



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Építőmérnöki Kar

Általános- és Felsőgeodézia Tanszék

**Funkcionális modellek vizsgálata és pontosítása
a geodéziai mérések feldolgozásához**

PhD értekezés tézisei

Égető Csaba

okl. földmérő és térinformatikai mérnök

Budapest, 2014

Tartalomjegyzék

I. Bevezetés	4
II. Az Eötvös-inga alapegyenletének kibővítése	5
II.1. Bevezetés.....	5
II.2. Célkitűzés	5
II.3. Eredmények:.....	6
III. Tömegmodell pontossági vizsgálata Monte-Carlo-módszerrel.....	8
III.1. Bevezetés	8
III.2. Célkitűzés.....	8
III.3. Eredmények	8
IV. Szintfelületek elmozdulásának hatása vertikális mozgásvizsgálat céljából végzett ismételt szintezés eredményeire	10
IV.1. Bevezetés	10
IV.2. Célkitűzés	11
IV.3. Eredmények	11
V. A szögmérő műszerek mértékadó hibáinak vizsgálata	14
V.1. Bevezetés	14
V.2. Célkitűzés.....	14
V.3. Eredmények	14
VI. Összegzés	20
VII. Tézisek.....	21
VIII. Saját publikációk	22
IX. Hivatkozások.....	24

I. Bevezetés

A geodéziai mérések feldolgozása szempontjából alapvető követelmény az, hogy minden esetben korrekt funkcionális és sztochasztikus modellek szolgáltassák azt a keretet, amelyben a különböző típusú geodéziai mérésekből a számunkra szükséges eredmények előállíthatók. A funkcionális modellnek minden esetben tartalmaznia kell a feldolgozáshoz szükséges összes lényeges paramétert, mert a modell esetleges hibája, hiányosságai szükségképpen hibás, illetve a gyakorlatban a feladatok szempontjából nem kellően pontos eredményekhez vezetnek. A mérési eszközök és technológia fejlődésével, ismereteink bővülésével együtt kell járnia a mérések feldolgozásához használt funkcionális modelljeink időnkénti felülvizsgálatának, és szükség szerinti pontosításának.

II. Az Eötvös-inga alapegyenletének kibővítése

II.1. Bevezetés

Az első részben az Eötvös-inga mérések feldolgozásához kapcsolódó funkcionális modellel és vizsgálatával foglalkoztam. Az általunk ismert szakirodalom kizárólag az Eötvös-inga mérések feldolgozásának lineáris típusú funkcionális modelljét tárgyalja. Viszont az inga méréseinek feldolgozása kapcsán azt tapasztaltuk, hogy azokban az esetekben, amikor az ingával mérhető nehézségi erő gradiensek, illetve azok helyfüggő változásai nagyok, ez a lineáris modell már nem kielégítő, pontosításra szorul. Az alapegyenlet pontosítása abban állt, hogy az inga nyomatéki egyenlete (amely eddig a nehézségi erő potenciálja Taylor-sorának csak másodrendű tagjait tartalmazta) kibővítésre került a nehézségi erő potenciálja Taylor-sorának magasabb rendű tagjaival. A kibővítés eddigi 4+1 ismeretlen kívül további 14 db ismeretlen eredményezett, amelyek meghatározása nem lehetséges további ingamérések bevonásával. Ennek oka: a kibővített egyenletben az ismeretlenek azimut-függése, vagyis ezek a tagok a nyomatéki egyenletben a másodrendű tagok értékét módosítják (másodrendű nyomatéki hiba). Meghatározásuk egy az adott környezetről készített tömegmodell segítségével történhet.

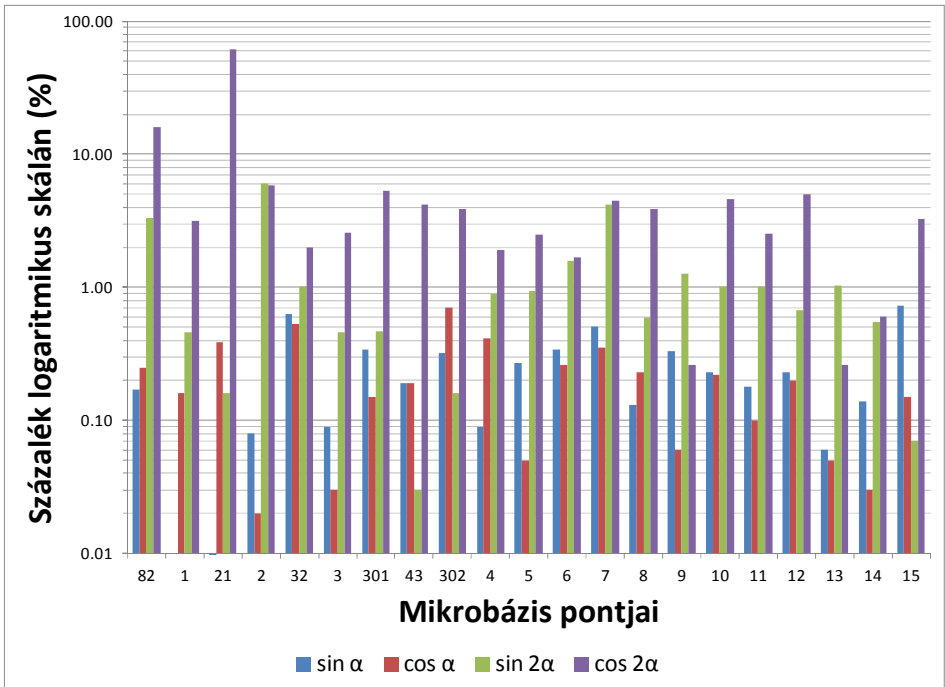
Ezen túlmenően az ingamérések során az ingát tartalmazó ingaházat előre meghatározott azimutokba állítjuk. Ezek a beállított azimutok, bár közel helyezkednek el, mégsem egyeznek meg az ingakar egyensúlyi azimutjaival. Az eltérés (egyensúlyi azimutváltozás) szintén az eddig alkalmazott hagyományos mérésfeldolgozás funkcionális modellje kiegészítésének lehetőségét mutatja.

II.2. Célkitűzés

- Az Eötvös-inga mérések feldolgozásához kapcsolódó kiegészített és pontosított funkcionális modellek vizsgálata.
- Az eredményezett modellpontosítás számszerűsítése.
- Eljárás kidolgozása a funkcionális modell kiegészítéseinek figyelembevételére.
- Az inga egyenletének egyensúlyi azimutváltozást tartalmazó taggal történő kibővítésének a valóságos mérésekből hagyományos megoldással számított eredményekre gyakorolt hatásának vizsgálata

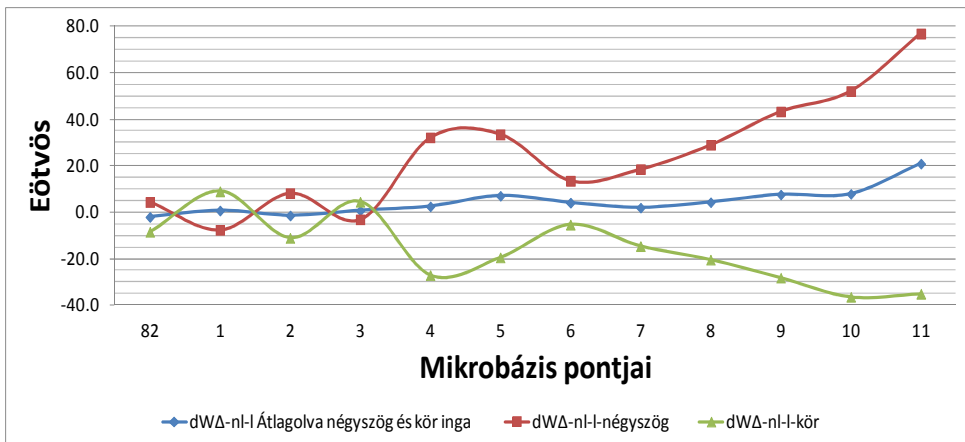
II.3. Eredmények:

A vizsgálatok eredményeit egy konkrét példán keresztül mutattam be. A helyszín az ELGI Mátyáshegyi Gravitációs és Geodinamikai Observatóriuma, azon belül is a gravimetriai mikrobázis pontjai.



1. ábra. A harmad és negyedrendű nyomatóki tagok összegének nagysága a másodrendű taghoz viszonyítva az E54-inga esetén, százalékos alakban (tehát $100 \cdot (\text{harmadrendű} + \text{negyedrendű}) / \text{másodrendű}$ formában)

A megkapott másodrendű nyomatóki hiba értéke a Mátyás-barlangban végzett vizsgálataim szerint akár a másodrendű tag értékének több mint 50%-át is kiteheti (1. ábra)! Ezen vizsgálataim eredményei segítséget nyújtanak annak eldöntésében, hogy a gyakorlatban mikor elegendő illetve mikor nem a hagyományos alapegyszerlet alkalmazása.



2. ábra. Lineáris és nem lineáris egyenletekkel történő feldolgozás különbsége: $dW_{\Delta}(E)$

Az inga egyenletének egyensúlyi azimutváltozást tartalmazó taggal történő kibővítésével kapcsolatos vizsgálatok eredményeül azt kaptam, hogy a funkcionális modell pontosítása akár 20 [E]-sel más értéket is szolgáltathat átlagolt (kör- és négyyszög-inga) adatokra nézve (2. ábra). Mivel a mérésfeldolgozás során a funkcionális modell szabályos vagy modellhibái minden esetben bizonyos fizikai vagy geometriai törvényszerűségek figyelmen kívül hagyásából adódnak, ezért fontos ezen szabályos hibák részletes elemzése.

III. Tömegmodell hatásának pontossági vizsgálata Monte-Carlo-módszerrel

III.1. Bevezetés

Manapság a nehézségi erőtér közvetlen (forward) modellezésére egyre inkább lehetőség nyílik. Amikor a nehézségi erőtér összetevőire vonatkozó méréseinkből a közvetlen felszín hatását (terrain effect) kívánjuk eltávolítani (pl. nyersanyagkutatásnál), akkor azt az előbbiekben említett közvetlen modellezés segítségével megtehetjük oly módon, hogy a modelltől számított nehézségi erőtér komponensekkel a méréseket korrigáljuk. A közvetlen modellezés során pedig tömegmodelleket alkalmazunk. Szintén alkalmazhatunk tömegmodellt az inga nyomatéki egyenletének kibővítése során felmerülő 14 db ismeretlen értékének meghatározására is. Ezért szükségszerű tisztában lennünk az alkalmazott tömegmodellből származtatott mennyiségek pontossági mérőszámaival.

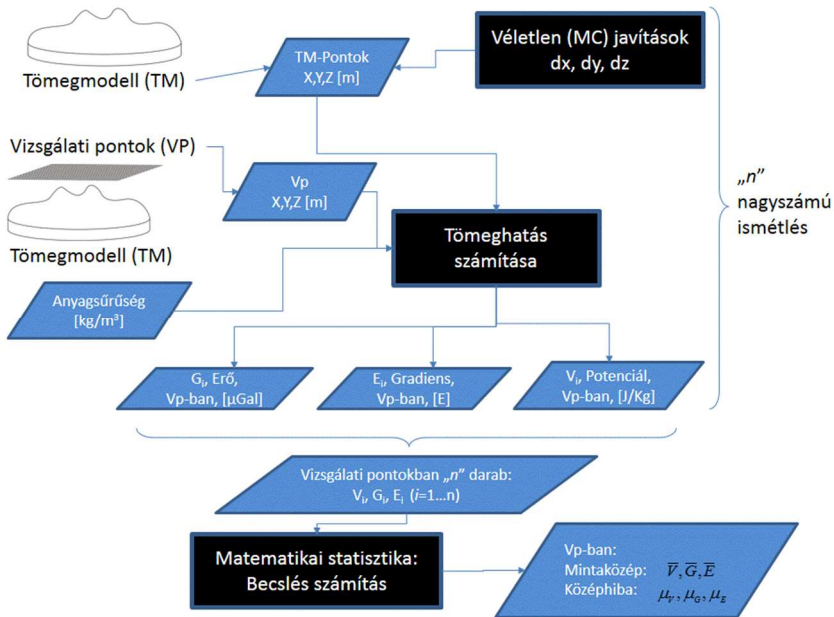
III.2. Célkitűzés

- Választ keresni arra, hogy milyen összefüggés állapítható meg a tömegmodell geometriáját leíró koordináták középpontjai és a tömegmodellből számított tömegvonzási erőtér összetevőit (potenciál, térerősség, gradiens) jellemző középpontok között

III.3. Eredmények

Bemutattam az analitikus megoldás elvét, amely nem más, mint az ismert összefüggések alapján a hibaterjedés törvényének alkalmazása erre a problémára. Ezek után bemutattam a matematikai statisztika Monte-Carlo-módszerét, amelyet sikeresen adaptáltam (3. ábra). Majd bemutattam a módszert konkrét példán, az MFGI Mátyáshegyi Observatóriumáról készített tömegmodellen keresztül (1. táblázat)..

A modellt terhelő véletlen jellegű hibák tekintetében öt részvizsgálatom volt. Ebből az ötből négy esetén a teljes modell mindhárom részét (hegy, belső üreg és belső üreg kiegészítések) azonos hibával terheltem ($\pm 1\text{cm}$; $\pm 3\text{cm}$; $\pm 5\text{cm}$; $\pm 10\text{cm}$). Majd az ötödik esetben a modell azon pontjait, amelyeket mérőállomással mértem $\pm 5\text{cm}$ -rel, a többit (hegy modell) $\pm 100\text{cm}$ -el láttam el. Így szem előtt tartottam a teljes modell koordinátáira vonatkozó meghatározási módszerek heterogenitását.



3. ábra. Folyamatábra: Tömegmodell pontossági vizsgálata Monte-Carlo-módszerrel

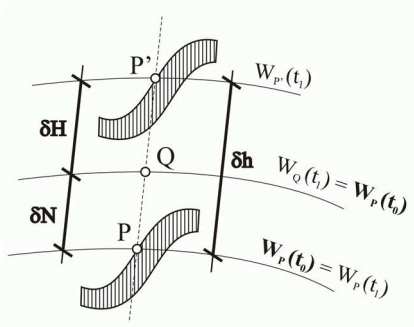
1. táblázat. A pontossági vizsgálat eredményei

		A modell terhelő középhibák				
		± 1 cm	± 3 cm	± 5 cm	± 10 cm	± 5/ ± 100 cm
A modell válasza (Középhibák) p=0.99 konfidencia szint mellett	V _{xz} [E]	± 0.7	± 2.0	± 3.4	± 7.0	± 6.9
	V _{yz} [E]	± 0.6	± 1.9	± 3.2	± 6.6	± 6.5
	V _Δ [E]	± 1.0	± 3.0	± 5.0	± 11.0	± 9.3
	2V _{xy} [E]	± 1.1	± 3.4	± 5.7	± 12.1	± 9.8
	V _{zz} [E]	± 0.9	± 2.7	± 4.6	± 10.6	± 9.5
	G _x [μGal]	± 0.4	± 1.2	± 1.9	± 4.1	± 19.8
	G _y [μGal]	± 0.4	± 1.3	± 2.2	± 4.3	± 21.2
	G _z [μGal]	± 0.7	± 2.0	± 3.3	± 6.2	± 31.1
	V [μJ/kg]	± 1.1	± 3.3	± 5.1	± 10.3	± 57.1

IV. Szintfelületek elmozdulásának hatása vertikális mozgásvizsgálat céljából végzett ismételt szintezés eredményeire

IV.1. Bevezetés

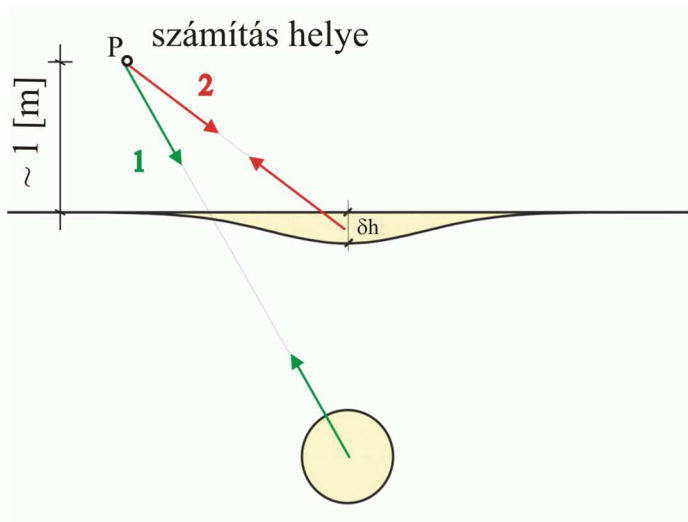
A harmadik részben a szintfelületek elmozdulásának vertikális mozgásvizsgálat céljából végzett ismételt szintezés eredményeire gyakorolt hatását leíró funkcionális modellel foglalkoztam. A szintezés funkcionális modellje eredendően rendkívül egyszerű: egy „előre” és egy „hátra” pozícióban lévő ponton álló függőleges helyzetű beosztáson végzett un.: lécleolvasás különbségéből a két pont közötti magasságkülönbség meghatározható. A szintezés eredménye függ a nehézségi erőtér a szintfelületeinek alakjától, amit nagy pontosságot igénylő munkák esetén g -mérések bevonásával figyelembe is kell venni. A nehézségi erőtér szintfelületeinek alakja azonban időben változik. Ezzel a mozgásvizsgálatok során alkalmazott funkcionális modell sérül: az időben változó nehézségi erőtér megváltozásával megváltozik a mérések viszonyítási rendszere (4. ábra).



4. ábra. Vertikális elmozdulás (δH) és a nehézségi erőtér szintfelületeinek megváltozása (δN), valamint a földfelszín valódi magasságváltozása (δh).

Vertikális mozgásvizsgálat céljából hagyományosan a vizsgálati területen szintezési hálózatot létesítenek, amely mentén valamely referencia időponthoz képest a terep mozgásainak jellegét és mértékét ismételt szintezésekkel határozzák meg. Szintezéskor a magasságkülönbség meghatározását a szintező műszer irányvonalával végezzük, amely a vízszintes irányú és az állótengely metszéspontjában érinti a szintfelületet. A földfelszín vertikális mozgásaival nem csak maga a földfelszín, hanem a nehézségi erőtér alakja is megváltozik. Így egy-egy ismételt szintezés során a megváltozott szintfelületek érintői, azaz a műszer irányvonala is megváltozik (horizontális ferdeségre emlékeztető jelleggel), tehát a

meghatározott magasságváltozások a földfelszín valódi deformációi mellett a szintfelületek megváltozását is tükrözik.



5. ábra. Valamely vizsgálati P pontban a nehézségi erőter időbeli megváltozása földkitermelés (1) és a földkitermelés hatására létrejövő δh süllyedések (2) következtében. A földfelszín valódi magasságváltozása (δh) Biró (1983) alapján és a 4. ábra szerint (a δ szimbólum alatt valamely mennyiség t_0 és t_1 időpontok közötti megváltozását kell érteni):

$$\delta n = \delta H + \delta N \quad (1)$$

ahol δH a mérhető magasságváltozás és δN a szintfelület vertikális elmozdulása.

Amennyiben a magasságváltozás földkitermelés következtében alakul ki (pl. bányászat, lásd 5. ábra), a fenti modell három összetevőre bontható:

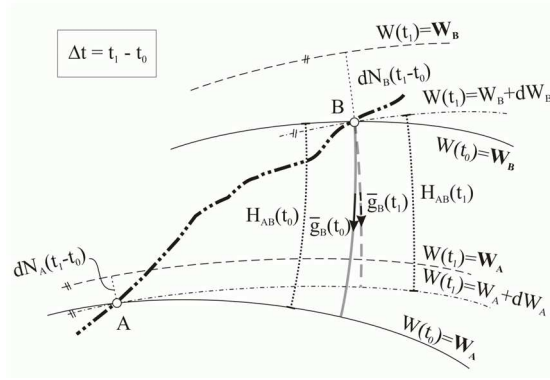
- a földtömeg kitermelés következtében a szintfelületek megváltozása: δN_1
- a földmunka következtében a felszín süllyedése: δh
- a felszínsüllyedés következtében a szintfelületek megváltozása: δN_2 .

IV.2. Célkitűzés

A szintfelületek elmozdulásának vertikális mozgásvizsgálat céljából végzett ismételt szintezés eredményeire gyakorolt hatását leíró funkcionális modell kiegészítése, valamint a kiegészítés konkrét példán keresztül történő vizsgálata.

IV.3. Eredmények

A szintfelületek megváltozásának ismételt szintezésekre gyakorolt hatásának bemutatását Bíró (1983) könyve alapján végeztem, amit új formulával egészítettem ki [2], és a [12] cikkekben ismertettetnek megfelelően.



6. ábra. A szintfelületek időbeli megváltozásának sémája.

A 6. ábra két pont, A és B közötti magasságkülönbség ismételt szintezéssel végzett meghatározásának fontosabb mennyiségeit mutatja. A t_0 kezdeti és t_1 idő között eltelt Δt idő alatt bekövetkezett, szintezéssel mérhető magasságkülönbség (δH_{AB}) és annak a szintfelületeken gyakorolt hatása (δN_{AB}) látható.

Bíró (1983) által levezetett összefüggés:

$$\delta H_{AB} = -\delta N_{AB} - \frac{\tilde{g}_B(t_1) - \tilde{g}_B(t_0)}{\tilde{g}_B(t_1)} \cdot H_{AB}(t_0). \quad (2)$$

A vizsgálataink során a t_0 időpontbeli magasságkülönbségek helyett a t_1 időpontra vonatkozó értékek álltak rendelkezésünkre. Ezért erre az alábbi megoldás született [2]

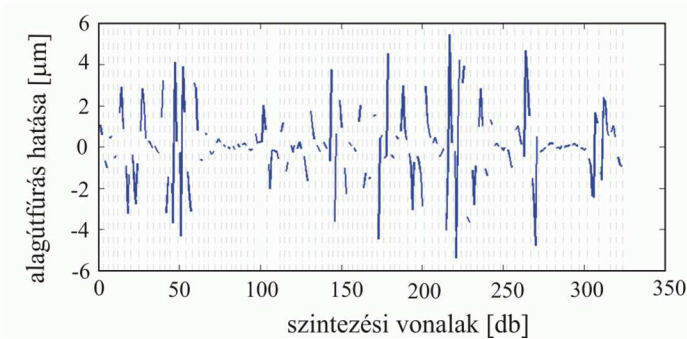
$$\delta H_{AB} = -\delta N_{AB} - \frac{\tilde{g}_B(t_1) - \tilde{g}_B(t_0)}{\tilde{g}_B(t_0)} \cdot (H_{AB}(t_1) + \delta N_{AB}). \quad (3)$$

Összevetve (2) és (3) összefüggéseket, a mozgás előtti és utáni magasságkülönbségek között az alábbi kapcsolatot kapjuk [2]:

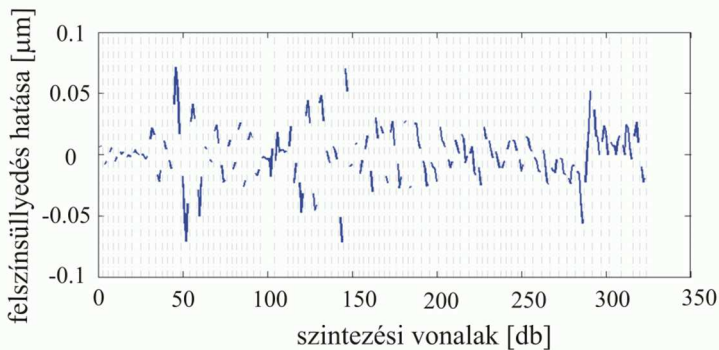
$$H_{AB}(t_1) = \frac{\tilde{g}_B(t_0)}{\tilde{g}_B(t_1)} H_{AB}(t_0) - \delta N_{AB}. \quad (4)$$

A (4) egyenlet értelmében a magasságkülönbségek mérhető időbeli változásáért nem csak geometriai jellegű változások, hanem a nehézségi erőtér időbeli változásai is felelősek.

Az M4 metró alagútrendszer földkitermelése következtében a szintfelületek megváltozására vonatkozó vizsgálataim eredményei (mind az alagútfúrás, mind az állomások építésekor kitermelt földtömeg figyelembevételével):



7. ábra. Az alagút kifúrásának a szintezés eredményeire gyakorolt tömegvonzási hatása az M4 metró vonalának délnyugati szakaszának szintezési vonalai mentén.



8. ábra. A felszín süllyedéseinek a szintezés eredményeire gyakorolt hatása az M4 metró vonala délnyugati szakaszának szintezési vonalai mentén.

A 7. és a 8. ábrák alapján látható, hogy az alagútfúrás és az állomások kialakításának közvetlen hatása a szintezésre μm nagyságrendű, míg a felszín süllyedéseinek hatása az $0,01 \mu\text{m}$ nagyságrendet nem haladja meg.

A kapott eredmények általánosítása céljából, nagyon leegyszerűsített modellek felhasználásával jóval általánosabban is megvizsgáltam a földmunka, valamint a kialakult felszíni süllyedések hatását. Tapasztalataim szerint a földkitermelés hatása csak igen nagy kifejtések esetén lehet érdemi ($0,2\text{-}0,3 \text{ mm}$), míg a süllyedések hatása elhanyagolható mértékű.

V. A szögmérő műszerek mértékadó hibáinak vizsgálata

V.1. Bevezetés

A negyedik részben a szögmérő műszerek szolgáltatata eredmények feldolgozásának funkcionális modelljével és ezáltal a szögmérés mértékadó hibáinak pontosításával, kiegészítésével és vizsgálatával foglalkoztam. A vízszintes és a magassági szögmérés szabályos hibaforrásai közül egyesek kicsiny voltak miatt gyakorlatilag elhanyagolhatók, mások viszont a műszer leolvasóképességét jóval meghaladó mértékben léphetnek fel. Ha a szögmérést vagy kitűzést egy távcsőállásban végezzük, akkor ezeknek a hibáknak a hatása jelentkezik a körleolvasásokban. Bár a mai mérőállomások alkalmasak arra, hogy automatikusan megjavítsák a csak egy távcsőállásban végzett észlelés eredményeként kijelzett körleolvasásokat a beépített teszt-programjaik segítségével alkalomszerűen meghatározott műszerhibák hatásainak összesített értékével, a műszerhibák további vizsgálata feltétlenül szükséges. Hiszen lényeges kérdés az, hogy ezen műszerhibák meghatározása milyen pontossággal történt, továbbá az, hogy ezeket a műszerhibákat befolyásoló, eddig figyelembe nem vett tényezők (pl.: a műszerhibák hőmérsékletfüggése) hatása mekkora mértékű.

A szögmérő műszerek mértékadó hibáinak meghatározására Májay Péter dolgozott ki műszervizsgálatot (Májay, 1984). Az utolsó részben foglalkozom (többek között) ennek a műszervizsgálatnak a mai mérőállomások automatikus észlelés mellett megvalósuló meghatározásával, és erre két gyakorlati példát mutatok be.

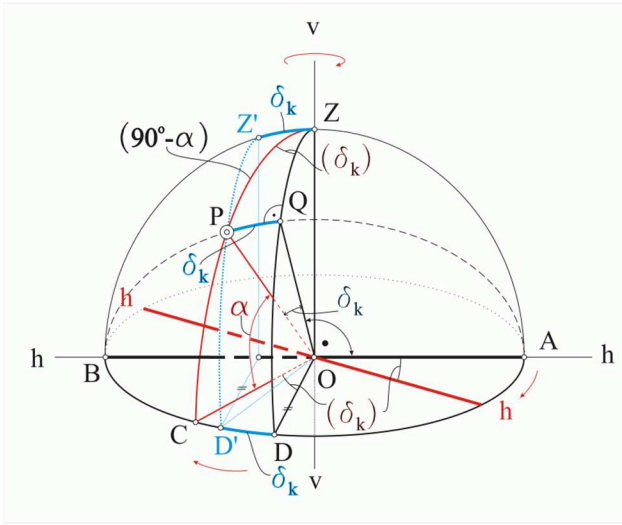
V.2. Célkitűzés

A szögmérő műszerek mértékadó műszerhibáinak vizsgálata, értelmezése, továbbá az azokat jellemző középhibák levezetése, valamint a műszerhibák hőmérsékletfüggésének vizsgálata gyakorlati példákon keresztül. Az eredmények összehasonlítása a klasszikus megoldással (állandó hibák alkalmazásával).

V.3. Eredmények

A teodolit álló- és fekvőtengelyének metszéspontja (O) egy egységsugarú gömb középpontjában (10. ábra). A távcső kollimációhibája: $+\delta_k$. A kollimációhiba „ (δ_k) ” hatását a PQZ derékszögű gömbháromszögből számíthatjuk ki Sárdy (1964) szerint:

$$\frac{\sin(\delta_k)}{\sin 90^\circ} = \frac{\sin \delta_k}{\sin(90^\circ - \alpha)} \quad (5)$$



10. ábra. Elvi rajz a kollimációhiba hatásának értelmezéséhez

Az egyszerűsítéseket elvégezve és rendezve kapjuk a kollimációhiba hatására a következő összefüggést (Sárdy, 1964):

$$(\delta_k) = \arcsin \left[\frac{\sin \delta_k}{\cos \alpha} \right] \quad (6)$$

Pontosítottam a kollimációhiba értelmezésében az α magassági szög maximális értékét ($\alpha_{\max} = 90^\circ - \delta_k$) és ezáltal a kollimációhiba hatásának maximális értékét is (7 egyenlet alapján levezethető $(\delta_k)_{\max} = 90^\circ$).

$$(\delta_k) = \arcsin \left[\frac{\sin \delta_k}{\cos(90^\circ - \delta_k)} \right] = 90^\circ \quad (7)$$

A (7) összefüggés alapján azt is kijelenthetjük, hogy egy kollimációhibával rendelkező teodolitnak az irányvonalát függőleges állótengely mellett (eltekintve más hibahatásoktól) nem lehet precízen ($\alpha = 90^\circ, Z = 0^\circ$) függőlegesbe állítani. Az általunk ismert szakirodalom nem közli a kollimációhibára vonatkozó pontosítást/magyarázatot. Kimutattam, hogy a pontosítás pusztán elméleti, viszont az újrarajzolt 10. ábrával együtt a hiba jobb megértését, szemléltetését szolgálja.

Vizsgáltam a Májay P.-féle műszervizsgálatnál fellépő járulékos hibák hatását, amely hibák akkor lépnek fel, ha a gyakorlati méréselrendezés során a Májay-módszerben leírtak

nem teljesülnek maradéktalanul (pl. az irányvonal vízszintesége és ∞ távolsága P_1 pontnál, vagy a P_2 pontnál az irányvonal vízszintesége és a távolság a műszer közelpontjának megfelelő).

A műszer szögmerési és távolságmérési pontosságából levezettem hibaterjedés törvényét alkalmazva a mértékadó műszerhibákat (és Májay-féle műszervizsgálatnál az ellenőrzést) jellemző középhibákat (erre látunk egy példát a (8)-el, ami a fekvőtengely merőlegességi hibáját jellemző középhiba értéke). Ezek értékeit meghatároztam Monte-Carlo módszerrel is, majd a műszerhibák pontossági becslését kibővítettem a járulékos hibák figyelembevételével, szintén Monte-Carlo módszerrel.

$$m_{\delta_n} = \left(\begin{aligned} & m_{sz}^2 (E_1)^2 + \frac{m_i^2 \sin^2 z_2^I \sin(fv_1) \tan^2 z_3^I}{t_{3f}^2 \sin^2 z_3^I (fv_3)} + \\ & + \frac{m_i^2 t_{2f}^2 \sin^2 z_2^I \sin^2(fv_1) \tan^2 z_3^I}{t_{3f}^4 \sin^2 z_3^I (fv_3)} + \\ & + \frac{m_{sz}^2 t_{2f}^2 \sin^2 z_2^I \cos^2(fv_1) \tan^2 z_3^I}{2t_{3f}^2 \sin^2 z_3^I (fv_3)} + \\ & + m_{sz}^2 \tan^2 z_3^I \left[(E_2)^2 + (E_3)^2 + (E_4)^2 + \frac{(E_5)^2}{(fv_3)} + \frac{1}{2} \right] \end{aligned} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

ahol m_{sz} a műszer szögmerését jellemző középhiba, m_i a műszer távmérését jellemző középhiba, továbbá az fv_i és E_i belső függvények, ahol a vízszintes és magassági körleolvasások, mért távolságok szerepelnek.

Felírtam a vízszintes és magassági körön tett első és második távcsőállás korrigált leolvasását figyelembe véve a műszerhibák lineáris hőmérsékletfüggését. A szakirodalomban eddig ismert összefüggést kibővítettem a horizontális és vertikális távcsőkülpontosság hőmérsékletfüggő hatásával (a (9) és (10) összefüggésekben az első távcsőállásra felírt korrigált egyenleteket láthatjuk):

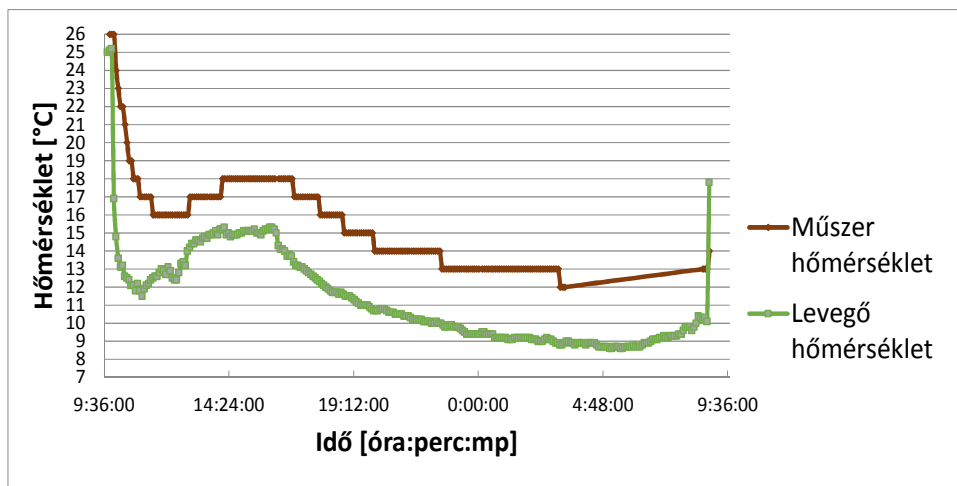
$$l^{korrigált, I} = l^I + \frac{(A_{\delta_i} \cdot T + B_{\delta_i})}{\sin z} + \left[\arcsin \frac{(A_{\delta_{i,v}} \cdot T + B_{\delta_{i,v}})}{t_f \sin z} \right] + \quad (9)$$

$$+ (A_{\delta_n} \cdot T + B_{\delta_n}) \cot z + (\delta_v)$$

$$z^{korrigált, I} = z^I + (A_{\delta_z} \cdot \Delta T + B_{\delta_z}) + \left[\arcsin \frac{(A_{\delta_{i,h}} \cdot \Delta T + B_{\delta_{i,h}})}{t_f} \right] \quad (10)$$

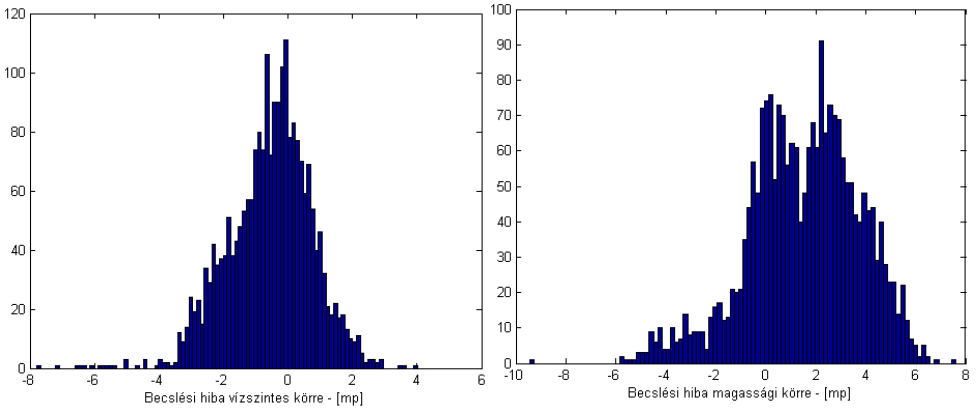
ahol az A_i értékek a műszerhibák hőmérsékletfüggéseinek együtthatói, míg a B_i tagok, a korábbi A_i együtthatókhoz tartozó konstansok és (δ_v) az állótengely ferdeségi hiba hatása.

Gyakorlati vizsgálataim során figyelemmel kísértem a műszer hőmérsékleti akklimatizálódását, és a tapasztalatok azt mutatják, hogy a vizsgált mérőállomás esetén a teljes akklimatizálódási folyamat $\Delta T \sim 13-15^\circ\text{C}$ -os hőmérsékletkülönbségnél $\sim 1,5$ órát vesz igénybe. A folyamat lezárultával a műszer belső hőmérséklete kb. $3-4^\circ\text{C}$ -nyi különbséggel követi a környezet hőmérsékletváltozását. A műszer elektronikájának fűtő hatása és a műszer felépítése (anyaga, tömítések stb.) okozhatják a magasabb belső hőmérsékletet (11. ábra).

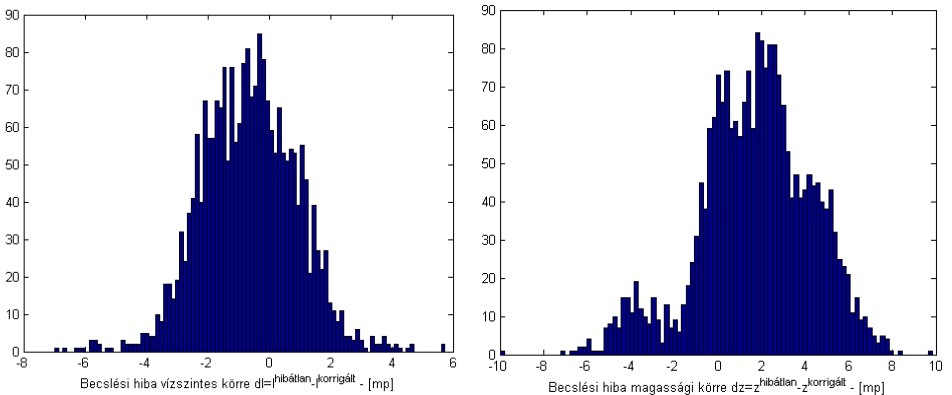


11. ábra. Egy TS15i mérőállomás belső hőmérsékletének és levegő hőmérsékletének ~ 24 órás regisztrálása. Közel $+3^\circ\text{C}$ -kal magasabb marad a műszer belső hőmérséklete az elektronika fűtése miatt.

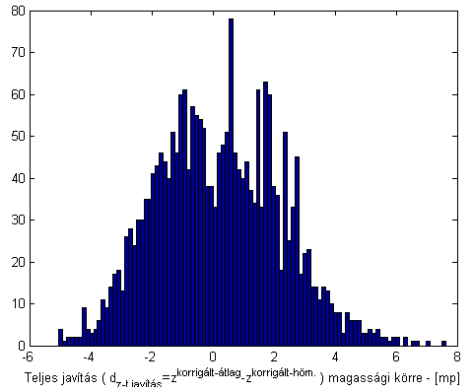
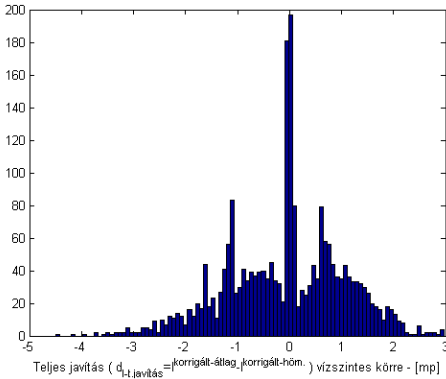
A mérőállomások mértékadó műszerhibáinak Májay-féle módszerrel automatikus észlelés mellett megvalósuló meghatározására két gyakorlati példát mutattam be. Az eredmények azt mutatják, hogy ha figyelembe vesszük a műszerhibák hőmérsékletfüggését (15. ábra) és számításba is vesszük ott ahol ez egyértelműen kimutatható (12. ábra – becslési hiba = a hőmérsékletfüggéssel korrigált és a hibátlan irányértékek, zenitszögek különbségei), akkor jobb eredményt érünk el (közelebb vagyunk a hibátlan értékekhez, kisebb középhiba jellemzi az értékeinket), mintha nem vennék figyelembe azt (13. ábra). További fontos megállapítás az, hogy a két módszer között a figyelembe vett mérések alapján kiszámított különbség átlagértéke gyakorlatilag zérus (14. ábra).



12. ábra. A beclsési hibákra készített hisztogramok. a.) vízszintes körleolvasásra vonatkozó $d_l = l^{\text{hibátlan},I} - l^{\text{korrigált-höm},I}$, átlagérték: $-0,6$ [mp], középhiba: $\pm 1,3$ [mp] b.) magassági körleolvasásra vonatkozó értékek $d_z = z^{\text{hibátlan},I} - z^{\text{korrigált-höm},I}$, átlagérték: $+1,5$ [mp], középhiba: $\pm 2,2$ [mp]

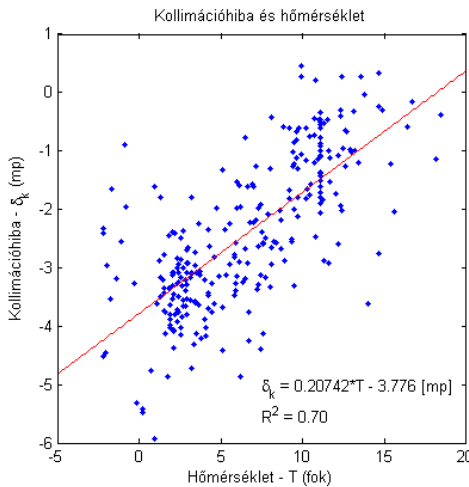


13. ábra. A klasszikus megoldással (állandó hibát feltételezve) számított beclsési hibákra készített hisztogramok. a.) vízszintes körleolvasásra vonatkozó $d_l = l^{\text{hibátlan},I} - l^{\text{korrigált-klasszikus},I}$, átlagérték: $-0,6$ [mp], középhiba: $\pm 1,6$ [mp] b.) magassági körleolvasásra vonatkozó értékek $d_z = z^{\text{hibátlan},I} - z^{\text{korrigált-klasszikus},I}$, átlagérték: $+1,7$ [mp], középhiba: $\pm 2,6$ [mp]



14. ábra. A teljes javításokra készített hisztogramok, azaz a két megközelítés különbsége: állandó (átlag) műszerhibát feltételező és hőmérsékletváltozást figyelembevevő (hőm.) a.)

vízszintes körleolvasásra vonatkozó $d_{l-javítás} = l_{korrigált-átlag, I} - l_{korrigált-höm, I}$, átlagérték: $-0,1$ [mp],
 b.) magassági körleolvasásra vonatkozó értékek $d_{z-javítás} = z_{korrigált-átlag, I} - z_{korrigált-höm, I}$, átlagérték: $+0,2$ [mp]



15. ábra. A kollimációhiba és hőmérséklet kapcsolata március hónapban, továbbá a kapcsolat lineáris közelítését leíró egyenlet együtthatói és az R^2 értéke. A meghatározáshoz minden második mérési sorozatot vettem figyelembe.

VI. Összegzés

A felvázolt esetekre elvégeztem a funkcionális modell pontosítását, kiegészítését, majd konkrét esetekben megvizsgáltam az egyes jelenségek gyakorlati szerepét is. Mint azt a tanulmány kapcsolódó fejezetei bemutatják, egyes hatások csak elméleti, mások gyakorlati jelentőséggel is bírnak. Ettől függetlenül az elméleti eredmények későbbi műszerfejlesztések esetén kiegészíthetik a műszerkonstrukció kialakításának vagy éles munka esetén a mérési elrendezés kialakításának szempontrendszerét, így valamennyi eredményemet valamilyen szinten gyakorlati jelentőségűnek tartom.

VII. Tézisek

Funkcionális modellek pontosítása geodéziai mérések feldolgozásával kapcsolatos eddig ismertetett kutatásokra alapozott újszerű tudományos eredményeim az alábbiak:

1. Tézis Megvizsgáltam az Eötvös-inga lineáris fizikai modelljének magasabbfokú tagokkal történő kibővítésének lehetőségét. Eljárást dolgoztam ki az ilyen irányú feldolgozás elvégzéséhez, és egy konkrét példán keresztül bemutattam annak alkalmazását.

Vizsgálataimat kiterjesztettem az Eötvös-inga alapegyenletének azimutváltozást tartalmazó nemlineáris megoldására is, továbbá konkrét mérési adatok bevonásával összehasonlító elemzést készítettem a hagyományos lineáris és nemlineáris feldolgozással számított eredményekre..

Kapcsolódó publikációk: [6]

2. Tézis Tömegmodellekből közvetlen modellezéssel számított nehézségi erőter paraméterek pontossági mérőszámának meghatározására alkalmaztam elsőként a Monte-Carlo matematikai szimulációs módszert. A módszer felhasználását konkrét gyakorlati példán keresztül is bemutattam.

Kapcsolódó publikációk: [6]

3. Tézis Továbbfejlesztettem, továbbá földmunkával járó mérnöki munkák vizsgálatára alkalmaztam a nehézségi erőter szintfelületeinek időbeli változásait modellező elméletet. A továbbfejlesztett modell használhatóságát egy konkrét példán keresztül mutattam be. A földmunkák közvetlen hatása a nehézségi erőterre egyes extrém esetekben elérheti a szabatos mérnöki szintezés mérési pontosságát, a kialakuló felszínsüllyedések pedig érdemben nem befolyásolják a nehézségi erőter szintfelületeinek az alakját, hatásuk elhanyagolható.

Kapcsolódó publikációk: [1], [2], [5], [12]

4. Tézis Levezettem hibaterjedés törvényét alkalmazva és Monte-Carlo módszerrel a teodolit mértékadó műszerhibáit jellemző középhibákat, valamint tapasztalati úton vizsgáltam e mértékadó műszerhibák lineáris hőmérsékletfüggésének lehetőségét.

Kapcsolódó publikációk: [9]

VIII. Saját publikációk

Lektorált, külföldön megjelent idegen nyelvű folyóiratcikk

- [1] Égető Cs, Földváry L, Huszák T.: The effect of tunnelling on repeated precise levelling measurements for vertical deformation control of the Metro4 project, JOURNAL OF GEODETIC SCIENCE, 3(2): 95-102., (2013)
- [2] Égető Cs, Földváry L.: Numerical accuracy analysis of modeling excavation induced gravity field variations. Proceedings in Global Virtual Conference: The 1st International Global Virtual Conference, Zilina, Szlovákia, 2013.04.08-2013.04.12. pp. 549-554. (2013), ISBN 978-80-554-0649-7
- [3] G. Szabó, Cs. Égető: Kreismessungen mit dem MOM Gi-B3 im Gotthard-Basistunnel. Ingenieurvermessung 07, Graz, pp. 207-212. Paper 430. (2007), ISBN 978-3-87907-448-8

Lektorált, Magyarországon megjelent idegen nyelvű folyóiratcikk

- [4] G Csapó, S Laky, Cs Égető, Z Ultmann, Gy Tóth, L Völgyesi: Test Measurements by Eötvös Torsion Balance and Gravimeters. PERIODICA POLYTECHNICA-CIVIL ENGINEERING 53:(2) pp. 75-80. (2009) IF: 0.222, ISSN 0553-6626, Web of Science és Scopus adatbázisban szerepel

Lektorált, magyar nyelvű folyóiratcikk

- [5] Égető Cs, Földváry L: A 4-es metróvonal alagútrendszerének hatása a Föld nehézségi erőterére. GEOMATIKAI KÖZLEMÉNYEK XIV:(1) pp. 17-25. (2011)
- [6] Tóth Gy, Égető Cs: A Mátyáshegyi Gravitációs és Geodinamikai Observatórium átfogó gravitációs modellezése. GEOMATIKAI KÖZLEMÉNYEK XIII:(2) pp. 113-122. (2010)
- [7] Völgyesi L, Égető Cs, Laky S, Tóth Gy, Ultmann Z: Eötvös-inga felújítása és tesztmérések a budapesti Mátyás-hegyi barlangban. GEOMATIKAI KÖZLEMÉNYEK XII: pp. 71-82. (2009)
- [8] Csapó G, Égető Cs, Kloska K, Laky S, Tóth Gy, Völgyesi L: Kísérleti mérések Eötvös-ingával és graviméterekkel – az Eötvös-inga mérések eredményei geodéziai célú hasznosításának vizsgálata céljából. GEOMATIKAI KÖZLEMÉNYEK XII: pp. 91-100. (2009)
- [9] Szabó G, Égető Cs: Irányítvitel MOM Gi-B3 Giroteodolittal a svájci Gotthard-bázisalagút építésén. GEOMATIKAI KÖZLEMÉNYEK X: pp. 273-279. (2007)

Magyar nyelvű, kiadványban megjelent konferencia-előadás

- [10] Égető Cs: Mikrogeodéziai hálózat létesítése és meghatározása a BME Általános és Felsőgeodézia Tanszékén. In: Doktori kutatások a BME Építőmérnöki Karán. Budapest, Magyarország, 2006.02.28. (BME) pp. 5-13.
- [11] Dede Károly, Égető Cs: Földalatti mérések oktatása a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen, LI. Jubileumi Bányamérő Továbbképző és Tapasztalatcsere, Székesfehérvár 2012.06.13-15. pp. 28-35.

Végleges formájukban elfogadott, de még meg nem jelent publikációk

- [12] Égető Cs, Rehány N, Földváry L: Variations of the gravity field due to excavations of the Budapest Metro4 subway line. PERIODICA POLYTECHNICA-CIVIL ENGINEERING, 2014, Web of Science és Scopus adatbázisban szerepel

Elektronikus formában közzétett egyetemi jegyzet

- [13] Csemniczky L, Czakó J, Égető Cs: Közműnyilvántartás (HEFOP segédlet) (2008)

TDK dolgozat

- [14] Égető Csaba: Mozcásvizsgálati mérések a Gellért-hegyen. BME Építőmérnöki kari TDK: 2002. november 12, II. helyezés a Földmérő és térinformatikai tagozatban, Országos TDK Műszaki Tudományi szekció: Debrecen, 2003. április 16. részvétel
- [15] Szabó Gergely, Égető Csaba: Szabadálláspont koordinátáinak változása a meghatározására felhasznált irányok és távolságok számának függvényében. BME Építőmérnöki kari TDK: 2001. november 14, I. helyezés a Földmérő és térinformatikai tagozatban, Országos TDK Műszaki Tudományi szekció: Debrecen, 2003. április 16, részvétel, V. Műszaki TDK: Temesvár, 2003. április 10-13. részvétel

IX. Hivatkozások

Biró P (1983): Time variation of height and gravity. Wichmann Verlag, Karlsruhe, Akadémiai Kiadó, Budapest.160.

Májay P (1984): A teodolit vizsgálata. Oktatási segédanyag, Budapest, Kézirat, 6.

Sárdy A (1964): Geodéziai alapismeretek II., Kézirat, Tankönyvkiadó, Budapest, 392.