

Dušan Stevanović¹, Maja Pavić², Nikola Milivojević³, Uroš Mirković⁴

UPOTREBA STATISTIČKIH MODELA U CILJU IDENTIFIKACIJE PROMENA PONAŠANJA BRANE

Rezime:

Identifikacija i uočavanje promena u merenjima tokom vremena može ukazivati na nepredviđeno ponašanje konstrukcije brane i potencijalni rizik. Cilj analiza u okviru ove oblasti ima za cilj unapređenje sistema u kojima bi se na efikasniji način u inženjerskoj praksi na osnovu statističkih modela pratili trendovi merenih veličina i varijacije koje bi ukazivale na odstupanje od očekivanog ponašanja objekta u eksploataciji. U okviru sprovedene analize u ovom radu, dat je predlog uvođenja indikatora promene ponašanja kao kvantitativnog pokazatelja odstupanja osmotrenih veličina u odnosu na očekivane vrednosti na nivou jedne serije.

Ključne reči: indikator promene ponašanja, statistički modeli, sigurnost brana

USAGE OF STATISTICAL MODELS TO IDENTIFY CHANGES IN DAM BEHAVIOR

Summary:

Identification and observation of changes in measurements over a period of time can indicate unpredictable behavior of the dam structure and potential risk. The objective of analysis in this field based on statistical analysis is to enhance systems where trends in measured quantities and variations, signaling deviations from the expected behavior of the object in operation, are monitored more effectively in engineering practice. Within the framework of the analysis carried out in this paper, a proposal was made to introduce the indicator of behavior change as a quantitative indicator of the deviation of inspected quantities in relation to the expected values at the level of one series.

Keywords: behavior change indicator, statistical models, dam safety

¹ Istraživač, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, Srbija, dušan.stevanovic@jcerni.rs

² Vodeći istraživač, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, Srbija, maja.pavic@jcerni.rs

³ Vodeći istraživač, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, Srbija, maja.pavic@jcerni.rs

⁴ Samostalni istraživač, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, Srbija, maja.pavic@jcerni.rs

1. UVOD

Ponašanje i funkcionisanje svake visoke brane neophodno je pratiti tokom njene eksploatacije korišćenjem i analiziranjem rezultata tehničkog osmatranja, uključujući i redovno vizuelno osmatranje. Pregled i analiza podataka merenja u cilju donošenja zaključaka u vezi ocene stanja i ponašanja objekta je veoma složena i opsežna aktivnost, naročito ako je merni sistem obiman. Ocena stanja i ponašanja nije isključivo brojčana i kvantitativna, već je često opisna, zasnovana na inženjerskom rasuđivanju.

Glavni cilj praćenja ponašanja brana i kontrole njihove sigurnosti u fazi eksploatacije je sprečavanje otkaza, blagovremenim uočavanjem promena u ponašanju objekta. Situacije sa prisustvom vrednosti prekoračenja definisane su na osnovu neslaganja između implementiranih statističkih modela namenjenih za predikciju i pojedinačnih podataka merenja. [1] Indeks praćenja i detekcija vrednosti prekoračenja su važni pojmovi koje je neophodno uspostaviti kako bi se označilo upozorenje ili ekstremna vrednost uzimajući u obzir prethodne promene u razmatranoj seriji merenja, sa ciljem utvrđivanja mere u kojoj se buduće promene mogu odraziti na sigurnost brane. [2]

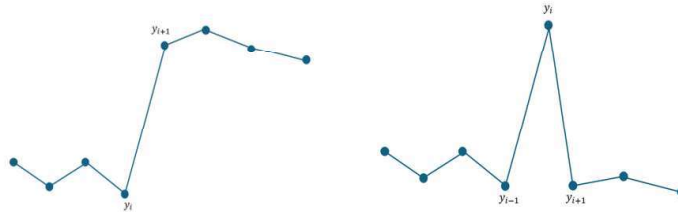
Naposletku, u procesu analize ponašanja objekta na bazi rezultata merenja, treba sagledati na bazi inženjerske logike da li izmereni i obrađeni podaci po svom intenzitetu imaju prihvatljive i fizički opravdane vrednosti.

2. INDEKS PRAĆENJA I DETEKCIJA VREDNOSTI PREKORAČENJA

Nakon izrade, statistički modeli se koriste u praćenju ponašanja brane. U okviru termina koji je definisan statističkim modelom i podrazumeva uobičajeno ponašanje objekta, identifikacija promena u ponašanju objekta podrazumeva svako odstupanje od opsega definisanog modelom. Analiza se sprovodi praćenjem vrednosti merenja i detekcijom potencijalnog odstupanja određenih vrednosti van prethodno utvrđenog opsega, koji se formira na osnovu statističke analize rezultata prethodnih merenja.

Sa razvojem oblasti praćenja sigurnosti brana, u literaturi, tokom godina je jasno uočljiv napredak, čiji je indikator postinutog progressa implementacija automatskog praćenja mernih veličina u realnom vremenu i ogromne baze podataka sa kojima se u analizama raspolaže. [2]

Indeksi praćenja imaju za cilj da ukažu u kojoj meri se, u odnosu na prethodne trendove, merene veličine ponašaju. Uspostavljanjem ovih indeksa se detektuju vrednosti upozorenja ili skup ekstremnih vrednosti. U literaturi se navode dve vrste ovih indeksa koji uključuju indeks intervala poverenja i indeks male verovatnoće. [2] Važno je istaći, da se na indekse praćenja nadovezuje proces detekcije vrednosti prekoračenja. Detekcija ovih vrednosti se može registrovati primenom različitih algoritama i predmet su istraživanja mnogih radova. U inženjerskoj praksi, analizom serija merenja, vrednosti prekoračenja se mogu podeliti na dve grupe: skokovite vrednosti (jump values) i pikove (spike values) kao što je prikazano na slici 1. [2]



Slika 1: Ilustracija pojave skokovite vrednosti (levo) i vrednosti pika u merenjima (desno) [2]

Prema autorima [2] razloge za pojavom ovakvih vrednosti možemo podeliti na tri grupe:

- Greške prilikom očitavanja merenja ili greške koje su prouzrokovane kvarom mernog uređaja ili usled greške koja može biti prouzrokovana usled sprovođenja procesa monitoringa i prikupljanja podataka;
- Usled pojave nepredviđenog (iznenadnog) opterećenja kao što su zemljotresi, eksplozije i opterećenja usled pojave klizišta u zoni brane;
- Usled unutrašnjih oštećenja brane.

Indeks praćenja koji se izračunava metodom intervala poverenja zasnivaju se na formiranju uzorka Δy_i koji predstavlja rezidualne odgovarajućih izračunatih vrednosti na osnovu uspostavljenog modela za praćenja i izmerenih vrednosti, od kojih se formira stacionarni niz. Vrednosti $\Delta y_1, \Delta y_2, \Delta y_3$ predstavljaju vrednosti reziduala u svakom momentu merenja. [2]

$$\Delta y_i \{ \Delta y_1, \Delta y_2, \Delta y_3, \dots, \Delta y_n \}$$

Za ovako formiran uzorak je neophodno izračunati srednju vrednost $\overline{\Delta y}$ a nakon toga i standardnu devijaciju:

$$\sigma_{\Delta y} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta y_i - \overline{\Delta y})^2}$$

Indeks praćenja ponašanja brane se izračunava po sledećoj jednačini:

$$E = y'_i \pm w \cdot \sigma_{\Delta y}$$

u kojoj y'_i predstavlja vrednost predviđenja u i-tom momentu (i+1, i+2, ..., i+m), dok promenljiva w po preporukama autora može uzimati vrednost $w = 2$ ili $w = 3$ u zavisnosti od nivoa značajnosti α (koji je obično u rasponu od 1% do 5%). [2]

Ukoliko vrednosti merenja nakon n-tog trenutka ($y_{n+1}, y_{n+2}, \dots, y_{n+m}$) budu obuhvaćene intervalom poverenja definisanim indeksom praćenja E , to se definiše kao bezbedna (očekivana) vrednost i ponašanje brane je u skladu sa predikcijom. U suprotnom, vrednost merenja će biti označena kao vrednost koja prekoračuje definisani opseg poverenja. Važno je napomenuti i stav autora da izbor opsega pouzdanosti zavisi kako od veličine samog uzorka, tako i od iskustva eksperta. Ako je opseg pouzdanosti suviše širok, potencijalne nebezbedne vrednosti ne mogu biti detektovane, dok je nasuprot tome opseg previše uzak, može se javiti prekoračenje ogromnog broja pouzdanih vrednosti. [2]

Indeks praćenja ponašanja brane koji se uspostavlja na osnovu događaja male verovatnoće se zasniva na verovatnoći da je pojava ovakvog scenarija za predviđeni objekat manja od 5%, odnosno razmatra se uticaj nepovoljnog opterećenja na čvrstoću i stabilnost brane. Polazna pretpostavka u okviru ove metode je da su konstrukcijski uslovi, svojstva materijala, svojstva temelja i uslovi rada na objektu nepromenljivi. Kako bi se takva analiza sprovela, potrebno je formirati skup odgovarajućih podataka koji trebaju proisteći iz merenja usled nepovoljnih opterećenja. To je i razlog teškog dobijanja praktičnih podataka, uz činjenicu da merene veličine koje su predmet modeliranja imaju određenu regularnost što nije u skladu sa pretpostavkama metode male verovatnoće. [2] U okviru ove metodologije merene veličine se smatraju slučajnim promenljivima, pa se ove promenljive pod nepovoljnim opterećenjem uzimaju kao uzorak koji se označava na sledeći način:

$$Y: \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_n\}$$

Srednja vrednost \bar{y} i standardna devijacija se izračunavaju σ_y na isti način kao u prethodnoj metodologiji. Nakon toga je potrebno odabrati metod statističkog testa kako bi se testirala funkcija gustine verovatnoće $f(y)$ i funkcija raspodele $F(y)$ formiranog uzorka $\{y_1, y_2, y_3, \dots, y_n\}$. [2] Naposljetku se, prema verovatnoći prekoračenja α izračunava indeks praćenja ponašanja po sledećem izrazu:

$$P(y > E) = \int_E^{\infty} f(y) dy$$

$$E = F^{-1}(\bar{y}, \sigma_y, \alpha)$$

Ukoliko vrednosti merenih veličina prekoračuju ovako definisan indeks praćenja ponašanja, može se konstatovati nastupanje scenarija po događaju male verovatnoće, a samim tim stanje bezbednosti brane može biti potencijalno opasno i zahteva analizu i preduzimanje potrebnih mera. Nakon detekcije ove vrednosti neophodno je analizirati uzrok njihove pojave, a po potrebi i ponovo uspostaviti indeks za praćenje ponašanja. [2]

U detekciji vrednosti prekoračenja najčešće se koriste: Parita kriterijum, Chauvenet kriterijum, Grubbs kriterijum i Dixon kriterijum, čija je primena uslovljena veličinom fonda podataka sa kojima se raspolaže u okviru analize, ali i periodičnošću i reprezentativnošću podataka koji takođe značajno utiču na učinak primenljivosti različitih kriterijuma. [2]

Parita kriterijum zahteva izračunavanje srednje vrednosti i standardne devijacije uzorka σ . Kriterijum se definiše razlikom između srednje vrednosti uzorka i razmatranog merenja. Ukoliko je ta razlika izvan opsega 2σ ili 3σ , razmatrana vrednost merenja se klasifikuje kao vrednost prekoračenja. Primenljivost ovog kriterijuma je na uzorcima čija je veličina $n > 185$. [2] Chauvenet kriterijum je sličan Parita kriterijum, jedina razlika predstavlja opseg, koji je definisan promenljivom $w_n \sigma$. Promenljiva w_n je uslovljena veličinom fonda podataka i primena ovog kriterijuma je najčešće na uzorcima čija se brojnost merenja nalazi u opsegu $25 \leq n < 185$. [2]

Grubbs kriterijum i Dixon kriterijum se razlikuju od prethodnih, jer zahtevaju sortiranje podataka u rastućem nizu, od podatka sa najmanjom vrednošću do podatka sa najvećom vrednošću merenja. Nakon izračunavanja srednje vrednosti uzorka i standardne devijacije, za primenu Grubbs-ovog kriterijuma je neophodno izračunati i vrednosti statistika G i G' , dok je za primenu Dixon-ovog kriterijuma potrebno izračunati statistiku Q_i :

$$G = \frac{y_{(1)} - \bar{y}}{\sigma} \quad G' = \frac{y_{(n)} - \bar{y}}{\sigma} \quad Q_i = \sum_{i=1}^2 \frac{y_{(n)} - y_{n-1}}{y_{(n)} - y_{(1+j)}}$$

Ovi kriterijumi služe za detekciju vrednosti prekoračenja na osnovu izračunatih statistika $G(\alpha, n)$ i $Q(\alpha, n)$ na osnovu testa nivoa α (koji se obično kreće u opsegu 0.05 do 0.01) i ukupnog fonda podataka n . [2] Ukoliko po Grubbs-ovom kriterijumu izračunate vrednosti G ili G' premašuju vrednost $G(\alpha, n)$ ili po Dixon-ovom kriterijumu Q_i premašuje vrednost $Q(\alpha, n)$, to je indikator pojave vrednosti prekoračenja u podacima uzorka. Na osnovu iznetih stavova autora Grubbs-ov kriterijum se primenjuje na fondu podataka veličine $3 \leq n < 185$ i ima maksimalnu tačnost kada postoji samo jedna vrednost prekoračenja u razmatranom fondu podataka. Dixon-ov kriterijum se primenjuje za manji fond podataka, za razliku od Grubbs-ovog $3 \leq n < 25$. [2] Primena Grubbs-ovog i Dixon-ovog kriterijuma je izložena u radu autora. [3]

I pored velike primene statističkih modela u inženjerskoj praksi, važno je istaći nedostatke koji su navedeni u okviru rada [2]:

- Teško je precizno odrediti odnos između konstrukcije brane i temelja,
- Podaci su često nepotpuni, što rezultira „praznim periodima“ u okviru vremenskih serija, koje su posledica kvara ili oštećenja mernih instrumenata, pa sve to dodatno stvara poteškoće prilikom modeliranja,
- Tačnost, robusnost i generalizacija modela moraju biti kontinuirano unapređeni,
- Regresioni parametri su, kod primene linearne regresije, linearno superponirani u modelu, što predstavlja praktično, ali ne i tačno rešenje obzirom da su odnosi u realnosti nelinearni.

3. POSTUPAK DEFINISANJA INDIKATORA PROMENE PONAŠANJA

U odnosu na stepen poklapanja izmerenih i izračunatih vrednosti u određenom opsegu, za potrebe analize uspostavljene su sledeće oblasti u okviru formiranih statističkih modela osmotrenih veličina [4]:

oblast 1, unutar koje postoji odlično poklapanje merenih i očekivanih vrednosti: ova oblast definiše se opsegom $[-2\sigma, +2\sigma]$ u odnosu na izračunatu vrednost, što u većini slučajeva pokriva 95% prethodno osmotrenih vrednosti;

oblast 2, unutar koje je prihvatljivo poklapanje merenih i očekivanih vrednosti: ova oblast definiše se opsezima $[-3\sigma, -2\sigma]$ i $[2\sigma, 3\sigma]$ u odnosu na izračunatu vrednost;

oblast 3, sa neočekivanim vrednostima, odnosno to je oblast u kojoj se nalaze sva merenja izvan opsega $[-3\sigma, 3\sigma]$ u odnosu na izračunatu vrednost.

Indikator promene ponašanja predstavlja brojni pokazatelj kojim se pokazuje u kojoj meri određena osmotrene veličina u posmatranom periodu odstupa od očekivanih vrednosti. Visoke vrednosti indikatora u procesu identifikacije promene ponašanja objekta, jasno ukazuju da je došlo do značajnih promena u ponašanju osmotrene veličine. [4]

U analizi koja je sprovedena u okviru ovog rada, indikator promene ponašanja na nivou jednog podatka definisan je na sledeći način:

$$I_p = \begin{cases} 0 & \text{za } |M - S| \leq 2 \cdot \sigma \\ \frac{|M - S|}{2 \cdot \sigma} - 1 & \text{za } |M - S| > 2 \cdot \sigma \end{cases}$$

gde su:

M - merena vrednost podatka

S - izračunata vrednost podatka statističkim modelom.

U slučaju izmerene vrednosti u očekivanim granicama indikator promene ponašanja će po gore navedenom izrazu imati vrednost 0. Ovakav slučaj je prilikom osmatranja merenja u

analiziranim vremenskim serijama regularan, odnosno izmerena vrednost je označena kao regularna. [4]

U slučaju kada izmerene vrednosti budu van očekivanih opsega $[-2\sigma, +2\sigma]$ indikator promene ponašanja će biti veći 0. Što je odstupanje veće, vrednost indikatora je veća. Za slučaj kada je merena vrednost podatka različita od izračunate vrednosti podatka statističkim modelom za 3σ dobija se vrednost indikatora $I_p = 0.5$. Dakle, u slučaju izmerene vrednosti van očekivanih opsega $[-3\sigma, +3\sigma]$ indikator promene ponašanja će imati vrednost veću od 0.5.

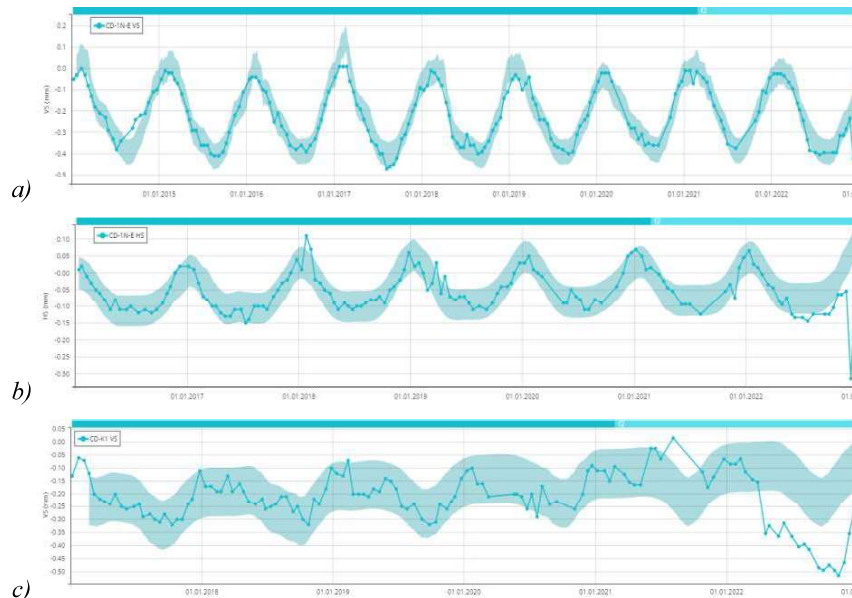
Indikator promene ponašanja pojedinačne osmotrene veličine (jedne serije) na izabranom vremenskom periodu se izračunava po sledećem izrazu:

$$I_s = \frac{\sum_{i=1}^v I_{pi}}{b}$$

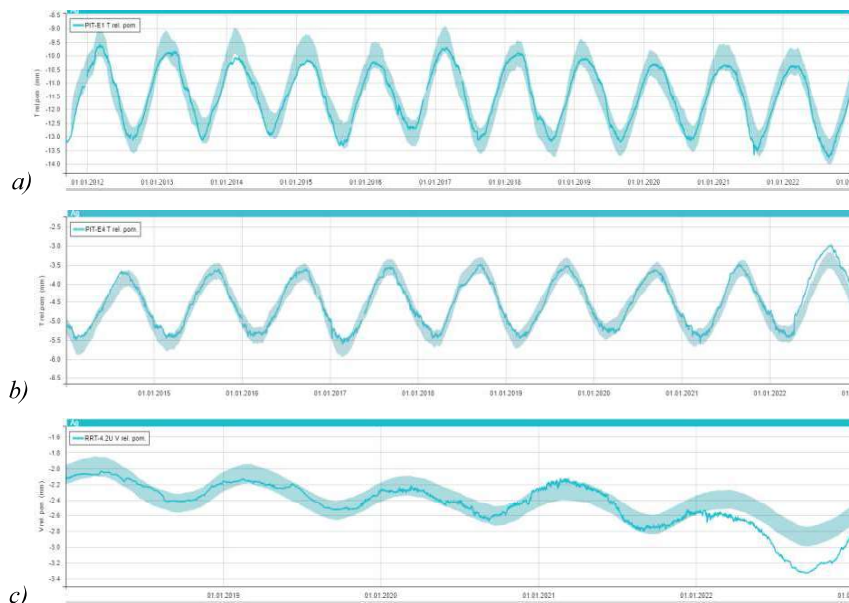
gde b predstavlja broj svih (validnih) vrednosti na izabranom vremenskom periodu.

U zavisnosti od vrednosti I_s i procenta podataka koji izlaze iz očekivanog opsega $[-3\sigma, +3\sigma]$, kao i od učestalosti i načina merenja, razlikujemo 3 nivoa promene ponašanja na izabranom periodu: manja, značajna i veća. U nastavku je objašnjeno kako je definisan ovaj kriterijum.

U radu je izvršena analiza velikog broja serija ručnih i automatskih merena sa HE „Đerdap 2“. Prilikom analize ovih serija praćena su dva parametra za svaku od serija. Prvi parametar je vrednost indikatora promena ponašanja I_s , dok je drugi parametar procenat vrednosti koje su se našle van očekivanog opsega $[-3\sigma, +3\sigma]$ u poslednjih godinu dana. Promena ponašanja modela je na samom početku podeljena u tri kategorije: manja, značajna i veća odstupanja. Na slikama 2. i 3. u nastavku su date ilustracije modela sa manjim, značajnim i većim odstupanjima kod manuelnih i električnih merenja.



Slika 2: Manja (a), značajna (b) i veća (c) promena ponašanja kod ručnih merenja



Slika 3: Manja (a), značajna (b) i veća (c) promena ponašanja kod automatskih merenja

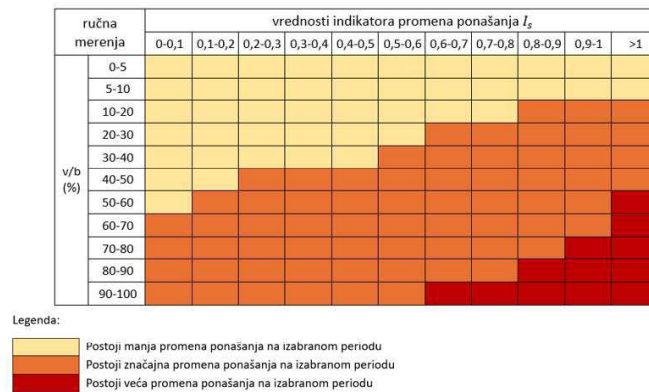
automatska merenja	vrednosti indikatora promena ponašanja I_s										
	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1	>1
0-5											
5-10											
10-20											
20-30											
30-40											
40-50											
50-60											
60-70											
70-80											
80-90											
90-100											

Legenda:
 Postoji manja promena ponašanja na izabranom periodu
 Postoji značajna promena ponašanja na izabranom periodu
 Postoji veća promena ponašanja na izabranom periodu

Slika 4: Rezultati analize indikatora promene ponašanja kod automatskih merenja [4]

Nakon analize grupe serija, formirani su grafici na kojima je svaka serija dobila koordinate. Koordinate su definisane analiziranim parametrima i to: na apscisi je vrednost indikatora promene ponašanja I_s , dok je na ordinati procenat podataka čije su vrednosti van očekivanog opsega u poslednjoj godini [0,100] u [%]. Na osnovu grafika i definisanog kriterijuma prilikom pregleda svih serija definisani su sledeći predlozi kriterijuma. Kod vremenskih serija kod kojih je vremenski korak jedan dan (automatska merenja) rezultati analize su prikazani na slici 4, dok su rezultati analize vremenskih serija kod kojih je vremenski korak od jedne nedelje do mesec

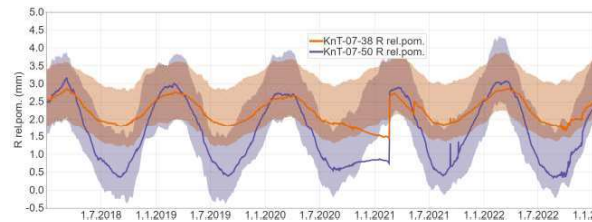
dana (ručna merenja) prikazani na slici 5. Modele kod kojih se tokom vremena javljaju značajnije i veće promene ponašanja je neophodno analizirati i potencijalno unaprediti. [4]



Slika 5: Rezultati analize indikatora promene ponašanja kod ručnih merenja [4]

4. PRIMERI ANALIZE VREDNOSTI PREKORAČENJA

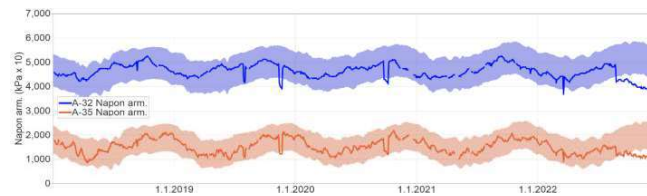
Na slici 6. prikazana su merenja relativnog pomeranja lamele 7 prelivne brane HE “Đerdap 1”, merena osmatranjem žice viska el. koordinometrima. Na slici se jasno može uočiti da od sredine 2020. god. merenja nisu imala ustaljenu dotadašnju oscilaciju u pravcu toka reke. Merene vrednosti su odudarale od očekivanih, izračunatih na osnovu upostavljenih statističkih modela. Žica viska je bila zaglavljena usled korozije mernog sistema što je direktno uticalo na zabeležna odstupanja vrednosti van očekivanog opsega. Žica je oslobođena, izvršeno je uklanjanje rđe u zoni bureta, koje je sastavni deo konstrukcije mernog sistema viska, pa su samim tim merenja nakon toga ponovo u očekivanom opsegu. [5] Nakon ovih promena, nijedno merenje u poslednjoj godini se ne nalazi van očekivanom opsega, pa je vrednost $I_s = 0$. Može se konstatovati na osnovu parametara da su merenja u poslednjoj godini u okviru očekivanog opsega.



Slika 6: Promena ponašanja na seriji merenja relativnih pomeranja lamele 7 pregradne konstrukcije brane HE “Đerdap 1”

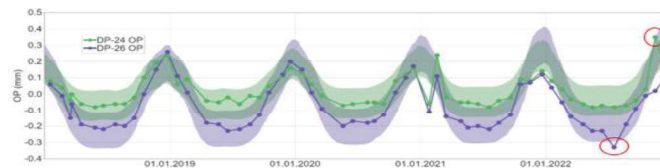
Odstupanja van granica očekivanih vrednosti rezultata merenja armaturnim dinamometrima A-32 i A-35 (Slika 7) se javljaju zbog pada napona koji odgovara trenucima kada je ispražnjen protočni organ agregata (tzv. spirala), u čijoj se zoni nalaze ova dva merna instrumenta (u drugoj polovini 2022. godine, a za potrebe revitalizacije agregata). Prekoračenja zabeleženih merenja

izvan očekivanog opsega na elektrani ne predstavljaju problem koji bi mogao da ugrozi njenu sigurnost. [4] Parametri za seriju A-32 ($\frac{v}{b} = 35.16\%$, $I_s = 0.22$) ukazuju na granični slučaj između manje i značajne promene ponašanja merenja (Slika 4). Ukoliko se trend ovakvih merenja nastavi, indikator će u bliskoj budućnosti signalizirati značajnu promenu ponašanja. Serija merenja A-35 pokazuje povoljnije vrednosti za razliku od prethodne i po jednom i po drugom kriterijumu ($\frac{v}{b} = 28.30\%$, $I_s = 0.16$).



Slika 7: Promena ponašanja na seriji merenja napona u armaturi dinamometrom [4]

Manuelna merenja sa povremenim odstupanjima od očekivanih vrednosti, vrlo često se mogu pripisati i greškama merenja. Najizraženija odstupanja tokom 2022. godine su na mernim mestima DP-24 i DP-26 (Slika 8). Označena odstupanja su najverovatnije nastala usled grešaka pri merenju ili unosu podataka, dok su odstupanja zabeležena početkom i krajem 2022. godine na strani sigurnosti, jer je rad prslina manji od očekivanih vrednosti. [5] Parametri za seriju DP-024 OP ($\frac{v}{b} = 25\%$, $I_s = 0.07$) se nalaze u očekivanom opsegu (Slika 5), dok parametri za seriju DP-26 OP ($\frac{v}{b} = 41\%$, $I_s = 0.26$) pokazuju značajnu promenu ponašanja (Slika 5) i upućuju na praćenje trenda merenja.



Slika 8: Promena ponašanja na seriji manuelnih merenja [5]

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu obavljene analize indikatora promene ponašanja u ovom radu, u okviru zaključka su iznete preporuke čijim bi se implementiranjem unapredio proces tehničkog osmatranja.

Za serije sa automatskim merenjima, kod kojih je vremenski korak jedan dan, preporuka je da se indeks promene ponašanja uvede za period na kojem je model formiran (I_s^f), zatim na periodu od poslednje tri godine (I_s^{3god}), na periodu od poslednjih godinu dana (I_s^{god}), na periodu od poslednjih mesec dana (I_s^{mes}) i na periodu od poslednjih nedelju dana (I_s^{ned}). Na osnovu izračunatih vrednosti moguće je sagledati da li su odstupanja tokom vremena u porastu ili padu. Preporuka je da se ova kontrola realizuje jednom nedeljno. [4]

Za serije sa ručnim merenjima, kod kojih je vremenski razmak između merenja u rasponu od jedne nedelje do mesec dana, preporuka je da se indeks promene ponašanja uvede za period na kojem je model formiran (I_s^f), zatim na periodu od poslednje tri godine (I_s^{3god}), na periodu od

poslednjih godinu dana (I_s^{god}), na periodu od poslednjih 3 meseca (I_s^{3mes}). Preporuka je da se ova vrsta kontrole realizuje jednom u 2 meseca. [4]

Ukoliko se u inženjerskoj praksi praćenjem indikatora promene ponašanja utvrdi da postoji značajna ili veća promena ponašanja neophodno je pre preispitivanja kvaliteta statističkog modela analizirati stanje konstrukcije.

Istraživanje indikatora promena ponašanje na nivou jedne vremenske serije koje je izloženo u okviru ovog rada, predstavlja osnovu za analizu i definisanje indikatora promene ponašanja grupe osmotrenih veličina. Ovakva vrsta indikatora bi dala širu sliku i brži pregled i signalizaciju tekućih vrednosti merenja na brani.

LITERATURA

- [1] Salazar F, Toledo MA, Gonzalez JM, Onate E, Early detection of anomalies in dam performance: A methodology based on boosted regression trees, Struct Control Health Monit, 2017;e2012. doi: 10.1002/stc.2012
- [2] Li B, Yang J, Hu D. Dam monitoring data analysis methods: A literature review, Struct Control Health Monit. 2019; e2501. doi: 10.1002/stc.2501
- [3] Lach S, The application of selected statistical tests in the detection and removal of outliers in water engineering data based on the example of piezometric measurements at the Dobczyce dam over the period 2012-2016, E3S Web of Conferences, 2018.
- [4] Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi" Beograd, Studija o pravnim, ekonomskim, tehničkim i bezbednosnim aspektima upravljanja visokim branama u Srbiji, Knjiga 4: Izveštaj o kriterijumima i koncepciji upravljanja bezbednošću brana, Beograd, 2024.
- [5] Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi" Beograd, Analiza rezultata oskultacionih merenja građevinskih objekata HE "Đerdap 1" za 2022. godinu, Beograd, 2023.

Društvo građevinskih konstruktora Srbije - Međunarodni Simpozijum

18 - 20. 09. 2024.
VRNJAČKA BANJA



ZBORNİK RADOVA SA NACIONALNOG SIMPOZIЈUMA

U SARADNJI SA



POKROVITELЈI



Република Србија
МИНИСТАРСТВО НАУКЕ,
ТЕХНОЛОШКОГ РАЗВОЈА И ИНОВАЦИЈА



Инжењерска
комора
Србије

PLATINASTI SPONZORI

PUT INŽENJERING

ŠIRBEGOVIĆ®
INŽENJERING



ZLATNI SPONZORI



CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

624(082)(0.034.2)
69(082)(0.034.2)

ДРУШТВО грађевинских конструктора Србије. Међународни симпозијум (2024 ;
Врњачка Бања)

Zbornik radova sa Nacionalnog simpozijuma ДГКК [Elektronski izvor] / Društvo
građevinskih konstruktora Srbije, Međunarodni simpozijum, 18-20.09.2024., Vrnjačka Banja ;
[urednici Zlatko Marković, Jelena Dobrić, Vladimir Vukobratović]. - Beograd : Univerzitet,
Građevinski fakultet : Društvo građevinskih konstruktora Srbije, 2024 (Beograd : Univerzitet,
Građevinski fakultet). - 1 USB fleš memorija ; 1 x 2 x 7 cm
Sistemska zahtevi: Nisu navedeni. - Nasl. sa naslovne strane dokumenta. - Radovi na srp. i
engl. jeziku. - Tiraž 300. - Bibliografija uz svaki rad. - Summaries.

ISBN 978-86-7518-247-4 (GF)

а) Грађевинарство -- Зборници
COBISS.SR-ID 151617289

Izdavač:	Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73/1
Suizdavač:	Društvo građevinskih konstruktora Srbije Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73
Urednici:	prof. dr Zlatko Marković prof. dr Jelena Dobrić v. prof. dr Vladimir Vukobratović
Recenzenti:	Naučni odbor Simpozijuma 2024
Tehnička priprema:	doc. dr Nina Gluhović doc. dr Marija Todorović doc. dr Isidora Jakovljević
Grafički dizajn:	Tijana Jovović
Dizajn korica:	Luka Pavelka

ZBORNİK RADOVA izlazi u elektronskom obliku na USB

Ustanova koja vrši umnožavanje na USB: Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet

Broj kopija na USB: 1

Broj USB: 300

Beograd, septembar 2024.