

ANALIZA RIZIKA U SLUČAJU HAVARIJE REZERVOARA ZA VAZDUH U RHE BAJINA BAŠTA RISK ANALYSIS IN THE CASE OF AIR STORAGE TANK FAILURE AT RHPP BAJINA BAŠTA

Originalni naučni rad / Original scientific paper
UDK /UDC: 621.311.21
Rad primljen / Paper received: 12.12.2017

Adresa autora / Author's address:

¹ University of Belgrade, Innovation Centre of the Faculty of Mech. Eng., Belgrade, Serbia, email: ivucetic@mas.bg.ac.rs

² Hydropower Plant Bajina Basta, EPS, Serbia

³ University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, Serbia

Ključne reči

- matrica rizika
- rezervoar za vazduh
- preklopni zavareni spoj
- RHE Bajina Bašta

Izvod

Analiziran je rizik u slučaju havarije rezervoara za vazduh u RHE Bajina Bašta. Primenjen je postupak određivanja matrice rizika, odnosno, kombinacije verovatnoće (učestanosti) događaja i posledice po ljude, okolinu, i po samo postrojenje. Analiza je pokazala da u slučaju relativno male verovatnoće događaja, i velikih posledica, postoji srednji rizik, koji zahteva pažljivo praćenje stanja rezervoara, kao i preduzimanje svih ostalih mera predupređenja havarije.

UVOD

Po raspoloživom energetskom potencijalu i raspoloživoj veličini akumulacionog prostora, reka Drina se nalazi na prvom mestu među našim vodotocima. Drina je veoma bogata vodom, ali je režim njenih voda neujednačen. Varijacije proticaja u toku godine su znatne, a takođe i kolebanja ukupnog protoka vode u pojedinim godinama. Rešenje ovog problema moglo bi se postići jedino izgradnjom akumulacija. Izgradnja nekih predviđenih akumulacionih postrojenja otežana je zbog većeg obima plavljenja i ekonomskih problema koji iz toga proističu. Kod RHE postrojenja ovaj problem je blaži jer se pogodnim izborom mesta za izgradnju akumulacije van većih naselja i dolina obim plavljenja znatno smanjuje. Ovo i čitav niz drugih pogodnosti uticali su da se za izgradnju prvog reverzibilnog postrojenja izabere RHE Bajina Bašta.

RHE Bajina Bašta radi u sklopu postojeće HE Bajina Bašta i predstavlja proširenje postojećeg postrojenja, čime se energetske karakteristike HE Bajina Bašta dopunjuju u toj meri da se od protočnog postrojenja dobija novo modifikovano postrojenje sa vrlo visokom fleksibilnošću, velikom garantovanom snagom i velikom količinom akumulisane energije.

Analizirajući u celini mogućnosti i rad postojeće HE Bajina Bašta koja nakon revitalizacije ima snagu od 420 MW i proizvodnju u srednje vlažnoj godini od 1630 mil. kWh, mogu se izvući najbitniji zaključci koji se sastoje u sledećem:

- HE Bajina Bašta je jedna od najekonomičnijih elektrana u Srbiji, ali je po karakteru protočna hidroelektrana, što

Keywords

- risk matrix
- air storage tank
- lap joint
- Reversible Hydropower Plant Bajina Bašta

Abstract

The paper presents the risk analysis of an air tank failure at RHPP Bajina Bašta. The applied procedure involves the determination of the risk matrix, i.e. the combined probability (frequency) of events and consequences to humans, the environment, and the facility itself. The analysis has shown that in case of very low probability and severe consequences the risk is medium, and as such requires careful monitoring of the state of the tank, as well as taking all other failure prevention measures.

znači da u jednom delu godine kada su proticaji na Drini mali, nije u stanju da razvije punu snagu od 420 MW, odnosno, da ravnomerno po mesecima i danima proizvodi električnu energiju. U tom malovodnom periodu, proizvodnja HE Balina Bašta dopunjuje se prvenstveno sa termoelektranom (TE).

- HE Bajina Bašta ima relativno veliki akumulacioni bazen, koji se nalazi u kanjonu Drine. Zapremina ove akumulacije iznosi 320 mil. m³. Od te zapremine 200 mil. m³ se koristi za rad HE Bajina Bašta (puni se kada naiđu velike vode). Međutim, ove mogućnosti su ograničene, jer se u ovom jezeru može „akumulirati“ količina od 30 mil. kWh, što je jedva dovoljno da se izravna proizvodnja u periodu od mesec dana.
- HE Bajina Bašta je u dosadašnjem radu gubila u proseku svake godine 150-200 mil. kWh zbog svog protočnog karaktera, odnosno, zbog preliivanja viška vode. Osim toga, u toku noći i u periodu kada su vode na Drini velike, dispečer je teškom mukom uspevao da plasira energiju proizvedenu u HE Bajina Bašta potiskujući proizvodnju TE i raspoređujući gubitke preliiva voda preko brana između protočnih elektrana koje pripadaju sistemu Srbije (HE Đerdap, HE Bajina Bašta, HE Zvornik i HE Potpeć).

Da bi Reverzibilna hidroelektrana Bajina Bašta mogla da ispuni sve gore navedene zahteve koje pred nju postavlja Elektroenergetski sistem Srbije, mora biti pogonski spremna. To znači da u svakom momentu njeni agregati moraju biti tehnički spremni za pokretanje u pumpnom ili u generatorskom režimu rada što zavisi od zahteva Elektroenergetskog sistema.

Gornja akumulacija RHE Bajina Bašta ima veoma male prilike koje je prirodno pune tako da njen rad zavisi od rada pumpi, odnosno, od rada agregata u pumpnom režimu kojim se puni gornja akumulacija da bi se kasnije električna energija dobijala od generatorskog režima rada agregata.

Zbog velike snage agregata od 310 MW, u pumpnom režimu nije moguće pokrenuti agregat na uobičajen način pokretanja pumpi. Agregat se pokreće sinhronom metodom startovanja tipa 'back to back'. To znači da ga pokreće agregat snage 105 MW iz stare protočne HE Bajina Bašta. Kako je agregat za pokretanje tri puta manje snage od agregata RHE koji se pokreće u pumpnom smeru, potrebno je stvoriti uslove za to pokretanje. Glavni uslov je da se iz prostora radnog kola reverzibilnog agregata potisne voda udruvanjem vazduha pod pritiskom koji mora biti raspoloživ sa datom zapreminom i pritiskom u svakom momentu.

Za proizvodnju potrebnog vazduha pod pritiskom u reverzibilnoj hidroelektrani na koti 220 m.n.v. u Mašinskoj zgradi je urađena kompresorska stanica dimenzija 14 × 13 × 5,5 m. U njoj su smeštena četiri kompresora snage 130 kW koji proizvode vazduh pritiska 80 bara, koji se skladišti u dva rezervoara zapremine po 13 m³ fabričkih oznaka 970 i 971. Rezervoari su izrađeni od čelika Nioval 50 i zbog svojih dimenzija ubačeni su u Mašinsku zgradu u toku izgradnje Mašinske zgrade, a pre betoniranja plafonske ploče u kompresorskoj stanici. Zbog svoje zapremine od 2 × 13 m³ i pritiska od 80 bar, razvrstani su u *Posude pod pritiskom visokog rizika opasnosti* i zahtevaju posebne periodične preglede i ispitivanja u skladu sa Pravilnikom o opremi pod pritiskom.

Tokom prvih unutrašnjih pregleda primećena je pojava tačkaste korozije na unutrašnjim površinama rezervoara br. 970 u koji je direktno spojena cev od potiska kompresora. Uzrok korozije je verovatno sistem komprimovanog vazduha koji ulazi u rezervoar sa temperaturom 50°C i sadrži vlagu iz vazduha i kiseline nastale raspadanjem i sagorevanjem ulja za podmazivanje kompresora tokom kompresije. Po nalogu Inspektora za Opremu pod pritiskom urađeno je radiografsko snimanje svih zavarenih spojeva na rezervoarima kada su otkrivene „nedozvoljene“ greške u zavarima, 1/3-. Da bi se dobila dozvola za dalju upotrebu rezervoara, bilo je potrebno angažovati stručnu Instituciju za davanje ocene podobnosti za dalju upotrebu rezervoara. To je uradio Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu koristeći osnovne zakone mehanike loma i na osnovu tog izveštaja Inspektor je dao saglasnost za dalju upotrebu rezervoara uz nalog za praćenje grešaka tokom periodičnih pregleda opreme pod pritiskom. U skladu sa pravilima struke i naloga Inspektora OPP, prate se greške da bi se predupredila havarija, odnosno, eksplozija posude, koja bi imala katastrofalne posledice.

MATERIJALI I METODE

Kada se posmatra realizacija neželjenog događaja, u ovom slučaju eksplozija rezervoara komprimovanog vazduha, posmatra se intenzitet mogućih posledica na ljude, imovinu, životnu okolinu i reputaciju kompanije. U predloženom modelu smo kombinacijom kvalitativnog i kvantitativnog

pristupa predložili procenu potencijalnih posledica na sledeći način:

Potencijalni efekti na ljude

1. Nema povreda ili zdravstvenih efekata
2. Male povrede ili zdravstveni efekti (slučajevi prve pomoći ili medicinske pomoći). Ne utiče na performanse, manje povrede kože i ekstremitete, blagu nadraženost organa za disanje i mukoznih membrana, koji se vraćaju u normalu nakon prestanka izlaganja i ne ostavljaju nikakve zdravstvene posledice.
3. Lakša povreda ili manji efekti na zdravlje koji se mogu potpuno eliminisati. Ne utiče na sposobnost rada, bolničko odsustvo do 3 radna dana. Povrede kože, sluzokože, respiratornih organa i udova, koji se nakon lečenja do 3 dana vraćaju u normalu, bez trajnih posledica.
4. Ozbiljnije povrede ili efekti na zdravlje sa trajnim posledicama (smanjeni radni kapacitet). Uticaj na sposobnost rada, odsustvo sa posla više od 3 radna dana. Povrede kože, sluzokože, respiratornih organa i udova koji zahtevaju medicinsko lečenje i bolovanje (odsustvo) više od 3 dana (teže: opekotine, trovanja, prelomi i povrede).
5. Permanentna invalidnost. Neizlečiva zdravstvena oštećenja bez gubitka života. Stalna oštećenja vitalne fizičke i mentalne funkcije, respiratorne, vida, gubitak delova tela ili ekstremiteta sa potpunim gubitkom radne sposobnosti.
6. Smrt ili ozbiljne povrede sa smrtnim ishodom. Smrt na licu mesta, povrede, trovanja, i drugi dugoročni štetni uticaji na zdravlje sa naknadnom smrću.

Potencijalne posledice na imovinu

1. Bez oštećenja imovine.
2. Minorne posledice. Bez prekida proizvodnje. (Šteta do 10,000 EUR).
3. Manje posledice. Kratak prekid procesa proizvodnje (1-3 sata). (Šteta 180.000 – 540.000 EUR).
4. Srednje posledice. Delimično isključivanje postrojenja (Gubitak 540.000 – 1,800.000 EUR, 3-10 sati).
5. Velike posledice. Delimičan gubitak procesa proizvodnje, na pr. prekid proizvodnje u trajanju od 2 nedelje. (Gubitak 18,000.000 do 50,000.000 EUR).
6. Katastrofalne posledice. Značajan ili totalan gubitak proizvodnje. (Šteta preko 50,000.000 EUR).

Potencijalne posledice na reputaciju firme

1. Bez posledica.
2. Beznačajne posledice. Postoji svest među zaposlenima i stanovništvu, ali nema zabrinutosti. Na primer, lokalno stanovništvo zna za događaj od zaposlenih.
3. Male posledice. Postoji zabrinutost svih kategorija zanimanja na lokalnom nivou. Na primer, lokalni list objavio je vest o incidentu.
4. Umerene posledice. Postoji zabrinutost i reakcija svih kategorija interesovanja na regionalnom nivou. Na primer, regionalni mediji su izvestili o incidentu.
5. Velike posledice. Postoji zabrinutost i reakcija svih kategorija stanovništva na nacionalnom nivou. Na primer, nacionalni mediji su izvestili o incidentu.
6. Ogromne posledice. Postoji zabrinutost i reakcija na međunarodnom nivou.

U ovom radu predlažemo kvalitativno-kuantitativni pristup u proceni učestalosti događaja u 5 kategorija:

- Zanemarljiva – nije se nikad desilo u rezervoarima vazduha (u svetu) (A).
- Mala – desilo se na rezervoarima vazduha u svetu (B).
- Umerena – desilo se u kompaniji ili nekoliko puta godišnje u svetu (C).
- Srednja – dešavalo se u posmatranom delu kompanije (D).
- Velika – dešavalo se nekoliko puta godišnje u posmatranom delu kompanije (E).

Pravilo pri proceni ukupnog rizika je: ako ima više posledica (ljudi, imovina, životna sredina, reputacija) sa različitim stepenom rizika – rizik usvaja najviši nivo.

U momentu eksplozije svi koji bi se u tom momentu našli u prostoriji bi nastradali od posledica vazdušnog udara, bila bi uništena oprema za upravljanje kompresora, a delimično i sami kompresori, a takođe i deo opreme za

regulaciju i upravljanje hidroagregatom R1 koji je od kompresorske stanice odvojen samo remontnim vratima, koja bi zbog natpritiska u prostoriji bila otkinuta i bačena na orman regulatora agregata R1.

Indirektna šteta bio bi totalni zastoj reverzibilne hidroelektrane čiji jedan sat rada u vršnom opterećenju po ceni KWh u europiku donosi 180 hiljada EUR, sa posledicama koje bi anulirale sve ono zbog čeka je reverzibilna hidroelektrana i napravljena, a što je navedeno u prvom delu izlaganja.

Posle havarije elektrana ne bi mogla da radi u pumpnom smeru, što znači da bi neoštećeni agregat R2 mogao samo da isprazni zatečeni sadržaj gornje akumulacije do tehničkog minimuma radeći u generatorskom smeru.

Pumpanje bi bilo onemogućeno zbog nedostatka vazduha pod pritiskom za start pumpnog agregata, a bez pumpanja nema ni punjenja akumulacije, odnosno, kasnije generatorskog rada.

Tabela 1. Matrica rizika.

| | Potencijalne posledice | | | | Frekvencija događaja | | | | |
|---|-------------------------|---------------------------------------|--|--|----------------------|------|----------------------|---------|--------|
| | Ljudi | Imovina | Životna sredina | Reputacija | A | B | C | D | E |
| | | | | | Zanemarljiva | Mala | Umerena | Srednja | Velika |
| 0 | Nema povreda | Nema gubitka | Nema oštećenja | Nema povreda | | | | | |
| 1 | Beznačajne povrede | Gubitak do 10 hiljada EUR | Malo oštećenje okoline | Beznačajne posledice. Postoji svest među zaposlenima i stanovništvu. | MALI RIZIK | | | | |
| 2 | Male povrede | Gubitak 180.000 do 540.000 EUR | Umerene posledice. Manje oštećenje okoline. Manja investicija. | Male posledice. Postoji zabrinutost na lokalnom nivou. | | | | | |
| 3 | Ozbiljne povrede | Gubitak od 540.000 do 1,8 miliona EUR | Srednje posledice. Ograničeno oštećenje okoline (finansijska investicija). | Umerene posledice. Postoji zabrinutost na regionalnom nivou | | | SREDNJI RIZIK | | |
| 4 | Permanenta nesposobnost | Gubitak od 1,8 do 50 miliona EUR | Velike posledice. Ozbiljne štete za okolinu. Velike investicije. | Srednje posledice. Postoji zabrinutost na nacionalnom nivou. | | | | | |
| 5 | Smrt | Gubitak preko 50 miliona EUR | Ogromne posledice. Dugotrajno i značajno oštećenje okoline. Ogromne investicije. | Ogromne. Postoji zabrinutost i reakcija na međunarodnom nivou. | | | VELIKI RIZIK | | |

Vreme zamene postojeća dva rezervoara, koji bi bili isečeni i izbačeni iz kompresorske prostorije i kasnije ubacivanje tri manja rezervoara ukupne zapremine $3 \times 9 \text{ m}^3$ koji mogu da prođu kroz vrata i pored opreme da uđu u kompresorsku prostoriju, bilo bi minimum mesec dana uz prethodnu dobru pripremu svih detalja transporta.

Samo vreme projektovanja i izrade novih rezervoara trajalo bi do godinu dana, tako da je potrebno što pre nabaviti tri nova rezervoara, jer ako bi analize primenom mehanike loma pokazale dalju neupotrebljivost, rezervoari treba hitno da se zamene.

ZAKLJUČAK

Na osnovu prikazane analize rizika, može da se zaključi sledeće:

Učestalost: desilo se da eksplodira rezervoar vazduha u svetu - B. Potencijalne posledice (za ljude) je da neko pogine ili se jako ozbiljno povredi. Ljudi: 5B - srednji rizik.

Kada se procenjuje šteta po okolinu, za posmatrani događaj bi bila 1B (nema rizika), a šteta po reputaciju kompanije se procenjuje kao 4B - srednji rizik.

Na ovaj način, ukupni rizik se određuje kao najveći uočeni rizik i u posmatranom slučaju, to je 5B (za ljude i imovinu).

LITERATURA – REFERENCES

1. Sedmak, A., Primena mehanike loma na integritet konstrukcija (in Serbian, *Structural Integrity Applications of Fracture Mechanics*), University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, 2003.
2. Sedmak, A., Sedmak, S., Milović, Lj., Pressure Equipment Integrity Assessment by Elastic-Plastic Fracture Mechanics Methods, Society for Structural Integrity and Life, 2011.
3. Sedmak S. (Ed.), Fundamentals of Fracture Mechanics and Structural Integrity Assessment Methods, monograph from the Tenth Int. School of Fracture Mechanics, IFMASS 10, Univ. of Belgrade, Faculty of Mech. Eng., Faculty of Techn. and Metal., Society for Struc. Integ. and Life, 2009.

© 2018 The Author. Structural Integrity and Life, Published by DIVK (The Society for Structural Integrity and Life 'Prof. Dr Stojan Sedmak') (<http://divk.inovacionicentar.rs/ivk/home.html>). This is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](#)



Podsećamo vas da su detaljnije informacije o radu DIVK dostupne na Internetu <http://divk.org.rs> ili/or

We remind you that detailed information on the activities of DIVK are located on the Internet

INTEGRITET I VEK KONSTRUKCIJA

Zajedničko izdanje

Društva za integritet i vek konstrukcija (DIVK) i Instituta za ispitivanje materijala

STRUCTURAL INTEGRITY AND LIFE

Joint edition of the Society for Structural Integrity and Life and the Institute for Materials Testing

<http://divk.org.rs/ivk> ili/or <http://divk.inovacionicentar.rs/ivk/home.html>

Cenovnik oglasnog prostora u časopisu IVK za jednu godinu

Pomažući članovi DIVK imaju popust od 40% navedenih cena.

Advertising fees for one subscription year—per volume

DIVK supporting members are entitled to a 40% discount.

| Kvalitet*Quality | Dimenzije * Dimensions (mm) | Cene u din. | EUR |
|---|---------------------------------|-------------|-----|
| Kolor*Colour | • obe strane * two pages 2xA4 | 40.000 | 700 |
| | • strana * page A4/1 | 25.000 | 450 |
| Dostava materijala: CD (Adobe Photoshop/CorelDRAW) Submit print material: CD (Adobe Photoshop/CorelDRAW) | | | |
| Crno/belo*Black/White | • strana * page A4/1 | 12.000 | 250 |
| | • ½ str A4 * 1/2 page A4(18x12) | 8.000 | 150 |
| Dostava materijala: CD (Adobe Photoshop/CorelDRAW) Submit print material: CD (Adobe Photoshop/CorelDRAW) | | | |