

Satelitska misija CHALLENGING Minisatellite Payload (CHAMP)

Željko HEĆIMOVIĆ¹, Tomislav BAŠIĆ²

Satelitske misije CHAMP, GRACE i GOCE definiraju primarne ciljeve istraživanja u geoznanostima u ovom desetljeću. Tematsko je područje misije CHAMP Zemljino gravitacijsko i magnetsko polje Zemlje te prikupljanje podataka o atmosferi. Za modeliranje gravitacijskog polja misija CHAMP provodi SST-mjerenja, koja se korrigiraju za negravitacijske poremećaje određene s pomoću akcelerometrijskih mjerenja. Ta mjerenja definiraju nove standarde u području modeliranja Zemljina gravitacijskog polja. Magnetometrijska mjerenja u misiji CHAMP omogućuju dobivanje vrlo kvalitetnih modela glavnog magnetskog polja, magnetskog polja Zemljine kore te bolje razlučivanje slabih magnetskih signala. CHAMP GPS radiookultacijska mjerenja omogućuju dobivanje globalnih profila parametara atmosfere. CHAMP pokreće nova interdisciplinarna istraživanja u područjima istraživanje strukture i dinamike unutrašnjosti Zemlje, istraživanja međusobnog utjecaja oceana i atmosfere (geosfera), pouzdanijeg praćenja cirkulacije vode oceana, globalne promjene razine mora, promjene vremena i klime (hidrosfera), globalno sondiranje slojeva atmosfere koji će dati bolju vezu meteoroloških odnosa na Zemlji (atmosfera). Misija CHAMP dosadašnjim je rezultatima dala nove spoznaje o geosustavu i definirala nove standarde rješavanja znanstvenih i stručnih problema više disciplina.

Ključne riječi: CHAMP, satelitska misija, geosustav, gravitacijsko polje, magnetsko polje, GPS radiookultacija.

1. Uvod

Ciljevi geoznanosti u ovoj dekadi biti će u velikoj mjeri određeni podacima dobivenim novim satelitskim misijama CHAMP, Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) (Hećimović i Bašić 2004b) i Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer (GOCE) (Hećimović i Bašić 2004c) (v. tablicu 1). Ciljevi misija u znanstvenoj su domeni proučavanja sustava Zemlje koja osim geoznanosti uključuje i fiziku atmosfere. Misije imaju međudisciplinarno znanstveno-stručno obi-

¹ Doc. dr. sc. Željko HEĆIMOVIĆ, Av. M. Držića 76, 10000 Zagreb, zeljko.hecimovic@zg.htnet.hr

² Prof. dr. sc. Tomislav BAŠIĆ, Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, tbasic@geof.hr.

lježje u kojem se isprepleću oceanografija, geodezija, geofizika, hidrologija, meteorologija i geologija kao glavna područja. Navedene satelitske misije davat će vrlo kvalitetne podatke u razdoblju nešto kraćem od jednog desetljeća. Aktivne misije CHAMP i GRACE već definiraju nove standarde u rješavanju stručno-znanstvenih problema. Zbog potencijala podataka koji će se prikupiti, očekuje se novo razdoblje u geoznanostima.

Gravitacijsko polje Zemlje dominantno je tematsko područje misija je i davat će podatke koji će omogućiti razvoj problema modeliranja oblika Zemlje. Međutim, to je u prvom redu doprinos geodezije širem problemu proučavanja geosustava³, za koji je kvaliteta raspoloživih modela oblika Zemlje postala ograničenje razvoja i rješavanja problema. Nova mjerenja omogućit će nove spoznaje u proučavanju Zemlje kao jedinstvenog sustava s obzirom na sva tri stanja (čvrstu Zemlju, hidrosferu i atmosferu). Ona su u međusobno složenim odnosima, a interakcije između njih odvijaju se u različitim prostorno-vremenskim skalama. Geodezija će novim satelitskim misijama dobiti ponajprije nove spoznaje i standarde u domeni modeliranja gravitacijskog polja i oblika Zemlje.

Tablica 1. Osnovni podaci o satelitskim misijama

Misija	Lansiranje	Trajanje misije	Početna visina leta	Inklinacija putanje	Glavni instrumenti	Ciljevi istraživanja
CHAMP	15. 7. 2000.	5 godina	454 km	87,2°	GPS, akcelerometar, magnetometri	gravitacija, magnetometrija, atmosfera
GRACE	17. 3. 2002.	5 godina	485 km	89°	K-Band daljinomjer, GPS, akcelerometar	gravitacija
GOCE	2006.	2 godine	250 km	96,5°	GPS, 3-osni gradiometar	gravitacija

Podaci ovih satelitskih misija omogućit će razdvajanje finih gravitacijskih signala pojedinih procesa i dobivanje novih spoznaja o dinamici pojedinih procesa u geosustavu. Gusti, homogeni, globalni podaci (malen dio polarnih predjela ostat će nepokriven) visoke kvalitete u vremenskim razdobljima od gotovo jednog desetljeća omogućit će modeliranje slabih globalnih i lokalnih gravitacijskih signala koji se primjenom dosadašnjih podataka nisu mogli razlučiti. Unatoč sve sofisticiranijim matematičko-fizikalnim modelima, pokrivenost Zemlje podacima, njihova gustoća i kvaliteta ograničavajući su faktori prilikom modeliranja stanja i dinamike Zemljina gravitacijskog polja. Višegodišnje prikupljanje podataka omogućit će dinamička proučavanja gravitacijskog polja, magnetskog polja i atmosfere Zemlje. Dosadašnjim tehnologijama i metodama mjerenja poremećaja putanje satelita, zbog nepouzdanog modeliranja poremećaja negravitacijskih sila, dobivali su se uglačani modeli gravitacijskog polja. Mnogobrojna

³ Geosustav je područje unutar Zemlje, na Zemlji i izvan nje do visine na kojoj gravitacijsko polje Zemlje prestaje zadržavati čestice (prestanak atmosfere), a u kojem se materija nalazi u čvrstom, tekućem i plinovitom stanju.

altimetrijska mjerenja daju dobru pokrivenost Zemlje podacima, ali samo na područjima oceana. Njihovom je analizom utvrđeno da dolazi do promjena razine oceana⁴, ali se altimerijskim mjerenjima ne može razlučiti da li do promjene razine oceana dolazi zbog povećanja mase vode (otapanje ledenjaka) ili zbog povećanja volumena zbog povećanja temperature oceana. Od ovih satelitskih misija očekuje se značajan doprinos ovoj problematici. Satelitske misije dat će statičke i vremenski promjenjive modele gravitacijskog polja koji će omogućiti i dobivanje novih spoznaja o odnosu oceana, velikih površina pod ledom, Zemljine kore i atmosfere te na taj način dobiti vezu s klimatskim stanjem na Zemlji i njezinim promjenama.

Prilikom satelitskog prikupljanja informacija za potrebe modeliranja gravitacijskog polja važnu ulogu ima visina putanje. U višim su putanjama intenzitet i anomalnost gravitacijskog polja manji, a polje je uglađenije. Da bi "mjerile" čim jači gravitacijski signal, sve tri misije koriste se satelitima u niskoj putanji.

Svaka od misija ima svoje specifičnosti s obzirom na dizajn i ciljeve te su instrumenti i proizvodi podataka različiti za svaku misiju, a za sve je misije karakteristična potreba multidisciplinarnog pristupa obradbi i interpretaciji podataka.

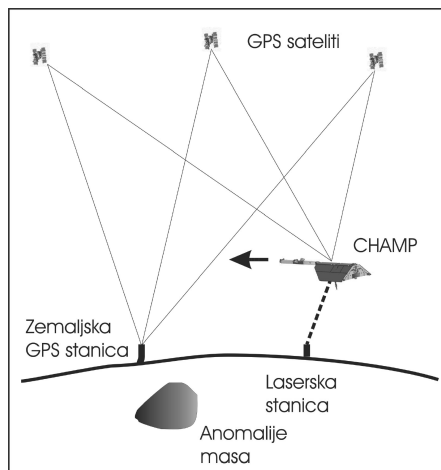
2. Satelitska misija CHALLENGING Minisatellite Payload (CHAMP)

Satelitska misija CHAMP razvijena je u Njemačkoj i ima za cilj temeljna geoznanstvena istraživanja i istraživanja fizike atmosfere. Očekuju se nove spoznaje o statički i dinamički Zemljina gravitacijskog polja, Zemljinu magnetskom polju i atmosferi. CHAMP ima potencijal pokretanja novih interdisciplinarnih istraživanja koja se primarno odnose na:

- geosferu: istraživanje strukture i dinamike unutrašnjosti Zemlje (od jezgre preko plašta do kore) i istraživanje međusobnog utjecaja oceana i atmosfere,
- hidrosferu: pouzdanije praćenje cirkulacije vode, globalne promjene razine oceana i kratkoperiodične globalne cirkulacije vode te promjene vremena i klime,
- atmosferu: globalno sondiranje slojeva atmosfere koji će dati bolju vezu meteoroloških odnosa na Zemlji s obzirom na svemirsku meteorologiju.

Misija CHAMP omogućuje kontinuirano praćenje gibanja niskoletjećeg satelita, mjerenja sila koje djeluju na površini satelita i simultano opažanje magnetskog polja s preciznošću i prostornom razlučivošću koja do sada nikada nije postignuta. Dobiveni podaci omogućit će dobivanje prvog konzistentnog prostorno-vremenskog magnetskog i gravitacijskog modela Zemlje. Niskoletjeći CHAMP satelit i visokoleteći GPS sateliti tvore mjernu konfiguraciju visoki-niski, satelit-satelit praćenje (high-low, satellite-to-satellite tracking, SST) (v. sl. 1).

⁴ Analizom altimetrijskih podataka misije TOPEX/POSEIDON od 12/1992. do 8/1999. utvrđeno je da je globalno povećanje razine oceana 3,1 mm/god. (URL 1).



Slika 1. Konfiguracija CHAMP

3. Projekt, institucije i ciljevi misije CHAMP

Projekt CHAMP započet je 1994. godine na inicijativu GeoForschungZentrums (GFZ) iz Potsdama (Prof. Christoph Reigber) kao početni projekt industrije svemirskih letova na području prijašnje Istočne Njemačke. Realizacija projekta bila je podijeljena u razdoblja A, B, C/D i E. Razdoblje A realizirana je od 10/94. do 03/95. i uključivalo je definiranje misije i njezinih mogućnosti. U razdoblju B, koje je trajalo od 11/95. do 10/96., izrađena je početna studija dizajna misije i definirani su zahtjevi i ciljevi misije. Realizirano je zajedničkim radom GFZ-a, Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) i konzorcija industrijskih tvrtki. Razdoblje C/D od 01/97. do 05/2000. uključivalo je razvoj i realizaciju misije (GFZ i dr. 2000), a razdoblje E je operacijska faza CHAMP satelita.

GFZ je krovna institucija odgovorna za realizaciju projekta CHAMP. Nadležnosti na pojedinim dijelovima misije podijeljene su na:

- GFZ: nadležan za projekt menadžmenta, instrumentarij, znanstvene sustave i sustave podataka,
- DLR: nadležan za zemaljski sustav, praćenje putanje satelita, rada satelita i prijam podataka,
- Jena-Optronik GmbH: nadležan za dizajn i izradbu satelita,
- Cosmos International GmbH: nadležan za pripremu polijetanja i raketu nosač.

U realizaciju misije uključili su se internacionalni partneri doniranjem instrumentarija:

- National Aeronautics and Space Administration (NASA) (USA): GPS TRSR-2 prijammnik izrađen u Jet Propulsion Laboratory (JPL),
- Centre National des Études Spatiales (CNES) (Francuska): STAR akcelerometar,
- Air Force Research Laboratories (AFRL) (USA): digitalni ionski driftmetar koji služi za ionska mjerenja u okolici satelita.

U različitim razdobljima izvođenja projekt su financirali: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) i GFZ.

Ciljevi misije CHAMP su u znanstveno-stručnim područjima geoznanosti i fizike atmosfere. Temeljni je cilj misije prikupljanje i distribucija podataka mjerenja koji će omogućiti nove spoznaje o procesima u geosustavu. Misija CHAMP već je počela ispunjavati tri osnovne znanstvene zadaće:

- definiranje globalnog, vrlo preciznog modela gravitacijskog polja i prostorno-vremenske promjenljivosti polja,
- dobivanje preciznoga globalnog modela glavnoga magnetskog polja i magnetskog polja Zemljine kore s prostorno-vremenskom promjenljivošću polja,
- daljinska istraživanja stanja atmosfere za potrebe kratkoperiodičnih meteoroloških predikcija vremena i praćenje promjena klime.

Osim ovih znanstvenih ciljeva, podaci GPS-mjerenja koriste se i za potrebe kao što je precizno određivanje trajektorija putanje satelita. Cilj misije CHAMP je posluživanje cijelog niza korisnika s više standardnih podatkovnih proizvoda različitih razina obradbe za vrijeme trajanja cijele misije.

Promjena položaja masa u atmosferi, oceanima i čvrstoj Zemlji međusobno su povezani procesi koji prouzrokuju slabe gravitacijske signale s različitim prostorno-vremenskim skalama. Podaci CHAMP misije omogućiti će razlučivanje pojedinih signala. Pritom se od misije najviše očekuje razlučivanje gravitacijskih signala prouzrokovanih promjenama položaja masa zbog: cirkulacije vode u oceanima, gibanja zračnih masa, elastičnih promjena litosfere prilikom glacijalnog opuštanja i premeštanja masa uslijed gibanja tekuće Zemljine jezgre. Dugovalni signali geoida prouzrokovani nehomogenošću masa u plaštu i jezgri bit će određivani s velikom pouzdanošću. Te informacije omogućit će pouzdanije određivanje geoloških brzina širenja valova kroz Zemlju koje su povezane s konvekcijama unutar plašta i s gibanjem geotektonskih ploča, a to će omogućiti bolje ispitivanje strukture i statičko-dinamičkih kompenzacija masa na granici između jezgre i plašta i u području diskontinuiteta u gornjem plaštu.

Gravitacijsko polje modelirat će se s obzirom na poremećaje putanje CHAMP satelita primjenom SST-mjerenja. Primjenom te tehnike mjerenja, ograničavajući je faktor nepoznavanje poremećajnih negravitacijskih sila. U misiji CHAMP poremećaji putanje, koji nisu prouzrokovani anomalnošću gravitacijskog polja, modelirati će se s obzirom na akcelerometrijska mjerenja. CHAMP podaci dobiveni tom misijom već sad omogućuju znatno poboljšanje modeliranja globalnog geoida u odnosu na dosadašnje modele dobivene s obzirom na satelitska mjerenja. To povećanje kvalitete imat će utjecaj na rješavanje problema u geodeziji, geofizici, oceanografiji, satelitskoj navigaciji, pozicioniranju i srodnim područjima.

Prije misije CHAMP samo je MAGSAT (1979 – 1980) magnetometrijska satelitska misija koristila vektorski magnetometar i od 1999 godine aktivna je Ørsted satelitska misija. Magnetometrijska mjerenja u misiji CHAMP omogućuju dobivanje vrlo kvalitetnog statičkog i dinamičkog modela glavnog magnetskog polja i magnetskog polja Zemljine kore te dobivanje slabih magnetskih signala koje dosadašnjim senzorima nije bilo moguće razlučiti. Ona omogućuju razlučivanje slabih električnih signala u području ionosfere koji utječu na magnetsko polje. Misija CHAMP je za-

jedno s Ørsted i SAC-C satelitskim misijama otvorila novu eru modeliranja litosferskog utjecaja na magnetsko polje. Dugogodišnje prikupljanje podataka omogućuje dinamičke studije magnetskog polja.

Osim intenzivnog ispitivanja gravitacijskog i magnetskog polja, misijom CHAMP sustavno se provodi atmosferska tomografija primjenom analize deformacije GPS signala prilikom njegova prolaska kroz slojeve atmosfere. Podaci o atmosferi dobivaju se na osnovi GPS radiookultacijskih mjerenja⁵ i ionskog driftmetra. GPS radiookultacijska mjerenja daju podatke o atmosferi s obzirom na veći broj dobro raspoređenih GPS signala. Dobivene informacije omogućuju analizu stanja i dinamike slojeva atmosfere (troposfere, stratosfere i ionosfere). Očekuje se intenzivno korištenje podataka ovih mjerenja i širok spektar praktičnih primjena. Terestrička meteorološka mjerenja pretežno se odvijaju na fizičkoj površini Zemlje i postoje velika područja koja nisu pokrivena podacima. Zbog globalne pokrivenosti i trodimenzionalne naravi podataka prepoznat je veliki potencijal te tehnike mjerenja.

4. Zemaljski segment, satelit, instrumenti i putanja misije CHAMP

Zemaljski segment misije CHAMP sastoji se od tri dijela: Mission Control Centre, Raw Data Centre i Science Operation System. Mission Control Centre nadzire i korigira rad sustava te misije. Raw Data Centre smješten u zemaljskoj postaji u Neustrelitzu (Njemačka) dnevno prima podatke s CHAMP satelita za vrijeme njegova redovitog preljetanja iznad Njemačke. Tu se podaci arhiviraju i šalju u Science Operation System u GFZ-tu. U GFZtu podaci se obrađuju i izrađuju se proizvodi podataka koji se šalju korisnicima. Science Operation System povezuje različite znanstvene eksperimente vezano uz misiju CHAMP (Reigber i dr. 2001).

CHAMP satelit dizajnirao je i izradio Daimler Chrysler Aerospace Jena Optik GmbH (DJO) u suradnji s Dornier Satellitensysteme GmbH i Raumfahrt und Umwelttechnik GmbH. Taj je satelit robusne građe s fiksnim solarnim pločama. Tijelo satelita izrađeno je od aluminijskih sendvič-ploča s dodatnim pojačanjima. Oblik satelita rezultat je optimiranja aerodinamičnosti, smještaja instrumenata i podsustava unutar satelita te uvjeta da se satelit može smjestiti u Kosmos raketu nosač (v. sl. 2 i 3). Glavne su tehničke karakteristike CHAMP satelita: masa 522,5 kg, visina 750 mm, duljina 8333 mm (sa stupom od 4044 mm), širina 1621 mm. Dvije solarne ploče simetrično su smještene, a dvije dodatne solarne ploče su na vrhu satelita.

⁵ Prolaskom kroz atmosferu deformira se radio signal. Analizom deformacija radiosignala mogu se odrediti parametri atmosfere: gustoća, tlak, temperatura i vlažnost (Yunck 2002). Ako niskoletajući satelit prima GPS signal prilikom spuštanja i izdizanja GPS-satelita s obzirom na horizont niskoletajućeg satelita, signal će prolaziti kroz slojeve atmosfere i mijenjati svoje karakteristike. Te promjene omogućuju dobivanje parametara atmosfere. Tehnika se naziva GPS radiookultacija. Primjena analize deformacije radiosignala pri određivanju parametara atmosfere datira iz ranih 1960tih kada je u misijama Mariners 3 i 4 analizirana atmosfera Marsa. Metoda se počela znatno razvijati tek pojavom GPS/GLONAS radionavigacijskih sustava i niskoletajućih satelitskih misija. Korištenje GPS signala u radiookultacijskim mjerenjima počinje u prvoj polovici 1990tih (Yunck i dr. 2000). GPS radiookultacijska mjerenja potvrdila su svoju učinkovitost 1995. godine u eksperimentu GPS/MET. Misija pokazala veliki potencijal daljinskih istraživanja atmosfere primjenom te tehnike mjerenja (Hajj i dr. 2002). Ta tehnika mjerenja provodila se i još se provodi u više satelitskih misija, među ostalim GPS/MET, Ørsted, CHAMP, SAC-C, GRACE, IOX, a zbog svog velikog potencijala u pripremi su misije u SAD-u, Europi, Japanu, Brazilu i Tajvanu. Okultacijska mjerenja mogu se provoditi i opažanjem zvijezde za vrijeme prolaska njezine zrake kroz atmosferu. Taj mjerni princip koristi satelitska misija ENVISAT (Bertaux 2003).



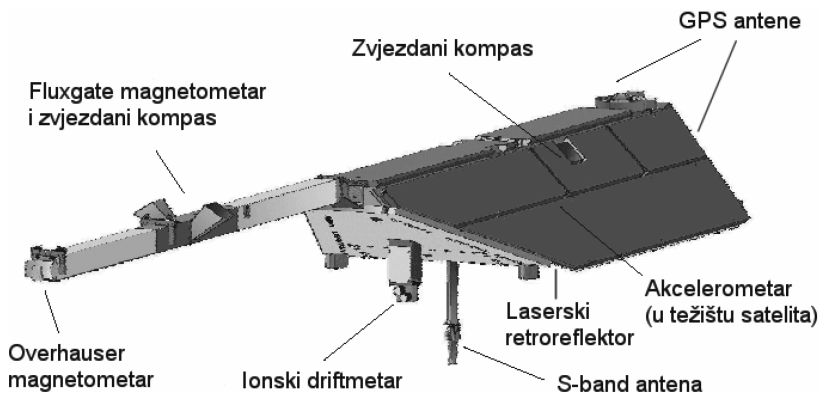
Slika 2. CHAMP satelit u izradbi
(© GFZ-Potsdam, Germany)



Slika 3. CHAMP satelit u putanji
(© GFZ-Potsdam, Germany)

Da bi se utjecaj elektronike satelita na magnetska mjerenja sveo na minimum, magnetometrijska je oprema smještena na stupu-produžetku. Duljina stupa osigurava da je satelitsko magnetsko polje smetnji manje od 0,5 nT.

Na CHAMP satelitu nalazi se sedam različitih mjernih instrumenata (v. sl. 4) koji se upotrebljavaju u različitim kombinacijama za mjerenje parametara magnetskog polja, gravitacijskog polja i atmosfere.



Slika 4. CHAMP satelit s instrumentima (Reigber i dr. 2001)

GPS prijamnik Turbo Rogue Space Receiver (TRSR-2) uključuje i četiri antene, koje su smještene jedna s gornje strane satelita u smjeru zenita, jedna s donje strane satelita u smjeru nadira i dvije u zadnjem dijelu satelita. Antena u smjeru zenita prima GPS signale i služi za određivanje položaja CHAMP satelita. Dvije antene na zadnjem kraju primaju GPS signale koji se dižu ili spuštaju na CHAMP horizontu za potrebe GPS radiookultacijskih mjerenja. Helix-antena u smjeru nadira prima GPS signale koji se reflektiraju od površine oceana, područja pod ledom i od čvrste površine Zemlje. Kada je položaj GPS i CHAMP satelita poznat, reflektirani signali mogu se koristiti kao altimetrijska mjerenja. Ta mjerenja imaju eksperimentalni status.

Naknadnom obradom GPS podataka dobivaju se vrlo precizne pozicije putanje CHAMP satelita koje u kombinaciji s akcelerometrom služe kao glavna mjerenja za vrlo precizno određivanje poremećaja putanje satelita i za određivanje gravitacijskog polja.

GPS prijamnik može raditi u: tracking-modu (podrazumijeva se), okultacijskom modu i altimetrijskom modu.

Za vrijeme prva tri mjeseca misije javljali su se problemi s GPS sustavom. Taj sustav inicijalizirao se 4 puta dnevno. Novi GPS program instaliran je 8.11.2000., nakon čega se signifikantno smanjio broj resetiranja GPS sustava.

Laserski retroreflektor pasivni je instrument koji se sastoji od 4 prizme. One služe za refleksiju laserskih impulsa nazad na Zemlju. Reflektor je dizajniran i izrađen u GFZ-tu. Smješten je s donje strane satelita. On omogućuje izravno dvostruko mjerenje udaljenosti od zemaljske postaje do satelita. Ti podaci koriste se za: određivanje putanje satelita, modeliranje gravitacijskog polja u kombinaciji s GPS mjerenjima, kalibraciju satelitskih sustava i provjeru laserskog modela za korekciju atmosfere.

Akcelerometar STAR donirala je Centre National des Études Spatiales (CNES) (Francuska), a izradio ga je Office National d'Etudes et de Recherches Aerospatiales (ONERA) (Francuska). Njegova je uloga da mjeri sve negravitacijske poremećaje koji djeluju na CHAMP satelit. Najznačajniji su negravitacijski poremećaji: atmosfersko trenje, Sunčeva radijacija i albedo Zemlje⁶. Akcelerometar je vrlo osjetljiv instrument s velikom rezolucijom očitavanja. Da bi šum mjerenja bio čim manji, let mora biti stabilan. To ima za posljedicu velike zahtjeve s obzirom na dizajn letjelice i sustav za kontrolu visine i putanje letjelice (Attitude and Orbit Control System, AOCS). Zvezdani kompas čvrsto je povezan s akcelerometrom i služi za točno određivanje inercijalnog položaja akcelerometra u prostoru. Dizajn akcelerometra sastoji se od testirajuće mase koja slobodno lebdi unutar kaveza. Mjerena ubrzanja proporcionalna su silama koje nastoje testirajuće masu održati u središtu kaveza. Da bi se minimizirao utjecaj poremećaja kutnih ubrzanja na mjerenja gradijenata gravitacijskog potencijala, testirajuće masa akcelerometra smještena je u središte masa satelita. Odstupanje od težišta ne smije biti veće od ± 2 mm za vrijeme trajanja cijele misije. Smještajem testirajuće mase akcelerometra u središte masa satelita minimalan je utjecaj torzije koja se stvara paljenjem motora. Prilikom aktiviranja motora zbog korekcije putanje, koja traje do nekoliko desetaka sekundi dolazi do ubrzanja od oko 10^{-6} m·s⁻², što prelazi rezoluciju instrumenta 1000 puta.

⁶ Sunčevo zračenje reflektirano od Zemlje.

Fluxgate magnetometar i zvjezdani kompasi izrađeni su na Tehničkom sveučilištu u Danskoj koje ima bogato iskustvo s danskom satelitskom magnetometrijskom misijom Ørsted. Dizajn je zasnovan na kompaktnom sferičnom senzoru. To je primarni instrument za magnetska mjerenja. Fluxgate magnetometar ima mjerni raspon od $\pm 65\,000$ nT za sve tri komponente, a to omogućuje pokrivenost cijele Zemlje. Najveća je rezolucija 10 pT. Šum je u području < 50 pT (rms). Senzor je povezan sa zvjezdanim kompasom jer se za vektorska mjerenja traži poznavanje položaja senzora u trenutku mjerenja. Zbog potrebe redukcije poremećajnih utjecaja na mjerenja još je jedan magnetski senzor smješten na udaljenosti 60 cm od prvog senzora. Iako je njegova prvenstvena namjena kontrola i redukcija poremećaja, on se može koristiti za određivanje gradijenata magnetskog polja.

Overhauser magnetometar francuske tvrtke Laboratoire d'Electronique de Technologie et d'Instrumentation (LETT) mjeri totalni intenzitet magnetskog polja na vrhu stupa. Služi kao magnetski referentni instrument u svrhu kalibracije oba fluxgate magnetometra koji mjere komponente vektora magnetskog polja. On radi na načelu protonske magnetske rezonancije (Reigber 2001). Prilikom izradbe satelita proveden je poseban program magnetskog čišćenja, što je rezultiralo magnetskom čistoćom satelita od $< 0,5$ nT, a to omogućuje prikupljanje visoko kvalitetnih podataka o magnetskom polju. Mjerno je područje $18 - 65$ μ T, rezolucija 10 pT, a šum < 50 pT. Očitavanja Overhauser magnetometra dana su zajedno s putanjom satelita u Conventional Terrestrial Reference System (CTRS).

Digitalni ionski driftmetar služi za mjerenja distribucije iona i njihovih momenata u ionosferi u blizini satelita. Ta mjerenja omogućuju određivanje distribucije ionosferskih struja u okolici satelita, a njihovo će poznavanje signifikantno pomoći razlučivanju ionosferskog utjecaja na magnetsko polje.

Napredni zvjezdani kompas (Advanced Stellar Compass, ASC) izrađen je na Tehničkom sveučilištu u Danskoj. ASC je samostalan sustav za određivanje visine satelita s obzirom na položaj zvijezda. Dizajn se temelji na instrumentu korištenom u Ørsted misiji. ASC snima zvijezde u vidnom polju s pomoću CCD-uređaja. Položaj zvijezda na snimci uspoređuje se s položajem iz kataloga zvijezda, a GPS model putanje koristi se za određivanje aberacijske korekcije (Bock i dr. 2001). Tom se tehnikom deklinacija i rektascenzija satelita mogu odrediti na nekoliko lučnih sekundi. U CHAMP satelit ugrađena su dva ASC sustava, a svaki se sastoji od: dvije kamere, jedinice za obradu slike i prepoznavanje teksture, redukciju podataka, zaštitu sustava i komunikaciju. ASC smješten na stupu satelita osigurava visokoprecizno određivanje visine za magnetometrijska vektorska mjerenja, a ASC u tijelu satelita osigurava određivanje visine za potrebe akcelerometra i ionskog driftmetra. Ti su podaci potrebni i za redukciju GPS podataka, kontrolu visine i za laserska mjerenja. Za magnetska mjerenja vrlo je važna magnetska čistoća glava kamera, zbog čega je moguć smještaj kamere i magnetometra u neposrednoj blizini. Kao zaštita od zasljepljivanja kamera Suncem upotrebljavaju se sjenila, a utjecaj Mjeseca otklanja se obradom slike.

Programski paket On-Board Data Handling (OBDH) odgovoran je za sigurno funkcioniranje i usklađen rad svih dijelova sustava, nadzor nad prikupljanjem i obradom podataka sustava i instrumenata, osiguravanje svih vrsta pogona satelita, pripremu podataka za prijenos na Zemlju kao i za izvršenje komandi sa Zemlje.

Podsustav za održavanje visine i putanje održava CHAMP satelit u troosno stabiliziranoj putanji u odnosu na Zemlju. Da bi se osiguralo što manje trenje zraka, CHAMP satelit orijentiran je tako da je produžni stup ispružen prema naprijed u smjeru leta (Bock i dr. 2000). Sustav za kontrolu visine i putanje letjelice (Attitude and Orbit Control System, AOCS) ima na raspolaganju 12 mlaznica za promjenu visine i dvije za promjenu putanje u preostala dva smjera. AOCS sustav za kontrolu putanje upotrebljava: GPS prijamnik, zvjezdani kompas i vektorski magnetometar koji su povezani sa sustavom za paljenje motora. Cilj je kontrolirati orijentaciju satelita u području od $\pm 2^\circ$. Ako je kutno odstupanje veće, AOCS sustav aktivira mlaznice. Kao gorivo se upotrebljava dušik spremljen u dva tanka mase od 32 kilograma.

Podsustav za održavanje stalne temperature osigurava temperaturu svih instrumenata i pod-sustava u svim uvjetima. Ugrađeno je 60 senzora za nadzor temperature. *Podsustav za snabdijevanje električnom energijom* generira električnu energiju koristeći otprilike 7 m^2 solarnih ploča, a ona se pohranjuje u NiH_2 bateriju. CHAMP satelit ima svoj *sustav vremena* koji je kontroliran GPS vremenom. Primjenom GPS-a vrijeme se kalibrira na $< 1 \mu\text{s}$ s frekvencijom od 0,1 Hz. *Komunikacija sa satelitom* odvija se u S-valnom području.

CHAMP referentni okvir $X_{S/C}$, $Y_{S/C}$, $Z_{S/C}$ fiksiran je za satelit s ishodištem u središtu masa satelita (Lühr i dr. 2002). Os $X_{S/C}$ postavljena je uzduž satelita u smjeru produžnog stupa. Za nominalnu orijentaciju satelita ona pokazuje nagib u smjeru leta. Os $Z_{S/C}$ usmjerena je u nadir pri nominalnoj visini, a os $Y_{S/C}$ formira desni referentni okvir. Ortogonalnost osi referentnog okvira bolja je od $2,5 \cdot 10^{-5}$ rad.

Referentni okvir akcelerometra fiksiran je za akcelerometar. On je definiran s pomoću:

- ishodišta: u centru testne mase akcelerometra koja je u središtu masa satelita,
- X_{ACC} osi: antiparalelna⁷ s osi $Z_{S/C}$,
- Y_{ACC} osi: paralelna s osi $X_{S/C}$,
- Z_{ACC} osi: antiparalelna s osi $Y_{S/C}$,
- Φ : rotacija oko X_{ACC} ,
- Θ : rotacija oko Y_{ACC} ,
- Ψ : rotacija oko Z_{ACC} .

Na CHAMP satelitu postoje dva zvjezdana kompasa: jedan na stupu, a drugi na tijelu satelita. Njihovi su *referentni okviri* definirani:

- ishodištem: presjek CCD-ravnine s optičkom osi kamere,
- X_{ASCI} osi: duž redova CCD-a, gotovo paralelna ili antiparalelna s osi $X_{S/C}$,
- Y_{ASCI} osi: duž stupaca CCD-a s negativnim smjerom duž osi $Z_{S/C}$,
- Z_{ASCI} osi: duž linije pogleda kamere usmjeren prema van.

Položaji GPS antena, laserskog reflektora i ostale opreme zadani su kao koordinatne razlike u CHAMP referentnom okviru.

⁷ Koordinatne osi su antiparalelne ako su im pravci paralelni, ali im je orijentacija u suprotnim smjerovima.

Putanja CHAMP satelita

CHAMP putanja je približno polarna, gotovo kružna. Inklinacija putanje CHAMP satelita je 87° . Nepromijenjena putanja će se održavati za vrijeme cijelog trajanja misije od pet godina, a s vremenom će dolaziti samo do opadanja visine satelita. Gotovo kružna približno polarna putanja omogućuje homogenu globalnu pokrivenost Zemlje. To je bitno za modeliranje Zemljina gravitacijskog i magnetskog polja te da bi se umanjio utjecaj temperaturnih promjena. Putanja je sinkronizirana sa Suncem⁸. Ona ima prednost u svim trima znanstvenim primjenama u svrhu odvajanja periodičnih utjecaja kao što su Zemljini plimni valovi i utjecaji dana i noći. Početna visina od 454 km odabrana je da bi se:

- garantiralo višegodišnje trajanje misije bez obzira na razne nepredvidive intenzitete Sunčeve aktivnosti čija radijacija smanjuje visinu satelita,
- pratio optimalan prolaz GPS signala kroz razne slojeve atmosfere pri GPS radio-okultacijskim mjerenjima,
- za potrebe modeliranja gravitacijskog polja poželjna je čim niža putanja, a ta visina putanje poželjna je za satelitsko opažanje magnetskog polja.

Od lansiranja CHAMP gubi na visini oko 55 m/dan. Smanjenje visine u prvom redu će ovisiti o Sunčevoj aktivnosti i otporu zraka. Simulacije koje predviđaju do kojeg smanjenja visine može doći grube su i kreću se u rasponu od 200 km do 50 km. Zbog toga je predviđena barem jedna korekcija visine. Na taj će se način osigurati mjerenja na visini iznad 300 km, a nekoliko mjeseci pri kraju misije mjerenja ispod 300 km visine.

Parametri položaja CHAMP satelita u Conventional Inertial System (CIS) izraženi Keplerovim parametrima za 15.05.2001 u 10:00:00 bili su (Reigber i dr. 2001):

- velika poluos: 6806,632 km,
- ekscentricitet: 0,003492,
- inklinacija: $87,275^\circ$,
- argument perigeja: $216,022^\circ$,
- rektascenzija uzlaznog čvora: $36,352^\circ$,
- srednja anomalija: $269,343^\circ$.

5. Mjerenja

Mjerenja se u misiji CHAMP mogu podijeliti na: mjerenja za određivanje gravitacijskog polja, mjerenja magnetskog polja i mjerenja parametara atmosfere.

Prilikom modeliranja gravitacijskog polja s pomoću misije CHAMP koristit će se informacije o poremećaju putanje satelita, tj. SST-mjerenja. Topografija i anomalni raspored gustoća u unutrašnjosti Zemlje uzrokuju najveće promjene radijalne komponente poremećaja putanje satelita, a promjene u smjeru leta i u smjeru okomitom na smjer leta manje su amplitude. Za određivanje poremećaja putanje satelita koristi se GPS prijammnik, zvjezdani kompas i laserska mjerenja. Da bi se mogle modelirati i iz mjerenja izdvojiti negravitacijske, poremećajne sile koje djeluju na putanju satelita, koriste se mjerenja troosnog akcelerometra. GPS mjerenja u kombinaciji s mjerenjima akcelerometra glavne su veličine za dobivanje putanje satelita. Ele-

⁸ Satelit prelijeće istu geografsku širinu u isto lokalno vrijeme.

mentarna mjerenja su mjerenja udaljenosti od CHAMP do GPS satelita. Ona se dobivaju korištenjem faznih GPS mjerenja, oslobođenih utjecaja ionosfere u intervalima od 1 s. Zvezdani kompasi upotrebljavaju se u prvom redu za određivanje visine magnetometra i akcelerometra, a mogu se koristiti u kombinaciji s GPS mjerenjima za određivanje putanje satelita. Kao kontrolna mjerenja za određivanje CHAMP putanje povremeno se mjere udaljenosti do CHAMP satelita sa stanica globalne laserske mreže (International Laser Ranging Service, ILRS).

Za određivanje putanja GPS i CHAMP satelita razvijena je globalna mreža terestričkih GPS postaja. Planirana je implementacija te mreže u International GPS Service (IGS) mrežu (Reiber i dr. 2001).

Misijom CHAMP želi se modelirati glavno, litosfersko, ionosfersko i eksterno magnetsko polje (Holme i dr. 2000) te se prikupljaju podaci o promjenjivom geomagnetskom polju, kao posljedica:

- “dinamo” procesa u Zemljinoj jezgri i procesa u plaštu (glavno polje),
- magnetizacije stijena i sedimenata u kori (anomalno polje kore),
- toka elektrona u ionosferi i magnetosferi (vanjsko polje).

Analizom magnetometrijskih mjerenja u posljednjih 150 godina uočeno je da intenzitet magnetskog polja kontinuirano slabi (GFZ i dr. 2000), a podaci opažanja magnetskog polja primjenom Zemljinih umjetnih satelita (ZUS), u posljednjih 20 godina, pokazuju da se magnetsko polje u području južnog Atlantika smanjilo za deset posto.

Osobita su očekivanja misije CHAMP u području globalnoga kartiranja magnetskih anomalija Zemljine kore. U području visoke atmosfere dinamička aktivnost Sunca uzrokuje veliku promjenjivost magnetskog polja, što ima utjecaja na magnetske i meteorološke odnose na Zemlji te se od magnetskih CHAMP mjerenja očekuju nove spoznaje u proučavanju svemirske meteorologije. Povezivanje magnetskog polja, gravitacijskog polja i geoloških informacija omogućivat će jasniju sliku o tektonici ploča i ponašanju kore.

GPS radiookultacijskim mjerenjima dobivaju se profili atmosferske temperature, tlaka i vlažnosti. Ta mjerenja popunit će praznine u podacima o atmosferi iznad oceana, polarnim i teško dostupnim kontinentalnim područjima. Visinska razlučivost atmosfere primjenom GPS okultacijskih mjerenja iznosi nekoliko stotina metara, pri čemu treba otkloniti sekundarne utjecaje (Hajj 2001). Ostale radiookultacijske metode ne daju globalne homogene profile podataka i ne postižu uvijek kvalitetu kao GPS radiookultacijska mjerenja. Misija CHAMP ima za cilj provjeru GPS okultacijskih mjerenja s neovisnim meteorološkim podacima. Ta mjerenja koristit će se za meteorološku predikciju vremena i analizu stanja i dinamike atmosfere. Digitalni ionski driftmetar koristi se za mjerenje parametara električnog polja.

Između 1999. i 2001. godine započeto je pet međunarodnih misija kojima je cilj poboljšanje mjerenja i obradbe te standardizaciju GPS okultacijskih podatkovnih proizvoda. One su definirale uvjete za prvu buduću Tajvan-SAD operacijsku GPS okultacijsku konstelaciju (Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere and Climate, COSMIC)⁹.

⁹ Misija COSMIC sastojati će se od 6 mikrosatelita na visini od 800 km, koji će davati oko 4000 okultacijskih profila dnevno. Lansiranje satelita trebalo bi početi krajem 2005. godine. Od te misije i geodezija će imati koristi. Precizno određivanje putanje COSMIC satelita primjenom GPS mjerenja koristit će se za modeliranje gravitacijskog polja. To će biti prvi puta da se dobije istovremena, konzistentna mreža putanja više satelita (Rocken i dr. 2000).

Za satelite koji provode GPS radiookultacijska mjerenja potrebne su precizne putanje (Reiberg i dr. 2001). IGS će prilagoditi svoje usluge definiranju standardnih GPS radiookultacijskih podatkovnih proizvoda. Podaci permanentnih GPS postaja u Osijeku i Dubrovniku uključene su u IGS-obradbu pa će i Hrvatska posredno biti uključena u taj proces.

6. CHAMP podatkovni proizvodi i usluge

Standardni znanstveni podatkovni CHAMP proizvodi podijeljeni su u četiri razine. Povećanjem razine povećava se stupanj obradbe. S obzirom na mjerenja, proizvodi podataka podijeljeni su na:

- 1) proizvode podataka za modeliranje Zemaljskog gravitacijskog polja i putanje satelita:
 - razina 1: GPS/CHAMP kodna i fazna SST-mjerenja; GPS kodna i fazna mjerenja zemaljskih postaja,
 - razina 2: obrađena akcelerometrijska mjerenja (linearna i kutna ubrzanja s podacima o visini i vremenima paljenja motora),
 - razina 3: rapidne putanje CHAMP satelita u Conventional Terrestrial System, s kratkim vremenskim kašnjenjem nakon prikupljanja podataka,
 - razina 4: naknadno obrađene precizne putanje CHAMP i GPS satelita i njihovom primjenom dobiveni globalni modeli gravitacijskog polja (nakon nekoliko mjeseci),
- 2) proizvode podataka magnetskog polja Zemlje:
 - razina 1: elementarni magnetski podaci mjerenja,
 - razina 2: skalarna i vektorska mjerenja parametara magnetskog polja, precizne visine dobivene s pomoću zvjezdanoga kompasa,
 - razina 3: potpuno kalibrirani magnetski vektori,
 - razina 4: model glavnog magnetskog polja razvijen u sferene harmonike i *secular variations* koeficijente koji su dobiveni s obzirom na CHAMP i terestrička mjerenja (novi se modeli periodično objavljuju),
- 3) proizvode podataka o atmosferi:
 - razina 1: CHAMP GPS okultacijska mjerenja, GPS kodna i fazna mjerenja,
 - razina 2: popis okultacijskih događaja po danima (karakteristične informacije o okultaciji),
 - razina 3: vertikalni profili atmosferskih podataka.

Za CHAMP podatkovne proizvode definirani su i opisani: opći formati CHAMP podataka (Förste i dr. 2002, Förste 2001), formati podataka o putanji CHAMP satelita (König i dr. 2001), format za podatke o gravitacijskom polju (Förste i dr. 2000), formati podataka Fluxgate magnetometra (Rother 2001a), formati podataka Overhauser magnetometra (Rother 2001b) i CHAMP-RINEX formati (Köhler 2001). Osim standardnih, CHAMP će davati i nestandardne proizvode s obzirom na specifične potrebe korisnika.

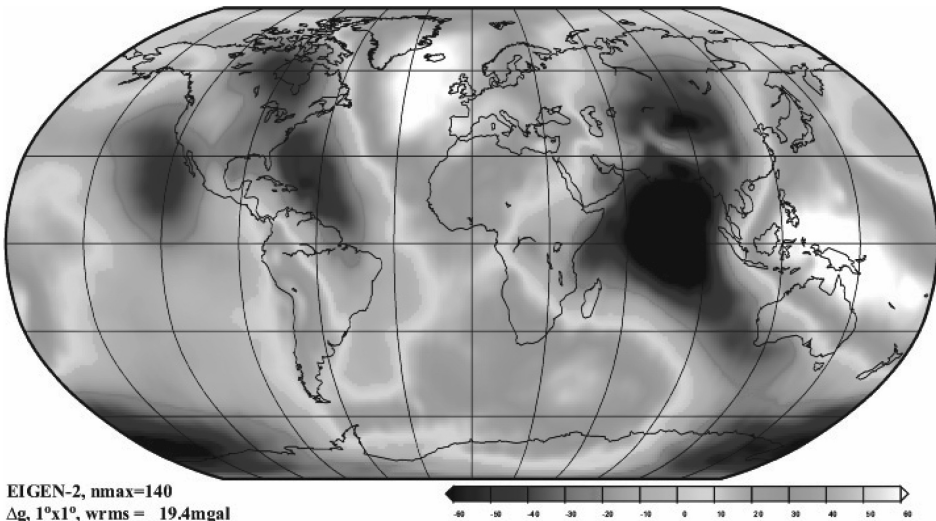
7. Dosadašnji rezultati misije CHAMP

Dana 15. srpnja 2000. godine u 11:59:59,628 UTC lansiran je satelit CHAMP iz ruskog uzletišta Plesetsk u raketi Kosmos. CHAMP je do sada prema planu dao podatke i proizvode visoke kvalitete. Na treću godišnjicu (15. srpnja 2003.) CHAMP satelit prošao je 16958 ophoda oko Zemlje, pa je potpuno funkcionalan i daje vrlo kvalitetne podatke. U tri godine dao je oko 3 milijuna vrlo vrijednih podatkovnih proizvoda o gravitacijskom polju, magnetskom polju i atmosferi.

CHAMP model Zemljina gravitacijskog polja određuje se s obzirom na poremećaje putanje satelita. Modeliranje putanje CHAMP satelita u dinamičkom modu daje odstupanja na osnovi reziduala od 1,5 cm primjenom faznih mjerenja i 100 cm primjenom GPS kodnih mjerenja (Neumayer i dr. 2000). CHAMP geopotencijalni modeli zbog svoje kvalitete definiraju nove standarde modeliranja globalnih geopotencijalnih modela.

EIGEN-1S prvi je model gravitacijskog polja dobiven korištenjem CHAMP podataka (Reigber i dr. 2002). Dobiven je s obzirom na mjerenja poremećaja putanje CHAMP satelita u razdoblju od 30.7. do 10.8.2000. i od 24.9. do 31.12.2000. Model je kombinacija: GRIM5-1S sustava normalnih jednadžbi, Lageos-1 i Lageos-2 uvjeta na zonalnim harmonicima, dodatnih Lageos-1 i Lageos-2 laserskih podataka praćenja poremećaja putanje CHAMP satelita. EIGEN-1S model sadrži potpuno normalizirane koeficijente sfernih harmonika do 100. reda te stupnja i pridružene standardne devijacije. Permanentni plimni valovi nisu uključeni u koeficijent $C(2,0)$. Koeficijent $C(0,0)$ i koeficijenti 1. stupnja nisu definirani. Za model je dana i korelacijska matrica.

Model koeficijenata sfernih harmonika EIGEN-2 (v. sl. 5) dobiven je primjenom mjerenja od srpnja do prosinca 2000. i od rujna do prosinca 2001.



Slika 5. Model polja ubrzanja sile teže CHAMP EIGEN-2 (Reigber i dr. 2003b)

Točnost modela EIGEN-2 za undulacije geoida znatno je ispod 10 cm, a za anomalije ubrzanja sile teže $0,5 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Rješenje EIGEN-2 uključuje: potpuno normalizirane koeficijente sfernih harmonika do 120. stupnja i reda zajedno s pridruženim standardnim devijacijama. Permanentni plimni valovi nisu uključeni u koeficijent $C(2,0)$, a koeficijent $C(0,0)$ i koeficijenti prvog stupnja nisu definirani. Izračunana je i korelacijska matrica modela.

Usporedbom globalnih modela polja ubrzanja sile teže, prije pojave CHAMP modela, i lokalnih modela na teritoriju Hrvatske utvrđeno je da je hrvatski visinski datum niži u usporedbi s globalnim (Hećimović i Bašić 2002). Usporedba globalnih CHAMP modela s lokalnim modelima na teritoriju Hrvatske također upućuje na isti zaključak, ali je određivanje razlika pouzdanije (Hećimović i Bašić 2004a). Usporedba CHAMP modela s Europskom visinskom mrežom pokazuje da je i europski datum niži u odnosu na svjetski visinski datum (Hećimović i dr. 2004). Podaci satelitskih misija će poboljšati dugovalni i srednjevalni dio spektra modela polja ubrzanja sile teže te kratkovalni utjecaj topografije postaje glavno područje modeliranja polja ubrzanja sile teže (Hećimović i Bašić 2004d).

Geomagnetski modeli izrađeni primjenom CHAMP podataka modeli su glavnog polja CO_2 , a litosferski su modeli Magnetic Field Model 1, 2 i 3 (MF1, MF2 i MF3). Glavno polje modelira se do valnih duljina od oko 3000 km, a kraće valne duljine prouzrokovane su utjecajem litosfere. *Secular variations* prvog modela glavnog polja, nastalog isključivo iz CHAMP vektorskih podataka, pouzdan je samo do 11. stupnja i reda razvoja u sferne harmonike. Dodatno uključenje Ørsted podataka od 1999. godine unaprjeđuje *secular variations* do 13. stupnja. Satelitske misije CHAMP, Ørsted i SAC-C započinju novu epohu modeliranja litosferskih magnetskih anomalija. Litosferski modeli MF1 i MF2 definirani su sfernim harmonijskim koeficijentima skalarnog potencijala magnetskog polja. MF1 koristi se CHAMP mjerenjima od 9.8. do 30.9.2001. i razvijen je od 15. do 80. stupnja i reda (niži harmonici definirani su glavnim poljem). MF1 reprezentira litosfersko magnetsko polje.

Magnetski model MF2 također reprezentira skalarno potencijalno magnetsko polje. Za modeliranje su korištene dvije godine CHAMP podataka od 8.2000. do 8.2002. Magnetski model MF2 razvijen je od 16. do 80. stupnja. Za dobivanje modela MF2 korišteni su svi CHAMP skalarni i vektorski podaci. CHAMP magnetska mjerenja koriste se za studije ionosferskih magnetskih utjecaja.

Korištenjem kombinacije CHAMP i Ørsted mjerenja dobiven je magnetski model glavnog polja Potsdam Magnetic Model of the Earth (POMME) (URL 2). Model je razvijen u red sfernih funkcija do 15. stupnja i reda, uključujući i *secular variations*.

Primjenom Ørsted i CHAMP vektorskih magnetskih mjerenja izrađeni su modeli Definitive Geomagnetic Reference Field 1995 i 2000 (DGRF1995 i DGRF2000) te *secular variations* 2002,5 (URL 2). Ti modeli magnetskog polja predloženi su za Zemaljske službene modele u navedenim razdobljima.

CHAMP podaci omogućuju modeliranje magnetskih signala koji su do sada bili nedostupni. Gibanje morske vode kroz Zemljino magnetsko polje inducira električno polje koje djeluje na magnetsko polje. Magnetska mjerenja CHAMP omogućuju artikuliranje signala električnog polja prouzrokovano oceanskim plimnim valovima (Maus 2003). To omogućuje bolje razumijevanje magnetskih procesa geosustava i

otvara nove mogućnosti u modeliranju oceanskih strujanja. Razlučivanje magnet-skog signala zbog utjecaja oceanskih plimnih valova omogućuje dobivanje detaljnijeg magnetskog modela Zemlje.

GPS radiookultacijska mjerenja u misiji CHAMP su se počela provoditi 11.2.2001. godine, a nakon dva mjeseca bilo je prikupljeno već 3000 mjerenja. Dobiveni su globalni vertikalni profili atmosfere (Wickert i dr. 2001). Od njih je 438 vertikalnih temperaturnih profila uspoređeno s globalnim meteorološkim modelom. Dobiveno je konstantno odstupanje od oko 1° K iznad tropopauze i manje od $0,5^{\circ}$ K na visinama od 12 do 20 km za širine $> 30^{\circ}$ N. Na kraju srpnja 2001. godine bilo je prikupljeno više od 11 000 globalno raspoređenih vertikalnih profila atmosfere. Njihovom usporedbom s meteorološkim modelima dobivene su standardne devijacije od $< 0,6^{\circ}$ K za visine ispod 20 km, od $< 1,2^{\circ}$ K između 20 i 30 km i od $< 0,15^{\circ}$ K za visine veće od 30 km.

Dosadašnja GPS okultacijska mjerenja u misijama CHAMP i SAC-C pokazala su da su mjerenja neovisna o instrumentalnim konstantama i sustavnim pogreškama, da su pojedini temperaturni profili pouzdani na $< 0,5^{\circ}$ K između oko 5 i 20 km te da su prosječni profili koji su važni za studije promjene klime pouzdani do $< 0,1^{\circ}$ K. To pokazuje da bi se slabi signal promjene klime mogao detektirati primjenom GPS radiookultacijskih mjerenja za manje od desetljeća (Haji i dr. 2002).

CHAMP osrednjuje 125 okultacija dnevno (Haji i dr. 2002). Na NASA-inim internetskim stranicama GPS Environmental & Earth Science Information System (GENESIS) (URL 3) mogu se naći podaci o dnevnim CHAMP/GPS okultacijskim mjerenjima.

Trenutačni podaci i rezultati misije CHAMP mogu se naći na internetskoj stranici GESIS – The German Earth Science Information System Internet stranici (URL 4) <http://geis.gfz-potsdam.de/>. GFZ internetske stranice vezane uz projekt CHAMP mogu se naći na adresama: <http://op.gfz-potsdam.de/champ/> i <http://isdc.gfz-potsdam.de/champ/>.

Objavljen je cijeli niz publikacija i članaka s temom CHAMP misije. CHAMP je nezaobilazna tema mnogih simpozija i znanstvenih skupova. Održan je i niz simpozija s temom isključivo o CHAMP misiji, a neki se od njih redovito ponavljaju. O prvim rezultatima CHAMP-misije objavljena je knjiga Reigber i dr. (2003a). Vrijednost te misije već je prepoznata u širim, ne samo znanstvenim i stručnim krugovima.

8. Zaključak

Satelitska misija CHAMP prva je u nizu satelitskih misija koja će dati nove spoznaje o geosustavu i definirati nove standarde rješavanja znanstvenih i stručnih zadataka u više područja. SST-mjerenja i mjerenja akcelerometra, kao glavne CHAMP veličine za mjerenje polja ubrzanja sile teže, omogućile su dobivanje modela polja ubrzanja sile teže koji definiraju nove standarde. Poboljšanje modela naročito je u dugovalnom i srednjemvalnom području razvoja sfernih harmonika. CHAMP magnetski modeli glavnog polja i litosferski modeli definiraju nove standarde modeliranja magnetskog polja. Postalo je moguće artikulirati slabe signale koji su za prijašnje senzore i mjerne tehnike bili nevidljivi. Kombinacijom Ørsted i CHAMP vektorskih magnetskih mjerenja dobiveni su magnetski modeli koji će obilježavati to razdoblje u proučava-

nju i eksploataciji Zemljina magnetskog polja. CHAMP GPS okultacijska mjerenja otvaraju nove mogućnosti u prikupljanju atmosferskih parametara.

Vrlo sofisticirani znanstveni CHAMP instrumenti definiraju standarde za novu generaciju mjernih instrumenata. Tematska područja misije CHAMP (gravitacijsko i magnetsko polje te atmosfera) nameću interdisciplinarni pristup obradbi i interpretaciji podataka. To je posebno bitno dok se ne definiraju standardi novih podatkovnih proizvoda kojima će se moći koristiti veći broj korisnika. Iako se od CHAMP misije još očekuje puni doprinos većem broju područja već je dosadašnjim rezultatima u potpunosti ispunila očekivanja.

Literatura

- Bašić, T., Hećimović, Ž. (2004): Latest Geoid Determinations for the Republic of Croatia. IAG International Symposium – Gravity, Geoid and Space Missions – GGSM2004, Porto, Portugal, from August 30th to September 3rd.
- Bertaux, J.-L., Hauchecorne, A., Dalaudier, F., Cot, C., Kyrölä, E., Tamminen, J., Fussen, D., GOMOS tim (2003): One year of atmospheric occultation measurements with GOMOS on ENVISAT. Geophysical Research Abstracts, European Geophysical Society, Vol. 5, 14457.
- Bock, R., Lühr, H., Grunwaldt, L. (2000): CHAMP Scientific Payload and its Contribution to a Stable Attitude Control System. AGU Fall Meeting.
- Bock, R., Lühr, H. (2001): CHAMP Attitude Aberration Correction. GFZ Potsdam.
- Der Brockhaus (2003): Naturwissenschaft und Technik. Band 1, Spektrum, F. A. Brockhaus. Mannheim, Leipzig.
- Förste, Ch., Schwintzer, P., Reigber, Ch. (2000): CHAMP Gravity Field Solution Data Formats. Potsdam.
- Förste, Ch. (2001): References to Data Formats, used within the CHAMP Project. GFZ Potsdam.
- Förste, Ch., Schwintzer, P., Reigber, Ch. (2002): Format description: The CHAMP Data Format. Potsdam.
- GFZ, DaimlerChrysler Aerospace i Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt a.V. (2000): CHAMP – Der Blick in das Innere der Erde.
- Hajj, G. A., Kursinski, E. R., Romans, L. J., Bertiger, W. I., Leroy, S. S. (2001): A technical description of atmospheric sounding by GPS occultation. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 64, 451–469, Pergamon.
- Hajj, G. A., Ao, C. O., Iijima, B. A., Kuang, D., Kursinski, E. R., Mannucci, A. J., Meehan, T. K., Romans, L. J., de la Torre Juarez, M., Yunck, T. P. (2002): CHAMP and SAC-C Atmospheric Occultation Results and Intercomparisons. Submitted to *Journal of Geophysical Research*.
- Hećimović, Ž., Bašić, T. (2002): Globalni geopotencijalni modeli na teritoriju Hrvatske. *Geodetski list*, God. 57 (80), broj 2, str. 73–89, Zagreb.
- Hećimović, Ž., Barišić, B., Grgić, I. (2004): European Vertical Reference Network (EUVN) considering CHAMP and GRACE-gravity models. Symposium of the IAG Subcommission for Europe. European Reference Frame – EUREF 2004, Bratislava, Slovakia, 2 – 5 June 2004.

- Hećimović, Ž., Bašić, T. (2004a): Comparison of CHAMP and GRACE geoid models with Croatian HRG2000 geoid. 1st General Assembly European Geosciences Union (EGU), Nice, France, from 25 – 30 April 2004.
- Hećimović, Ž., Bašić, T. (2004b): Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) satelitska misija. Predano za objavljivanje u Geodetski list.
- Hećimović, Ž., Bašić, T. (2004c): Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer (GOCE) satelitska misija. Predano za objavljivanje u Geodetski list.
- Hećimović, Ž., Bašić, T. (2004d): Modeling of topographic effect on gravity field parameters in Croatia. IAG International Symposium – Gravity, Geoid and Space Missions – GGSM2004, Porto, Portugal, from August 30th to September 3rd.
- Holme, R., Lühr, H., Maus, S., Olsen, N., Ritter, P., Rother, M., Schwarte, J. (2000): Magnetic field modelling with CHAMP data: Initial results. AGU Fall Meeting 2000.
- Köhler, W. (2001): CHAMP RINEX format observable extensions for CHAMP SST Data. GFZ Potsdam 2001.
- König, R., Schwintzer, P., Reigber, Ch. (2001): Format description: The CHAMP Orbit Format CHORB. Potsdam 2001.
- Lühr, H., Grunwaldt, L., Förste, Gh. (2002): CHAMP Reference Systems, Transformations and Standards. GFZ Potsdam 2002.
- Maus, S., Tyler, R., Lühr, H. (2003): Ocean Tidal Dynamo Identified in CHAMP Satellite Magnetic Data. *Science*, Vol. 299, 239–241.
- Neumayer, K. H., Zhu, S. Y., Reigber, Ch., König, R., Meixner, H. (2000): CHAMP Orbit Recovery – Algorithmic Approaches and Preliminary Results. <http://op.gfz-potsdam.de/champ/>.
- Reigber, C., Lühr, H., Schwintzer, P. (2001): Announcemet of Opportunity for CHAMP. GeoforschungZentrum Potsdam, Potsdam 2001.
- Reigber, Ch., Balmino, G., Schwintzer, P., Biancale, R., Bode, A., Lemoine, J.-M., Koenig, R., Loyer, S., Neumayer, H., Marty, J.-C., Barthelmes, F., Perosanz, F., Zhu, S. Y. (2002): A high quality global gravity field model from CHAMP GPS tracking data and Accelerometry (EIGEN-1S). *Geophysical Research Letters*, 29(14), 10.1029/2002GL015064.
- Reigber, C., Lühr, H., Schwintzer, P. (Eds.) (2003a): First CHAMP Mission Results for Gravity, Magnetic and Atmospheric Studies. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, New York.
- Reigber, Ch., Schwintzer, P., Neumayer, K.-H., Barthelmes, F., König, R., Förste, Ch., Balmino, G., Biancale, R., Lemoine, J.-M., Loyer, S., Bruinsma, S., Perosanz, F., Fayard, T. (2003b): The CHAMP-only Earth Gravity Field Model EIGEN-2. *Advances in Space Research* 31(8), 1883–1888, 2003 (doi:10.1016/S0273–1177(03)00162–5).
- Rocken, C., Kou, Y.-H., Schreiner, W., Hunt, D., Sokolovskiy, S. (2000): COSMIC System Description. Special Issue of Terrestrial, Atmospheric and Ocean Science, 11(1), 21–52, March 2000.
- Rother, M. (2001a): CHAMP Overhause Magnetometer Data Description. GFZ Potsdam 2001.
- Rother, M. (2001b): Fluxgate Magnetometer Data Description. <http://op.gfz-potsdam.de/champ/> (3.9.2001.).

URL 1: Long term Sea Level Change. Centre for Space Research. The University of Texas at Austin, <http://www.csr.utexas.edu/> (30.7.2003.).

URL 2: POMME Potsdam Magnetic Model of the Earth. GeoForschungZentrum Potsdam, <http://www.gfz-potsdam.de/pb2/pb23/SatMag/pomme14.html> (22.01.2004.).

URL 3: GPS Environmental & Earth Science Information System (GENESIS). NASA, <http://genesis.jpl.nasa.gov/> (14.07.2003.).

URL 4: GESIS – The German Earth Science Information System. <http://gesis.gfz-potsdam.de/> (10.07.2003.).

Yunck, T. P., Chau-Han, L., Ware, R. (2000): A History of GPS Sounding. Submitted to TAO.

Yunck, T. P. (2002): An Overview of Atmospheric Radio Occultation. Journal of Global Positioning System, Vol. 1, No. 1, 58–60.

Wickert, J., Reigber, C., Beyerle, G., König, R., Marquardt, C., Schmidt, T., Grunwaldt, L., Galas, R., Meehan, T. K., Melbourne, W. G., Hocke, K. (2001): Atmosphere sounding by GPS-radio occultation: First results from CHAMP. Geophysical Research Letters, American Geophysical Union. Paper number 1999GL000000.

CHALLENGING Minisatellite Payload (CHAMP) Satellite Mission

Three satellite missions CHAMP, GRACE and GOCE are defining primary goals of research in geosciences in this decade. Subjects of CHAMP-mission are Earth gravity and magnetic field and measurements of the Earth atmosphere parameters. CHAMP-mission is making SST-measurements for modeling of the gravity field. They are corrected for non-gravitational perturbations using accelerometer measurements. The quality of these measurements is defining new standards of modeling of the Earth gravity field. CHAMP-magnetometry is giving opportunity to obtain models of main magnetic field, magnetic influence of Earth's crust and better separation of weak magnetic signals. CHAMP GPS-radio occultation measurements are giving new possibilities in collecting meteorological parameters. CHAMP is initializing new interdisciplinary researches of structure and dynamic of the Earth's interior, research of the influence between ocean and atmosphere (geosphere), more reliable monitoring of the oceans circulation, global changes of the sea level, short periodic global water circulations, changes of the weather and climate (hydrosphere) and global atmosphere sounding that is giving better meteorological relations on the Earth (atmosphere). Results of CHAMP-mission already gave new knowledge about geosystem and defining new standards in solving scientific and practical problems in more branches.

Key words: CHAMP, GRACE, GOCE, satellite missions, geosystem, gravity field, magnetic field, GPS-radio occultation.