztráló méréseket végeznek, vagy ciklikus, ismétlődő méréseket hajtanak végre a vizsgált pontokon. Tekintettel arra, hogy Magyarország nem rendelkezik abszolút graviméterrel, számunkra a ciklikus újramérések adnak lehetőséget az erőter időbeli változásának tanulmányozására. Regionális (az ország területére kiterjedő) vizsgálatokhoz a telepített 15 abszolút állomás közül azokat tudjuk felhasználni, melyeken két, vagy több g meghatározás történt. Az utóbbi években öt ponton (Madocsán, Öttömösön, Kenderesen, Szerencsen és Gyulán) tudtunk elvégezteni ilyen méréseket. Az 1978-2005 közötti időintervallumban végzett ismételt abszolút mérések alapján meghatároztuk a Magyarországra vonatkozó nehézségi erőter változások lehetséges mértékét – feltételezve, hogy az azonos pontokon végzett egyes mérések eredményeinek eltérései nem tartalmazzák a különböző gyártmányú berendezések ún. műszeres hibáit, vagyis kizárólag az erőter változásait mutatják. (Ez a feltételezést alátámasztják a franciaországi Sevresben 3

évente végzett ún. körvizsgálatok eredményei, melyek nem mutatnak szignifikáns eltéréseket a nálunk is alkalmazott AXIS és JILAG-6 graviméterek mérési eredményei között).

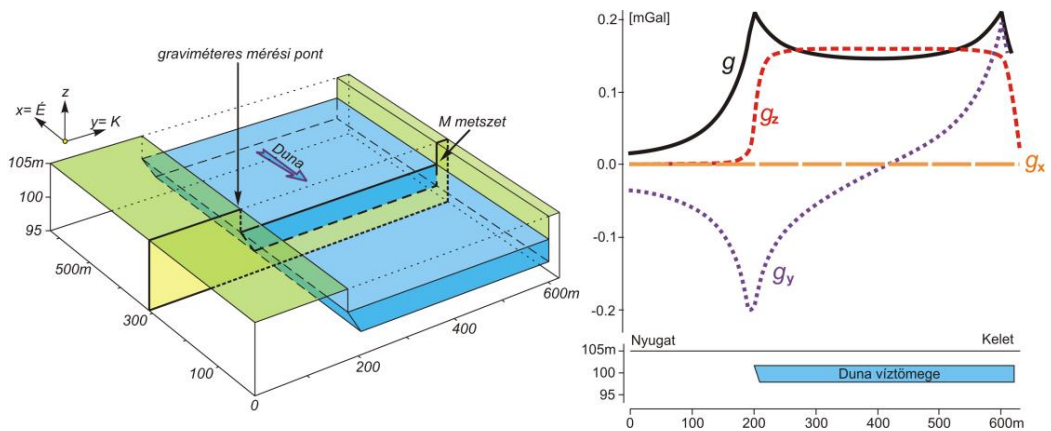
A méréseink és számításaink megerősítették, hogy hazánkban a nehézségi erőter lehetséges regionális változása átlagosan $\pm 2 \mu\text{Gal}/\text{év}$. Három területen találunk ettől eltérő értékeket: Budapesten 1980-1993 között az éves változás $-3.1 \mu\text{Gal}/\text{év}$, 1993-2000 között $-1.8 \mu\text{Gal}/\text{év}$ volt. Ennek az eltérésnek az oka az ún. eocén program, amely idején a hazai karsztvízszint több méterrel süllyedt. Annak leállítását követően a mátyás hegyi ponton is az országos átlagnak megfelelő változást észleltük. Jelentős eltérést mutat Debrecen környéke ($+ 4.2 \mu\text{Gal}/\text{év}$), aminek oka a városi vízkivétel miatt bekövetkező lassú köztörmörődés és az ezzel együtt járó függőleges felszínmozgás (süllyedés). Ezt a tényt a felsőrendű szintezések eredményei is alátámasztják. A harmadik terület Siklós, ahol az átlagostól eltérő $+ 3.0 \mu\text{Gal}/\text{év}$ mértékű változás adódik.

Korábbi OTKA pályázat keretében Debrecen környékén mozgásvizsgálati hálózat létesült, amely hálózatban rendelkezésre állnak a régebbi relatív graviméteres mérések eredményei (Csapó 2004). A hálózatban 2003-ban LaCoste-Romberg graviméterekkel nyolcadik alkalommal ismételt g méréseket végeztünk. A kiegyenlített mérési eredmények alátámasztották a korábban megállapított $1-4 \mu\text{Gal}/\text{év}$ nagyságú változásokat (Csapó és Völgyesi 2005).



6. ábra. A debreceni mozgásvizsgálati terület pontjain az évi átlagos relatív nehézségi gyorsulás értékek változása

A relatív graviméteres mérések mai megbízhatósági szintjén a talajvíz gravitációs hatása mellett az épített környezet keretei között mozgó egyéb nagyobb víztömegek gravitációs hatását is célszerű megvizsgálni és figyelembe venni. A talajvízszint változásain kívül megvizsgáltuk a 2002. évi dunai árvíz gravitációs hatását, valamint a Gellért-hegyi ivóvíz tárolóban felhalmozott víztömeg napi ciklikus mozgásából származó gravitációs hatást is. A dunai árvíz gravitációs hatásának vizsgálatára relatív graviméteres méréseket végeztünk két pont között az árhullám tetőzéskor és a gyors apadás három fázisában. Az egyik pontot közvetlenül a vízparton, a másikat ettől mintegy 500 m-es távolságban létesítettük. Vizsgálati eredményeink alapján a közel 4 méteres vízszintkülönbség hatása a mérési kapcsolat mindkét pontjában jelentkezik, mert a Duna változó vízszintje a távolabbi pont környezetének talajvízszintjére is hatással van. Az árvíz tetőzésekor és az ezt követő 4. napon megfigyelt 4.16 m teljes vízszintváltozásnak megfelelő – Bouguer-lemez modell számításával kapott – gravitációs hatás $22 \mu\text{Gal}$ -nak adódott, ami közel a fele a mért $42 \mu\text{Gal}$ változásnak (Csapó et al. 2003; Tóth et al. 2004). Ebből következik, hogy esetünkben a talajvízszint ingadozásából származó hatás összemérhető a Duna vízmagasságának változásából eredő hatással. A 2002. évi dunai árvíz tömegmodellje és számított gravitációs hatása a 7. ábrán látható. Amennyiben feltételezzük, hogy közvetlenül a Duna partján telepített pontban a talajvízszint változása fáziskésés nélkül követte a Duna apadását, akkor az üledékek permeabilitására 12.5%-ot kapunk, ami a terület geológiai felépítése alapján (agyagos-márgás-homokos összlet) reálisnak tűnik.



7. ábra A 2002. évi dunai árvíz tömegmodellje és számított gravitációs hatása az M metszeten

A Gellért-hegyi víztárolóban lévő mintegy 80000 m³ mennyiségű ivóvíz tömegének napi ciklikus mozgásából származó hatást a dunai árvíz idején végrehajtott mérésekhez hasonló elrendezésű mérési kapcsolattal tanulmányoztuk. A víz gravitációs hatása ebben az esetben csupán a víztároló feletti mérési pontban jelentkezik, mert a zárt rendszerben mozgó víznek sem közvetett, sem közvetlen gravitációs hatása nincs a mérési kapcsolat másik, mintegy 500 méter távolságban telepített pontjában. A méréseket változó vízmagasságok mellett két LCR graviméterrel egyidőben mérve többször megismételtük. A mérési kapcsolat két pontja között mért Δg értékek átlagából 27 $\mu\text{Gal/m}$ gravitációs hatás adódott. A számításokat a geofizikában alkalmazott ún. „pálcikás” hatószámítási módszerrel ellenőriztük, amelynek eredményeképpen 32 $\mu\text{Gal/m}$ értéket kaptunk (Csapó et al. 2003, Tóth et al. 2004).

5 Következtetések

Megállapításaink magyarázatot adhatnak arra a tapasztalati tényre, melyet a gravitációs alapon végzett kalibráló mérések analízise során tapasztalhatunk. A több mint 20 évre visszatekintő nagypontosságú graviméteres mérések megbízhatóságára ugyanis $\pm 15\text{--}20 \mu\text{Gal}$ adódott, miközben a mérések több hónappal későbbi megismétlésekor a kapott értékekben akár 80–100 μGal eltérés is tapasztalható volt. Vizsgálatainkból arra a következtetésre juthatunk, hogy a gravitációs mérések pontosságának már nem műszertechnikai korlátai vannak, hanem ezek megbízhatóságát nehezen meghatározható külső körülmények (pl. a talajvízszint és/vagy talajnedvesség ingadozása) korlátozzák.

Ezért a $\pm 80\text{--}100 \mu\text{Gal}$ -t meg nem haladó mértékű nehézségi erő változásokat még akkor is kellő kritikával kell fogadni, ha a változások azonos tendenciát mutatnak. Tőlünk független külső tényezők ugyanis ilyen nagyságrendű eltéréseket idézhetnek elő, melyeknek meghatározása gyakorlatilag igen nehéz.

Abszolút állomások esetén viszont lehetséges a talajvízszint ingadozás gravitációs hatásának figyelembe vétele, amennyiben a mérésekkel egyidejűleg észleljük a talajvízszint változását, meghatározzuk a talajvíz mozgása által okozott sűrűségváltozás nagyságát, és tisztáztuk, hogy adott esetben szabad felületű talajvízzel, vagy rétegvízzel állunk-e szemben.

Vizsgálataink további tanúsága, hogy olyan helyek közelében, ahol nagyobb vízmozgások várhatóak, nem célszerű graviméteres mérési pontot telepíteni, mert az ismételt mérések között olyan eltérések adódhatnak, amelyek jelentősen meghaladják a relatív graviméteres mérések megbízhatóságát.

Köszönetnyilvánítás. Kutatásaink 2002 és 2005 között a T-037929 sz. OTKA támogatásával folytak.

Hivatkozások

- Csapó G, Szabó Z, Völgyesi L** (2003): Changes of gravity influenced by water-level fluctuations... Reports on Geodesy Warsaw Univ. of Technology 64; 1, 143-153.
- Csapó G** (2004): Felszínmozgások komplex vizsgálata Debrecen térségében. A T031875 sz. OTKA zárójelentése.
- Csapó G, Völgyesi L** (2005): Geodéziai és geofizikai módszerek együttes alkalmazása a nehézségi erőter időbeli változásainak vizsgálatára, Geomatikai Közlemények VIII, 191-198.
- Jámbor Á** (1985): Magyarázó Magyarország pannóniai képződményeinek földtani térképeihez (1:500 000). MÁFI.
- Tóth Gy, Völgyesi L, Cerovsky I** (2004): Modelling time variation of gravity gradients... Reports on Geodesy Warsaw Univ. of Technology 69; 2, 309-314.
- Tóth Gy** (2005): The gradiometric-geodynamic boundary value problem, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York; Series: IAG Symposia, 129, 352-357.
- Völgyesi L, Szabó Z, Csapó G** (2004): Relation between the geological conditions and vertical surface movements in the Pannonian basin, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York; Series: IAG Symposia, 129, 358-363.
- Völgyesi L, Tóth Gy** (2004): Modelling gravity gradient variation due to water mass fluctuations, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York; Series: IAG Symposia, 129, 364-368.
- Völgyesi L, Csapó G, Szabó Z** (2005): Relation between time variation of gravity and pannonian sediment thickness in the Carpathian basin., Reports on Geodesy, Warsaw University of Technology, 73; 2, 255-262.

A KÁRPÁT-MEDENCE 1900-2005 KÖZÖTTI FÖLDRENGÉSEINEK STATISZTIKAI ELEMZÉSE

Kiszely Márta*



The statistical analysis of earthquakes of Carpathian Basin between the years 1900-2005 – This paper analyses the diurnal, weekly, and seasonal distributions of earthquakes occurred in the Carpathian Basin between the years 1900-1905. The effect of the Moon has also been investigated by applying the syzygy method. Firstly all the events of the catalogue have been used, and after it only the $M_L > 3,2$ main shocks were taken into account. The diurnal distributions of the earthquakes show a difference before and after the 1960a. A daily (13 hour) maximum in the diurnal distribution of earthquakes appears and differs by one hour between the summer and winter periods of the year. The weekly distribution shows a maximum on Thursday, while the monthly in March and in August. These maximums may be connected with concrete events. The number of earthquakes relative to different Moon phases and to the Earth-Moon distance has also been investigated based on the syzygy theory. Contrary to the theory more quakes have been found during the first quarter of the Moon.

Keywords: diurnal-, weekly- and seasonal distribution, earthquakes, syzygy

A Kárpát-medence 1900-2005 között kipattant földrengéseinek statisztikai vizsgálata során elemeztem a földrengések napi, heti és havi eloszlását az összes katalógusbeli földrengés, külön a főrengések, és az $M_L > 3,2$ méretű főrengések esetén. Hodográfokon megjelenítve kitűnik hogy az 1960-as évekig az éjszakai, utána a nappali földrengések vannak túlsúlyban az összes rengést tekintve. Az 1960-as évek után megjelenik egy 13 óra körüli napi maximum, ami a nyári és a téli félévben egy órával eltér. Ennek oka nem tisztázott. A hét napjai közül a csütörtöki maximum, és a havi eloszlásban a márciusi és augusztusi maximum 1-1 nagyobb rengéshez köthető. A Hold hatását a Hold különböző fázisaira esett földrengések száma, és a Hold-Föld távolság alapján a syzygy-elméletből kiindulva elemeztem. Az elmélettől eltérően az első negyed idején van több rengés.

Kulcsszavak: napi- heti- havi eloszlás, földrengések, syzygy

1 Bevezetés

Magyarország nem tartozik a földrengésektől erősen veszélyeztetett területek közé, mégsem teljesen ismeretlen előttünk ez a természeti jelenség. Havonta előfordul 2-3, csak műszerekkel regisztrálható földrengés. Évente néhányszor emberek által is érezhető földrengés is kipattan. 1900 óta mintegy 3800 földrengés keletkezett a Kárpát-medencében és szűkebb környezetében. A vizsgált terület kiválasztása megfelel a térségünket szeizmicitásuk alapján öt különböző részre bontó felosztása alapján (Kárpát-medence; Vancsaföld; DK-Alpok és Dinári-hegység; Keleti-Alpok és Nyugati-Kárpátok; Keleti-Kárpátok és Déli-Kárpátok (Tóth et al. 1998)) a Kárpát-medencének (1. ábra). Több cikk foglalkozott már Magyarország szeizmicitásának elemzésével (Horváth 1984; Bodri 1999; Tóth 2002). A Kárpát-medencében a földrengések eloszlása meglehetősen szórta, nem mutat egyértelmű korrelációt szerkezeti vonalakkal, törésszerekkel. Feltételezhető, hogy a kéreg itt több tektonikai elemre osztható, és a deformációk, amik végső soron az afrikai és eurázsiai lemez ütközése miatt lépnek fel, a mai napig halmozódnak (Bada et al. 1998).

A földrengéseket nem tudjuk előre jelezni, de statisztikai elemzésük segítségével jobban megismerhetjük természetüket. E cikkben a magyarországi földrengés katalógust statisztikai szempontok szerint elemeztem. Ennek során a katalógusbeli összes földrengés és felbontva a főrengések és utórengések, valamint az $M_L > 3,2$ méretű rengések napi, havi és heti eloszlását vizsgáltam. Az elemzés során hisztogramokat és hodográfokat használtam. A Schuster-teszt segítségével ellenőriztem, hogy mutatnak-e valamilyen periodicitást az adatok.

A Hold hatását Berkland J (Earth prediction Newsletter Syzygy; URL: <http://syzygyjob.com/>) syzygy elnevezésű elmélete alapján elemeztem. Ennek lényege, hogy újhold és telihold idején közel egy vonalban helyezkedik el a Hold a Föld és a Nap. Ekkor van szökőár, és ekkor maximális az árapály keltette feszültség. Ezt a hatást fokozza, amikor a Hold perigeumban (földközelsben) van. Az elmélet szerint ezekben a napokban várható több földrengés.

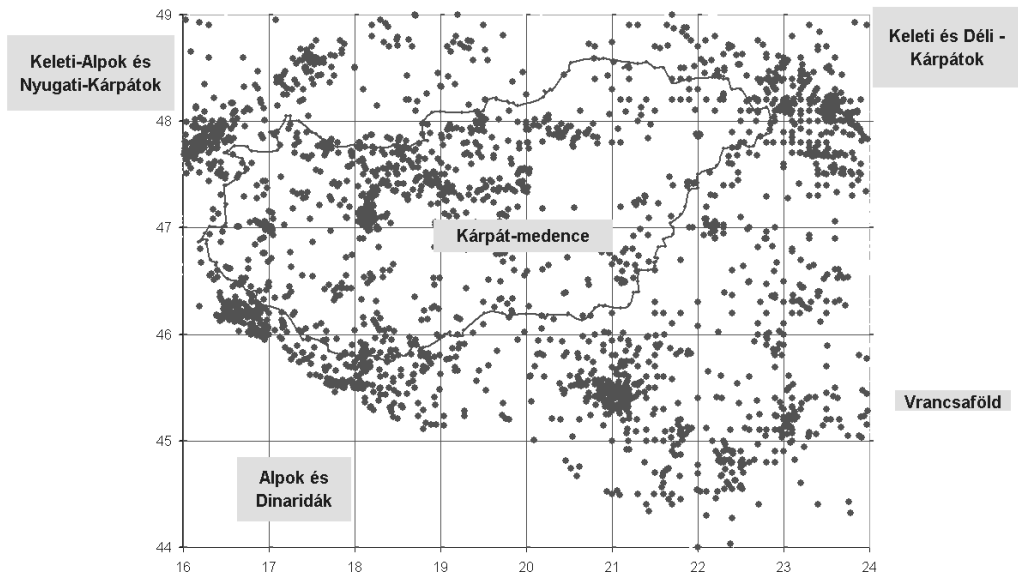
2 A Katalógus

Hazánkban az 1900-as évektől kezdődtek a műszeres megfigyelések. Eleinte Budapesten majd később több állomáson történt regisztrálás, (Kalocsa, Temesvár, Ógyalla, Fiume, Zágráb, Kolozsvár, Szeged, Fiume) majd az I. világháború után 4-re csökkent a számuk (Budapest, Kalocsa, Kecskemét, Szeged). Az 1960-as években Budapesten, Sopronban, Piskéstetőn, és Jósiváron működött műszeres megfigyelés. Jelenleg 16 állomás található Magyarországon. Ennek köszönhetően a műszeres megfigyelések száma főleg az 1960-as évektől kezdve egyre jobban növekszik, és napjainkra a kisebb, $M_L 2-3$ magnitúdós földrengésekről is van műszeres adatunk.

A földrengés katalógus az 1900-1960 évek között főleg az emberek megfigyelésein alapuló makroszkópikus földrengésadatokat tartalmazza. Később már az emberek által nem érezhető rengések is szerepelnek. Napjainkra túlnyomó többségben műszeres adatokból áll a bulletin. Ez azt jelenti, hogy a korai években hiányoznak olyan magnitúdójú események, amelyeknek jelenleg sikerül a detektálása. Tehát nem *teljes* az adatrendszer. A csillagászok által ismert „sötét anyag”-hoz hasonlóan a szeizmológusok sem ismernek minden földrengést.

A földrengésekhez öt fő adat tartozik: földrajzi hely (φ, λ), mélység, időpont és méret. A katalógus tartalmazhat még egyéb adatokat, pl. fészekmechanizmus, intenzitás, regisztráló állomások száma stb. További adat a katalógusban a két egymást követő földrengés közötti időkülönbség. Ezek az adatok bizonyos hibával terheltek, esetleg hiányoznak. Kíváncsok hogy az adataink, a katalógus pontos legyen.

Akkor *egységes* a katalógus, ha a régebbi nem műszeres megfigyeléseket is úgy kezelhetjük, mintha a mai állomás-hálózattal detektáltuk volna.



1. ábra. A földrengések epicentrumának eloszlása a Kárpát-medencében és környezetében (1900-2005). A vizsgált időszakban 3800 földrengést tartalmaz a Kárpát-medencére a katalógus. A terület kiválasztása megfelel a térségünket szeizmicitásuk

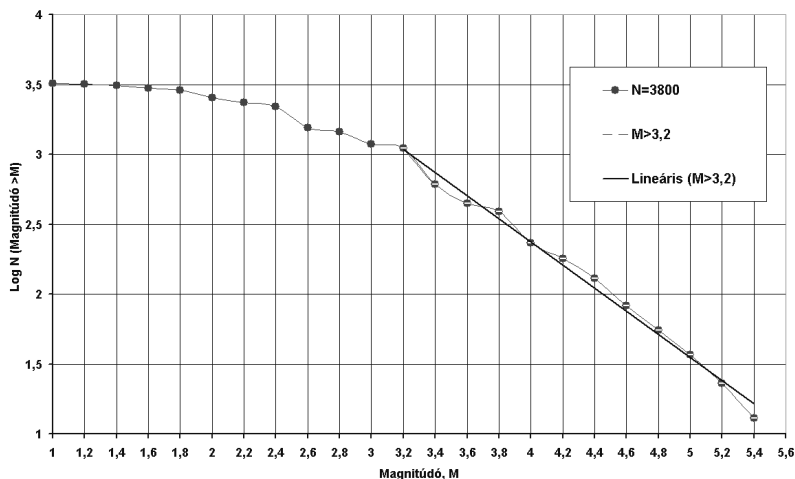
alapján öt különböző részre bontó felosztásnak (Kárpát-medence, Vrancsaföld, DK-Alpok és Dinári-hegység, Keleti-Alpok és Nyugati-Kárpátok; Keleti-Kárpátok és Déli-Kárpátok)

Statisztikai vizsgálataink számára tehát egy *teljes, pontos és egységes* katalógus volna ideális. Ezek a feltételek nem teljesülnek, csak bizonyos időszakokra és magnitúdó érték felett.

Vizsgálataimban Zsíros et al. (1999) –féle Magyar Földrengés Katalógus (456-1998) Zsíros Tibor hozzájárulásával 2003-ig kibővített adatát használtam. Ezt kiegészítettem az évenként megjelenő Magyarországi földrengések évkönyve - Hungarian Earthquake Bulletin (Tóth et al. 2004-2005) adataival. Az 1. ábrán látható a vizsgált területre eső földrengések eloszlása.

A Gutenberg és Richter (1944) kumulatív gyakoriság-méret törvény értelmében, ha logaritmikus függvényként ábrázolom a területhez tartozó és bizonyos magnitúdó feletti rengések számát a magnitúdó függvényében, egy egyenest kapok. Ez az összefüggés az egyik legjelentősebb eredmény, amit a rengések statisztikai vizsgálata adott. Az egyenes meredeksége területről területre változik. Az összefüggés pedig végső fokon a földrengések fraktál-természetét mutatja. Bodri (1999) munkájában a Kárpát-medence rengéseinek fraktál-jellegét, klaszteresedését számszerűen is kimutatta.

Ha a Kárpát-medence rengéseit ennek megfelelően ábrázolom (2. ábra) látható, hogy csak egy bizonyos magnitúdó érték felett kapok egyenest. Esetünkben tehát, csak az $M_L > 3,2$ feletti földrengésekre mondhatom, hogy a földrengések fraktál-természetéből adódó számú rengés van. Ennél kisebb méretű földrengésekből a vártnál kevesebbet tartalmaz a katalógus. A statisztikai számításoknál ezt figyelembe kell venni. Azonban érdekes lehet megfigyelni az összes 1900-tól kipattant földrengés statisztikai jellemzőit is.



2. ábra. A Kárpát-medence földrengéseinek méret szerinti halmozott rengésgyakorisága (1900-2005). A méret szerinti kumulatív gyakoriság a Gutenberg-Richter összefüggés alapján egy egyenest ad. Ez az $M_L > 3,2$ magnitúdójú eseményekre teljesül. Ennél kisebb méretű rengések halmozott gyakorisága már kevesebbet ad, mint ami az elméletből várható

3 Kiindulási feltételek

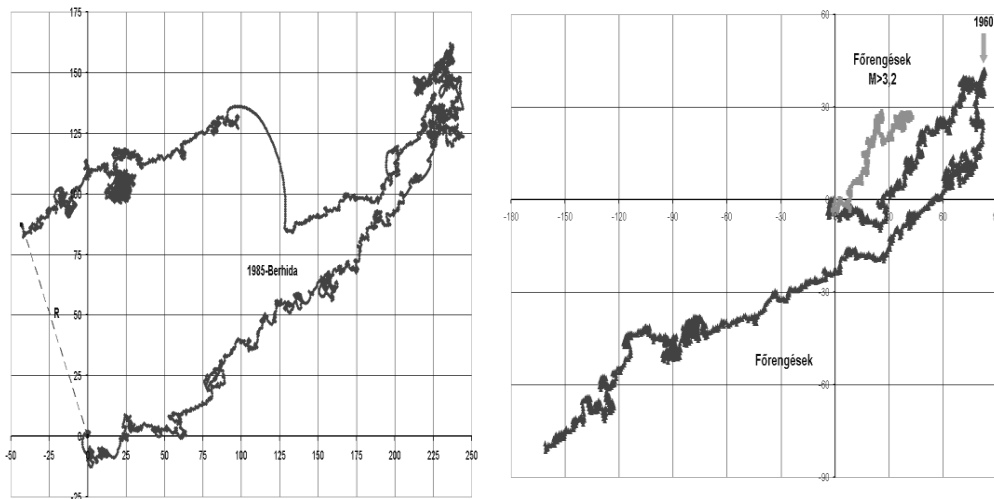
A statisztikai vizsgálatok megkezdése előtt érdemes áttekinteni a kiindulási feltételeket.

1. Azt várom, hogy a földrengések egymástól és a földrajzi koordinátától függetlenül véletlenszerű eloszlást mutatnak. Ez nem teljesül, hiszen a Magyar Földrengés Katalógus a főrengek mellett elő- és utórengéseket is tartalmaz, melyekre az Omori (1894) összefüggése vonatkozik.
2. A földrengések kipattanási idejét greenwichi időben szokás megadni. A nyári időszámítás bevezetése ezért nem okoz időeltolódást. Statisztikai számításaimban a helyi csillagászati időt használtam. Mivel a vizsgált terület hosszúság-különbsége 8° , ez akár fél óra eltérést is jelenthet helyi csillagászati időre átszámítva.

3. A földrengések magnitúdója egy energiát kifejező logaritmikus skála. A skálán 1 fok különbség harmincháromszoros energiakülönbségnek felel meg. Figyelembe vehettem volna a földrengések kipattanási ténye helyett a felszabadult energia időbeli eloszlását is. Ebben az esetben a legnagyobb rengés mellett azonban teljesen elhanyagolható lett volna a katalógus többi adata. E tanulmányban csak a földrengés idejét vettem figyelembe, így viszont eltekintettem a magnitúdótól, ami pedig fontos információt hordoz a rengésről.
4. A katalógusban robbantásként jelölt eseményeket kihagytam. Azonban előfordulhat földrengésnek jelölt, de igazából bányarobbanás is a katalógusban. Ez főleg a Vértes-hegység rengéseire igaz. Ezen a területen rendszeres a bányarobbanás, és időnként földrengés is kipattan. Ezek szétválasztására több módszer is létezik (Kiszely 2001).
5. Elemeztem a katalógus adataiból a főrengések eloszlását. 1900-2005 között 1945 főrengés történt. A főrengések kiválasztása bonyolult rutin szerint történik. Omori (1894) nevéhez fűződik az utórengések eloszlását leíró összefüggés. Zsíros (2000) Magyar Földrengés Katalógus című munkájában meghatározta a Kárpát-medencére a főrengések kiválogatásához szükséges távolság és időparamétereket. Ennek figyelembe vételével kaptam meg tőle a katalógusból kiválogatott főrengéseket.
6. A főrengések és utórengések elemzésekor a napi eloszlást 2 óránként összegeztem a kisebb adatszám miatt.

4 A Hodográfok

A hodográfok elméletét földrengésekre Schuster (1897) dolgozta ki, majd Chapman és Bartels 1951-ben fejlesztette tovább. Schuster-teszt néven ismerjük, és a véletlen bolyongás modelljén alapul. Minden földrengéshez egy egységvektort rendelünk, melynek az iránya 0° -tól 360° -ig változik a kipattanási időtől függően. Ha a napi eloszlást vizsgáljuk, akkor 1 óra $360^\circ/24=15^\circ$ -nak felel meg. A vektorok összessége a hodográf, ami egy grafikus megjelenítése a statisztikai interpretációnak.



3. ábra. A földrengések napi eloszlásának hodográfja az összes katalógusbeli földrengést tekintve és külön, csak a főrengésekre (3b. ábra). Az összes földrengést ábrázolva a kiindulási pontot az utolsó adat pontjával összekötve kapunk egy R szakaszt. Ha R kicsi valószínűleg nincs valamely időszak irányában kivételesen sok adat, és nagy, ha periodicitás fordul elő. Az 1985-ös berhidai $M_L=4,7$ -es rengést követő utórengések egy ívet alkotnak a hodográfban (3a. ábra)

Vizsgálhatók más időszakokra vonatkozó bolyongást is, pl. az év 12 hónapjának megfelelően 12 részre bontom a 360° -ot. A Kárpát-medence földrengéseinek napi eloszlását mutatja a 3. ábra. 0° - 0 órának, 90° - 6 órának, 180° - 12 órának és 360° - 24 órának felel meg. Az összes földrengést ábrázolva és a kiindulási pontot az utolsó adat pontjával összekötve kapunk egy R szakaszt. R kicsi, ha nincs

valamely idő irányában kivételesen sok adat, és nagy, ha periodicitás fordul elő. A 3a. ábra az összes $N=3800$ földrengés, a 3b. ábra $N=1945$ főrengés, és az $N=353$ $M>3,2$ méretű főrengés hodográfja. Mindkét hodográf szerint eleinte dominálnak az éjszakai, kora hajnali rengések. Az 1960-as évektől kezdve azonban megváltozik a vektorsorozat iránya, egyre több délutáni rengés van. Az 1985-ös berhida $M=4,7$ -es rengést követő utórengések egy ívet alkotnak a hodográfban.

A Kárpát-medence földrengéseit hisztogramon is ábrázoltam. A 4a. ábra az összes adatot a teljes időszakra, és két egymást követő időszakban ábrázolja. A 4b. ábra különválasztva mutatja az $M_L<3,2$ és $M_L>3,2$ méretű rengéseket. Észrevehető hogy a kisebb rengéseknél megjelenik egy déli maximum, ami az 1960-2005 időszakra még inkább jellemző. Az 1900-1959-es időszakban az éjszakai földrengések dominálnak. A hodográf is azt mutatja, hogy az 1960-es években megváltozott a vektorsorozat irányultsága.

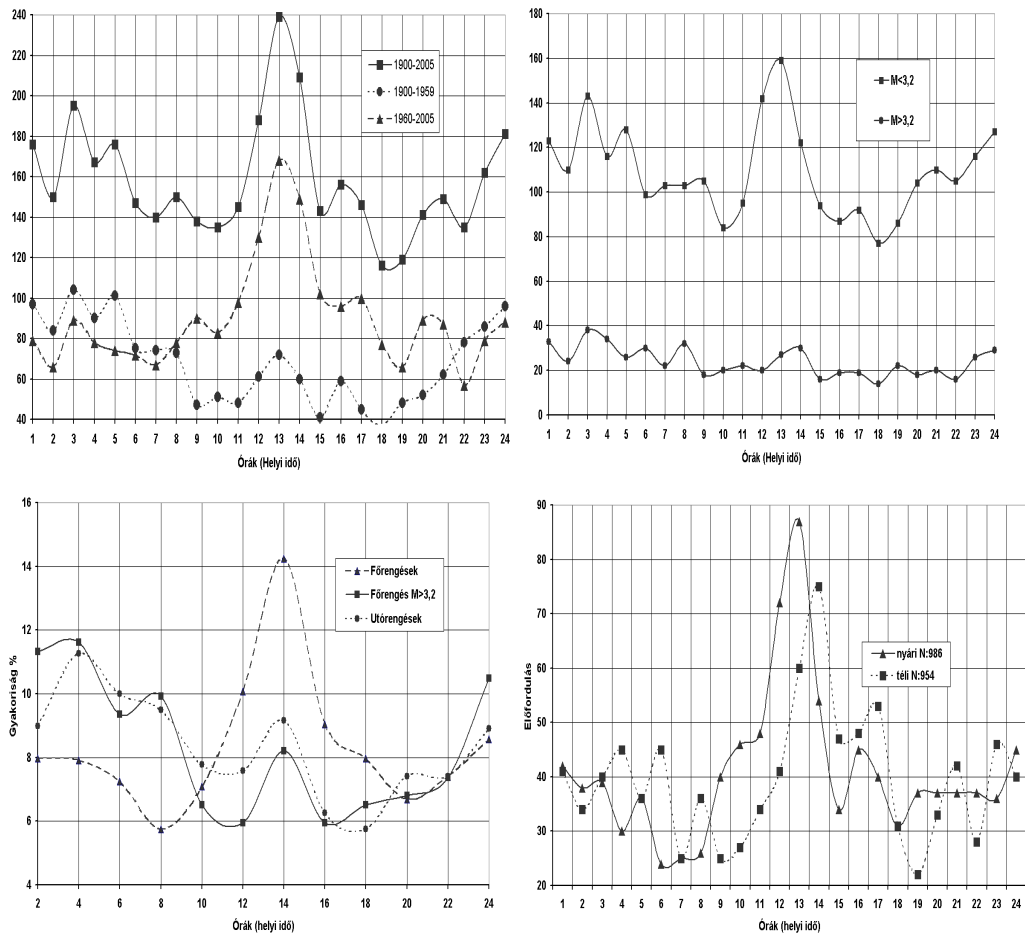
A déli órákban mutatkozó csúcs egyik oka az lehet, hogy ezek többsége földrengésnek vélt kisebb bányarobbanás (feltételezve, hogy ezek rendszeresen a déli órákra esnek). A legtöbb eseményhez nem tartozik fészekmélység adat, vagy az is hibával terhelt. Így nem tudom kiszűrni a 0 km mélységű, robbanás gyanús eseményeket. Az $M_L<3,2$ események aránya nagyobb az 1960-2005-ös időszakban, ami a jobb műszeres lefedettségnek köszönhető. Amíg főleg makroszkópikus megfigyelésekből származtak a katalógus adatai, az éjszaka nyugalma kedvezőbb volt a földrengések detektálására, vagy a szubjektív megítélés miatt nagyobb értéket kaptak az éjszakai rengések. Ez is okozhatja a kisebb rengések hiányát. Erről tanúskodik a 3a. ábra hodográfja.

A műszeres megfigyelés esetén is, az emberi tevékenységből adódó zajban elveszhet néhány nappali földrengés, de mindenképpen a kisebb magnitúdók felé tolódik el az érzékenységi küszöb. A 4b. ábra ezzel szemben azt mutatja, hogy nappal történik több kisebb méretű rengés detektálása, a hodográf irányultsága is megfordult (3b. ábra). A 4c. ábra az elő-, fő- és utórengések eloszlását mutatja. Mindhárom esetben megfigyelhető a déli órákban egy kisebb vagy nagyobb maximum. Közép-Európa földrengésadatait elemezve Ulbrich (1987) is kimutatott napi periodicitást. Véleménye szerint ez a műszerek érzékenységeinek napi- és éves változásából adódik. Ott az éjszakai órákra jutott több esemény. A 4d. ábra a nyári (IV-IX) és téli (X-III) hónapok főrengéseinek napi eloszlását mutatja. A téli időszakban kisebb a dél-körüli maximum, és későbbre esik 1 órával, mint a nyári félévben. (Úgy tűnik a többi kisebb csúcsot is érinti ez eltolódás.) A nyári időszámításra való áttérés ezt nem magyarázza, mert a greenwichi idő használatakor ezt már figyelembe vettük.

Elképzeltető azonban az is, hogy valami természetes oka van a déli maximumnak. A földrengések gyakoriságának napi eloszlásához nagyon hasonló eredményt kapott Lipovics (2001) a tihanyi mágneses obszervatóriumban mért geomágneses összetevők napi menetének elemzésekor. A mágneses vertikális komponens értéke maximális a déli órákban. Duma és Ruzhin (2003) kísérletet tettek arra, hogy meghatározzák azt a mechanikus feszültséget, ami a litoszférában indukálódott Sq-áramok és a regionális mágneses tér kölcsönhatásakor keletkezik. Ez hatással lehet a tektonikus feszültségekre. Kimutatták a földrengések és az indukálódott Sq-áramok napi változó menete közötti hasonlóságot Ausztria, a Vezúv, Kalifornia és Kína esetében.

A földrengések havi és heti eloszlását is elemeztem (5. ábra). A függőleges tengely százalékban adja az előfordulást.

A főrengéseket háromszöggel, az $M_L>3,2$ főrengéseket négyzettel és az utórengéseket ponttal jelöltem. Az utórengéseknél két hónap jelentkezik maximummal: a március és az augusztus. A márciusi maximum az 1927-es $M_L3,5$ várpalotai, és az 1956-os $M_L5,6$ dunaharaszti földrengéssorozathoz kapcsolódik. Az augusztusi maximumot az 1985-ös berhida $M_L4,7$ földrengéssorozat okozza. A hét napjai szerinti felbontásban csütörtökre esik a legtöbb utórengés. Ennek okozója az előbb említett berhida földrengéssorozat, ami csütörtökre esett. A napi eloszlás (4. ábra) 13 órai maximuma nem köthető egyik nagyobb földrengéshez sem, mert az utórengések eloszlának a nap többi órájára is.



4. ábra. A Kárpát-medence földrengéseinek napi eloszlása hisztogramon ábrázolva. A 4a. ábra különböző időszakokra (1900-2005; 1900-1959; 1960-2005), a 4b. ábra különböző magnitúdó értékek szerint ábrázolja az eloszlást ($M_L < 3,2$; $M_L > 3,2$). A 4c. ábra az elő-, fő- és utórétegek %-ban kiszámolt gyakoriságát mutatja kétóránként összegezve. A 4d. ábra a téli és nyári félév főrétegeinek óránkénti eloszlását mutatja 1900-2005 között

4 Statisztikai számítások

A szignifikancia szintet a Schuster-teszt alapján határoztam meg. Ellenőriztem hogy a null hipotézisnek megfelelően véletlenszerűen oszlanak-e el a Kárpát-medence földrengései a nap óráit tekintve, vagy szignifikánsan eltérnek. A nap minden időpontjához más-más irány tartozik. Tanaka (2002) szintén a Schuster-tesztet használta földrengések időbeli eloszlásának statisztikai vizsgálatához. Ulbrich (1987) összehasonlította Közép-Európa földrengéseinek elemzésekor a Schuster-tesztet és a χ^2 -tesztet. A Schuster-teszt abban tér el a hagyományos χ^2 -teszttől, hogy figyelembe veszi a „rekeszek” sorrendjét. A hodográf lényegében ennek grafikai megfelelője, amivel az időbeli változást is nyomon követhetjük a rengések eloszlásának. A Schuster-teszt használata ezért alkalmasabb erre az esetre.

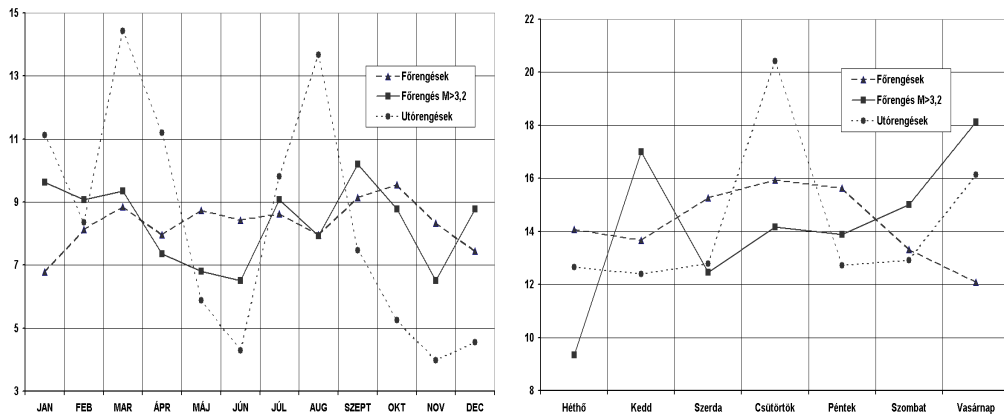
A Schuster-teszt során a hodográfban jelölt R értéket számítom ki (3a. ábra). Az összes földrengést ábrázolva a kiindulási pontot az utolsó adat pontjával összekötve kapunk egy R szakaszt. R kicsi, ha nincs valamely fok (idő) irányában kivételesen sok adat, és nagy, ha periodicitás fordul elő. Ha a földrengések a nap órái szerint véletlenül oszlanak el, akkor a valószínűsége annak, hogy a

vektorsorozat összegének a hossza N adat esetén egyenlő vagy nagyobb, mint R a következő képlet fejezi ki:

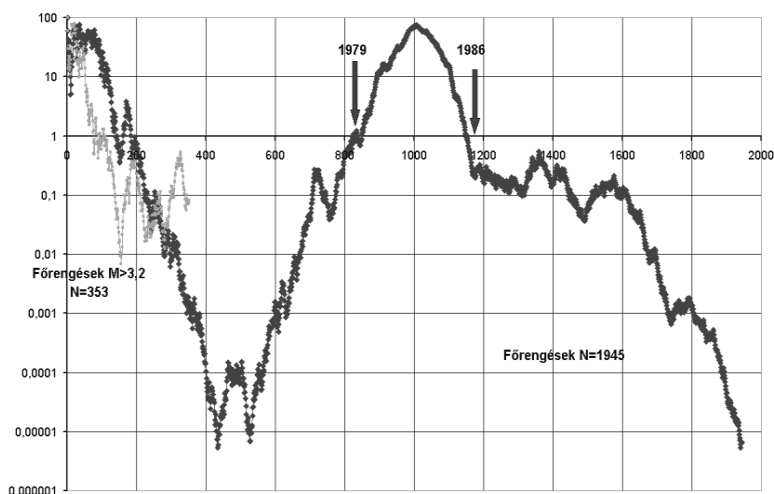
$$p = \exp(-R^2/N) \quad (1)$$

A p érték fejezi ki a szignifikancia szintet. Elutasítjuk a null hipotézist, amennyiben p kisebb, mint 1%. Ez megfelel az $1-p=99\%$ szignifikancia szintnek. A p értékének alakulása látható a 6. ábrán. A vízszintes skála a földrengések számát, a függőleges a p értékét mutatja. Az $M_L > 3,2$ földrengések napi eloszlásának p értéke nem éri el az 1%-ot, az összes földrengés esetén viszont látható, hogy 1979 és 1986 között meghaladta a $p > 1\%$ -ot, de 1986 óta nem éri el (6. ábra). A két egymással szinte ellentétes vektorsorozat (ami a 3a. ábrán látható) eleinte javította egymás hatását, de az adatsor végére már nem éri el az 1%-ot. Az $M_L > 3,2$ földrengések heti és havi eloszlása esetén elfogadható a null hipotézis. Az összes földrengés esetén csak a havi eloszlásra fogadható el.

Az 1. táblázatban összefoglaltam a különböző időszakokra kapott eloszlások függetlenség vizsgálatának eredményeit. Az összes eseményt tekintve el kéne fogadni a null hipotézist hiszen $p=8,27\%$, de ez két egymással ellentétes vektorsorozat egymást kompenzáló hatása (3a. ábra).



5. ábra. A Kárpát-medence rengéseinek eloszlása a hónapok és a hét napjai szerint (1900-2005). A függőleges tengely százalékban adja az előfordulást. A főrengéseket háromszöggel, az $M_L > 3,2$ főrengéseket négyzettel, és az utőrengéseket ponttal jelöltem. Az utőrengéseknél két hónap jelentkezik maximummal: a március és az augusztus. A hét napjai szerinti felbontásban csütörtökre esik több utőrengés



6. ábra. A Kárpát-medence főrengéseinek, és $M_L > 3,2$ főrengésének Schuster-tesztje (1900-2005). A $p=1\%$ értéket vastag vonallal jelöltem. Egyik esetben sem fogadom el a null hipotézist. 1979 és 1986 között vesz fel a $p > 1\%$ értéket

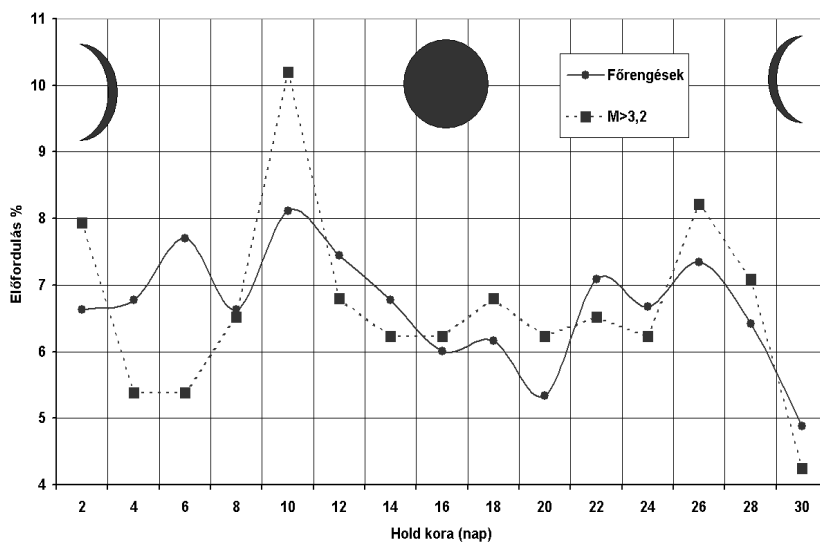
1. Táblázat. A statisztikai vizsgálatok összegzése

1900-2005	periódus	rekeszek	N db földrengés	Schuster-teszt p%
mind	napi	24	1945	8,27
	napi	12	1945	6,4E-6
főrengések	heti	7	1945	0,15
	havi	12	1945	14,9
főrengések	napi	12	353	0,07
M>3,2	heti	7	353	74,6
	havi	12	353	57,8

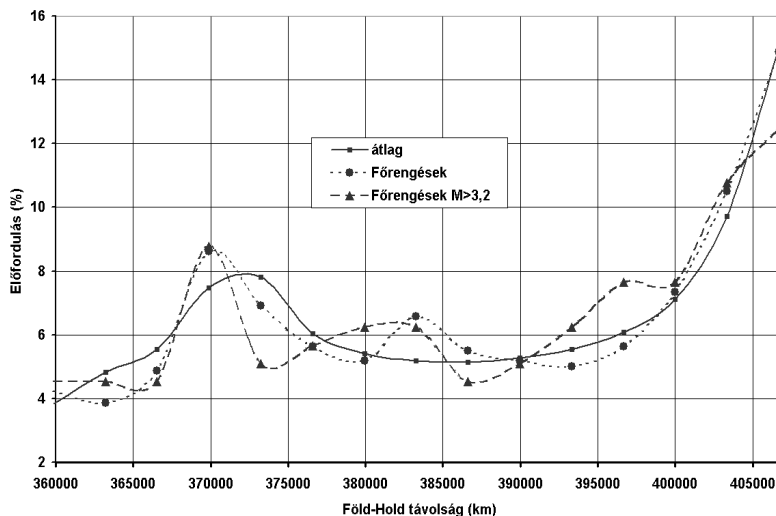
5 A hold hatása -Syzygy

A Hold és a Nap együttes árapálya hatással lehet a földrengések eloszlására, amennyiben a földrengéshez vezető feszültség felhalmozódását bizonyos időpontokban a kritikus értékig megemeli. Ezt többen vizsgálták. Katao és Sumitomo (1997) beszámoltak róla hogy a Tanbe régió földrengései (a Kobei 1995-ös földrengést követően) korrelálnak a Hold fázisaival. Lin et al. (2003) Tajvan földrengéseit elemezve azt találták, hogy a kisebb földrengések telihold és újhold idején gyakrabban fordulnak elő. A görögországi $M_s > 6$ földrengéseket elemezve Thanassoulas et al. (2001) 14 napos periodicitást mutatott ki.

A Kárpát-medence földrengéseit a Hold fázisainak és távolságának függvényében a 7. és a 8. ábra mutatja. Csak a főrengéseket ($N=1945$) és az $M_L > 3,2$ főrengéseket ($N=353$) elemeztem. A syzygy elmélet szerint újhold és telihold idején, illetve perigeum (földközeli) esetén várunk több földrengést. Ezek a kritikusnak mondható időszakok időnként egybe esnek. Az anomlisztikus hónap hossza (földközeltől földközelig) 27,54 nap, a szinodikus hónap hossza (újholdtól újholdig) 29,53 nap. Ezzel szemben a 10. nap környékén (első negyed után) találtam kiugróan sok földrengést. (Újhold körül is van egy kisebb növekedés.) Földközeli idejére nem esett kiugróan sok földrengés. Következtetések levonásához azonban mindenképpen több adatra lenne szükség.



7. ábra. A Kárpát-medence földrengéseinek eloszlása a Hold fázisainak függvényében. Az $M_L > 3,2$ főrengéseket szaggatott vonal jelzi. A folyamatos vonal az összes főrengést mutatja 1900-2005 között. A függőleges tengely: az esetek száma százalékban



8. ábra. A Kárpát-medence földrengéseinek eloszlása a Föld-Hold távolság függvényében. Az $M_L > 3,2$ főrengéseket szaggatott vonal jelzi. A pontozott vonal az összes főrengést ábrázolja. A folyamos vonal a hosszú évek átlagát mutatja. A függőleges tengely: az esetek száma százalékban.

6 Összefoglalás

A Kárpát-medencében és szűkebb környezetében 1900-tól napjainkig mintegy 3800 földrengés keletkezett a 44°E - 49°E - 16°K - 24°K között. Ezeknek a földrengéseknek a statisztikai vizsgálatát hisztogramok és hodográfok segítségével végeztem el. Vizsgáltam hogy a földrengések eloszlása különböző felbontásban véletlen jellegű, nem függ a hónapoktól, a hét napjaitól és a nap óráitól. Külön elemeztem a Hold fázisai és a Hold-Föld távolság szerinti eloszlást. Vizsgáltam a katalógus összes földrengését, külön a főrengéseket és az $M_L > 3,2$ (melyekre teljes az adatrendszer) földrengéseket.

Az 1960-as évekig dominálnak az éjszakai detektálások, majd a műszeres regisztrálások gyakoribbá válásával egyre több nappali földrengés kerül a katalógusba. Megjelent egy dél körüli maximum, amit lehet esetleg bányarobbanásokkal magyarázni, de elképzelhető, hogy természetes oka van. A földrengések gyakoriságának napi eloszlásához nagyon hasonló eredményt kapott Lipovics (2001) a tihanyi mágneses obszervatóriumon mért geomágneses összetevők napi menetének elemzésekor. Az elmélet szerint mechanikai feszültség lép fel, ami a litoszférában indukálódott Sq-áramok és a regionális mágneses tér kölcsönhatásakor keletkezik. Ez hatással lehet a tektonikus feszültségekre. A téli és nyári félév maximuma közötti 1 óra különbséget is meg kell magyarázni.

A heti és havi eloszlása az $M_L > 3,2$ főrengéseknek a Schuster-teszt alapján megfelel a null hipotézisnek, vagyis Poisson-eloszlást mutatnak. A napi eloszlása a főrengéseknek és az $M_L > 3,2$ főrengéseknek nem felel meg a null hipotézisnek.

A Hold hatásának kimutatásakor a syzygy elmélet szerint újhoid, és telehold, illetve perigeum idején várhatunk több földrengést. Ezt nem sikerült kimutatni.

Hivatkozások

- Bada G, Cloetingh S. A. P.L., Gerner P, Horváth, F (1998): Sources of recent tectonic stress in the Pannonian Region: inferences from finite element modelling, Cenozoic stress field evolution in the Carpathian basin and surrounding Geophys. J. Int. 134, 87-101.
- Bodri B (1999): Földrengések fraktálanálízise. Az ismétlődési időtartamok eloszlásáról. Magyar Geofizika 40; 1, 12-22.
- Duma G (1999): Geomagnetic secular variation and an interesting relation to earthquake activity, Symposium: Results in Magnetotellurics, Aeronomy and Geomagnetism, October 14-15, 1999, Sopron, Hungary.
- Duma G, Rhuzin Y, (2003): Diurnal changes of earthquake activity and geomagnetic Sq-variations, Natural Hazards and Earth System Sciences, 3, 171-177.
- Gutenberg B, Richter C F (1944): Bull. Seismol. Soc. Am. 34, 185-188.

- Horváth F** (1984). Neotectonics of the Pannonian basin and the surrounding mountain belts: Alps, Carpathians and Dinarides. *Ann. Geophys.*, 2/2, 147-154.
- Katao H, Sumitomo N** (1997): Relation between tide and microearthquake activity, Abstracts of Japan Earth and Planetary Science Joint Meeting, 94.
- Kiszely M** (2001): Discriminating quarry-blasts from earthquakes using spectral analysis and coda waves in Hungary. *Acta Geod. Geoph. Hung.*, 36; 4, 439-449.
- Lin C H, Yeh Y H, Chen Y I** (2003): Earthquake Clustering Relative to Lunar Phases in Taiwan, *TAO*, 14; 3, 1-10 September.
- Lipovics T** (2001): The effect of geodynamic processes on the variation of the geomagnetic field, Diploma Thesis, Eötvös Loránd University, Budapest (in Hungarian)
- Omori F J** (1894): On after-shocks of earthquakes. *J. Coll. Sci. Imp. Univ Japan*. 7; 111-200.
- Schuster A** (1897): On lunar and solar periodicities of earthquakes, *Proceedings of the Royal Society of London* 61, 455-465.
- Tanaka S, Ohtake M, Sato H** (2002): Evidence for tidal triggering of earthquakes as revealed from statistical analysis of global data. *J. Geophys* 107, ESE1-1 – ESE-1-11.
- Thanassoulas C, Tsatsaragos J, Kientos V** (2001): Determination of the most probable time of occurrence of a large earthquake., Open File Report A. 4338, IGME, Athens, Greece.
- Tóth L, Mónus P, Zsíros T, Kiszely M** (2002): Szeizmicitás A Pannon-medence szeizmicitása. *Földtani Közlöny* 132/különszám, 327-337 Budapest.
- Tóth L, Mónus P, Zsíros T, Kiszely M** (2005): Hungarian Earthquake Bulletin, 2004. – *GeoRisk*, Budapest, 94 p.
- Tóth L, Mónus P, Zsíros T, Kiszely M** (2006): Hungarian Earthquake Bulletin, 2005. – *GeoRisk*, Budapest, 79 p.
- Tóth L, Csabafi R, Greneczy Gy, Horváth F, Kiszely M, Kosztu Z, Kovácsvölgyi S, Mónus P, Páncsics Z, K. Posgay G, Ráner M.R. Tátrai Z, Szabó T, Tóth Z, Wéber Z, Zsíros T** (1998): SUMMARY REPORT: Seismic Monitoring of Paks NPP Site, *GeoRisk*, Budapest, 129.
- Ulbrich U, Ahorner L, Ebel A** (1987): Statistical investigations on diurnal and annual periodicity and on tidal triggering of local earthquakes in Central Europe. *J. Geophys* 61, 150-157.
- Zsíros T** (1999): *Hungaria Earthquake Catalogue (456-1998)*. Seismological Observatory, Budapest