

Merenje nagiba kod gravitacionih betonskih brana primenom instrumenta tiltmetar

SLOBODAN D. RADOVANOVIĆ, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd,
Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd

Stručni rad
UDC: 627.824.7

LJILJANA M. BRAJOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,
Građevinski fakultet, Beograd

MAJA L. PAVIĆ, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ Beograd

SRĐAN S. ĐURIC, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ Beograd

SANJA D. RANDELOVIĆ, HE „Đerdap 2“, Negotin

VLADIMIR J. MILIVOJEVIĆ, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd

U ovom radu prikazuje se način merenja nagiba kod gravitacionih betonskih brana primenom instrumenta tiltmetar, teorijski i preko opisa praktičnih merenja na brani „Đerdap 2“. U prvom delu se objašnjava princip na kojem radi instrument tiltmetar i način na koji se vrši merenje nagiba primenom ovog instrumenta. Uticaj temperature na merenje nagiba je posebno razmatran kroz uvođenje temperaturske korekcije. U drugom delu se prikazuje obrada rezultata realnih merenja nagiba na jednom od instrumenata na brani „Đerdap 2“ sa i bez temperaturske korekcije. U trećem delu se prikazuje statistička obrada podataka merenja, u okviru koje se vrši regresiona analiza rezultata merenja i formiraju odgovarajuće serije sa očekivanim vrednostima merenja u zavisnosti od spoljašnjih uslova. Na kraju daje se sumarni zaključak o instrumentu, uticaju temperature na merenje i statistički model.

Ključne reči: tiltmetar, merenje, frekvencija, nagib, temperatura, statistika

1. UVOD

Pretvarači na principu strune u osnovi predstavljaju tanku zategnutu žicu, čija se učestanost sopstvenih oscilacija menja u zavisnosti od sile zatezanja, odnosno od deformacije žice. Struna pretvarači spadaju u frekvencijske pretvarače kod kojih se neelektrična veličina direktno pretvara u učestanost slobodnih oscilacija žice što se registruje pomoću frekvencometra ili tajmera. Osnovna rezonantna učestanost žice koja osciluje kao polutaladni rezonator data je sledećim izrazom:

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}} \quad (1)$$

gde je l dužina žice, ρ gustina materijala, a σ normalni napon koji izaziva sila zatezanja F . Koristeći Hukov zakon gornji izraz se može napisati u obliku:

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{\Delta l E_y}{l \rho}} \quad (2)$$

Adresa autora: Slobodan Radovanović, Građevinski fakultet, Beograd, Bulevar Kralja Aleksandra 73

Rad primljen: 02.02.2015.

Rad prihvaćen: 30.03.2015.

Dakle, mereći učestanost slobodnih oscilacija žice meri se sila F odnosno izduženje kraja žice Δl .

Merenje pomeranja, nagiba odnosno deformacija, pomoću struna pretvarača ostvaruje se na dva načina: pojedinačnim okidanjem (pobuđivanjem) žice ili uz pomoć oscilatora koji osciluje na učestanosti jednako rezonantnoj učestanosti žice.

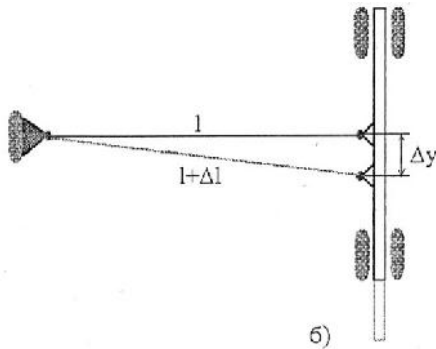
Tipični pretvarači imaju dužinu žice 15 cm, debljinu 0,15 mm do 0,35 mm i opseg nominalne rezonantne učestanosti od oko 500 Hz do 1000 Hz.

Kao indikatorski instrumenti koriste se ili merači periode oscilacija-tajmeri ili digitalni frekvencometri. Zbog relativno niskih rezonantnih učestanosti žice, bolja preciznost se može ostvariti primenom merača periode – tajmera [1].

Na slici 1 prikazan je jedan tip pretvarača na principu strune pomoću kojeg se meri nagib na konstrukcijama.

Pokretni kraj žice je spojen za šipku koja se kreće upravno u odnosu na žicu. Pri pomeranju Δy , izduženje žice iznosi:

$$\Delta l = \sqrt{l^2 + \Delta y^2} - l \quad (3)$$



Slika 1- Principijelna šema struna pretvarača za merenje nagiba

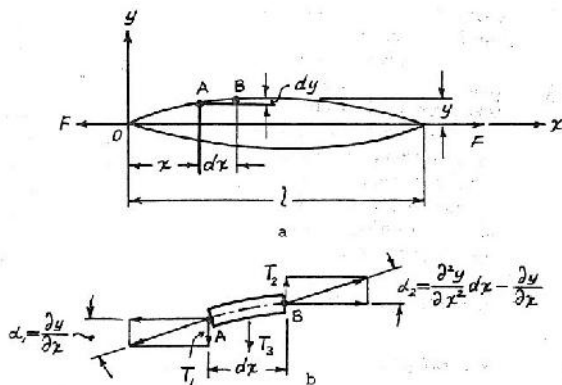
Mala promena ugla između nekog referentnog i trenutnog stanja jednaka je:

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta y}{l} \quad (4)$$

Na osnovu izraza (2) i (4) zaključuje se da je promena ugla srazmerna kvadratu frekvencije oscilovanja žice [1].

2. ODREĐIVANJE FREKVENCije OSCILOVANJA ZATEGNETE ŽICE

Rad struna pretvarača zasniva se na tome da je frekvencija oscilovanja žice srazmerna aksijalnoj sili koja se javlja u žici. U sledećem tekstu biće date jednačine koje opisuju dato tvrđenje. Pretpostavlja se da žica nema krutost na savijanje i da slobodno osciluje transversalno u y-pravcu. Sila zatezanja F u žici ostaje konstantna za vreme vibracija u x-y ravni. U nekom trenutku vremena struna se nalazi u položaju kao što je prikazano na slici 2a.



Slika 2 - Poprečna vibracija zategnute žice (a) sa uslovom ravnoteže sila na elementarnoj dužini (b)

Inkrement AB dužine dx ima u tačkama A i B nagibe α_1 i α_2 , čiji je red veličine veoma mali, tj. za koje se može primeniti aproksimacija za male uglove (jer je pomeranje u y-pravcu malo) i koji se definišu na sledeći način:

$$\sin\alpha_1 = \tan\alpha_1 = \partial y / \partial x \quad (5)$$

$$\sin\alpha_2 = \tan\alpha_2 = \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} dx \quad (6)$$

Vertikalne komponente sile zatezanja F u tačkama A i B su T_1 i T_2 respektivno:

$$T_1 = -F \sin\alpha_1 = -F \frac{\partial y}{\partial x} \quad (7)$$

$$T_2 = F \sin\alpha_2 = F \left(\frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} dx \right) \quad (8)$$

Sila inercije kao posledica kretanja elementa strune prikazuje se sledećim izrazom:

$$T_3 = -dm \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -\frac{m}{l} dx \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (9)$$

gde je:

dm – masa elementa strune dužine dx

m – masa strune u kg

l – dužina strune u metrima

Jednačina ravnoteže sila se može napisati primenjujući D'Alembert-ov princip, gde važi da je suma spoljnih sila i sila inercije jednaka nuli:

$$T_1 + T_2 + T_3 = 0 \quad (10)$$

odakle se dobija sledeći izraz:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = F \frac{l}{m} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (11)$$

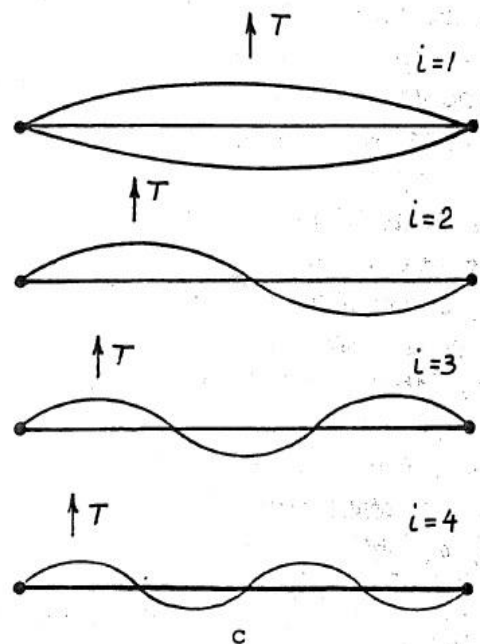
Rešenje date diferencijalne jednačine, za slučaj sinusne pobude, može da se prikaže u sledećem obliku:

$$y = \left(A_1 \sin \frac{i\pi x}{l} \right) (B_1 \sin \omega_i t + B_2 \cos \omega_i t) \quad (12)$$

gde su:

A_1, B_1 i B_2 konstante koje zavise od početnih uslova.

ω_i – kružna frekvencija oscilovanja



Slika 3 - Modovi vibracija žice

Za slučaj kada su krajevi strune fiksirani, oblik krive je opisan funkcijom: (u $t=0$ $u=0$, pa je $B_1=0$, a $B_2=1$)

$$y = y_p \sin \frac{i\pi x}{l} \quad (13)$$

gde je: y_p najveća vrednost pomeranja sinusne krive oscilovanja (amplituda)

U ovom slučaju:

$$y = y_p \sin \frac{i\pi x}{l} \cos \omega_i t \quad (14)$$

Izraz koji povezuje frekvenciju i silu dat je u sledećem obliku:

$$\omega_i = \pi i \sqrt{\frac{F}{ml}} \quad (15)$$

gde je i redni broj talasa oscilovanja ($i = 1, 2, 3, \dots \infty$). Poslednji izraz se može napisati preko frekvencije oscilovanja $f_i [Hz]$, napona σ i gustine ρ .

$$f = \frac{i}{2l} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}} \quad (16)$$

Ako je $i = 1$, oscilacije su u osnovnom tonu, a odgovarajućoj frekvenciji odgovara prvi harmonik. Frekvencije za veće vrednosti i su viši tonovi ili veće frekvencije. Teoretski, ima beskonačan broj vrednosti i , i otuda, beskonačan broj talasa i sopstvenih frekvencija mogu biti pobuđeni. Granični uslovi žice i lokacija pobude određuju oblik oscilovanja. Pobuđeni element ima trbuhe koji su mesta sa maksimalnim pomeranjima. Na primer, ako je žica pobuđena u srednjoj tački, biće pobuđeni neparni harmonici, ali neće biti parnih harmonika, jer oni imaju čvorove u među tačkama [2].

Vibracije žice se preko elektromagnetnog sistema prevode u električni signal, na osnovu koga se dobija frekvencija oscilovanja žice, a time i odgovarajuće pomeranje ili nagib [2].

3. EKSPERIMENTALNI DEO

3.1. Opis korišćenog instrumenta

Tiltmetar ili drugačije teleklinometar je senzor koji služi za merenje promene nagiba kod konstrukcija kao što su brane, nasipi, zidovi za fundiranje i slično. Tiltmetar je senzor koji radi na principu vibrirajuće žice. Spada u grupu elektroakustičnih mernih sistema [3].

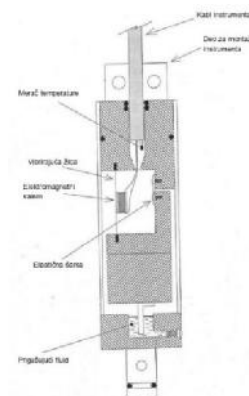
U ovom odeljku opisano je kako se tiltmetar postavlja na konstrukciju i data je šema i slika instrumenta sa opisom pojedinih delova.

Prvo se instalira konzolni nosač na zid objekta na kojem će se vršiti merenje nagiba. Izbuše se odgovarajuće rupe, ubace se ankeri i pričvrsti se nosač za tiltmetre. Nakon toga se pričvrste tiltmetri za konzolni nosač pomoću zavrtnjeva, šajbni ili navrtki. Sledeći

korak je da se tiltmetri povežu sa prenosnom stanicom i osmatra čitanje. Položaj senzora treba podesiti dok se ne dobije čitanje ± 50 jedinica u odnosu na nulto čitanje odgovarajućeg senzora iz kalibracionog lista. Kada se dobije željeno čitanje, šrafove treba zavrnuti i fiksirati senzor u dobijenom položaju. Postavljaju se dva senzora koja treba da mere nagibe u dva ortogonalna pravca. Ako se radi o brani meri se nagib u pravcu uzvodno-nizvodno i u pravcu poprečno na rečni tok [3].

Kada se koristi u okruženju bez vibracija, senzor tiltmetra radi kao samoprigušujući sistem. Ako spoljašnje vibracije tla ili konstrukcije pređu određeni nivo, klatno „viska“ će nastaviti da osciluje i neće biti moguće dobiti stabilna čitanja. U takvim slučajevima, dodatno prigušenje se postiže dodavanjem viskozno amortizacionog fluida u mali rezervoar koji se nalazi u senzoru. Većina fiksnih tiltmetarskih instalacija ne zahteva ovaj fluid. Međutim, ako instrument daje nestabilan izlaz ili je poznato da konstrukcija konstantno vibrira, može se dodati fluid [3].

Na slici 4 dat je šematski prikaz kroz tiltmetar po osovini. Na slici je prikazano metalno kućište u kome se nalaze okačena masa, vibrirajuća žica, prigušujući fluid, elektromagnetno jezgro, kabl za prijem podataka merenja, elastična pločica. O nepomično kućište koje je prikačeno za konzolni nosač, okačena je preko elastične pločice masa. Vibrirajuća žica je uklještena u nepomično kućište i okačenu masu. Kada dođe do promene nagiba na objektu okačena masa počinje da se pomera, što izaziva istezanje žice koje se manifestuje promenom sopstvene frekvence oscilovanja žice. Promena oscilovanja žice se registruje pomoću elektromagnetnog kalema koji je povezan sa prenosnim kablom koji dalje informaciju o promeni frekvencije prenosi do prijemnika informacije [4].



Slika 4 - Šematski prikaz kroz osovinu tiltmetra

U ovom poglavlju dat je prikaz rezultata merenja promene nagiba na jednoj od lamela na brani „Đerdap 2“, pomoću instrumenta sa oznakom Clt-EK4r koji je ugrađen na delu brane gde se nalazi elektrana. Instrument je ugrađen 8. oktobra 2010. Nulto merenje je

usvojeno od 9. septembra 2011. Ovaj instrument meri promenu nagiba u pravcu nizvodno-uzvodno. Pozitivna orijentacija je usvojena ka nizvodno. Prema kalibracionom listu [4] dat je izraz za sračunavanje promene nagiba na osnovu izmerene frekvencije slobodnih oscilacija žice.

$$\Delta\alpha = G(R_i - R_0) \quad (17)$$

gde su:

G – kalibracioni faktor

$R_i = \frac{f_i^2}{1000}$ – tekuće čitanje na instrumentu

f_i – frekvencija oscilovanja žice u trenutku očitavanja

$R_0 = \frac{f_0^2}{1000}$ – nulto očitavanje na instrumentu

f_0 – frekvencija oscilovanja žice pri nultom čitanju.

$\Delta\alpha$ – promena nagiba između nultog i i -tog čitanja instrumenta u stepenima.

Na vrednost promene nagiba uticaj može imati i promena temperature koja se meri na mestu instrumenta. Temperaturski uticaj se uzima preko temperaturske korekcije koja je data sledećim izrazom:

$$\Delta\alpha_t = K(T_i - T_0) \quad (18)$$

gde su:

$K = 0,5G$ – kalibracioni faktor

T_i – tekuće čitanje temperature na instrumentu

T_0 – nulto očitavanje temperature na instrumentu

$\Delta\alpha_t$ – promena nagiba kao posledica promene temperature.

Prema kalibracionom listu [4] vrednosti konstanti pri nultom očitavanju su:

$$f_0 = 2711 \text{ Hz}$$

$$T_0 = 29,06^\circ\text{C}$$

$$G = 0,002450$$

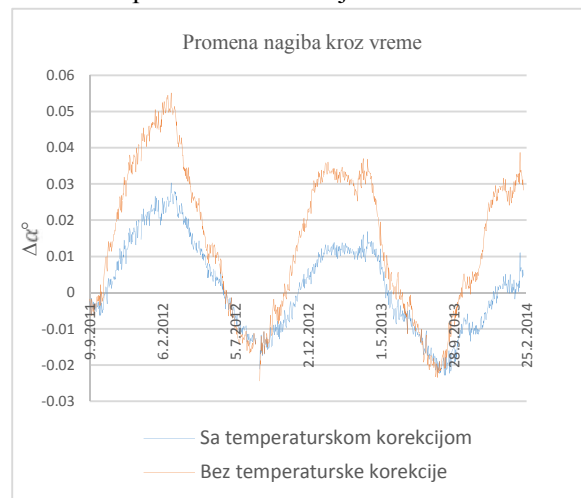
$$K = 0,001225$$

Procenjena tačnost instrumenta iznosi 0,02% od opsega merenja. U ovom slučaju posmatra se opseg od $-2,5^\circ$ do $+2,5^\circ$. To znači da je procenjena tačnost merenja $\pm 0,001^\circ$.

3.2. Prikaz rezultata merenja

Na dijagramu 1 su prikazani rezultati merenja na tiltmetru Clt-EK4r u periodu od 9. septembra 2011. do 18. februara 2014. Instrument beleži frekvenciju oscilovanja na svaki sat vremena i prikuplja podatke pomoću data logger-a u jedinstvenu bazu podataka. Podaci očitavanja se usrednjavaju na dnevnom nivou. Na instrumentu tiltmetru postoji ugrađen termistor koji meri temperaturu na svaki sat. Temperatura se kao i frekvencija usrednjava na dnevnom nivou [5]. Na osnovu frekvencije i temperature izmerenih pomoću instrumenta, sračunava se nagib na posmatranoj lameli brane.

Na sledećem dijagramu prikazana je promena nagiba na datoj lameli brane u toku vremena osmatranja sa i bez temperaturske korekcije.



Dijagram 1 - Promena nagiba na lameli brane u toku vremena sa i bez temperaturske korekcije

Na dijagramu 1 su prikazane dve linije, jedna predstavlja promenu nagiba bez temperaturske korekcije, a druga predstavlja promenu nagiba sa temperaturskom korekcijom u skladu sa prethodno opisanom metodologijom.

Sa dijagrama 1 se vidi da postoji veliki uticaj temperaturske korekcije na rezultate promene nagiba na datoj lameli brane. Temperatura pri nultom merenju je $29,06^\circ\text{C}$. To znači da se pri nižim temperaturama na instrumentu dobijaju veće temperaturske korekcije. Najveća temperaturska korekcija nagiba od $0,0304^\circ$ se dobija u februaru 2014 kada je na instrumentu izmerena temperatura $4,25^\circ\text{C}$. Odstupanja u letnjem periodu su manja.

3.3. Statistička obrada podataka

U narednom tekstu prikazana je statistička obrada rezultata merenja. Statistički modeli predstavljaju funkcionalne veze, dobijene metodama statističke analize, između nekih uzročnih veličina i osmatranih, tj. merenih veličina kao posledičnih. Ovakvi modeli se u principu mogu formirati za najrazličitije vrste pojava za koje postoji dovoljan skup podataka. Glavne osobine statističkih modela koje ih čine podesnim za upotrebu prilikom osmatranja brana jesu: relativno jednostavno korišćenje, ne zahtevaju složene računске procese i mogu se primenjivati na sve veličine. Da bi se formirali potrebno je da postoji dovoljan skup hronološki zabeleženih podataka uzročnih i posledičnih veličina. Osnovne uzročne veličine koje se uzimaju u obzir u ovim modelima su: kota gornje vode, kota donje vode, vremenski interval osmatranja, temperatura i drugo. Pretpostavka je da će se objekat za koga je statistički model napravljen na osnovu poda-

taka o ranijem ponašanju i dalje ponašati po istom modelu, čime statistički model postaje i prognozni model za „normalno“ ponašanje objekta [6].

Linearna regresija je statistički pristup modeliranju relacije između skalarne zavisne promenljive Y i jedne ili više nezavisnih promenljivih X . Kod linearne regresije podaci se modeliraju korišćenjem prediktorskih funkcija, a nepoznati parametri modela se procenjuju na osnovu poznatih podataka [6].

U okviru ovog rada za zavisnu promenljivu se usvaja promena nagiba lamele brane ($\Delta\alpha$), a za nezavisne promenljive usvajaju se: kota donje vode (KDV), kota gornje vode (KGV), doba godine (s) i usrednjena sedmodnevna temperatura vazduha (T_{vaz}). Za statističku analizu podataka primenjen je softver „Reg-Designer“. Na osnovu formirane serije merenih podataka (promena nagiba, kote gornje vode, kote donje vode, perioda godine i temperature vazduha) za posmatrani period osmatranja, biraju se prediktorske funkcije za uzročne veličine, a statističkom obradom se dobijaju koeficijenti uz prediktorske funkcije.

Sledeća jednačina ilustruje vezu između zavisne promenljive promene nagiba i nezavisnih promenljivih.

$$\Delta\alpha = A_1KGV + A_2KGV^2 + A_3KGV^3 + A_4KDV + A_5KDV^2 + A_6KDV^3 + A_7\sin s + A_8\cos s + A_9\sin 2s + A_{10}\cos 3s + A_{11}\sin 4s + A_{12}\cos(4s) + A_{13}T_{vaz} + A_0 \quad (19)$$

Gde su:

A_i ($i = 1, \dots, 12$) - koeficijenti uz prediktorske funkcije.

A_0 – slobodan član

$s = 2\pi d/365$ – označava period godine u granicama između 0 i 2π , od 1. januara do 31. decembra.

d predstavlja broj dana počev od 1. januara. (na primer ako je mereni podatak uzet 10. februara, onda je vrednost d jednaka 41).

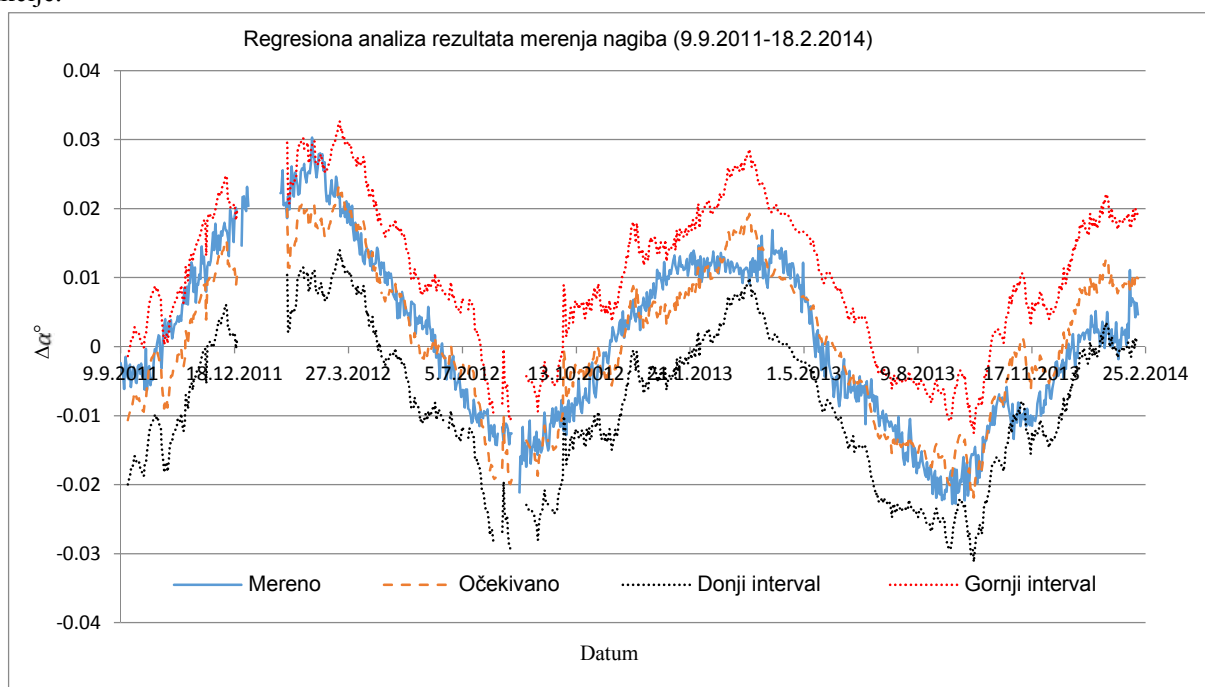
Vrednosti koeficijenata uz prediktorske funkcije su dati u sledećoj tabeli:

Tabela 1. Vrednosti koeficijenata uz prediktorske funkcije

A_0	0,445
A_2	3,065e-5
A_4	0,01819
A_6	5,06e-6
A_7	0,02189
A_8	0,01749
A_9	0,00347
A_{10}	-0,00295
A_{11}	0,00094
A_{12}	0,00173
A_{13}	0,00101

Na dijagramu 2 su prikazani rezultati kao i očekivanja osmatrane zavisne promenljive (u ovom slučaju promene nagiba). Na dijagramu su prikazane i granice poverenja izvan kojih ne bi trebalo da se nalaze osmatrani podaci.

Na dijagramu 3 su prikazane promene temperature, kote gornje i donje vode za analizirani interval osmatranja.



Dijagram 2- Regresiona raspodela rezultata osmatranja nagiba lamele

Kontrola ponašanja objekta se u slučaju primene statističkih modela zasniva na poređenju merenih i sračunatih vrednosti za svaku od modelom obuhvaćenih veličina. Glavno je pitanje koliko odstupanje se može tolerisati, a da se smatra da objekat ostaje u normalnom režimu ponašanja. Neke zemlje su, kao na primer Italija, razvile sasvim egzaktne granice. Na primer granica normalnog ponašanja objekta može biti:

$$X = Y \pm 2\sigma$$

Gde su:

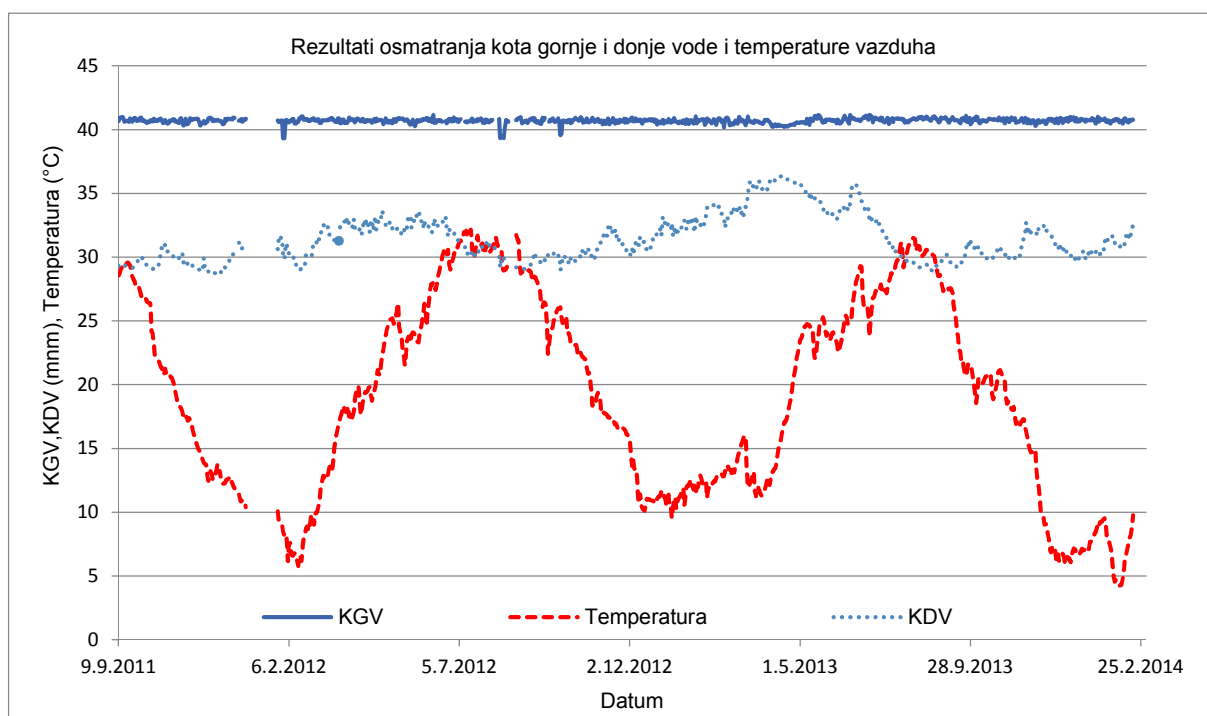
X – izmerena vrednost neke fizičke veličine (u ovom slučaju promena nagiba).

Y – računaska vrednost iz modela zasnovana na bazi ulaznih zavisnih merenih veličina.

σ – srednje kvadratno odstupanje modela (standardna devijacija).

Za određivanje odstupanja u okviru ovog modela korišćene su dve standardne devijacije.

Na dijagramu 2 se vidi da postoje prekidi, što znači da na tim mestima nema izmerenih veličina, ali ako se poznaju vrednosti zavisnih promenljivih (KGV, KDV i temperatura) moguće je odrediti očekivanje zavisne promenljive (promene nagiba) primenom statističkog modela prethodno određenog.



Dijagram 3 - Rezultati osmatranja kota gornje i donje vode i temperature vazduha

4. ZAKLJUČAK

Kroz ovaj rad dat je opis rada mernih pretvarača na principu strune sa konkretnim osvrtnom na elektroakustični tiltmetar. Radom je pokazana opšta metodologija kako data grupa pretvarača radi i na koji način se vrši sakupljanje i obrada rezultata merenja. U građevinarstvu se merenja vrše sa ciljem praćenja promena koje se mogu dogoditi u toku eksploatacije objekta.

Merenja služe za bezbedno upravljanje objektom u eksploataciji. Primenom rezultata merenja i njihovom obradom mogu se predvideti neželjene situacije koje na objektu mogu da se jave. U ovom radu dat je poseban osvrt na elektroakustične teleklinometre (tiltmetre) koji služe za merenje nagiba kod objekata.

Oni imaju posebnu ulogu kod merenja nagiba na

gravitacionim betonskim branama u okviru tehničkog osmatranja. Kroz rad je pokazano kako se vrši sračunavanje nagiba iz merenih podataka na jednom od instrumenata na gravitacionoj betonskoj brani „Đerdap 2“. Pokazano je da postoji veliki uticaj temperature na proračun promene nagiba lamele brane, ako se uzme i izostavi temperaturska korekcija. Dakle, temperaturska korekcija se ne može izostaviti prilikom proračuna nagiba.

Kako se radi o podacima u hronološkom poretku oni se mogu statistički obraditi. Ovde je prikazana statistička regresiona analiza rezultata merenja, gde je data funkcija očekivanja promene nagiba u toku vremena u zavisnosti od uzročnih promenljivih u normalnom režimu rada brane.

Uzročne veličine su kota vode i spoljašnja temperatura vazduha. Na osnovu obrađenih rezultata

merjenja vidi se da pri nižim spoljašnjim temperaturama dolazi do povećanja nagiba ka nizvodnoj strani. Ovo je očekivano, jer je beton nizvodnog lica brane izložen niskim temperaturama, te se brana naginje nizvodno, a u letnjem periodu brana naginje uzvodno. Značajno je napomenuti da kote gornje i donje vode slabo osciluju te da je njihov uticaj na promenu nagiba u odnosu na uticaj spoljašnje temperature vazduha manji. Obradeni podaci su iz perioda osmatranja od 3 godine, ali se za detaljniju analizu mogu koristiti i veće serije podataka, gde će se dobiti bolja preglednost merene veličine kroz vreme i pokazati odgovarajuće tendencije u ponašanju objekta.

LITERATURA

[1] Stanković, D., Fizičko-tehnička merenja, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 1997.

[2] Khazan, A., Transducers and their Elements-Design and Application, PTR Prentice Hall, New York, 1994.

[3] Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ Beograd, Zavod za konstrukcije i geotehniku, Uputstva za tehničko osmatranje visokih brana, posebna izdanja, Knjiga 24, Beograd, 1982, 147-160 s.

[4] Geokon, Instalation manual, Vibrating Wire Tiltmeter, Geotechnical Instrumentation, USA, 1996. Dijagram 3

[5] Rezultati tehničkog osmatranja na brani Đerdap 2 u periodu 9.9.2011-18.2.2014.

[6] Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ Beograd, Projekat upravljanja i održavanja brane „Prvonek“, Knjiga 4, Beograd 2013.

SUMMARY

THE MEASUREMENT OF INCLINATION ON GRAVITY CONCRETE DAMS USING THE TILTMETER INSTRUMENT

The measurement of inclination on gravity concrete dams using the instrument tiltmeter is described and discussed with special reference on obtained results on the dam "Đerdap 2" acquired in the three years period. Tiltmeter way of operation is presented both through physical principle of vibrating wire sensors and through described design of the instrument. The influence of the temperature on the measurement of the slope is specially emphasized and presented through temperature correction. Processing the results of real inclination measurements on the dam "Đerdap 2" with and without temperature correction showed the significant difference. Statistical analysis of measurement data consisted of performed regression analysis and forming of corresponding series with the expected measurement values depending on environmental conditions. At the end we give a summary conclusion on the instrument, the influence of temperature on the measurement and statistical model.

Key words: tiltmeter, measure, frequency, inclination, temperature, statistics