

A földi és az atmoszférikus árapály egyéb geodinamikai hatásai és kapcsolatuk a kőzetek radonkibocsátásával

a K 71952 számú OTKA kutatás zárójelentése

1. A projekt keretében végzett munkák

A projekt célkitűzéseit a tervnek megfelelően sikerült megvalósítani. Folyamatosan foglalkoztunk a műszerek (extenzométer érzékelő és kalibrálás) továbbfejlesztési lehetőségével és pontossági vizsgálatával. Rendszeresen évente kalibráltuk a sopronbánfalvi extenzométert és két évente a vyhne-i (Szlovákia), valamint Az ELGI Mátyáshegyi obszervatóriumában levő két extenzométert. Valamennyi műszer érzékelője az MTA GGKI-ban készült. A műszerek kalibrálására az MTA GGKI-ban kifejlesztett kalibráló berendezést használjuk, ezáltal azonos minőségű adatokat kapunk a Pannon medence jelenkori tektonikai mozgásainak értelmezése céljából. E műszerek felügyelete, karbantartása és kalibrálása ellenértékeként megkapjuk az ott mért adatokat, amelyek feldolgozása és értelmezése rendszeres időközönként, közösen történik.

Továbbfejlesztettük a korábban készített obszervatóriumi, in-situ kalibráló berendezésünket, amelynek pontosságát az előző berendezés pontosságának 5-szörösére sikerült növelnünk. Az extenzométert és a kalibrálóberendezést az Amerikai Fizikai Intézet Scientific Research Instruments című folyóiratában ismertettük. Műszeres erőfeszítéseinknek köszönhetően, tudomásunk szerint, a Sopronbánfalvi Geodinamikai Obszervatóriumban (SGO) sikerült regisztrálnunk a világon a leghosszabb, folyamatos adatsort. Rendszeresen végeztük az extenzométer, a mikrobarográfok adatainak, valamint a külső hőmérséklet és légnyomásadatok rendezését, előfeldolgozását, az extenzométeres mérési eredmények árapály és tektonikai mozgásvizsgálati célú feldolgozását. Az eredményeket a Journal of Geodynamics folyóiratban ismertettük.

Az extenzométeres méréseket nemzetközi együttműködést keretében végezzük a Szlovák Tudományos Akadémia pozsonyi Geofizikai Intézetével a jénai Friedrich Schiller Egyetem Alkalmazott Geofizikai Intézetével, az Orosz Tudományos Akadémia moszkvai Geofizikai Intézetével, valamint új, jövőbeli együttműködést alakítottunk ki az Ukrán Nemzeti Tudományos Akadémia Geofizikai Intézetével a Kárpát-régió extenzométeres megfigyelésére. Ezáltal a sopronbánfalvi, a budapesti, a vyhnei (Szlovákia) és a Kárpátokban levő extenzométeres adatokat használhatnánk a középeurópai GPS hálózat kiegészítéseként a lokális mozgások megfigyelésére.

Vizsgáltuk a környezeti paraméterek hatását az extenzométeres mérésekre. A légnyomás hatásának korrigálására egy új, ezen a területen még nem használt, neurális hálózaton alapuló módszert fejlesztettünk ki. A Jénai Friedrich Schiller Egyetem Alkalmazott Geofizikai Intézetével együttműködve, végelem módszerrel modelleztük a légnyomás, ill. a szél hatását a Sopronbánfalvi Geodinamikai Obszervatóriumra. Az együttműködés révén megspóroltuk egy végelem program beszerzését ill. bérletét. A program ára, ill. bérleti díja olyan nagy, hogy elérhetetlen lett volna számunkra.

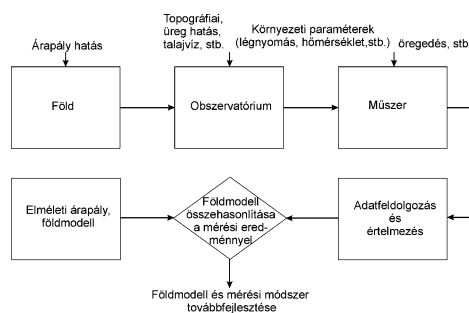
2008 szeptemberében az SGO-ban üzembehelyeztünk egy GENITRON gyártmányú AlfaGuard típusú radon koncentrációt mérő műszert a köztetfeszültség és a radon koncentráció közötti összefüggés vizsgálata céljából. Ezen a téren az ELTE Atomfizikai Tanszékével alakítottunk ki együttműködést és radon koncentráció adatokat szolgáltatunk egy MSc hallgató diplomamunkájának elkészítéséhez is. Két év folyamatos regisztrálás adatait felhasználva elemeztük az extenzométerrel mért strain adatok és a radon koncentráció változásainak összefüggését. Az eredmények publikálása folyamatban van.

Strain mérések és szeizmológiai eljárások komplex alkalmazásán alapuló módszert dolgoztunk ki egy adott földrengés forrás zónából ismert eddig megfigyelt legnagyobb esemény visszatérési idejének meghatározására. A módszert egyaránt alkalmaztuk a világ legaktívabb szeizmikus térségeire és a hazai nagyobb földrengéses területekre.

Eredményeinket számos külföldi és hazai konferencián ismertettük, ill. neves külföldi szakfolyóiratokban publikáltuk. A radon koncentráció és a strain közötti összefüggéssel kapcsolatos további két publikáció kézírata (a szükséges hosszú párhuzamos regisztrátumok miatt) a projekt zárásának időpontjában készül és várhatóan publikálásuk 2012-ben vagy legkésőbb 2013-ban megtörténik. Kutatási program megvalósítása során elért legfontosabb eredményeinket az alábbiakban röviden ismertetjük, mivel azok már publikálva vagy publikálás előtt vannak.

2. Módszerek fejlesztése a környezeti paraméterek hatásának vizsgálatára és kiszűrésére

Az extenzométerek a kőzet deformációját mérik. A geodinamikai eredetű deformációk mellett, azonban más deformációk, pl. a környezeti paraméterek (hőmérséklet, légnyomás, talajvízszint ingadozások, stb.) is hatnak a műszerre. Ez a hatás lehet közvetlen vagy közvetett. A közvetlen hatások a műszer paramétereit közvetlenül befolyásolják, míg a közvetett hatások az obszervatórium környezetében kőzetdeformációt okoznak, ami a vizsgálandó geodinamikai jelenség mérését pontatlanná teszi. Ezekon kívül a geodinamikai deformációk mértékét jelentősen befolyásolhatják pl. az obszervatórium és környezetének topográfiája (topográfiai hatás), az üreghatás, stb. Az üreghatás azt jelenti, hogy az obszervatórium nem úgy deformálódik, mintha eredeti kőzettel lenne kitöltve. Ez a hatás a műszer elhelyezésével csökkenthető, ill. végeelem módszerrel elemezhető és valamilyen mértékben korrigálható. Az árapálymérések pontosságát befolyásoló hatások az árapálykutatás folyamatát bemutató 1. ábrán láthatók. Az árapály kutatás célja, hogy egyre pontosabb mérési módszerekkel, a környezeti hatások hatékony kiküszöbölésével, ill. korrekciójával, a kiértékelési eljárások tökéletesítésével hozzájáruljon egy pontosabb földmodell kidolgozásához. A mérési módszerek fejlesztése mellett ezért kiemelkedő szerepet játszik a környezeti paraméterek hatásának elemzése.

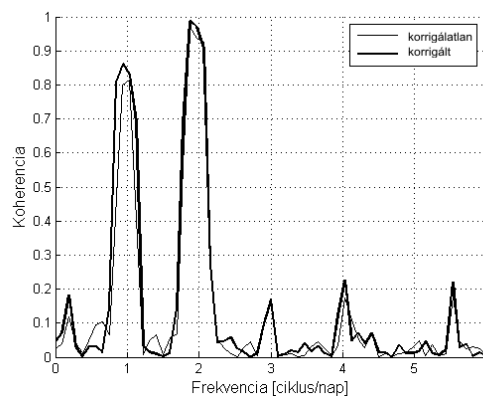


1. ábra. Extenzométeres árapály mérések blokkvázlata

2.1. Föld – obszervatórium – extenzométer rendszer vizsgálata

Mivel extenzométerek esetében a kőzet is része a műszernek, valamint az egyéb környezeti hatások mellett az obszervatórium kialakítása (üreghatás) és környezetének topográfiája is befolyásolja a műszerrel mért értékeket célszerű a teljes obszervatórium – extenzométer

rendszer (ld. 1. ábra) átviteli tulajdonságainak együttes vizsgálata. Erre a célra a koherencia analízist alkalmaztuk. A (Föld) – obszervatórium – extenzométer rendszer bemenő jelének az elméleti árapály adatsort tekintettük, amelyet az ETERNA 3.40. programcsomag PREDICT programjával állítottunk elő. Kimenőjelként első esetben az extenzométerrel mért adatsort, második esetben a hőmérséklettel korrigált mért adatsort és harmadik esetben, pedig a légnyomással korrigált adatsort vettük. A különböző esetekben a be- és kimenőjel koherenciáját a 2. ábra mutatja. A vékony vonallal jelölt görbe a korrelálatlan extenzométeres adatok esetében mutatja a koherenciát. A napos árapályhullámok esetében a koherencia értéke csak 0,8, míg a félnapos hullámok esetében 0,95. Az adatokat a hőmérséklettel korrigálva gyakorlatilag a vékony vonallal jelölt görbét kaptuk, amit külön nem ábrázoltunk. Ez azt jelenti, hogy az obszervatórium – extenzométer rendszer nem érzékeny a külső hőmérséklet változásaira a napos és félnapos frekvenciasávban. Ez az eredmény megegyezik a regressziós analízissel kapott eredményekkel is. A barometrikus korrekcióval ellátott extenzométeres adatok esetében a korrekció a félnapos tartományban jobb eredményt hozott, mint a napos tartományban, ahogy azt a vastag görbe mutatja. A koherencia vizsgálatok eredménye szerint az obszervatórium megfelelő hely a műszer számára és az extenzométer is jól működik. A napos tartományban kisebb átvitel oka még tisztázásra szorul. Ebben a frekvencia tartományban az árapály kiértékelésekből kapott zajszint (0.4-0.5 nstr.) is nagyobb, mint a félnapos tartományban (0.19-0.22 nstr.).

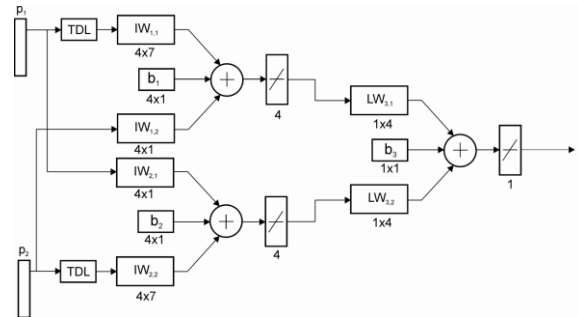


2. ábra. A koherencia analízis eredményei

2.2. A légnyomás hatásának korrekciója

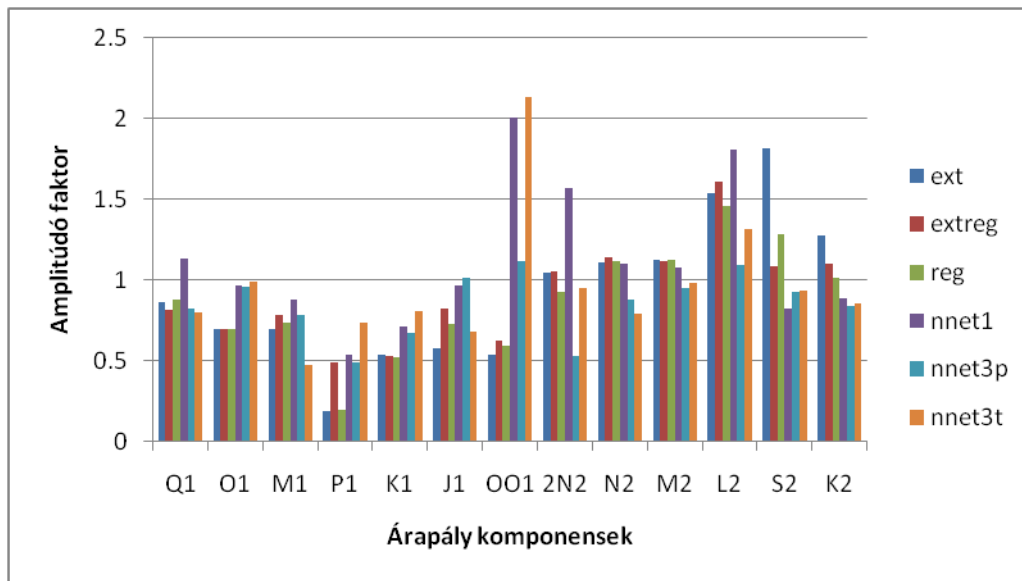
Nemzetközi téren nagy erőfeszítéseket végeznek a (szupravezető) graviméteres és extenzométeres mérési adatok légnyomás korrekciójának megoldására. Különösen problémás a feladat megoldása extenzométerek esetében, mivel az obszervatóriumtól távoli légnyomásváltozások földfelszín deformáló hatása az obszervatóriumban is észlelhető. Eddig olyan módszereket dolgoztak ki, amelyek a lokális légnyomásváltozások mellett a regionális légnyomások hatását is figyelembe veszik, azonban tökéletes megoldást ezek a módszerek sem adnak. Mivel számunkra csak az obszervatóriumban mért légnyomás adatok állnak rendelkezésünkre, ezért olyan megoldásokon gondolkodtunk, amelyek segítségével a lokális adatok felhasználásával is jobb eredményt kaphatunk az eddigi módszereknél. Megvizsgáltuk a Kalman-szűrő és a neurális hálózatok alkalmazhatóságát és az utóbbira esett a választásunk. Az ötletet az adta, hogy a neurális hálózat bemenő jeleként az extenzométeres és légnyomásadatokat alkalmazva a légnyomás adatokat 12 órával késleltetve az extenzométeres adatokhoz képest, ill. az extenzométeres adatokat késleltetve 12 órával a légnyomáshoz képest a légnyomás adatok kelet-nyugati irányú regionális hatása bizonyos mértékben figyelembe

vehető. Ez elég jó közelítést ad, ha figyelembe vesszük, hogy az időjárási frontok iránya nyugat-kelet irányú. Többféle neurális hálózatot dolgoztunk ki az egészen egyszerűtől (egyretegű) a többretegű hálózatokig. Ezekből a 3. ábrán egyet mutatunk be példaként a módszer szemléltetésére (a bemutatott hálózat csak 4 órát késlelteti, ill. sieteti a légnyomás adatokat az extenzométeres adatokhoz képest).



3. ábra. A neurális hálózat elve. (p_1 az extenzométeres adatsor, p_2 a légnyomás adatsor)

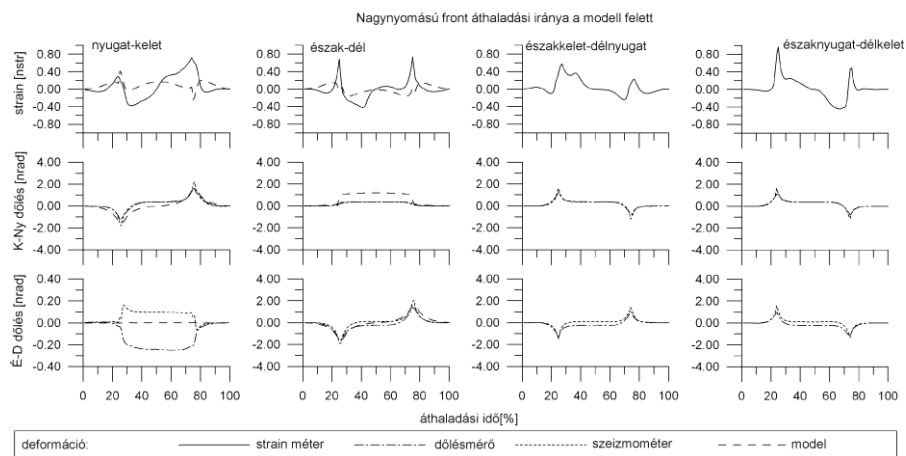
Az extenzométeres adatokat évenként dolgoztuk fel 2000-től 2010-ig. A neurális hálózat betanításához az évenként számított elméleti árapály adatsorokat használtuk. Az extenzométeres adatokat kiértékeljük légnyomás korrekció nélkül (ext). Az ETERNA program beépített regressziós légnyomás korrekcióját alkalmazva (extreg), saját lineáris regresszióval korrigálva (reg), egyretegű (nnet1), háromretegű purelin transzferfüggvényű (nnet3p) és tansig transzfer függvényű (nnet3t) neurális hálózattal korrigálva. A korrigált extenzométeres adatokat ETERNA programmal feldolgozva, összehasonlítottuk a kapott amplitúdó faktorokat (mért/elméleti érték) az egyes árapálykomponensek esetében. A 2005 évre kapott eredményeket a 4. ábra mutatja. Az ábrából jól látható, hogy a neurális hálózattal korrigált esetekben az amplitúdó faktor jobban közelít 1-hez, mint a többi korrekció esetében. Ez különösen érvényes az extenzométeres mérések pontosságára legjobban jellemző M2 és O1 hullámok esetében. Az árapály-feldolgozás utáni maradékgörbe vizsgálata azt mutatta, hogy valamennyi korrekció esetében a maradékgörbében maradt légnyomás komponens értéke nagyobb volt, mint az ETERNA programmal való korrekció esetében. Ebből azt a következtetést vontuk le, hogy a neurális hálózat a betanítás során igyekszik az elméleti görbére ráhúzni a korrigált görbét. Ennek azonban ellentmond az a tény, hogy a betanulás hibája egy adott érték körül ingadozott valamennyi évben és sohasem közelítette meg a nulla értéket, amelyhez tartania kellett volna, ha az elméleti árapályra közelít. Ebből a tényből arra következtethetünk, hogy, míg az ETERNA csak a lokális légnyomással végzi el a korrekciót, addig a neurális hálózat a regionális hatást is figyelembe veszi bizonyos mértékig és ezért a lokális légnyomás hatásából több marad a maradék görbében. A jobb eredmények a globális hatás figyelembevételének tudhatók be. Ez azonban még további vizsgálatra szorul. Az eredményekből az is kiderült, hogy nincs értelme nagyon bonyolult neurális hálózatot alkalmazni. Az eddigi eredményeket Nördlingenben (Németország) a Herbsttagung des Arbeitskreises Geodäsie/Geophysik konferencián mutattuk be, ahol az nagy érdeklődést váltott ki. A kidolgozott módszer a tudományterületen teljesen újnak számít. Az eredményeket a Computers and Geosciences folyóiratban szeretnénk publikálni, a még fennálló kérdések tisztázása után.



4. ábra. Árapály amplitúdó faktorok légnyomás korrekció nélkül (ext), az ETERNA program beépített regressziós légnyomás korrekcióját alkalmazva (extreg), saját lineáris regresszióval korrigálva (reg), egyrétegű (nnet1), háromrétegű purelin transzferfüggvényű (nnet3p) és tansig transzfer függvényű (nnet3t) neurális hálózattal korrigálva a légnyomást.

2.3. A légnyomás hatásának modellezése végeelem módszerrel

Az intézet geodétái 1:10000-es, valamint a finomabb részletek geodéziai felmérése alapján elkészítették az SGO digitális terepmodelljét (DTM). A DTM és az általunk megadott geológiai adatok alapján Andréé Gebauer PhD hallgató a Jénai Friedrich Schiller Egyetemen végeelem módszerrel modellezte az obszervatóriumra ható nagynyomású időjárás frontok által okozott deformációt, amelyet animációs filmen is figyelemmel lehet kísérni. A modellezés egyik eredményét az 5. ábrán mutatjuk be különböző típusú deformációk és négy szélirány esetében. A hallgató összehasonlító elemzést is végzett a Moxai Geodinamikai, a schiltachi Feketeerdő és a Sopronbánfalvi obszervatóriumokra, amely jelentősen hozzájárult a légnyomás hatásának értelmezéséhez.



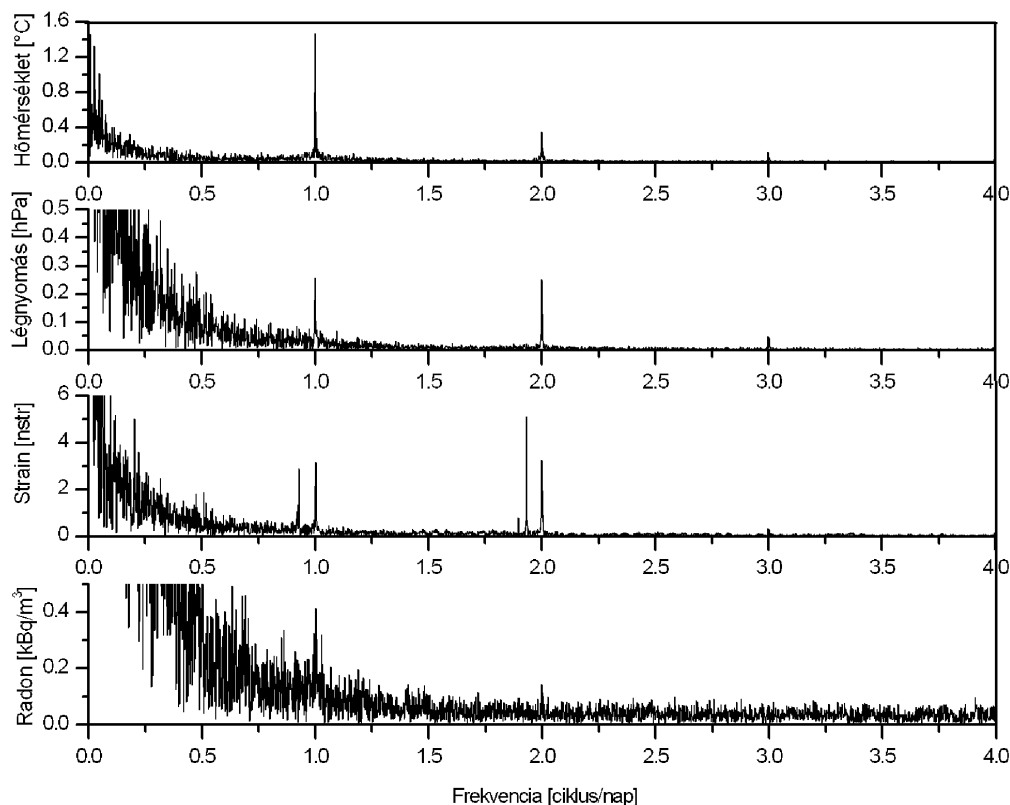
5. ábra. Különböző irányú, nagynyomású léggöri front deformációs (extenzió, dőlés) hatása a Sopronbánfalvi Geodinamikai Obszervatóriumra.

3. Kőzetfeszültség és radon koncentráció kapcsolatának vizsgálata a Sopronbánfalvi Geodinamikai Obszervatóriumban.

3.1. Hosszúperiódusú összefüggés vizsgálata

A geodinamikai folyamatok megfigyeléséhez hosszú adatsorokra van szükség, ezért kétéves (2009-2010) radon koncentráció adatsort dolgoztunk fel, amely így az utolsó projektévre maradt. Eddigi vizsgálatainkból azt a következtetést vontuk le, hogy a téli és a nyári radon kibocsátás között, valamint a téli radon koncentráció és a kőzetfeszültség között nincs kapcsolat. Ez azonban még további vizsgálatra szorul. Megállapítottuk, hogy rendkívül bonyolult kapcsolat van a radon koncentráció, a kőzetfeszültség, a hőmérséklet, légnyomás között. Ezekon kívül feltételezzük, hogy a szél, csapadék, talajvíz, stb. is jelentősen közrejátszanak a radon koncentráció értékének kialakításában. Mindezek kiderítéséhez, azonban még hosszabb adatsorra és a fenti paraméterek mérésére is szükség van. Továbbá szakirodalmi adatok alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy az obszervatórium speciális felépítése, szellőzése, stb. is befolyással lehetnek a mért radon koncentráció értékekre. Megállapítottuk, hogy a hosszúperiódusú radon koncentráció elsősorban a hőmérséklettől függ és a légnyomás csak kis mértékben befolyásolja. A radon koncentráció viselkedése a rövid periódusú tartományban éppen ellentétes. Itt elsősorban a légnyomásváltozás hatása dominál és a hőmérsékleté csak másodlagos. Míg a hosszúperiódusú tartományban 0,9 feletti korrelációs együtthatókat kaptunk a radon koncentráció és a hőmérséklet, valamint a légnyomás között, addig ezek az értékek a rövid periódusú tartományban 0,3 alatt maradtak. Jól mutatja a radon koncentráció-változás bonyolult jellegét a jel spektruma (6. ábra).

A radon koncentráció fentebb vázolt bonyolult változása miatt szétválasztottuk a hosszú periódusú, a rövid periódusú, jelek vizsgálatát. A hosszúperiódusú jelből egyértelmű, számszerű kapcsolatot sikerült kimutatnunk a kőzetfeszültség (strain) és a radon koncentráció változása között, vagyis meghatároztuk, hogy 1 nstr kőzetfeszültség-változás hány kBq/m³ radon koncentráció változást okoz. A fenti eredmény nemcsak a kőzetfeszültség és a radon koncentráció közötti összefüggés miatt kiemelkedő jelentőségű, hanem azt is mutatja, hogy az extenzométer által mért értékek valóságosak, a műszernek nincs kimutatható driftje, amit korábban műszeres kalibrációval is bizonyítottunk. Ez azt is jelenti, hogy egy elmozdulást (kőzetfeszültséget) mérő műszert nemcsak elmozdulást mérő műszerrel, hanem radon koncentrációt mérő műszerrel is „kalibráltunk”. A projekt legfontosabb eredményének a fenti összefüggések kimutatását tartjuk.



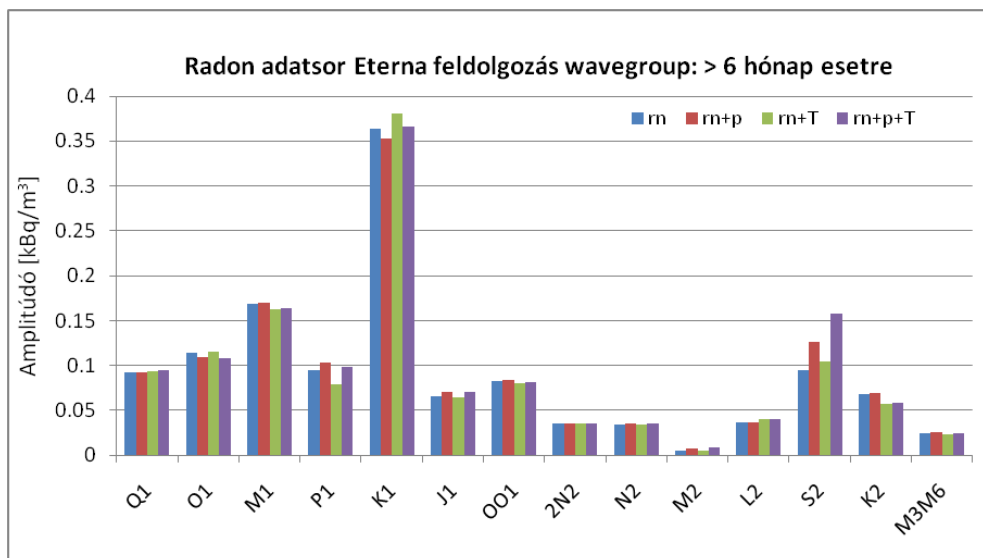
6. ábra. Az SGO-ban mért nyers hőmérséklet, légnyomás, közetfeszültség (strain) és radon koncentráció adatok amplitúdó spektruma

3.2. Rövidperiódusú összefüggések vizsgálata

Eddigi vizsgálataink alapján a felülateresztő szűrővel nyert, gyors változású adatokból nem sikerült egyértelmű kapcsolatot kimutatni a közetfeszültség és a radon koncentráció között. Ezt az adatsort szeretnénk a légnyomás, a hőmérséklet és a radon koncentráció közötti kapcsolat alapos vizsgálatára felhasználni. Jelenleg az adatok feldolgozása van folyamatban. Ez a téma már nem kapcsolódik szorosan a projekthez, de a mérési adatok és eredmények jelentősen hozzájárulhatnak a radonnal kapcsolatos környezetvédelmi kutatásokhoz is, és ezért egy publikációt szeretnénk megjelentetni a Natural Hazards and Earth System Sciences című folyóiratban.

3.3. Az árapály és a radon koncentráció közötti kapcsolat vizsgálata

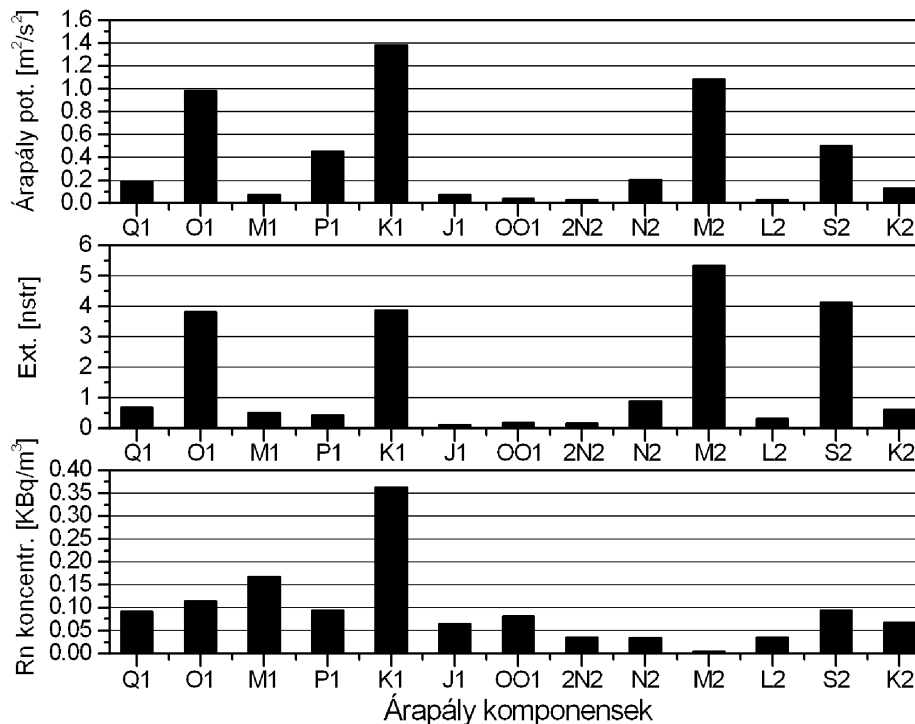
Számos publikáció foglalkozik az árapály és a kőzet radonkibocsátása közötti kapcsolat tanulmányozásával. Ezek a vizsgálatok barlangokban, alagutakban és lakóházakban mért radon koncentrációt hozzák összefüggésbe az árapálllyal, azonban ezeken a helyeken a legtöbb esetben nem történt folyamatos közetfeszültség-mérés. Az ETERNA 3.40 árapály-feldolgozó programcsomaggal kiértékeljük a kétéves radon koncentráció adatsorunkat különböző esetekben: korrigálatlan radon koncentráció adatsor (rn), légnyomással (rn+p), hőmérséklettel (rn+T), ill. légnyomással és hőmérséklettel (rn+p+T) korrigálva. A korrekciót a kiértékelés során az ETERNA program végezte. Az eredményeket a 7. ábra mutatja. Látható, hogy a kapott árapály komponenseknek megfelelő radon koncentráció amplitúdók lényegesen nem függenek a korrigálástól. Ennek oka, hogy a „nagyfrekvenciás” (napos, félnapos periódusidejű) tartományban nem sikerült szignifikáns korrelációt kimutatni a radon koncentráció és a légnyomás, valamint a hőmérséklet között.



7. ábra. ETERNA 3.40 programcsomaggal számított árapály komponenseknek megfelelő radon koncentráció amplitúdók Korrigálatlan (rn), légnyomással (rn+p), hőmérséklettel (rn+T), ill. légnyomással és hőmérséklettel (rn+p+T) korrigált radon koncentráció adatsorból számítva.

A kétéves radon koncentráció adatok árapály kiértékeléssel kapott eredményeit összehasonlítottuk az elméleti árapály és az extenzométerrel mért strain adatsor árapály kiértékelésével kapott eredményekkel (8. ábra). Az ábrából jól látható, hogy az M2 fő lunáris hullám, a legnagyobb félnapos árapály komponens, teljesen hiányzik a radon koncentrációból, amelyből arra lehet következtetni, hogy a radon koncentráció és az árapály között nem áll fenn kapcsolat. Az M1 hullám az elméleti árapály potenciálban és az extenzométerrel mért strain adatok árapály összetevői között is lényegesen kisebb amplitúdójú, mint a többi napos periódusú hullám (K1-et kivéve), míg a radon koncentráció esetében a többinél nagyobb. Vizsgálataink alapján az S2 fő szoláris és az O1 fő lunáris összetevők tűnnek árapály eredetűnek. Ezt támasztja alá, hogy mindkét hullám esetében a radon koncentráció amplitúdót osztva a strain amplitúdóval azonos értéket (0,023) kapunk. Hasonló a helyzet a K1 és K2 napos és félnapos luni-szoláris hullámok esetében. Itt az előző módon számított hányados értéke 0,11. A többi hullám esetében nem kapunk egyező hányados párokat, továbbá az értékek is nagyon eltérők egymástól. Ugyanezt a vizsgálatot elvégezve külön a 2009 és 2010 évi nyári adatokra, amelyek esetében a hosszúperiódusú strain és radon koncentráció (szűrt értékek) között szoros kapcsolatot találtunk (ld. 3.1 fejezet) egyetlen egyező radon koncentráció/strain hányadost sem találtunk. Mivel a hőmérséklet és légnyomás változása nem kötődik a csillagászati adatokhoz, mint az árapályhullám, ezért a napos hőmérséklet- és légnyomásváltozások értéke sem pontosan 24 óra. Így az időjárástól függően a radon koncentráció változásban a 12 és 24 órás periódusú jelek környékén számos frekvenciájú komponens jöhet létre, köztük árapály frekvenciáknak megfelelők is. Ez lehet az oka annak, hogy az ETERNA kiértékelés során olyan árapály komponensek is megjelentek a radon koncentrációban, amelyeknek semmi közük a közetfeszültséghez. A 6. ábrán bemutatott amplitúdó spektrumból is látható, hogy a napos (1 ciklus/nap) és félnapos (2 ciklus/nap) árapály, ill. árapályközeleli frekvenciákon és azok környezetében nagy amplitúdójú összetevők vannak a radon koncentrációban, míg a strain adatokban a karakterisztikus napos és félnapos hullámok mellett a többi komponens amplitúdója elhanyagolható. Ha figyelembe vesszük, hogy a gneiszben 1°C hőmérsékletváltozás ugyanakkora relatív megnyúlást okoz, mint a

maximális árapályerő által okozott feszültség (10^{-7}), akkor joggal feltételezhetjük, hogy a kapott árapálykomponensek a radon koncentrációban nincsenek összefüggésben az extenzométerrel kapott komponensekkel. Ennek pontos és megbízható eldöntéséhez azonban még további vizsgálatokra van szükség. Az eddigi eredményeket Nördlingenben (Németország) a Herbsttagung des Arbeitskreises Geodäsie/Geophysik konferencián mutattuk be és egy a Geophysical Journal International folyóiratba tervezett publikáció készülében van.



8. ábra. Elméleti árapály potenciál, extenzométer és radon koncentráció adatokból számított árapály komponensek.

4. Lokális tektonikai mozgásvizsgálat eredményei

Rendszeresen elvégeztük az extenzométeres adatok árapály kiértékelését, amelynek eredményeit az extenzométeres adatok légnyomás, hőmérséklet, stb. korrekciójának ellenőrzése mellett arra is felhasználtuk, hogy ellenőrizzük az obszerválási hely és a műszer stabilitását. A műszeres kalibrálás mellett az árapály paraméterek jósága a műszer rejtett hibái mellett az obszervatóriumban, ill. annak környezetében beálló változásokról is tájékoztatást ad. Mivel a tektonikai folyamatok nagyon lassúak, a mozgások kicsik, ezért a műszer és környezetének stabilitásvizsgálata a legfontosabb kérdés az extenzométeres mérések eredményeinek tektonikai értelmezése szempontjából. Extenzométeres méréseink megbízhatóságát bizonyítja ennek a projektnek az a kiemelkedő eredménye, hogy az extenzométeres mérések jóságát a távolság vagy elmozdulás mérések elvétől egy teljesen eltérő elven alapuló módszerrel, radon koncentráció méréssel, is sikerült bizonyítani. Ezek alapján joggal mondhatjuk, hogy a világon a tudásunk szerint egyik leghosszabb (21 év, a 2011 éves adatsort is beszámítva), és legmegbízhatóbb extenzométeres adatsorral rendelkezünk. Az éves átlagos kompresszió értéke $-5.36 \mu\text{str}/\text{év}$. A 90-es évek elején a kompresszió nagyon lassú volt. 1993-2001 között a kompresszió gyorsult $-8,6 \mu\text{str}/\text{év}$ értékre (2001-ben), majd 2002 és 2010 között lassult, kb. $-2,5 \mu\text{str}/\text{év}$ értékre (2010-ben). Az extenzométerrel mért lokális tektonikai mozgássebesség változás a GPS mérések pontossági küszöbe alatt van, ezért ez az eredmény, jelentős mértékben járulhat hozzá a Pannon medence

tektonikai folyamatainak megértéséhez, kiegészítve a CEGRN és HGRN hálózatokban mért GPS mozgássebességek adatait. Eredményeinket a 3.1. pontban leírt eredményekkel együtt Journal of Geodynamics folyóiratban publikáltuk (megjelenés alatt).