

# HIDROTEHNIČKI OBJEKTI I OKOLIŠ (4. dio)

*prof. dr. sc. Božena TUŠAR, dipl. ing.*

Pojava potresa izazvanih akumuliranjem vode u jezerima uočena je još prije drugog svjetskog rata na akumulacijama Maraton u Grčkoj 1930. (visina brane: 63 m, volumen jezera:  $41 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ), Oued Fodda u Alžiru 1933. (visina brane: 86 m, volumen jezera:  $225 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ) i Mead u Nevadi u SAD-u 1935. godine (visina brane: 221 m, volumen jezera:  $34\,852 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ). Iako su prva promatranja seizmičke aktivnosti uzrokovane akumuliranim vodom započela još 1937. godine na Hooverovoj brani u SAD-u, taj problem, odnosno odnos akumulirane vode i potresa niz godina nije bio predmet opsežnijih znanstvenih istraživanja. No, u Varšavi u Poljskoj je u rujnu 1969. godine osnovan Odbor za potrese sa zadatkom proučavanja utjecaja na brane, ali i na izazvane potrese te je predloženo da nacionalni odbori podnesu podatke o potresima. Do tada je najviše potresa izazvanih akumulacijama vode uočeno na jezerima Kremasta u Grčkoj i Mead u SAD-u.

Brana koja je stvorila jezero Kremasta u Grčkoj izgrađena je 1966. godine. Radi se o nasutoj brani visokoj 165 m kojom je na rijeci Aheloos, u seizmički aktivnom području, stvorena akumulacija volumena  $4750 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Nakon niza malih potresa, nesreća se dogodila 5. veljače 1966. godine. Tada je potres jačine  $6,3^\circ$  Richterove skale izazvao znatne materijalne štete, smrt jedne osobe i više ozljeđenih.

Hooverova brana koja je stvorila jezero Mead na granici Nevade i Arizone u SAD-u izgrađena je 1935. godine. Radi se o lučno-gravitacijskoj brani visine 221 m kojom je na rijeci Kolorado stvorena akumulacija volumena  $34,8 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ . Prema opažanjima, prvi lokalni potresi (njih oko 100!) osjetili su se već 1937. godine, a u svibnju 1939. zabilježen je potres magnitude  $5,0^\circ$ . Do 1966. godine je potresa te jačine zabilježeno je sedam, a jačine  $4,5^\circ$  jedan. Prvi seizmograf postavljen je 1937, a mreža seizmografa proširena je 1938, 1940, 1942 i 1960 godine. Mikroprocesorima u području akumulacije je od 1972. godine pokrivena mreža od 10 lokacija, a potresi magnitude manje od  $1,0^\circ$  pojavljuju se i danas (1 - 2 dnevno!) Većina epicentara je unutar granice 25 km od jezera i oni

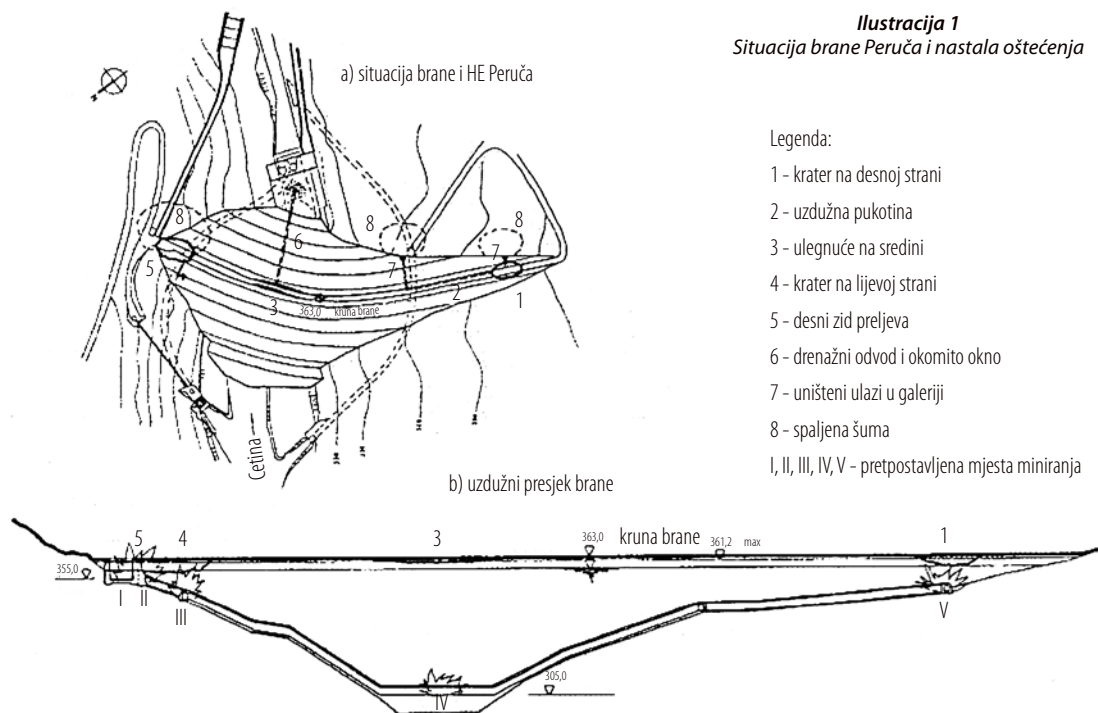
*Danas je dokazano da je pojava potresa često uzrokovana izgradnjom brane i realizacijom akumulacijskog jezera. Uz to, potresi su u uskoj vezi i s injektiranjem tekućine u podzemlje, padalinama, velikim vodnim valovima u rijeci i podzemnim nuklearnim eksplozijama.*

se pojavljuju duž značajnih pukotina i na dubinama manjim od 9,0 km.

Podaci o potresima izazvanima umjetnim akumulacijama vode u svim zemljama svijeta uzrokuju diskusije i strah pa je u kolovozu 1969. godine Organizacija Ujedinjenih naroda za obrazovanje, znanost i kulturu (UNESCO) donijela odluku o osnivanju skupine eksperata koja će proučiti taj fenomen. Radna skupina se sastala u Londonu 1970. i 1971. te u ožujku 1973. godine, kada je održan prvi međunarodni skup posvećen tom pitanju. Uz to, u rujnu 1975. godine u Banffu u Kanadi održan je Međunarodni simpozij o induciranoj seizmičnosti s temama teoretskih postavki mehanizma izazvane seizmičnosti, mehaničkih i hidrauličkih značajki stijena u vezi s izazvanom seizmičnošću, seizmičnošću i rudarstva, punjenja akumulacije i injektiranja tekućina te instrumenata za praćenje izazvane seizmičnosti. Tada je također predloženo proučavanje seizmičke aktivnosti u funkciji punjenja i pražnjenja akumulacija te utjecaja promjena razine vode na pojavu potresa.

Probleme induciranih potresa proučavali su i mnogi drugi stručni i znanstveni skupovi. Pojave događanja potresa izazvanih akumuliranjem vode dovele su i do publiciranja velikog broja radova stručnih članaka, ali i onih na granici znanstvene fantastike (što je izazvano nedovoljnim poznavanjem problema, širenjem netočnih informacija i nestručnim prepričavanjima).

Na području bivše Jugoslavije proučavane su seizmičke aktivnosti na širem području akumulacije Bileća (brana Grančarevo), za koju su postojali podaci registriranih potresa za niz od 25 godina (1965. - 1990). Raspoloživi podaci registriranih potresa sadrže: vrijeme potresa, oslobođenu



energiju i epicentralnu udaljenost u odnosu na seizmološku stanicu na kruni brane. Prvi rezultati istraživanja na brani Grančarevo u vrijeme građenja (1965. - 1967) i punjenja (1967. - 1970) prikazani su na 11. kongresu Međunarodnog povjerenstva za visoke brane (ICOLD) održanom u Madridu u Španjolskoj 1973. godine. Na tom je skupu zaključeno sljedeće: 'Nužno je da svi utjecaji i problemi vezani za izgradnju brana budu uzeti u obzir. Potrebno je da inženjeri u suradnji s ostalim zainteresiranim stručnjacima planiraju, projektiraju, grade i koriste objekte na takav način da utjecaj na okoliš i socijalni utjecaji budu uzeti u razmatranje. Isto tako kao hidrološki, geološki i ekonomski utjecaji.'

Sagledavanje utjecaja akumulacija (umjetnih jezera) na induciranu seizmičnost prikazano je na samo nekoliko primjera. U literaturi je o tim pojavama moguće doznati mnogo više jer je danas u svijetu izgrađen niz visokih brana i realizirano mnogo umjetnih jezera za različite namjene (višenamjenske akumulacije). Važno je istaknuti da je sagledavanje utjecaja umjetnih jezera na okoliš veoma složen zadatak, koji prelazi stručnost bilo kojeg pojedinca. Svaki projekt i izvedba jedinstven je i poseban slučaj.

### Brana Peruča

O nesreći koju smisli bolestan um svjedoči teroristički čin, odnosno nemili događaj od 28. siječnja 1993. godine na brani Peruča. Aktiviranjem eksploziva u kontrolnoj galeriji nasute brane

Peruča teško je oštećena ta, tada već 32-godišnja građevina (il. 1).

Brana je minirana kod vodostaja 356,20 m NM, odnosno 1,20 m više od krune preljeva, koju visinu je agresor zapornicom održavao zatvorenom i prijetio miniranjem brane. Eksplozijom na odabranim mjestima na sva tri oštećena mjesta na desnom boku, uz ulegnuća na najvišem dijelu brane i krateru na lijevom boku, počelo bi preljevanje preko krune brane uz istovremenu eroziju jezgre kroz galeriju i drenažni odvod, što je trebalo uzrokovati potpuno rušenje brane s nesaagledivim posljedicama za ljudske živote i objekte nizvodno od brane.

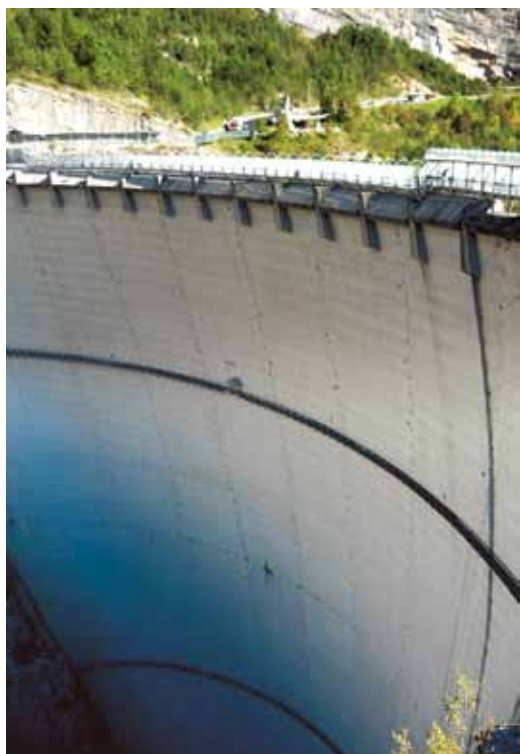
Nakon što je Hrvatska vojska preuzela kontrolu nad branom, brzom stručnom intervencijom otvoren je zatvarač temeljnog ispusta, kako bi se omogućilo sniženje vodostaja u jezeru i rasterećenje brane te je odlučeno evakuirati 3000 stanovnika najugroženijeg područja nizvodno od brane.

Radovi na sanaciji brane počeli su nakon što je HV dozvolio pristup, 29. siječnja 1993. godine, kada se tek mogla procijeniti prava šteta nastalih oštećenja. Po cijenu života posada HE Peruča i pripadnici HV-a otvorili su zatvarač pa je pražnjenje počelo s protokom oko 215 m<sup>3</sup>/s. Uz pomoć mjesnog stanovništva u oštećene dijelove brane je tijekom 3 h ugrađeno oko 3000 m<sup>3</sup> materijala što je pomoglo da se ukloni opasnost potpunog rušenja brane.

### Brana Vajont

Lučna brana Vajont u Italiji je, kada je dovršena 1959. godine, s visinom 261,6 m bila najviša na svijetu (EGE 4/2011). Bila je dio velikog hidroenergetskog sustava u slivu rijeke Piave, a 9. listopada 1963. godine u 22.39 h dogodila se strašna tragedija koja je ostavila više od 2100 mrtvih, među kojima i 54 zaposlenika hidroelektrane. Odron zemlje u akumulacijsko jezero izazvao je poplavni val koji je krunu brane premašivao za više od 100 m. Val se širio uzvodno i nizvodno, dok je brana ostala gotovo cijela, a s brzinom većom od 100 km/h zbrisao je cijela naselja. Cijelo područje danas je proglašeno parkom prirode, a samo područje i branu (koja je i dalje gotovo neoštećena!) moguće je obići turistički (il. 2 - 4).

Ilustracija 2  
Područje brane...



Ilustracija 3  
...i brana Vajont danas



**Ilustracija 4**

*Pogled s brane nizvodno (u pozadini se vidi obnovljeno naselje Longarone koje je bilo potpuno uništeno u katastrofi)*



**Ilustracija 5**

*Podsjetnik na katastrofu...*



**Ilustracija 6**

*... i kapelica koja je podignuta u spomen na stradale*



Treba reći da je brana prvotno (prema planu iz 1925. godine) trebala biti sagrađena u blizini mosta Casso, oko 1500 m uzvodno od mjesta gdje je kasnije sagrađena. U tom slučaju, kako se pretpostavlja, ne bi došlo do aktiviranja klizišta. No, već kod prvog punjenja akumulacije pokazala se pukotina i prvo klizište nastalo je 4. studenog 1960. godine. Nakon tog događaja izrađena je studija kojom su predložene mjere za sprječavanje klizanja i urušavanja, tj. njegovo zaustavljanje i/ili usporavanje. U sklopu tih mjera je kontinuirano spuštana razina vode u akumulaciji za 5 m svakih 10 dana u razdoblju studeni 1960. - siječanj 1961. godine. Tim se radovima proces klizanja i urušavanja nakratko zaustavio, a kada je razina vode dosegla 600 m NM, kao dodatna sigurnosna mjera izgrađen je obilazni tunel s desne strane doline. No, iako su poduzete mjere, kada se ponovno pristupilo snižavanju razine vode, nestabilnost je i dalje rasla, sve do trenutka katastrofe (il. 5 i 6).

Nesreća je uzrokovana naglim odronjavanjem kamenog planinskog masiva planine Toc, duljine 1,8 km i širine 1,6 km. Materijal se urušio klizeći po sloju mekane gline brzinom od 110 km/h. Volumen odronjenog materijala bio je veći od 240 milijuna m<sup>3</sup> stijenske mase i pao je u akumulacijsko jezero te zajedno s 115 mil. m<sup>3</sup> vode uzorkovao nastanak udarnog vala koji je doslovno pomeo sve pred sobom.

Spomenuto odvajanje stijenske mase od matične stijene na planini Toc i pojava tako snažnog klizišta danas je predmet brojnih hipoteza u vezi uzroka nesreće. Neke od njih su sljedeće:

- stvaranje akumulacije i promjene razine vode u akumulaciji
- prisutnost uslojene gline duž klizne plohe i oko klizne zone
- postojanje već prije aktiviranog klizišta
- geološka struktura područja
- seizmička aktivnost područja.

Katastrofa na brani Vajont je poučan primjer teške posljedice međudjelovanja čovjeka i prirode. Dogodila se zbog kombinacije nepovoljnih prirodnih geoloških značajki terena na području gradnje koji su pri realizaciji bili ignorirani. ■