

Ocena pomeranja inženjerskih struktura u programskom paketu PANDA

BRANKO S. BOŽIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Građevinski fakultet, Beograd, Srbija

BRANKO Đ. MILOVANOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Građevinski fakultet, Beograd, Srbija

SANJA S. TUCIKEŠIĆ, Univerzitet u Banjoj Luci,

Arhitektonsko-građevinsko-geodetski

fakultet, Banja Luka, Bosna i Hercegovina

SLAVKO S. VASILJEVIĆ, Univerzitet u Banjoj Luci,

Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet,

Banja Luka, Bosna i Hercegovina

Stručni rad

UDC: 528.48:004.4

004.4PANDA

DOI: 10.5937/tehnika2203295B

U radu se opisuje ocena značajnosti pomeranja tačaka deformacione strukture (objekta) geodetskom metodom deformacione analize. Saglasno unapred pretpostavljenom pomeranju strukture, u dva različita plana merenja, simulirani su podaci merenja dužina u dve različite vremenske epohe. Primenom programa PANDA ocenjen je intenzitet i pravac deformacije, u obe varijante plana merenja. U okviru ocene deformacija, kroz postupak u jednom i u dva koraka, analizirane su različite strategije ocena stabilnosti. U oba slučaja postignuta je očekivana saglasnost sa unapred pretpostavljenom vrednošću dok je moć testa pokazala zavisnost od plana merenja ili kvaliteta modela.

Ključne reči: geodezija, deformaciona analiza, inženjerska struktura, PANDA

1. UVOD

Deformaciona merenja su važna za bezbednost građevinskog objekta. Stabilnost objekta se mora kontrolisati pre i u toku eksploatacije. Suštinski, deformacije se prate iz praktičnih i naučnih razloga. Praktični razlozi podrazumevaju praćenje stabilnosti strukture, ocenu stepena geoloških hazarda, otkrivanje posledica zemljotresa i sl. Posledice zanemarivanja potreba za praćenjem ponašanja struktura mogu biti katastrofalne. Više od 3000 života je izgubljeno nakon nesreće na brani Vaiont u Italiji 1963. godine. Sa druge strane, naučni razlozi uključuju istraživanja u pravcu boljeg razumevanja ponašanja objekata, testiranja novih metoda i ispitivanja projektnih rešenja koji najbolje amortizuju razne uticaje. Bez obzira da li su prirodni ili veštački, svi objekti trpe deformacije tokom vremena.

U radu se analizira problem utvrđivanja značajno-

sti pomeranja jedne deformacione strukture na osnovu simuliranih merenja dužina u dve različite vremenske epohe, a na osnovu unapred definisane vrednosti pomaka jedne tačke (ili jednog konstruktivnog elementa). Cilj analize je da se ispituju algoritmi sadržani u programskom paketu PANDA koristeći nekoliko ponuđenih rešenja sadržanih u istom. Osnovna hipoteza je bila da se na bazi projektovane mreže i adekvatnog plana merenja, sa određenom verovatnoćom može oceniti vrednost pretpostavljenog pomaka objekta ili jednog njegovog dela. Pomoćnim hipotezama će se dokazivati mogućnosti različitih postupaka i strategija ocene pomeranja sadržanih u programskom paketu.

Generalno, deformaciona merenja geodetskim metodama, bilo da se radi o inženjerskim strukturama ili pomeranjima zemljine površi (u predelu rudnika, tektonskih područja i sl.) dele se na dva osnovna tipa, i to [2]: apsolutna (izvan područja deformacija, referentne mreže), i relativna (tačke se nalaze na samoj deformacionoj strukturi). U zavisnosti od dimenzija, deformaciona merenja se mogu podeliti na: 1) lokalna, 2) regionalna, 3) kontinentalna ili 4) globalna. Deformacije zemljine kore obično su regionalnog karaktera i ispituju se razvijanjem specijalnih mreža koje se

Adresa autora: Branko Božić, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73

e-mail: bozic@grf.bg.ac.rs

Rad primljen: 04.05.2022.

Rad prihvaćen: 17.05.2022.

postavljaju duž tektonskih blokova, raseda i sl. Sa vremenskog aspekta, deformacije se dele u tri grupe [1]: 1) statičke - ocene prisustva lokalnih deformacija je jedini cilj, 2) kinematičke - pored prostornih karakteristika deformacija od važnosti su i njihovi vremenski atributi i 3) dinamičke - transformacije podataka opažanja, vremenske serije i domeni frekvencija pojava su od posebne važnosti. Međunarodna geodetska organizacija (FIG) je 1978. godine za ovu svrhu formirala *ad hoc* komitet za analizu deformacionih merenja koji je okupio najveći broj eminentnih stručnjaka iz ove oblasti. Na trećem FIG simpozijumu posvećenom deformacijama koji je održan u Budimpešti 1982. godine, Komitet je proširio svoju delatnost i od prvoformiranih pet centara za israživanje deformacija (Delft, Frederikton, Hanover, Karlsruhe i München) formirano je 16 centara, sa preko 40 najeminentnijih stručnjaka. Kao osnovni pravci istraživanja, istaknuti su sledeći: 1) ocena podataka merenja, 2) geometrijska analiza deformacija, i 3) fizička interpretacija deformacija. Razvijene su brojne metode koje se koriste za ove svrhe, a posebno treba pomenuti sledeće autore: [3], [4], [5], [6], [7] i [8] i dr. Kada je reč o relativnim odnosima, deformaciona analiza je značajno kompleksnija. Glavni problem nije samo otkrivanje pomeranja, već i modelovanje deformacija.

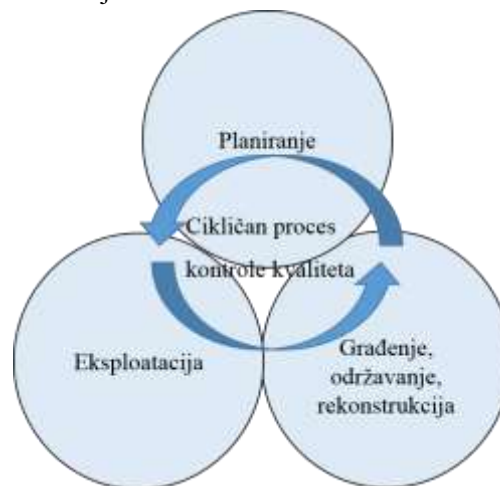
Na primeru jedne strukture i unapred definisane veličine pomeranja jedne tačke na objektu, ocenjen je pomeraj između dve epohe koristeći kao osnovu prethodno definisanu osnovnu mrežu objekta (OMO). Primenjeni model ocene je klasičan test podudarnosti, a dobijeni rezultati treba da doprinesu boljem sagledavanju značaja pažljivog dizajniranja osnovne mreže i plana opažanja i poštovanje svih strogih pravila primene odgovarajućeg matematikog modela.

2. GEODETSKA METODA ANALIZE DEFORMACIJA INŽENJERSKIH STRUKTURA

Geodetska metoda utvrđivanja pomeranja inženjerskih struktura zasniva se na ocenama značajnosti pomeranja u jednoj, dve ili trodimenzionalno, relativno u odnosu na neku stabilnu osnovu (osnovna mreža objekta ili referentna mreža) koristeći se geodetskim merenjima u različitim vremenskim epohama. Usled različitih uticaja, inženjerska struktura (objekat, deo zemljišne teritorije i sl) ili jedan njen deo menja svoj prvobitni položaj u prostoru. Vektor te razlike (displacement vector) se sastoji iz dve komponente: relativne i ne-relativne. Prva se tretira kao tzv. rigid body displacement i predstavljena je rotacijom i translacijom, a relativna je jer zavisi od mesta sa koga se objekat osmatra. Ne-relativni deo ne zavisi od položaja opažaća i predstavlja promenu oblika, odnosno deformaciju objekta ili jednog njegovog dela.

Pod uticajem raznih sila, deformaciono telo menja

svoj oblik i položaj. Promene se dešavaju postepeno ili odjednom. Određivanje i interpretacija promena su glavni zadatak deformacionog premera, a inženjerska merenja su uključena u sve faze životnog veka konstrukcije (shema 1). Deformacije u toku eksploatacije su od posebnog interesa. Osnovni zadatak deformacionih merenja i njihove analize tokom ove faze je sveobuhvatan i relevantan opis stanja objekta. Eksplicitna razlika između veštačkih i prirodnih objekata, kao što su klizišta, itd. nije važna sa aspekta same analize slučaja.



Shema 1 - Interakcija pojedinih faza izrade strukture [12]

Cilj praćenja nekog objekta jeste da se još u najranijoj fazi otkriju oštećenja koja bi mogla prouzrokovati otežano funkcionisanje ili čak uništenje objekta, kako bi se blagovremeno preduzele mere za zaustavljanje daljih posledica. Praćenje strukture samo je jedan od kamena temeljaca stabilnosti i operativne bezbednosti strukture. Temelji konstrukcije predstavljaju osnovni ili najvažniji oslonac objekta. Aktivnosti i koncepti održavanja nisu ograničeni samo normativnim i finansijskim mogućnostima, već se moraju uzeti u obzir i ostala ograničenja, kao što su: integritet objekta, materijal i procena rizika od oštećenja strukture, intezitet praćenja i tehnologija dijagnosticiranja, procena dužine eksploatacije, održavanje i remont, vanservisni period, zamena delova, itd. Koncepti održavanja struktura se sve više razvijaju i zauzimaju veliki značaj u eksploataciji objekta. U Nemačkoj, u skoroj budućnosti investicije u praćenje i održavanje objekata izjednačiće se sa ukupnim kapitalnim investicijama u izgradnju novih objekata (SFB 477-200). U tim okolnostima, tehnikama analize i sanacije mora se posvetiti dužna pažnja. Zbog svoje specifičnosti, deformaciona merenja karakterišu sledeće ključne osobine, i to: 1) visoka preciznost (do reda veličina od 1 mm), 2) ponovljivost opažanja (od nekoliko sekundi do nekoliko godina), 3) integracija različitih tipova opažanja (geodetska, fizičko-mehanička sa

upotrebom klatana, tiltometara, lasera, hidrostatičkih nivelira i sl), 4) sofisticiranost analiza obrade prikupljenih podataka, i 5) visoki nivo interdisciplinarnih znanja. Održavanje objekta uključenog u deformacioni proces zahteva modelovanje kako procesa tako i objekta. Konvencionalno gledano, geodetsko modelovanje objekta podrazumeva planiranje određenog broja mesta ili tačaka tako da one najbolje reprezentuju sam objekat i da njihovo pomeranje predstavlja ujedno i pomeranje objekta ili njegovih delova. To jednostavno podrazumeva, modelovanje geometrije objekta. Modelovanje procesa deformacija podrazumeva da se periodično, u određenim vremenskim intervalima, osmatraju karakteristične tačke kako bi se pratilo pomeranje i eventualno otkrili uzroci pomeranja, što ujedno podrazumeva modelovanje vremenskog aspekta procesa.

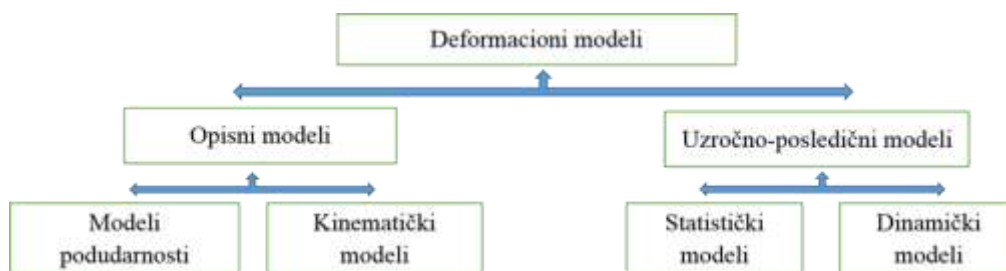
Modelovanje i praćenje deformacija objekta u prostoru i vremenu tradicionalno se smatra geodetskim zadatkom (Shema 2).

Sa aspekta prostornovremenske analize, modelovanje obuhvata dve klase modela. Prvi, kojima se testira kongruentnost (podudarnost, jednakost i sl) geometrijskih osobina objekta na dve ili više tačaka u više vremenskih epoha i takvi se modeli i nazivaju modeli podudarnosti ili modeli kongruencije i kod njih je vremenski period između osmatranja jedini parametar i ne ulazi se u ocenjivanje značajnosti pojedinačnih uzročnika.

Sa druge strane, modeli koji deformacije opisuju na bazi dopunskih informacija o brzini, ubrzanju i drugim sličnim vremenskim karakteristikama uticaja, nazivaju se kinematičkim modelima.

Tabela 1. Geodetsko modelovanje deformacija u prostoru i vremenu

	Realan objekat	Model objekta
Geometrija objekta	Objekat je kompaktna celina	Objekat se opisati karakterističnim tačkama
Vremenska komponenta	Objekat se (manje ili više) pomera	Objekat se osmatra i određenim vremenskim intervalima



Shema 2 - Hijerarhija modela deformacione analize geodetskim metodama [11]

3. PROGRAM ZA DEFORMACIONU ANALIZU GEODETSKIH MERENJA - PANDA

U postupku deformacione analize vrednosti prostornih pomeranja prostornih elemenata u okviru programskog paketa PANDA koristi se program DEFANA, [9]. DEFANA sprovodi postupak analize na osnovu dva skupa podataka geodetskih merenja u okviru geodetske mreže u dve različite vremenske epohe. Program uzima u obzir kofaktorsku matricu, ukoliko je poznata, čime se postiže uvažavanje strogih principa. U protivnom, program realizuje tzv. približnu analizu deformacija, koja ipak nije preporučljiva tamo gde se očekuje visok nivo preciznosti i pouzdanosti dobijenih ocena pomeranja.

Program nudi dve opcije analize, u jednom ili u dva koraka. U analizi, se koristi globalni test podudarnosti (global congruency test) kojim se testira značajnost pomeranja cele mreže ili dela mreže. Proces započinje sa referentnim tačkama koristeći tzv. backward

strategiju kojom se identifikuje značajnost pomeranja svake referentne tačke (pojedinačno isključivanje pojedinih tačaka). Nakon toga, primenjuje se tzv. forward strategija koja podrazumeva sukcesivno dodavanje grupi stabilnih tačaka pojedinačno ostale tačke (tačke objekta ili dela geodetske mreže koji u prvoj fazi nije ušao u grupu stabilnih tačaka) i njihovo testiranje na značajnost pomeranja, pri čemu stabilne tačke definišu osnovu za ocenu značajnosti pomeranja.

U sklopu analize u dva koraka (two-step analysis – absolute model), test značajnosti pomeranja se primenjuje na svaku pojedinačnu tačku na objektu kao i na sve tačke referentne mreže, a za koje se pretpostavlja da su značajno pomerene. Drugim rečima, model u dva koraka podrazumeva testiranje značajnosti pojedinih tačaka u odnosu na prethodno definisanu stabilnu referentnu osnovu (backward strategija za sve referentne tačke i forward strategija za referentne tačke procenjene kao nestabilne).

3.1. Model izravnjanja merenja

Merenja dve epohe kombinuju se u jedinstven sistem uz zadovoljenje sledećih uslova: 1) koordinate obe epohe moraju biti u istom pravouglom koordinatnom sistemu budući da je S transformacija definisana za takav tip sistema, 2) u svakoj epohi mreža mora biti izravnata kao slobodna, 3) obe epohe moraju imati isti defekt datuma jer se S transformacija jedino tada može primeniti, 4) približne vrednosti koordinata u obe epohe moraju biti identične (izbor datumskih tačaka je irelevantan i važno je da je identičan u obe epohe), 5) standardna odtupanja jedinice težine za svaku epohu moraju biti statistički jednaka (ukoliko se ispostavi da nakon izravnjanja to nije slučaj, tada se koriste rezultati ocene komponenti disperzija merenja i vrši se korekcija težina pojedinih vrsta merenih veličina (*weighting of the groups*)). Do postizanja navedenog uslova stroga analiza deformacija nije moguća.

3.2. Linearna test hipoteza

U jedinstvenom izravnjanju dve epohe u cilju testiranja saglasnosti modela, mogu se formulirati različite hipoteze, koje se definišu kao linearne funkcije nepoznatih parametara, tj. $H_0: B \times x = \omega$. Hipoteza predstavlja sistem (B) uslova (ω) koje treba da zadovolje nepoznati parametri (x). Osnovu nulte hipoteze čine kvadratne forme Ω_h i Ω , prva predstavlja sumu kvadrata popravaka pod zadatim uslovima, a druga bez zadatih uslova. Kvadratne forme $R = \Omega - \Omega_h$ i Ω su stohastički nezavisne i ponašaju se po pravilima χ^2 raspodele tako da test veličina T kojom se testira nulta hipoteza glasi, [13]:

$$T = \frac{\frac{R}{f_h}}{\frac{\Omega}{f}} = \frac{R}{s_0^2 \times f_h} \quad (1)$$

gde je f_h broj uslova, a f broj stepeni slobode iz izravnjanja. Statistika $T \sim F_{f_h, f, h}$ sa parametrom nezavisnosti λ_h sledi centralnu Fišereovu raspodelu pri nivou značajnosti $1-\alpha$, samo ukoliko važi nulta hipoteza, tj. ako je $T < F_{f_h, f, h}$. U protivnom, odbacuje se nulta hipoteza, što znači da je razlika značajna ili prihvata se alternativna hipoteza sa nivoom značajnosti $1-\beta$, gde je β moć testa koja se određuje kao funkcija vrednosti α i λ .

3.3. Analiza pomeranja

Usled grešaka merenja, izravnate koordinate dve epohe x_i i x_j izvesno se razlikuju (saglasno tačnosti merenja) čak iako nije bilo njihovog relativnog pomeranja. Drugim rečima, izvesna pomeranja u granicama tačnosti merenja se ne mogu tretirati kao pomeranost objekta. S tim u vezi, u postupku ocene značajnosti pomeranja, moraju se uzeti u obzir stohastička svojstva ocenjenih parametara modela (1D, 2D ili 3D koordinata) pri čemu program DEFANA nudi

opciju ocene značajnosti pomeranja pojedinačnih tačaka, dakle ne bloka tačaka niti parametara naprežanja (strain parameters). U suštini, program koristi strogi metod, poznat kao test globalne podudarnosti koji podrazumeva testiranje značajnosti pomeranja svih tačaka ili dela tačaka u mreži. Prilikom testiranja u jednom koraku (one stage), program razlikuje referentne tačke i tačke na objektu. Budući da su razlike koordinata datumski zavisne neophodno je koordinate obe epohe transformisati u jedinstven datim referentnih tačaka (datumске tačke). Tačke referentne mreže, ukoliko su prethodnom analizom ocenjene kao nestabilne (backward strategija), isključuju se iz skupa referentnih tačaka i tretiraju se kao i tačke objekta posmatranja (inženjerskog objekta). Nakon identifikovanja grupe stabilnih tačaka referentne mreže započinje postupak pridodavanja jedne po jedne tačke objekta, po redosledu najmenjeg relativnog inteziteta pomeranja između dve epohe. Tako proširen skup tačaka se testira na stabilnost sve do identifikovanja tačke čije je relativno odstupanje značajno i za koju se ne može pretpostaviti da pripada skupu stabilnih tačaka (forward strategija). U okviru dvostepene (two stage) analize, određene identične tačke se unapred proglašavaju stabilnim, odnosno referentnim. U startu, u skupu referentnih tačaka backward i forward procedurom se izdvaja skup stabilnih tačaka nakon čega se sve ostale tačke transformišu u datum stabilnih referentnih tačaka u odnosu na koje se ocenjuju vektori pomeranja tačaka na objektu kao i preostalih tačaka referentne mreže koje nisu ušle u skup stabilnih tačaka.

3.3.1. Globalni test podudarnosti

Globalni test podudarnosti se zasniva na testiranju značajnosti pomeranja ocena položaja identičnih tačaka u dve različite vremenske epohe, x_i i x_j . Nulta hipoteza glasi

$$H_0: E(x_i) = x_j \quad (2)$$

dok je alternativna hipoteza oblika

$$H_a: E(x_i) \neq x_j \quad (3)$$

tj. najmanje jedna tačka je značajno pomerena.

Test statistika glasi:

$$T = \frac{(x_i - x_j)^T (Q_{x_i} + Q_{x_j})^+ (x_i - x_j)}{s_0^2 \times h} \quad (4)$$

gde su x_i i x_j vektori ocena koordinata u epohama i i j , Q_{x_i} , Q_{x_j} su kofaktorse matrice ocena koordinata u epohama i i j , a h je rang matrice $(Q_{x_i} + Q_{x_j})^+$.

3.3.2. Lokalizacija pomerenih tačaka

Ukoliko globalni test podudarnosti ukaže na značajnost razlika skupa tačaka, u sledećem koraku se obavlja lokalizacija ili identifikacija nestabilnih

tačaka. Program DEFANA prilikom identifikacije nestabilnih tačaka polazi od sledeće jednakosti:

$$R_i = d_i^T (Q_{dd})_i^{-1} d_i \quad (5)$$

gde su d_i^T vektor pomeraja i -te tačke, a Q_{dd} kofaktorska matrica ocena pomeraja. U programu se pomoću S transformacije vrši tzv. datumska transformacija u odnosu na skup stabilnih tačaka. Za svaku potencijalno pomerenu tačku primenjuje se globalni test podudarnosti, sve dok se ne utvrdi da u preostalom skupu nema nestabilnih tačaka.

Izdvajanjem skupa nestabilnih tačaka, preostali skup tačaka se smatra stabilnim i služi kao osnova za pozicioniranje nestabilnih tačaka objekta. Za svaku tačku na objektu, relativna pomeranost se računa kao:

$$K_r = \frac{K_i}{S_k} \quad (6)$$

gde su: K_i pomeranost tačke i , dok je S_k standardno odstupanje vrednosti pomeranja. Tačka sa najmanjom relativnom pomeranošću se tretira kao stabilna i pridružuje se skupu referentnih tačaka. Nakon toga, realizuje se nova S datumska transformacija transformacija i novi globalni test modela. Ukoliko test odbaci pretpostavku o značajnosti pomeranja, pretraga ostalih tačaka objekta se nastavlja, a tačka se uključuje u

grupu datumskih tačaka. Ukoliko test ukaže na značajnost pomeranja, test se završava i poslednje testirana tačka se izbacuje iz skupa datumskih tačaka.

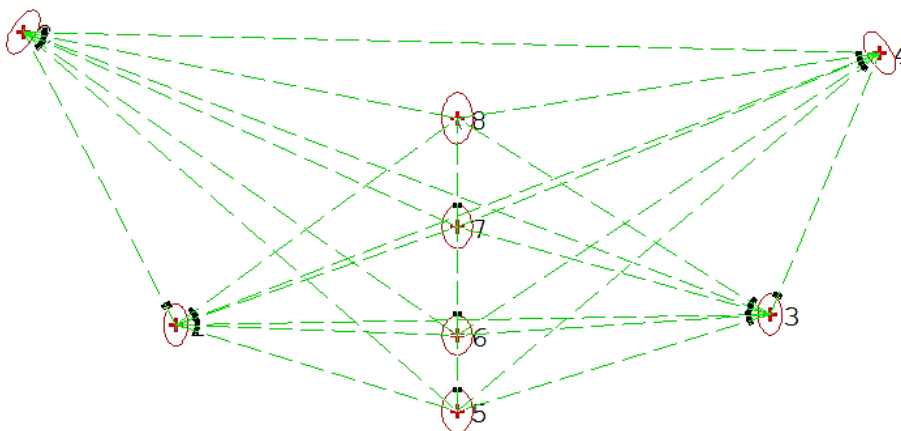
U postupku analize u dva koraka ukoliko u grupi referentnih tačaka nema više značajno pomerenih tačaka, nad preostalim značajno pomerenim tačkama realizuje se pojedinačni test značajnosti pomeranja. Test veličina T računa se kao

$$T = \frac{d_j^T Q_{dd}^{-1} d_j}{2s_0^2} \quad (7)$$

gde su d_j pomeranost tačke P_j , a Q_{dd} je submatrica od tačke P_j . Ukoliko je test veličina veća od kritične vrednosti F raspodele, tačka se tretira kao značajno pomerenata.

4. OBJEKAT OSMATRANJA I ANALIZA DEFORMACIJA

Za objekat osmatranja odabran je niz od četiri kolinearne tačke koje reprezentuju osovinu nekog budućeg inženjerskog objekta za koji se pretpostavlja da konstruktivni elementi, odnosno njihove osovine, moraju biti na pravci i da svako značajno odstupanje može prouzrokovati štetne posledice po objekat i uticati na bezbednost okoline (Shema 3).

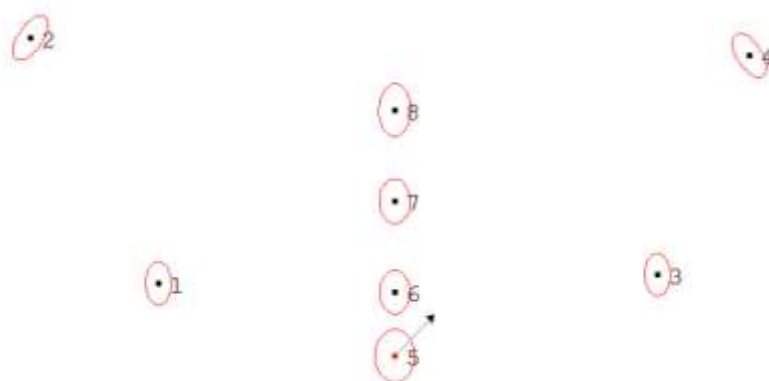


Shema 3 - Položaj tačaka OMO i tačaka na objektu

Dužina objekta je reda veličine oko 250 m, dok je rastojanje između karakterističnih tačaka između 70 m i 100 m. Za potrebe eksperimenta razvijena je referentna ili osnovna mreža objekta (OMO) koju čine tačke (stubovi) od 1 do 4. Rastojanja od tačaka OMO do objekta su od 260 m do 800 m. Merenja su simulirana u dve epohe sa istim standardom merenja od 2 mm + 2 mm x D_{km} i generisanim standardizovanim slučajnim veličinama uz pretpostavku o normalnosti njihove raspodele.

Analizirana su dva različita plana merenja. Prvi, sa merenjima dužina od OMO ka svim tačkama i između tačaka na objektu (varijanta 1) i drugi, isto kao varijanta 1, ali bez merenja između tačaka na objektu

(varijanta 2). Rezultati analize su pokazali važnost merenja između tačaka objekta, što je ključno doprinelo u oceni značajnosti veličine pomeranja tačke 5 (shema 4, tabela 3), a što se u slučaju varijante 2, nije moglo statistički potvrditi. Na osnovu svega, preporučuje se da kada je to god moguće, merenja treba izvršiti i između tačaka na objektu ili plan merenja dopuniti sa pravcima kako bi se povećala preciznost ocena koordinata i time stvorili bolji uslovi za donošenje odluke o značajnosti pomeranja. Tabele 2 i 4 jasno ukazuju na efekte uticaja merenja između tačaka na objektu na ocene stabilnosti položaja tačaka, a što je u ovom slučaju presudno uticalo na kvalitet zaključka o značajnosti pomeranja.



Shema 4 - Apsolutne elipse grešaka ocena položaja tačaka i pravac i intenzitet pomeranja tačke 5 na objektu

Tabela 2. Vrednosti ocena pomeranja stabilnih tačaka (varijanta 1)

Tačka	dx (mm)	dy(mm)	Ukupan pomak (mm)
1	-0.04	0.04	0.06
2	0.05	-0.03	0.06
3	0.02	0.02	0.03
4	-0.03	-0.02	0.04
6	-0.01	0.00	0.01
7	0.00	-0.01	0.01
8	0.00	-0.01	0.01

Tabela 3. Vrednost ocene pomeranja nestabilne tačke (varijanta 1)

Tačka	dx (mm)	dy(mm)	Ukupan pomak (mm)
5	9.97	9.61	13.85

U varijanti bez merenja između tačaka na objektu (varijanta 2) iako je pomeranost evidentna, test statistika pri zadatoj verovatnoći (0.05 nivo rizika), nije bila značajna. Konačan zaključak o proceni posledica, ostavljen je projektantu da zajedno sa timom stručnjaka utvrdi da li je potrebno nešto preduzeti.

Tabela 4. Vrednosti ocena pomeranja stabilnih tačaka (varijanta 2)

Tačka	dx (mm)	dy(mm)	Ukupan pomak (mm)
1	-0.56	-1.40	1.51
2	-0.10	-0.74	0.74
3	-2.02	-1.40	2.46
4	-2.35	-0.78	2.48
5	8.70	7.94	11.78
6	-1.23	-1.47	1.92
7	-1.21	-1.21	1.71
8	-1.23	-0.94	1.55

5. ZAKLJUČAK

U projektu osmatranja inženjerskog objekta geodetskim metodama simulirana su merenja u dve epohe. U prvoj varijanti pored merenja dužina između OMO i tačaka na objektu, realizovana su, za razliku od varijante 2, i merenja dužina između četiri tačke objekta. Prilikom simuliranja merenja, u obe varijante, pretpostavljena je vrednost pomeranja tačke 5 za 1 cm, po obe ose. Obrada merenja i analiza deformacija izvedena je u programskom paketu PANDA, po obe varijante merenja.

Rezultati obrade su pokazali značajnost merenja između tačaka na objektu na ukupnu ocenu značajnosti pomeranja tačke 5, po obe strategije analize (jedan i dva koraka). Iako je ocenjena vrednost pomeranja tačke 5 u varijanti 2 po obe ose oko 8 mm (ukupno 11.8 mm), test značajnosti nije isključio navedenu tačku iz grupe stabilnih tačaka, a što će svakako biti poseban predmet razmatranja naručilaca radova.

Takođe, od značaja je svakako plan merenja i projektovanje adekvatne geometrije mreže kao i izbor instrumenata kojim će se unapred osigurati kvalitet donetih zaključaka u vezi stabilnosti strukture, a što je sastavni glavnog projekta geodetskog osmatranja.

6. ZAHVALNOST

Ovaj rad je deo projekta tehnološkog razvoja br. TR36009: „Primena GNSS i LIDAR tehnologije za nadzor infrastrukturnih objekata i stabilnosti terena“ koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Welsch W. *Gegenwartiger Stand der Geodatischen Analyse und Interpretation Geometrischer Deformation*. AVN 2, pp. 41-51, 1981.
- [2] Chrzanowski A. (with contributions -by the members of the FIG "ad hoc" committee). A comparison of

- different approaches into the analysis of deformation measurements. Proceedings of FIG XVI International Congress, Montreux, Paper No. 602.3, August 9-18, 1981.
- [3] Lazzarini T. *Determination of displacements and deformation of structures and their environment by geodetic means*. In: unpublished lecture notes, "Engineering Surveys", Ed. A. Chrzanowski, Dept. of Surveying Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, N.B., Canada, 1977.
- [4] Polak, M. Examination of the stability of reference points in distance and combined angle-distance networks. Proceedings of the 2nd International Symposium on Deformation Measurements by Geodetic methods, Bonn, West Germany, September 25-28, Konrad Wittwer, Stuttgart, 1978.
- [5] Pelzer H. Neuere Ergebnisse bei der statistischen Analyse von Deformationsmessungen. Proceedings of 14th FIG Congress, Washington, D.C., Paper 608-3, 1974.
- [6] Heck B. Der Einfluss einzelner Beobachtungen auf das Ergebnis einer Ausleichung und die Suche nach Ausreißern in den Beobachtungen. AVN 1, pp. 17-34, 1981.
- [7] Van Mierlo J. A testing procedure for analysing geodetic deformation measurements. Proceedings of the 2nd International Symposium on Deformation Measurements by Geodetic Methods, Bonn, West Germany, Sept. 25-28, Konrad Wittwer, Stuttgart, 1978.
- [8] Niemeier W. Statistical tests for detecting movements in repeatedly measured geodetic networks. *Tectonophysics*, 71, pp. 335-351, 1981.
- [9] Niemeier W., Tengen D. PANDA - *The Software Package for Precise Engineering Networks*. Second Accelerator Workshop - DESY, Hamburg, 1990.
- [11] Welsch W, O. Heunecke Terminology and Classification of Deformation Models. *9th International FIG-Symposium on Deformation Measurements*, Olsztyn, Proceedings, pp. 416-429, 1999
- [12] Heunecke O, & Welsch, W. M. *Terminology and Classification of Deformation Models in Engineering Surveys*, 2001.
- [13] Koch, Karl-Rudolf, *Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear Models*, Springer-Verlag, 1976,

SUMMARY

ASSESSMENT THE MOVEMENT OF THE ENGINEERING STRUCTURES WITHIN PANDA SOFTWARE PACKAGE

The paper describes the assessment of the significance of the displacement of the points of the deformation structure (object) by the geodetic method of deformation analysis using the PANDA software package. According to the pre-assumed displacement and the measurement plan, the data of length measurements in two different time epochs were simulated. and the intensity and direction of deformation were assessed using the PANDA program. Within the deformation assessment, different assessment strategies were analyzed, through a one - and two - step procedure. In both cases, the expected agreement of the displacement estimate with the pre-assumed value was reached.

Key Words: *Geodesy, Deformation analysis, Engineering facility, PANDA*