

Sagovornik:
Prof. Dr. Branislav Glavatović
Direktor Seizmološkog zavoda Crne Gore

PITANJA

1. **Kakav će uticaj na seizmička kretanja imati najavljena gradnja brana na Morači?**
2. **Koliko je teren na kojem će biti građene brane „pogodan“ za seizmičke aktivnosti?**
3. **Mogu li se očekivati potresi poput onih koji su zabilježeni na području Pive nakon potapanja istoimene rijeke?**
4. **Koliko bi ti, eventualni, zemljotresi mogli da budu opasni po građane i njihovu imovinu?**
5. **Kakav je vaš stav, sa aspekta struke, o gradnji brana na Morači?**

ODGOVORI

Seizmički rizik se najčešće vezuje za građevinske objekte koji, kao stepen očekivanih šteta i gubitaka pri dejstvu zemljotresa, predstavlja produkt dva elementa: seizmičkog hazarda ili očekivanog maksimalnog prirodnog nivoa seizmičnosti, s jedne strane i stepena povrjedljivosti tog građevinskog objekta, s druge. Na nivo seizmičkog hazarda, koji je posljedica prirodnih tektonskih procesa, očigledno je da se ne može uticati, ako se izuzme dejstvo samih velikih hidrotehničkih objekata, kao što su brane i akumulaciona jezera. Savremeni pristup aseizmičkom (seizmički sigurnom) projektovanju vrlo značajnih građevinskih objekata (kao što su i brane) obuhvata niz mjera predostrožnosti i faktora sigurnosti, koji imaju za cilj minimiziranje povrjedljivosti takvog objekta u uslovima dejstva eventualnih prirodnih katastrofa, kao što su i jači zemljotresi. Smanjenjem povrjedljivosti takvih objekata, smanjuje se i rizik pri njenoj eksploataciji.

Projektovanje visokih brana u Crnoj Gori je regulisano odgovarajućim tehničkim propisima, a u uslovima povećane seizmičnosti (sedam i više stepeni tzv. Merkalijeve skale) primjenjuju se i *Pravilnik o tehničkim normativima za projektovanje i proračun inženjerskih objekata u seizmičkim područjima*. Projektovanje ovih objekata se obavlja saglasno utvrđenom nivou očekivane prirodne seizmičnosti u širem, uticajnom regionu, zatim analizi mogućih lokalnih efekata usljed dejstva zemljotresa na tlo i stijensku masu temelja brane i akumulacije, kao i proračunu maksimalno mogućeg direktnog i indirektnog dejstva buduće seizmičke aktivnosti na sam objekat brane, ali i na formiranu vodenu akumulaciju u vidu tzv. hidrodinamičkog efekta usljed njenog oscilovanja koje može nastati zbog zemljotresa.

Prema Karti seizmičke rejonizacije teritorije Crne Gore, koja je pripremljena na osnovu seizmičke aktivnosti evidentirane tokom više prethodnih vjekova, pregradna mjesta svih brana na Morači sjeverno od Raslovića, nalaze se u zoni sedmog stepena seizmičkog intenziteta, a ostatak na južnom dijelu kanjona Morače u zoni osmog stepena.



Karta seizmičke rejonizacije Crne Gore sa položajem postojećih i planiranih energetskih objekata.

Primjenom naučnih saznanja o prirodnoj sredini, a posebno u uslovima relativno niskog nivoa seizmičnosti, kao u slučaju praktično cijelog kanjona rijeke Morače, uz striktno poštovanje važećih normativa za projektovanje u datim uslovima, može se pouzdano uspostaviti sistem hidrotehničkih objekata, uz minimiziranje rizika njihove eksploatacije. Drugim riječima, aktualni stepen seizmičke aktivnosti u rejonu kanjona Morače ne predstavlja ograničavajući faktor za izgradnju brana i formiranje vještačkih akumulacionih jezera, kao ni geološki uslovi generalno posmatrano. Ipak, imajući u vidu sve prirodne uslove u kojima je predviđena izgradnja objekata na Morači, u cilju minimiziranja rizika, prije projektovanja treba vrlo ozbiljno i naučno utemeljeno sprovesti sve faze istraživanja na predviđenim lokacijama brana.

- * -

Izgradnjom hidrotehničkih objekata sa velikim akumulacijama, neminovno dolazi do stvaranja povećanih hidrostatičkih pritisaka i značajne promjene pornih pritisaka u stijenama zemljine kore. U uslovima već postojećih povećanih tektonskih napona u stijenama, dodatni naponi mogu biti "okidačka" komponenta za naglo oslobađanje seizmičke energije nastankom tzv. indukovanih zemljotresa, odnosno zemljotresa koje je zapravo stimulisala vodena masa akumulacije. Ovakav proces se manifestuje promjenom prirodnog seizmičkog režima regiona, pa je osmatranje i proučavanje ovih pojava vrlo značajno sa aspekta zaštite tih hidrotehničkih objekata i ljudskih života.

Proučavanje indukovane seizmičnosti u Svijetu je započelo šezdesetih godina, paralelno sa formiranjem brojnih velikih akumulacija. Postoji značajan broj

primjera štetnog ispoljavanja ovog vještački stimulisanog oblika seizmičnosti, kao na primjer na branama: Kojna u Indiji, Kremasta u Grčkoj, Vajont u Italiji, Kariba u Zambiji i na mnogim drugim mjestima.

Broj dobro dokumentovanih primjera egzistencije fenomena stimulisanja seizmičnosti velikim akumulacijama, do sada je prešao 200. Definitivno je utvrđeno da postoji direktna sprega između dinamike punjenja i pražnjenja akumulacije, odnosno promjene ukupne mase hidroakumulacije, s jedne i realizovane seizmičnosti u zoni akumulacije, s druge strane.

Intenzivnim istraživanjem u zonama velikih akumulacija, kao i na osnovu obimnih laboratorijskih ispitivanja, konstatovano je da se fenomen indukovane seizmičnosti gotovo redovno javlja kod velikih akumulacija u tektonski aktivnim regionima, pri čemu ta aktivnost može biti uslovljena nekim od brojnih uzroka, kao što su na primjer: ugibanje basena rezervoara i uspostavljanje novog ravnotežnog stanja stijenskih masa osnove basena, usljed punjenja akumulacije vodom, zatim punjenje akumulacije može izazvati nova aktiviranja već postojećih rasjeda u zoni akumulacije; takođe povećanje pornog pritiska u stijenama usljed punjenja akumulacije vodom ima značajnu ulogu u stvaranju uslova za aktiviranje već predisponiranih seizmogenih zona (što je posebno manifestovano kod postupaka injektiranja vode pod visokim pritiscima prilikom eksploatacije geotermalne energije) i tako dalje.

Očigledno je da su dodatni naponi u stijenskim masama, koji se formiraju punjenjem akumulacije, mali u odnosu na oslobođene napone kod većine indukovanih zemljotresa. Zbog toga se nameće opravdan zaključak da su se neposredno prije dejstva vodene mase akumulacije, stijenske mase u zoni žarišta zemljotresa već morale nalaziti u stanju koje je blisko granici njenog loma. Ovakav stav potvrđuje činjenica da se fenomen indukovane seizmičnosti vezuje samo za regione sa postojećom prirodnom seizmičnošću, odnosno evidentnom prethodnom tektonskom aktivnošću.

Prema tome, saglasno svjetskom i domaćem iskustvu u ovoj oblasti, sasvim je realno očekivati da će nakon izgradnje bilo koje visoke brane u regionu Dinarida, (kao prirodno tektonski predisponiranom) pa tako i nakon izradnje brane Andrejevo na Morači, odmah nakon prvog punjenja započeti proces indukovane seizmičke aktivnosti. No, takođe na osnovu svih dosadašnjih istraživanja, nivo te aktivnosti neće prevazići maksimalni nivo prethodne prirodne aktivnosti u toj oblasti. Odavde možemo izvući očigledan i vrlo važan zaključak – da je pouzdano utvrđivanje maksimalnog nivoa stvarne prirodne aktivnosti u regionu, od suštinskog značaja za sigurnost takvih građevinskih objekata.

- * -

Saglasno pomenutim “pravilima” kod manifestacije indukovane seizmičnosti, u završnoj fazi prvog punjenja akumulacionog jezera koje je nastalo izgradnjom brane Piva na istoimenoj rijeci na sjeverozapadu Crne Gore, započelo je stvaranje čitavih rojeva zemljotresa u cijeloj zoni akumulacije. Ovaj proces eruptivnog oslobađanja napona u stijenama u obliku većeg broja manjih zemljotresa, kulminirao je 1979.

godine (tri godine nakon izgradnje brane) poslije čega je lagano počeo da jenjava. Ovaj oblik seizmičke aktivnosti u okolini akumulacije "Piva" registrujemo u znatno manjem obliku sve do danas, 30 godina nakon njenog prvog punjenja. Najjači zemljotres koji je nastao u tom periodu u zoni brane i akumulacije i koji se može pripisati tipu indukovanih, imao je jačinu od 4.2 jedinice Rihterove skale, odnosno VI jedinica Merkalijeve skale intenziteta. Na osnovu istraživanja istorijske seizmičnosti šireg regiona Pive utvrđeno je da je očekivani maksimalni nivo zemljotresa ove oblasti 5.2 jedinice Rihterove skale, što je dakle saglasno sa prethodnim navodima o zakonomjernosti pojave indukovane seizmičnosti.

Seizmološki zavod Crne Gore je do sada, pored Pive, vršio sistematsko osmatranje i proučavanje indukovanog tipa seizmičnosti i kod druge dvije visoke brane u širem regionu – Fierze na krajnjem sjeveru Albanije (na rijeci Drim) kao i brane Grančarevo na rijeci Trebišnjici u Hercegovini (istočna Bosna i Hercegovina). U slučaju brane Fierza u Albaniji, zbog sličnosti sa branom Piva geoloških uslova u kojima je izgrađena, kao i sličnosti tipa, oblika i dimenzija ovih brana i akumulacija, rezultujuća indukovana seizmička aktivnost je bila vrlo slična sa onom koju smo opisali kod brane Piva. S druge strane, brana Grančarevo u Hercegovini, je locirana u izuzetno povoljnim geološkim uslovima u kojima je formirana i sama akumulacija, odlikuje se relativno malom visinom i plitkom akumulacijom, zbog čega gotovo da nije ni produkovala ovaj tip seizmičke aktivnosti.

- * -

Pored neposrednih štetnih efekata koje može usloviti dejstvo seizmičkih talasa zemljotresa sa hipocentrom u zoni same akumulacije, poznato je da hidrodinamička reakcija vodene akumulacije na pojavu velikih oscilovanja tla može takođe doprinijeti formiranju dodatnih naprezanja u tijelu brane, pa i njegovih djelimičnih oštećenja. Zbog toga se fenomenu hidrodinamičkih efekata vodene mase velikih vještačkih akumulacija danas pridaje velika pažnja.

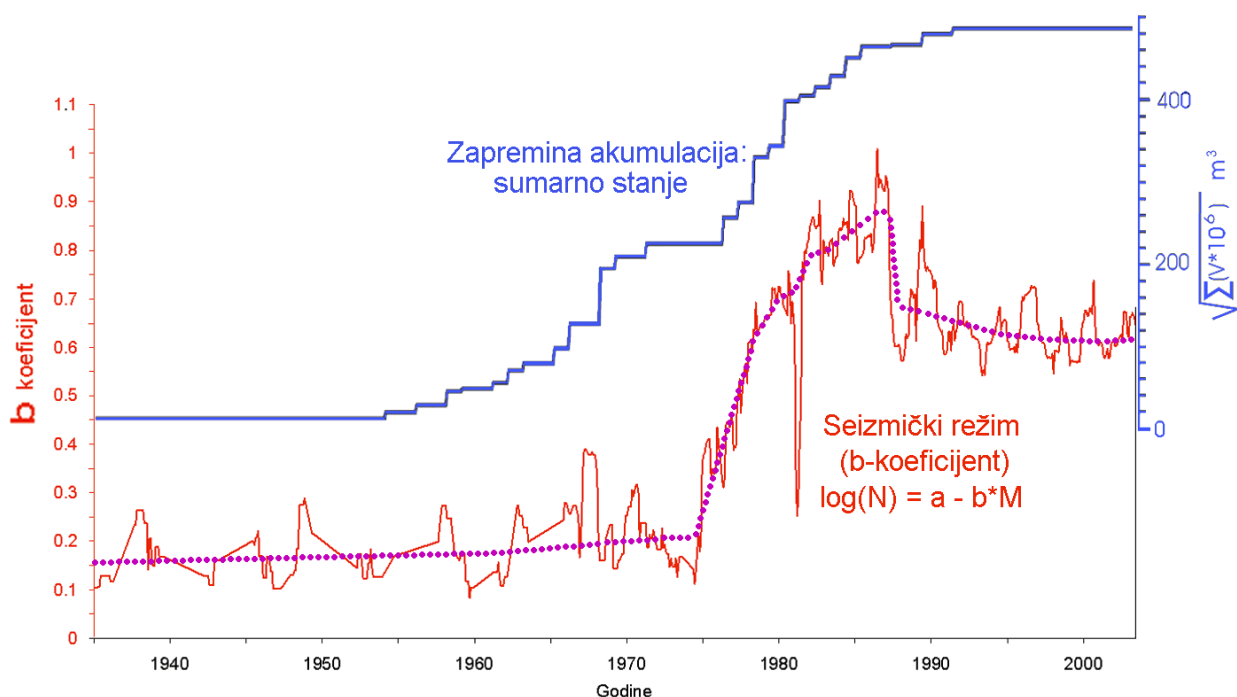
Treba istaći i potencijalne štetne efekte koje može izazvati eventualno naglo survavanje veće količine stijena i tla u rezervoar akumulacije. Pritisci i hidrodinamički efekti formirani na ovaj način mogu biti čak mnogo značajniji od onih koje može izazvati oscilovanje vode prouzrokovano oscilovanjem tla u dinamičkim uslovima dejstva zemljotresa.

- * -

Još prije nekoliko desetina godina zapažena je pojava aktiviranja lokalne seizmičnosti usljed upumpavanja vode u tlo na veće dubine, što implicira načelnu saglasnost sa pretpostavkom da i atmosfereke padavine mogu biti stimulator zemljotresa. Međutim, za sada nije dokazana uzročna veza između količine padavina i seizmičnosti. Tako, na primjer, analizom podataka o nivou vode u Skadarskom jezeru, kao indikatoru količine padavina na širem prostoru Južnih Dinarida, u korelaciji sa pojavom seizmičnosti u istom višegodišnjem periodu na istom prostoru, nijesmo utvrdili postojanje njihove značajne međusobne zavisnosti. Ovaj rezultat je opravdano tumačiti relativno malom dubinom prodiranja površinskih voda u tlo - do nivoa karstifikovanosti (intenzivne ispuhalosti stijenskih masa), odnosno do nivoa mora, što je znatno pliće od nivoa na kojem se događa većina zemljotresa u našem regionu (nekoliko kilometara).

Ipak, u zonama velikih vještaštačkih akumulacija, kao na primjer na širem području akumulacije Mratinje (na rijeci Pivi), evidentan je efekat vodenog stuba ove akumulacije na okolne stijene, posebno u uslovima intenzivnog punjenja ili pražnjenja akumulacije, što se manifestuje većim brojem, uglavnom slabijih zemljotresa (slika).

Kada su u pitanju projektovane akumulacije na Morači, realno je očekivati pojavu značajnog intenziviranja seizmičnosti u zoni tih akumulacija i užeg okruženja, a posebno neposredno nakon njihovog prvog punjenja. Stepenn povećanja seizmičnosti se ogleda posebno u učestanosti, odnosno broju dogođenih zemljotresa u jedinici vremena. Na bazi dosadašnjih svjetskih iskustava sa velikim i dubokim vještačkim akumulacijama, takođe je realno očekivati da maksimalna jačina dogođenih zemljotresa stimuliranih prisustvom te akumulacije, ne pređe maksimalni nivo prirodne seizmičnosti regiona. U slučaju akumulacija na Morači to je nivo od 5.5 jedinaca Rihterove skale.



Promjena karaktera seizmičnosti (donji dijagram) u poređenju sa ukupnom zapreminom akumulacija (gornji dijagram), u zoni južnih Dinarida tokom posljednjih 70 godina.