

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

**EÖTVÖS-INGA MÉRÉSEK
ÉS GEODÉZIAI
HASZNOSÍTÁSUK**

ULTMANN ZITA JÚLIA

BME ÁLTALÁNOS- ÉS FELSŐGEODÉZIA TANSZÉK

Témavezető:

Dr. Völgyesi Lajos

egyetemi tanár

Budapest, 2013

I. A kutatás aktualitása, előzményei

Hazánkban a múlt században az 1960-as évek végéig elsősorban geofizikai kutatások céljából közel hatvanezer ingamérés történt. Az Eötvös-inga mérési adatok geodéziai célokra is felhasználhatók, ennek ellenére a gyakorlati geodéziai hasznosításuk a mai napig számtalan kiaknázatlan lehetőséget rejt. Az utóbbi években a GPS és különféle műholdas technikák széles körű elterjedése egyre inkább megköveteli a geoidfelület finomszerkezetének meghatározását, amelyhez igen fontos adatrendszert képeznek az Eötvös-igával mért görbületi gradiensek. A BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszéken évtizedek óta intenzív kutatások folynak és jelentős eredmények születtek az Eötvös-inga mérések geodéziai hasznosítása területén. Ma már jól használható szoftver áll rendelkezésre a függővonal-elhajlás interpoláció céljára, a geoid finomszerkezetének meghatározására, a vertikális gradiensek interpolációjára és az Eötvös-inga mérések alapján interpolálható nehézségi erő és gravitációs anomáliák meghatározására. Az eddigi eredmények mellett azonban a kutatások során minden egyes probléma megoldásához újabb részproblémák és további megoldandó feladatok kapcsolódtak. Ezeknek a problémáknak, feladatoknak a megoldásába kapcsolódtam be még egyetemi hallgató koromban, kutatási eredményeimből több TDK dolgozatot és diplomatervet készítettem, majd doktorandusz hallgatóként több éves kutatómunkát végeztem. Kutatási eredményeimről eddig 7 idegen nyelvű és 5 magyarországi tudományos publikációban számoltam be, valamint 14 különböző tudományos szemináriumon és konferencián tartottam előadást.

II. Célkitűzések

Kutatásaimnak kettős fő célja egyrészt a hagyománytisztelet, az Eötvös Loránd munkásságával kapcsolatos hagyomány ápolása, másrészt hozzájárulás a felbecsülhetetlen nemzeti értékünk, a korábbi magyarországi közel hatvanezer Eötvös-inga mérés sikeres geodéziai hasznosításához.

A kutatásaim során az első fontos célkitűzésem az Eötvös-inga működésének teljes megismerése, a mérési technika elsajátítása volt. Ezzel kapcsolatban a BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék AUTERBAL-ingájának a modern technikai adottságokat

kihasználó felújítását követően különböző műszervizsgálatok elvégzése volt az első fontos feladat.

Mivel az Eötvös-inga mérések alapján végezhető különféle interpolációs módszerek (függővonal-elhajlás, nehézségi rendellenességek, vertikális gradiensek) alapvető követelménye, hogy két pont között a nehézségi gradiensek változása lineáris legyen, a következő fontos feladat linearitás teljesülésének vizsgálata volt. Kutatási céljaim fontos részét képezte a vertikális gradiensek meghatározása is. A vertikális gradiens ugyan közvetlenül nem mérhető az Eötvös-ingával, de lehetőség van ennek interpolációjára éppen az Eötvös-ingával mért horizontális és görbületi gradiensek felhasználásával.

További célkitűzésem a már meglévő interpolációs algoritmus továbbfejlesztése az Eötvös-inga mérési pontokra illeszkedő olyan optimális interpolációs hálózat automatikus kialakításával, amelyet alkotó háromszögpontok a lehető legpontosabb interpolációt teszik lehetővé úgy, hogy a háromszögoldal mentén a görbületi gradiensek megváltozása a lehetőségekhez képest leginkább lineáris legyen. Végül foglalkoznom kellett a nehézségi erő gradienseinek magassági változásával, mivel geoid finomszerkezetének a meghatározása során felmerül a szüksége, hogy a fizikai földfelszínen különböző magasságokban mért gradiens értékeket azonos szintfelületre, a geoidra (tengerszintre) átszámítsuk.

III. Az önálló tudományos eredményeket összefoglaló tézisek

1. tézis. Különböző okok – elsősorban a vertikális gradiensek interpolációs eljárásainak vizsgálata céljából – közel fél évszázados szünet után ismét szükségessé vált Magyarországon Eötvös-inga mérések végzése. Ehhez csatlakozva kapcsolódtam be a BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszékén egy AUTERBAL-inga felújítási munkáiba, majd a különböző műszervizsgálatok után nagy mennyiségű mérést is végeztem az ingával. Célzott vizsgálatokat végeztem arra vonatkozóan, hogy terepi mérések esetén a műszer elindítását követően a 40 perc csillapodási idő elegendő-e a termikus egyensúly kialakulásához, – illetve ha nem, akkor mennyi időt célszerű várni az első műszerleolvasásig. **A vizsgálataim szerint az esetek döntő többségében 90 perc szükséges a termikus egyensúly kialakulásához, akár felhevült műszerrel mérünk alacsonyabb hőmérsékleten, akár hidegben tárolt műszerrel mérünk magasabb**

hőmérsékleten, – amennyiben a hőmérsékletkülönbség nem nagyobb 5°C értéknél. Az ingaházon belül 90 perc után is van még hőmérsékleti kiegyenlítődés, de ekkor a leolvasások már lineárisan változnak és a mérések jól kiértékelhetők. Másik esetben a mérések közben rendszerint előforduló nagyobb hőingadozások hatását vizsgáltam. **Megállapítottam, hogy a mérések közben a leolvasások részben a belső ingaház (a torziós szálak) hőmérsékletének függvényében változnak, másrészt szinte azonnal és igen feltűnően követik a külső ingaház hőmérsékletingadozását. Az inga belső hőmérsékletének változása lényegesen letompítva és némi fáziskéséssel van korrelációban a skálaleolvasások változásával,** ez inkább a leolvasások trendjét adja meg. **A lassú változások jelentős része a torziós szálak hőmérsékleti érzékenysége miatt következik be, viszont a szinte azonnali változások oka a leolvasó karok hőtágulása, hőmozgása.** Végző cél a leolvasások hőmérsékleti javításának kidolgozása lenne, erre vonatkozóan azonban még további nagyszámú mérés és vizsgálatok szükségesek. Ez lényeges kérdés a mérések pontossága tekintetében, ugyanis a vizsgálataim azt mutatják, hogy az inga már néhány tized fokos hőmérsékletváltozásra is érzékenyen reagál, amit terepi körülmények között nagyon nehéz biztosítani.

Kapcsolódó közlemények: 1; 4; 10; 11; 22; 25; 26

2. tézis. Vizsgálatokat végeztem arra vonatkozóan, hogy a kezdőazimut beállítási hibájával mekkora eltéréseket okozhatunk az Eötvös-ingával meghatározott gradiensek értékében. A kezdőazimut helyzetét az ingához mellékelt busszola (speciális iránytű) segítségével határozzuk meg. A beállításkor viszont figyelembe kell venni, hogy a szükséges csillagászati-, és a mágnesű felhasználásával beállítható mágneses Északi irány nem egyezik meg, a kettő közötti eltérés a mágneses deklináció szöge térben és időben is jelentősen változik. Figyelembe véve a mágneses deklináció normálértéke és a valódi értéke közötti lehetséges különbséget, a mágneses deklináció rendellenességeit, a szabályos napi változás és a viharjellegű változások lehetséges értékeit **megállapítottam, hogy az inga kezdőazimutjának beállításában több fokos hibák is előfordulhatnak** (a Mátyás-barlangban lévő gravitációs főalapponton az eltérés $6^{\circ}27'$). A Mátyás-barlangban laboratóriumi körülmények között és a Csepel-sziget déli részén terepi méréseket, valamint modellszámításokat is végeztem arra vonatkozóan, hogy a lehetséges több fokos kezdőazimut-hiba mekkora eltéréseket okozhat a meghatározott gradiensek értékében. **Megállapítottam, hogy az Eötvös-ingával meghatározott gra-**

diensek rendkívül érzékenyek a kezdőazimut beállítási pontosságára, ráadásul éppen a geodéziai felhasználás szempontjából fontosabb görbületi gradiensek esetében rosszabb a helyzet. Amíg a horizontális gradiensek különbségei a csillagászati azimut és a mágneses azimut között 20-25 E értékű eltérést mutatnak, addig a görbületi adatokban az eltérés már közel 50 E. Emiatt a busszólát rendkívül körültekintően kell alkalmaznunk a kezdőazimut beállításakor, és olyan helyszíneken, mint pl. a Mátyás-barlangban lévő geodinamikai állomás a technikai felszereltsége (elektromos hálózat, különböző mágneses tárgyak jelenléte) miatt a busszola a kezdőazimut pontos beállítására gyakorlatilag alkalmatlan. Ilyen helyszíneken célszerű más geodéziai módszerek (pl. giroteodolit) alkalmazása a csillagászati É-i irány kijelölésére. Megvizsgáltam, hogy átlagos terepviszonyok mellett (pl. a makádi méréseink egyik pontján, amely átlagos síkvidéki területen helyezkedik el és viszonylag kicsi gradiens-értékekkel rendelkezik) hogyan függ a gradiensek értéke a kezdőazimut beállítási pontosságától. **Megállapítottam a gradiensek kezdőazimut-beállítás függését, amely szerint még kis gradiensekkel rendelkező területen is néhány fokos deklináció-rendellenesség esetén akár 5-10 E eltérés adódhat a 0°-os kezdőazimutban végrehajtott méréshez viszonyítva.**

Kapcsolódó közlemények: 10; 11; 27

3. tézis. Az Eötvös-inga mérések alapján végezhető interpolációs módszerek gyakorlati számításakor valamennyi esetben fontos alapkövetelmény a W_{zx} , W_{zy} nehézségi gradiensek és a W_{Δ} , W_{xy} görbületi értékek két pont közötti lineáris változása. Kutatásaim során felmerült a gyanú, hogy az ingamérések rendelkezésünkre álló pontsűrűsége sok esetben nem elegendő, mivel különösen a nagyobb gradiensű területeken a magasfrekvenciás változások nagy amplitúdója miatt egészen rövid távolságon belül sem tekinthető lineárisnak a gradiensek változása. Az interpolációval meghatározott függővonal-elhajlás, geoidunduláció, vertikális gradiens értékek pontossága egyértelműen attól függ, hogy két szomszédos Eötvös-inga mérési pont között mennyire lineáris a gradiensek megváltozása. Ezzel kapcsolatosan méréseket és modellszámításokat is végeztem a mind Mátyás-barlangban nagy gradiens-változások mellett, mind a Csepel-sziget déli részén kisebb változások esetén is. Vizsgálataim szerint a Mátyás-barlangban 2 m távolságon csak a W_{zx} változása tekinthető lineárisnak, és ez is csak É-D irányban.

Kisebb távolságon igen változatos a kép, a W_{xy} horizontális gradiens változása 30-60 cm-en belül csak általában tekinthető lineárisnak, és ugyanez érvényes a W_{Δ} és a W_{xy} görbületi adatok megváltozására, amelyek esetében szintén látunk olyan helyeket, ahol még 60 cm távolságon belül sem tekinthető lineárisnak a változás. Különösen a W_{Δ} változása alapján arra következtetésre jutottam, hogy **olyan kivételesen nagy gradiensekkel rendelkező helyen, mint, pl. a Mátyásbarlang, még néhány dm-en belül sem lehetünk biztosak a görbületi adatok linearitásában.** Célszerűbb volt a linearitásvizsgálatot átlagos magyarországi síkvidéki területekre vonatkozóan is elvégezni. A Csepel sziget déli részén 1950-ben végeztek a szokásos magyarországi pontsűrűséggel ingaméréseket, majd ugyanezen a területen 2007 és 2008-ban is voltak lényegesen nagyobb pontsűrűséggel újabb mérések, amelyekben magam is részt vettem. A Csepel-szigeten történt **mérések és számítások R^2 értékei alapján megállapítottam, hogy a mérési pontok távolságának 1000-1500m-ről 150-300m-re csökkenésével nem javul szignifikánsan a linearitás.** Ebből pedig az a végkövetkeztetés vonható le, hogy a Csepel-szigeten a vizsgált területen az 1950-ben végrehajtott ingamérések átlagos pontsűrűsége nem biztosítja a gradiensek lineáris változását két szomszédos hálózati pont között. **Kimutattam, hogy a helyzeten nem javít a topografikus redukciók alkalmazása sem, mivel a topografikus redukcióval ellátott gradiensértékek két pont közötti változása sem tekinthető lineárisnak.** Hiába vesszük figyelembe ugyanis a topografikus redukcióval a felszíni látható sűrűség-rendellenességek hatását, ha közvetlenül a felszín alatt is gyorsan változik a kőzetek sűrűsége.

Kapcsolódó közlemények: 2; 3; 4; 5; 11; 12; 14; 15; 16; 18; 20; 21; 22; 25; 26; 27; 29; 30

4. tézis. A szintfelületek analitikus meghatározása esetén szükségünk van a vertikális gradiensek értékére is, amely sajnos az Eötvös-tenzorban szereplő egyetlen olyan mennyiség, amely Eötvös-ingával nem mérhető. Meghatározása közvetlen mérésekkel meglehetősen hosszadalmas és költséges, ezért erre más, praktikusabb módszereket kell keresnünk. Jelenleg két különböző módszer áll rendelkezésünkre, amellyel a vertikális gradiensek számíthatók, ráadásul mindkét módszer alkalmazásához éppen Eötvös-inga mérések szükségesek. Az egyik lehetőséget Haalck 1950-ben publikált módszere szolgáltatja, a másik újabb lehetőséget a nehézségi erőter potenciálfüggvé-

nyének inverziós előállítása kínálja. Vizsgálataim során összehasonlítottam a Haalck-féle módszerrel végzett számítások eredményeit az inverziós eljárás eredményeivel és megállapítottam, hogy az inverziós eljárás kevésbé érzékeny az Eötvös-ingával meghatározott horizontális és görbületi gradiens nemlineáris változására, ezért az inverziós eljárással számíthatók a pontosabb vertikális gradiens értékek.

Kapcsolódó közlemények: 4; 5; 7; 8; 17; 19; 22; 25; 26

5. tézis. Az Eötvös-inga mérések geodéziai alkalmazásának legfontosabb lehetősége a függővonal-elhajlás interpoláció és a geoid finomszerkezetének meghatározása. Az Eötvös-inga mérések alapján végzett függővonal-elhajlás interpoláció fontos kiinduló lépése az Eötvös-inga mérési pontokra illeszkedő olyan interpolációs hálózat kialakítása, melyet alkotó háromszögpontok a lehető legpontosabb interpolációt teszik lehetővé úgy, hogy a háromszögszögek mentén a görbületi gradiens megváltozása a lehetőségekhez képest leginkább lineáris legyen. A számítások végzésére alkalmas eddigi egyetlen szoftver legnagyobb nehézsége, hogy az interpolációs hálózat pontjait az adatbázisból magunknak kell kiválogatni, és a háromszöghálózat oldalait alkotó pontpárok kiválasztása is csak manuálisan lehetséges. Ez nagyobb területek esetén hatalmas munka, ráadásul így nehezen biztosítható az optimális hálózati geometria kialakítása. Mivel távolabbi célunk a magyarországi közel 44 000 Eötvös-inga mérési pontban a függővonal-elhajlások meghatározása, ez csak akkor megoldható feladat, ha ki tudjuk egészíteni a már jól működő szoftvert olyan algoritmussal, amely képes az optimális interpolációs hálózat automatikus létrehozására. A Delaunay-háromszögelés alapelveinek felhasználásával és speciális finomításával (az oldalhosszak arányán alapuló megfelelő $p = 1/2$ küszöbértékű szűréssel) sikerült automatizálnom az Eötvös-inga mérések alapján végezhető függővonal-elhajlás interpoláció eddigi legmunkaigényesebb fázisát és egyben a leggyengébb láncszemét, az interpolációs hálózat optimális geometriájának kialakítását. Az előzetes vizsgálataim szerint az így kialakított geometria nagyobb pontosságot biztosít az interpoláció számára.

Kapcsolódó közlemények: 13; 22; 23; 25; 26

6. tézis. Az Eötvös-inga mérések geodéziai felhasználása során az esetek döntő részében a geoid finomszerkezetének a meghatározása a végső cél. Amennyiben a nehézségi erő gradienseit geoid-meghatározás céljára használjuk, felmerül a szüksége, hogy a fizikai földfelszínen különböző magasságokban mért értékeket azonos szintfelületre, a geoidra (tengerszintre) átszámítsuk. Kutatásaim során vizsgálatokat végeztem arra vonatkozóan, hogy a különböző gradiensek hogyan változnak a magassággal. A vizsgálatokat két különböző tömegmodellen végeztem: az egyik a Duna 2002. évi árvíz-tömegének modellje, a másik a Gellért-hegyen található víztározó medencékben gyorsan változó víztömeg modellje. A vizsgálataim alapján több fontosabb következtetésre jutottam. Megállapítottam, hogy a nehézségi erőtér gradienseinek legnagyobb változása az oldalirányú sűrűség-inhomogenitások (a vizsgált tömegmodellek széle) felett a földfelszínen és a földfelszín közvetlen közelében tapasztalható, ami a magasság növekedésével igen gyorsan lecsökken. A jelenleg rendelkezésre álló műszerek érzékenysége mellett 50-100 m magasságban, a gradiensekben a „peremhatás” már gyakorlatilag nem érzékelhető. A vizsgált tömegmodelljeink középpontja felett nagyobb kiterjedésű tömegek esetén, amelyeknél már kevésbé érvényesül a peremhatás, a gradiensek változása a magassággal lassabb, ezért a sűrűség-inhomogenitásoknak köszönhető gradiensek változása viszonylag nagyobb magasságban is érzékelhető. Ugyanakkor a jelenleg rendelkezésre álló mérési technika mellett néhányszor 100 m magasságban az Eötvös-tenzor egyetlen elemének a változása sem kimutatható. Végül a gravimetriában különösen fontos vertikális gradiens magasságfüggése, a vertikális gradiens értékek eltérése az ismert normálértéktől helyi hatások következménye. Az ok leginkább a közvetlen felszínközeli sűrűség-inhomogenitásokban kereshető.

Kapcsolódó közlemények: 6; 9; 22; 25; 26; 28

IV. Az eredmények hasznosítása

Jelenleg Magyarország területének jelentős részére, közel 44 000 pontban hozzáférhető, és digitális adatbázisban várnak további, geodéziai célú felhasználásra a múlt század elejétől az 1960-as évek végéig Eötvös-ingával mért gradiens-érték. Kutatási eredményeimmel kiegészítve a korábbi, erre vonatkozó ismereteket, lehetőség nyílt Ma-

gyarország jelentős területére a függővonal-elhajlások interpolációjára és ennek felhasználásával a csillagászati szintezés alapelvét alkalmazva a geoid magyarországi része finomszerkezetének meghatározására.

A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közleményeim

Könyvrész, könyvfejezet

- [1] *Völgyesi L, Ultmann Z (2009):* Reconstruction of a torsion balance, and the results of the test measurements. Geodesy for Planet Earth, Buenos Aires, Argentína. 2009. International Association of Geodesy Symposia, Vol. 136, Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg, ISBN: 978-3-642-20337-4. pp. 281-290.
- [2] *Völgyesi L, Ultmann Z (2013):* High-resolution measurements of non-linear spatial distribution of gravity gradients in Hungary. IAG Symposia series, Melbourne, Ausztrália. Vol. 139., Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg (publikációra elfogadva, nyomdában)
- [3] *Ultmann Z (2012):* Linearity analysis of the Eötvös-tensor. Proceedings of the Conference of Junior Researchers in Civil Engineering 2012 (szerk: Józsa J, Lovas T, Németh R). Budapest, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, ISBN: 978-963-313-061-2, pp. 262-266
- [4] *Ultmann Z (2013):* Geodetic application of the Eötvös torson balance. Proceedings of the Second Conference of Junior Researchers in Civil Engineering 2013 (szerk: Józsa J, Lovas T, Németh R). Budapest, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, pp. 23-30

Lektorált, Magyarországon megjelent idegen nyelvű folyóiratcikk

- [5] *Csapó G, Laky S, Égető Cs, Tóth Gy, Völgyesi L, Ultmann Z (2009):* Test measurements by Eötvös torsion balance and gravimeters. Periodica Polytechnica, Civil Engineering. Vol. 53, Nr. 2 pp. 75-80. ISSN 1587-3773
- [6] *Ultmann Z (2011):* Comparing different mass models of the water level fluctuations of the river Danube, Pollack Periodica, Vol. 6, No.3, pp. 107-114. ISSN 1788-1994

- [7] *Ulmann Z* (2012): Determination of the Vertical Gradients based on Eötvös torsion balance measurements, *Pollack Periodica*. 2012, Vol. 7, No. 2, pp. 109-116. ISSN 1788-1994
- [8] *Völgyesi L, Dobróka M, Ulmann Z* (2012): Determination of vertical gradients of gravity by series expansion based inversion. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*. 2012, Vol. 47, Nr. 2, pp. 233-244. DOI: 10.1556/AGeod.47.2012.2.11

Lektorált, magyar nyelvű folyóiratcikk

- [9] *Völgyesi L, Ulmann Z* (2007): A nehézségi erőter gradienseinek függőleges irányú változása, *Geodézia és Kartográfia*. Vol. LIX, Nr. 8-9, pp 11-23.
- [10] *Völgyesi L, Égető Cs, Laky S, Tóth Gy, Ulmann Z* (2009): Eötvös-inga felújítása és tesztmérések a Budapesti Mátyás-barlangban, *Geomatikai Közlemények*, XII., pp 119-130.
- [11] *Völgyesi L, Csapó G, Laky S, Tóth Gy, Ulmann Z* (2009): Közel fél évszázados szünet után ismét Eötvös-inga mérések Magyarországon, *Geodézia és Kartográfia*, Vol. LXI, Nr. 11. pp 71-82.
- [12] *Völgyesi L, Ulmann Z* (2010): Nehézségi gradiensek linearitás-vizsgálata a Mátyás-barlangban, *Geomatikai Közlemények* 2010, XIII/2. pp 123-128.
- [13] *Ulmann Z, Völgyesi L* (2013): Optimális geometria kialakítása Delaunay-háromszögeléssel függővonal-elhajlás interpoláció céljára, *Geomatikai Közlemények*, (publikációra elfogadva)

Nem publikáció értékű munkák

Konferencia előadások

- [14] *Ulmann Z* (2009): Gravitációs tömeghatás számítása a Mátyás-hegyi barlang környezetében, OTDK Konferencia-2009, Miskolc, Miskolci Egyetem
- [15] *Ulmann Z* (2009): Gravitációs tömeghatás számítása a Mátyás-hegyi barlang környezetében, MFTTT Vándorgyűlés-2009, Nyíregyháza, Nyíregyházi Főiskola
- [16] *Ulmann Z* (2010): Computations and measurements of gravity gradients in the Mátyás-cave, Ifjú Szakemberek Ankétja-2010, Mátrafüred, Hotel Avar
- [17] *Ulmann Z* (2010): Comparing different mass models of the waterlevel fluctuations of the river Danube, Sixth PhD & DLA Symposium, October 25-26. 2010, Pécs
- [18] *Ulmann Z* (2010): Nehézségi gradiensek számítása és mérése a Mátyás-barlangban, Rédey István Geodéziai Szeminárium, 2010. április 1, BME

- [19] *Ulmann Z* (2011): Determination of the Vertical Gradients based on Eötvös torsion balance measurements, Seventh International PhD & DLA Symposium, October 24-25. 2011, Pécs
- [20] *Völgyesi L, Ulmann Z* (2012): Az Eötvös-tenzor elemeinek linearitás-vizsgálata, Rédey István Geodéziai Szeminárium, 2012. március 22, BME
- [21] *Ulmann Z* (2012): Linearity analysis of the Eötvös-tensor. Conference of Junior Researchers in Civil Engineering, 2012. június 19-20, BME
- [22] *Ulmann Z* (2012): Geodetic application of the Eötvös torsion balance, VII. Autumn Seminar on Geodesy for PhD Students, 2012, Sopron
- [23] *Völgyesi L, Ulmann Z* (2012): Optimális geometria kialakítása Delaunay-háromszögeléssel függővonal-elhajlás interpoláció céljára, VIII. Geomatika Szeminárium, 2012. november 8-9, Sopron
- [24] *Völgyesi L, Ulmann Z* (2013): Az Eötvös-inga kezdő azimutjának pontosságvizsgálata, Rédey István Geodéziai Szeminárium, 2013. április 18, BME
- [25] *Ulmann Z* (2013): Eötvös-inga mérések geodéziai hasznosítása, Kárpát-medencei Földtudományi Doktori Iskolák Nemzetközi Konferenciája, 2013. június 7-8, Pécs
- [26] *Ulmann Z* (2013): Geodetic application of torsion balance, Second Conference of Junior Researchers in Civil Engineering, 2013. június 7-8, BME

OTDK dolgozat

- [27] *Ulmann Z* (2009): Gravitációs tömeghatás számítása a Mátyás-hegyi barlang környezetében, XXIX. OTDK Műszaki Szekció Tanulmányai, pp. 45-49.; harmadik helyezés

TDK dolgozat

- [28] *Ulmann Z* (2006): A nehézségi erőter gradienseinek függőleges irányú változása, BME Építőmérnöki Kar, TDK, Földmérő és térinformatikai szekció, második helyezés
- [29] *Ulmann Z* (2007): Gravitációs tömeghatás számítása a Mátyás-hegyi barlang környezetében; BME Építőmérnöki Kar, TDK, Földmérő és térinformatikai szekció, második helyezés
- [30] *Ulmann Z* (2008): Mérések Eötvös-ingával, BME Építőmérnöki Kar, harmadik helyezés