

DINAMIČKO PRAĆENJE DEFORMACIONIH STRUKTURA U REALNOM VREMENU

Prof. dr Slobodan AŠANIN, dipl.geod.inž.
E-mail: asanins@grf.bg.ac.yu

Doc. dr Branko BOŽIĆ, dipl.geod.inž.
E-mail: bozic@grf.bg.ac.yu

Institut za geodeziju, Građevinski fakultet, Beograd

REZIME

Deformacija objekta jeste rezultat nekog procesa. Tehnike merenja sa kojima se danas raspolaže omogućuju merenje i analizu takvih procesa u svim njegovim aspektima. Važnost takvog pristupa saglasna je postojećem trendu u oblasti inženjerskog osmatranja hidrotehničkih objekata od koga se zahteva ocena ne samo geometrijskih promena objekta već dinamike procesa koja podrazumeva povezivanje uzroka pomeranja i fizičkih osobina objekta. Posebno mesto u sistemima za praćenje deformacija danas pripada GPS tehnologiji. Osim GPS u radu se prikazuje nekoliko aktuelnih sistema koji pored ili zajedno sa GPS predstavljaju današnju okosnicu u oblasti deformacione analize.

Ključne reči: Vodoprivreda, hidrotehnika, GPS, Deformaciona analiza

1. UVOD

Pod deformacionom analizom u geodetskom smislu smatra se **geodetska analiza dinamičkih procesa**. Ovo je jedan od zaključaka iz izveštaja Ad Hoc komiteta FIG Radne grupe 6.1 posvećenog modelima i terminologiji u

analizi opažanja koja se izvode s ciljem geodetskog praćenja pomeranja objekata (Welsch and Heunecke, 2002). Inženjerska geodetska merenja sastavni su deo svih faza u životu jednog objekta. Osnovni zadatak deformacionih merenja jeste da u fazi eksploatacije objekta sveobuhvatno opiše stanje objekta. Veliki i složeni inženjerski hidrotehnički i drugi objekti sve su više u svakodnevnoj upotrebi. Takvi objekti su konstruisani sa visokim stepenom otpornosti prema raznim izvorima oštećenja kao što su temperatura, vetar, saobraćaj i sl. Zbog svoje važnosti kao i opasnosti po okolinu, moraju biti permanentno praćeni. Pod tim se podrazumeva poznavanje trodimenzionalnih koordinata karakterističnih tačaka kojima se takvi objekti modeluju sa visokom tačnošću i visokom vremenskom rezolucijom. Tipičan primer za to jesu brane, nasipi, mostovi, visoke zgrade pod opterećenjem, složene konstrukcije i sl. Tačnost položaja diskretnih tačaka kojima se modeluje objekat u svakoj sekundi mora biti veća od 1 cm, iako se sa GPS mogu postići i deset puta veće brzine ocene položaja, doduše u režimu samostalnog rada prijemnika. Primenom diferencijalnih tehnika merenja, uz adekvatnu opremu, moguće je postići centimetarsku tačnost. Međutim, postoje i izvesni problemi u primeni ove tehnologije. Pre svega, neophodno je ostvariti optičku vidljivost ka satelitima.

Napomena Urednika:

U oblasti praćenja ponašanja hidrotehničkih i drugih objekata (brana, mašinskih zgrada, mostova, itd) ulazi se u sasvim novu tehnološku eru, primenom savremenije tehnologije (GPS, motorizovanih totalnih stanica, senzora, skenera). U toj grani su tehnološki prodori (sa stanovišta opreme za praćenje ponašanja objekata), kao i metode analiza materijala osmatranja tako brzi, reklo bi se čak i skokoviti, da te promene i prodore detaljno mogu pratiti samo specijalisti, kojima je to uska oblast naučnog i stručnog angažovanja. Pošto je veoma važno da svi ljudi koji se bave objektima i njihovim ponašanjem budu upoznati sa savremenim tendencijama u toj oblasti, vaš urednik je zamolio autore da napišu ovaj članak. Metode o kojima oni govore su sve pogodnije za osmatranje hidrotehničkih objekata, te je Redakcija sigurna da će članak uvaženih geodetskih eksperata izazvati pažnju čitalaca.

Ranije uglavnom, a danas ponegde, praćenja pomeranja realizovana su pomoću akcelometara i anemometara ugrađenih u sam objekat. Prikupljene podatke trebalo je u jednom procesu povezati sa relativnim pomeranjima. Danas, GPS tehnologija direktno obezbeđuje koordinate, a time i relativna pomeranja sa brzinom i do deset pozicija u sekundi, što daje mogućnost praćenja objekta u realnom vremenu pod različitim prirodnim i veštačko izazavnim opterećenjima, uz istovremeno aktivni sistem za uzbuđivanje.

2. DEFORMACIONA ANALIZA – TRADICIONALNI PRISTUP

U skladu sa tradicionalnom geodetskom procedurom, deformacioni proces ima dve svoje osnovne komponente (Welsch and Heunecke, 2002). Prva je modelovanje objekta, a druga modelovanje procesa. Pravilno modelovanje objekta podrazumeva takav izbor položaja tačaka čije kretanje potpuno reprezentuje ponašanje objekta, dok pravilno modelovanje procesa podrazumeva vremenski aspekt procesa. Drugim rečima, deformacija objekta posmatra se isključivo fenomenološki bez dublje analize uzroka. U takvim okolnostima u prostornoj i vremenskoj analizi rezultata merenja korišćene su dve klase modela: 1) **modeli podudarnosti** i 2) **kinematički modeli**. Modeli podudarnosti utvrđuju identičnost koordinata tačaka u dve epohe, dok kinematički modeli vremenski opisuju kretanje tačaka, bez analize potencijalne veze sa uzrocima kretanja.

3. DEFORMACIONA ANALIZA – SAVREMENI PRISTUP

Savremeni pristup deformacionoj analizi podrazumeva ne samo ponašanje geometrije objekta u prostoru i vremenu već istražuje i uticajne faktore koje izazivaju deformacije (Welsch and Heunecke, 2002). Shodno teoriji dinamičkih sistema, lanac procesa formiraju uticajne sile kao **ulazni signal**, ponašanje objekta kao **proces transfera** ili prenošenja uticaja i odgovor objekta kao **izlazni signal**. U nameri da ponudi adekvatan odgovor na stanje i ponašanje objekta, teorija sistema nudi standardizovanu matematičku metodologiju vremenskog ponašanja dinamičkih sistema. Čitalac se može šire upoznati sa ovom metodologijom u napred pomenutom izveštaju Ad Hoc komiteta FIG Radne grupe 6.1. Međutim, radi

kontinuiteta, ukratko će se izložiti osnovni smisao novog pristupa analizi deformacija.

Pretpostavimo da je neka konstrukcija (tehnički sistem) opterećena unutrašnjim i spoljašnjim uticajima (stres, saobraćaj, vetar, temperatura, voda i dr.) koje treba na neki način izmeriti (slika 1). Na uticaje, sistem reaguje deformacijom (istezanjem, pomeranjem i sl.).

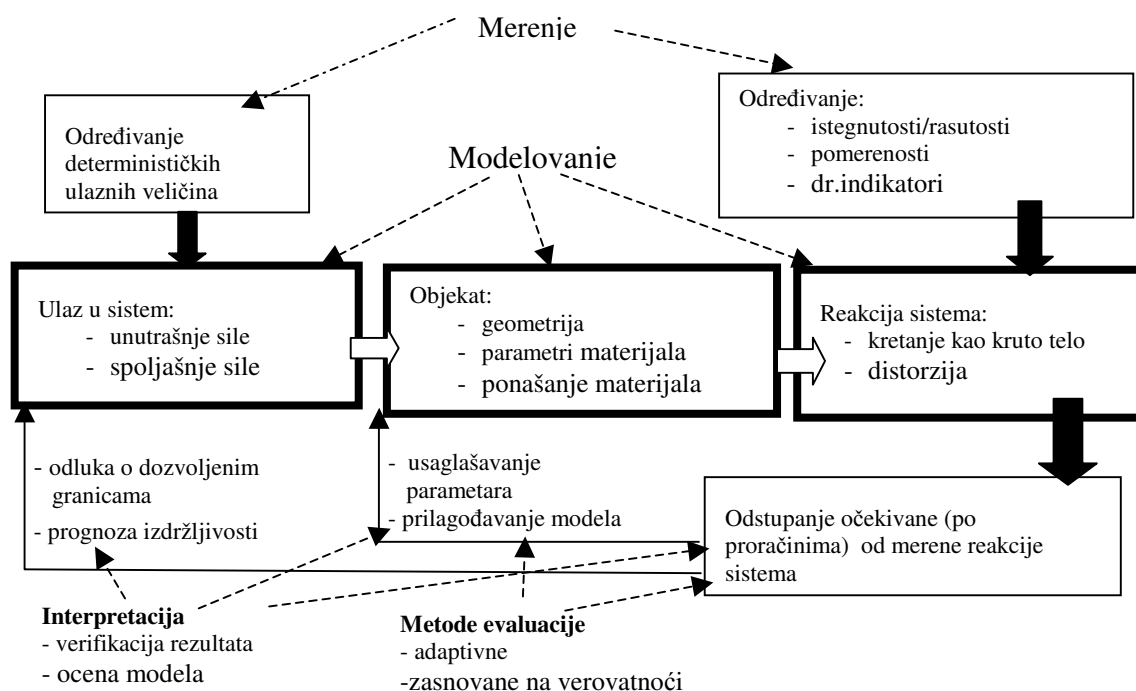
Da bi se predvidela reakcija sistema (izlazni signal), neophodno je poznavati način prenošenja sile kroz objekat (transfer funkcija) koje je jedino moguće ukoliko se poznaje geometrija konstrukcije objekta, parametri materijala i način ponašanja materijala od kojeg je objekat sagrađen. Ukoliko su poznata dva prva elementa, dinamički proces se može modelovati, a reakcija sistema kvantitativno prognozirati. Uz to, ukoliko je moguće izmeriti reakciju strukture, stvara se osnov za primenu integrisanih modela, a upoređenjem prognoziranog i iz merenja dobijene reakcije strukture kroz postupak inovacije dolazi se do uvida u karakter, tj. fizičkih svojstava strukture – objekta. Inovacija predstavlja osnovu tehnike KALMANOVOG filtriranja koja je nezaobilazna u rešavanju problema ove vrste jer dovodi do *samokalibracije* modela i potpune *identifikacije* dinamičkog sistema. Detaljnije o geodetskoj analizi dinamičkih sistemima i njihovoj primeni vidi, na primer, u (Welsch, W. 1996).

4. MERENJE REAKCIJA STRUKTURA – DEFORMACIONA MERENJA

U okviru ovog poglavlja posebna pažnja se poklanja uređajima za prikupljanje podataka o odzivu objekta. Pored klasifikacije uređaja, u okviru predstavljanja pojedinih sistema za merenje deformacija ukazuje se na sadržaj i način funkcionisanja pojedinih rešenja. Posebno se želi istaći prisustvo novih tehnologija i njihove mogućnosti u sagledavanju prostornih i vremenskih karakteristika pomeranja.

4.1. SENZORI KOJI SE KORISTE U DEFORMACIONIM MERENJIMA

Praćenje (određivanje) deformacija zahteva pažljivo prikupljanje i analizu merenja različitim vrstama instrumenata. Ne samo da takve senzore treba pažljivo odabrati, već ih je neophodno adekvatno i postaviti na objekat-strukturu. Sasvim je jasno da pogrešni rezultati



Slika 1: Dinamičko modelovanje konstrukcije (Welsch and Heunecke, 2001)

u postupku **inovacije** sistema mogu rezultirati netačnim zaključcima, a time dovesti i do nesagledivih posledica u proceni ponašanja objekta. U praksi se za tu namenu koristi veliki broj uređaja, senzora. Senzori se po tipu mogu podeliti u tri osnovne kategorije, i to: 1) za potrebe **pozicioniranja**, 2) **geotehničke** i 3) **meteorološke**. Izbor senzora zavisi od karakteristika objekta koji se prati. Generalno, geotehnički i meteorološki senzori obezbeđuju tzv. *jednodimenzionalne* podatke, dok geodetski instrumenti omogućuju praćenje pomeranja u *tri dimenzije*. Kada je reč o geodetskim sensorima, posebno se ističu tri vrste uređaja, i to: 1) **totalne stanice**, 2) **GPS** i 3) **terestrički laserski skeneri**.

Upotreba motorizovanih **totalnih stanica** omogućuje trodimenzionalno kontinuirano automatsko praćenje deformacija. Tačnost merenja uglova iznosi oko $\pm 0.5''$, a dužina $\pm 1 \text{ mm} + 1 \text{ mm/km}$, na rastojanjima i do 3500m. Totalnom stanicom sa uređajem za automatsko prepoznavanje cilja (ATR - Automatic Target Recognition) mogu se odrediti 3D koordinate 200 tačaka za manje od 20 minuta.

GPS tehnologija u režimu rada u realnom vremenu (RTK GPS) omogućuje određivanje 3D koordinata tačaka sa tačnošću od oko $\pm 5 \text{ mm} + 2 \text{ mm/km}$, sa uobičajenom frekvencijom od 1 Hz (jedna pozicija u sekundi). RTK GPS predstavlja idealan senzor pri praćenju pomeranja inženjerskih objekata (brana, nasipa, mostova, zgrada i sl.), o čemu svedoče brojni primeri iz literature. Zbog nekih svojih urođenih nedostataka, kombinacija sa drugim sensorima zadovoljava i najveće zahteve tačnosti.

Geotehnički senzori obezbeđuju podatke koji su često od suštinske važnosti za praćenje deformacija. U senzore ove vrste spadaju: ekstenzometri, inklinometri, piezometri i dr. Podaci se prikupljaju i unose u prijemnik, naknadno ili automatski.

Meteorološki senzori su prisutni u raznim oblicima. Njima se mere jedan ili više meteoroloških parametara, i to: temperatura, relativna vlažnost, pritisak, brzina vetra, pravac vetra, globalna sunčeva radijacija i dr. Podaci koje prikupljaju ovi senzori od koristi su i za redukciju podataka merenja geodetskih senzora.

4.2 SISTEM ZA MERENJE DEFORMACIJA MOSTOVA - BDMS

Laboratorija za primenjena istraživanja Univerziteta u Teksasu razvila je prototip sistema za praćenje pomeranja mostova zasnovan na GPS tehnologiji (Keith et al. 1997). Sistem je uspešno testiran na nekoliko mostova pokazavši visoke rezultate. Danas se mogu prepoznati dve osnovne arhitekture sistema za praćenje pomeranja putem GPS tehnologije. Prva je zasnovana na mreži fiksiranih senzora, a druga koristi pokretne senzore. Većina konvencionalnih sistema za praćenje pomeranja mostova koristi mrežu fiksiranih senzora koji podatke šalju u jedan kontrolni centar gde se vrši obrada podataka. Ovakva arhitektura u potpunosti pogoduje i GPS.

Tako, na primer, u Laboratoriji za primenjena istraživanja Univerziteta u Teksasu razvijen je sistem za praćenje deformacija mostova (BDMS – bridge deformation monitoring system) kod kojeg su senzorski čvorovi postavljeni na najosetljivija mesta na samom mostu. Ukoliko se prate dugoperiodično kretanje senzori se postavljaju iznad nosećih stubova, a ukoliko se prate kratkoperiodična pomeranja senzori se postavljaju između stubova. Svaki senzorski čvor čini GPS prijemnik, mikrokontroler i radio. GPS prijemnik prati satelite prikuplja kodne i fazne podatke i šalje ih putem radio veze do centralne jedinice za obradu podataka. Sistem koristi radio širokog spektra sa frekvencijama od 902 do 928 MHz i brzinom prenosa podataka do 115 Kbps. Mikrokontroler kontroliše rad prijemnika i radio veze. Kontrolni centar sadrži radio i personalni računar sa odgovarajućim programom za kontrolu rada sistema, obradu podataka, komunikaciju, upravljanje, proveru podataka i analizu pomeranja. Kada se sistem jednom inicijalizuje, sav dalji rad je automatizovan.

Kada je reč o sistemu koji je postavljen na most, očekivana tačnost računanja pojedinačnih pozicija bolja je od 1cm. Ukoliko se prikupi više podataka (kod praćenja dugoperiodičnih pomeranja) može se postići tačnost i do 1 mm. Ukoliko se radi o pomeranjima koja su dugoperiodična uobičajeno je da opažanja traju nekoliko sati. Nasuprot, kratkoperiodična pomeranja izazvana, na primer, vetrom, saobraćajem i sl. nije moguće otkriti osrednjavanjem više rezultata pa je tačnost ocena položaja nešto lošija i kreće se do 1 cm. Kod praćenja ovakvih promena, neophodno je koristiti prijemnike sa većom brzinom registracije i savšenije radio uređaje.

Za praćenje dugoperiodičnih pomeranja objekata u praksi se koristi još jedna GPS metoda. Ona se zasniva na periodičnim merenjima gornje površi objekata (brana, mostova, nasipa i sl.). Metoda se realizuje kinematičkim merenjem platforme objekta kombinujući GPS i analogne senzore. Tačnost koja se postiže iznosi oko 1 cm, pri čemu se može postići veoma značajna gustina tačaka. Na taj način moguće je generisati 3D profil površi na kojoj se lako uočavaju položaji nosećih stubova kao i deformacije strukture. Merenja se izvode tako što se na vozilo iznad krova montira jedna do dve GPS antene i jedan uređaj za merenje dužina (Linear Variable Displacement Transducers – LVDT) čija je uloga da odredi efekte sistema za amortizaciju vozila kako bi oni bili eliminisani prilikom računanja položaja antena. Ukoliko se sistemu pridodaju akcelerometri i žiro uređaj, moguće je postići i značajno veću tačnost (poznati su vojni dinamički sistemi koji koriste GPS i inercijalne senzore sa visokim dinamičkim svojstvima). Tako opremljeno vozilo nekoliko puta pređe obe kolovozne trake objekta prikupljajući i registrujući podatke za dalju obradu. Podaci GPS merenja i merenja drugim sensorima se objedinjuju radi računanja položaja i za analizu grešaka. Nakon filtriranja podataka, generiše se 3D model reprezentujući trenutni izgled mosta. Poređenje modela u više epoha merenja daje osnov za analizu pomeranja. Ovakva arhitektura sistema jeste veoma popularna jer se uređaji mogu koristiti na više objekata.

4.3 LEICA GEOMOS

GeoMos jeste otvoren višesenzorski automatizovani sistem za praćenje i analizu deformacija inženjerskih objekata (vodoprivrednih, hidrotehničkih, elektroprivrednih i sl.) sa značajnim i respektivnim kapacitetima baze podataka i prikaza pomeranja. Sistem može uključiti više različitih senzora definisanih standardnim XML tekst fajlovima, bez dodatnog programiranja. Komunikacija između pojedinih komponenti sistema je višestruka, od modema, GSM, WAN, LAN, radio ili kablovske veze koristeći TCP/IP Internet protokol. Sistem upravljanja omogućuje slanje poruka i putem E-maila ili digitalnih I/O interfejsa, u skladu sa unapred definisanim pravilima i ograničenjima (tolerancijama i sl.). Sistem obezbeđuje punu kontrolu rada perifernih uređaja sa jednog mesta. GeoMos sadrži, pored senzora za prikupljanje podataka, dve osnovne aplikacije: 1) **Analizer** i 2) **Monitor**.

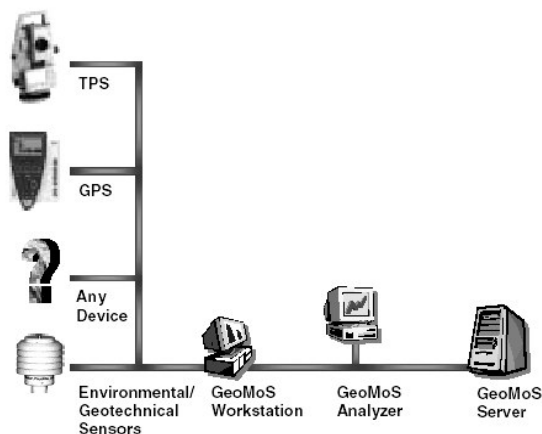
Monitor je **on-line** aplikacija koja upravlja radom senzora. Kao senzori mogu se koristiti totalne stanice,

GPS prijemnici, meteorološki i geotehnički senzori. U okviru ovog dela sistema korisnik vrši izbor tačaka na kojima će realizovati merenja, bira vrste senzora kao i frekvenciju prikupljanja podataka. Takođe, moguće je definisati i granice tolerancije ili vrstu poruke koju treba emitovati zainteresovanim licima u slučaju opasnosti putem elektronske pošte, mobilnim telefonima i sl.

Uloga **Analyzera** jeste da obradi, analizira i prikaže rezultate merenja. Aplikacija radi u **off-line** modu.

Program GeoMos se može instalirati na platformi tipa Pentium 3 sa 128 MB RAM i diskom kapaciteta 10GB i CD ROM-om. Operativni sistem je Windows 2000 ili Windows NT 4.0.

Jedna od najvažnijih komponenti sistema jeste **Senzor Manager**. On omogućuje rukovanje različitim tipovima senzora što je osnovni zahtev većine današnjih objekata. Komunikacija se obavlja preko standardnog Microsoft COM interfejsa između **Senzor Managera** i aplikacije direktno. U **Senzor Manageru** senzori se definišu preko XML fajlova koji su takođe Microsoft standard.

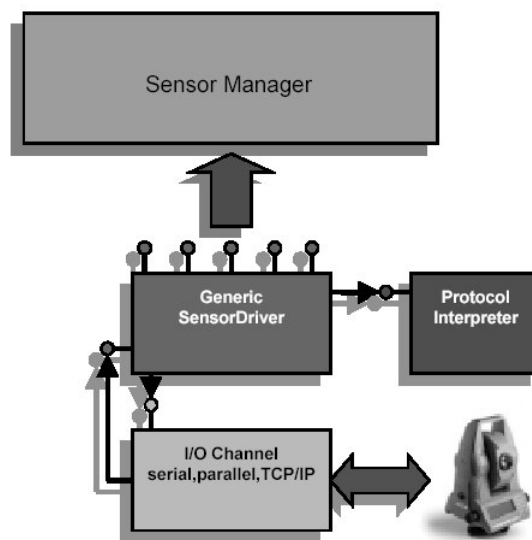


Slika 2: Struktura GeoMos sistema

Šematski prikaz veze dat je na slici 3. Svaki senzor ima (ili mu se definiše) XML fajl i registruje se u **Senzor Manageru**. Ovakav koncept aktiviranja senzora omogućuje da se izvrši integracija većeg broja različitih uređaja, i to: totalnih stanica, GPS prijemnika, digitalnih nivelira, meteoroloških senzora, ekstenziometara, uređaja za merenje nagiba i drugih uređaja (Sippel, 2000).

Program **GeoMos** koristi Microsoft otvorenu bazu podataka koja je u stanju zadovoljiti različite zahteve korisnika. Baza je otvorena za nadgradnju i u njoj se

može programirati u Visual Basic-u. Sa podacima se može manipulirati koristeći standardne SQL upite.



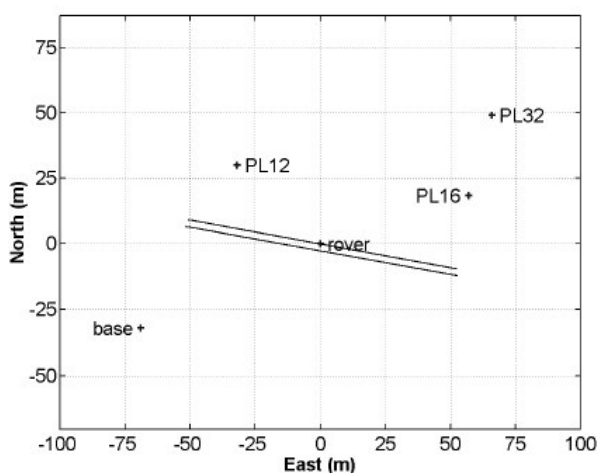
Slika 3: Definisavanje novih senzora

4.4 SISTEM ZA MERENJE DEFORMACIJA SNAP GRUPE

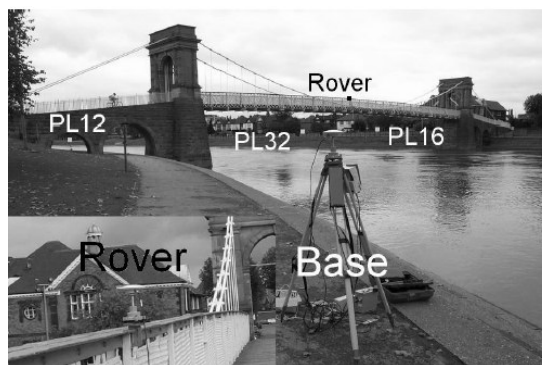
Poznata je činjenica da tačnost, pouzdanost i integritet GPS pozicija zavisi od broja i geometrijskog rasporeda satelita. Često, u urbanim područjima, GPS ne može odgovoriti visokim zahtevima tačnosti. Takođe, kako zbog geometrije tako i činjenice da se uglavnom vrši opažanje satelita iznad 15 stepeni elevacije, tačnost visinske komponente je 2 do 3 puta lošija od horizontalne. Osim toga, na srednjim i višim geografskim širinama (preko 45 stepeni) tačnost u pravcu sever-jug je lošija u odnosu na istok-zapad osu što je posledica vrednosti inklinacije satelita (55 stepeni). Jedan od načina da se ovaj problem prevaziđe jeste u primeni zemaljskih odašiljača signala generisanih po istom algoritmu poput GPS signala. Takve odašiljače u GPS terminologiji nazivaju se pseudoliti (Pseudolite – PL). PL se lociraju tako da poboljšaju postojeće nedostatke položaja GPS satelita čime značajno doprinose poboljšanju preciznosti položaja. Čak postoji i ta varijanta, da sistem funkcioniše i bez GPS satelita. **Grupa za satelitsko pozicioniranje i navigaciju** - SNAP (SNAP – Satellite Navigation and Positioning) u svojim istraživanjima značajno vreme posvetila je kombinovanju GPS i PL. Kao rezultat napora napravljen je program za obradu

GPS i PL podataka koji je testiran upravo na primeru praćenja deformacija. U tom pravcu SNAP je ostvario punu saradnju sa **Univerzitetom u Notingemu** na ispitivanju deformacija mostova sa čeličnim sajlama kao nosiocima konstrukcije.

Na slikama 4 i 5 prikazan je položaj bazne GPS stanice tri pseudostanice i pokretnog GPS prijemnika. Njihov međusobni položaj je veoma važan, ali se u ovom radu neće o njemu govoriti. Korišćena su dva tipa GPS prijemnika, a oba su bila povezana za **Leica AT502** antene. Jedan prijemnik je jeftini jednofrekventni uređaj **OEM Canadian Marconi Corporation** koj je primao signale sa GPS i PL i drugi klasični **Leica SR530 - GPS** prijemnik.



Slika 4



Slika 5

PL uređaji su emitovali GPS PRN kodove 12, 16 i 32 u pulsnom režimu sa 10% ciklusom. Frekvencija signala, odnos jačine šuma i signala kao i snaga signala podešeni su tako da omogućuju nesmetan prijem GPS signala. Podaci su prikupljeni oko 50 minuta pri brzini od 1Hz. Prethodno su položaj PL određeni sa GPS prijemnicima. Kao efekat primene ovakve arhitekture postignut je visok kvalitet geometrije koji se meri tzv. DOP faktorima čije su srednje vrednosti bile ispod 2. Na osnovu rezultata merenja formirana su tri jednoepohna kinematička rešenja za rover, i to: Leica GPS, Allstar GPS i GPS-PL. Na osnovu uporednih rezultata tri rešenja pokazalo se da su istočna komponenta horizontalnog položaja GPS-PL kombinacije za oko 40% bolja (3mm), severna 6%, a vertikalna oko 31% bolja (7.2mm) od onih dobijenih samo sa GPS. Najznačajnija korist koja je ostvarena kombinacijom ove vrste jeste izjednačena preciznost ocena horizontalnog i vertikalnog položaja tačaka.



Slika 6

4.5. DEFORMACIONA MERENJA TERESTRIČKIM LASERSKIM SKENERIMA

Terestrički laserski skeneri omogućuju prikupljanje 3D položaja objekta ili površi. Na osnovu prikupljenih podataka vrši se njihovo modelovanje i generisanje najverovatnije površi. Preciznost modelovane površi je veća od preciznosti ocena položaja pojedinih tačaka koja se kreće od ± 2 do ± 25 mm, u zavisnosti od modela instrumenta i procedure merenja. Navedeni pokazatelji preciznosti mogu se značajno poboljšati primenom posebnih tehnika merenja. Naime, višestruko skeniranje omogućuje povećanje tačnosti dva do tri puta (Stuart et al. 2003). Logična primena TLS najčešće se vezuje za praćenje deformacija. Jedan od tipičnih uređaja ove vrste jeste **Cyrax** skener. Prema specifikaciji proizvođača, standardno odstupanje ocena položaja pojedinačnih tačaka sa **Cyrax 2500** iznosi 0.006 m pri brzini prikupljanja podataka od 1000 tačaka po sekundi. Vidno polje uređaja iznosi $40^\circ \times 40^\circ$. Drugi tip skenera LMS-Z210 ima preciznost od 0.025 m pri brzini od 6000 tačaka u sekundi sa vidnim poljem od 80° u vertikalnoj i 340° u horizontalnoj ravni. Obrada podataka dobijenih pomoću laserskih skenera sadrži četiri koraka, i to: **presecanje i transformaciju u referentnu osnovu, manuelno izdvajanje objekta iz skupa podataka, definisanje mreže objekta i interpolacija visina kontrolnih tačaka**. Izbor i ocena položaja kontrolnih tačaka posebno je pitanje. Njihovim uključenjem u obradu podataka snimanja laserom povećava se preciznost na oko 2 mm.

5. ZAKLJUČCI

Deformaciona analiza inženjerskih struktura predstavlja veoma važan faktor u životnom ciklusu jednog objekta, od projektovanja do eksploatacije. Pod pojmom objekta može se smatrati bilo koji hidrotehnički objekat. Značajniji rezultati u razvoju ove discipline primetni su počev od sedamdesetih godina prošlog veka. Danas,

deformaciona analiza dobija svoj puni smisao i oblik i kroz sve detaljniji teorijsko-metodološki pristup. Pojavom savremenih tehnologija, proces merenja kako uzroka tako i reakcija objekata sve se više automatizuje i robotizuje. Bez integracije više disciplina nije moguće rešiti ni jedan složeniji problem. Tako, na primer, deformaciona analiza značajno eksploatiše kombinaciju tehnika razvijenih u teoriji sistema sa tehnikama koje se koriste u inženjerskom premeru, uz potpuno prisustvo statističkih procedura testiranja. Najveća očekivanja usmerena su u pravcu analiza dinamičkih sistema i to od geometrijskog opisa do iznalaženja vrlo sofisticiranih integralnih modela i tehnika za analizu događaja.

LITERATURA

- [1] Welsch, W., Heunecke, O.: Models and terminology for the analysis of geodetic monitoring observations, Official Report of the Ad-Hoc Committee of FIG Working Group 6.1, FIG Publication no. 25, 2001.
- [2] Welsch, W.: Geodetic Analysis of Dinamic Pocesses: Clasification and Terminology. 8th International FIG-Simposium on Deformation Measurements, Hong Kong, 1996.
- [3] Duff, K., Hyzak, M.: Structural Monitoring With GPS, US Department of Transportation, Federal Highway Administration, 1997.
- [4] Ašanin S.: Prilog obradi i analizi geodetskih merenja za određivanje pomeranja i deformacija objekata i tla, Doktorska disertacija, Građevinski fakultet, Beograd, 1986.
- [5] Ašanin S.: Primena geodezije u hidrotehnici, Građevinski kalendar, Beograd, 2002.
- [6] Ašanin S.: Inženjerska geodezija 1, udžbenik. AGEO, Beograd, 2003.
- [7] Božić B.: Globalni sistem pozicioniranja, Viša građevinsko-geodetska škola, Beograd, 2001.

DYNAMICAL MONITORING OF DEFORMATION STRUCTURES
IN REAL TIME

by

Prof. dr Slobodan AŠANIN, dipl.geod.inž.
Doc. dr Branko BOŽIĆ, dipl.geod.inž.
Faculty of Civil Engineering, Belgrade

Summary

Deformation of structures are results of the various processes. Measurements techniques which used today give more opportunities for good processes analyses. The importance of getting advanced techniques is in accordance with the trends in engineering surveying. GPS takes the special place in deformation analyses

today. In this article some aspects of using GPS were explained. Also, beside GPS, some measuring systems were pointed out.

Key words: Water structures, GPS, Deformation analysis

Redigovano 09.11.2004.