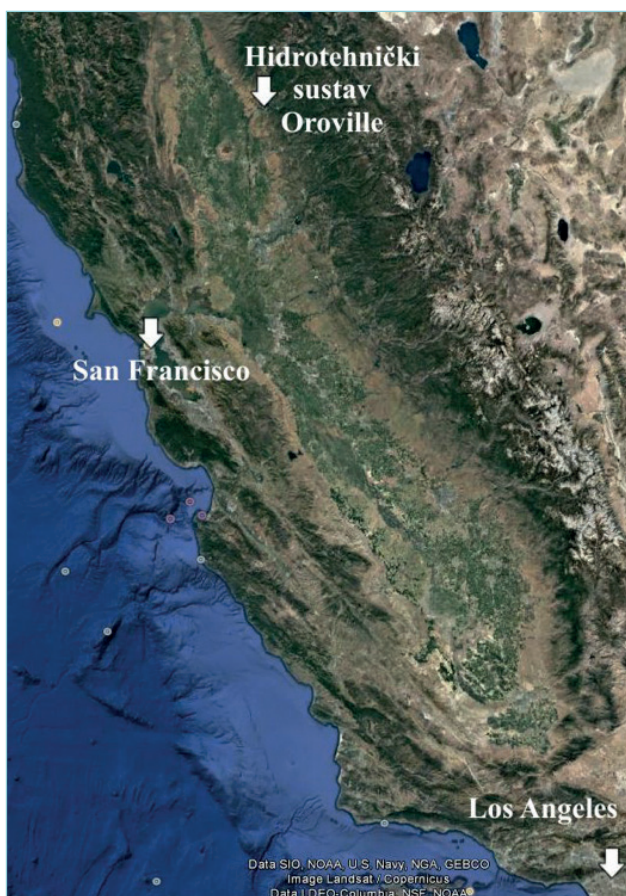


INCIDENT NA PRELJEVIMA BRANE OROVILLE

prof. emerita Tanja Roje-Bonacci, dipl. ing. grad.

1. HIDROTEHNIČKI SUSTAV OROVILLE

Hidrotehnički sustav Oroville se nalazi u Kaliforniji, sjeveroistočno od San Franciska, ispod Sierra Nevade, na sjeveroistočnom rubu doline Sacramento (slika 1). Ovaj višenamjenski hidrotehnički sustav služi za obranu od poplava, navodnjavanje (oko 306.000 ha), vodoopskrbu za 20–25 milijuna stanovnika i proizvodnju električne energije (tri elektrane s mogućnošću reverzibilnog rada, ukupno 645 + 114 + 3 = 762 MW instalirane snage) (slika 2).



Slika 1: Položaj sustava Oroville



Slika 2: Hidrotehnički sustav Oroville

Brana Oroville s istoimenim jezerom (maksimalne zapremine 4.363.537 km³), ključna je građevina sustava. To je nasuta brana visine 235 metara (kota krune, 278 m n.m.), dužine u kruni 2109 m, najviša brana u SAD-u. Građena je između 1963. i 1968. godine.

Slično kao i brana Peruča (1953. – 1958.), blago je zakrivljena da se spriječi rastezanje jezgre i stvaranje vlačnih pukotina u njoj. Najviša, računski dozvoljena visina vode u jezeru je na koti 271 m n.m. (slika 3). Predviđeno je da tijekom zime i ranog proljeća jezero ima slobodnu zapreminu od najmanje 1 km³ za kontrolu poplava.



Slika 3: Brana Oroville s preljevima i pribranskom pumpno-reverzibilnom elektranom (Google-Earth)

U desnom boku nalazi se preljev koji se sastoji od dva dijela. Kontrolirani, bočni preljev sastavljen je od 8

preljevni polja u koje se voda kontrolirano usmjerava. Dno preljeva je na koti 256,3 m n.m., s najvećim protokom od 4200 m³/s. Ispod preljevni polja slijedi brzotok, dužine oko 1 km, na čijem su dnu razbijači energije (slika 4).



Slika 4: Bočni preljev brane Oroville, s razbijačima energije, nakon oštećenja 7. veljače 2017. godine (California Department of Water Resources; Kelly M. Grow, 07. 02. 2017.)

Nastavno od ovog preljeva nalazi se preljev za slučaj nužde. Izveden je kao gravitacijska betonska brana dužine 530 m, najveće visine 9,1 m, krune hidraulički oblikovane za prelijevanje, s neuređenim slapištem (bolje rečeno bez slapišta). Ovaj preljev počinje djelovati kada razina vode u jezeru dosegne kotu 275 m n.m, tj. kada voda u jezeru dosegne razinu od 3 m ispod krune brane. Tada se preko ovog zida-brane može nekontrolirano prelijevati 8500 m³/s. Od trenutka stavljanja sustava u pogon, 1968. godine, ovaj preljev nikada nije radio. Slapište je potpuno neodržavano, obraslo grmljem i drvećem (slike 3 i 4).

Voda iz jezera se još može ispuštati kroz turbine elektrane u količini od 480 m³/s i kroz temeljni ispust u količini od 150 m³/s (FERC, 2005.).

Sustavom se upravlja temeljem službenog priručnika (ACE Oroville Dam Reservoir Regulation

Manual) iz 1970. godine. Bitne odrednice Priručnika odnose se na obranu od poplava. Utvrđeni su prostori u jezeru potrebni za zadržavanje viška vode u vlažnim dijelovima godine (FOR, 2005.; Sabalow i Furillo, 2017.).

1.1 Geologija područja

Prema raspoloživim geološkim kartama, razmatrano područje izgrađuju ofioliti Smartvillia, sastavljeni od sivih, boranih i izrazito listićavih metamorfni stijena, nastalih metamorfozom eruptivaca pri izdizanju morskog dna tijekom nastajanja gorja Sierra Nevada. (Bressan, 2017.).

Metamorfne stijene predstavljaju općenito nezahvalnu okolinu za građevinske zahvate. One su izrazito borane i raspucale uslijed tektonskih poremećaja. Tekstura im je listićava s oslabljenim područjima sklonim klizanju i lomljenju. Spadaju u meke stijene. U slučaju nagnute površine i djelovanja vode mogu kliznuti velike mase ovakvih stijena.

Pregledom fotografija (slika), nakon oštećenja glavnog preljeva, mogle su se uočiti promjene u boji stijenske mase. Naime, metamorfne stijene su osjetljive na djelovanje vode i sklone trošenju i eroziji. Napredovanje trošenja očituje se u promjeni boje stijene. Čini se da je tokom vremena dolazilo do infiltracije vode iz slapišta u stijensku masu, što je dovelo do promjena njenih fizičko-mehaničkih svojstava. Postepena erozija podloge slapišta očito je stvorila prazan prostor ispod betona, koji nije pravodobno uočen.

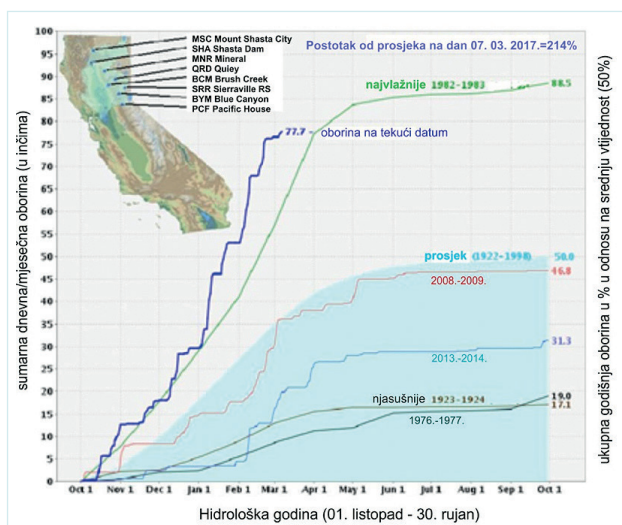


Slika 5: Geološki sastav tla jugozapadno od brane-ofioliti Smartvillia (California Department of Water Resources; Kelly M, Grow; 13. 2. 2017.)

1.2 Hidrološke prilike od 7. veljače 2017. na dalje

U noći od 6. na 7. veljače započela je kiša. Kako se očekivao nastavak oborina 7. veljače je započelo ispuštanje vode iz jezera (oko 1550 m³/s) preko kontroliranog preljeva. Razina vode u jezeru je u tom trenutku bila na koti 268 m n.m., 10 m ispod krune

brane. Prema dostupnim podacima može se pokazati da je ovo bila vrlo vlažna godina i da su oborine koje su nastavile padati iza 7. veljače bile neuobičajeno visokog intenziteta (slika 6) (CA.GOV, 2017.a).

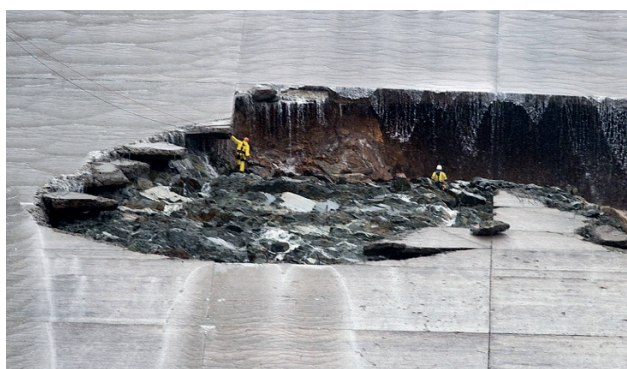


Slika 6: Sumarne krivulje oborina za 8 kišomjernih postaja na sjevernoj Sierra Nevadi (CA.GOV, 2017.b)

Da bi se kontrolirao očekivani dotok u jezero, bilo je potrebno sniziti razinu vode u jezeru brzinom od 15 cm/h, kroz očekivano razdoblje intenzivnih oborina.

2. OŠTEĆENJA PRELJEVA

Očekivano kišno razdoblje iza 6. veljače 2017. godine zahtijevalo je, prema uputama iz Priručnika o upravljanju sustavom, pražnjenje jezera da bi se osigurao prostor za nadolazeći dotok. Voda je puštena 7. veljače ujutro kroz bočni preljev. Neposredno nakon ispuštanja primijećen je neobični oblak vodene prašine iznad preljeva. Zrakom su letjeli i komadi betona i kamena. Preljevanje je zaustavljeno. Uočeno je znatno oštećenje betona slapišta približno na sredini brzotoka (slike 4 i 7). Preljevanje je zaustavljeno jer je bilo jasno da brzotok više nije u funkciji.



Slika 7: Oštećenje na sredini brzotoka u usporedbi s veličinom čovjeka (Newsmax, independent, American; Randy Pench/The Sacramento Bee, 9. 2. 2017.)

2.1 Preljev za slučaj nužde

Kako bočni preljev više nije bio u funkciji, preostalo je staviti u funkciju preljev za slučaj nužde, ako oborine ne prestanu. Ovaj preljev radi bez mogućnosti ikakve kontrole. Kada voda u jezeru dosegne kotu 275 m n.m, tj. 3 m ispod razine krune brane, voda se počne prelijevati preko ovog preljeva. Pretpostavka je bila da bi u slučaju prelijevanja voda nosila raslinje u rijeku, a što bi moglo oštetiti građevine nizvodno u sustavu (PHE Thermalito diversion). Za takav je slučaj odmah započelo čišćenje prostora, ispod interventnog preljeva, koje je bilo potpuno obraslo grmljem i drvećem. Preljevno polje zauzima površinu od oko 600 × 1000 m. Sam prostor ispod preljevne građevine nema nikakvo osiguranje od erozije za slučaj prelijevanja. Preko preljevnog polja prolazi pomoćna cesta i visokonaponski dalekovod iz pribranske hidroelektrane Hyatt. Razina vode u jezeru je nesmetano rasla do 11. veljače. Dana 11. veljače u 8 sati ujutro voda je dosegla razinu pri kojoj se, bez mogućnosti ikakvog upravljanja, aktivira interventni preljev. Kiša i dalje pada, a što se vidi na dijagramu sa slike 6 (podatci na dan 7. ožujka 2017.). S istog je dijagrama vidljivo da je u manje od prve polovice hidrološke godine ukupno palo 214 % prosječne godišnje oborine za promatrano područje. Dotok u jezero i dalje traje. Početak prelijevanja vidi se na slici 8.

Sustav brane Oroville ponovno je licenciran 2005. godine. Udruga *Friends of the River* (2005.) predlagala je tada da se prostor ispod interventnog preljeva uredi i učvrsti. Prijedlog je odbijen s obrazloženjem da je to skupo, a da interventni preljev od završetka gradnje brane (1968. godine) i onako nikad nije bio u funkciji. Tvrdilo se da su stoga na njemu i manja oštećenja tehnički i financijski prihvatljivija od troškova uređenja površine.



Slika 8: Početak rada interventnog preljeva 11. veljače 2017., voda teče i bočnim preljevom (California Department of Water Resources, Zack Cunningham, 11. 2. 2017.)

Međutim, prelijevanje je izazvalo daleko veća oštećenja od očekivanih ispod interventnog preljeva u vrlo kratkom vremenu. Uočena je velika rupa neposredno ispod betonskog zida. Pojavio se strah da

bi betonski zid preljeva mogao biti potkopan, a što bi moglo izazvati njegovo rušenje. Na slici 9 se vide posljedice erozije od 13. veljače (uništena servisna cesta), kao i udubina u desnom boku preljeva.



Slika 9: Pogled na interventni preljev i prostor ispod njega nakon prestanka prelijevanja (Randy Pench/Sacramento Bee, 13. 2. 2017.)

Na slici 10 je shematski prikaz betonskog zida preljeva i detalj rupe (sa slike 9) u tlu ispod zida. Međutim, kiša pada, a vodostaj i dalje raste.

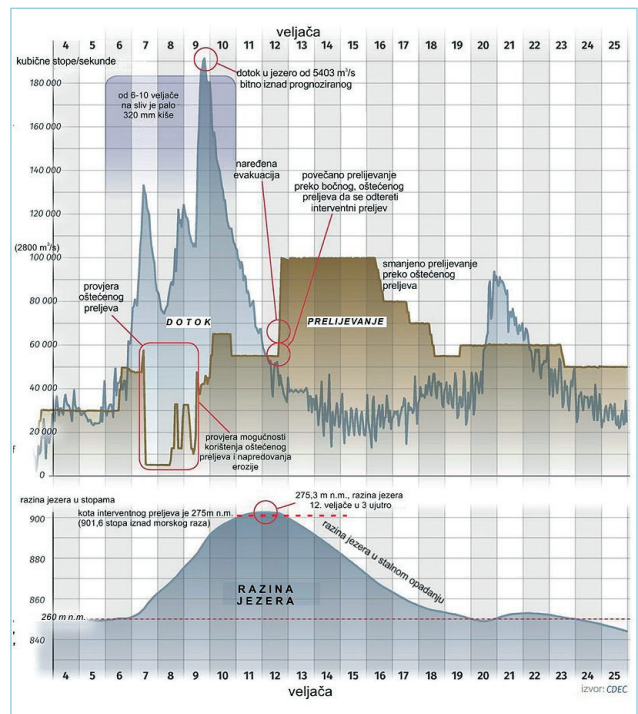


Slika 10: Udubina sa slike 9 i skica interventnog preljeva s udubinom u tlu ispod zida

2.2 Posljedice

Kako je prelijevanje preko interventnog preljeva nastavilo erodirati tlo, pojavio se strah od njegovog rušenja. Iz tog je razloga naređena evakuacija 180.000 stanovnika iz područja koje je bilo u opasnosti od katastrofalnih poplava. Da bi se izbjegla veća katastrofa, ponovo je voda puštena preko bočnog preljeva. Ovo ga je prelijevanje potpuno uništilo. Hodogram događanja s količinama dotoka i prelijevanja prikazan je na slici 11 (CDEC 2017.).

Muljni tok s područja interventnog preljeva i voda koja se prelijevala preko oštećenog bočnog preljeva odnijeli su u rijeku ogromnu količinu zemlje, kamena i betona iz područja oštećenja bočnog preljeva. Šteta je nemjerljiva.



Slika 11: Hodogram događanja na jezeru Oroville u veljači 2017. godine (cdec.water.ca.gov.)

Na slici 12 prikazan je razorni učinak prelijevanja preko oštećenog bočnog preljeva.

Nakon što je prestalo prelijevanje preko interventnog preljeva počelo se raditi na učvršćenju područja ispod interventnog preljeva da bi se mogao ponovo, ako zatreba, staviti u funkciju.

Kako je hidrotehnički sustav Oroville od bitnog značaja za život doline Sacramento u svakom pogledu, bilo je jasno da će se sustav, bez obzira na troškove, morati staviti u funkciju. Zadatak je bio osposobiti bočni preljev do početka nove kišne sezone, odnosno do 1. studenog 2017. godine i izvršiti temeljito osiguranje područja ispod interventnog preljeva, za koji je upitno kada će opet ući u funkciju, ali ga u svakom slučaju treba urediti. Napor da se bočni preljev obnovi je uspio do predviđenog datuma, međutim, troškovi su znatno premašili sva predviđanja. Prema podacima iz tiska, on za sada iznosi preko 500 mil. US \$. Najveći



Slika 12: Posljedice prelijevanja na već oštećenom bočnom preljevu nakon 11. 02. 2017. (izvor: California Department of Water Resources; Dale Kolke, 27. 02. 2017.)

nepredviđeni trošak izazvan je vrlo trošnom stijenskom masom u području bočnog preljeva. Za sanaciju tog područja bili su potrebni mnogo veći zahvati od predviđenog.

Nakon završetka rekonstrukcije i obnove bočnog preljeva, trenutno se izvode značajni radovi u prostoru ispod interventnog preljeva. Na slici 13 prikazan je vremenski slijed radova na rekonstrukciji bočnog preljeva.

Na slici 14 prikazano je pripremanje podloge za nove temelje preljeva.

Bočni preljev je, prema programu, bio spreman za funkciju 1. studenog 2017. Nastavljaju se vrlo opsežni radovi na sanaciji zida i prostora oko interventnog preljeva i prostora nizvodno od njega. ■



Slika 13: Vremenski slijed radova na obnovi bočnog preljeva (izvor: California Department of Water Resources; Kelly M. Grow; Ken James; Dale Kolke)



Slika 14: Ojačanje stijene u podlozi budućeg brzotoka (izvor: California Department of Water Resources; Kelly M. Grow; 21. 7. 2017.)

LITERATURA

- Bressan, D. (2017.): Some Geological Observations On The Oroville Dam. (<https://www.forbes.com/sites/davidbressan/2017/02/14/some-geological-observations-on-the-oroville-dam/#35823f1c9afb>)
- CA.GOV (2017.a): California Data Exchange Center – Precipitation. Northern Sierra Precipitation 8-station index
- CA.GOV (2017.b), Oroville Spillway Incident. California Department of Water Resources. (<http://www.water.ca.gov/oroville-spillway/>)
- CDEC (2017.): California Department of Water Resources (<http://www.water.ca.gov>)
- FERC (2005.): Oroville Facilities. California Department of Water Resources. FERC Project No. 2100, Federal Energy Regulatory Commission, Sacramento, CA.
- FOR (2005.): Oroville Dam: Motion to Intervene of Friends of the River, Sierra Club, and South Yuba River Citizens League. Project 2100-52.
- Sabalow, R., Furillo, A. (2017.), Oroville Dam's flood-control manual hasn't been updated for half a century. The Sacramento Bee.) (<http://www.sacbee.com>)
- <http://www.water.ca.gov/oroville-spillway/pdf/2017/Lake%20Oroville%20events%20timeline.pdf>
- <https://www.sacbee.com/news/state/california/water-and-drought/article132409939.html>