

## POJAVA VIBRACIJA NA USTAVAMA "TOMAŠEVAC", "STAJIĆEVO" I "NOVI BEČEJ" – HIDROSISTEM DUNAV – TISA – DUNAV

Dr Emil POPOVIĆ, dipl.inž.građ.  
JVP "Vode Vojvodine" Novi Sad

Prof. dr Radomir FOLIĆ, dipl.inž.građ.  
Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu

### REZIME

Na ustavama "Tomaševac", "Stajićevo" i "Novi Bečej" je uočena pojava vibracija segmentnih zatvarača postavljenih na prelivnim poljima raspona 24,5 metara.. Na objektima ustava "Tomaševac" i "Stajićevo" sprovedeno je merenje intenziteta vibracija. Nakon obavljenih merenja za ustavu "Stajićevo" je formiran matematički model konstrukcije segmentnog zatvarača sa klapnom. Korišćenjem modela određene su sopstvene frekvencije i odgovarajući oblici deformacija konstrukcije zatvarača. Na osnovu merenja u kome su dobijene najveće amplitude pomeranja formiran je model ponašanja konstrukcije zatvarača u realnim uslovima rada. Na modelu su analizirane moguće mere sanacije i njihovi efekti na smanjenje nivoa vibracija. Dobijeni rezultati su upoređeni sa rezultatima merenja efektivnih vrednosti vibracionih parametara konstrukcije segmentnog zatvarača srednjeg polja ustave "Tomaševac". Na oba objekta su dobijeni slični oblici deformacija za prva dva tona. Vibracije segmentnog zatvarača na ustavi "Novi Bečej" su se javljale pri formiranju vakuuma u prostoru ispod prelivnog dela vodenog mlaza. Pojava je sprečena postavljanjem cevi za ovazdušenje.

**Ključne reči:** Segmentni zatvarač, segmentni zatvarač sa klapnom, vibracije, preporuke za projektovanje

### 1. OPIS OBJEKATA I PROBLEM POJAVE VIBRACIJA

Ustave "Tomaševac", "Stajićevo" i "Novi Bečej" pripadaju grupi najvažnijih hidrotehničkih objekata koji su izgrađeni na kanalima Hidrosistema Dunav – Tisa – Dunav. Sva tri objekta poseduju segmentne zatvarače koji su postavljeni na prelivnim poljima raspona 24,5

metara. Osnovni problem uočen tokom njihove eksploatacije jeste pojava vibracija segmentnih zatvarača u uslovima postojanja preliivanja i / ili isticanja.

Ustava "Stajićevo" (fotografija 1) se nalazi na kilometru 9+500 od ušća kanala Begej u reku Tisu neposredno uz magistralni put Zrenjanin – Beograd. Sastoji se od jednog prelivnog polja širine 24,5 metara na kome je postavljen segmentni zatvarač dužine 26,5 metara i visine 5 metara. Na gornjoj strani segmentnog zatvarača montirana je klapna visine 2,86 metara [11], [12].



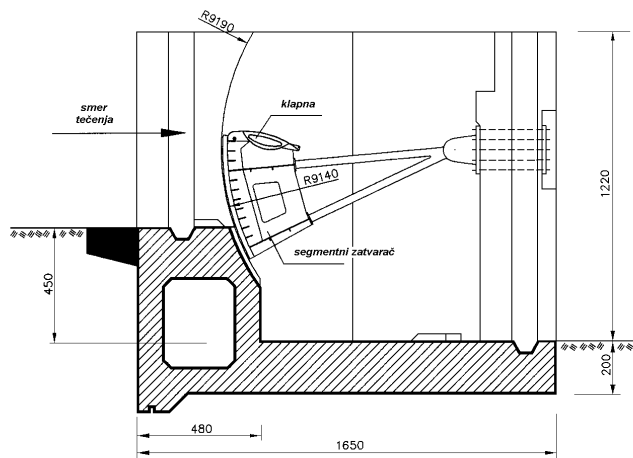
Fotografija 1. Ustava "Stajićevo" – pogled sa nizvodne strane

Osnovni konstruktivni elementi ustave "Stajićevo" su:

1. Telo ustave sa sa jednim prelivnim poljem.
2. Dva čelična pomoćna mosta postavljena preko prelivnog polja.
3. Segmentni zatvarač sa klapnom.

4. Dve kućice na levom i desnom stubu ustave sa pogonskim uređajima za manipulaciju segmentnim zatvaračem i klapnom.
5. Tablasti havarijski zatvarač.

Pojava vibracija na ustavi "Stajićevo" je praćena podrhtavanjem betonskog tela ustave i čeličnih pomoćnih mostova, pomeranjima "ruku" i tela segmentnog zatvarača, zveckanjem prozora na komandnoj zgradi prevodnice koja se nalazi na udaljenosti od oko 80 metara i pojavom talasa na vodenom ogledalu neposredno uzvodno od ustave. Vibracije su se javljale u uslovima postojanja istovremenog preliivanja i isticanja (tabela 1).



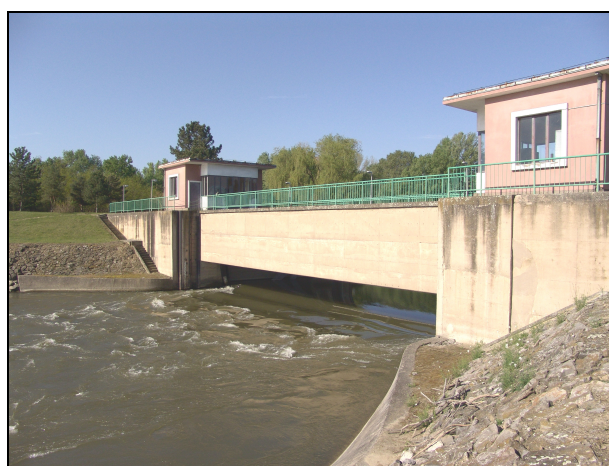
Slika 1. Poprečni presek ustave "Stajićevo" [mm]

Tabela 1: Zabeleženi slučajevi pojave vibracija segmentnog zatvarača sa klapnom na ustavi "Stajićevo" [11]

Datum	Kota gornje vode (m.n.m.)	Kota donje vode (m.n.m.)	Položaj segmenta (m.n.m.)	Opis preuzet iz knjige dežurstava
16.10.1995.	74,12	71,69	Od 73,80 do 73,90	Vibracije su počele pri koti pokazivača od 73,80, a prestale su pri koti pokazivača od 73,90.
23.10.1995.	74,10	71,23	Od 73,90 do 73,60	Vibracije su počele pri koti pokazivača od 73,90, a prestale su pri koti pokazivača od 73,60.
17.06.1996.	74,14	72,09	73,70	Vibracije na sajli sigurnosnog zatvarača.
18.06.1996.	74,19	72,10	73,90	Vibracije na sajli sigurnosnog zatvarača.
18.10.1997.	74,08	72,24	73,10	"Pomeranje" lanaca.
29.10.1997.	73,97	71,76	73,70	"Pomeranje" lanaca.
31.10.1997.	74,05	71,60	73,90	"Pomeranje" lanaca.
15.11.1997.	74,03	71,64	73,90	Vidljiva pomeranja stubova ustave i pešačkih mostova.
23.01.2007.	74,12	72,27	73,70	Vibracije slabog intenziteta.

Ustava "Tomaševac" se nalazi na kilometru 80+900 reke Tamiš uzvodno od sela Tomaševac. Detaljan opis ovog objekta i opis merenja vibracija sa prikazom rezultata merenja dat je u članku **Popović, E, Folić, R.**: *Rezultati eksperimentalnog istraživanja nivoa vibracija na ustavi "Tomaševac"*, časopis "Vodoprivreda" broj 225 – 227, godina 39, stranice 31-46, januar – jun 2007 / 1 – 3 [14].

Ustava "Novi Bečej" (fotografija 2) je locirana neposredno uz reku Tisu pored Novog Bečeja na kilometru 146+660 Magistralnog kanala Novi Bečej – Banatska Palanka. Konstruisana je tako da omogućuje upuštanje voda reke Tise u Magistralni kanal Novi Bečej – Banatska Palanka i po toj funkciji je jedan od ključnih objekata za snabdevanje Banata vodom [13].



Fotografija 2. Pogled sa kanalske strane na ustavu "Novi Bečej"

Telo ustave predstavlja monolitnu armiranobetonsku konstrukciju koja se sastoji od:

1. Temeljne ploče sa pragom prema kanalskoj strani.
2. Levog i desnog vertikalnog zida.
3. Segmentnog zatvarača dimenzija 24,5 x 5,7 metara.
4. Armiranobetonske dijafragme postavljene između vertikalnih zidova sa kanalske strane.
5. Dve komandne kućice smeštene simetrično sa obe strane prelivnog polja sa pogonskim uređajima za podizanje i spuštanje segmentnog zatvarača.

Vibracije segmentnog zatvarača su bile praćenje podrhtavanjem tela ustave kao i svih objekata u prečniku od 200 metara.

## 2. MERENJA NA OBJEKTU USTAVE "STAJIĆEVO"

Merenje vibracija na objektu ustave "Stajićevo" je obavljeno dana 10.04.1998. godine [11]. Oprema za merenje vibracija<sup>1</sup> (merni lanac na slici 2) se sastojala od:

1. Dva indukciona pretvarača vibracija u električni signal Transducer Shcenck VS 80.
2. Jednog vibrometra Schenck 25.
3. Jednog analizatora dinamičkih signala Dynamic Signal Analyzer HP 35660A.
4. Računarske opreme za arhiviranje i grafičko praćenje rezultata merenja.

Ovakav merni lanac je omogućio:

1. Merenje vibracija – efektivne i sumarne vrednosti vibracionih pomeranja.
2. Frekventnu i vremensku analizu vibracionog signala.

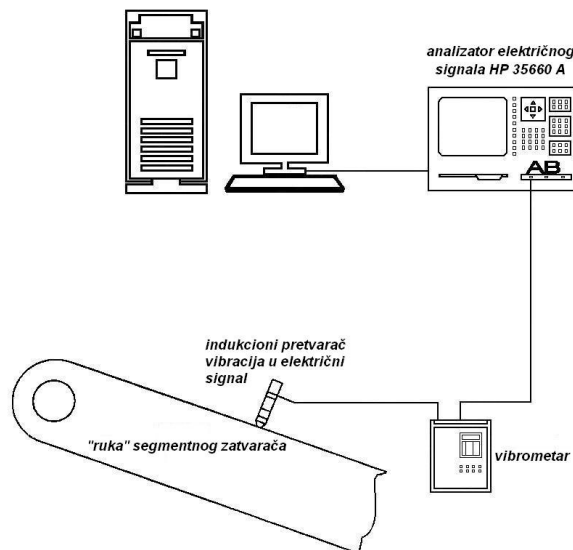
Pretvarači vibracija su bili simetrično postavljeni (pričvršćeni pomoću magneta) na gornjim nosačima obeju "ruku" i udaljeni 3,6 metara od ose rotacije segmentnog zatvarača (fotografija 3). Frekventni opseg rada vibrometra se kretao u rasponu od 3 do 300 Hz. Merenja su obavljena tokom spuštanja segmentnog zatvarača za sedam različitih visinskih položaja [3], [11], [12].

Po okončanju merenja korišćenjem analizatora električnih signala dobijena su dva grafa:

1. Prvi graf je prikazivao izgled vibracionog signala u frekventnom domenu i na njemu je analiziran spektar vibracionog signala, očitane efektivne i sumarne vrednost svake komponente iz spektra

(tabele 2 i 3) kao i utvrđeno postojanje komponenata na određenim frekvencijama.

2. Drugi graf je prikazivao izgled vibracionog signala u vremenskom domenu (detaljan prikaz svih grafova dat je u literaturi [11]).



Slika 2. Merni lanac korišćen pri merenju vibracija na ustavi "Stajićevo" [11]



Fotografija 3. Postavljanje indukcionog pretvarača vibracija na levoj "ruci"

Nakon obavljenih merenja pristupilo se formiranju matematičkog modela konstrukcije segmentnog zatvarača [3], [11], [12]. Konstrukcija segmentnog zatvarača je modelovana kao trodimenzionalni simetrični nosač (slika 3) sa tri stepena slobode

<sup>1</sup> Vlasništvo firme NORTH Engineering d.o.o. iz Subotice.

pomeranja i to jednom rotacijom oko horizontalne ose koja povezuje ležišta "ruku" i dve translacije u horizontalnom i vertikalnom pravcu. Pošto se klapna sastoji od krivolinijski oblikovanog lima debljine 8 mm zaključeno je da ovako mala debljina lima (zbog velikog izvijanja) ne može bitno uticati na formiranje podužne

krutosti segmentnog zatvarača. Iako sama konstrukcija klapne nije geometrijski modelovana uticaj mase klapne od 11 tona je uzet u obzir unošenjem u model 8 tačkasto koncentrisanih masa od 1,375 tona. Ove mase su na modelu simetrično raspoređene po čvorovima koji obrazuju gornju ivicu zaustavnog lima.

Tabela 2. Rezultati merenja na levoj "ruci" [11]

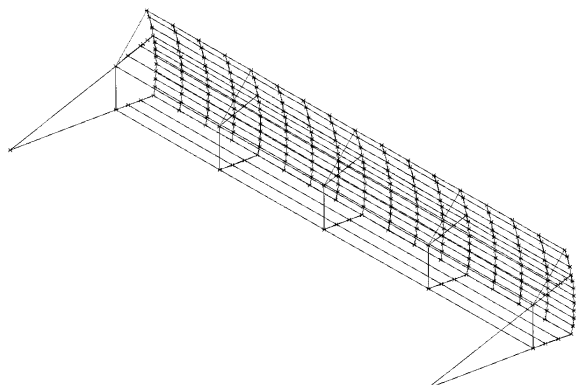
Kota gornje vode (m.n.m.)	Kota donje vode (m.n.m.)	Položaj segmenta (m.n.m.)	Efektivna vrednost vibracionog pomeranja ( $\mu\text{m}$ )	Sumarna vrednost vibracionog pomeranja ( $\mu\text{m}$ )	Frekvencija (Hz)
73,95	72,83	73,80	2,265	10,6	2,31250
		73,70	3,804	10,8	4,71875
		73,60	61,149	65,8	2,43750
		73,50	40,295	37,6	2,31250
		<b>73,40</b>	<b>71,414</b>	<b>72,6</b>	<b>2,34375</b>
		73,30	65,347	66,2	2,25000
		73,20	4,567	12,3	3,46875

Tabela 3. Rezultati merenja na desnoj "ruci" [11]

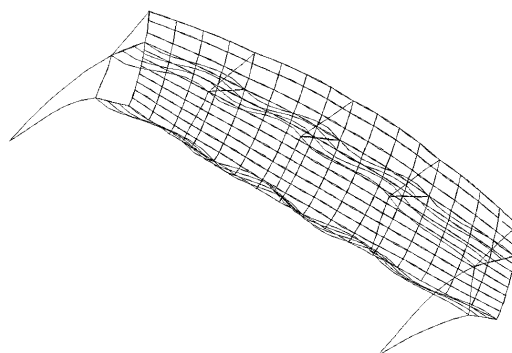
Kota gornje vode (m.n.m.)	Kota donje vode (m.n.m.)	Položaj segmenta (m.n.m.)	Efektivna vrednost vibracionog pomeranja ( $\mu\text{m}$ )	Sumarna vrednost vibracionog pomeranja ( $\mu\text{m}$ )	Frekvencija (Hz)
73,95	72,83	73,80	2,639	11,1	4,28125
		73,70	2,743	11,1	4,12500
		73,60	47,041	48,8	2,43750
		73,50	48,170	58,9	2,31250
		<b>73,40</b>	<b>72,531</b>	<b>82,3</b>	<b>2,34375</b>
		73,30	66,341	81,7	2,25000
		73,20	4,938	12,2	3,46875

## E I G E N V A L U E S   A N D   F R E Q U E N C I E S

MODE NUMBER	EIGENVALUE (RAD/SEC)**2	CIRCULAR FREQ (RAD/SEC)	FREQUENCY (CYCLES/SEC)	PERIOD (SEC)
1	.178133E+03	.133466E+02	2.124185	.470769
2	.672761E+03	.259376E+02	4.128105	.242242
3	.123016E+04	.350737E+02	5.582145	.179143
4	.160383E+04	.400479E+02	6.373814	.156892
5	.204496E+04	.452212E+02	7.197180	.138943
6	.218672E+04	.467623E+02	7.442458	.134364
7	.219988E+04	.469029E+02	7.464823	.133962
8	.230812E+04	.480429E+02	7.646271	.130783
9	.239009E+04	.488886E+02	7.780857	.128521
10	.250640E+04	.500640E+02	7.967934	.125503



Slika 3. Matematički model segmentnog zatvarača ustave "Stajićevo" [3], [11], [12]

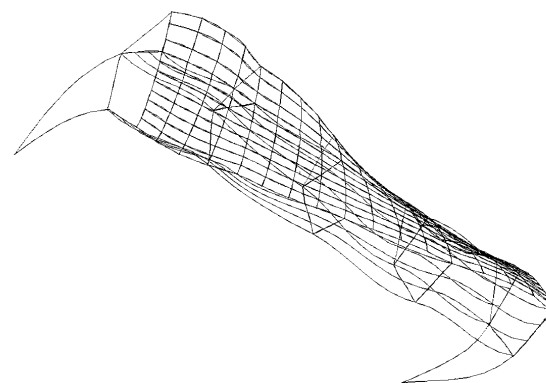


Slika 4. Deformisani oblik konstrukcije segmentnog zatvarača ustave "Stajićevo" za prvi ton [3], [11], [12]

Na formiranom modelu proračunate su sopstvene frekvencije konstrukcije segmentnog zatvarača. Dobijene vrednosti sopstvenih frekvencija za prva dva tona od 2,124 i 4,128 Hz su bile bliske izmerenim vrednostima frekvencija odziva konstrukcije segmentnog zatvarača pri dejstvu spoljašnje pobude. Analiza deformisanog oblika konstrukcije za prvih deset tonova je pokazala da je konstrukcija segmentnog zatvarača izuzetno osetljiva na torziju oko horizontalne ose koja prolazi kroz ležišta "ruku". Dobijeni oblici deformacije za prva dva tona dati su na slikama 4 i 5.

Korišćenjem izmerenih vrednosti pomeranja kao i matematičkog modela konstrukcije segmentnog zatvarača prikazanog na slici 2 formiran je matematički model konstrukcije segmentnog zatvarača izložen uticaju prinudne sile (slika 6). Prinudno opterećenje koje deluje na konstrukciju segmentnog zatvarača je modelovano tako da zadovoljava sledeće uslove [3], [11], [12]:

1. Pravac i smer prinudnog opterećenja opisuje pravac i smer **hidrostatičkog** pritiska na konstrukciju zaustavnog lima segmentnog zatvarača pri merenju u kome su zabeležena najveća pomeranja mernih tačaka.
2. Modelovano prinudno opterećenje svojim intenzitetom delovanja izaziva pomeranja koja su jednaka najvećim pomeranjima izmerenim na konstrukciji u mernim tačkama.
3. Frekvencija prinudnog opterećenja je jednaka frekvenciji izmerenog odziva konstrukcije za merenje tokom koga su zabeležena najveća pomeranja mernih tačaka.

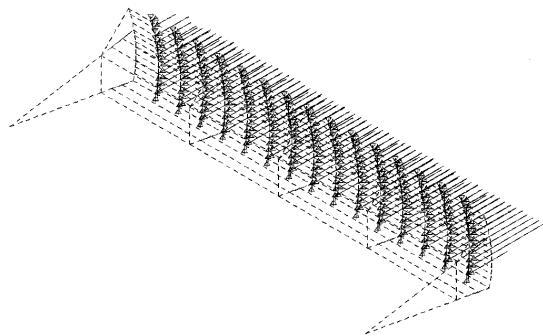


Slika 5. Deformisani oblik konstrukcije segmentnog zatvarača ustave "Stajićevo" za drugi ton [3], [11], [12]

Postupak formiranja matematičkog modela je obuhvatio sledeće korake:

1. Za svaki čvor na modelu zaustavnog lima segmentnog zatvarača je (u skladu sa kotama gornje vode i krune preliva kod merenja u kome su zabeležena najveća pomeranja mernih tačaka na "rukama" segmentnog zatvarača) određena veličina hidrostatičkog pritiska.
2. Ovako proračunato hidrostatičko opterećenje je zamenjeno ekvivalentnim koncentrisanim silama koje deluju u čvorovima modela.
3. U čvorovima po celoj visini zaustavnog lima duž njegove leve i desne ivice ne deluje nikakvo opterećenje (ove ivice su na objektu zatvorene betonskom konstrukcijom tela ustave i gumenim dihtunzima).

4. Pošto je segmentni zatvarač projektovan tako da rezultanta hidrostatičkog opterećenja u poprečnom preseku uvek prolazi kroz osu ležišta "ruku" to su ekvivalentne koncentrisane sile modelovane tako da zadovolje isti uslov.



Slika 6: Šema delovanja ekvivalentnih koncentrisanih sila [3], [11], [12]

Dobijeni matematički model segmentnog zatvarača izložen dejstvu ekvivalentnih koncentrisanih sila (slika 6) jeste model hidrodinamičkog opterećenja koje deluje na konstrukciju u uslovima rada koji su postojali pri jednom merenju i može se koristiti za proučavanje veličina pomeranja samo u dva merna čvora konstrukcije. On predstavlja dinamički "podoban" model na kome su procenjeni efekti nekih od mogućih mera za ublažavanje dejstva vibracija na objekat ustave "Stajicevo"<sup>2</sup>. Analiza efekata mera za ublažavanje vibracija je obuhvatila sledeće korake:

1. Radi smanjenja najvećih pomeranja u mernim čvorovima su na postojećoj konstrukciji segmentnog zatvarača dodati novi konstruktivni elementi (ploče ili štapovi) ili je pak povećana krutost nekih od postojećih elemenata.
2. Povećana krutost postojećih kao i krutost novododatih elemenata određena je iz uslova da pomeranja u mernim čvorovima budu svedena na pomeranja koja postoje pri frekvencijama odziva konstrukcije bliskim sračunatoj sopstvenoj frekvenciji konstrukcije za drugi ton (reda veličine oko 3 mikrometara). U postupku proračuna iskorišćen je matematički model konstrukcije segmentnog zatvarača izložen dejstvu prinudene sile (slika 6).
3. Proračun sopstvenih frekvencija konstrukcije segmentnog zatvarača nakon sprovedenih mera

sanacije obavljen je korišćenjem matematičkog modela prikazanog na slici 3.

4. Zaključeno je da se pravilno odabranim merama sanacije može povećati sopstvena frekvencija prvog tona i drastično smanjiti pomeranja u mernim tačkama konstrukcije. U realnim uslovima rada konstrukcija segmentnog zatvarača će i dalje biti izložena pojavi vibracija, ali će nastala pomeranja biti dovoljno mala da ne izazovu efekte opisane u uvodu.

Precizni odgovori o ponašanju konstrukcije pri frekvencijama prinudnog opterećenja bliskim sopstvenim frekvencijama drugog i viših tonova se primenom opisanih matematičkih modela ne mogu dati. Pošto su efekti prigušenja vibracija kod viših tonova po pravilu izraženiji, ublažavanje intenziteta vibracija u području prve sopstvene frekvencije mora predstavljati primarni zadatak svake razmatrane metode sanacije.

### 3. VIBRACIJE SEGMENTNOG ZATVARAČA NA OBJEKTU USTAVE "NOVI BEČEJ" [13]

Vibracije segmentnog zatvarača na ustavi "Novi Bečej" su zabeležene odmah nakon njenog puštanja u rad [13]. Utvrđeno je da do vibracija segmentnog zatvarača dolazi prilikom pojave vakuuma u prostoru između donje površine prelivnog mlaza i konstrukcije dela zatvarača preko koga voda preliva. Podpritisak koji se u tom prostoru javljao istovremeno je "lepio" prelivni mlaz za telo zatvarača i uvlačio vazduh ispod toka vode. Opisani proces se ritmički ponavljao izazivajući vibracije segmentnog zatvarača. Naknadno sprovedene analize su pokazale da je ovazdušenje neophodno pri svim položajima segmentnog zatvarača kod koga je njegova najviša tačka (kota krune preliva) iznad kote vode u Magistralnom kanalu. U svim slučajevima kada je kota krune preliva segmentnog zatvarača ispod kote vode u Magistralnom kanalu odnosno sa njom se poklapa ovazdušenje mlaza vode pri upuštanju vode iz Tise nije potrebno. Na segmentnom zatvaraču ustave "Novi Bečej" je po celoj dužini krune preliva urađena konstrukcija za ovazdušenje (fotografija 4). Potrebni presek dovodnih cevi je određen iz uslova da maksimalna dozvoljena brzina vazduha u njima ne sme biti veća od 50 m/sec pri proticaju prelivanja vode iz reke Tise u Magistralni kanal od 60 m<sup>3</sup>/sec. Na osnovu ovakvih uslova usvojena je dovodna cev unutrašnjeg prečnika od 310 mm. Na ulaznom delu (i na jednom i na

<sup>2</sup> U metodi identifikacije parametara sistema, pod pojmom dinamički "podobnog" modela podrazumeva se dinamički model čiji parametri pri analizama daju rešenja saglasna sa rezultatima na realnom objektu.



drugom kraju segmentnog zatvarača) cev je zaštićena čeličnom rešetkom radi sprečavanja upada stranih tela u nju. Nakon izrade konstrukcije za ovazdušenje na ovoj ustavi više nije dolazilo do pojave vibracija segmentnog zatvarača.



Fotografija 4: Segmentni zatvarač na ustavi "Novi Bečej" sa prikazom konstrukcije za ovazdušenje

#### 4. ZAVRŠNE NAPOMENE I ZAKLJUČCI

Uporedni prikaz rezultata eksperimentalne dinamičke analize segmentnog zatvarača srednjeg polja ustave "Tomaševac" [9], [13], [14] i segmentnog zatvarača sa klapnom ustave "Stajićevo" [3], [10], [12] dat je u tabeli 4.

Oblik deformacije segmentnog zatvarača srednjeg polja ustave "Tomaševac" za drugi ton i oblik deformacije segmentnog zatvarača sa klapnom ustave "Stajićevo" za prvi ton su slični. Razlika u obliku deformacija za prvi ton između ova dva zatvarača najverovatnije proističe iz činjenice da segmentni zatvarač ustave "Stajićevo" poseduje klapnu koja ga u dovoljnoj meri ukrućuje da spreči pojavu savijanja u podužnom pravcu (pogotovu u slučaju kada klapna leži na telu segmentnog zatvarača oslonjena na posebno oblikovana ležišta na njegovim "rukama"). Frekvencije oscilovanja za prva dva tona su kod oba zatvarača slične u granicama odstupanja manjim od 2 %.

Obavljena istraživanja pokazuju da segmentni zatvarači predstavljaju veoma složene dinamičke sisteme. Rezultati merenja i sprovedene numeričke analize, kao i iskustva sa održavanja ovakvih objekata omogućuju formiranje preporuka za projektovanje [13]:

1. Treba težiti da svetla širina otvora ustave bude što manja odnosno da se tokovi velikih širina pregrađuju sa više manjih prelivnih polja (na segmentnim zatvaračima postavljenim na prelivnim poljima širine 12 metara na objektima HS – DTD nije uočena pojava vibracija).
2. Izgradnjom više prelivnih polja sa manjim segmentnim zatvaračima postiže se lakše i preciznije manipulisanje proticajima.
3. Umesto lanaca za podizanje i spuštanje segmentnih zatvarača poželjnije je koristiti hidrauliku.

Tabela 4: Uporedan prikaz rezultata merenja na objektima ustava "Stajićevo" i "Tomaševac" [13]

Redni broj	Karakteristika koja se poredi	Segmentni zatvarač srednjeg polja ustave "Tomaševac" [9]	Segmentni zatvarač sa klapnom ustave "Stajićevo" [11]
1.	Širina svetlog otvora ustave:	24,5 metara	24,5 metara
2.	Konstrukcija zatvarača:	Segmentni zatvarač (sa tri stepena slobode pomeranja)	Segmentni zatvarač sa klapnom (sa tri stepena slobode pomeranja)
3.	Mehanizam za podizanje:	Galovi lanci	Galovi lanci
4.	Uslovi pri kojima najčešće dolazi do pojave vibracija	Isticanje	Prelivanje i isticanje
5.	Sopstvene frekvencije		
	Prva sopstvena frekvencija:	2,125 Hz	2,124 Hz
	Druga sopstvena frekvencija:	4,1875 Hz	4,128 Hz
6.	Oblik deformacije segmentnog zatvarača		
	Za prvi ton:	Savijanje	Torzija
	Za drugi ton:	Torzija	Torzija
7.	Denivelacije gornje i donje vode pri kojima su se vibracije pojavljivale	Od 1,84 do 2,87 metara.	Od 1,30 do 2,86 metara.

Ukoliko je segmentni zatvarač manjeg podužnog raspona lakše je ostvariti povećanje njegove krutosti. To se odražava na povećanju sopstvenih frekvencija njegovih prvih tonova i na smanjenju pomeranja u čvorovima konstrukcije pri delovanju hidrodinamičkog opterećenja. Preciznija manipulacija proticajima bi predstavljala uzgredan, ali ne i manje važan efekat ovakvog pristupa projektovanju. Postojanje hidrauličkih uređaja za podizanje i spuštanje u znatnoj meri smanjuje deformaciju segmentnog zatvarača koja nastaje usled torzije.

#### LITERATURA

- [1] Bharagava, V.P., Narasimhan. S.: *Pressure Fluctuations on Gates*, Journal of Hydraulic Research, Vol. 27, pages 215 – 231, 1989.
- [2] Blevins, R.D.: *Flow-Induced Vibration*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1977.
- [3] Folić, R., Popović, E.: *Model for Describing of Increased Segmental Valve Vibrations in "Stajicevo" Sluice Gate*, Bulletins for Applied & Computer Mathematics BAM – 1974 / 2002 (XCIX), pages 136 – 144, Budapest, 2002.
- [4] www: *Hydraulic Design of Navigation Dams*, Engineer Manual No. 1110 – 2 – 1605, US Army Corps of Engineers, Washington DC, 12 May 1987 (novembar 2005).
- [5] Ishii, N., Knisely, C.W.: *Shear Layer Dynamics and Unsteady Discharge Beneath a Long Span Gate Undergoing Streamwise Vibrations*, HYDROCOMP '89 (Edited by Maksimović Č. and Radojković M.), pages 500 – 509, Elsevier Applied Science, London and New York, 1989.
- [6] Ishii, N., Knisely, C.W., Nakata, A.: *Coupled-Mode Vibration of Gates with Simultaneous Over and Underflow*, Journal of Fluids and Structures, 8, pages 445 – 469, 1994.
- [7] Ishii, N., Knisely, C.W.: *Flow-Induced Vibration of Shell-Type Long-Span Gates*, Journal of Fluids and Structures, 6, pages 681 – 703, 1992,
- [8] Ishii, N., Knisely, C.W., Nakata, A.: *Field Study of a Long-Span Shell-Type Gate Undergoing Flow-Induced Vibrations*, Journal of Fluids and Structures, 9, pages 19 – 41, 1995,
- [9] *Ispitivanje dinamičkih parametara srednjeg segmentnog zatvarača ustave "Tomaševac"*, oznaka 2000 420000 2718 – 6567690, Vojnotehnički institut, Beograd, 2005.
- [10] *Izveštaj o ispitivanjima ustave Stajicevo*, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, 1973.
- [11] Popović, E.: *Dijagnostika stanja konstrukcije brane sa segmentnom ustavom metodama dinamičke analize*, Magistarski rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1998.
- [12] Popović, E., Đorđević, R., Gajin S., Folić R.: *Model za opisivanje povišenih vibracija segmentnog zatvarača ustave Stajicevo i predlog sanacije*, časopis "Izgradnja" broj 11, stranice 446 – 450, Beograd, 2001.
- [13] Popović, E.: *Razvoj modela održavanja ustava sa segmentnim zatvaračima na primeru Hidrosistema Dunav – Tisa – Dunav*, Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2007.
- [14] Popović, E, Folić, R.: *Rezultati eksperimentalnog istraživanja nivoa vibracija na ustavi "Tomaševac"*, časopis "Vodoprivreda" broj 225 – 227, godina 39, stranice 31-46, januar – jun 2007 / 1 – 3.
- [15] *Ustava i prevodnica Stajicevo-glavni projekat građevinskih radova*, I deo, Knjiga II-grafički prilozi, Hidrozavod, Novi Sad, 1964.



VIBRATION OF SLUICES "TOMAŠEVAC", "STAJIĆEVO" AND "NOVI BEČEJ"  
OF THE DANUBE-TISZA-DANUBE [DTD] HYDROSISTEM

by

dr Emil POPOVIĆ, dipl.inž.građ.  
Public Water Management Company "Vode Vojvodine" Novi Sad

Prof. dr Radomir FOLIĆ, dipl.inž.građ.  
Faculty Of Technical Sciences Novi Sad

Summary

An increasing level of vibrations of segment gates has been noted at the sluices "Tomaševac", "Stajićevo" and "Novi Bečej". The authors measured the intensity of vibrations of the sluices "Tomaševac" and "Stajićevo", and on the basis of these measurements, a mathematical model was proposed for the "Stajićevo" segment gate, in order to depict the structure's behaviour. Based on measurement that included the largest amplitudes of displacement and through the method of identification of the system's parameters, the model of the structure's behaviour in real working conditions was developed. Dynamic load was introduced into the model that in the

measuring points leads to the same critical displacement under the same working and measuring conditions. The suggested rehabilitation measures were analysed by such a model. The results were compared with the results of investigation on the sluices "Tomaševac". For the first two models the shapes of deformations are very similar, whereas the vibrations of the sluice "Novi Bečej" are caused by the appearance of vacuum between the water jet and the segment gate.

Key words: Segment gate, segment gate with cover, vibrations, design recommendations

Redigovano 05.06.2008.