

UDK 528.563:681.783:550.831:543.42:550.34.06  
Izvorni znanstveni članak

## Instrumenti na stanicima za praćenje disanja Zemljine kore na RGN fakultetu Zagreb

Radovan MARJANOVIĆ KAVANAGH – Zagreb<sup>1</sup>

*SAŽETAK.* Na RGN fakultetu u Zagrebu prvi je put u našoj zemlji uspješno puštena u pogon stanica za praćenje disanja Zemljine kore. U pogon stanice uključeni su različiti mjerni instrumenti: Permanentna Trimble GNSS-stanica, vertikalni ekstenzometar, dvokomponentni tiltmetar, jednokomponentni tiltmetar i stacionarni gravimetar LaCoste & Romberg ET 16. GNSS-antena postavljena je na stup na terasi iznad rudarskog okna i antenskim kabelom spojena na prijamnik koji je uz pomoć LAN-mreže povezan s centralnim računalom. Svi ostali mjerni uređaji spojeni su na data-logger koji je također pomoću LAN-mreže povezan s centralnim računalom. U istom prostoru gdje je postavljen data-logger smješteni su svi kontrolni uređaji potrebni za rad tih instrumenata. Kod gravimetra, tiltmetra i vertikalnog ekstenzometra primijenjeni su kapacitivni senzori, a kod gravimetra je na iste ploče kondenzatora priključena i elektrostatička povratna veza. Svi ti elektronički uređaji vlastite su konstrukcije. Signali s mjernih instrumenata direktno se ili preko niskopropusnih Butterworthovih filtara (strmine 18 dB/oktavi i vremenske konstante 100 s) dovode na data-logger. Uz signale sa spomenutih mjernih uređaja prikupljaju se također i podaci sa senzora tlaka zraka (digitalni barometar) te registrira temperatura u gravimetru, kućištu elektronike kapacitivnog senzora tiltmetara, a također temperatura prostora mjernih uređaja i rudarskog okna. Na displeju računala moguće je praćenje registracija, koje se uzorkuju svake sekunde, uz Flukeov grafički program Trend-link, a za obradu drugim standardnim statističkim programima podaci mjerenja pohranjuju se u CSV ASCII kodu. Predviđeno je da se mjerni podaci registrirani kao vremenski nizovi statistički obrade i primijeni Fourierova spektralna analiza sadržaja registracije te korelacijska i križna kovarijantna analiza. Posebno je značenje tih istraživanja u tome što će se na temelju mjerenja i registracija vremenskih nizova prvi put u našoj zemlji preciznim stacionarnim gravimetrom odrediti realni parametri elastičnosti Zemlje i njihova odstupanja od teorijskih parametara, a ujedno i maksimalne amplitude plimnih valova za tu lokaciju. Isto je tako posebno važan egzaktni postupak određivanja vlastite frekvencije zgrade, što će u budućem sustavu zaštite od potresa morati postati jedan od standardnih postupaka pri zoniranju hazarda zgrada u gradovima.

*Ključne riječi:* gravimetar, 2-komponentni tiltmetar, vertikalni ekstenzometar, kapacitivni senzor, Fourierova spektralna analiza, korelacijska analiza, kovarijantna analiza, parametri elastičnosti Zemlje, vlastita frekvencija zgrada, registracije potresa i mikroseizmike.

<sup>1</sup> Prof. dr. sc. Radovan Marjanović Kavanagh, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Croatia, e-mail: ramaka@rgn.hr.

## 1. Uvod

Pod utjecajem privlačenja Mjeseca, Sunca i drugih planeta, površina Zemlje se kontinuirano ali periodično deformira. Kako se promatrači nalaze na površini koja mijenja svoj oblik, nije moguće izravnim promatranjem uočiti fenomen plime i oseke čvrste Zemlje kao npr. promjene vodostaja velikih vodenih površina. Fenomen plime i oseke čvrste Zemlje poznat pod nazivom disanje Zemljine kore moguće je registrirati posredno mjerenjem promjena ubrzanja sile teže ili pak iznimno preciznim direktnim mjerenjima promjena nagiba ili mjerenjem promjena dimenzija. Plimne valove moguće je vrlo precizno predvidjeti i modelirati pa se usporedbom s podacima dobivenim realnim mjerenjima može zaključivati o mnogim fizikalnim svojstvima kao o elastičnim parametrima Zemlje, o rasporedu masa i dr.

## 2. Instrumenti na stanicima

Na RGN fakultetu u Zagrebu prvi je put u našoj zemlji u probni pogon uspješno puštena stanica za praćenje disanja Zemljine kore. Sličan je projekt započet prije više godina (Čolić 1980) u kojem je sudjelovao i autor, no projekt uspostave stanice za disanje Zemljine kore (tada u Kašini kraj Zagreba) zbog raznih objektivnih razloga nije mogao biti ostvaren. Tek je u novije vrijeme nabavom novih i razvojem vlastitih mjernih uređaja moguće ostvariti takva istraživanja. Posebno je značenje te stanice i rezultata stvarnih mjerenja u tome što se prvi put u našoj zemlji direktno preciznim stacionarnim gravimetrom određuju elastični parametri Zemlje. Također je prihvaćen važan princip u primjeni skupe i složene mjerne tehnike da se isti mjerni uređaji mogu upotrebljavati na više lokacija i time prikupiti međusobno usporedivi podaci mjerenja.

U probni pogon na RGN fakultetu uključeni su sljedeći mjerni uređaji: Permanentna Trimble GNSS-stanica, vertikalni ekstenzometar, dvokomponentni tiltmetar (vertikalno njihalo s dugom bazom, orijentirano u smjerove istok-zapad odn. sjever-jug), jedno-komponentni tiltmetar (vertikalno njihalo s kratkom bazom orijentirano u smjeru istok-zapad) i stacionarni gravimetar LaCoste & Romberg, model ET 16.

Za permanentno GNSS-praćenje upotrebljava se prijammnik Trimble SPS 851 s fiksno postavljenom Zephyr geodetskom antenom. Prijammnik je postavljen u potkrovlju tornja RGN fakulteta, a GNSS-antena postavljena je na metalnom nosaču na terasi iznad tornja, koji je smješten iznad rudarskog okna (slika 1, slika 2). Uz pomoć 10-metarskog antenskoga kabela antena je priključena na prijammnik unutar zgrade koji je povezan na stalnu LAN-računalnu mrežu RGN fakulteta. Ostali mjerni uređaji smješteni su u podnožju rudarskog okna, a upravljački uređaji i LaCoste & Romberg, model ET 16 gravimetar postavljeni su u prostor ispred okna.

Senzor vertikalnog ekstenzometra vlastite je izrade, a konstruiran je kao kapacitivni s tri ploče. Vanjske ploče kapacitivnog senzora postavljene su na nosač postavljen na 8 mm debelu aluminijsku ploču koja je pomoću sidrenih klinova direktno učvršćena na betonski zid okna (slika 3). Pomoću vijaka za podešavanje moguće je srednju ploču senzora tako podesiti da pri mirovanju njihalo slobodno



Slika 1. GNSS-antena na tornju RGN fakulteta.



Slika 2. Rudarsko okno na RGN fakultetu.



Slika 3. Nosač senzora i vijci za podešavanje.

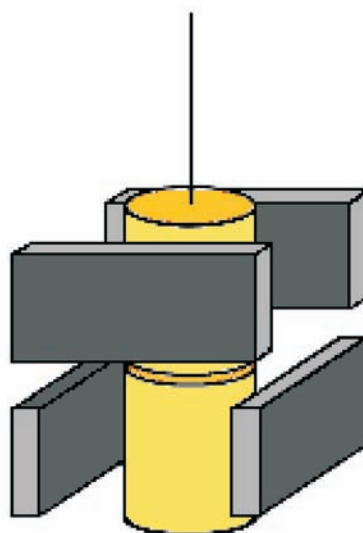
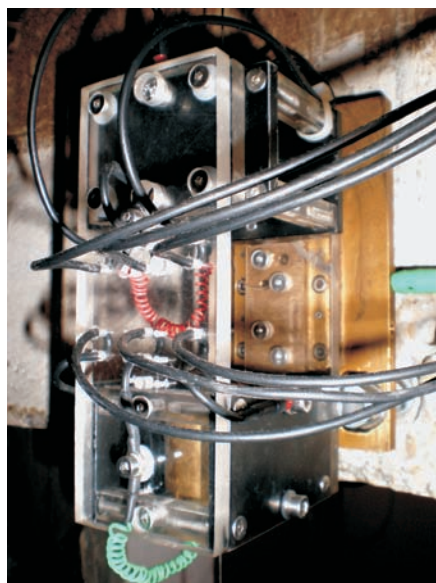
visi, tj. da srednja ploča nigdje ne dodiruje nosač vanjskih ploča. Kao pomoć pri podešavanju i za umjeravanje senzora služe mehanička mikroura i dvokomponentni osciloskop.

Na srednju (pomičnu) ploču senzora koja stoji između vanjskih ploča električki je izolirano obješena invarna žica promjera  $\varnothing 1,0$  mm koja služi kao 38-metarska baza ekstenzometra. Žica je obješena na vrh rudarskog tornja i visi kroz čitavo rudarsko okno. Na donji kraj nosača srednje ploče također je električki izolirano obješena žica na koju je obješen uteg mase oko 10 kg. Napajanje vanjskih ploča kapacitivnog senzora i mjerni signal sa srednje ploče oklopljenim se kabelima dovodi u kućište u kojem je smještena sva upravljačka elektronika. U kućištu (slika 4) je također smješten ispravljač za napajanje iz mreže i aktivni Butterworthov niskopropusni filter s mogućnošću izbora triju stupnjeva strmine, ukupno (18 dB/oktavi,  $T = 100$  s).

Tim se vertikalnim ekstenzometrom registriraju relativni vertikalni pomaci, odnosno deformacije ili istezanje zgrade RGN fakulteta koja su većinom uzrokovana promjenama vanjske temperature. Tim se ekstenzometrom također registriraju pomaci uzrokovani mikroseizmikom te različitim vertikalnim gibanjima tla uzrokovanim lokalnim ili udaljenim potresima.



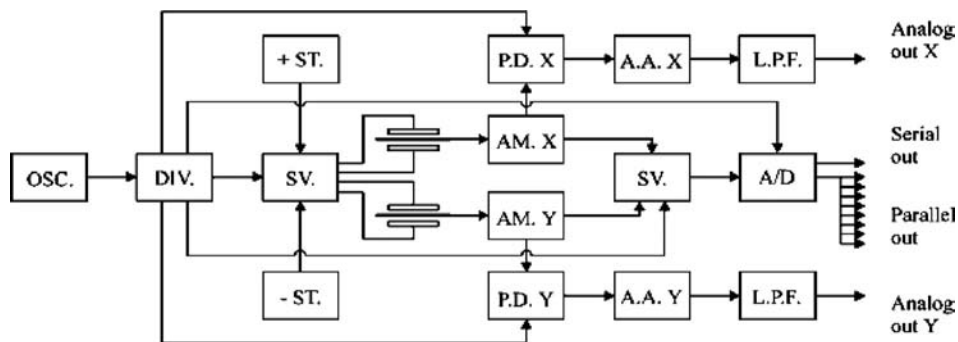
Slika 4. Kućište elektronike vertikalnog ekstenzometra.



Slika 5. a) Dvokomponentni kapacitivni senzor, b) shematski prikaz kapacitivnog senzora.

Dvokomponentni tiltmetar izveden je kao vertikalno njihalo također s invarnom žicom promjera  $\varnothing$  1,0 mm i duljine oko 38 metara (slika 5). Žica prolazi čitavom duljinom vertikalnog okna, a obješena je također na vrhu tornja. Na donjem su kraju žice jedan iza drugoga, električki izolirano, na međusobnoj udaljenosti od 50 mm, obješena dva polirana mjedena valjka povezana invarnom žicom. Mjedeni valjci predstavljaju srednje elektrode dvaju međusobno neovisnih kapacitivnih senzora. Na donjoj strani donjeg valjka učvršćena je žica na koju je obješen uteg mase oko 10 kg. Vanjske ploče oba kapacitivna senzora postavljene su na nosač koji je sidrenim klinovima učvršćen u betonski zid okna. Postavljene su u dva različita smjera pod međusobnim kutom od  $90^\circ$ . Orijentacija senzora je precizno izmjerena, a senzori su postavljeni u smjerove sjever-jug, odnosno istok-zapad. Položaj senzora tiltmetra određen je prijenosom smjera projiciranjem u okno s površine pomoću viskova, a orijentacija je dodatno provjerena uz pomoć žiroteodolita.

Dvokomponentni kapacitivni senzori, pripadajuća elektronika te niskopropusni Butterworthovi filtri strmine 18 dB/oktavi u potpunosti su vlastite konstrukcije (Marjanović Kavanagh 1999, slika 6).



Slika 6. Shematski prikaz dvokomponentnoga kapacitivnog senzora.

Oznake na slici 6 znače:

OSC. – oscilator stabilne frekvencije 3 MHz

DIV. – djelitelj frekvencije

ST. – izvori stabilnog napona

SV. – digitalno upravljani preklopnik napona

AM. (X,Y) – pojačala (X,Y)

P.D. (X,Y) – fazno proporcionalni detektori (X,Y)

A.A. (X,Y) – pojačala analognih signala

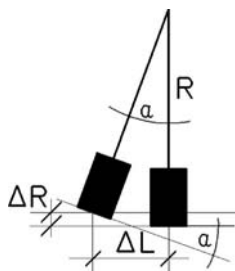
L.P.F. – niskopropusni filtri

A/D – analogno digitalni konvertor.

Jednokomponentni tiltmetar koji je postavljen na pod u prostoru ispred rudarskog okna konstruiran je kao kratko vertikalno njihalo kod kojeg je također primijenjen kapacitivni senzor. Zbog kratke baze tog tiltmetra bilo je potrebno podešiti senzor tako da ima znatno veću osjetljivost od osjetljivosti senzora dugog tiltmetra. Pritom je uređaj postao osjetljiviji na vanjske utjecaje smetnji pa je u svrhu

bolje temperaturne izolacije taj mjerni uređaj izoliran 5 cm debelom kutijom od stiropora i umotan u mineralnu vunu. Tim se tiltmetrima registriraju promjene nagiba uzrokovane plimnim valovima čvrste Zemljine kore (ali i mikrosezizmikom) te promjene nagiba tla uzrokovane lokalnim ili udaljenim potresima.

Obično tim tiltmetrima registriraju se pomaci, odnosno mjere se promjene nagiba horizontalne ravnine, i to kod dvokomponentnog tiltmetra u dva međusobno okomita smjera. Pritom se registriraju linearni pomaci  $\Delta L$ , a iz toga se proporcionalno određuju promjene nagiba horizontalne ravnine, odnosno podloge instrumenta  $\alpha$  u odabranom azimutu (Marjanović Kavanagh 2006, slika 7).



Slika 7. Princip mjerenja promjene nagiba podloge vertikalnim njihalom tiltmetrom, pri čemu se mjeri horizontalni linearni pomak  $\Delta L$ , a iz toga određuje kut nagiba  $\alpha$ .

Oba mjerna instrumenta viska (vertikalni ekstenzometar i dvokomponentni tiltmetar) na kojima su obješeni utezi i dalje nesmetano služe za prijenos smjera s rudarskog tornja u podzemlje (rudarsko okno).

Ispred okna u istom prostoru smješten je i stacionarni LaCoste & Romberg gravimetar, model ET 16 (Earth Tides), posebno konstruiran za registraciju plimnih valova, s upravljačkom konzolom, napajanjem i elektronikom (slika 8).



Slika 8. Gravimetar LaCoste & Romberg ET 16 u zaštitnom kućištu i upravljačka konzola.

Kako je taj gravimetar starije konstrukcije, zbog svoje mehaničke “zrelosti” opruge su uspješno prošle period “dozrijevanja”. Uređaj je u više navrata potpuno preuređivan, osuvremenjen i automatiziran. U gravimetar je ugrađen novi kapacitivni senzor (CPI-karta) vlastite izrade, a originalna mehanička LaCoste & Romberg povratna veza (feedback) zamijenjena je elektrostatičkom povratnom vezom, koja stalno održava polugu s utegom u inicijalnom i optimalnom srednjem položaju, a registrira se napon primijenjene povratne veze koji održava taj položaj. Time se znatno poboljšava stabilnost i linearnost mjernog sustava, a pritom je napon korisnog signala za registraciju bitno veći. Ujedno se znatno smanjuje velika potrošnja struje napajanja originalnog uređaja, što je posebno važno pri pogonu toga gravimetra iz akumulatorskih baterija. Gravimetar je privremeno posuđen od Instituta za fizikalnu geodeziju TU Darmstadt.

U prostoru ispred okna gdje su smješteni tiltmetar i gravimetar postavljeni su i uređaji za upravljanje, pripremu i pohranu podataka, a za točnije i lakše podešavanje inicijalnog položaja kapacitivnih senzora upotrebljava se dodatno i osciloskop (slika 9).



Slika 9. Upravljačka konzola, napajanje, data-logger, senzor tlaka zraka i elektronika.

Uz signale sa spomenutih mjernih uređaja prikupljaju se i podaci sa senzora tlaka zraka (digitalni barometar) te s nekoliko senzora za mjerenje temperature u samim uređajima – gravimetru i kućištu u kojem je smještena elektronika kapacitivnog senzora tiltmetara. Senzori temperature također su postavljeni u prostoru gdje su smješteni mjerni uređaji te unutar rudarskog okna.

Za pripremu i pohranu podataka upotrebljava se data-logger model FLUKE Netdaq logger 2640A, kojim je moguće simultano učitavanje do 20 neovisnih kanala, a također je moguće koristiti 20 izlaznih kanala za signalizaciju i upravljanje. Data-logger je priključen na stalnu LAN (Ethernet) mrežu RGN fakulteta, a



stacionarnom, upravljačkom računalu na RGN fakultetu je preko interneta moguće prići i izvan interne računalne mreže fakulteta. Na taj je način pomoću interneta moguća on-line kontrola rada svih mjernih uređaja s bilo kojeg mjesta na Zemlji.

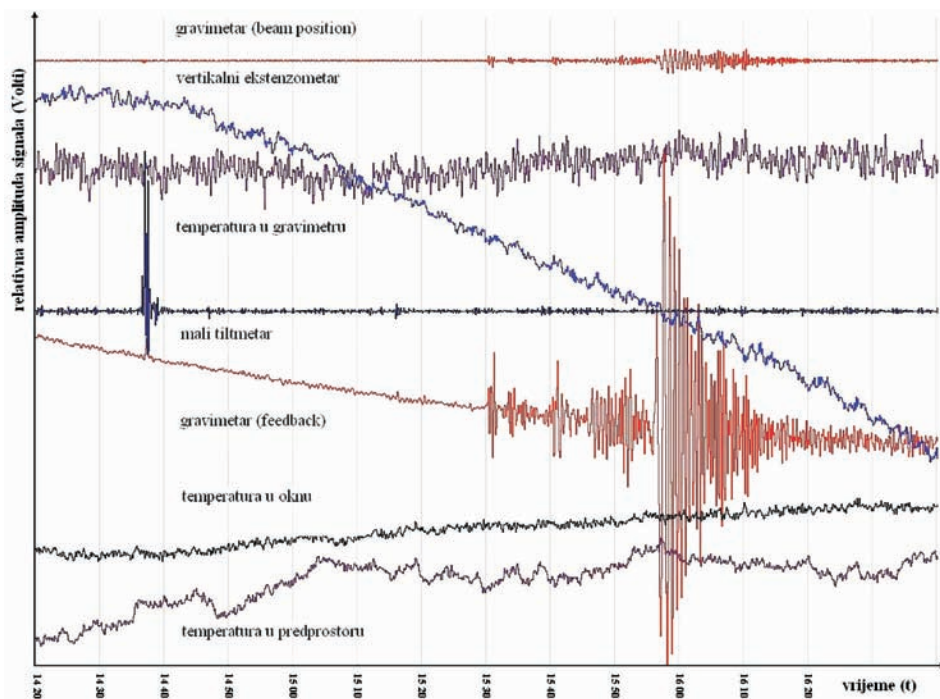
Praćenje simultanih registracija na zaslonu računala omogućeno je uz pomoć Flukeova grafičkog programa Trend-link, a podaci mjerenja su na datotekama pohranjeni u Flukeovu Trend-link formatu. Za prijenos i obradu drugim standardnim statističkim programima podaci se također pohranjuju u ASCII kodu CSV (Comma Separated Values), a istovremeno se registriraju i podaci mjerenja s GNSS-stanice tako da su sva mjerenja pohranjena s istom vremenskom bazom. Cikličko ponavljanje mjerenja, tj. uzorkovanje mjernih podataka je svake sekunde, što je za većinu obrada i više nego dovoljno, no upravo veliki broj mjernih podataka u CSV-formatu predstavlja poteškoću pri učitavanju datoteka prilikom obrada.

Zbog velike duljine baze (stoga vrlo niske vlastite frekvencije) smetnje se u signalu zbog njihanja tiltmetara mogu vrlo teško ukloniti elektroničkim filtrima. Stoga je za stabilizaciju njihala uteg za zatezanje žice smješten u posudu s uljem. Učinak toga je, nažalost, vrlo skroman. Nasuprot tomu smetnje zbog njihanja malog tiltmetra mogu se znatno umanjiti elektroničkim filtrima, no kod malog je tiltmetra učinak promjena temperature vrlo izražen, pa je njegova temperaturna zaštita stiroporom bila prijeko potrebna.

Zanimljivo je da se isti potresi ne registriraju uvijek i istovremeno na svim mjernim uređajima. Dok se npr. gravimetrom registriraju uglavnom jaki potresi pa tako i oni s vrlo udaljenih lokacija s najrazličitijih mjesta na Zemlji, vertikalnim ekstenzometrom ali i tiltmetrima se ti signali ne registriraju uvijek. U relativno vrlo "čistoj" registraciji sa slabo uočljivom mikrosezizmikom, vertikalnim ekstenzometrom pretežno se registriraju potresi koji su nastali blizu mjerne stanice, dakako Hrvatska ali i Austrija, Bosna, Italija i Slovenija. Često međutim izostaje bilo kakav trag, dok se na registracijama drugih instrumenata ti potresi jasno uočavaju (slika 10). Najčešće su signali sa svih tiltmetara jako ometani lokalnom mikrosezizmikom. Na slici 10, međutim, signal potresa 2.2.2013. godine, registriran malim tiltmetrom, iznimno je jasan i intenzivan. Seizmološka služba Geofizičkog odsjeka PMF-a registrirala ga je kao potres magnitude 4,5 po Richterovoj ljestvici, s epicentrom 26 km jugoistočno od Klagenfurta i 7 km sjevernije od Eberndorfa s vremenom 14.35 (URL 1). Zanimljivo je da isti potres drugim instrumentima gotovo i nije registriran. Nasuprot tomu (oko 1,5 sati poslije) vrlo snažan signal potresa registriran gravimetrom drugi instrumenti uopće nisu registrirali. Dakako riječ je o različitim vrstama valova, a razni su instrumenti postavljani tako da registriraju različite komponente vektora gibanja.

### 3. Predviđene obrade mjernih podataka

Predviđeno je da se mjerni podaci registrirani kao vremenski nizovi sa stanice RGN fakulteta statistički obrade, a predviđena je primjena Fourierove spektralne analize sadržaja te korelacijska i križna kovarijantna analiza vremenskih nizova. Također je predviđena primjena standardnih programa za analizu plimnih valova (Wenzel 1996), (URL 2). Prilikom analize registracija ubrzanja sile teže  $g$  koje se



Slika 10. Registracije potresa 2.2.2013. godine, epicentar blizu Klagenfurta (amplitude pojedinih signala nisu prikazane u istom mjerilu).

instrumentima mjere na površini, registracije će se uspoređivati s ubrzanjem izračunatim za teorijski model Zemlje (Lichtenegger 1983). Odstupanja od takvog normalnog ubrzanja koja predstavljaju anomalije ubrzanja sile teže poslužiti će boljem razumijevanju i tumačenju građe litosfere koja ima svoje specifične lokalne parametre elastičnosti (Melchior 1982).

Pri analizi tih mjerenja trebat će posvetiti posebnu pozornost mjerenjima temperature i atmosferskog tlaka (Marjanović Kavanagh 2006). Naime zbog zagrijavanja slojeva atmosfere mijenja se i volumen stupa zraka iznad podloge, a dakako time i barometarski tlak. Dugotrajnim stacionarnim mjerenjima barometarskog tlaka ustanovljene su njegove dnevne periodične promjene koje su nazvane atmosferske tide. Za razliku od plimnih valova čvrste Zemlje i plimnih valova voda, utjecaj privlačenja Mjeseca i Sunca na atmosferu bitno je manji od utjecaja izazvanog promjenom gustoće zraka zbog temperaturnih promjena. Atmosferske tide stoga nastaju znatno manje pod utjecajem sila privlačenja, a mnogo više pod indirektnim utjecajem zbog zagrijavanja slojeva atmosfere. Zbog toga je pri analizi registracije atmosferskih tida mnogo veći signal dnevnih Sunčevih nego Mjesečevih tida (Chapmann i Lindzen 1970). Indirektno ipak atmosferske tide utječu na plimne valove Zemlje, a posebno mora. Povećani stupac slojeva zraka iznad površine Zemlje ili vode više pritišće na površinu pa time indirektno smanjuje ili pojačava utjecaj plime. Stoga je mjerenje temperature i zračnog pritiska potrebno uzeti u račun prilikom izračuna maksimalnih amplituda plimnih valova, a posebno mora.

Primjenom Fourierove analize vremenskih nizova mjerenja vertikalnim ekstenzometrom i tiltmetrima bit će moguće odrediti vlastitu frekvenciju zgrade, odnosno lokaliteta. Osobitu pozornost trebat će posvetiti određivanju vlastitih frekvencija samih instrumenata koje će se odrediti iz poznatih duljina njihala, odnosno žica, a njihov utjecaj će se tada morati pažljivo isključiti iz rezultata.

Posebna je važnost ovih istraživanja u tome što će se na temelju mjerenja i registracija vremenskih nizova prvi puta u našoj zemlji preciznim stacionarnim gravimetrom odrediti realni parametri elastičnosti Zemlje i njihova odstupanja od teorijskih parametara. Također će se odrediti normalno ubrzanje sile teže  $\gamma$ , a ujedno i maksimalne amplitude plimnih valova za ovu lokaciju. Isto tako je od posebnog značenja egzaktni postupak određivanja vlastite frekvencije zgrade, što će u budućem sustavu zaštite od potresa morati postati jedan od standardnih postupaka pri zoniranju hazarda zgrada u gradovima. Ako se u budućnosti ostvari osnovna ideja ovog projekta da se mjerenja također obave na više lokaliteta (Marjanović Kavanagh i dr. 2012), veliko značenje imat će usporedba mjerenih signala s mjerenjima na stanicama na RGN fakultetu, iz čega će biti moguće direktno određivanje faznih deformacija i "loading efekta" na jadranskoj obali i otočju, posebno zbog specifične konfiguracije srednjeg Jadrana.

## Literatura

- Chapman, S., Lindzen, R. S. (1970): *Atmospheric Tides: Thermal and Gravitational*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland.
- Čolić, P. K. (1980): Znanstveni projekt: Regionalno istraživanje oblika i disanja Zemlje.
- Lichtenegger, H. (1983): *Theoretische Untersuchungen und praktische Ergebnisse von Erdzeitenregistrierungen im Grazer Raum*, Mitteilungen der geodätischen Institute der Technischen Universität Graz, Folge 45, Graz.
- Marjanović Kavanagh, R. (1999): *Some Experiences with a new digitally Tiltmeter*, Proceedings of the second international Symposium Geodynamics of the Alps-Adria Area by means of Terrestrial and satellite Methods, Dubrovnik, Zagreb and Graz.
- Marjanović Kavanagh, R. (2006): *Instrumentation for Terrestrial Measurements of Geodynamycs and the main Sources of Disturbance*, The Adria Microplate GPS Geodesy, Tectonics and Hazards, NATO Science Series, Springer.
- Marjanović Kavanagh, R., Becker, M., Medak, D. (2012): *Geodynamics Observing Techniques at the Observatory Hvar (Croatia)*, Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering, Portugal, Lisboa.
- Melchior, P. (1982): *Physics of the earth's interior*, In "Geodesy and Global Geodynamics", Mitteilungen der geodätischen Institute der Technischen Universität Graz, Folge 41, Graz.
- Wenzel, H. G. (1996): *The nanogal software: Earth tide data processing package ETERNA 3.30*, Bull. Inf. Marées Terrestres, 124, 9425–9439.
- URL 1: Seizmološka služba Geofizičkog odsjeka PMF-a, <http://free-zg.t-com.hr/potresi/>, (3.3.2013.).
- URL 2: Dierks, O., Neumeyer, J.: *Comparison of Earth Tides Analysis Programs*, <http://www.upf.pf/ICET/bim/text/dierks.htm>, (19.4.2013.).

# Instrumentation of the Earth-breathing monitoring Station at the Faculty of Mining Geology and Petroleum Engineering, Zagreb

*ABSTRACT.* At the Faculty of Mining Geology and Petroleum engineering of the University Zagreb for the first time in our country a station for Earth-breathing monitoring was successfully established. Different instruments are included in the station operation such as a permanent Trimble GNSS station, a vertical extensometer, a two-component tilt-meter, an one-component tilt-meter and a LaCoste & Romberg Earth-tide gravity-meter (model ET 16). The GNSS antenna is fixed on the terrace over the mining shaft and with a cable connected to the receiver which is via LAN connected to the host computer. All other measuring instruments are connected to a data logger which is also connected to the host computer. In the same room with the data logger all control equipments for the installed instruments are placed. The gravity-meter, tilt-meter and the vertical extensometer are equipped with a capacitive sensor and the same condenser plates of the gravity-meter are used for the electrostatic feedback. All these electronics was developed by the author. Signals from the measuring instruments are directly or over a Butterworth low-pass filter (18 dB/octave and  $T=100$  s) connected to the data logger. Besides signals from the mentioned instruments several other sensors for barometric pressure and temperature inside the instruments and the surrounding space are registered. The registration could be followed on the computer display by means of the FLUKE graphic program Trend-link. For calculation purposes with other standard statistic programs the Data are saved in ASCII format as CSV (Comma Separated Values). It is foreseen that the registered time series will be processed with Fourier spectral analyses programs so as correlation and covariance analyses. A special meaning of this research is that for the first time in our country using a precise gravity-meter elastic parameters of the Earth and a comparison to the theoretically parameters will be determined so as maximally Earth-tide amplitudes for this location. Also the exact determination of building resonance frequencies is of big importance especially for the future earthquake risk system which must become a standard process in building hazard zoning in cities.

*Keywords:* gravity-meter, 2-component-tilt-meter, vertically extensometer, capacitive sensor, Fourier spectral analysis, correlation analysis, covariant analysis, Earth's elastic parameters, resonant frequency of buildings, earthquake and micro seismic registrations.

*Primljeno:* 2013-03-19

*Prihvaćeno:* 2013-04-22