

A Sopronbánfalvi Geodinamikai Obszervatórium története

Mentes Gyula

DOI: <https://doi.org/10.30921/GK.71.2019.6.1>

Absztrakt: A tanulmány a Sopronbánfalvi Geodinamikai Obszervatórium (SGO) történetét mutatja be az építéstől 2019-ig, a benne folyó mérések ismertetésével. A kezdeti kísérletezgetés után a folyamatos horizontális ingamérések 1972-ben kezdődtek egy pár Thomaschek–Ellenberger-ingapárral. A hagyományos fotoregisztrálás kiküszöbölésére kezdetben fénykövetős regisztrálót, majd 1973-ban kapacitív mérőátalakítós horizontális ingát fejlesztettek ki, amellyel már megvalósítható volt a teljesen elektronikus regisztrálás. 1990-ben abbahagyták a horizontális ingaregisztrálásokat. 1990-ben egy terepi rugós gravimétert alakítottak át elektronikus regisztrálásúvá, amellyel 1999-ig regisztrálták a gravitációs árapályt. Ugyancsak 1990-ben egy kvarccsőves extenzométert építettek lokális tektonikai deformációk, a szilárd Föld árapályának és a vele kapcsolatos geodinamikai jelenségek, mint pl. az FCN vizsgálatára. Ez a műszer folyamatosan működik napjainkban is. 2009-től szimultán extenzométeres és radonkoncentráció-mérések egy AlphaGuard műszerrel lehetővé teszik a kőzetfeszültség és a radonkoncentráció változásai közötti összefüggés tanulmányozását. 1991-től egy mikrobarográf üzemel az obszervatóriumban az atmoszférikus árapály tanulmányozására. A Thomaschek–Ellenberger-ingapár kivételével az obszervatóriumban üzemelő műszereket és az azok kalibrálására kifejlesztett eszközöket az egykori MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézetben (ma MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézet) fejlesztették ki. A tanulmány a műszerek bemutatására koncentrál, míg a műszerek és a mérési eredmények részletes ismertetése a hivatkozott publikációkból ismerhető meg.

Abstract: The study presents the history of the Sopronbánfalva Geodynamic Observatory from construction to 2019 with the measurements in it. After the initial experimentation, the continuous horizontal pendulum measurements with a pair of Thomaschek–Ellenberger pendula began in 1972. To eliminate traditional photo-registration, a light-tracking recorder was first and then, in 1973, a horizontal pendulum with capacitive transducer was developed, providing a fully electronic registration. In 1990, horizontal pendulum recordings were discontinued. In 1990, a field spring gravimeter was converted to electronic registration, which until 1999 recorded tidal gravity. Also in 1990 a quartz tube extensometer was built for investigations of local tectonic deformations, solid Earth' tides and related geodynamic phenomena such as e.g. FCN. This instrument is still working today. From 2009, simultaneous extensometer and radon concentration measurements with an AlphaGuard instrument allow the study of the relationships between rock strain and radon concentration variations. Since 1991, a microbarograph has been operating at the observatory to study atmospheric tides. With exception of the Thomaschek–Ellenberger pendulum, the instruments used in the observatory and their calibration devices were developed in the former Geodetic and Geophysical Research Institute of HAS (today RCAES Geodetic and Geophysical Institute of HAS). The paper focuses on the presentation of the instruments, while the detailed description of the instruments and the measurement results can be found in the cited publications.

Kulcsszavak: horizontális inga, graviméter, extenzométer, mikrobarográf, árapály, tektonikai deformáció

Keywords: horizontal pendulum, gravimeter, extensometer, microbarograph, Earth' tides, tectonic deformation

1. Bevezetés

Sopronban 1955-ben alakult meg az MTA Geodéziai, ill. Geofizikai Kutató Laboratórium. 1956-tól Tárczy-Hornoch Antal vette át a Geofizikai Kutató Laboratórium vezetését is, és ettől kezdve egységes irányítás alatt működött a két intézmény. Mivel a földtudományok nem létezhetnek obszervatóriumi mérések nélkül, ezért az egyik elsőrendű feladat volt olyan obszervatóriumok létesítése, melyek az alap kutatásokhoz nélkülözhetetlenek. E terv keretében létesült a Nagycenki Geofizikai Obszervatórium, ahol 1959-től

rendszeres geodéziai mérések is folytak a földrajzi szélesség mérése és a pólusingadozás vizsgálata céljából. 1968-ban Sopronbánfalván elkészült a gravitációs obszervatórium a szeizmológiai mérések és a földi árapály kutatása céljából (Somogyi 1980). Mivel egy obszervatórium története tulajdonképpen a benne folytatott mérések, vizsgálatok története, ez a tanulmány időrendi sorrendben ismerteti a benne folyó méréseket. Természetesen az obszervatóriumban több mérés is folyt, ill. folyik párhuzamosan, amelyek nem egy időben kezdődtek, és nem egy időben fejeződtek be, ezért az időrendi

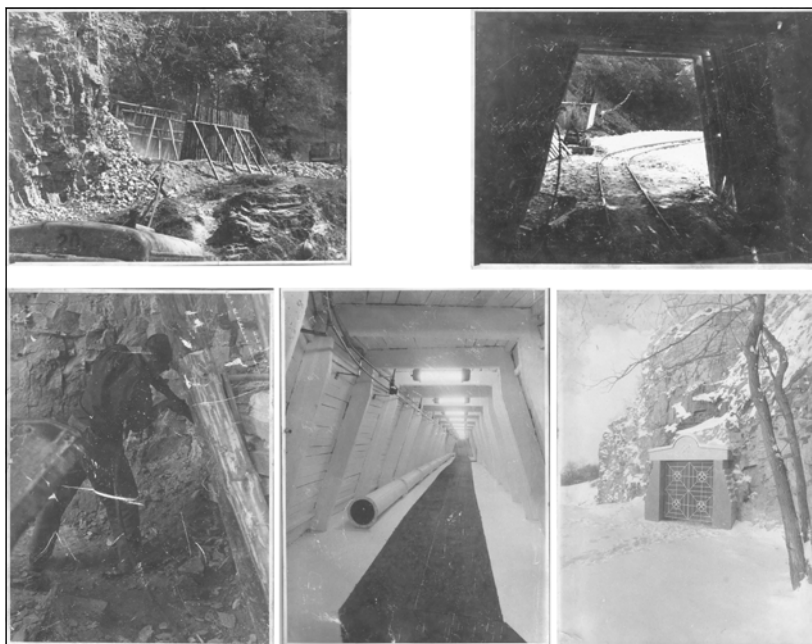
sorrend sem lehet teljesen pontos. A tanulmány célja az obszervatóriumban folyó horizontális ingamérések, gravitációs és extenzométeres, valamint a barometrikus árapály, a radonkoncentráció változásoknak geodinamikai jelenségekkel való összefüggésével kapcsolatos vizsgálatok, mérések bemutatása. A tanulmány röviden ismerteti a mérésekhez használt, ill. kifejlesztett műszereket. A műszerek részletes működését, a kapott mérési eredményeket – a tanulmány terjedelme miatt – a hivatkozott publikációkból lehet részletesen megismerni. Csak néhány esetben történik rövid említés az elvekről és

néhány eredményről a könnyebb érthetőség érdekében.

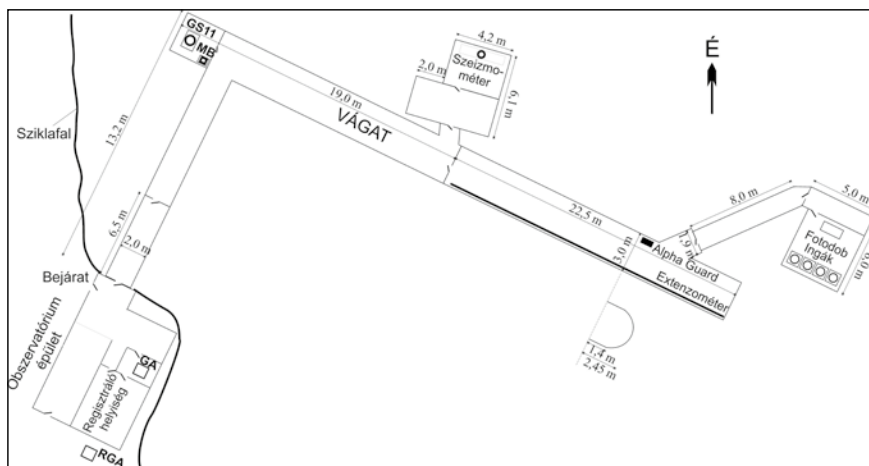
2. Az observatórium létesítése

A földi árapály kutatásához nagy érzékenységű műszerek szükségesek, amelyek elhelyezésére olyan mérőhely kialakítására van szükség, amelyben a hőmérséklet változása elhanyagolhatóan kismértékű, és a környezeti, mikro szeizmikus zajok sem zavarják a műszerek működését. Így esett a választás a sopronbánfalvi kőfejtőre, amely a Soproni-hegység gneisz formációjában helyezkedik el. Mivel a Soproni-hegység a kristályos alapkőzet felszínre törése (Kisházi–Ivancsics 1985), ezért az observatórium helyének kijelölése igen szerencsés volt, amit az observatóriumban végzett geodinamikai mérések utólag igazoltak.

Az observatórium vágatát a tudomány támogatására az Oroszlányi Szénbányák ingyen készítette el, és a munkálatokat pedig volt brennbergi bányászok végezték. A vágatkészítés képei az 1. ábrán láthatók. A vágat 1962-ben készült el. A vágat bejáratát az 1. ábra jobb alsó képe mutatja. Az observatóriumot Egyed László professzor már 1973-ban bekapcsolta az országos szeizmológiai hálózatba. A külső épület elkészülése után az observatórium véglegesen 1968-ban került átadásra. Az építés másik célja egy stabil hőmérsékletű műszervizsgáló laboratórium létrehozása volt, mivel az MTA Geodéziai Kutató Laboratóriuma a Magyar Optikai Művekkel (MOM) szoros kapcsolatban vett részt a műszerfejlesztésekben és a műszerek prototípusának bevizsgálásában. Ez utóbbi célra azonban csak rövid ideig használták, mivel 1973-ban – Somogyi József igazgatósága alatt – elkészült az akkor már MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet (1972-től) új épülete, amelynek alagsorában egy korszerű műszervizsgáló csarnok került kialakításra (Závoti 2005). Az observatórium alaprajzát a vágat méreteivel és a különböző időben használt műszerek elhelyezésével a 2. ábra mutatja. Az observatórium látképe a külső épülettel a 3. ábrán látható.



1. ábra. A Sopronbánfalvi Geodinamikai Observatórium vágatépítésének képei



2. ábra. Az observatórium alaprajza a vágat méreteivel, a régi és jelenlegi műszerek elhelyezésével



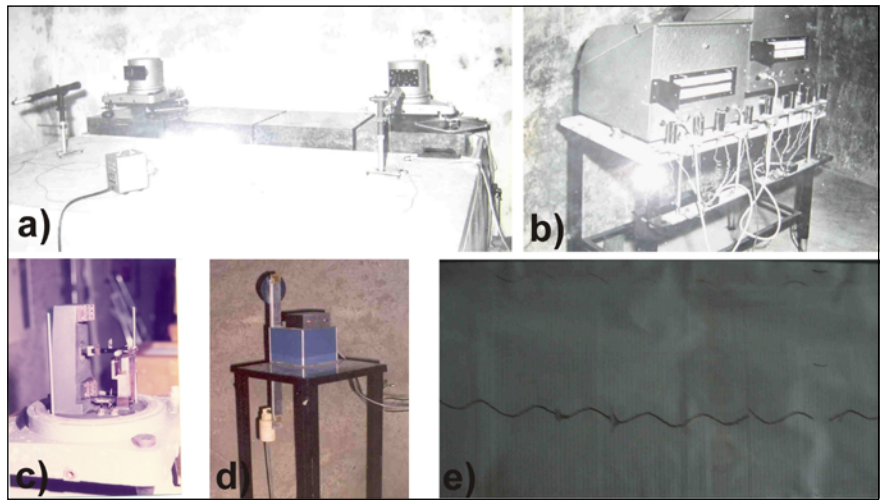
3. ábra. Az observatórium látképe

3. Horizontális ingamérések

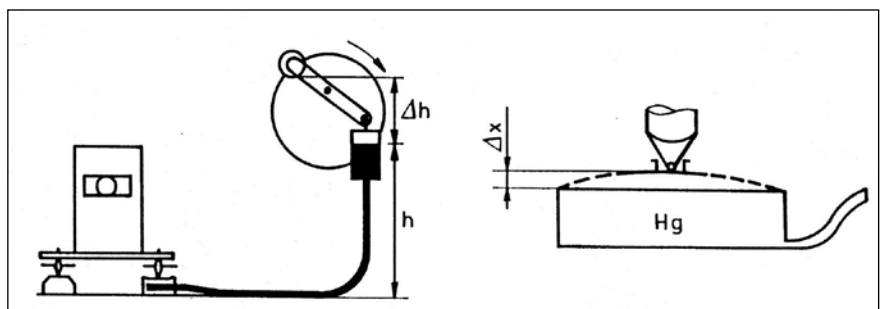
3.1. Regisztrálás Thomaschek–Ellenberger-ingapárral

Az obszervatórium 1968-as átadása után a szilárd Föld árapálya észak-déli és kelet–nyugati komponensének regisztrálása, valamint a Keleti-Alpok tektonikai mozgásvizsgálata céljából egy Thomaschek–Ellenberger fotoregisztrálású ingapár került beszerzésre. Az első kísérleti regisztrálások (Czucor Ernő, Halmai Endre, Tárczy-Hornoch Katalin, Ullrich Gyula) után a folyamatos ingaméréseket Bartha Gáborral 1972-ben indítottuk el. Az ingakamrában felállított ingákat, a regisztráló fotódobokat a 4. a és b ábrák mutatják. A műszerek heti hitelesítésére az inga talpcsavarja alá helyezett higanyos nyomó dobozt (crapaudine) használtunk (Melchior 1978), amely rozsdamentes acélból készült, és amelyben a higany nyomását a higanyedény lassú emelésével változtattuk. A higanyemelőt a 4. d ábra mutatja. A higanyos nyomó doboz kb. 5 mm vastag acélmembránja a higany hidrosztatikus nyomásváltozása hatására „kidudorodott”, amellyel az inga dőlését egy kis mértékben megváltoztattuk (5. ábra). A higanyos hitelesítő berendezést az intézet laboratóriumában lézinterferométerrel kalibráltuk.

A fotoregisztrálás kiküszöbölésére egy kétsatornás feszültségkompenzációs regisztrálót (kompenzátort) alakítottunk át úgy, hogy a kompenzátor író tollának csuszájára két hídba kapcsolt fotóellenállást szereltünk fel, amelyekre az ingakaron levő tükörről a fény sugar szimmetrikusan verődött vissza (6. ábra). A híd kimeneti jele került a kompenzátor bemenetére. A kompenzátorok esetében az író toll addig mozdul el, amíg a csuszájához csatlakozó csúszó érintkezőn egy lineáris ellenállásról levett feszültség meg nem egyezik a bemeneti feszültséggel. Ha az ingakarra erősített tükörről visszaverődő fény sugar valamilyen irányban elmozdul, akkor a fotóellenállások értéke és ezzel együtt a híd kimeneti feszültsége megváltozik. Ezzel a módszerrel sikerült elérni, hogy a fotóellenállások követték a fény elmozdulását,



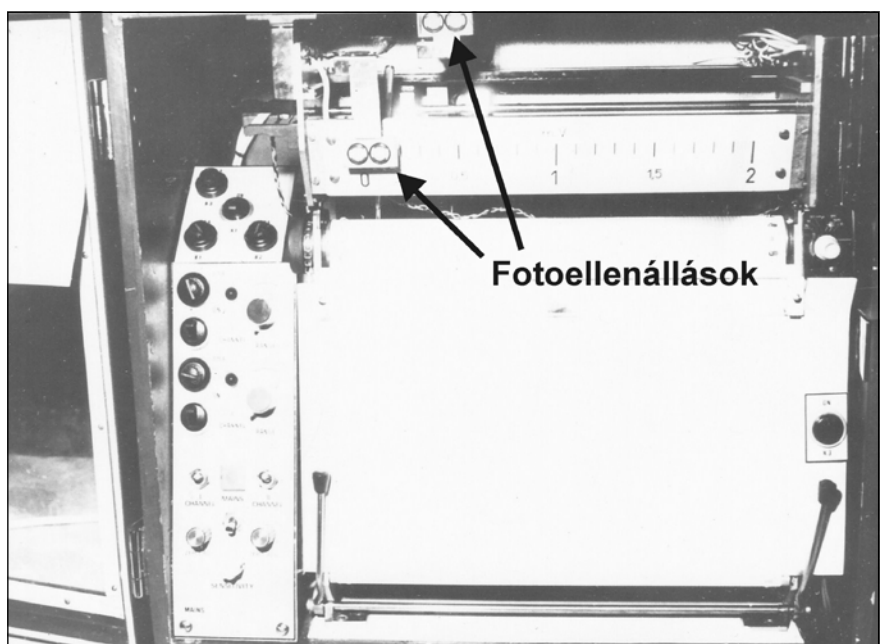
4. ábra. a) Thomaschek–Ellenberger-ingapár b) fotódob-regisztráló, c) Thomaschek–Ellenberger-inga felépítése d) crapaudine higanyemelője e) fotoregisztrátum



5. ábra. A higanyos nyomó dobozzal való hitelesítés elve

és az író tollak az egyenletes sebességgel mozgó regisztrálópapírra rajzolták az ingakar elmozdulását (Mentes 1979). Ezzel a módszerrel kiküszöbölhetővé vált a heti fotópapírcsere, amely mindig az ingák megzavarásával járt együtt.

A Thomaschek–Ellenberger-ingákkal és a Grazi Egyetem Verbaandert–Melchior-ingáival párhuzamos méréseket is végeztünk Sopronbánfalván és a grazi Schlossberg alatt levő obszervatóriumban is. A mérések eredményeit Bartha (1973, 1976) ismertette.



6. ábra. A fénykövetős regisztráló

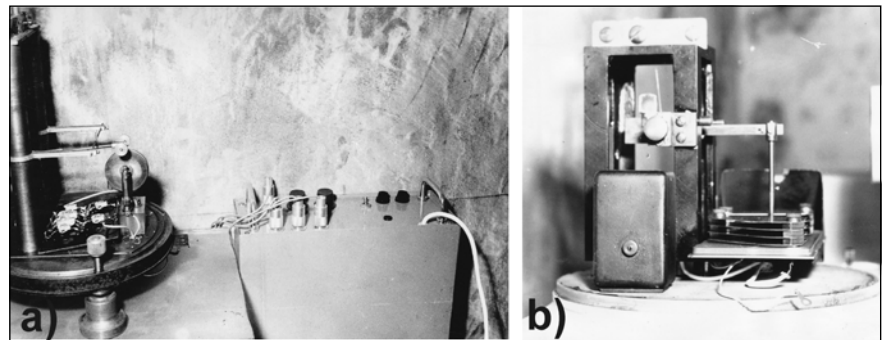
3.2. Regisztrálás kapacitív mérőátalakítós horizontális ingával

1972-ben Alpár Gyula igazgatóhelyettes javasolta, hogy az ASKANIA vertikális fúrólukingájához hasonlóan kapacitív mérőátalakítóval kellene a horizontális ingakar mozgásait érzékelni. Még ebben az évben megkezdődtek a fejlesztési munkák (7. ábra) és 1973-ban elkészült a CPI kapacitív átalakítós horizontális ingapár (8. ábra), valamint 1975-ben annak továbbfejlesztett HI-175 típusjelű változata (9. ábra). A horizontális ingáknak a vertikális ingákhoz képesti 20 000-30 000-szeres mechanikai szögnyagytását elektronikus úton sikerült tovább nagyítani. A laboratóriumi kalibrálások alapján a kapacitív érzékelős horizontális ingákkal 10^{-6} szögmásodperces ($\sim 0,00485$ nrad) felbontást sikerült elérni (Mentes 1986a, 1986b), amelyet a mikroszeizmikus zajok miatt a regisztrálás során nem tudtunk kihasználni. A kapacitív ingák felépítését, kalibrálását Mentés (1979, 1981, 1983, 1985, 1986a, 1986b), a mérési eredményeket Bartha (1973, 1976, 1978), Bartha-Czompó (1983) és Mentés (1986b) ismerteti.

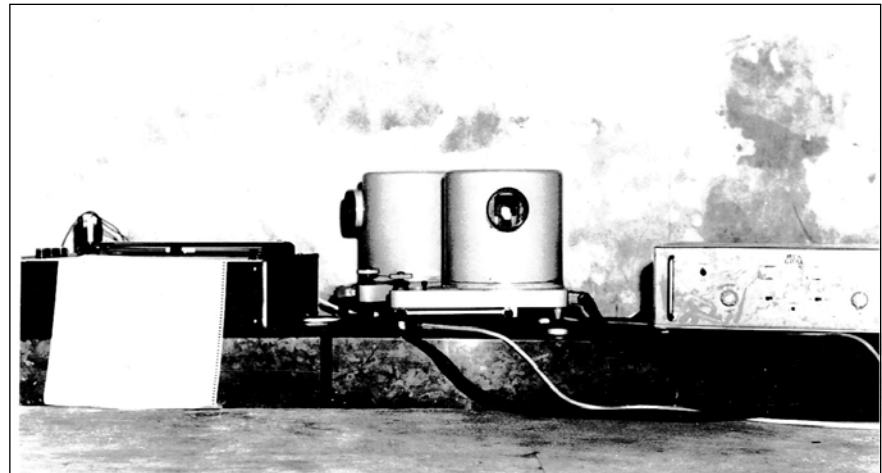
Mivel a nagy érzékenyséű ingák nemcsak a lokális tektonikai dőlések, hanem távoli földrengések hatására is kimehettek a méréstartományból, ezért gyakran (néhány hetenként) kellett rajtuk nullpontot állítani, ami hosszadalmas időt (10–50 perc) vett igénybe. Az observatóriumban levő magas radonkoncentráció miatt 1990-től az ÁNTSZ (Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálat) korlátozta a vágatban tartózkodás idejét, ezért a horizontális ingaregisztrálásokat megszüntettük. Az 1980-as évek vége felé a horizontális ingamérések jelentősége lecsökkent a nehézkes kezelés és a zavaró hatásokra való érzékenység miatt, ami nem tette lehetővé hosszú, folyamatos regisztrátumok előállítását, ezért a legtöbb observatóriumban felhagytak az ingamérésekkel.

4. Regisztrálás az átalakított GS-11 graviméterrel

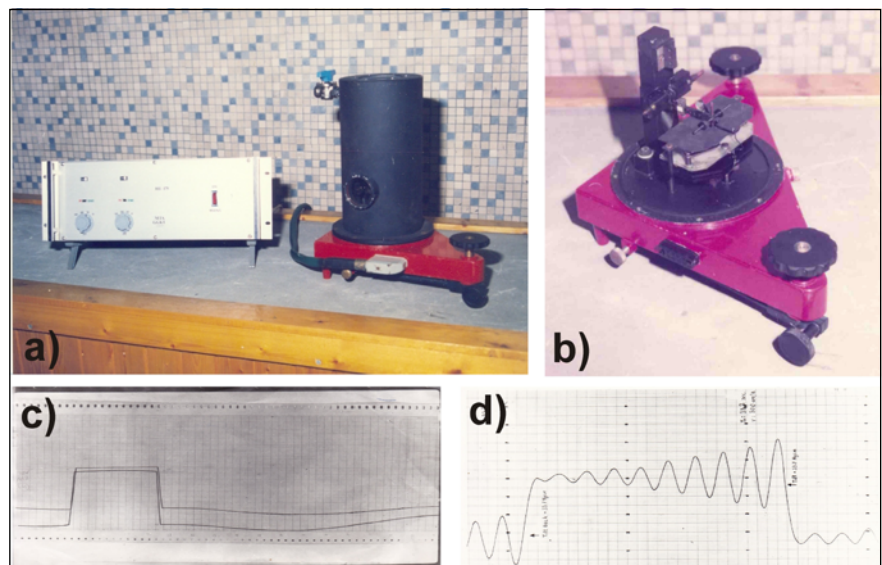
1990-ben a potsdami Központi Földfizikai Intézettől (Zentralinstitut für Physik der Erde [ZIPE], 1992-től



7. ábra. a) A horizontális inga egy kísérleti példánya b) Az elkészült CPI belső felépítése



8. ábra. CPI kapacitív horizontális inga a regisztrálás közben

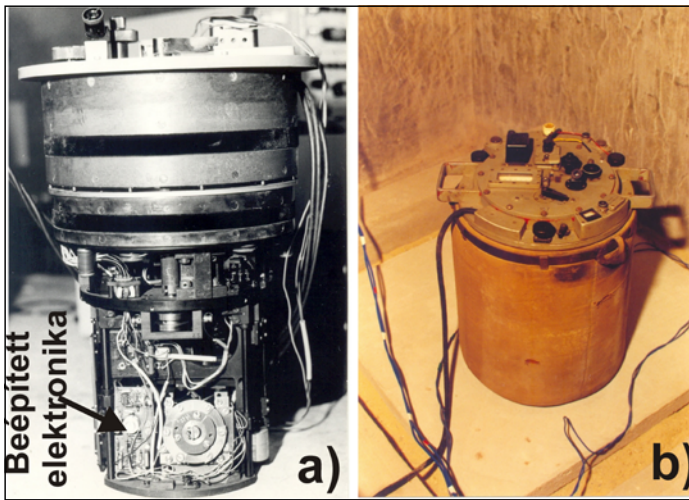


9. ábra. a) A HI-175 típusjelű horizontális inga és elektronikus egysége
b) Az inga belső felépítése c) Regisztrátumszakasz a hitelesítő jellel

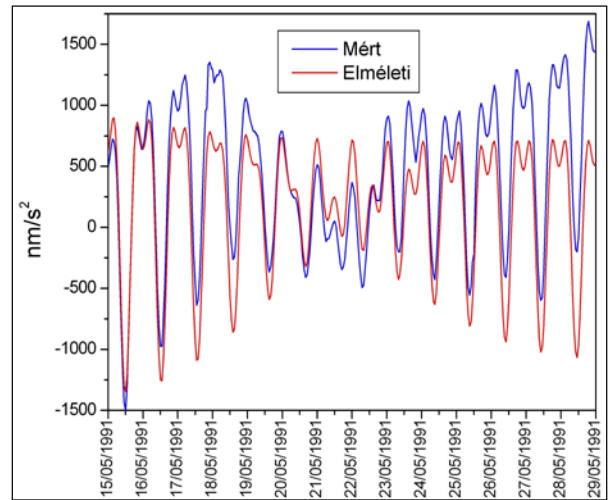
d) Laboratóriumi kalibrálás kalibráló impulzusa a higanyedény gyors emelése miatti belengésekkel

Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum [GFZ]) a tudományos együttműködés keretében egy ASKANIA GS-11 terepi gravimétert kaptunk regisztráló graviméterre való átalakítás céljából. A műszert egy korábban

kifejlesztett kapacitív mérőátalakítóval láttuk el (Mentes 1983). Az átalakított graviméter belső felépítését a 10. a) ábra, a gravimétert a 10. b) ábra mutatja. A műszer folyamatosan működött 1991-től 1999-ig, amikor egy villámcsapás tönkretette. Ezután



10. ábra. a) A GS-11 átalakított graviméter belseje
b) A graviméter a regisztrálás helyén



11. ábra. Az átalakított GS-11 graviméter által regisztrált és az adott időszakra számított elméleti árapálygörbe

1. táblázat

Frekvencia -tól [cpd]	-ig [cpd]	Hullám	Elm. ampl. [nm/s ²]	Ampl. faktor	stdv.	ph. lead [fok]	stdv. [fok]
0,50137	0,91139	Q1	59,2422	0,98112	0,06535	3,5023	3,8163
0,911391	0,947991	O1	309,4162	1,00139	0,01372	1,0832	0,7849
0,947992	0,981854	M1	24,3214	0,93649	0,15671	3,3678	9,587
0,981855	0,998631	P1	143,9455	1,08836	0,02892	2,0929	1,5227
0,998632	1,023622	K1	434,9703	0,96616	0,00995	0,5605	0,5899
1,023623	1,057485	J1	24,3303	0,93562	0,17143	-8,9069	10,4989
1,057486	1,470243	OO1	13,3097	1,00274	0,31454	-14,3582	17,9726
1,470244	1,880264	2N2	10,4196	0,74389	0,14049	-4,6829	10,8211
1,880265	1,914128	N2	65,2401	0,98818	0,02954	0,8882	1,7127
1,914129	1,950419	M2	340,7398	1,0153	0,00568	0,4536	0,3206
1,95042	1,984282	L2	9,632	1,09455	0,15523	0,7884	8,1253
1,984283	2,002736	S2	158,5143	1,10773	0,01218	5,9549	0,6298
2,002737	2,451943	K2	43,0754	1,0143	0,04862	-1,9909	2,7464
2,451944	4,006667	M3M6	4,5111	1,0143	0,24854	-1,6189	14,0398

már nem javítottuk meg, mivel a nagyobb felbontóképességű szupra-vezető graviméterek már széles körben elterjedtek. Bartha Gábor intézetből való távozása után a regisztrált adatok kiértékelése Katona György feladata lett volna, azonban ő is távozott az intézetből. Az adatok kiértékelése más feladatok miatt így elmaradt. Jelen cikk írása előtt a szerző értékelte ki a teljes adatsort. A 11. ábra egy a GS-11 graviméterrel regisztrált és elméleti gravitációs árapálygörbe egy kéthetes szakaszát mutatja. Az adatok feldolgozása során kiderült, hogy a graviméternek nem volt driftje, amit az is bizonyít, hogy a teljes regisztrálási időszakban nem kellett

nullpontot állítani. Az 1. táblázat az 1991 és 1999 között regisztrált folyamatos árapályadatsor ETERNA 3.40 programmal (Wenzel 1996) végzett árapályanalízis eredményét mutatja. Valamennyi árapályfaktor (mért/elméleti) értéke közel egy, ami az átalakított graviméter kiváló minőségét bizonyítja. Az eredmények alapján elmondható, hogy a kapott ASKANIA terepi graviméter kiváló mechanikai stabilitással rendelkezett, és az átalakított regisztráló graviméter a jelenleg használatos rugós, regisztráló graviméterek között is megállná a helyét. A fentiek alapján, sajnálatos módon, joggal nevezhetjük egy „elfelejtett regisztráló graviméternek”.

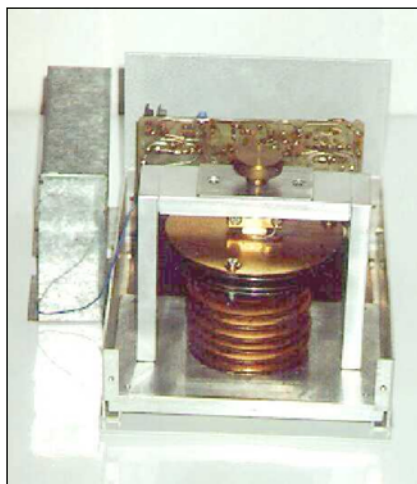
5. Atmoszférikus árapály regisztrálása mikrobarográffal

1991-ben egy mikrobarográfot fejlesztettünk ki az atmoszféra árapályának tanulmányozása céljából. Egy membrános barométert differenciál-kondenzátoros mérőátalakítóval látunk el a membrán mozgásának érzékelésére (12. ábra), ezáltal lényegesen megnöveltük a műszer érzékenységét. A mikrobarográf felépítését és a kalibrálására kifejlesztett berendezést, valamint a műszer kalibrálását részletesen ismerteti Mentés (2002) és az atmoszférikus árapály vizsgálatának eredményeit Mentés-Eperné (1997) és Mentés (2002, 2004).

2001-től egy 24 bites 48 csatornás Prema adatgyűjtő beszerzése után az analóg regisztrálásról áttértünk a digitális regisztrálásra. A mikrobarográffal regisztrált légnyomásadatokat használjuk az extenzométeres adatok légnyomás-korrektúrához, valamint a radonmérési adatok feldolgozásához is.

6. Extenzométeres mérések

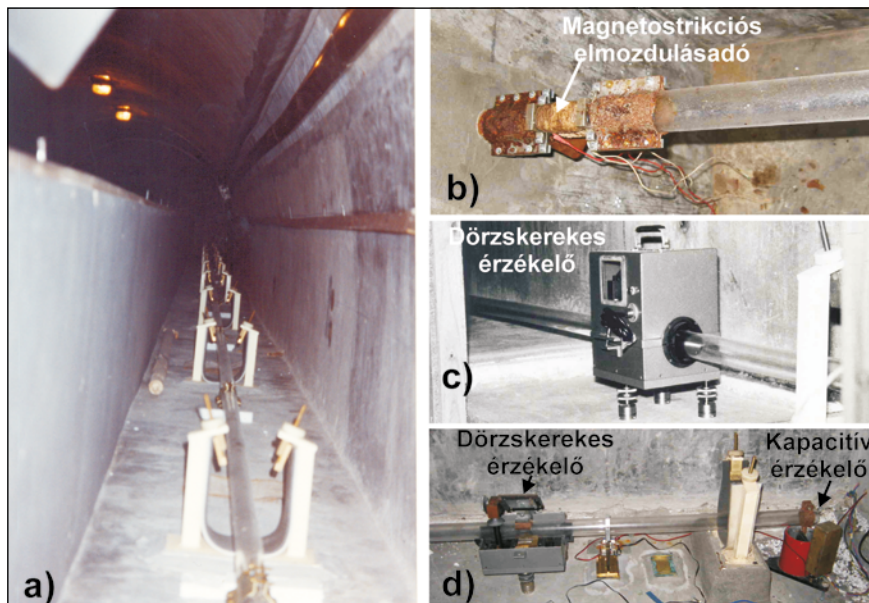
1990-ben Varga Péter lett az intézet igazgatója. Az ő közbenjárásával az Orosz Tudományos Akadémia (az egykori Szovjetunió Tudományos Akadémiája) moszkvai Geofizikai Intézetével együttműködve 1990-ben építettünk egy – az akkori Szovjetunióban haszná-



12. ábra. A mikrobarográf belső felépítése

latos - kvarccsöves extenzométert (Latynina-Karmaleeva 1978), amelynek kezeléséhez, ahogyan az a mérések során később megerősítést is nyert, a vágatba elegendő csak két-három havonként néhány percre bemenni. A kvarccsövet és egyéb mechanikai alkatrészeket (pl. összekötő elemeket) a Geofizikai Intézettől kaptuk, míg az elektromos egységek (kapacitív elmozdulásérzékelő, automatikus kalibrálásvezérlő) az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézetben (GGKI) készültek (Mentes 1991).

A 22 m hosszú extenzométer 2-2,5 m hosszúságú, 45 mm átmérőjű és 2 mm falvastagságú kvarccsövekből áll, amelyek speciális kötással csatlakoznak egymáshoz. Az összeerősített kvarccsövet 2-3 méterenként elhelyezett konzolok tartják 20 µm átmérőjű, kb. 25 cm függőleges belógású invár huzalok segítségével (13. a) ábra). A kvarccső egyik vége egy magnetostrikciós elmozdulásadóhoz (napi kalibrálás céljára) kapcsolódik, amely az alapkőzetbe erősített rozsdamentes acélból készült csaphoz (dűbel) csatlakozik (13. b) ábra). A cső másik vége szabad. Latynina a cső mozgásának érzékelésére egy dörzskerekes megoldást alkalmazott (13. c) ábra). A szabad csővégnél a kőzet felé való elmozdulása a dörzskereket elforgatta, ehhez egy tükör csatlakozott, amelynek elfordulását a fotódobbal regisztrálta. Ezt a regisztrálót csak egy hónapig használtuk összehasonlítás céljából, mivel mi a szabad vég mozgásának érzékelését a horizontális ingánál alkalmazott kapacitív érzékelő



13. ábra. Az extenzométer felépítése

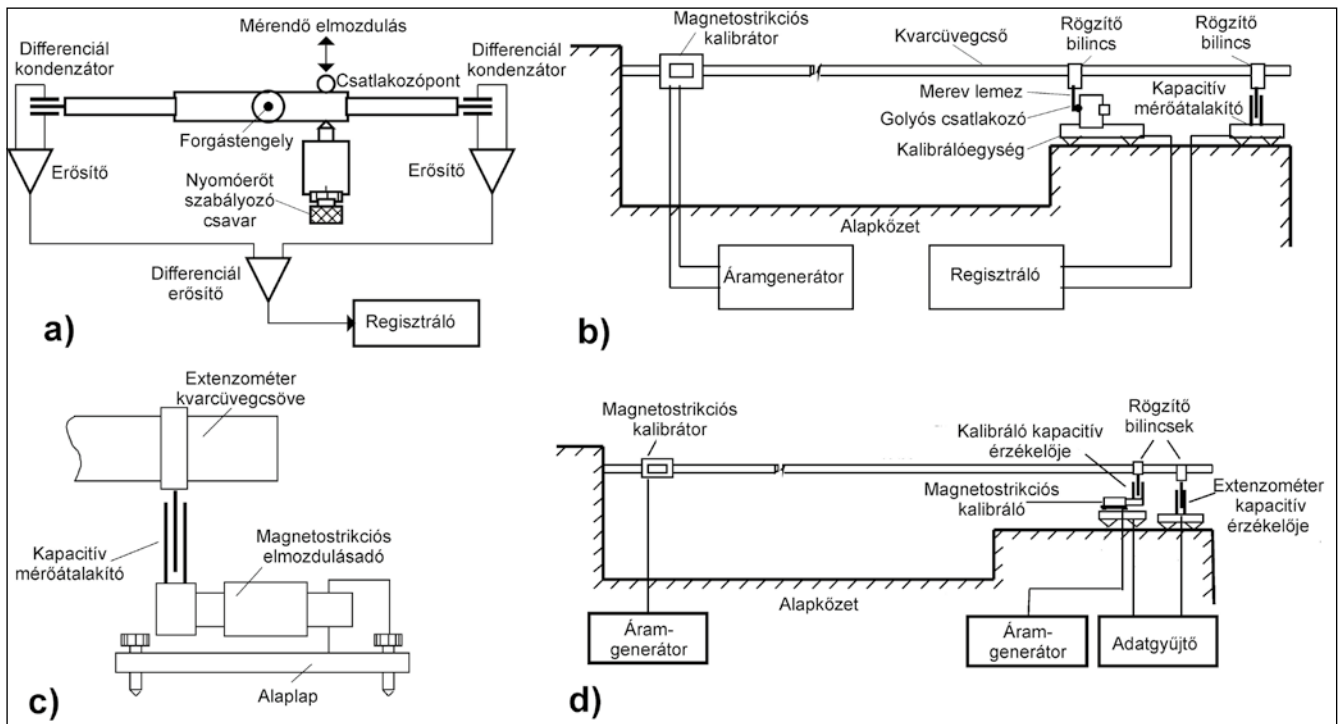


14. ábra. Extenzométer jelének analóg regisztrálása 2001-ig (bal oldali kép) és ezt követően digitálisan (jobb oldali kép)

továbbfejlesztett változatával oldottuk meg (13. d) ábra). Az extenzométerek elvét Mentés (1999a, 2010a), a sopronbánfalvi extenzométer felépítését Mentés (1991, 1983, 2010b) részletesen ismerteti. A kapacitív érzékelő kimenő jelét 2001-ig analóg módon egy kompenzográfval regisztráltuk, és ezt követően egy 24 bites A/D konverter (PREMA Digital Multimeter 5017 és 5017SC 48 csatornás analóg multiplexer) segítségével digitalizáljuk, és számítógépen regisztráljuk (14. ábra). Az adatok interneten keresztül lekérdeezhetők.

Mivel idővel a beépített magnetostrikciós kalibrátor paraméterei is változhatnak, ezért már 1992-től kezdődően komoly erőfeszítéseket tettünk olyan hordozható kalibrátor kifejlesztésére, amellyel évente a beépített magnetostrikciós kalibrátort is kalibrálni tudjuk. Erre azért volt szükség, mert a

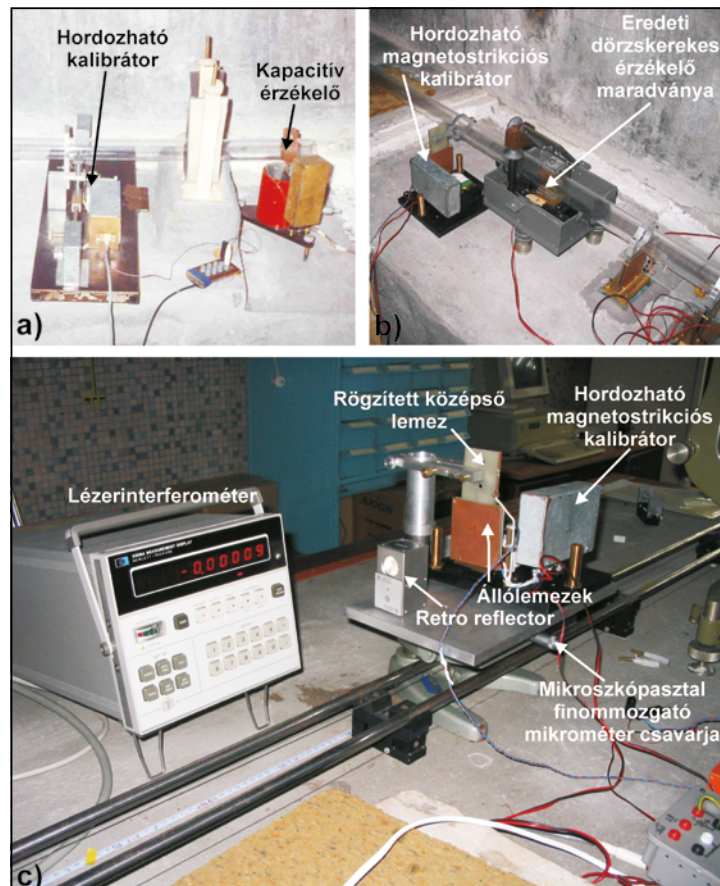
lézinterferométerek 0,1 µm-es felbontóképessége nem elegendő a nagy felbontású extenzométer közvetlen kalibrálására, ezért meg kellett oldanunk az interferométer felbontóképességének alásztását, hogy nm (10^{-9} m) nagyságrendű elmozdulásokat is megbízhatóan tudjunk mérni. Ebből a célból egy függőleges tengely körül forgó vízszintes kar segítségével 1:5 áttételű mechanikai nagyítást alkalmaztunk. A kar elfordulását a kar két végén elhelyezett differenciálkondenzátoros mérőátalakítóval mértük, amely módszerrel a tengelyhibák és a környezeti paraméterek változása miatt fellépő hibák is kiesnek (15. a) ábra). A kart az extenzométer a csatlakozóponton keresztül mozgatta (15. b) és 16. a) ábrák). A beépített kalibrátorral kalibrálva az extenzométert, a kalibráló impulzusokat a hordozható kalibrátor is regisztrálja. Ez utóbbi skálatényezőjének



15. ábra. Az extenzométer in situ kalibrálására kifejlesztett berendezések a), c); és a kalibrálás módja b), d)

ismeretében a beépített kalibrátor által előállított elmozdulás nagysága meghatározható. A hordozható kalibrátor felépítését, laboratóriumi kalibrálását és az extenzométer in situ kalibrálását Mentés (1993, 1995, 1998, 1999a, 1999b, 2010a) részletesen ismerteti.

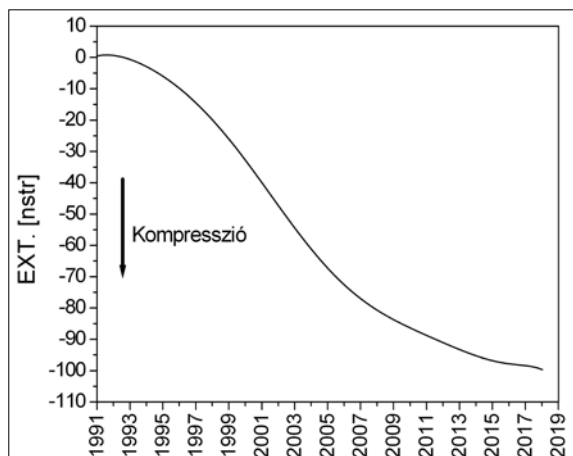
E kalibrátor alkalmazásának nehézsége miatt 2007-ben egy új kalibráló berendezést fejlesztettünk ki, amelynek elve a 15. c) ábrán látható. A berendezés egy talpcsavarokkal szinthezhető merev alaplaphoz erősített magnetostrikciós elmozdulásadóból áll, amelynek szabad, mozgó vége tartja a differenciálkondenzátoros kapacitív mérőátalakító álló lemezeit. A differenciálkondenzátor mozgó középső lemeze pedig az extenzométer csövéhez csatlakozik. Az extenzométer saját és a kalibráló berendezés kapacitív érzékelőjével párhuzamosan regisztráljuk az extenzométer szabad végének elmozdulását (15. d) ábra). Ezt követően a hordozható kalibrátor magnetostrikciós tekercsén az áramot ki-be kapcsolgatva a kalibráló impulzusokat összehasonlíthatjuk a beépített kalibrátor által adott impulzusokkal. Ezenkívül lehetőség van párhuzamos árapály-regisztrálásra is. E mérésekből az extenzométer skála-



16. ábra. Az extenzométer kalibrálása

tényezője meghatározható (Mentes 2008a, 2010a, 2010b). A 16. b) ábra mutatja az extenzométer kalibrálását a hordozható magnetostrikciós

kalibrátorral, míg a 16. c) ábra a kalibrátor lézerinterferométerrel történő laboratóriumi kalibrálását mutatja.



17. ábra. Az SGO-ban regisztrált tektonikai deformáció 1991 és 2018 között



18. ábra. AlphaGuard radonregisztráló az observatóriumban

Az extenzométer adatsoraiból vizsgáltuk a szilárd Föld árapályát (pl.: Mentés 2001, Eper-Pápai et al. 2014), a Föld folyékony külső magja és a köpeny kölcsönhatásából származó rezonanciát a naps árapály frekvenciatartományában, az ún. Free Core Nutation (Mentes et al. 2015, Bán et al. 2018), valamint a radon és kőzetfeszültség közötti összefüggést. Az árapály-paraméterek minél pontosabb meghatározása miatt az extenzométerrel mért adatok hőmérséklet- és a légnyomáskorrekciója elsődleges fontosságú, amelyre egyre pontosabb eljárásokat dolgoztunk ki (Mentes 2000, 2015).

Az extenzométeres mérések másik fontos célja a lokális tektonikai deformáció folyamatos mérése (Mentes 2008b, 2012). Az 1991 és 2018 között mért kőzetdeformációt a 17. ábra mutatja (Mentes-Kiszely 2019).

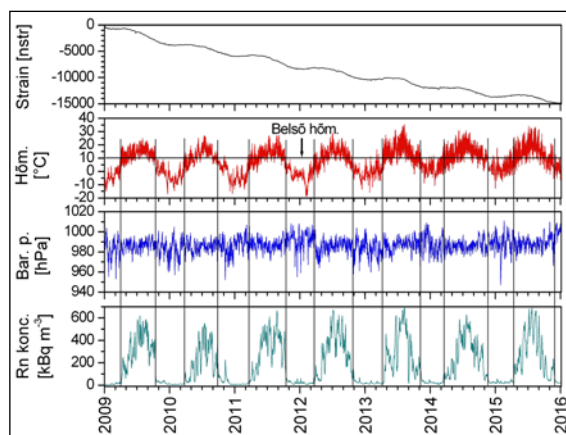
A Pannon-medence tektonikai mozgásvizsgálatának területén együttműködünk a Mátyáshegyi (Budapest) Gravitációs és Geodinamikai Observatóriummal (MGGO), valamint a Vyhnei (Szlovákia) Árapály Observatóriummal (VTS). Az itt működő extenzométerek érzékelői az intézetünkben készültek, és mi végzük a műszerek rendszeres kalibrálását, valamint a mérési adatok feldolgozását is (Eper-Pápai et al. 2014, Brimich et al. 2016).

7. Radonkoncentráció-mérések

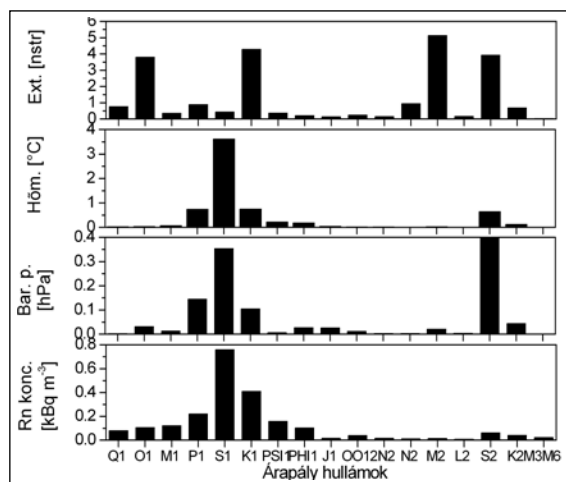
2008-ban szereztünk be egy AlphaGuard (2019) radonkoncentráció-mérőt,

amely etalonműszernek számít. A műszerrel 2009. január 1-től óránkénti mintavételezéssel folyamatosan végzünk méréseket (18. ábra). A műszer beszerzésének kettős célja volt. Egyrészt eleget tettünk az ÁNTSZ előírásának, hogy mérjük a radonkoncentrációt a vágatban, másrészt ezzel lehetőségünk nyílt a közös extenzométeres és radonmérés alapján a kőzetfeszültség és a radonkoncentráció közötti összefüggés vizsgálatára. Ez utóbbi azért nagy fontosságú, mivel megfigyelték, hogy földrengések idején az artézi kutakban, barlangokban már a földrengések előtt megnövekszik a radongáz koncentrációja. Jelenleg széleskörű kutatásokat folytatnak, hogy mennyire lehet a radonkoncentráció változását különböző gyors változású geodinamikai jelenségek (földrengések, tektonikai mozgások) előjelének (precursor) tekinteni. A 19. ábrán az observatóriumban jelenleg működő műszerek 2009 és 2016 között mért adatsorai, a 20. ábrán, pedig a fenti adatsorok árapály kiértékelésének eredményei láthatók. A vizsgálat célja az volt, hogy kiderüljön,

a radonkoncentráció hogyan függ az árapály tartományban a kőzetfeszültségtől, a külső hőmérséklettől és a légnyomástól. A vizsgálatok részletes eredményeit Mentés-Eper-Pápai (2009) és Mentés (2012, 2018) ismertetik.



19. ábra. Extenzométer, külső hőmérséklet, mikrobarográf- és radonkoncentráció-mérési eredmények az observatóriumban 2009 és 2016 között.



20. ábra. Extenzométer, külső hőmérséklet, mikrobarográf és radonkoncentráció árapály-kiértékelésének eredményei az observatóriumban 2009 és 2016 között.

8. Összefoglalás

A tanulmány röviden bemutatja az obszervatóriumban végzett hosszú idejű méréseket, nem tér ki az obszervatóriumban történt rövidebb mérésekre, mint pl.: a gravitációs alapon tokon végzett abszolút g mérések, ill. az itt végzett néhány hónapos regisztráló graviméterekkel való mérésekre, melyek célja ezeknek a műszereknek a kalibrálása.

Az obszervatóriumban végzett mérések sokban járultak hozzá az árapály, a Föld sajátrezgései, az FCN, az atmoszférikus árapály jobb megértéséhez. A radonkoncentráció változásainak a kőzetfeszültséggel, a hőmérséklettel és légnyomással való összefüggésének vizsgálati nemcsak a radonkoncentrációnak a megváltozása, mint a földrengéseknek vagy nagyobb tektonikai deformációknak a precuzoraként való értelmezéséhez járult hozzá, hanem lakóházakban a radongáz felgyülemelésének a megértéséhez is.

A lokális tektonikai deformáció mérése extenzométerekkel még napjainkban (a korszerű űrtechnikák megjelenés után) is nagy jelentőséggel bír. Míg a GNSS-technika a pontsűrűségtől függően inkább a globális és regionális tektonikai mozgások kimutatására alkalmas, addig a PInSAR-technika már lokális deformációk mérését is lehetővé teszi, így a jövőben az extenzométerekkel mért lokális deformációk közvetlenül összehasonlíthatók lesznek a PInSAR-mérések eredményeivel.

Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönetet mond Gyopár Editnek és Gimesiné Németh Ágnesnek az analóg regisztrátumok gondos kioldásáért. Külön köszönet illeti Molnár Tibor villamosmérnököt a műszerek üzembe helyezésében és kalibrációjában való közreműködéséért, valamint a műszerek gondos felügyeletéért és karbantartásáért. Továbbá köszönet illeti Kalmár János matematikust a digitális regisztrálás beindításában nyújtott segítségéért, valamint Hatos Gábor informatikust az obszervatóriumi adatok interneten való elérésének biztosításáért. Az obszervatóriumi méréseket az OTKA a T2131, T031713, T046264,

K71952, M36921, K109060 számú pályázatokkal támogatta.

Irodalom

- AlphaGuard 2019. <https://www.bertin-instruments.com/product/radon-professional-monitoring/radon-alphaguard/>
- Bartha, G. 1973. *Árapály mérések horizontális ingával*. Egyetemi doktori disszertáció. Debrecen p. 56.
- Bartha, G. 1976. *Parallel Earth Tide Registration in Sopron and Graz*. Acta Geodaetica Geophysica et Montanistica Academiae Scientiarum Hungaricae 11. (4.) pp. 203–228.
- Bartha, G. 1978. *A földi árapálykutatás lehetőségei a geodinamikában*. Kandidátusi értekezés. p. 98
- Bartha, G. – Czompó, J. 1983. *High frequencies in tidal records before and after earthquakes*. 19th IUGG general Ass. Hamburg, Vol 1. pp. 104–124.
- Bán, D. – Mentes, Gy. – Kis, M. – Koppán, A. 2018. *Observation of the Earth liquid core resonance by extensometers*. Pure and Applied Geophysics 175. (5). pp. 1631–1642. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1724-6>
- Brimich, L. – Bednarik, M. – Vajda, P. – Bán, D. – Eper-Pápai, I. – Mentes, Gy. 2016. *Extensometric observation of Earth tides and local tectonic processes at the Vyhne station, Slovakia*. Contributions to Geophysics and Geodesy 46. (2). pp. 75–90. DOI: <https://doi.org/10.1515/congeo-2016-0006>
- Eper-Pápai, I. – Mentes, Gy. – Kis, M. – Koppán, A. 2014. *Comparison of two extensometric stations in Hungary*. Journal of Geodynamics, 80. pp. 3–11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jog.2014.02.007>
- Kisházi, P. – Ivancsics, J. 1985. *Genetic petrology of the Sopron crystalline schist sequence*. Acta Geol. Hu. 28. (3–4). pp. 191–213.
- Latynina, L. A. – Karmaleeva, R. A. 1978. *Deformograficeszkije izmerenija*. Nauka, Moszkva.
- Melchior, P. 1978. *The tides of the planet Earth*. Pergamon Press. Oxford.
- Mentes, Gy. 1979. *Development of horizontal pendulum recordings*. Acta Geodaetica Geophysica et Montanistica Academiae Scientiarum Hungaricae 14. pp. 101–109.
- Mentes, Gy. 1981. *Horizontal pendulum with capacitive transducer*. Acta Geodaetica Geophysica et Montanistica Academiae Scientiarum Hungaricae 16. pp. 269–280.
- Mentes, Gy. 1983. *Capacitive transducers for horizontal pendulums and gravimeters*. Acta Geodaetica Geophysica et Montanistica Hungarica 18. pp. 359–368.
- Mentes, Gy. 1985. *Horizontal pendulum with electrical recording*. Bulletin Geodesique 59. pp. 94–102.
- Mentes, Gy. 1986a. *Laboratory test of capacitive pendulums*. Acta Geodaetica Geophysica et Montanistica Hungarica 21. pp. 55–69.
- Mentes, Gy. 1986b. *Horizontális inga kapacitív mérőátalakítóval*. Kandidátusi értekezés. p. 170
- Mentes, Gy. 1991. *Installation of a quartz tube extensometer at the Sopron Observatory*. Marées Terrestres: Bulletin d'Informations 110. pp. 7936–7939.
- Mentes, Gy. (1993). *Sort remarks concerning the calibration of quartz tube extensometers*. Marées Terrestres: Bulletin d'Informations 115. pp. 8467–8471.
- Mentes, Gy. 1995. *In-situ calibration of quartz tube extensometers*. Marées Terrestres: Bulletin d'Informations 121. pp. 9070–9075.
- Mentes, Gy. 1998. *Calibration of tidal instruments*. In Ducarme, B. Plâquet, P. (Eds.): Proceedings of the 13th International Symposium on Earth Tides, Brussels, pp. 43–50.
- Mentes, Gy. 1999a. *Folyamatos mérési módszerek geodinamikai, környezeti és ipari deformációk megfigyelésére*. MTA Doktori Disszertáció. p. 173
- Mentes, Gy. 1999b. *Extenzométeres adatok megbízhatóságának növelése a műszerek egységes kalibrálásával*. Geomatikai közlemények I. pp. 11–20.
- Mentes, Gy. 2000. *Influence of Temperature and Barometric Pressure Variations on Extensometric Deformation Measurements at the Sopron Station*. Acta Geod. Geoph. Hung 35. (3). pp. 277–282. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03325617>
- Mentes, Gy. 2001. *Results of Extensometric Measurements at the Sopron and Pécs Stations in Hungary*. Journal of the Geodetic Society of Japan 47. 1. pp. 101–106. DOI: <https://doi.org/10.11366/sokuchi1954.47.101>
- Mentes, Gy. 2002. *Microbarograph for investigation of geodynamical phenomena caused by atmospheric pressure variations influenced by lunisolar effects*. Marées Terrestres: Bulletin d'Informations 137. pp. 10893–10899.
- Mentes, Gy. 2004. *Atmospheric tide obtained by the microbarograph developed at the Geodetic and Geophysical Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences*. Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica 39. (1). pp. 39–48. DOI: <https://doi.org/10.1556/AGeod.39.2004.1.4>
- Mentes, Gy. 2008a. *A new method for in-situ calibration of rod extensometers*. Marées Terrestres: Bulletin d'Informations 144. pp. 11569–11573.
- Mentes, Gy. 2008b. *Observation of recent tectonic movements by extensometers in the Pannonian Basin*. Journal of Geodynamics 45. pp. 169–177. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jog.2007.10.001>
- Mentes, Gy. 2010a. *Húsz éves a sopronbánfalvi extenzométer*. Geomatikai Közlemények 62. évf. 11. köt. pp. 3–11.
- Mentes, Gy. 2010b. *Quartz tube extensometer for observation of Earth tides and local tectonic deformations at the Sopronbánfalva Geodynamic Observatory, Hungary*. Review of Scientific Instruments 81, 0745011 pp.1–6. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.3470100>
- Mentes, Gy. 2012. *Observation of local tectonic movements by a quartz-tube extensometer in the Sopronbánfalva Geodynamic Observatory, in Hungary-Validation of extensometric data by tidal analysis and simultaneous radon concentration measurements*. Journal of Geodynamics 58. pp. 38–43. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jog.2012.01.004>
- Mentes, Gy. 2015. *Artificial neural network model as a potential alternative for barometric correction of extensometric data*. Marées Terrestres: Bulletin d'Informations 149. pp. 12001–12012.

- Mentes, Gy. – Bán, D. – Eperné Pápai, I. 2015. *A Föld közel napos periódusú nutációjának kimutatása a sopronbánfalvi extenzométeres adatok alapján – Előzetes eredmények.* Geomatikai Közlemények XVIII(2), pp. 35–42.
- Mentes, Gy. 2018. *Investigation of the relationship between rock strain and radon concentration in the tidal frequency-range.* Journal of Applied Geophysics 155. pp. 232–236. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2018.06.019>
- Mentes, Gy.– Eperné, P. I. 1997. *Atmospheric tide measured by microbarograph.* Marées Terrestres: Bulletin d' Informations 127. pp. 9826–9833.
- Mentes, Gy. – Eper-Pápai, I. 2009. *Relations between microbarograph and strain data.* Journal of Geodynamics 48. pp. 110–114. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jog.2009.09.005>
- Mentes, Gy. – Kiszely, M. 2019. *Local tectonic deformations measured by extensometer at the eastern foothills of the Alps at the Sopronbánfalva Geodynamic Observatory, Hungary: Contributions to Geophysics and Geodesy* 49(3), 373-390. DOI: <https://doi.org/10.2478/congeo-2019-0019>
- Somogyi József 1980. *Az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet 25 éves.* MTA X. Osztályának Közleményei 13. (2–4) pp. 239–347.
- Wenzel, H. G. 1996. *The nanogal software: earth tide data processing package ETERNA 3.30.* Bulletin d' Informations Marees Terrestres 124. pp. 9425–9439.
- Závoti József 2005. *50 years of the Geodetic and Geophysical Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences.* Acta Geod. Geoph. Hung., 40. (3–4) pp. 271–281. DOI: <https://doi.org/10.1556/AGeod.40.2005.3-4.2>



Dr. Mentes Gyula
kutató professor
emeritus,
az MTA doktora

MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai
Intézet
mentes.gyula@csfk.mta.hu