

Magyarország 100 évvel ezelőtt létesített első gravimetriai főalappontjának újramérése a Műegyetemen

Ádám József – Rózsa Szabolcs – Tóth Gyula – Völgyesi Lajos

Bevezetés

Oltay Károly a Műegyetem korábbi Geodézia Tanszékének professzora és vezetője a Tanszék alagsori ingatermében létesítette az első magyarországi gravitációs főalappontot, amelynek nehézségi térerősség értékét ($g = 980\,852 \pm 3$ mGal) 1915-ben a potsdami Geodéziai Intézet főalappontjának abszolút értékéből relatív ingamérések alapján vezette le. C. Morelli az 1940-es években kiegyenlítette az európai gravitációs főalappontok hálózatát és az Oltay által meghatározott értékre $g = 980\,853$ mGal értéket kapott, amely alig tér el az R.A. Hirvonen finn professzor által, izosztatikus redukció figyelembe vételével meghatározott értéktől ($g = 980\,853,3 \pm 0,9$ mGal).

Az ingatermet 2016 elején felújítottuk, amelynek során az ingapontot azonosítottuk és helyreállítottuk. Az alapponton 2016. május 26-27-én a cseh geodéziai obszervatórium (Pecny, Ondrejov) munkatársai FG5X (No. 251) típusú abszolút graviméterrel méréseket végeztek a nehézségi térerősség abszolút értékének újbóli meghatározása céljából. A mért érték pontjelre történő átszámításához és az egykori g értékkel történő összehasonlításához szükség volt még a ponton a vertikális gradiens meghatározására mérések alapján. A meghatározott vertikális gradiens érték ($-0,3091$ mGal/m) felhasználásával meghatároztuk egyrészt a g pontjelre vonatkozó értékét (amelynek eredményeként ez beilleszthető Magyarország jelenlegi hatályos gravimetriai alaphálózatába (MGH-2013)), másrészt a g Oltay-féle ponthelyre vonatkozó értékét annak céljából, hogy az összehasonlító vizsgálatokat el tudjuk végezni. Figyelembe véve a potsdami rendszer és az abszolút rendszer közötti -14 mGal (illetve hazai vizsgálatok alapján kapott $-13,94$ mGal) szabályos eltérést, az általunk 2016-ban meghatározott érték ($g = 980\,839\,431,55 \pm 4,4\mu\text{Gal}$) jó összhangot mutat az Oltay-féle értékkel.

A hazai gravimetriai mérések rövid története

A nehézségi térerősségek mérésének igénye és szükségessége Magyarországon először az 1870-es évek elején merült fel. A gravitációs kutatások kezdete az 1880-as évekre tehető és Eötvös Loránd nevéhez kapcsolódik. Az első nehézségi térerősség-mérést viszont Robert von Sterneck (Szabó, 2004; Szilárd, 1980), a bécsi Katonai Földrajzi Intézet (Militär-Geographisches Institut, MGI) munkatársa végezte 1883. júniusában az Európai Fokmérés keretében a történelmi Magyarország területén, Brassóban három ponton. Egy évvel később, 1884 májusában pedig a Sághegyen öt állomáson végzett méréseket, amelyek a brassói méréseihez hasonlóan szintén hibásak lettek. A sághegyi ellentmondó mérések ösztönözték Eötvös Lorándot 1891-ben, amikor első terepi méréseinek helyszínéül a Sághegyet választotta.

Budapesten az első mérést 1885. év nyarán végezték, amely abszolút meghatározás volt. Gruber Lajos a Központi Meteorológiai Intézet munkatársa végezte sárgarézből készült $\frac{3}{4}$ másodperces Repsold-féle reverziós ingával. A mérés helye az intézet akkori területén, a bécsi kapu alatt felállított faházikóban volt ($\varphi = 47-30-12$, $\lambda = 19-01-55$ és $H = 152$ m koordinátákkal jellemzett ponton). A g értékére $980\,827$ mGal-t kapott, aminek a tengerszinten $980\,874$ mGal érték felel meg. A további történeti érdekességű mérések már mind relatív mérések voltak (Homoródi, 1984).

1893. év nyarán a bécsi MGI megbízásából Eötvös Loránd felkérése alapján O. Krifka végzett Sterneck-féle négyingás műszerrel relatív mérést a Tudományegyetem Fizikai Intézetének alagsorában (Puskin utcában; a mérés helyének koordinátái: $\varphi = 47-29-43$, $\lambda = 19-03-50$ és $H = 122$ m). A nehézségi térerősség értékét ($g = 980\,860$ mGal) a bécsi MGI nehézségi gyorsulás értékéből vezették le (ez utóbbit pedig a bécsi Csillagvizsgáló Intézet (Sternwarte) nehézségi térerősség értékéből, amelyet Oppolzer abszolút méréssel határozott meg 1884-ben). Később a kapott $980\,860$ mGal értéket az ún. potsdami gravitációs rendszerbe (melynek kiinduló értéke $981\,274 \pm 3$ mGal) számították át, amelyre $980\,844$ mGal értéket kaptak. Krifka mérései már beletartoznak az Európai Fokmérés javaslatára Sterneck által kezdeményezett nagyszabású gravitáció-mérési programba, melynek során Sterneck 1887-től kezdődően regionális szelvények mentén végzett ingaméréseket az Osztrák-Magyar Monarchia egész területén. 1901-ig összesen 544 állomáson határozta meg a nehézségi térerősség értékét (Szilárd, 1980), a bécsi MGI pincéjében létesített gravitációs főalappontra vonatkoztatva (az ún. *bécsi gravitációs rendszerben*, amelynek kiinduló értéke $980\,876$ mGal). Az 544 állomásból mintegy 200 állomás esett a történelmi Magyarország területére, Magyarország mai területére pedig

ebből is csak néhány állomás esett, ezek többsége is a Dunántúlon volt. Közülük nevezetes a sághegyi, mert ez volt a színhelye Eötvös alapvető első méréseinek.

A relatív ingamérések sorában külön figyelmet érdemelnek Oltay Károlynak a Műegyetemen 1908-ban, továbbá 1913-ban és főleg 1915-ben végzett mérései, melyekről részletesebben a következő pontban lesz szó.

A gravimetriai főalappont létesítése a Műegyetemen és alkalmazása geodéziai célokra

A XIX. század második felében a Műegyetem Geodéziai (akkori nevén a Gyakorlati mértan és felsőbb geodézia) Tanszékén hazai és nemzetközi szinten is elismert szakmai-tudományos tevékenység folyt a felsőgeodézia területén. A tanszék akkori vezetője Kruspér István az Akadémia kiadásában megjelentette az első magyar nyelvű nyomtatott tan- és szakkönyvét a geodézia területén 1869-ben, amelyért 1870-ben Akadémiai Nagydíjjal tüntették ki. A felsőgeodézia tantárgyat 1871-től oktatta. Meghatározó szerepet játszott a méterrendszer hazai és nemzetközi bevezetésében. A modern magyar mérésügy egyik megteremtője, aki elévülhetetlen érdemeket szerzett a nemzetközi méteregyezmény megkötésében is. 1879-1894 között tagja volt a Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Bizottságnak (Comité Internationale des Poids et Mesures, CIPM). 1878-ban az ő előterjesztésében állították fel a Mértékhiatalos Bizottságot (a későbbi Országos Mérésügyi Hivatal (OMH) elődintézményét), amelynek 1894-ig vezetője volt. Kruspér István a tanszék vezetését 1851-1894 között látta el.

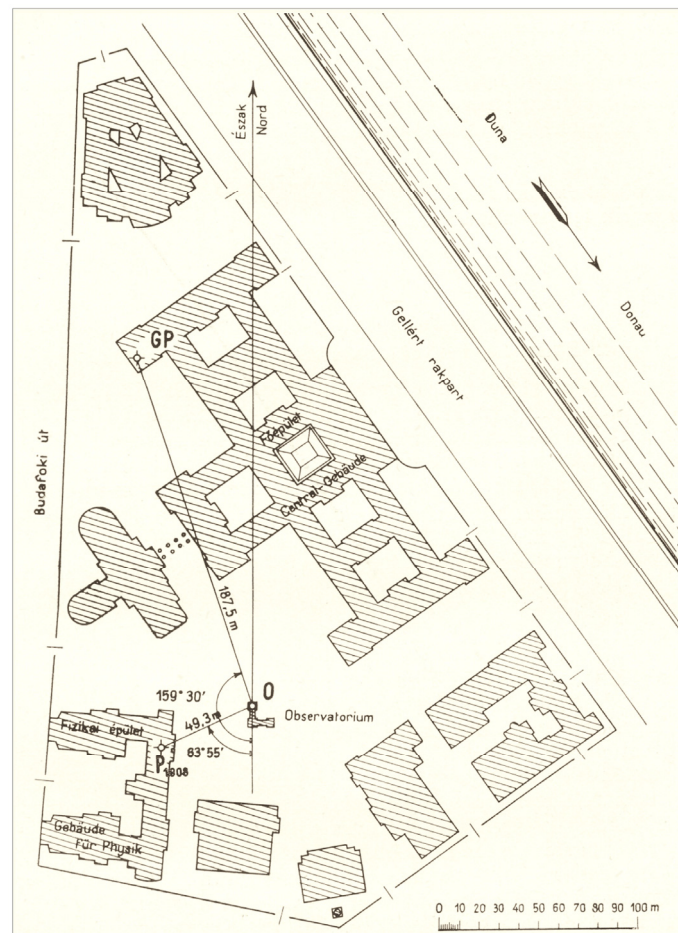
Kruspér utódja, Bodola Lajos 1894-ben lett a geodézia professzora és a tanszék vezetője, aki szintén értékes tevékenységet fejtett ki a CIPM munkájában, amelynek tagja volt 35 éven át 1894-1929 között (közben a jelentős nemzetközi szervezet titkári, mai szóhasználattal élve a főtitkári tisztségét is betöltötte 1923-1927 között). Kezdeményezésére Magyarország önálló tagja lett a Nemzetközi Geodéziai Szövetség (International Association of Geodesy, IAG) jogelődjének, a Nemzetközi Földmérési Szövetség (Internationale Erdmessung, IE) szervezetnek 1896-tól. Bodola Lajos 1897-től tagja volt az IE vezető testületének, az Állandó Bizottságnak. Bodola 1887-ben fél évig állami ösztöndíjjal a potsdami Geodéziai Intézetben F.R. Helmert vendéglátásában tanulmányozta a felsőgeodézia elméleti ismereteit és korszerű műszereit, többek között a földrajzi helymeghatározás mérési eljárásait és mérőeszközeit. Ez nagyban segítette Bodolát és tanszékvezetőjét, Kruspér Istvánt abban, hogy a Tanszék lehetőségek szerint a kornak megfelelő modern felsőgeodéziai műszerekkel lássák el. A Műegyetem intézményei az 1800-as évek végén a Múzeum körüli új egyetemi épületben voltak, amelyben 1882-től 1909-ig a Tanszékünk is működött, Eötvös Loránd Puskin utcában levő Fizikai Intézetének szomszédságában. A két intézmény és vezetői között szoros együttműködés alakult ki, mert Bodola 1891-ben már részt vett Sághegyen Eötvös első terepi mérésében (1. ábra). Itt az Eötvös-féle geofizikai kutatások részére szabatos csillagászati-geodéziai méréseket végzett a Sterneck által korábban megmért sághegyi pontokon a függővonal-elhajlások meghatározása céljából.



1 ábra. Eötvös Loránd első terepi mérése a Sághegyen

Bodola Lajos tudományos eredményei és nemzetközi (a CIPM és az IE keretében kifejtett tudományos szervezői) tevékenysége alapján elérte, hogy az IE XV. általános közgyűlését 1906-ban Budapesten tartsák az ő rendezésében. A rendezvényen Eötvös Lorándnak módja nyílt arra, hogy torziós ingáját és a már másfél évtizede folyó gravitációs méréseinek eredményét a kor legkiválóbb geodétái, csillagászai és matematikusai előtt bemutathassa. A bemutatkozás olyan sikeres volt, hogy kutatásai számára megszerezte a nemzetközi elismerést és a magyar kormány rendszeres anyagi támogatását (Völgyesi és társai, 2006).

Fontos körülmény, hogy Bodola Lajos tanársága és tanszékvezetői tevékenysége (1894-1912) idején létesültek a Műegyetem jelenlegi központi épületében a Tanszék és a hozzá kapcsolódó Magyar Geodéziai Intézet (GI) modern helyiségei, melyek révén megteremtette a felsőgeodézia rendszeres művelésének is az előfeltételeit. Korabeli források szerint Bodola volt az egyetlen akkori professzor, aki az Egyetemünk Hauszmann Alajos tervei szerint épült (1903-1909) mai K. épületében Tanszéke elhelyezésére javaslatokat és tervekét készített. Ekkor alakították ki a jelenleg is használatban lévő kari előadótermet (Oltay terem) és a komparátortermet (amely ma Bodola Lajos nevét viseli), továbbá a korábban használt ingatermet, amelyben Bodola utódja, Oltay Károly határozta meg szabatos mérésekkel Magyarország első gravitációs főalappontját 1915-ben. A Tanszék a GI részére saját obszervatóriumi épületet is kapott az udvaron (2. ábra), amely a II. világháborúban sajnos elpusztult.



2 ábra. Az obszervatórium és a gravimetriai főalappont a Műegyetem területén az 1900-as évek elején

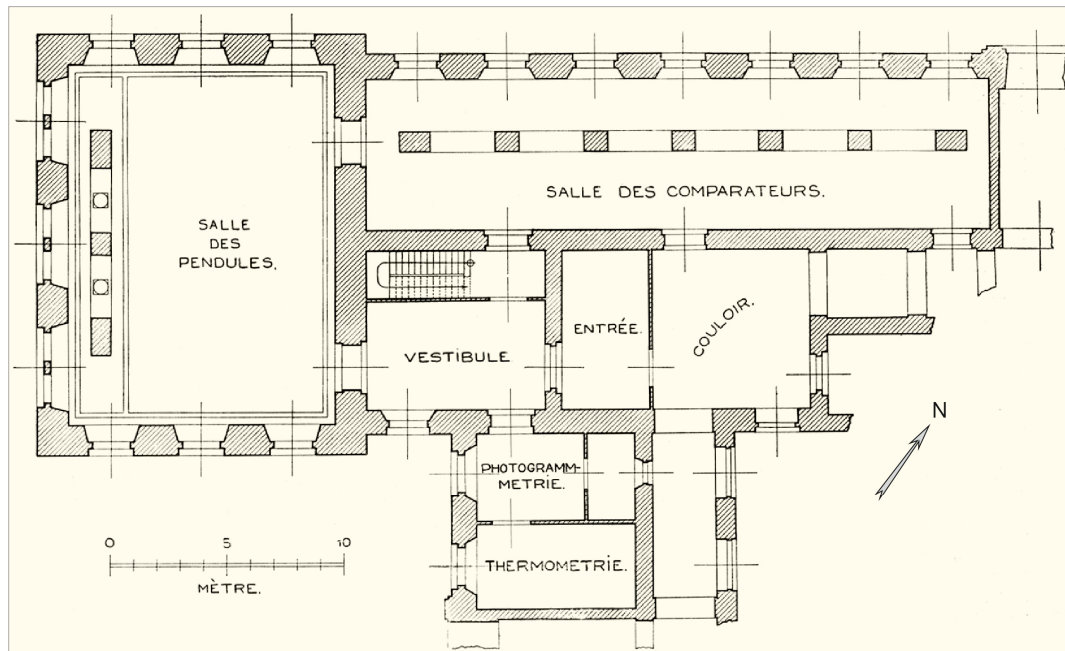
Bodola utódja, Oltay Károly 1913-ban lett a geodézia professzora és tanszékvezető (a Tanszék nevét ekkor változtatták Geodéziai Tanszék névre). Oltay már 1906-ban bekapcsolódott Eötvös Loránd gravitációs kutatásaiba. Az IE 1906. évi budapesti általános konferenciáját követően Oltay Károly 1907-ben és 1908/1909 folyamán többször is felsőgeodéziai tanulmányúton volt a potsdami Geodéziai Intézetben (szintén F.R. Helmert vendégglátásában), ahol csillagászati- és fizikai geodéziai mérési eljárásokkal és műszerekkel ismerkedett és az ingákkal történő gravitációs méréseket is elsajátította. Oltaynak (és elődjének, Bodola Lajosnak) fontos szerepe volt abban, hogy a Tanszék (illetve ennek Magyar Geodéziai Intézet néven használt egysége) megfelelő műszerfelszerelésével és magas szintű felkészültségével folyamatosan ellátta Eötvös Loránd geofizikai kutatásainak szabatos felsőgeodéziai mérésekkel történő kiszolgálását. Eötvös halála (1919) után Oltay vezetése alatt a Tanszék (illetve a GI) folytatta a magyarországi nehézségi alapponthálózat kialakítását és a csillagászati-geodéziai és nehézségi erő méréseket. 1930-1945 között elnöke volt a Nemzetközi Geodéziai és Geofizikai Unió (International Union of Geodesy and Geophysics, IUGG) Magyar Nemzeti Bizottságának (MNB), és ő készítette a nemzetközi szervezet részére a tudományos értékű nemzeti jelentéseket. A Geodéziai Tanszék vezetését 1913-1955 között látta el (1955-ben bekövetkezett haláláig).

Oltay Károly az első relatív ingamérést – Eötvös megbízása alapján – 1908-ban végezte a Műegyetem Fizikai épületében (2. ábra), mert ekkor még a jelenlegi központi (K.) épület nem volt (így a Tanszékünk

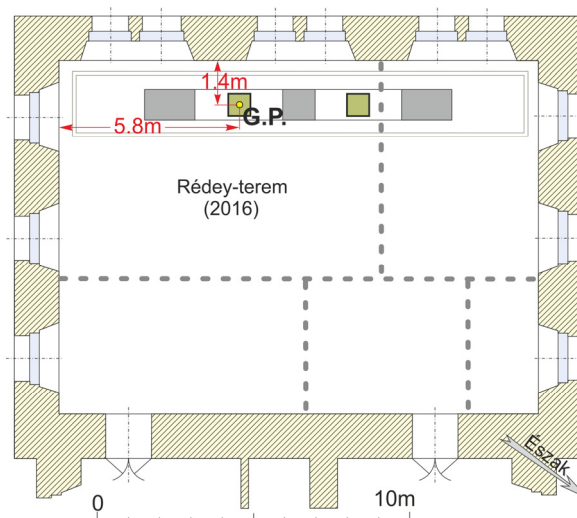
helyiségei sem voltak) készen. A Fizikai épület alagsorában (a $\varphi = 47-28-48$, $\lambda = 19-03-11$ és $H = 104.4$ m koordinátákkal jellemzett P_{1908} jelű ponton (2. ábra)) határozta meg a g értékét közvetlenül Potsdammal végezve az összehasonlítást. Eredmény 980 852 mGal. Bár az eredmény teljesen megfelelt az akkor elérhető szélső pontosságnak, a vonatkozó mérések kifogásolhatók voltak a kisméretű koincidencia-óra és az észlelőhelyiség hőviszonyai miatt (Oltay, 1917). Oltay már ekkor tervbe vette, hogy amint a Tanszék gravitációs helyiségei elkészülnek és a mérőberendezés szükséges eszközei is teljessé válnak, a méréseket megismétlik. Megjegyezzük, hogy Eötvös Loránd kezdeményezésére és a kapott állami támogatás terhére Oltay Károly kapott megbízást a mérésekhez szükséges relatív inga és összes tartozékai beszerzésére (és lényegében a potsdami tanulmányútjaira is, hogy a mérési módszert teljes körűen elsajátítsa). A g értékének műegyetemi szélső pontosságú meghatározásával céljuk a különböző területeken végzett (és végzendő) nehézségi erő mérések egységes szintre hozása volt. Ehhez alapvetően fontos volt a referenciaállomás mielőbbi létrehozása.

Az újabb mérésekre 1915-ben került sor, ugyancsak invariábilis ingákkal, amikor Oltay Károly újból meghatározta a nehézségi térerősség budapesti és potsdami értékének különbségét. Ekkor az ingákat már a Tanszék erre a célra készített ingatermében, a G.P. jelű pillérére helyezték. Ez lett Magyarország első gravitációs főalappontja, mely valamennyi relatív méréshez a kiinduló állomás szerepét töltötte be.

A Műegyetem Geodéziai Tanszéke 1931. évi állapot szerinti földszinti (korábbi nevén alagsori) helyiségeinek alaprajzát a 3. ábra mutatja. Ebből kiemelve az ingatermet, az egykori pillérek elhelyezkedését és a Tanszék tantermeinek jelenlegi elrendezését mutatja a 4. ábra.

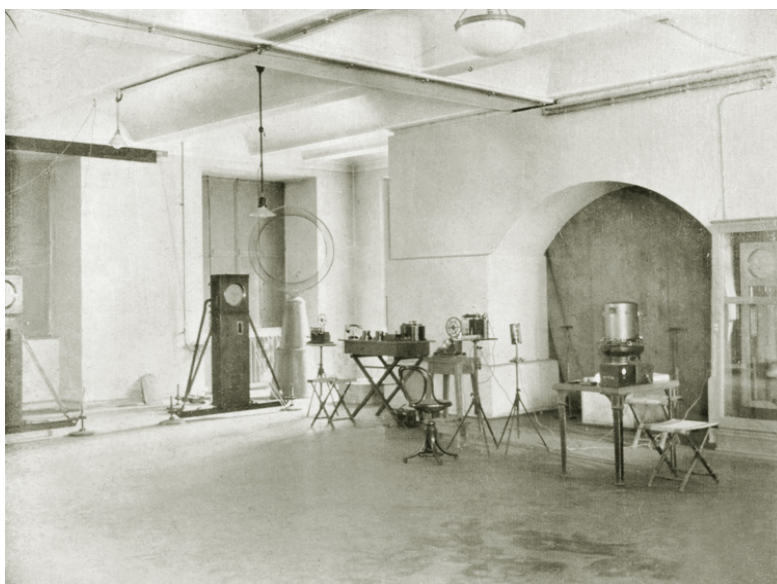


3 ábra. A Geodéziai Tanszék alagsori alaprajza 1931-ben.



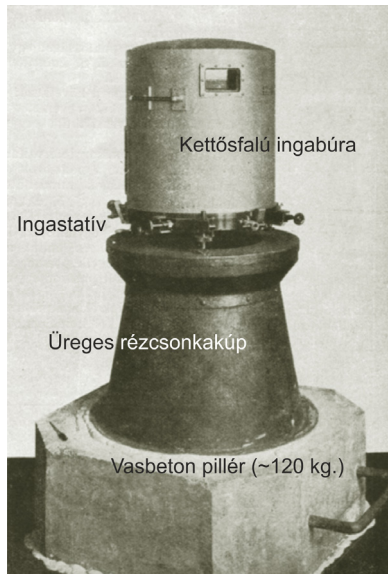
4 ábra. Az ingaterem, és a pillérek korábbi-, valamint a Tanszék tantermeinek jelenlegi elrendezése.

Az ingaterem céljára létesült terem tágas helyiség volt, méretei $15.5\text{m} \times 11.4\text{m}$ (alapterülete 176.7m^2), magassága 3.5m . Padozata két, egymástól és az épület (a terem külső) falaitól teljesen elszigetelt, különálló és külön alapozott $1.8\text{m} \times 14.5\text{m}$ és $8.4\text{m} \times 14.5\text{m}$ nagyságú, mintegy 3m mély betontömbből áll (4. ábra), amelyet akkor vékony aszfaltréteg burkolt. A teremben a kisebb betontömbre épített monolit fal árkádjai alatt voltak az ingapillérek (5a, b. ábra). Mindkét pilléren egy-egy relatív ingakészülék állt. A pillérek 0.42m magasságú és 0.38m^2 alapterületű faragott (120kg tömegű) monolitok voltak. A mérés alatt e pillérré egy belül üres, vörösréz csonkakúpot gipszeltek és ezen állt az ingastatív (6. ábra). A két ingapillér közül a délire (a G.P. jelzésűre) vonatkoznak a magyarországi relatív nehézséggyorsulás-mérések, ez volt tehát Magyarország első gravitációs főalapontja (referenciaállomása).



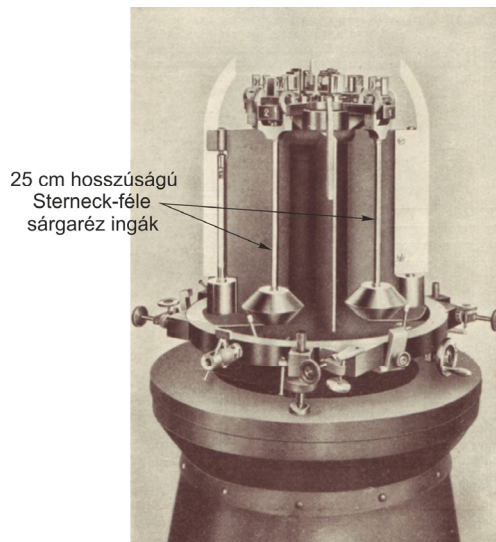
5a, 5b ábra. Az ingaterem az ingapillérekkel.

A teremben a nagyobb betontömbön voltak az órák, továbbá a nehézségi erő- és az időméréshez szükséges valamennyi mellékműszer (5a,b. ábra). A nagy és tágas helyiségre az állandó hőmérséklet biztosítása céljából volt akkor szükség. Hasonló nagyságú ingateremmel rendelkeztek Bécs már említett megfelelő intézményei, a budapesti Tudományegyetem Fizikai Intézete és a potsdami Geodéziai Intézet is.



6 ábra. A négyingás műszer elhelyezése a pilléren.

A relatív mérésre szolgáló invariábilis inga R. von Sternecktől eredő berendezés, amely ún. fél másodperces (1/4 m hosszú) inga. Az ingastatívon közös állványon négy inga volt felfüggesztve (7. ábra), ami az együttlengés gyors meghatározását és az egyes ingák hirtelen változásának azonnali felismerését tette lehetővé. A négy inga közös burában, légritkított térben lengett. Az ingák között falak voltak, hogy az ingák által mozgatott levegőtömeg a többi ingára ne hathasson. Az észlelés ún. koincidencia-módszerrel történt, amihez Sterneck szintén ötletes, jól kezelhető készüléket szerkesztett (Homoródi, 1966). Az ingákkal való relatív nehézségmérésekben elvi fontosságú az alkalmazott ingák redukált hosszának változatlansága. Oltay mérései során összesen nyolc ingát használtak. Ezekkel az ingákkal (két ingastatív alkalmazásával) többször mértek ugyanazon állomáson, s az így nyert értékek mutatják legjobban az ingahosszak változatlanságát.



7 ábra. A Sterneck-féle négyingás műszer szerkezete.

A G.P. ponton elhelyezett ingaállvány közepe a nyugati faltól 1.4 m-re, a délitől pedig 5.8 m-re állt, az inga súlypontjának magasságát szabatos szintezéssel az I.rendű országos szintezési hálózat egyik közeli alappontjából kiindulva vezették le. Ennél fogva az inga súlypont adatai: $\varphi = 47-28-55$, $\lambda = 19-03-11$ és $H = 105.57$ m (az adriai alapszint felett).

A gondosan kivitelezett, szabatos méréseket tehát 1915. év nyarán végezték, amelyek teljes körű részletes leírását az Oltay (1917) mű tartalmazza. A mérések alapján az ingák budapesti (G.P.) és potsdami (P_{31}) lengésidejének különbségére végeredményként

$$(+1078 \pm 1.6) \times 10^{-7} \text{ s}$$

értéket kaptak, amely a megfelelő nehézségi térerősségek különbségében

$$\Delta g = -422 \text{ mGal}$$

értéknek felel meg.

A potsdami főalappont (P_{31}) kiinduló értéke:

$$g = 981\,274 \pm 3 \text{ mGal},$$

amely a $\varphi = 52\text{-}22.9$, $\lambda = 13\text{-}4.1$ és $H = 86.5$ m koordinátákkal jellemzett helyre vonatkozik. Mivel a relatív meghatározás pontossága közel 1 ppm-re (1:1 000 000) tehető, ezért Oltay (1917) megállapítása szerint a budapesti abszolút értéknek a pontossága ugyanaz, mint a potsdami értéknek. Ennek megfelelően a G.P. pillér (Magyarország első gravitációs főalappontjának) abszolút értéke a pontossági mérőszámmal együtt

$$g = 980\,852 \pm 3 \text{ mGal}.$$

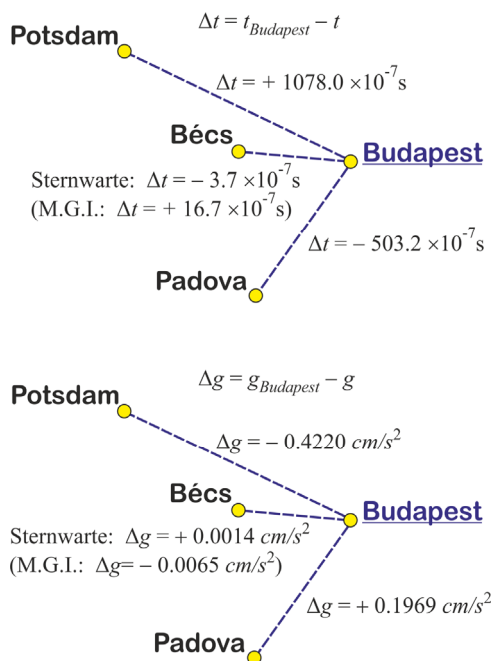
Megjegyezzük, hogy Oltay Károly 1913-ban is végzett relatív ingaméréseket a Műegyetemen (Oltay, 1917). Célja az 1908. évi mérés helyének (P_{1908}) és a gravitációs főalappontnak kiszemelt (G.P. jelű) pillér nehézségi térerősség-különbségének meghatározása. Azt feltételezte, hogy a két helyszín közelsége (2. ábra) miatt a két ponton a nehézségi térerősség tényleges értéke azonos lesz, azon a pontossági határon belül, amely az ingamódszerrel elérhető. Mérései végeredményeként a P_{1908} és a G.P. ponton kapott lengésidő-különbség

$$(+4 \pm 3.2) \times 10^{-7} \text{ s},$$

amely kicsiny érték (és ahhoz közel álló középhiba) feltevése mellett szól. Az 1915. évi szabatos mérései is ezt igazolták, mivel mindkét ponton azonos értéket (980 852 mGal) kapott a nehézségi térerősségre.

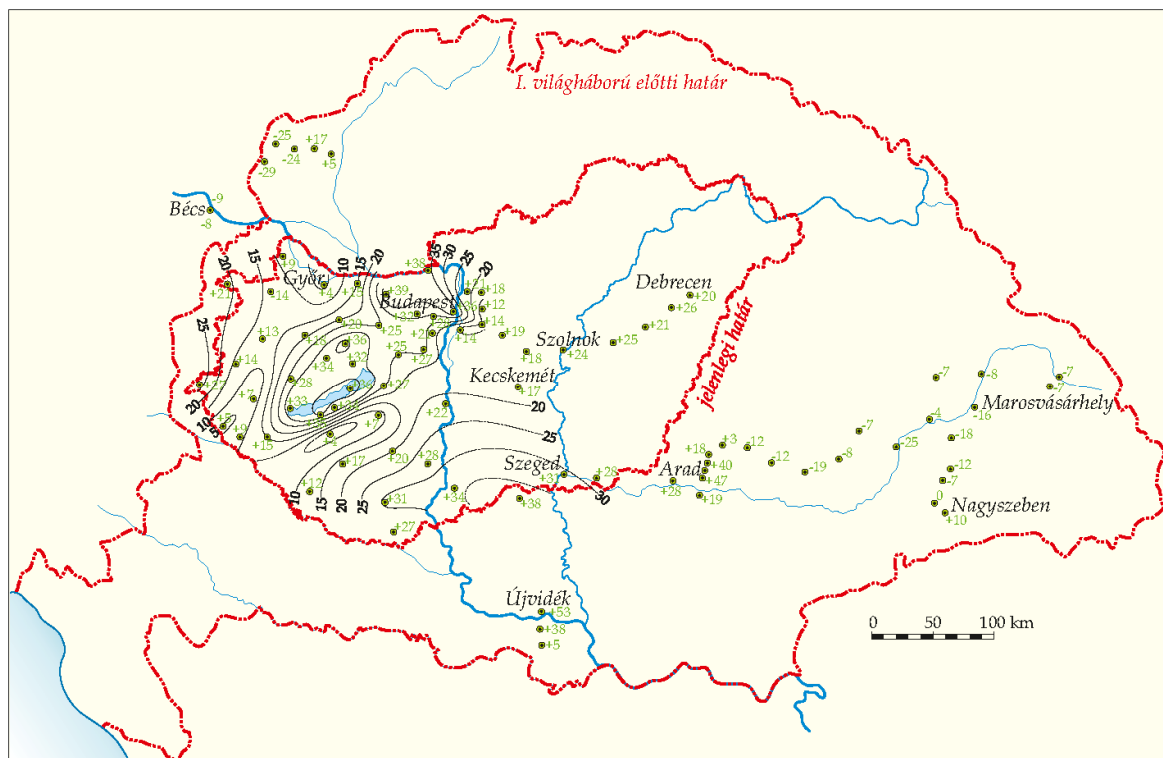
Oltay Károly vezetésével 1930. év tavaszán csatlakozó méréseket végeztek a budapesti főalappont (G.P.) és a bécsi Csillagvizsgáló Intézet (Sternwarte) azon pontja között, amelyen Oppolzer 1884-ben reverziós ingamérésekkel meghatározta a nehézségi térerősség abszolút értékét. Oppolzer mérése azért alapvető fontosságú, mert Sterneck ezt is felhasználta az ún. *bécsi gravitációs rendszer* alapjául szolgáló abszolút nehézségi gyorsulás értékének levezetésére. Oltayék ezen kívül a Bécsi Műszaki Egyetem Felsőgeodéziai Tanszékének alagsori helyiségében is mértek R. Schuman professzor felkérésére. Oltay Károly bécsi csatlakozó mérései azért is figyelemre méltóak, mert újabb adatot szolgáltatottak a bécsi és a potsdami abszolút meghatározások (gravitációs rendszerek) összehasonlítására, a budapesti alapállomás közbeiktatásával.

Oltay Károly 1934. év nyarán az IUGG felhívásának megfelelően a budapesti főalappontot összekapcsolta Olaszország akkori gravitációs főalappontjával, amely Padova városban volt. Ezáltal az alapállomásunk már három külföldi referenciaállomással lett egybekapcsolva, nevezetesen Potsdammal, Béccsel és Padovával. A szomszédos gravitációs alappontokkal 1930-ban és 1934-ben végzett összekapcsoló mérés vázlatát és eredményeit (a lengésidő- és nehézségi erő különbségeket) a 8. ábra mutatja be. A szóban levő összehasonlító mérések azért voltak fontosak, mert egyrészt jó ellenőrzést biztosítottak a nehézségi térerősség budapesti értékére, másrészt a Tanszék Geodéziai Intézete eleget tett az IUGG azon ajánlásának, hogy az egyes gravitációs főalappontok között közvetlen mérési kapcsolat létesüljön.



8 ábra. A szomszédos gravimetriai főalappontokkal történt összemérés vázlatja.

Oltay Károly 1908-1933 között összesen 113 állomásból álló, nem egyenletes geometriai eloszlású, gravitációs alaphálózatot hozott létre, amelyek között a bécsi és a padovai nemzetközi alappontok is szerepelnek. Oltay irányításával olyan területeken végeztek relatív ingaméréseket, ahol Eötvös-féle torziós-ingamérések voltak: a Fruska-Gorában, Egbell térségében, a Maros völgyében, a Kis-Kárpátokban és később azután túlnyomóan a Dunántúlon. Ebből a 113 ingaállomásból ma 35 az ország határain kívül esik. A mérési pontokat többnyire épületek pincéiben helyezték el. A mérések hálózati középhibájaként ± 1.5 mGal-t adtak meg (I. táblázat). A dunántúli mérések alapján nehézségi anomália térképet szerkesztett, amely a topográfiával jó összhangot mutat (9. ábra) (Biró és társai, 2013). Az Oltay-hálózat méréseiből nyert Δg értékek nagy pontossággal igazolták és megerősítették az Eötvös-ingával végzett mérésekből számítható Δg értékeket (ha az Eötvös-ingás állomások sűrűn következnek egymásra és a terep a vízszintestől nem nagyon tér el).



9 ábra. Az Oltay-féle gravitációs hálózat (Biró és társai, 2013).

Az Oltay-féle gravitációs hálózat (9. ábra) méréseinek során 33 Sterneck-féle állomáson is végeztek méréseket, amelyek lehetővé tették a Sterneck-féle hálózat megbízhatóságának ellenőrzését. Az összehasonlító mérések és számítások alapján a Sterneck-féle mérések megbízhatóságára ± 22 mGal értéket kaptak (I. táblázat) (Szabó, 2004).

I. táblázat. Magyarországi gravitációs hálózatok.

	Az alaphálózat elnevezése	A mérés időtartama	Az alaphálózat főalappontja	Az alappontok száma	Az alaphálózat négyz. középhibája [mGal]
1.	Sterneck	1877-1901	Bécs (MGI)	200 (544)	± 22
2.	Oltay	1908-1933	Müegyetem	113	± 1.5
3.	Facsinay	1939-1941	Müegyetem	141	± 0.15
4.	MGH-50	1950-1955	Ferihegy	509	± 0.029
5.	MGH-80	1971 és 1980-1989	Mátyás-barlang	389	± 0.016
6.	MGH-2000	1992-1999	Mátyás-barlang	490	± 0.014
7.	MGH-2010	2000-2009	Mátyás-barlang	465	± 0.014
8.	MGH-2013	2010-2013	Mátyás-barlang	490	± 0.013

Facsinay László 1939-1941 folyamán, a dunántúli területen graviméterrel létesített gravitációs alaphálózatot azért, hogy a MAORT gravitációs méréseit egységes értékrendszerbe lehessen illeszteni (Szabó, 2004). Ez a 141 pontból álló alaphálózat volt hosszabb ideig a dunántúli Eötvös-inga és graviméter mérések egységes

feldolgozásának alapja. Facsinay a méréseket Tanakadate típusú amerikai gyártmányú kettős graviméterrel végezte, méréseinek négyzetes középhibájára ± 0.15 mGal-t kapott, amely érték egy nagyságrenddel kisebb, mint az Oltay-féle hálózati mérések hibája (I. táblázat). A graviméteres méréseit a budapesti relatív ingaállomásra mint alapállomásra vonatkoztatta. Alaphálózatának 48 pontja azonos volt az Oltay-féle hálózattal. A két hálózat adatai közötti eltérés 23 állomáson 1 mGal-on belül volt, 8 állomáson 1-2 mGal között, 15 állomáson 2-5 mGal között, kettő állomáson pedig 5 mGal-nál nagyobb volt az eltérés (Szabó és társai, 1989).

C. Morelli olasz geodéta az 1940-es években kiegyenlítette az európai gravitációs főalappontok hálózatát, amelybe bevonta az Oltay által meghatározott budapesti alapállomás g értékét is. A kiegyenlítés után a budapesti nehézségi térerősségre

$$g = 980\,853 \text{ mGal}$$

értéket kapott. Ez az érték alig tér el az R.A. Hirvonen finn professzor által meghatározott

$$g = 980\,853.3 \pm 0.9 \text{ mGal}$$

értéktől (Hirvonen, 1948). Hirvonen az IAG Nemzetközi Izosztáziai Intézete keretében, az 1940-es évek második felében végzett vizsgálataiban, az Oltay-féle eredeti érték (980 852 mGal) izosztatikus redukálása alapján nyerte ezt az értéket. Az Intézet célja és feladata a különböző országokban végzett gravitációs mérések izosztatikus elemzése és redukálása volt. Elkészítette a szükséges számítási táblázatokat és térképeket a redukáláshoz. Így pl. egész Európára készítették teljes körű izosztatikus redukálási térképet (Homoródi, 1966).

Az első országos gravimetriai alaphálózati rendszert (MGH-50) a Műegyetem Geodéziai Tanszékén levő magyarországi gravitációs főalapponthoz (G.P.) kötötték be, s ezen keresztül az MGH-50 jelű gravimetriai alaphálózatunk a potsdami nemzetközi gravitációs rendszerbe illeszkedik. Ennek során az MGH-50 országos gravimetriai alaphálózat kiinduló (referencia) értékül nem pontosan az Oltay által meghatározott értéket, hanem a C. Morelli által kiegyenlített európai főhálózatból származó értéket (980 853 mGal) fogadták el, mert ez közelítette meg leginkább a Hirvonen által meghatározott fenti értéket (Facsinay-Szilárd, 1956; Renner, 1959 és Renner-Szilárd, 1959). A műegyetemi főpont és további három alaphálózati pont (a Műegyetem kertjében (17.sz.), a Petneházi réten (16.sz.) és a Ferihegyi repülőtéren (I.sz.) elhelyezett pont) bevonásával egy ún. „kishálózatot” létesítettek, majd e szűkebb hálózat méréseit külön kiegyenlítették, amelynek végeredménye az MGH-50 Ferihegyi I. számú I.-rendű pontjának nehézségi térerősség értéke ($g = 980\,824.44$ mGal). Ez az érték az MGH-50 I.-rendű hálózat kiinduló (referencia) értéke, a Ferihegyi alappont pedig Magyarország gravimetriai főalappontja volt 1955 és 1980 között.

A földi nehézségi erőter globális szerkezetének meghatározását és az ehhez elengedhetetlenül szükséges gravimetriai anyagok (adatok, térképek, stb) gyűjtését világméretű kiterjedésben elsőként W.A. Heiskanen professzor és munkatársai végezték az Ohioi Állami Egyetem (OSU, USA) Felsőgeodéziai Tanszékén. Gravimetriai adatok gyűjtése céljából Heiskanen professzor 1959 szeptemberében járt Európa több országában, köztük hazánkban is. Magyarországon több szakemberrel is folytatott megbeszélést, ennek ellenére nehézségi adatokat – Bouguer-anómália térkép kivételével – nem kapott. Később utódja U.A. Uotila professzor járt Magyarországon 1964-ben szintén gravimetriai adatok gyűjtése céljából. A kapcsolódó beszámolójában (OSU Report No. 78) ott találjuk a Renner-Szilárd (1959) szakirodalom megjelölést, amely tartalmazza az MGH-50 első országos gravimetriai alaphálózatunk teljes gravimetriai adatállományát (amelyet itthon 1956-1989 között csak a TÜK szabályai szerint lehetett használnunk), a nehézségi térerősség adatokat tartalmazó táblázatában pedig már szerepel az Oltay-féle főpont gravitációs értéke. Így biztosra vehetjük, hogy ez az adat bekerült az 1960-as évek második felében az OSU-ban meghatározott geopotenciál modell együtthatók meghatározásába felhasznált kiinduló adatbázisba (Ádám, 1993).

Az MGH-50 magyar és angol nyelven közzétett gravimetriai anyagát (Renner, 1959; Renner-Szilárd, 1959) egy tanulmányút keretében 1989-ben tudtuk megfelelő formában átadni az OSU Felsőgeodéziai Tanszékének gravimetriai adatbázisába való feltöltés céljából. A közzétett nehézségi rendellenességekből $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ és $1^\circ \times 1^\circ$ méretű felületelemre vonatkozó átlagos nehézségi rendellenességeket számítottunk (Ádám, 1993), amelyeket R.H. Rapp professzor vezetésével végzett geopotenciál modell-meghatározásokban (elsőként az OSU89A és OSU89B gömbfüggvénysor együtthatóinak számításában) használtak fel. Ettől fogva az adatbázis részeként további számos modell (pl. EGM96, EGM2018, stb) meghatározásában szerepel bemenő adatként.

Az MGH-50 gravimetriai alaphálózat adatállományát átadtuk a Hannoveri Egyetem Felsőgeodéziai Tanszék gravimetriai adatbankjába való feltöltéshez is, amelyet W. Torge professzor vezetésével az európai geoidfelület nagy pontosságú és részletes felbontású (elsőként az EGG97 európai geoidfelület, majd az EGG2008 és EGG2015) meghatározásába vontak be. Az adatállományt átadtuk az IAG Nemzetközi Gravimetriai Irodájának (Bureau Gravimétrique International, BGI) is a nemzetközi adatbankba való felvétel céljából.

Az MGH-50 adatállománya csereadatként is szolgált a szomszédos országok (Ausztria, Horvátország, Lengyelország, Románia, Szlovákia és Ukrajna) illetékes szakembereivel történő együttműködésben.

Az említett magyarországi gravimetriai adatok bevonásával jobb geopotenciál modellek állnak rendelkezésünkre a geoid nagyfelbontású (finomszerkezetű) magyarországi felületdarabja meghatározására.

Az ingaterem felújítása és a főalappont helyreállítása

Az elmúlt 50 évben az ingaterem nagyon sok változáson esett át. 1967-68-ban Halász Ottó, az Építőmérnöki Kar akkori dékánja és Rédey István tanszékvezető megegyezését követően a Kar Acélszerkezeti laborja költözött e helyiségekbe (Horváth, 2018). Mivel az új funkció ellátását a hőkiegyenlítési céllal épített boltívek és a pillérek hátráltatták, ezeket a szerkezeteket elbontották. Bár az elbontás előtt a szerkezetek alakjáról és helyzetéről pontos felmérések készültek, azok ma már sajnos nem fellelhetők. Miután 1975-ben átadták a BME Építőmérnöki Labor új épületét, a felszabadult területen a Geodéziai Intézet Laboratóriuma újra az eredeti helyiségekben működhetett. Későbbi átépítésekkel ezen alagsori területen kerültek elhelyezésre az Általános Geodézia Tanszék majd később az átszervezésekkel megalakult Általános- és Felsőgeodézia Tanszék számítógép laborjai és néhány oktatói szobája.

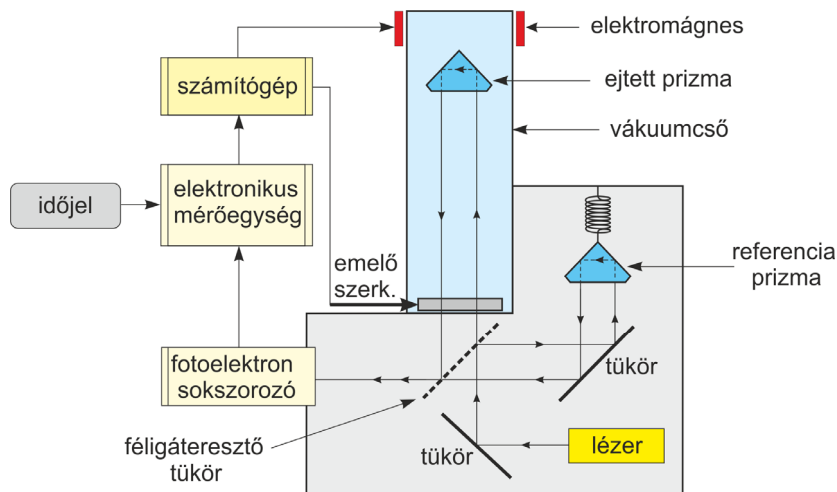
2014-ben lehetőségünk nyílt a tanszék alagsori területének teljes felújítására. Ennek keretében szétválasztottuk az oktatási és az irodai területeket, így az egykori ingaterem területén tantermeket alakítottunk ki. Az átépítés tervezése során ügyeltünk arra, hogy a 3. és a 4. ábrán méretekkel ellátott gravitációs főalappont alapját feltárjuk. A padozat elbontását követően láthatóvá vált az 1,8 m × 14,5 m-es alaptest, amely mintegy 20 cm széles dilatációs hézaggal különül el a BME Központi épületének szerkezetétől. Így megállapítottuk, hogy szerkezeti szempontból a pont akár ismét gravitációs alappontként is szolgálhatna.

Az átépítést 2016 februárjában fejeztük be. Az egykori pillérek teljes helyreállítása a tantermi funkciókkal összeegyeztethetetlennek bizonyult, ezért a két egykori pillér helyét a padozatban zöld színű tarkett borítással jelöltük meg.

Mivel az átépítés során az egykori gravitációs főalappont alapját sértetlenül fel tudtuk tární, azonnal felmerült a lehetőség, hogy az egykori főalapponton a nehézségi térerősséget abszolút graviméterrel ismételtlen meghatározzuk és az eredményeket az Oltay-féle mérésekkel összevessük. Ez egyben lehetővé tehetné azt is, hogy hazánk első gravitációs főalappontja újra elfoglalhassa méltó helyét a hazai gravimetriai alaphálózatban.

A főalappont újramérése abszolút graviméterrel 2016-ban

A főalappont g értékének újramérésére alkalmazott műszer a szabadesés megfigyelésén alapuló FG5X-251 típusú abszolút graviméter volt, amelynek elvi felépítése a 10. ábrán látható. A mérés során erősen légritkított térben (vákuumban) több sorozatban speciális szögprizmának kiképzett tömeget ejtünk. A test ejtése, valamint a felső kiinduló helyzetébe történő visszaemelés, elektromágnessel történő rögzítése és az újabb ejtés automatikusan, számítógép vezérlésével történik. A szabadon eső szögprizma része az ábrán látható Michelson-féle aszimmetrikus interferométernek. Az interferométer úgy működik, hogy a lézersugár félig áteresztő tükrön kettéválik, az egyik része irányváltoztatás nélkül továbbhalad és az eső szögprizmán 180° -os törést szenvedve visszajut a félig áteresztő tükröre; míg a másik, ún. referencia-sugárnyaláb megtörik, továbbhalad egy vertikális szeizmográf tömegeként működő referencia-prizmán és többszörös törés illetve visszaverődés után a félig áteresztő tükrön találkozik az eső prizmáról visszavert sugárral. Az ily módon egyesített két sugárnyaláb interferencia jelenséget okoz. Az interferencia miatt "fényerőmodulált" sugárnyaláb fényelektromos (fotoelektron-) sokszorozóba jut, ahonnan erősítés után elektromos jelként átalakítva, elektromos impulzusok formájában lép ki. Az elektromos impulzusokat mérő (számláló) egységbe vezetjük, ahová egyidejűleg rubídium kristály segítségével előállított igen pontos időjelek is kerülnek.



10. ábra. A ballisztikus lézergraviméter elvi felépítése

Az egymást követő Δs_1 és Δs_2 útszakaszon eső szögprizma megfigyelése során a fotoelektron sokszorozóban Δt_1 idő alatt n_1 és Δt_2 idő alatt n_2 számú elektromos impulzus keletkezik, így az útszakaszok hossza

$$\Delta s_1 = n_1 \frac{\lambda}{2} \quad \text{és} \quad \Delta s_2 = n_2 \frac{\lambda}{2},$$

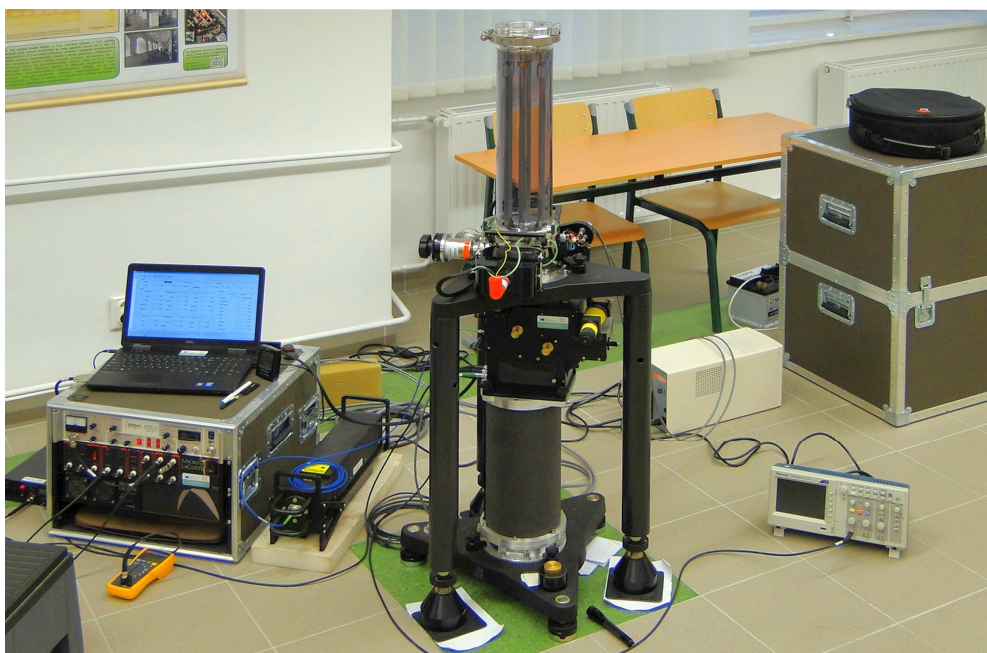
ahol λ a lézersugár hullámhossza. Az elektronikus számláló egység a Δt_1 és a Δt_2 időtartamot rendkívül pontosan, rubídium kristály rezgései alapján határozza meg. Az eredmények illesztő egység (interface) közbeiktatásával számítógépbe kerülnek, amely egy adott ejtésből a

$$g = \left(\frac{\Delta s_2}{\Delta t_2} - \frac{\Delta s_1}{\Delta t_1} \right) \frac{2}{\Delta t_2 - \Delta t_1} + \delta g$$

összefüggés felhasználásával számítja ki a nehézségi erő abszolút értékét (δg a különféle korrekciós tagok összege); valamint a korábbi ejtésekkel meghatározott g értékek felhasználásával folyamatosan statisztikai feldolgozást is végez. Az ejtés és a számítások befejezése után a számítógép utasítást ad az újabb ejtésre.

Az Oltay-féle főalapponton a méréseket a csehországi Pecny Geodéziai Observatórium két munkatársa, Vojtech Pálinkáš (Pálinkáš Béla) és Jakub Kostelecký végezte 2016 május 26. és 27.-én, az USA-ban 2004-ben gyártott Micro-g Solutions FG5X-251 abszolút graviméterrel.

A g értékének meghatározása céljából megfelelő, nyugodt körülmények között 18 sorozatban történtek a mérések, sorozatonként 150 ejtéssel. Egy-egy mérési sorozat kb. 1 órát vett igénybe. A 11. ábrán az FG5X-251 típusú abszolút lézergraviméter látható mérés közben az Oltay-féle főalapponton.



11. ábra. Mérés az FG5X-251 típusú abszolút graviméterrel az Oltay-féle főalapponton

A mérési adatok rögzítése és feldolgozása a Micro-g által fejlesztett *g-software*, valamint a Pecny Geodéziai Observatórium munkatársai által fejlesztett AGDAS szoftver felhasználásával történt. A feldolgozás során a méréseket ellátták valamennyi szükséges javítással, így pl. figyelembe vették az árapály hatását, atmoszférikus korrekciót alkalmaztak, meghatározták a pólusmozgás miatti javítást, a műszer tömegei által okozott tömegvonzási hatást, és további egyéb korrekciók alkalmazását követően (Niebauer és társai, 2011; Pálinkáš és társai, 2016) meghatározták a műszer referencia magasságára vonatkozó g értéket.

Végeredményben az FG5X-251 graviméter $H = 1.2711$ m referencia-magasságában az Oltay-féle ponton 2016. május 26. és 27.-én a g meghatározott értéke (Pálinkáš és társai, 2016):

$$g = 980\,839\,225.66 \pm 2.5 \mu\text{Gal},$$

ahol $1 \mu\text{Gal} = 10^{-8} \text{ m/s}^2$.

A g értékét jelentősen befolyásolhatja a talajvízszint ingadozása, ami akár néhányszor $10 \mu\text{Gal}$ értéket is elérhet (Völgyesi és társai, 2007). Ezt a különböző időpontokban végzett mérések eredményeinek

összehasonlításakor célszerű figyelembe venni. Az Oltay-féle főalappont környezetében a talajvíz szintjét döntően a Duna vízszintje alakítja, az összefüggést a hidrológusok jól ismerik. Oltay g mérései idején a talajvíz szintjét nem ismerjük, ez viszont nem okoz problémát, mert az akkori mérések tized mGal nagyságrendű pontossága mellett a hatása elhanyagolható. Számítva viszont a mostani mérések későbbi megismétlésére a II. táblázatban feltüntettük a mérést megelőző héten a Duna vízszintjének változását (a talajvízszint változása késéssel követi a Duna vízszintjének ingadozását).

II. táblázat. A Duna vízállása Budapesten a méréseket megelőző héten.

Dátum: 2016.	05.20	05.21	05.22	05.23	05.24	05.25	05.26
Vízállás [cm]	284	275	284	277	261	258	291

A vertikális gradiens meghatározása, a mért g érték átszámítása a pontjelre

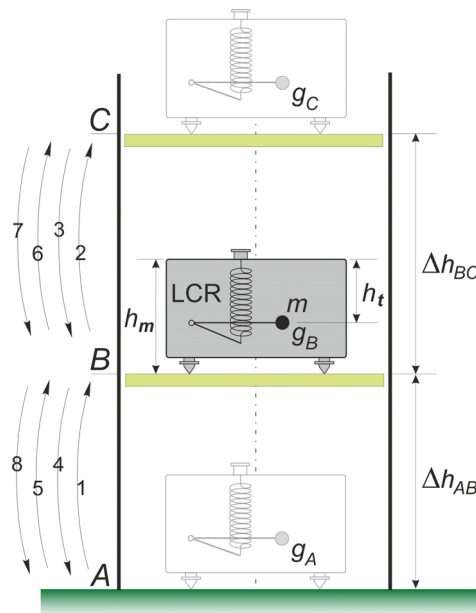
A g mért értékét nem a padlószinti pontjel magasságában kapjuk, hanem ez minden esetben a mérőműszer tömegének ún. referencia magasságában elképzelt fiktív pontra vonatkozik, ami különböző műszerek esetében jelentősen eltér egymástól. Ezért az egységes értelmezés miatt a g mért értékét minden esetben át kell számítani az alappont padlószinti pontjének magasságára, amihez viszont szükségünk van a nehézségi erő vertikális gradiensének (VG) értékére. Sajnos erre a célra nem használható a VG jól ismert 3086E normálértéke (E =Eötvös egység, $1E = 10^{-9} s^{-2} = 10^{-4} mGal/m$), mivel a gyakorlatban a VG valódi értéke jelentősen eltérhet a normálértéktől (például a Mátyás-barlang mikrobázisának 14. pontjában $VG = 2102E$, vagy pl. a siklósi gravitációs alapponton $VG = 3407E$) (Csapó és Völgyesi, 2002).

A VG helyi értékét méréssel kétféle módon: közvetlen és közvetett úton határozhatjuk meg (Csapó és Völgyesi, 2002, 2004). Mi a közvetett meghatározást alkalmaztuk, amelynek az a lényege, hogy a pontjel függőlegesében egymás fölött több különböző h magasságban végzünk relatív graviméteres méréseket, és a VG értékét a

$$VG = \frac{\partial g}{\partial h} \approx \frac{\Delta g}{\Delta h}$$

összefüggés alapján határozzuk meg. Két különböző magasságban mérve egyértelműen meghatározható a VG értéke, 3 vagy 4 pontos mérés esetén megbízhatóbb értéket kapunk és lehetőség van nemlineáris (négyzetes) VG meghatározására is (Csapó és Völgyesi, 2002, 2004).

Mi az 12. ábrán látható alapelv szerint 3 pontos mérést végeztünk az MBFH két különböző (LCR–G 220 és LCR–G 821) LaCoste & Romberg graviméterével A–B–C–B–A–B–C–B–A sorozatban (Szekeres, 2017).



12. ábra. VG mérés elvi vázlata LaCoste & Romberg graviméterrel

Az 13. ábrán a VG mérésekhez használt speciális mérőállvány látható az Oltay-féle ponton, rajta a LaCoste & Romberg graviméterrel.



13. ábra. 3 pontos VG mérés az Oltay-féle főalapponton

A mérések feldolgozása a *VertGrad* szoftverünkkel történt lineáris közelítéssel. A vertikális gradiens értéke a kiegyenlítés után:

$$VG = 3091 \pm 31E \quad (309.1 \pm 3.1 \mu\text{Gal/m}) .$$

Ezzel a VG értékkel számolva az Oltay-féle gravitációs főalappont padlószíni pontjelének g értéke a 2016. évi mérések alapján a pontjel 2016. évi 104.253m Bf. magasságára átszámítva (Szekeres, 2017):

$$g = 980\,839\,618.56 \pm 4.4 \mu\text{Gal} .$$

Értékelés, összefoglalás

Az Oltay által 1915-ben meghatározott g értékkel történő összehasonlítás céljából a 2016-ban abszolút méréssel meghatározott g értéket az Oltay-féle ponthelyre (104.858 m Bf. magasságra) számítottuk át, amelynek során

$$g = 980\,839\,431.55 \pm 4.4 \mu\text{Gal}$$

értéket kaptunk. Figyelembe véve a potsdami rendszer és az abszolút rendszer közötti -14 mGal szabályos eltérést (ettől a hazai vizsgálatok alapján kapott -13.94 mGal alig tér el (Csapó, 2008)), akkor az 1908-ban és 1915-ben meghatározott Oltay-féle értéknek (980 852 mGal)

$$g = 980\,838 \text{ mGal}$$

érték felel meg (a 14 mGal levonása után), amely a megadott középhiba (± 3 mGal) mértékének megfelelően jó összhangot mutat az abszolút graviméterrel szélső pontossággal meghatározott és azonos ponthelyre vonatkozó jelenlegi értékkel.

Még jobb az egyezés a C. Morelli olasz geodéta által kiegyenlített európai főhálózatból származó érték (980 853 mGal) javított változatával:

$$g = 980\,839 \text{ mGal} ,$$

vagy a Hirvonen finn professzor által izosztatikusan redukált és a -14 mGal-lal javított értékével:

$$g = 980\,839.3 \text{ mGal} .$$

Ez a kedvező körülmény jól megerősíti azt, hogy az MGH-50 hálózat alapszintjének megadásához jó érzékkel választották a Morelli-féle európai kiegyenlítés alkalmával nyert 980 853 mGal-t kiindulási értékül.

Az 1915-ben (és 1908-ban) létesített gravitációs főlapponton relatív ingaméréssel meghatározott érték az első olyan g érték Magyarországon, amely már a nemzetközi potsdami gravitációs rendszerben, annak kiinduló értékének ($981\,274 \pm 3$ mGal) pontossági szintjén meghatározott gravitációs érték ($980\,852 \pm 3$ mGal). Ez az adat alapul szolgált az Oltay-féle és a Facsinay-féle gravitációs hálózat méréseinek feldolgozásához, ezen hálózatok gravitációs alapszintjét biztosította (a hálózatok pontjai g értékének számításához kiindulási értékül szolgált).

Megállapíthatjuk, hogy Oltay Károly teljesítményével kiváló értéket határozott meg, elismerésre méltó eredményt ért el, így az ezen alapuló hálózatok (az Oltay-féle és a Facsinay-féle hálózat, illetve az MGH-50) alapszintje a valóságos nehézségi erőteret helyesen jellemzi és jól képviseli. 100 év elteltével van közvetlen bizonyítékunk nagy pontossággal arra nézve, hogy az általa meghatározott g érték mennyire volt helyes. A főlappont és az erre épülő gravitációs alaphálózat létesítésével Oltay Károly messze megelőzte az Állami Földmérés akkori igényeit.

Ebben alapvető szerepet játszott a tanszék Magyar Geodéziai Intézet (GI) elnevezésű egysége, mely 1907-ben kezdte meg a működését az Eötvös-féle kutatások keretében, annak szükségletei szerint. A munkálatok a nehézségi gyorsulás budapesti értékének meghatározásával indultak meg 1908-ban, amit Potsdam és Budapest közötti relatív ingamérésekkel végeztek el. Az Eötvös-féle meghatározások pontosságának megállapítására szabatos csillagászati-geodéziai és nehézségi gyorsulás méréseket végeztek. A GI-nek külön személyzete nem volt, a Geodéziai Tanszék személyzete végezte a terepi méréseket oktatási szünetekben (főleg nyári időszakban). Kiemeljük Bodola Lajos professzor szerepét is, hiszen az új Műegyetem létesítése alkalmából ő érte el, hogy a tanszék keretei között a legmodernebb igényeket is kielégítő külön intézet (a GI) létesüljön és ennek korszerű felszerelését is részben tudta biztosítani. A felszerelés kiegészítése viszont Eötvös Lorándnak köszönhető, aki, hogy a torziós ingával végzett méréseihez szükséges felsőgeodéziai adatokat nagy pontossággal kaphassa meg, a rendelkezésére bocsátott állami támogatás jelentős részével a GI-t nagyon értékes, modern felszereléshez juttatta. Végül megemlíthetjük, hogy a GI-nek önálló pénzügyi kerete nem volt, a terepi méréseket, azok feldolgozását és közzétételét azokból az összegekből végezhette, melyeket különböző hazai intézmények és szervezetek (a Magyar Tudományos Akadémia, a m. kir. Kereskedelemügyi Minisztérium, a m. kir. Vallás- és Közoktatásügyi Minisztérium, a Magyar Természettudományi Tanács és a Széchenyi Tudományos Tanács) bocsátottak rendelkezésre (Oltay, 1931, 1934, 1936).

A Műegyetem Geodéziai Tanszékének Magyar Geodéziai Intézete keretében létesített gravitációs alapállomás Magyarország első gravitációs főlappontja volt 1915-1955 között (további főlappontok: Ferihegyi alappont 1955-1980 között $980\,824.44$ mGal értékkel és jelenleg a Mátyás-hegyi főlappont 1980-tól $980\,824\,275$ μ Gal értékkel).

Az Oltay-féle főlappontot a padlószinti pontjelére vonatkozó, 2016. évi mérések alapján meghatározott g értékével bevonták az MGH-2013 jelenleg érvényes magyarországi gravimetriai alaphálózat pontjai közé, amely a hálózat abszolút pontjainak számát növeli magas pontossági szinten.

Irodalom

- Ádám J. (1993): Magyar gravimetriai adatok bevonása a földi nehézségi erőter potenciálja gömbfüggvény-együtthatóinak legújabb meghatározásába. *Geodézia és Kartográfia*, 45/2, 73-82. old.
- Biró P.-Ádám J.-Völgyesi L.-Tóth Gy. (2013): *A felsőgeodézia elmélete és gyakorlata*. Egyetemi tankönyv és kézikönyv, HM Zrínyi Térképészeti és Kommunikációs Szolgáltató Nonprofit Kft., 508 old., Budapest.
- Csapó G. (2008): A magyarországi gravimetriai alaphálózatok vonatkoztatási rendszereinek összehasonlítása. *Magyar Geofizika*, 43/4, 105-110. old.
- Csapó G.-Völgyesi L. (2002): A nehézségi erő vertikális gradiensének mérése és szerepe a nagy pontosságú graviméteres méréseknél magyarországi példák alapján. *Magyar Geofizika*, 43/4, 151-160. old.
- Csapó G.-Völgyesi L. (2004): Újabb mérések a vertikális gradiens (VG) értékének meghatározására. *Magyar Geofizika*, 45/ 2, 64-69. old.
- Facsinay L.- Szilárd J. (1956): A Magyar Országos Gravitációs Alaphálózat. *Geofizikai Közlemények*, V. kötet, 2. szám, 3-49. old.
- Homoródi L. (1966): *Felsőgeodézia*. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Homoródi L. (1984): *Geodéziai alaphálózatok*. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Horváth K. (2018): személyes kommunikáció.
- Hirvonen, R.A. (1948): On the establishment of the values of gravity for the national reference stations. Publications of the Isostatic Institute of the International Association of Geodesy, No. 19, Helsinki.
- Niebauer T.M.-Billson R.-Ellis B.-Mason B.-van Westrum D.-Klopping F. (2011): Simultaneous gravity and gradient measurements from a recoil-compensated absolute gravimeter. *Metrologia* 48, 154-163 old.
- Oltay K. (1917): A nehézséggyorsulás budapesti értékének meghatározása. Báró Eötvös Loránd geofizikai kutatásainak felsőgeodéziai munkálatai I., Franklin-Társulat nyomdája, Budapest.
- Oltay K. (1931): A Magyar Geodéziai Intézet működése megalakulásától 1930-ig. *Geodéziai Közöny*, VII, 8-16, 92-96, 148-169 és 195-203 old.
- Oltay K. (1934): A Magyar Geodéziai Intézet működése 1930-tól 1932 végéig. *Geodéziai Közöny*, X, 1-16. old.
- Oltay K. (1936): A Magyar Geodéziai Intézet működése 1933 júniustól 1936 júniusig. *Geodéziai Közöny*, XII, 136-153. old.

- Pálinkás V.-Kostelecký J.-Valko M.* (2016): Measurement Certificate, Z-MC-PEC-G-02. Geodetická Observator Pecny, Ondrejov, 4 October 2016.
- Renner J* (1959): A Magyar Országos Gravitációs Alaphálózat végleges feldolgozása. ELGI *Geofizikai Közlemények*, VIII/3, 105-141. old., Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- Renner J.-Szilárd J.* (1959): Gravity Network of Hungary. *Acta Technica*, XXIII/4, 365-395. old., Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Szabó Z.* (2004): A gravitációs és földmágneses kutatások története Magyarországon. *Magyar Geofizika*, 45. évf. jubileumi különszáma, 3-21. old.
- Szabó Z.-Ádám J.-Czobor Á.-Bölcsvölgyiné Bán M.* (1989): A gravitációs mérések és geodéziai felhasználásuk hazai helyzete. *Geodézia és Kartográfia*, 41/5, 334-342. old.
- Szekeres Sz.* (2017): Vertikális gradiens meghatározása az Oltay-féle gravitációs alapponton. MSc Diplomamunka, BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék, Budapest.
- Szilárd J.* (1980): Sterneck érdemei a nehézségi erő mérése terén. *Geodézia és Kartográfia*, 32/2, 105-110. old.
- Völgyesi L.-Ádám J.-Csapó G.-Nagy D.-Szabó Z.-Tóth Gy.* (2006): Az 1906-os budapesti IAG konferencia geodéziai és geofizikai jelentősége. Megemlékezés a 100 éves évforduló alkalmából. *Geodézia és Kartográfia*, 58/8, 6-21. old.
- Völgyesi L.-Csapó G.-Szabó Z.-Tóth Gy.* (2007): A nehézségi erőter időbeli változása a talajvízszint ingadozásának hatására. *Geomatikai Közlemények*, X, 159-166. old.

Summary

Remeasurement of the first gravity reference station of Hungary established 100 years ago at the Budapest University of Technology and Economics (BME)

The first gravity reference station of Hungary was established by Károly Oltay, professor and head of former Department of Geodesy, Technical University of Budapest. The station was located in the pendulum hall and its gravity value ($g = 980\,852$ mGal) was derived in 1915 from relative pendulum measurements with respect to the reference station at Geodetic Institute in Potsdam. The network of European gravity reference stations was adjusted by C. Morelli in the 1940's and he got $g = 980\,853$ mGal for the station established by Oltay. This value only slightly differs from the one obtained by Finnish professor R.A. Hirvonen ($g = 980\,853.3$ mGal), who used isostatic reduction in his calculations.

The pendulum hall was reconditioned in 2016, during which the reference station was identified and restored. Gravity was measured at the reference station between 26-27 May, 2016 with the FG5X (No.251) absolute gravity meter by staff members of the Czech Geodetic Observatory (Pecny, Ondrejov). Vertical gravity gradient was also required to be measured at the station to reduce gravity measurements to the benchmark and to compare with the old g value. The measured vertical gravity gradient (-0.3091 mGal/m) served on the one hand to calculate g for the benchmark (allowing our reference station to be fit into the present operative gravity base network of Hungary (MGH-2013)). On the other hand it facilitated calculating g for the benchmark established by Oltay for comparisons. When the systematic difference of -14 mGal between the reference system of Potsdam and the absolute system (or the value of -13.94 mGal based on local studies) is accounted for, the value obtained by us in 2016 ($g = 980\,839\,431.55$ μ Gal) agrees well with the value obtained by Oltay.



Dr. Ádám József
egyetemi tanár

BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék
jadam@epito.bme.hu



Dr. Rózsa Szabolcs
egyetemi docens

BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék
rozsa.szabolcs@epito.bme.hu



Dr. Tóth Gyula
egyetemi docens

BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék
gtoth@sci.fgt.bme.hu



Dr. Völgyesi Lajos
Professor Emeritus

BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék
volgyesi@eik.bme.hu
<http://www.agt.bme.hu/volgyesi>