

Mr. sc. Marija Repanić, dipl. ing. geod. ▶ Državna geodetska uprava, Gruška 20, Zagreb, tel: 01 6166 552, fax: 01 6165 430, e-mail: marija.repanic@dgu.hr

# Automatizacija praćenja rada relativnih gravimetara Scintrex Autograv CG-3M

**SAŽETAK:** U radu je prikazano automatizirano praćenje rada relativnih gravimetara Scintrex Autograv CG-3M primjenom aplikacije Pragra, izrađene u programskom paketu MATLAB. Scintrex Autograv CG-3M je moderni relativni gravimetar. Nakon postavljanja gravimetra na točku, horizontiranja i pokretanja mjerenja, mjerni proces je potpuno automatiziran. Mjerni signal se već u gravimetru, na temelju definirane kalibracijske funkcije, pretvara u očitavanja ubrzanja sile teže na koje se primjenjuju instrumentalne korekcije i redukcija utjecaja Zemljinih plimnih valova. Da bi se korekcije pravilno primijenile, potrebno je redovito pratiti rad gravimetra i kontrolirati konstante na temelju kojih se korekcije računaju. Redovito praćenje rada gravimetra Scintrex Autograv CG-3M obuhvaća postupke korekcije nule termometra, određivanja stacionarnog hoda gravimetra i podešavanje sata gravimetra, određivanja i korekcije nule senzora nagiba gravimetra, određivanja osjetljivosti senzora nagiba gravimetra te određivanje kalibracijske konstante gravimetra. Primjena Pragre prilikom praćenja rada gravimetara omogućuje automatizirano računanje pojedinih parametara i korekcija te automatizirano provođenje promjena u odgovarajućim pregledima promjena. Primjena Pragre u velikoj mjeri smanjuje obim rada stručnjaka te omogućuje sigurnije i kvalitetnije provođenje promjena parametara gravimetara i njihovu evidenciju.

**KLJUČNE RIJEČI:** gravimetrija, relativni gravimetri, Scintrex Autograv CG-3M, MATLAB, automatizacija, softver

## Automate monitoring of relative gravimeters Autograv Scintrex CG-3M

**SUMMARY:** The paper depicts automatic performance control of relative gravity meters Scintrex Autograv CG-3M by the means of Pragra application, developed using MATLAB software package. Scintrex Autograv CG-3M is modern relative gravity meter. After setting the gravity meter at gravity station, levelling and starting a measurement, measurement process is completely automatic. A measuring signal is converted into gravity readings by the means of predefined calibration function by the gravity meter itself. In addition, instrumental corrections and the Earth tide reduction are applied simultaneously. In order to ensure correct appliance of instrumental corrections, performance of gravity meter must be regularly controlled and adjusted, if needed. Regularly performance control of the gravity meter Scintrex Autograv CG-3M includes thermometer zero correction, determining the stationary drift correction and adjustment of the gravity meter clock, determining and correcting levels' zeros, determining levels' sensitivity and determining gravity meter calibration constant. Pragra application provides automatic computation of gravity meter's parameters and corrections, as well as automatic registration in appropriate register of changes. Usage of Pragra application significantly reduces the extent of work as well as the risk of errors in the process of gravity meter's parameter modification and its registration.

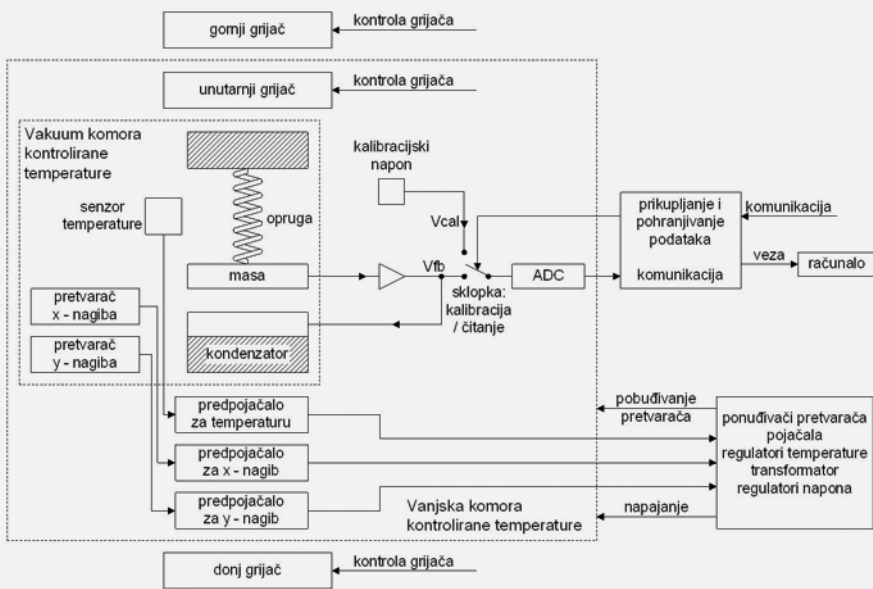
**KEYWORDS:** gravimetry, relative gravity meters, Scintrex Autograv CG-3M, MATLAB, automation, software

## 1. UVOD

Pouzdanе i precizne vrijednosti ubrzanja sile teže danas su neophodne kako u geodeziji, tako i drugim geoznanostima. Na temelju mjerenih vrijednosti ubrzanja sile teže modelira se geoid i vanjsko polje sile teže, u kojem se izvode sva mjerenja na fizičkoj površini Zemlje. Gravimetrijska mjerenja, tj. mjerenja ubrzanja sile teže, koriste se i u geološkim, hidrološkim, arheološkim i inим istraživanjima.

Instrumenti koji se danas koriste za terestričku gravimetriju mogu se razvrstati u dvije osnovne grupe; apsolutne i relativne gravimetre. Apsolutnim gravimetrima određuje se ubrzanje sile teže na temelju mjerenja vremena i puta slobodnog pada tijela poznate mase u vakuumu. Zbog svoje konstrukcije i vremena potrebnog za izvođenje mjerenja, apsolutni gravimetri nisu pogodni za određivanje vrijednosti ubrzanja sile teže na većem broju toč-

ka, već se koriste za određivanje vrijednosti ubrzanja sile teže na baznim točkama koje će kasnije poslužiti kao osnova za razvijanje gravimetrijske mreže na određenom području. U tu svrhu koriste se relativni gravimetri kojima se određuje razlika ubrzanja sile teže između dvije (ili više) točaka. Relativni gravimetri znatno su manji od apsolutnih i zahtijevaju bitno manje vremena za opažanje na jednom stajalištu. Princip rada relativnih gravimetara koji su danas u upotrebi temelji se na promjeni duljine opruge opterećene probnom masom, pri promjeni ubrzanja sile teže. Masa se zatim vraća u prvobitni položaj djelovanjem sile kontrolirane mjernim sustavom gravimetra, a upravo iznos te sile predstavlja mjeru promjene ubrzanja sile teže. Da bi mjerni sustav ispravno funkcionirao neophodno je redovito pratiti rad relativnih gravimetara, što podrazumijeva



Slika 2.1. Osnovna konstrukcija relativnih gravimetra Scintrex Autograv CG-3M (prema Seigel, 1995)



Slika 2.2. Scintrex Autograv CG-3M

povremeno ispitivanje i korigiranje određenih uređaja instrumenta, odnosno određenih konstanti na temelju kojih instrument računa instrumentalne korekcije.

Praćenje rada relativnih gravimetara Scintrex Autograv CG-3M serijskih brojeva 9704373 i 9704372, redom naziva HGI-1 i HGI-2 obavljalo se u Hrvatskom geodetskom institutu (u nastavku HGI) od 2002. godine, kada je isti od Državne geodetske uprave (u nastavku DGU) preuzeo navedene instrumente. Nakon pripajanja HGI-a DGU 2010. godine, praćenje rada gravimetara nastavlja se obavljati u DGU. Od 2007. godine počelo se postupno raditi na automatizaciji postupka praćenja rada gravimetara. Od početka 2008. godine u potpunosti se prešlo na automatizirano praćenje pomoću aplikacije za automatizirano praćenje rada gravimetra – *Pragra*, koja je za tu svrhu razvijena unutar Odjela za osnovne geodetske radove HGI-a (Repanić, 2008a). Automatizirano praćenje rada gravimetra u velikoj mjeri smanjuje obim rada stručnjaka i time šteti ekonomske resurse, omogućuje sigurnije i kvalitetnije provođenje promjena parametara gravimetara, te njihovu evidenciju.

Gravimetri HGI-1 i HGI-2 kontinuirano sudjeluju u izmjeri gravimetrijske osnove Republike Hrvatske. Nakon izmjere šest točaka 0. reda apsolutnim gravimetrima u okviru međunarodne suradnje (Barišić i dr., 2008), Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu 2003. godine obavio je izmjeru gravimetrijske mreže I. reda Republike Hrvatske relativnim gravimetrima HGI-1 i HGI-2 te gravimetrom Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu Scintrex Autograv CG-5 (Bašić i dr., 2006). Istim instrumentima, 2007., 2008. i 2009. godine, HGI je obavio proširenje gravimetrijske mreže I. reda na značajnije otoke hrvatskog dijela Jadrana (Repanić, 2008b, 2009, 2010b). Nadalje, gravimetrima HGI-1 i HGI-2 obavlja se izmjera gravimetrijske mreže II. reda. Izmjeru je započeo HGI 2008. godine, a nakon pripajanja nastavio DGU. Izmjera se planira završiti do kraja 2013. godine. K tome, gravimetar HGI-1 sudjelovao je u izmjeri gravimetrijske mreže I. reda Republike Slovenije (Barišić, 2009).

## 2. PRINCIP RADA I GLAVNI KONSTRUKCIJSKI ELEMENTI GRAVIMETRA SCINTREX AUTOGRAV CG-3M

Scintrex Autograv CG-3M rade na principu vertikalne vage na oprugu. Slika 2.1 prikazuje osnovnu konstrukciju ovih gravimetara. Mjerni sustav temelji se na kvarcnoj opruzi nulte duljine koja je staljena s utegom. Na masu djeluju sila teža, sila opruge i relativno mala povratna elektrostatička sila koja je održava u položaju ravnoteže. Promjena iznosa ubrzanja sile teže rezultirat će promjenom

položaja ravnoteže, odnosno pomakom mase, koji se registrira kapacitivnim indikatorom položaja. Veličina promjene položaja mase određuje se indirektno elektronički.

Horizontiranje instrumenta obavlja se pomoću dviju digitalnih libela rezolucije 1" postavljenih u međusobno okomit položaj. Signal s libela se prikazuje na preciznim indikatorima na gornjoj ploči instrumenta (Slika 2.2) i omogućuje stručnjaku da obavi horizontiranje. Pored toga, signal s libele se prenosi do centra za obradu podataka, gdje se pohranjuje u internu memoriju instrumenta, te se, ako je odabrana odgovarajuća postavka instrumenta, u realnom vremenu računaju korekcije za nagib instrumenta i primjenjuju na očitavanja.

Zaštitu od utjecaja temperaturnih promjena pruža dvostruka zapečaćena komora s dvostrukom kontrolom temperature (Slika 2.1). U unutrašnjoj vakuumskoj komori i smješteni su najosjetljiviji dijelovi instrumenta: mjerni senzor, uključujući i kondenzator kapacitivnog indikatora položaja, i digitalne libele. Vanjska komora pruža dodatnu zaštitu unutarnjoj te ostalim osjetljivim elektroničkim komponentama (analogno – digitalni pretvarač, pojačala, oscilator, itd.). Ovakva zaštita smanjuje kolebanja vanjske temperature i preko 10 000 puta. Preostale promjene temperature u unutarnjoj komori su reda veličine 1 mK, a u vanjskoj dijela K. Kako kvarc ima znatan termo-elastični koeficijent, utjecaj preostale temperaturne promjene se eliminira iz očitavanja računski. Naime, osim kontrole temperature vanjske i unutarnje komore, na temelju signala temperaturnog senzora u mikroprocesoru gravimetra se u realnom vremenu računaju temperaturne korekcije i primjenjuju na očitavanja. Osim zaštite od utjecaja promjene temperature, zapečaćena aluminijska vakuumska komora onemogućuje prodor zraka i štiti senzor od promjena atmosferskog tlaka. Elastična svojstva i čvrstoća staljenog kvarcnog sustava masa-opruga omogućuju rad s instrumentom bez uglavljanja mjernog sustava. Ipak, mjerni senzor je dodatno zaštićen od udaraca izolatorima od elastomera, koji povezuju mjerni senzor s kućištem.

Prema Scintrex (1998), kalibracijska funkcija gravimetara Scintrex Autograv CG-3M ne sadrži periodične članove. Nadalje, zahvaljujući karakteristikama kvarcne opruge, kalibracijska funkcija je gotovo linearna s vrlo malim kvadratnim utjecajem, a od 1991 instrumenti se elektronički ugađaju tako da je kvadratni član smanjen na 0.

Stabilnost linearnog člana kalibracijske funkcije ovisi o stabilnosti dimenzija kapacitivnog indikatora položaja i stabilnosti unutarnjeg referentnog napona (Scintrex, 1998). U razdoblju od prvih nekoliko mjeseci od proizvodnje, linearni član se može značajnije

mijenjati zbog popuštanja novog kvarcnog senzora uzrokovanog naprezanjem tijekom proizvodnje, i to do 0.1%, da bi se s vremenom promjena linearnog člana spustila na 1 do 2 ppm po danu. Seigel (1995) preporučuje kontroliranje kalibracijske konstante svaka tri mjeseca tijekom prve godine, a nakon toga jednom godišnje.

Istraživanja provedena na temelju terenskih mjerenja (Timmen i Gitlein, 2004) potvrđuju linearnost kalibracijske funkcije i deklariranu stabilnost kalibracijske konstante.

Mjerni proces gravimetra Scintrex Autograv CG-3M potpuno je automatiziran (Scintrex, 1998). Naime, nakon postavljanja gravimetra na točku, horizontiranja te pokretanja postupka za prikupljanje očitavanja, gravimetar uz pomoć mikroprocesora automatizirano obavlja mjerni proces i procesira mjerni signal uz primjenu odgovarajućih instrumentalnih korekcija i redukcije za plimne valove (ovisno o postavkama). Nadalje, gravimetar pohranjuje očitavanja zajedno s redukcijom za plimne valove i vrijednostima na temelju kojih se računaju instrumentalne korekcije u internu memoriju ili ih u realnom vremenu šalje na serijski izlaz.

Način procesiranja signala može se pronaći u Scintrex (1998), a pojednostavljeni izraz na temelju kojeg je dobiveno jedno očitavanje gravimetra je:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (GCAL1 \cdot S_i + GCAL2 \cdot S_i^2 + GREF - DC_i + TIC_i)}{n} - TEC + ETC \quad (1)$$

gdje je:

R – očitavanje gravimetra,

S – mjerni signal gravimetra (za jedno očitavanje osrednjava se n signala),

GCAL1 – linearna kalibracijska konstanta,

GCAL2 – kvadratna kalibracijska konstanta (postavljena je na vrijednost 0),

GREF – adicijska konstanta,

DC – korekcija stacionarnog hoda,

TIC – korekcija za nagib instrumenta (ovisno o odabranim postavkama, može se primijeniti tek nakon osrednjavanja signala),

TEC – temperaturna korekcija,

ETC – redukcija za Zemljine plimne valove (primjenjuje se ovisno o odabranim postavkama).

Dakle, mjerni signal se već u gravimetru, na temelju definirane kalibracijske funkcije, pretvara u očitavanja ubrzanja sile teže na koje se primjenjuju instrumentalne korekcije i redukcija utjecaja Zemljinih plimnih valova. Da bi se korekcije pravilno primijenile, potrebno je redovito pratiti rad gravimetara i kontrolirati konstante na temelju kojih se korekcije računaju. Uz praćenje konstante stacionarnog hoda, potrebno je redovito kontrolirati sustav za horizontiranje te sustav za mjerenje temperature senzora. Nadalje, za pravilnu primjenu redukcije za Zemljine plimne valove, neophodno je ispravno namjestiti datum i sat gravimetra te razliku GMT vremena i vremena gravimetra.

### 3. REDOVITO PRAĆENJE RADA GRAVIMETRARA SCINTREX AUTOGRAV CG-3M

Redovito praćenje rada gravimetara obuhvaća:

- korekciju nule termometra,
- određivanje stacionarnog hoda gravimetra i podešavanje sata gravimetra,
- određivanje i korekciju nule senzora nagiba gravimetra,
- određivanje osjetljivosti senzora nagiba gravimetra,
- određivanje kalibracijske konstante gravimetra,
- analizu godišnjih promjena u radu gravimetra.

Određivanje stacionarnog hoda uz podešavanje sata, određivanje i korekcija nule senzora nagiba te određivanje osjetljivosti

Tablica 3.1. Pregled redovitog praćenja rada gravimetara

Mjesec	Hod i sat	Nula senzora nagiba	Osjetljivost senzora nagiba
Siječanj	X	X	X
Veljača	X		
Ožujak	X	X	
Travanj	X		
Svibanj	X	X	X
Lipanj	X		
Srpanj	X	X	
Kolovoz	X		
Rujan	X	X	X
Listopad	X		
Studeni	X	X	
Prosinac	X		

senzora nagiba gravimetra obavlja se sukladno godišnjem planu (Tablica 3.1.), dok se ostali parametri, odnosno korekcije određuju po potrebi.

Mjerni postupci i postupci rektifikacije koji se pri tome primjenjuju detaljno su opisani u su uputama proizvođača (Scintrex, 1998). Kao rezultat praćenja rada gravimetara redovito se izrađuju polugodišnja izvješća o praćenju rada gravimetara (npr. Repačić, 2010a, 2013).

Parametri, odnosno korekcije, računaju se posebno za svaki gravimetar, zatim se unose u gravimetre, odnosno na temelju istih se rektificira sustav za horizontiranje ili mjerenje temperature. Provedene promjene evidentiraju se u zasebnim pregledima promjena za svaki parametar te se na kraju unose u jedinstvenu evidenciju pregleda promjena za svaki gravimetar. Dakle, neautomatizirano praćenje rada gravimetra zahtjeva veliku pedantnost i koncentraciju stručnjaka pri obavljanju niza naizgled jednostavnih radnji. S druge strane automatizirano praćenje rada gravimetra, koje osim automatiziranog računanja pojedinih parametara i korekcija obuhvaća i automatizirano provođenje promjena u različitim pregledima promjena, eliminira mogućnost osobne pogreške stručnjaka i rasterećuje ga od ponavljanja jednostavnih radnji. Dakle, pogreška stručnjaka moguća je još samo pri unosu dobivenog parametra u gravimetar ili rektificiranju za dobiveni iznos.

K tome, automatizirano praćenje rada gravimetra eliminira mogućnost pogreške u mjernim jedinicama. Naime, SI jedinica ubrzanja, pa tako i ubrzanja sile teže je  $\text{ms}^{-2}$ , dok proizvođač gravimetara koristi jedinicu mGal ( $1 \text{ mGal} = 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$ ). Automatizirano praćenje rada gravimetra omogućuje računanje parametara i izradu evidencija promjena parametara gravimetra u SI jedinicama, te provođenje promjena u gravimetru u starim jedinicama (mGal) bez mogućnosti pogreške jedinica.

Dakle, osim što u velikoj mjeri smanjuje obim rada stručnjaka i time štedi ekonomske resurse, automatizirano praćenje rada gravimetra omogućuje sigurnije i kvalitetnije provođenje promjena parametara gravimetara te njihovu evidenciju.

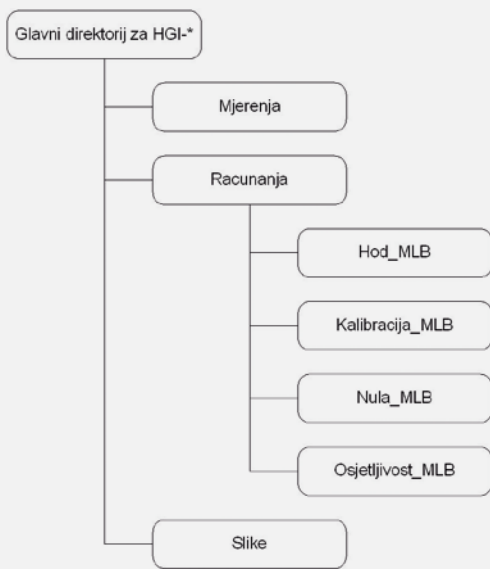
## 4. PRAGRA

Kao rezultat praćenja rada gravimetra u trajanju od godine i pol dana, te rada na njegovoj automatizaciji, u Odjelu za osnovne geodetske radove HGI-a kreirana je aplikacija za automatizirano praćenje rada gravimetra – *Pragra*. Aplikacija je izrađena u programskom paketu *MATLAB*.

### 4.1. ORGANIZACIJA PODATAKA KOD RADA S PRAGROM

Organizacija podataka unaprijed je strogo određena zbog jednostavnosti i jednoobraznosti podataka. Naime, svi podaci jednog gravimetra koji se odnose na jedno polugodišnje izvješće nalaze se unutar glavnog direktorija, koji se, zbog preglednosti, dalje dijeli na odgovarajuće poddirektorije (Slika 4.1). Vrlo je bitno pridržavati se ovakve organizacije podataka, jer u protivnom aplikacija nije u mogućnosti pronaći odgovarajuće direktorije i datoteke pa dolazi do greške u radu ili program kreira nove direktorije, odnosno datoteke, čime dolazi do prekida u kontinuitetu evidencije.

U poddirektoriju *Mjerenja* spremaju se sve datoteke s podacima



Slika 4.1. Struktura direktorija s podacima praćenja rada gravimetra

mjerenja, skenirani terenski zapisnici mjerenja u svrhu određivanja kalibracijske konstante, te tekstualne datoteke koje sadrže podatke iz zapisnika, a potrebne su kod računanja kalibracijske konstante programom *Pragra*.

Direktorij *Racunanja* sadrži datoteku s pregledom promjena *pregled\_promjena\_HGI-\*.txt* i datoteku s aktualnim postavkama gravimetra *aktualne\_postavke\_HGI-\*.txt*. Datoteka *pregled\_promjena\_HGI-\*.txt* sadrži evidenciju svih promjena parametara i korekcija primijenjenih na gravimetar od početka praćenja rada gravimetra (Slika 4.2). Datoteka *aktualne\_postavke\_HGI-\*.txt* sadrži zapise s postavkama gravimetra kronološki poredane, tako da zadnji zapis odgovara aktualnim postavkama gravimetra (Slika 4.3). Kod računanja različitih parametara, ukoliko u datoteci s mjerenjima nisu sadržane sve postavke gravimetra (kao što je to slučaj kod računanja stacionarnog hoda) *Pragra* koristi datoteku *aktualne\_postavke\_HGI-\*.txt*. Također, prilikom svake promjene u parametrima gravimetra, odnosno prilikom svake korekcije, promjena se osim, u evidenciji promjena pojedinog parametra, provodi i u cjelokupnoj evidenciji promjena u datoteci *pregled\_promjena\_HGI-\*.txt*, a

DATUM	GCAL1	TEMP. CO.	IZNOS	SAT	KOREKCIJA NULE SENZORA NAGIBA		OSJETLJIVOST SENZORA NAGIBA		REALNO VRIJEME GMT	OBAVIO	
					X-OS	Y-OS	X	Y			
07/08/12	..	..	3.134	12:43:29	0	-0	0	1	285.4	287.2	M. Repanić
07/08/12	..	..	2.497	16:17:23	0	1	0	2	285.8	288.0	M. Repanić
10/10/12	..	..	3.037	10:19:57	0	-0	0	-1	285.8	288.0	M. Repanić
10/10/12	..	..	2.950	15:00:54	..	..	..	..	-1	-1	I. Malović
28/12/12	..	..	2.528	08:43:08	..	..	..	..	..	..	M. Repanić

Slika 4.2. Prikaz dijela polugodišnjih zapisa datoteke *pregled\_promjena\_HGI-1.txt*

DATUM	GREF	GCAL1	GCAL2	TEMP. CO.	IZNOS	SAT	HOD GRAVIMETRA		OSJETLJIV. SENZORA NAGIBA		REALNO VRIJEME
							DATUM	X	Y	RAZL.	
14/03/12	0.00	61920.12	0.00	-1.297	2.027	11:11:25	14/03/12	285.4	283.0	-2	
19/03/12	0.00	61920.12	0.00	-1.297	2.027	11:11:25	14/03/12	285.4	283.0	-1	
04/05/12	0.00	61920.12	0.00	-1.297	2.109	14:49:58	04/05/12	286.7	290.1	-1	
15/06/12	0.00	61920.12	0.00	-1.297	2.467	10:39:29	15/06/12	286.7	290.1	-2	
19/06/12	0.00	61918.24	0.00	-1.297	2.467	10:39:29	15/06/12	286.7	290.1	-2	
21/06/12	0.00	61918.24	0.00	-1.297	2.467	10:39:29	15/06/12	285.4	287.2	-2	
07/08/12	0.00	61918.24	0.00	-1.297	3.134	12:43:29	07/08/12	285.4	287.2	-2	
08/08/12	0.00	61918.24	0.00	-1.297	3.134	12:43:29	07/08/12	288.4	287.2	-2	
18/09/12	0.00	61918.24	0.00	-1.297	2.497	16:17:23	18/09/12	288.4	287.2	-2	
10/10/12	0.00	61918.24	0.00	-1.297	3.037	10:19:57	10/10/12	288.4	287.2	-2	
10/10/12	0.00	61918.24	0.00	-1.297	3.037	10:19:57	10/10/12	285.8	288.0	-2	
12/10/12	0.00	61919.17	0.00	-1.297	3.037	10:19:57	10/10/12	285.8	288.0	-2	
23/10/12	0.00	61919.17	0.00	-1.297	2.950	15:00:54	23/10/12	285.8	288.0	-2	
02/11/12	0.00	61919.17	0.00	-1.297	2.950	15:00:54	23/10/12	285.8	288.0	-2	
28/12/12	0.00	61919.17	0.00	-1.297	2.528	08:43:08	28/12/12	285.8	288.0	-1	

Slika 4.3. Prikaz polugodišnjih zapisa datoteke *aktualne\_postavke\_HGI-1.txt*

dodaje se i zapis s novim postavkama gravimetra u datoteku *aktualne\_postavke\_HGI-\*.txt*. Podaci u datotekama *pregled\_promjena\_HGI-\*.txt* i *aktualne\_postavke\_HGI-\*.txt*, nastali prije automatiziranog praćenja rada gravimetara preuzeti su iz pregleda promjena vođenog *MS Excel*-om.

Direktorij *Racunanja* sadrži i poddirektorije *Hod\_MLB*, *Kalibracija\_MLB*, *Nula\_MLB* i *Osjetljivost\_MLB*, u kojima se spremaju datoteke s podacima računanja odgovarajućih parametara, odnosno korekcija, te pojedinačne evidencije promjena parametara, odnosno korekcija.

Svi podaci (s iznimkom preuzetog djela podataka u datotekama *pregled\_promjena\_HGI-\*.txt* i *aktualne\_postavke\_HGI-\*.txt*) su nastali kao rezultat ispisa programa *Pragra*, sa svrhom praćenja rada gravimetra.

Direktorij *Slike* sadrži grafičke prikaze nastale iz podataka kontinuiranih očitavanja gravimetra, koji se koriste za računanje stacionarnog hoda.

#### 4.2. PRAĆENJE RADA GRAVIMETARA POMOĆU PRAGRE

*Pragra* omogućuje automatizirano računanje:

- stacionarnog hoda,
- korekcije nule senzora nagiba,
- osjetljivosti senzora nagiba i
- kalibracijske konstante,

uz provođenje promjena u pojedinačnoj evidenciji te u cjelokupnoj evidenciji. Podaci računanja kao i pojedinačna evidencija za svaki od navedenih parametara, odnosno korekcija, spremaju se u odgovarajući poddirektorij direktorija *Racunanja*. Ukoliko poddirektorij, odnosno pojedinačna evidencija, ne postoje u direktoriju *Racunanja*, kreiraju se prilikom prvog računanja odgovarajućeg parametra, odnosno korekcije.

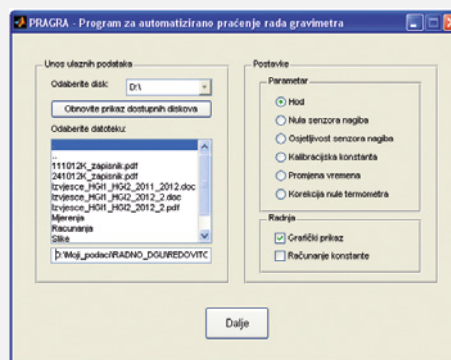
Uz računanje i provođenje promjena gore navedenih parametara, odnosno korekcija, *Pragra* omogućuje i provođenje sljedećih promjena u cjelokupnoj evidenciji:

- promjena vremena gravimetra,
- korekcija nule termometra.

Pod promjenom vremena gravimetra podrazumijeva se prelazak s ljetnog na zimsko vrijeme, ili obratno, ili promjena vremenske zone, dok se neznatne korekcije sata gravimetra koje se provode uz promjenu konstante stacionarnog hoda ne provode u evidenciji. Navedene promjene obavljaju se vrlo rijetko pa se za njih ne vode pojedinačne evidencije promjena.

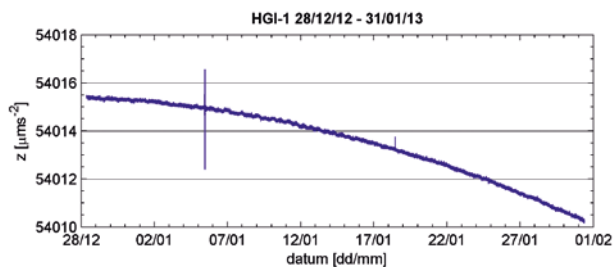
U nastavku je, radi opsežnosti, opisano samo računanje stacionarnog hoda i provođenje u evidenciji, dok je računanje ostalih parametara i korekcija te provođenje u odgovarajućim evidencijama opisano u Uputama za rad s programom (Repanić, 2008a).

Izbor datoteke s podacima mjerenja obavlja se pomoću korisničkog sučelja za odabir datoteke s ulaznim podacima (Slika 4.4). Također, u istom korisničkom sučelju potrebno je odabrati i pa-

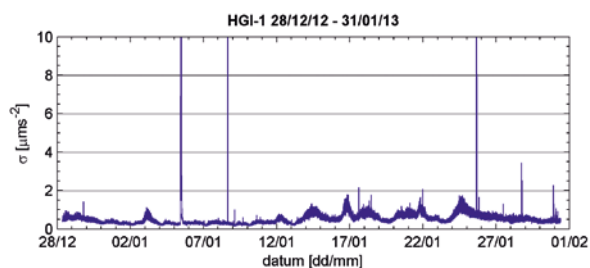


Slika 4.4. Osnovno grafičko sučelje *Pragre*

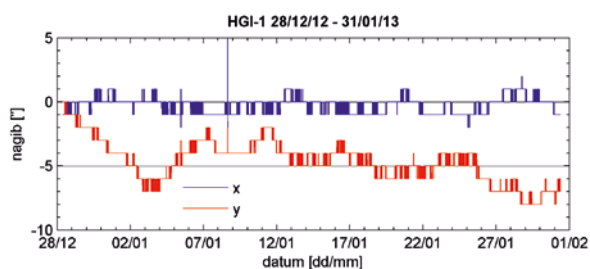




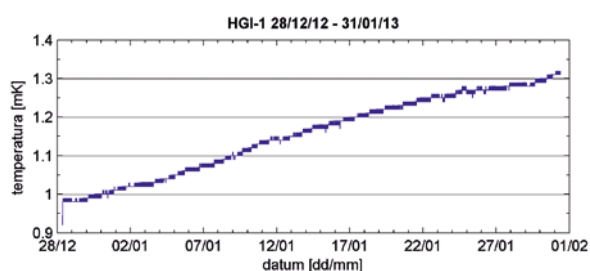
Slika 4.5. Primjer grafičkog prikaza očitavanja kod redovitog praćenja gravimetra



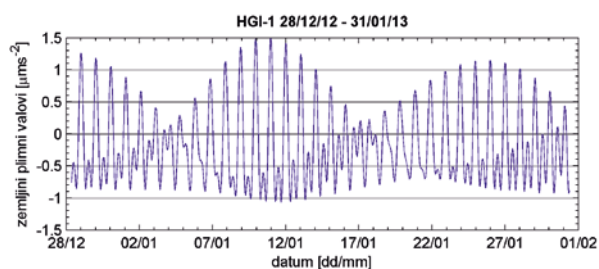
Slika 4.6. Primjer grafičkog prikaza standardnih odstupanja kod redovitog praćenja gravimetra



Slika 4.7. Primjer grafičkog prikaza nagiba kod redovitog praćenja gravimetra



Slika 4.8. Primjer grafičkog prikaza temperature senzora kod redovitog praćenja gravimetra



Slika 4.9. Primjer grafičkog prikaza plimnih valova kod redovitog praćenja gravimetra

rametar odnosno korekciju koju je potrebno izračunati, odnosno provesti.

Stacionarni hod gravimetra računa se na temelju višednevnih očitavanja gravimetra u tzv. cikličkom (engl. *cycle*) modu. Uz računanje stacionarnog hoda, u okviru praćenja rada gravimetra, na temelju iste datoteke, izrađuju se i grafički prikazi (Slika 4.5 – Slika 4.9) vremenskog niza očitavanja gravimetra, standardnih odstupanja, x i y nagiba gravimetra, temperature senzora gravimetra i iznosa redukcije za plimne valove.

Ovisno o odabiru radnje (Slika 4.4), grafičke prikaze moguće je izraditi samostalno (prije ili nakon) računanja stacionarnog hoda ili zajedno s računanjem stacionarnog hoda prilikom istog pokretanja *Pragre*. Preporučuje se grafičke prikaze izraditi prije samog računanja te na temelju njih izvršiti vizualnu kontrolu podataka cikličkih očitavanja, da bi se uklonile eventualne grube smetnje iz podataka prije samog računanja hoda.

Prilikom računanja stacionarnog hoda kreira se i tekstualna datoteka s ispisom podataka računanja (Slika 4.10). Podaci ubrzanja sile teže u datoteci su izraženi u  $\mu\text{ms}^{-2}$ , osim posebno istaknute konstante za unos u gravimetar na dnu ispisa, koja je izražena u mGal-ima.

Stacionarni hod moguće je računati neovisno o njegovom provođenju u gravimetar i evidencije promjena, što omogućuje računanje za neki prošli vremenski period na temelju starih datoteka s cikličkim očitavanjima. Zbog toga korisnik prilikom svakog računanja hoda mora odgovoriti na upit o provođenju upravo izračunate konstante u evidencije promjena (Slika 4.11).

U slučaju da je stacionarni hod potrebno provesti u evidencijama promjena, od korisnika se traži da unese dodatne podatke koje se vode u evidenciji: datum i vrijeme početka primjene nove konstante hoda te ime osobe koja je obavila promjenu konstante u gravimetru (Slika 4.12). Dakle, prije nastavka rada s *Pragrom*, potrebno je ispisati datoteku s podacima računanja spremljenu u poddirektorij *Hod\_MLB* direktorija *Racunanja*, provesti promjenu u gravimetru, uz promjenu početka primjene hoda te zapisati datum i vrijeme istog.

Nakon unosa potrebnih podataka, promjena konstante stacionarnog hoda se automatizirano provodi u cjelokupnom pregledu promjena (datoteka *pregled\_promjena\_HGI-\*.txt*, Slika 4.2) u direktoriju *Racunanja* te u pojedinačnom pregledu konstante hoda koji se ispisuje u datoteci *hod\_pregled\_HGI-\*.txt* (Slika 4.13) u poddirektoriju *Hod\_MLB*. Ukoliko se radi o prvoj promjeni konstante stacionarnog hoda u tekućem polugodištu, *Pragra* će automatizirano kreirati datoteku *hod\_pregled\_HGI-\*.txt* i ispisati zaglavlje. Nove postavke gravimetra ispisuju se u datoteci *aktualne\_postavke\_HGI-\*.txt* (Slika 4.3) u direktoriju *Racunanja*.

Nakon svih obavljenih radnji vezanih za računanje stacionarnog hoda i provođenje njegove promjene u evidencijama, *Pragra* daje obavijest o imenima i lokacijama kreiranih datoteka (Slika 4.14).

## 5. ZAKLJUČAK

Scintrex Autograv CG-3M su moderni relativni gravimetri kod kojih je mjerni proces potpuno automatiziran. Mjerni signal već se u gravimetru, na temelju definirane kalibracijske funkcije, pretvara u očitavanja ubrzanja sile teže na koje se primjenjuju instrumentalne korekcije i redukcija utjecaja Zemljinih plimnih valova. Da bi se korekcije pravilno primijenile, potrebno je redovito pratiti rad gravimetara i kontrolirati konstante na temelju kojih se korekcije računaju.

Neautomatizirano praćenje rada gravimetra zahtjeva veliku pedantnost i koncentraciju stručnjaka pri obavljanju niza naizgled jednostavnih radnji. S druge strane automatizirano praćenje rada

RACUNANJE HODA GRAVIMETRA

---

Gravimetar: HGI-1                      Ser. br.: 9704373                      Datum: 31/01/2013

---

POSTAVKE GRAVIMETRA

GREP: 0.00  $\mu\text{ms}^{-2}$                       Hod - iznos: 2.528  $\mu\text{ms}^{-2}/\text{dan}$   
 GCAL1: 61919.17  $\mu\text{ms}^{-2}$                       Hod - primjena od: Sat: 08:43:08  
 GCAL2: 0.00  $\mu\text{ms}^{-2}$                       Datum: 28/12/2012  
 TEMPCO: -1.297  $\mu\text{ms}^{-2}/\text{mK}$                       Osjet. nagiba x-os: 285.8  
 GMT-vr.gravim.: -1 h                      Osjet. nagiba y-os: 288.0

---

MJERENJA                      Datoteka: 281212\_310113D1.DAT

dd/mm/yyyy hh:mm:ss                      Br.ocitanja: 38175  
 OD 28/12/2012 08:46:26                      Vrijeme ocitanja: 60 s  
 DO 31/01/2013 09:16:24                      Vrijeme ciklusa: 77 s

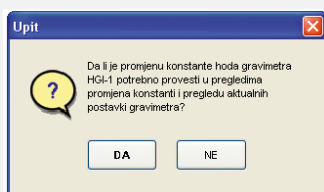
---

RACUNANJE HODA	Vrijeme ocitanja	g	NOVI HOD GRAVIMETRA
	dd/mm/yyyy hh:mm:ss	$\mu\text{ms}^{-2}$	$\mu\text{ms}^{-2}/\text{dan}$
Ocitanje R1	28/01/2013 02:08:04	54011.16	0.09434 $\mu\text{ms}^{-2}/\text{h}$
Ocitanje R2	31/01/2013 09:16:24	54010.29	0.2264 mGal/dan

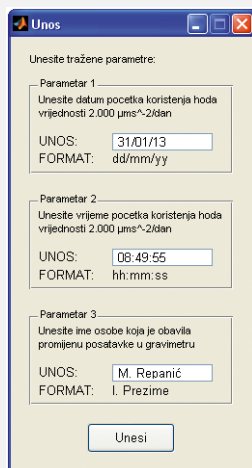
---

VRIJEDNOST HODA ZA UNOS U GRAVIMETAR: 0.2264 mGal/dan

Slika 4.10. Ispis datoteke s podacima računanja stacionarnog hoda



Slika 4.11. Upit za provođenje promjene konstante hoda gravimetra u evidencijama



Slika 4.12. Unos podataka kod provođenja promjene konstante hoda u evidencijama

PREGLED PROMJENA KONSTANTE HODA

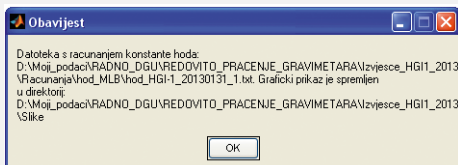
---

Gravimetar: HGI-1                      Ser. br.: 9704373

---

DATUM	TRENUTAK	IZNOS	IZNOS	Promijenu obavio
dd/mm/gg	hh:mm:ss	$\mu\text{ms}^{-2}/\text{dan}$	$\mu\text{ms}^{-2}/\text{h}$	
31/01/13	08:49:55	2.264	0.09434	M. Repanić

Slika 4.13. Pregled promjena konstante stacionarnog hoda



Slika 4.14. Obavijest o lokacijama datoteke s podacima računanja i datoteka s grafičkim prikazima

gravimetra, koje osim automatiziranog računanja pojedinih parametara i korekcija obuhvaća i automatizirano provođenje promjena u različitim pregledima promjena, eliminira mogućnost osobne pogreške stručnjaka i rasterećuje ga od ponavljanja jednostavnih radnji. K tome, automatizirano praćenje rada gravimetra omogućuje računanje parametara i izradu evidencija promjena parametara gravimetra u SI jedinicama, te provođenje promjena u gravimetru u starim jedinicama (mGal) bez mogućnosti pogreške jedinica.

Dakle, osim što u velikoj mjeri smanjuje obim rada stručnjaka i time štedi ekonomske resurse, automatizirano praćenje rada gravimetra omogućuje sigurnije i kvalitetnije provođenje promjena parametara gravimetara, te njihovu evidenciju. Aplikacija za automatizirano praćenje rada gravimetara razvijena 2008. godine unutar Odjela za osnovne geodetske radove HGI-a omogućuje automatizirano računanje stacionarnog hoda, korekcije nule senzora nagiba, osjetljivosti senzora nagiba i kalibracijske konstante, uz provođenje promjena u pojedinačnoj evidenciji te u cjelokupnoj evidenciji. Nadalje, *Pragra* omogućuje i provođenje promjena vremena gravimetra te korekcija nule termometra u cjelokupnoj evidenciji.

#### LITERATURA

- › Barišić, B., (2009): Povezivanje osnovnih gravimetrijskih mreža Republike Slovenije i Republike Hrvatske, magistarski rad, Zagreb: Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- › Barišić, B., Repanić, M., Grgić, I., Bašić, T., Liker, M., Lučić, M., Markovinović, D., (2008): Gravity measurements on the territory of the Republic of Croatia – past, current and future gravity networks, International symposium on Terrestrial gravimetry: Static and mobile measurements, 20 – 23 August 2007, Saint Petersburg, Russia – zbornik radova, str. 197. – 202.
- › Bašić, T., Markovinović, D., Rezo, M., (2006), Osnovna gravimetrijska mreža Republike Hrvatske, Geodetski list, vol. 60 (83), br. 2, str 73. – 91.
- › Repanić, M., (2008a): PRAGRA – Program za automatizirano praćenje rada gravimetra. Upute za rad s programom, Hrvatski geodetski institut, Zagreb.
- › Repanić, M., (2008b): Proširenje Osnovne gravimetrijske mreže RH na otoke sjevernog Jadrana – gravimetrijska mjerenja. Tehničko izvješće, Hrvatski geodetski institut, Zagreb.
- › Repanić, M., (2009): Proširenje Osnovne gravimetrijske mreže RH na otoke srednjeg Jadrana – gravimetrijska mjerenja. Tehničko izvješće, Hrvatski geodetski institut, Zagreb.
- › Repanić, M., (2010a): Izvješće o praćenju rada gravimetara HGI-1 HGI-2 za razdoblje od 1. siječnja do 30. lipnja 2010., Hrvatski geodetski institut, Zagreb.
- › Repanić, M., (2010b): Proširenje Osnovne gravimetrijske mreže RH na otoke južnog Jadrana – gravimetrijska mjerenja. Tehničko izvješće, Hrvatski geodetski institut, Zagreb.
- › Repanić, M., (2013): Izvješće o praćenju rada gravimetara HGI-1 HGI-2 za razdoblje od 1. srpnja do 31. prosinca 2012., Državna geodetska uprava, Zagreb.
- › Seigel, H. O., (1995): High Precision Gravity Survey Guide, Scintrex Limited, Canada
- › Scintrex, (1998): CG-3/3M Gravity Meter User's Guide, Scintrex Limited, Canada
- › Timmen, L, Gitlein, O., (2004): The capacity of the Scintrex Autograv CG-3M No. 4492 gravimeter for "absolute scale" surveys, Revista Brasileira de Cartografia No 56/02, str. 89-95. ©