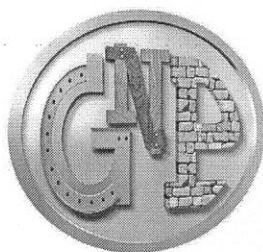




**UNIVERZITET CRNE GORE
GRAĐEVINSKI FAKULTET
U PODGORICI**

**TREĆI INTERNACIONALNI NAUČNO-STRUČNI SKUP
*GRAĐEVINARSTVO - NAUKA I PRAKSA***



ZBORNİK RADOVA

ŽABLJAK, 15-19. FEBRUARA 2010.

Kniga 1 **ISBN 978-86-82707-18-9**
Kniga 2 **ISBN 978-86-82707-19-6**

Izdavač

UNIVERZITET CRNE GORE
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Za izdavača

Prof.dr Duško Lučić

Urednik

Prof.dr Duško Lučić

Uređivački odbor

Prof.dr Duško Lučić

Doc.dr Miloš Knežević

Mr Biljana Šćepanović

Mr Mladen Gogić

Mr Strahinja Pavlović

Tehnički urednici

Goran Pavlović

Mr Biljana Šćepanović

Priprema za štampu

Goran Pavlović

Štampa

Štamparija Publikum, Beograd

Tiraž

400 primjeraka

CIP – Каталогизacija у публикацији
Централна народна библиотека Црне Горе, Цетиње

624(082)

69(082)

ИНТЕРНАЦИОНАЛНИ научно–стручни скуп

"Грађевинарство – наука и пракса" (3 ; 2010 ; Жабљак)

Zbornik radova / Treći Internacionalni naučno–stručni skup

Грађевинарство – наука и пракса, Жабљак, 15–19. фебруара 2010. ;

[organizator Грађевински факултет Универзитета Црне Горе ;

urednik Duško Lučić]. – Podgorica : Univerzitet Crne Gore,

Грађевински факултет, 2010

(Beograd : Publikum). – 2 knj. (1848 str.) : graf. prikazi, tabele ; 24 cm

Ćir. i lat. – Tekst na više jezika. – Tiraž 400. –

Bibliografija uz sve radove. – Rezimeji na više jezika.

ISBN 978-86-82707-18-9 (Knj. 1)

ISBN 978-86-82707-19-6 (Knj. 2)

a) Грађевинарство – Зборници

COBISS.CG-ID 15315472



**INTERNACIONALNI NAUČNO-STRUČNI SKUP
GRAĐEVINARSTVO - NAUKA I PRAKSA**

ŽABLJAK, 15-19. FEBRUARA 2010.

Vujadin Aleksić¹

**METODOLOŠKI PRISTUP UTVRĐIVANJA UZROKA I
POSLEDICA VETROM SRUŠENOG ČELIČNOG VODOTORNJA**

Rezime

U radu je dat metodološki pristup sa programom utvrđivanja uzroka vetrom srušenog čeličnog vodotornja sa ciljem dobijanja novih informacija za naredna pouzdanija projektovanja i konstruisanja čeličnih vodotornjeva.

Ključne riječi

Čelični vodotoranj, ispitivanja, havarija.

**THE METHODOLOGICAL APPROACH FOR THE
DETERMINATION CAUSES AND CONSEQUENCES OF THE
WIND DAMAGED STEEL WATER TOWER**

Summary

This paper presents the methodological approach with the program for the determination of the cause of wind damaged steel water tower with the aim of obtaining new information for next more reliable steel water tower planning and designs.

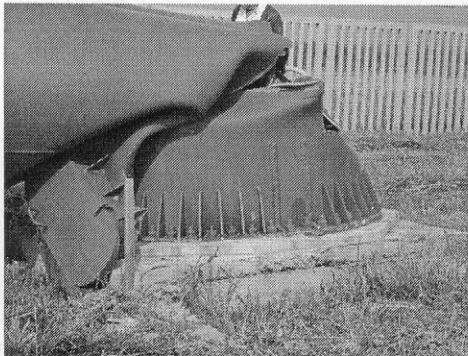
Key words

Steel water tower, testing, breakdowns.

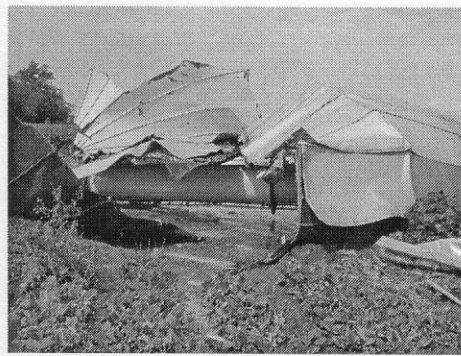
¹ *mr, dipl. inž. rud., IWE, Institut za ispitivanje materijala IMS, Bulevar vojvode Mišića 43, 11000 Beograd, Srbija, vujadin.aleksic@institutims.rs*

1. UVOD

Čelični vodotornjevi, [1,2], rade na otvorenom i izloženi su raznim spoljnim uticajima, između ostalih kiselim padavinama i olujnom vetru. Zamor materijala i korozija započeli su na mnogim objektima i ustanovljeno je veće ili manje stanjenje debljine zida. Na nekima su pronađene i greške. Havarija čeličnog vodotornja zbog nepoštovanja specifičnih eksploatacionih uslova, uputstva za rukovanje i održavanje, veoma je izvesna. Radi ilustracije na sl.1 prikazana je havarija čeličnog vodotornja kao posledica olujnog nevremena i vetra.



a) lom vodotornja u korenu stuba



b) lom rezervoara zbog pada vodotornja

Slika 1. Lom vodotornja kao posledica olujnog nevremena i vetra

2. UZROCI I POSLEDICE DEGRADACIJE MATERIJALA I HAVARIJA ČELIČNIH VODOTORNJEVA

Najveći broj mehanizama i posledica štete na metalu mogu se predvideti na osnovu eksploatacionih uslova. Ipak, neke od njih je teško otkriti, a mogu prouzrokovati ozbiljna oštećenja za veoma kratko vreme.

Prema učestalosti nastajanja havarija, odnosno oštećenja, a utvrđivanjem stanja, uzroci degradacija su zamor, duktilni lom, korozija materijala. Takve pojave su bazirane na greškama u proračunu, projektovanju i konstruisanju, greškama u proizvodnji i montaži, nepredviđenim uslovima eksploatacije i radne sredine.

Uprkos brojnim načinima zaštite zbog izloženosti spoljnim uticajima, korozija čeličnih vodotornjeva je neizbežna. Ona se javlja u različitim oblicima kao što je opšta korozija sa jednakim gubitkom debljine zida ili piting korozija kojoj odgovara lokalno smanjenje debljine zida. To vodi pogoršanju nosivosti čeličnog vodotornja što ugrožava vodosnabdevanje, objekte, pa čak i ljudske živote.

Stručnom ocenom dobijenih rezultata kontrole i ispitivanja havarisanih delova vodotornja, utemeljenom na velikom fondu znanja i iskustva o ponašanju materijala, trajnosti i funkcionalnosti opreme, mogu se izvesti odgovarajući zaključci o uzrocima i posledicama havarije čeličnog vodotornja.

3. PROGRAM UTVRĐIVANJA UZROKA I POSLEDICA HAVARIJE ČELIČNOG VODOTORNJA

Pravljenje programa utvrđivanja uzroka i posledica havarije čeličnog vodotornja zahteva stručnu i detaljnu analizu:

- zakonske regulative za ovu vrstu konstrukcije,
- informacija o meteorološkim prilikama mesta na kojem se nalazio vodotoranj na dan i sat kada se havarija desila (informacija dobijena od sopstvene ili najbliže meteorološke stanice,
- informacije o količini i nivou vode u vodotornju u trenutku havarije (informacija iz dnevnika o eksploataciji ili baze podataka o automatskom praćenju eksploatacionih uslova),
- fotografija havarisanih i polomljenih elemenata konstrukcije, kao i cele konstrukcije koja je pala, sa što više detalja, naročito mesta na kojima se desio lom,
- proračunsku, projektnu i konstrukcionu dokumentaciju čitavog objekta sa upotrebnom dozvolom,
- svu potrebnu dokumentaciju o postrojenju, pouzdane šeme procesa i tehnološki opis rada uređaja, uključujući i podatke koji se odnose na eksploataciju (uputstva za rukovanje, održavanje, periodične preglede, nepredviđeni zastoji, oštećenja, sanacije itd.);
- utvrđenog plana kontrole i ispitivanja (opseg, kritična mesta, mesta uzrokovanja ...);
- metoda za ispitivanja bez razaranja (izbor, postupci i tehnike, nadzori, oprema, osoblje, dokumentacija),
- dimenzionisanja pronađenih grešaka;
- karakterizacije grešaka (metalurško ispitivanje);
- prethodnih sanaciju i tehnologija izvođenja sanacija,
- procene i otklanjanja grešaka,
- praćenja (monitoringa) ponašanja greške/grešaka u eksploataciji.

Bavljenje opisanom problematikom zahteva interdisciplinarno znanje iz različitih oblasti – hemije, mašinstva, fizike, metalurgije i tribologije. Samo organizovan i uređen pristup kao i razvijen smisao za timski rad daju zadovoljavajuće rezultate i pouzdane odgovore o uzrocima i posledicama havarije čeličnog vodotornja.

Na osnovu programa utvrđivanja uzroka i posledica havarije čeličnog vodotornja definiše se plan kontrole i ispitivanja.

4. KONTROLE I ISPITIVANJA RADI UTVRĐIVANJA UZROKA I POSLEDICA HAVARIJE ČELIČNOG VODOTORNJA

Da bi se utvrdili uzroci i posledice vetrom srušenog vodotornja potrebna je ocena stanja havarisanog vodotornja, koju treba da prate određena ispitivanja metodama bez razaranja. Kontrola i ispitivanje metodama bez razaranja havarisanih nosećih elemenata konstrukcije vodotornja mora pratiti proces fotodokumentacije pre, u toku i posle ispitivanja kao i priprema površina ispitivanja.

Sve greške, bilo da su ugrađene ili nastale pri eksploataciji, a koje bi mogle biti uzrokom havarije, potrebno je kontrolom i ispitivanjem registrovati.

Pre početka ispitivanja havariisanog vodotornja potrebno je detaljno se upoznati sa tehničkom dokumentacijom čeličnog vodotornja, izvršiti kategorizaciju oštećenja, utvrditi kriterijume prihvatljivost i ustanoviti stepen prioriteta kontrole i ispitivanja za svaki deo konstrukcije.

Pravilno planirano ispitivanje, odabir metoda za ispitivanje bez razaranja, povezanost metoda i metalurških ispitivanja provedenih na uzorcima na terenu i u laboratoriji radi karakterizacije greške te visokostručnog pristupa i procene stanja havariisanog objekta predstavljaju okvir utvrđivanja uzroka i posledica havarije čeličnog vodotornja.

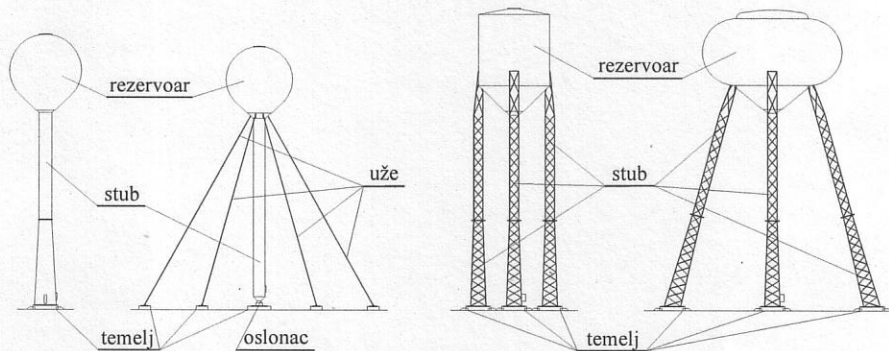
S obzirom da je većina vodotornjeva u Srbiji proizvedena sedamdesetih godina, kad sadašnje znanje i dostignuća iz oblasti metalurgije, kontrole i ispitivanja u vezi sa uslovima eksploatacije nisu bila razvijena, uz poseban naglasak na ISO-standarde 9001 do 9004 i sigurnost postrojenja te pooštrene zakonske mere i pravne procedure radi zaštite korisnika i životne sredine (a i krivične odgovornosti jer su ovo objekti kod kojih je havarijski lom presudan za sigurnost korisnika i okoline) moramo upozoriti da ispitivanja izvode sertifikovane ustanove, opremljene adekvatnim osobljem i akreditovanim laboratorijama.

5. ANALIZA HAVARISANIH ELEMENATA ČELIČNIH VODOTORNJEVA

Na osnovu podataka dobijenih kontrolom i ispitivanjima, u svrhu utvrđivanja uzroka i posledica havarije čeličnog vodotornja, pristupa se analizi elemenata čeličnih vodotornjeva.

Analiza treba da obuhvati uticaj uzroka havarije na temelje i oslonce, užad, stub ili stubove i sam rezervoar čeličnog vodotornja kao i posledice nastale havarijom.

Na sl. 2 prikazana su neka rešenja vodotornjeva s obzirom na oblik i konstrukciju [3,4], sa elementima za analizu posle havarije.

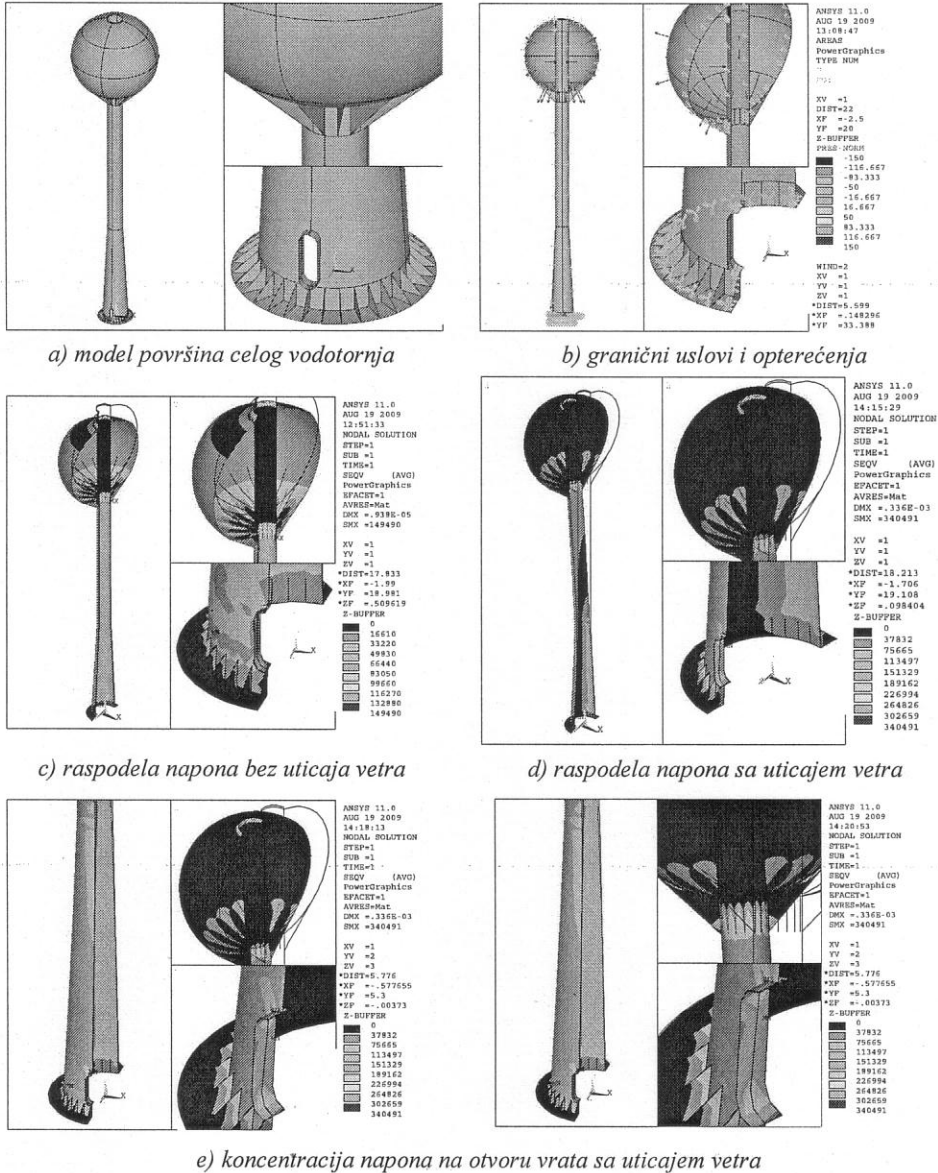


Slika 2. Različite konstrukcije izvedbe vodotornjeva sa elementima za analizu

Potrebno je izvršiti i analizu uticaja položaja i veličine otvora na stubovima i rezervoaru vodotornja na uzrok i posledicu havarije. Parametri eksploatacije koji direktno utiču na čvrstoću konstrukcije takođe moraju biti predmet ove analize.

6. KONTROLNI PRORAČUN I SIMULACIJA HAVARIJE VETROM SRUŠENOG VODOTORNJA

Na osnovu podataka dobijenih kontrolom, ispitivanjima i analizom havarisanih elemenata čeličnog vodotornja pristupa se kontrolnom proračunu i simulaciji havarije vetrom srušenog vodotornja. Radi ilustracije na sl.3 prikazan je model i proračun metodom konačnih elemenata (MKE) vodotornja od 500 m³.



Slika 3. Grafički prikaz proračuna čeličnog vodotorlja MKE

Klasičan proračun [5], potrebno je ilustrovati statičkim i dinamičkim proračunom naponskog stanja i simulacijom havarije, primenom MKE.

Nakon analize uticaja eksploatacionih parametara na konstrukciju vodotornja pristupa se proveru debljine zida rezervoara, stabilnosti vodotornja, proračunu ukupne mase vodotornja. Tom prilikom je potrebno uraditi statički i dinamički proračun naponskog stanja primenom metode konačnih elemenata, da bi se videla raspodela napona usled uticaja svih opterećenja prisutnih u uslovima eksploatacije.

Zbog izraženog dinamičkog opterećenja vodotoranj je potrebno proračunati na dejstvo vetra za poznato područje eksploatacije i ružu vetrova. Takođe je važno proveriti uticaj otvora vrata na cevnom stubu, kao i ostalih otvora na stubu i rezervoaru vodotornja, za poznate uslove eksploatacije, zbog izražene koncentracije napona u uslovima dinamičkog opterećenja.

7. ZAKLJUČAK

Nepravilno održavanje vodotornjeva sa aspekta zaštite za sobom povlači veoma skupe sanacije, pa s tim u vezi potrebno je utvrditi preventivne mere i veoma temeljno istražiti pitanja zaštite, trajnosti i održavanja vodotornja, naročito stuba/stubova i rezervoara i mogućnosti praćenja čvrstoće vodotornja u eksploataciji [6].

S tim u vezi potrebna je ocena stanja stuba/stubova i rezervoara vodotornja ugroženih spoljnim uticajima nakon dugotrajnog korišćenja, koju treba da prate određena ispitivanja metodama bez razaranja, radi utvrđivanja stvarnog stepena oštećenja, a nakon toga preduzimanja odgovarajućih mere u funkciji sanacije kritičnih oštećenja i degradacije materijala.

U slučajevima havarije čeličnog vodotornja potrebno je sistematskim ispitivanjima, kontrolama, analizama i proračunima, a na osnovu programa utvrđivanja uzroka i posledica havarije, doneti odgovarajuće zaključke u cilju dobijanja novih informacija za naredna pouzdanija projektovanja i konstruisanja čeličnih vodotornjeva.

LITERATURA

- [1] Report on project "Water tower with cable of 200-500 m3 volume", Institute GOŠA, Belgrade, 2000.
- [2] Report on project "Water tower without cable of 200-500 m3 volume", Institute GOŠA, Belgrade, 2001.
- [3] V. Aleksić, M. Arsić, Z. Anđelković: Prilog analizi izbora čeličnog vodotornja u funkciji parametara eksploatacije, 6. Međunarodno savetovanje o dostignućima elektro i mašinske industrije DEMI, Banja Luka, 2003.
- [4] V. Aleksić, M. Arsić, Z. Anđelković: Izbor čeličnog vodotornja u zavisnosti od uslova eksploatacije, 3. skup o konstruisanju, oblikovanju i dizajnu KOD, Novi Sad, 2004.
- [5] Standard JUS M.E2.250...
- [6] V. Aleksić: Metodološki pristup utvrđivanja preventivnih mera u cilju sprečavanja havarija na čeličnim vodotornjevima, 30. stručno-naučni skup sa međunarodnim učešćem VODOVOD I KANALIZACIJA '09, Drvengrad 07.10-10.10.2009, Zbornik radova.