

KÖRNYEZETI PARAMÉTEREK HATÁSA AZ EXTENZOMÉTERES MÉRÉSEKRE

Eperné-Pápai Ildikó*, Mentés Gyula*



Environmental parameter effects on extensometric measurements - Deformation, temperature and atmospheric pressure data from the Sopronbánfalva Geodynamical Observatory were investigated. Long-term temperature variations raise thermoelastic rock deformations which appear with about 20 days lag in our extensometric measurement. In tidal frequency bands the connection between temperature and strain results is negligible on the basis of coherence analysis. However the atmospheric tide's seasonal variation influences the strain tide parameters.

Keywords: extensometer, temperature effect, atmospheric pressure, seasonal effect, tidal parameters

A Sopronbánfalvi Geodinamikai Observatóriumban regisztrált deformációs, hőmérsékleti és légnyomás adatsorok közötti összefüggést vizsgáljuk írásunkban. A hőmérséklet hosszúperiódusú változása által előidézett termoelasztikus közetdeformáció mintegy 20 nap késéssel jelenik meg extenzométeres regisztrátumunkban, árapály frekvenciákon elhanyagolható mértékű kapcsolatot mutatnak a koherenciavizsgálatok. Ugyanakkor a légköri árapály szezonális váltakozásának jelensége befolyásolja a deformációs adatainkból meghatározható árapály paraméterek nagyságát.

Kulcsszavak: extenzométer, hőmérsékleti hatás, légnyomás, szezonális hatás, árapály paraméterek

1 Bevezetés

A Sopronbánfalvi Geodinamikai Observatóriumban 1991 óta folynak extenzométeres mérések, amelyeknek egyik célja az árapály paraméterek minél pontosabb meghatározása, másik célja pedig a Pannon-medence jelenkori tektonikai mozgásainak vizsgálata (Mentés 1991, 2005). A környezeti paraméterek, ezek közül is főképpen a légnyomás és a hőmérséklet változása van hatással az extenzométerrel mért elmozdulás értékekre. A környezeti paraméterek hatása lehet direkt vagy indirekt. Az első esetben közvetlenül a mérőműszerre való hatásról van szó, míg a második esetben a műszert körülvevő közet deformálódik a hőmérséklet és a légnyomás hatására. Ez utóbbi esetben a hatás rendkívül komplikált, mivel az extenzométer által mért közet deformáció függ az obszervatórium környezetének topográfiájától, valamint az üreghatástól, vagyis annak a vágatnak az alakjától, amelyben a műszer elhelyezkedik (Mentés 1997). A környezeti hatások szezonális jellegűek és kvázi-periodikusak. Hosszú, többéves adatsorokból szűréssel viszonylag könnyen eltávolíthatók, így a tektonikai mozgásmegfigyelések szempontjából nem jelentenek akkora problémát, mint az árapály paraméterek meghatározása esetében. A légnyomás hatása még bonyolultabb, mint a hőmérsékleté. Ez azt jelenti, hogy a földkéreg bármely pontján a deformáció értéke függ a teljes Földön levő légnyomás értékektől, továbbá az óceánok szintje is változik a légnyomás változásával, ami az óceáni terhelés révén indirekt járul hozzá a szilárd földkéreg deformációjához. A légnyomásnak a gravitációs mérésekre kifejtett hatásával több cikk foglalkozik (pl. Sun 1995, Kroner és Jentzsch 1999, Boy et al. 2006), amelyek csak a földkéreg radiális irányú elmozdulását vizsgálják. Többek között Rabbel és Zschau (1985) tanulmányozták a Föld felszínén a deformáció és gravitáció változása, valamint a lokális és globális légnyomásváltozások közötti összefüggéseket sugárirányban rétegzett földmodell esetében. Megállapították, hogy a fő horizontális relatív deformációk nagysága elérheti a 10^{-8} nagyságrendet, míg a szezonális hatások következtében $\pm 1.5 \cdot 10^{-9}$ nagyságrendű lehet. A légnyomás hatását az extenzométeres mérésekre eddig keveset vizsgálták, pl. Onoue és Takemoto, (1998). A légnyomás és a deformáció közötti kapcsolat mechanizmusát, a topográfia hatását pl. Kroner et al. (2005), Steffen et al. (2005) végeelem módszerrel modellezték. Ez utóbbi hatást Mentés és Eper-Pápai (2006) a felszíni Sopronbánfalvi Geodinamikai Observatóriumban és

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

E-mail: papai@ggki.hu

a mély (1040 m) pécsi uránbányában elhelyezett extenzométerek esetében tanulmányozták a két obszervatóriumban mért adatok összehasonlításával.

Az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézetben Mentés (2000), Eper-Pápai és Mentés (2002) foglalkoztak a légnyomás korrekciójával extenzométeres mérések esetében. Másokkal együtt (pl. Kroner és Jentzsch, 1999) megállapították, hogy a légnyomás nem állandó periódusidejű szezonális változásai miatt a légnyomás hatásának korrigálása komplikáltabb feladat, mint azt eddig gondolták. E tanulmányban részletesen megvizsgáljuk a hőmérséklet és a légnyomás változásainak hatását az extenzométeres mérésekre abból a célból, hogy az itt nyert eredményeket és tapasztalatokat felhasználhassuk jobb és pontosabb módszerek fejlesztésére a hőmérséklet és a légnyomás hatásának korrekciójára.

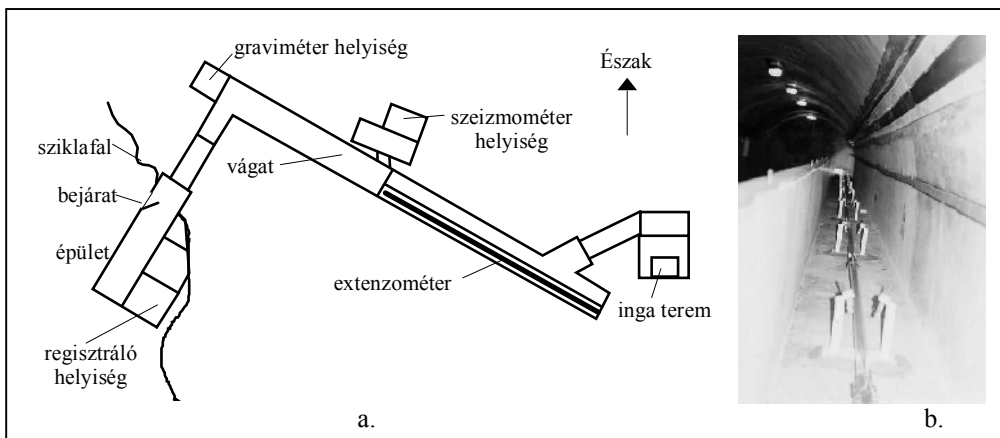
2 Obszervatórium, műszerek, mérési adatok

A Sopronbánfalvi Geodinamikai Obszervatóriumban 1991-ben készült el egy 22 m hosszúságú kvarccsöves extenzométer a moszkvai Földfizikai Intézettel együttműködésben. E műszer már nem fotografikus regisztrálással működik, hanem az extenzométer végpontjának elmozdulását az MTA GGKI-ban kifejlesztett (Mentés 1983) nagyérzékenységű, differenciálkondenzátoros kapacitív átalakító érzékeli. A műszer rendszeres kalibrálása ugyancsak az intézetben készült kalibráló berendezéssel történik (Mentés 1995). Az obszervatórium alaprajzát és az extenzométert az 1. ábra mutatja. A műszerrel regisztrált folyamatos adatsor hossza 17 év (Mentés 2005, 2008).

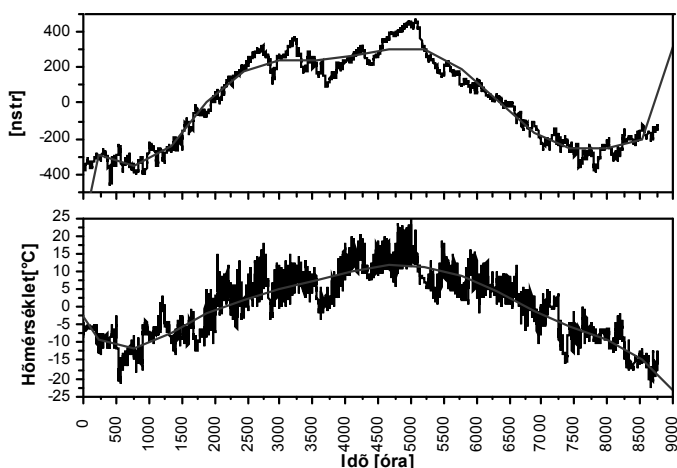
Az atmoszférikus árapály regisztrálására 1997-ben egy nagy érzékenységű mikrobarográfot fejlesztettünk ki és helyeztünk üzembe. A mikrobarográfhoz ugyancsak kifejlesztettünk egy nagy pontosságú kalibráló berendezést is (Mentés 1997, 2004). 2001 közepétől az obszervatórium adatgyűjtését korszerűsítettük. Üzembe helyeztünk egy sokcsatornás 24 bites adatgyűjtőt, amely lehetővé tette az obszervatóriumi adatok (extenzométer, mikrobarográf, graviméter, külső és belső hőmérséklet, stb.) egységes perces mintavételi sűrűséggel való regisztrálását. Jelen tanulmányunkhoz ezért csak a már előfeldolgozott és az új adatgyűjtővel regisztrált, 2002 és 2006 közötti extenzométeres, hőmérséklet és mikrobarográf adatokat használtuk fel. A perces mintavételi adatokat szűrtük és újramintavételezéssel órás adatokat állítottunk elő. Az adatok árapály-feldolgozásához az ETERNA 3.30 programot használtuk (Wenzel 1996).

3 A hőmérséklet hatásának vizsgálata

A hőmérséklet direkt hatása a műszerre elhanyagolható, mivel a belső hőmérséklet változása az obszervatóriumban nagyon kicsi. A napi változás 0.05°C -nál kisebb és az éves változás is 0.5°C alatt van, ezért csak a külső hőmérséklet ingadozásainak hatását vizsgáltuk. A 2. ábrán példaképpen a 2006-ban regisztrált extenzométeres és a külső hőmérséklet adatsorait mutatjuk be. A többi évek



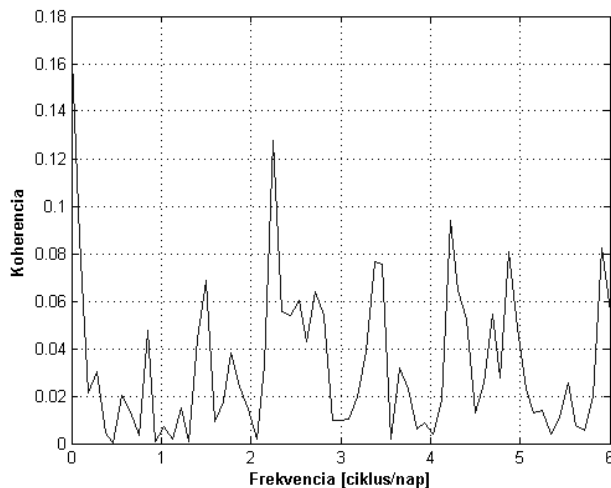
1. ábra. A Sopronbánfalvi Geodinamikai Obszervatórium alaprajza (a) és az extenzométer fényképe (b)



2. ábra. A Sopronbánfalvi Geodinamikai Observatóriumban 2006-ban regisztrált külső hőmérséklet és extenzométeres adatsor (relatív elmozdulás nstr-ben), valamint a hőmérséklet és az extenzométeres adatok átlagos változása

adatsorai is ehhez hasonlóak.

Az extenzométer által mért Δl elmozdulást relatív egységben $\Delta l/L$ ábráztuk, ahol L az extenzométer hossza. A relatív elmozdulás egységének az árapály mérés technikában szokásos $1 \text{ nstr} = 10^{-9}$ egységet használjuk. A 2. ábrán látható görbékre 9-ed fokú polinomot illesztettünk, hogy az éves, szezonális változás jobban látható legyen. Látszólag a görbék jó egyezést mutatnak, azonban az adatsorokat regressziós analízisnek alávetve, már nem olyan egyértelmű a hőmérséklet hatása, amint az az ábrából első pillantásra tűnik. A szüretlen adatsorok regressziós vizsgálatával azt kaptuk, hogy 1°C hőmérsékletváltozás 22 nstr relatív megnyúlást okoz (a regressziós együttható: 22 nstr/ $^\circ\text{C}$), a két görbe közötti korrelációs tényező értéke: 0.839. Vizsgáltuk azt is, hogy a külső hőmérséklet változásának hatása mennyi idő múlva jelentkezik az extenzométeres eredményekben. A 2006-os adatokból azt kaptuk, hogy ez a késés kb. 21 nap. Ebben az esetben a regressziós együttható értéke: 25 nstr/ $^\circ\text{C}$, míg a korrelációs tényező csak 0.884 értékre növekedett. A többi év feldolgozása során is hasonló késések (20-22 nap) adódtak. Mentés (2000) 1996-os adatsorokon végzett vizsgálataiból 18 napos késést kapott. Következő lépésben levontuk a szezonális hatást (a 9-ed fokú polinomot) az adatokból és a rövididejű hőmérsékletváltozások hatását vizsgáltuk. Ebben az esetben a regressziós együttható értéke 3 nstr/ $^\circ\text{C}$, a korrelációs tényező értéke, pedig 0.188 lett. Ez azt mutatja, hogy a gyors hőmérsékletváltozások elhanyagolhatóak. Ezt a következtetést erősítette meg az



3. ábra. A 2006 évi hőmérséklet és extenzométer adatok koherenciagörbéje

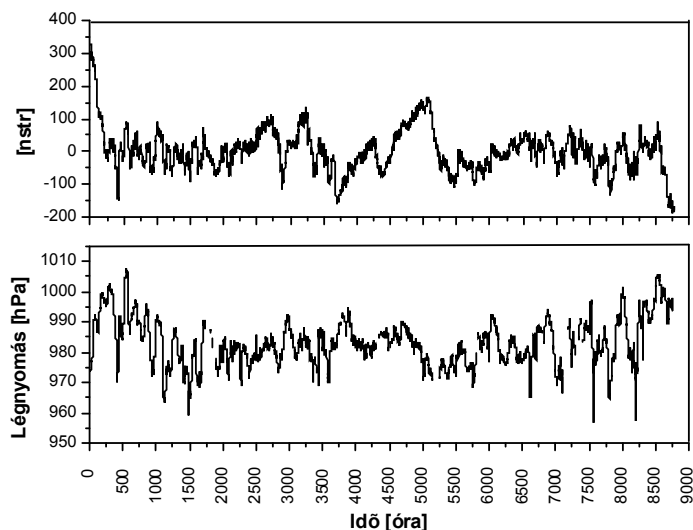
adatsorok koherenciavizsgálata is. A 3. ábrán megadtuk a 2006-os hőmérséklet és extenzométer adatok koherenciagörbét. Az ábrából jól látható, hogy a koherencia értéke az egész frekvenciatartományban 0.16 alatt van. A legfőbb árapályhullámok napos és félnapos frekvenciatartományában értéke csaknem nulla, ami azt jelenti, hogy az árapályfaktorok meghatározása szempontjából a hőmérséklet hatása elhanyagolható. A hosszúperiódusú, szezonális változások a tektonikai mozgások meghatározása során a hosszú adatsorokból könnyen eltávolíthatók.

4 A légnyomás hatásának vizsgálata

A megfelelő érzékenységgel rendelkező extenzométerek (jobb, mint 10^{-10} str) lehetővé teszik a föld belső szerkezetének vizsgálatát, geodinamikai paraméterek meghatározását. A légnyomásváltozás által előidézett „zaj” korlátozhatja a számunkra érdekes kicsiny jeleknek (pl. hosszú periódusú árapályhullámok, a földkéreg rezonancia paraméterei) az elkülönítését a deformációs adatsorból. Ezért a megfelelő, illetve minél hatékonyabb barometrikus korrekció lehetőségének keresésekor fontos figyelembe venni a légnyomásértékek nagyságának, valamint a légköri árapály paramétereknek a szezonális változásait. A légköri árapály egynapos és félnapos hullámainak szezonális változása a szakirodalomban ismert jelenség (pl. Haurwitz és Cowley 1973). Számításainkat a hasonló vizsgálatok esetében alkalmazott „LLoyd”-évszakoknak nevezett és D-, E- valamint J-hónapoknak jelölt adatszakszakra tagolással végeztük mind a barometrikus, mind a deformációs adatsoroknál: D-hónapok: november, december, január, február, E-hónapok: március, április, szeptember, október, J-hónapok: május, június, július, augusztus. Először a teljes évi adatsorok vizsgálatával a légnyomás szezonális változásait szemléltetjük, majd 2002-2006 évi csoportosított adatokon árapály feldolgozással és regresszió analízissel elemezzük a szezonális változások hatását az extenzométerre, illetve a korrekció lehetőségeit. A 4. ábra példaképpen a 2006-os év deformációs és légnyomás adatait mutatja. Jól látható, hogy a légnyomásnak nincs olyan határozott hosszú periódusú, szezonális jellege, mint a hőmérsékletnek (2. ábra), ezért a 4. ábrán a deformációgörbét úgy ábrázoltuk, hogy a 2. ábrán látható nyers adatsorból levontuk a szezonális változást, a 9-ed fokú polinomot. Ezáltal jobban megfigyelhető a légnyomás és a deformáció gyors változásai közötti kapcsolat.

4.1 A légnyomás szezonális tulajdonságainak vizsgálata

Első lépésként a légnyomás kb. éves periódusú szezonális változásait tanulmányoztuk. Ehhez az egyes években meghatároztuk a havi átlagos légnyomás értékeket, valamint ezek szórását. Ezt a



4. ábra. A Sopronbánfalvi Geodinamikai Observatóriumban 2006-ban regisztrált mikrobarográf és a szezonális változás levonása utáni extenzométeres adatsor (relatív elmozdulás nstr-ben).

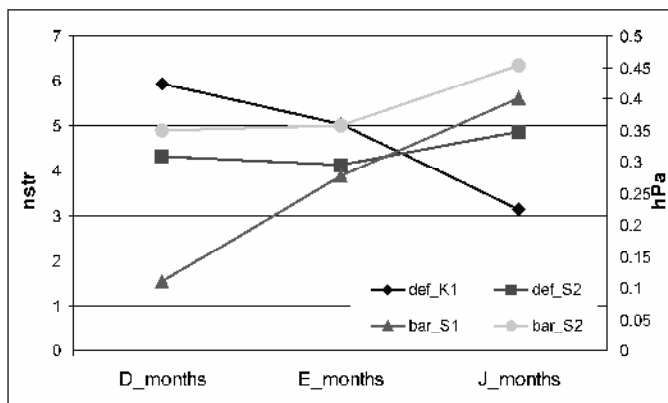
szórást tekintettük a havi változásnak. Az értékek az 1. táblázatban láthatók hPa-ban megadva 2002-től 2007-ig, majd az adott időszak értékeit havonként átlagoltuk (1. táblázat „Átlag” sora). E sorból jól látható, hogy a légnyomásváltozások a téli hónapokban jóval nagyobbak, mint a nyári hónapokban. A légnyomás változékonyságát az egyes hónapokban jól mutatja a légnyomásnak a havi átlaghoz viszonyított szórásai (1. táblázat „Szórás” sora). Ezekből az értékekből, pedig az látható, hogy a légnyomás változékonysága is nagyobb a téli hónapokban.

1. táblázat. A légnyomás havi változásai hPa egységben 2002 és 2007 között

Év	Hónapok januártól (1) decemberig (12)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2002	8.23	8.86	5.85	7.35	5.57	6.26	6.26	5.39	5.21	6.64	5.95	6.13
2003	11.63	11.10	5.71	6.29	3.59	3.76	4.12	4.51	6.76	10.22	10.03	8.42
2004	7.50	8.52	6.96	6.97	9.34	4.79	2.79	2.97	5.94	6.58	5.91	10.64
2005	8.60	13.80	6.77	9.68	4.62	4.39	3.19	3.95	4.69	4.31	10.22	10.84
2006	8.40	8.04	7.07	3.18	5.00	3.81	4.05	4.17	4.70	7.15	7.68	9.02
2007	6.85	7.86	11.01	4.20	5.46	4.18	3.90	5.02	5.34	3.27	6.95	11.73
Átlag	8.54	9.70	7.23	6.28	5.60	4.53	4.05	4.33	5.44	6.36	7.79	9.46
Szórás	1.65	2.33	1.94	2.33	1.97	0.93	1.20	0.85	0.79	2.43	1.93	2.04

4.2 Árapályanalízis

A Sopronbányai Observatóriumban mért deformációs és légnyomás (mikrobarográf) adatsoraink árapály kiértékelésével a jelen tanulmányban azt vizsgáljuk, hogy kimutatható-e összefüggés a paraméterek változása és a légköri árapály ismert szezonális váltakozása között. Mind az extenzométeres, mind a mikrobarográf adatokat szezonális csoportokba rendeztük, majd az árapályszámításokat az adatok e szakaszain, 2002-2006 évek időtartamára végeztük, az ETERNA 3.30 árapály-kiértékelő program segítségével (Wenzel, 1996) a Wahr-Dehant földmodellt alkalmazva (Wahr 1981, Dehant 1987). A mikrobarográf által regisztrált légnyomás értékeket kalibrálás után, mint gravitációs árapály komponenszt dolgoztuk fel a programmal, azzal az egyszerűsítéssel élve, hogy az árapály modellben csak az S1 és S2 hullámok csoportjaiban vettünk fel lehetséges értékeket. Az egyes csoportokban meghatározott árapály amplitúdókat összegeztük a számítás éveire, az eredményeket az 5. ábra tartalmazza. Az ábra alapján megállapítható, hogy az egynapos árapály tartományban a növekvő S1 barometrikus hullám amplitúdóhoz csökkenő P1K1 deformációs amplitúdó társul, míg a félnapos tartományról (def_S2 és bar_S2) egyrészt megállapíthatjuk, hogy a változások kisebb mértékűek, másrészt a szezonális amplitúdó változások ellentétes irányultsága nem annyira kifejezett, mint az egynapos hullámok esetében (def_K1 és bar_S1).



5. ábra. Átlagos amplitúdó nagyságok a D-, E- és J-hónapokra a 2002-2006 időszakban

4.3 Regresszióanalízis

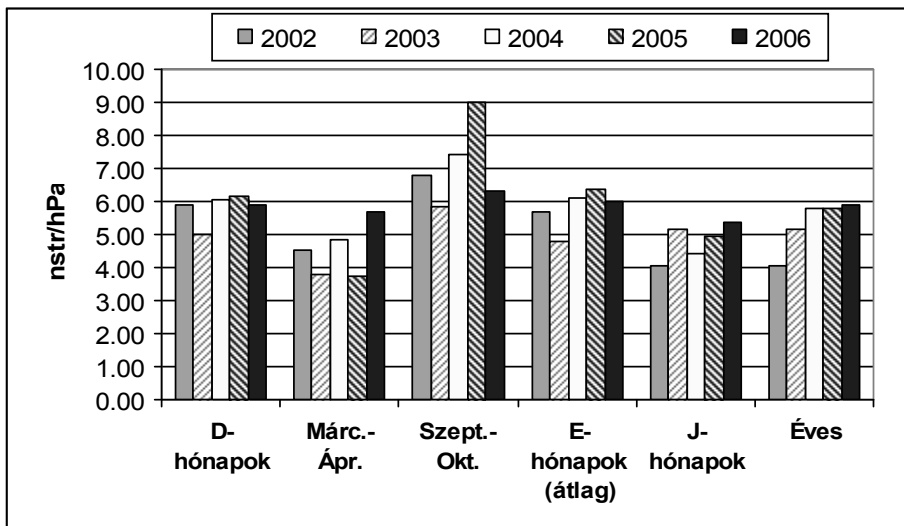
A regressziós vizsgálatok során regressziós együtthatókat határoztunk meg a deformációs és légnyomás adatsorok között, az extenzométeres adatokat a légnyomás függvényeként felvéve. A számításokat mind az egyéves hosszúságú adatsorokon, mind a szezonálisan felbontott adatszámegmenseken elvégeztük.

Az együtthatók meghatározásának hibája 0.1-0.3 nstr/hPa között változik, a két mért adatsor közötti fázisviszonyokat egy korábbi publikációban vizsgáltuk (Mentes és Eper-Pápai 2006), mely szerint a sopronbánfalvi Obszervatóriumra vonatkozóan a deformációs és légnyomás adatok között nem találtunk fázistolást az árapály frekvenciákon. Az eredményeket a 6. ábra foglalja össze. A regressziós együtthatókat mind szezonális felbontásban, mind az E-hónapok két részének felbontásában ábrázoljuk. A D- és E-hónapok átlagai kis mértékben különböznek az egész évre vonatkozó értékektől, a J-hónapok alacsonyabb értékei tükrözik azt a tényt, hogy a légnyomás változékonysága nyáron a legkisebb.

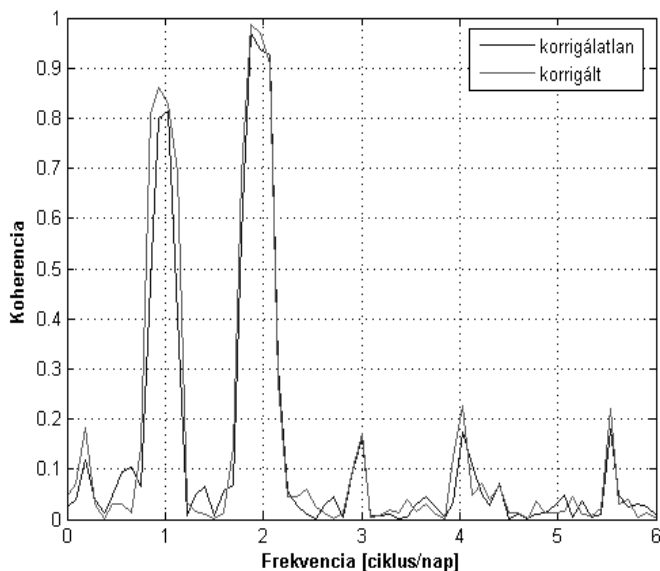
A szezonálisan elvégzett regressziós barometrikus korrekció hatékonyságát szemben az éves adatsoron végzett korrekcióval az árapály analízis utáni maradékértékek Fourier-amplitúdóinak segítségével vizsgáltuk. A reziduális értékek spektrumát mind a korrigálatlan mind a korrigált deformációs adatok feldolgozása után kiszámítottuk. Az egynapos árapály tartományban nem találtunk javulást – amplitúdó csökkenést – az adatokon, ami kétségesé teszi az eredményességet ebben a tartományban. Ugyanakkor a félnapos tartomány esetében a reziduális amplitúdók 20-30 %-os csökkenése mintegy 10 %-os javulást jelent az egész évre végzett korrekcióhoz képest.

4.4 Koherenciavizsgálat

Koherencia analízis segítségével ellenőriztük, hogy a légnyomás hatásának regressziós módszerrel való korrekciója mennyire hatásos. Első lépésben az obszervatórium földrajzi helyére az ETERNA 3.30 program segítségével a vizsgált évekre kiszámítottuk az elméleti árapályt. Ezt tekintettük bemeneti jelnek, az extenzométerrel mért adatokat pedig kimeneti jelnek. A két jel koherenciája egyúttal felvilágosítással szolgál a Föld - obszervatórium - műszer, mint rendszer jelátviteli tulajdonságairól (7. ábra korrigálatlan görbe). Ugyanezt a vizsgálatot megismételtük az elméleti árapály és a légnyomással korrigált extenzométer adatok között (7. ábra korrigált görbe). Az ábrából látható, hogy a naps frekvenciatartományban a koherencia értéke kb. 0.8, míg a félnapos tartományban 0.95. Ez azt jelenti, hogy a naps tartomány zavartabb, azonban a légnyomás korrekciója sem javított ezen az értéken jelentősen, bár a javulás valamivel jobb, mint a félnapos tartományban. Ezt



6. ábra. Regressziós együtthatók légnyomás és extenzométeres adatok között



7. ábra. Koherencia az elméleti árapály és az extenzométerrel mért deformáció adatok, valamint a hőmérséklettel korrigált deformáció adatok között 2006 évben

követően megvizsgáltuk a hőmérséklet hatását is. Ehhez az extenzométeres adatsort előbb korrigáltuk a hőmérséklettel, majd ezt követően a légnyomással és ezt az adatsort használtuk kimenőjelként, míg a bemenőjel továbbra is az elméleti adatsor maradt. Eredményül ugyanazt a koherenciagörbét kaptuk, mint abban az esetben, amikor csak a légnyomás hatását korrigáltuk, ezért ezt a görbét a 7. ábrán nem tüntettük fel. Ez az eredmény egyezik a 3. fejezetben kapott eredménnyel, hogy a hőmérséklet hatása a napos és félnapos frekvenciatartományokban elhanyagolható.

5 Összefoglalás

Obszervatóriumunkban regisztrált adatsorok – deformáció, légnyomás, hőmérséklet – rövid és hosszúperiódusú komponenseinek vizsgálata geodinamikai célú kutatásokat támogat. Mivel a hőmérséklet és a légnyomás változásainak hatása megváltoztatja a deformáció mérését, zajként jelentkezik. Célunk, hogy a folyamatok közötti bonyolult összefüggések alapján minél hatékonyabb korrekciós módszereket találjunk e hatások eltávolítására. Ebben a tanulmányban egyrészt a hőmérséklet extenzométeres mérésre gyakorolt hatását, másrészt a légnyomás szezonális változásainak deformációs árapály feldolgozásra kifejtett hatását vizsgáltuk. Megállapíthatjuk, hogy a hőmérséklet hosszúperiódusú változása olyan termoelasztikus deformációt okoz, mely késleltetve (kb. 20 nap késéssel) megjelenik a lineáris deformáció mérésében, és viszonylag egyszerű matematikai módszerekkel eltávolítható az adatsorból. Ugyanakkor az árapály tartományban koherencia vizsgálatok alapján nem találtunk közvetlen hőmérséklet-hatást. A légnyomás esetében megállapítható, hogy az árapály frekvenciákon a légköri árapály befolyásolja a deformáció mérésből meghatározható árapály paramétereket, továbbá a jelen tanulmányban bemutatott vizsgálatok arra utalnak, hogy a légnyomás szezonális váltakozása is hatást gyakorol a mérésre. A regressziós számításokból kapott eredményeket az árapály feldolgozás eredményeivel összehasonlítva azt találjuk, hogy a légnyomás amplitúdói ellentétes irányú változási tendenciát mutatnak a regressziós koefficienssekkel szemben. Ez az eredmény további magyarázatra szorul.

Köszönetnyilvánítás. Ez a tanulmány a K71952 számú OTKA projekt keretében készült. Külön köszönet illeti Molnár Tibort az obszervatórium rendszeres és gondos felügyeletéért, valamint a műszerek karbantartásáért, amely lehetővé tette a hosszú folyamatos adatsorok regisztrálását.

Hivatkozások

- Boy JP, Ray R, Hinderer J** (2006): Diurnal atmospheric tide and induced gravity variations. *J. Geodyn.* 41, 253-258.
- Dehant V** (1987): Tidal Parameters for an Unelastic Earth. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 49, 97-116.
- Eper-Pápai I, Mentes G** (2002): The effect of atmospheric pressure on strain measurements at the Sopron Observatory, Hungary. *Bull. d' Inf. Marees Terr.* 137, 10901-10906.
- Haurwitz B, Cowley D** (1973): The Diurnal and Semidiurnal Barometric Oscillations, Global Distribution and Annual Variation. *Pure Appl. Geophys.* 102, 193-222.
- Kroner C, Jentsch G** (1999): Comparison of different barometric pressure reductions for gravity data and resulting consequences. *Phys. Earth Planet. Int.* 115, 205-218.
- Kroner C, Jahr T, Kuhlmann S, Fischer KD** (2005): Pressure-induced noise on horizontal seismometer and strainmeter records evaluated by finite element modelling. *Geophys. J. Int.* 161, 167-178, doi:10.1111/j.1365-246X.2005.02576.x.
- Mentes Gy** (1983): Capacitive transducers for horizontal pendulums and gravimeters. *Acta Geod. Geoph. Mont. Hung.* 18, 359-368.
- Mentes Gy** (1991): Installation of a quartz tube extensometer at the Sopron Observatory. *Marees Terrestres Bulletin d'Informations, Bruxelles*, 110, 7936-7939.
- Mentes Gy** (1995): In-situ calibration of quartz tube extensometers, *Marees Terrestres Bulletin d'Informations, Bruxelles*, 121, 9070-9075.
- Mentes Gy** (1997): Folyamatos mérési módszerek geodinamikai, környezeti és ipari deformációk megfigyelésére. MTA doktori értekezés, Sopron (Magyar Tudományos Akadémia), 173 p.
- Mentes G** (2000): Influence of Temperature and Barometric Pressure Variations on Extensometric Deformation Measurements at the Sopron Station. *Acta Geod. Geoph. Hung.* 35 (3), 277-282.
- Mentes Gy** (2004): Atmospheric tide obtained by the microbarograph developed at the Geodetic and Geophysical Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences. *Acta Geod. Geoph. Hung.* 39 (1), 39-48.
- Mentes Gy** (2005): Results of Tidal Research. *Acta Geod. Geoph. Hung.*, 40 (3-4), 293-305.
- Mentes Gy** (2008): Observation of recent tectonic movements by extensometers in the Pannonian Basin. *J. Geodyn.* 45, 169-177.
- Mentes Gy, Eper-Pápai I** (2006): Investigation of meteorological effects on strain measurements at two stations in Hungary. *J. Geodyn.* 41 (1-3), 259-267.
- Onoue K, Takemoto S**, (1998): Atmospheric pressure effect on ground strain observation at Donzurubo observatory, Nara, Japan. In: *Proceedings of the 13th International Symposium on Earth Tides, Brussels, 22-25 July 1997*, 157-164.
- Rabbel W, Zschau J** (1985): Static deformations and gravity changes at the Earth's surface due to atmospheric loading. *J. Geophys.* 56, 81-99.
- Steffen H, Kuhlmann S, Jahr T, Kroner C** (2005): Numerical modelling of the barometric pressure-induced noise in horizontal components for the observatories Moxa and Schiltach. *J. Geodyn.* 41, 242-252.
- Sun HP** (1995): Static deformation and gravity changes at the Earth's surface due to the atmospheric pressure. PhD Thesis, Cath. Univ. Louvain, Belgium.
- Wahr JM** (1981): Body Tides on an Elliptical, Rotating, Elastic Earth without Oceans. *Geophys. J. R. astr. Soc.* 64, 677-703.
- Wenzel HG** (1996): The nanogal software: Earth tide data processing package ETERNA 3.30. *Bull. d'Inf. Marées Terr.* 124, 9425-9439.