

INDUCIRANA SEIZMIČNOST PRIMER DOLINSKIH PREGRAD HIDROENERGETSKIH SISTEMOV

Vladimir Ribarič*

UDK 550.348

Antropogeni ali tehnogeni posegi človeka v naravno okolje lahko nenamerno povzročijo potresne pojave. Predvsem gre za tri osnovne kategorije takšnih posegov: za ustvarjanje velikih vodnih zbiralnikov, namakalnih sistemov in vodnih zadrževalnikov, za rudarjenje in injektiranje tekočin v pore ter razpoke kamnin v zgornjih plasteh Zemljine skorje in končno za velike podzemeljske eksplozije, še zlasti za podzemeljske eksplozije jedrskega tipa.

Inducirani potresi pokrivajo magnitudno območje, ki sega od najmanjših mikropotresov, ki se jih da detektirati z ultraobčutljivimi seizmometri v kratkoperiodičnem delu valovnega spektra potresnih nihanj, do magnitud blizu $M=6$ po Richterjevi lestvici. Zaradi dokazane ugotovitve, da ležijo hipocentri takšnih induciranih pojavov v splošnem v intervalu globin med 5 in 10 km, predstavljajo inducirani potresi z magnitudami nad 5 določeno potencialno nevarnost za prebivalstvo v bližini tistih pregrad, ki so vključene v takšno naravno okolje, v katerem so podana določena naravna napetostna stanja, ki so enaka ali blizu nekim kritičnim stanjem.

S tem prispevkom bom skušal osvetliti le nekaj bistvenih problemov v zvezi z inducirano seizmičnostjo dolinskih pregrad.

Fenomenologija induciranih potresov

Pojavljanje seizmičnih dogodkov pri gradnji in pogonu pregradnih sistemov hidroenergetskih naprav večjih zmogljivosti lahko pomeni določeno stopnjo ogroženosti za pregrade kot take in s tem tudi za območja, ki leže pod pregradami, še zlasti, ko gre za naseljena območja z ustreznimi infrastrukturnimi objekti.

Simpson je že pred leti podal preglednico nekaj deset primerov, ki kažejo, da se je s polnitvijo zbiralnikov stopnja lokalne seizmične aktivnosti povečala (10). Številni drugi primeri dokazujejo podobno. Inducirani potresi se dogajajo v razponu magnitud, ki segajo od nižjih meja, določenih s splošnimi nivoji lokalnih seizmičnih šumov in so zato nedefinirani, do Richterjeve magnitude okoli 6 (Koyuna v Indiji, Kremasta v Grčiji, Kariba v Afriki in Hsinfengkiang na Kitajskem) (2).

Omenjena zgornja meja magnitude potresa je, če je realna, odvisna od prelomne površine, ki je bolj ali manj posredno v kontaktu z vodnim zbiralnikom. Poleg omenjenih močnejših pojavov beležimo še desetine takšnih z magnitudami med 4 in 5, pa tudi mnogo slabših ali pomanjkljivo dokumentiranih, za katere ni jasno, ali jih je možno pripisati interakciji med naravo in vodnim zbiralnikom ali ne. Velja še omeniti, da se tudi statistični podatki o induciranih potresih te vrste med seboj dokaj razlikujejo, to pa je razumljivo, če zlasti spričo heterogenosti pri vrednote-

nju pojavov, načina njihove analize in tehnosti strokovnih argumentov. Slednje nam bo postalo jasneje, če se dotaknemo nekaterih zgornjih podatkov.

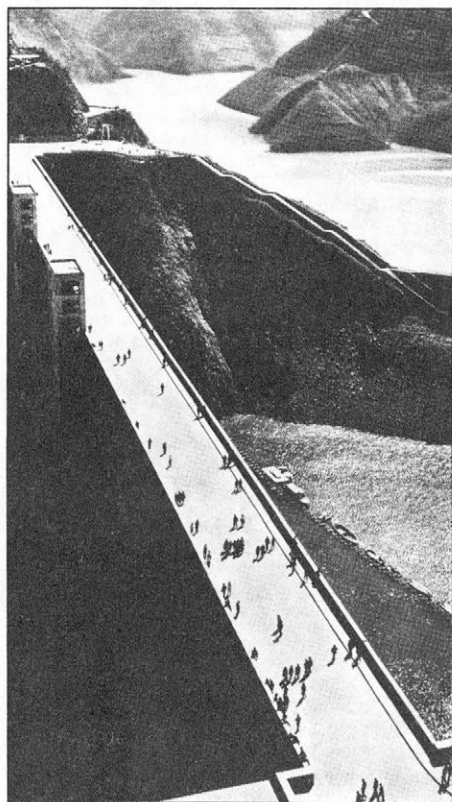
Ne obstaja definirana in zato znana minimalna dimenzija zbiralnika, ki bi lahko bila odgovorna za inducirane potrese. Še manj je predvidljiva hipoteza, da bodo zbiralniki, ki po svojih merah prekoračujejo določene dimenzije, nujno povzročali potrese. Jean-Paul Rothé je že 1973. leta predlagal zamisel, da je globina vode v zbiralniku pomembnejši faktor od prostornine akumulirane vode in da je potrebna aktivnost inducirane tipa najbolj značilna pri takšnih zbiralnikih, pri katerih ta globina presega 100 m (7).

Objavljeni podatki v strokovni literaturi Rothéjeve predpostavke ne potrjujejo, čeprav je ta v navidezno logični zvezi s tako imenovanim »obremenitvenim modelom«. Dokazujejo namreč, da so nekateri razmeroma plitvi zbiralniki že povzročili dokaj močne potrese (Marathon v Grčiji, višina pregrade $h = 63$ m, potres z M okoli 5,0, Bajina Bašta v Srbiji, $h = 89$ m, $M = 4,4-5,0$), mnogi zbiralniki z globinama vode nad 100 m pa so ostali predvsem aseizmični (Schlegeis v Avstriji, Contra v Švici). Dokaj zgovoren je tudi podatek, da so se kar pri šestih od sedmih zbiralnikih z vodno prostornino nad 10^9 m³ pojavili inducirani glavni potresi z magnitudami $M \geq 5,0$ (2).

Če nameravamo zgraditi dolinsko pregrado, je torej potrebno sprejeti odločitve, ki zadevajo dizajn njene konstrukcije, opraviti seizmološke študije na danes zadovoljivem nivoju in predvsem še meritve **inicialnih napetosti**. Po uveljavljeni definiciji imamo za »velik zbiralnik« zbiralnik z globino vode nad 100 m in s prostorni-

no nad 1 km³. Pri tem se moramo vedno zavedati, da je večina takšnih velikih zbiralnikov aseizmična in le manjšina manjših seizmična.

Poleg **dimenzij** zbiralnikov so primarnega pomena za določanje možnosti, ali



Slika 1. Velike pregrade postavljajo tudi na potresno ogroženih področjih. Zajete Ogoči v pogorju Okutama blizu Tokia meri 425 ha.

* Dr., Ministrstvo za varstvo okolja in urejanje prostora, Seizmološki zavod Republike Slovenije, Kersnikova 3, Ljubljana.

neki rezervoar inducira potrese ali ne, tudi drugi odločujoči faktorji. Predvsem gre za **inicialne napetosti tektonskega izvora** v litosferi neposredno pod zbiralnikom ali blizu njega, in to v odnosu na **trdnosti obstoječih fraktur** v podlagi.

Kakšna naj bo inženirska politika?

Konstruktorji dolinskih pregrad večjih dimenzij posvečajo problemom inducirane seizmičnosti premalo pozornosti. To ne velja le na splošno, temveč tudi za najbolj razvite države. Značilni so predvsem naslednji defenzivni argumenti nekaterih strokovnjakov z ožjimi zornimi koti:

1. Med potresi in zbiralniki ni dokazane prepričljive korelacije.
2. Ker je naravna seizmična aktivnost na dani lokaciji majhna, bo tudi nevarnost pojavljanja inducirane potresa majhna ali celo neznatna.
3. Geologija na dani lokaciji je različna od tistih na lokacijah, kjer so se inducirani potresi že zgodili.
4. Le trije ali štirje inducirani potresi, ki so nastali na velikih pregradah, so bili tako močni, da so povzročili poškodbe. Na svetu pa je danes nad 11 000 velikih pregrad in njihovo število stal-

no narašča. Leta 1972 je bilo operativnih ali pa v fazi izgradnje nekaj nad 10 000 pregrad s skupno kapaciteto okoli 5000 km³. Med njimi je bilo le 143 takšnih s kapacitetami nad 5 km³, toda te so obsegale več kot 80 % celotnih kapacitet. Danes je situacija dokaj drugačna: porast totalnih kapacitet pregradnih sistemov poteka pospešeno in ne linearno. Količine zajezenih voda so se do 1991. leta podvojile in obsegajo že 10 000 km³, kar je za primerjavo približno enako ekvivalentu celotne atmosferske vlažnosti, ali drugače: enako desetkratni vrednosti Zemljine biološke vode.

Zaradi v prvem stavku navedene trditve naj bi nas inducirani potresi torej ne skrbeli?

5. Zadnja trditev defenzivnih argumentov je še ta: noben zbiralnik se doslej ni porušil zaradi inducirane potresa. To velja tudi za pregrado Koyna v Indiji, kjer pa je potres s sekundarnimi posledicami terjal 200 človeških življenj, okoli 1500 poškodovanih in ogromno gmotno škodo.

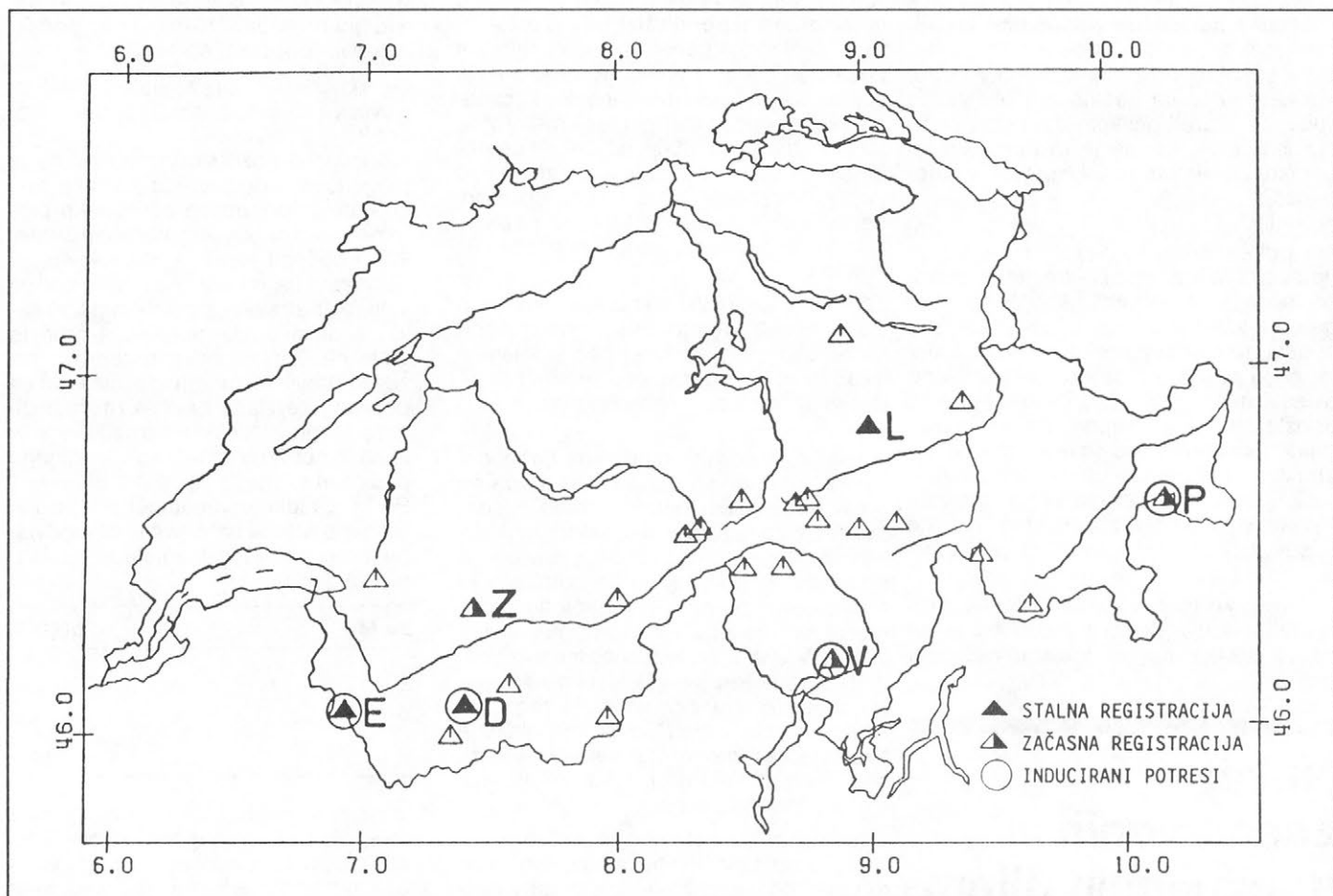
Nevarnost induciranih potresov ob pregradah naj bi torej bila pretirana...

Podčrtati velja naslednje: mnogi izmed citiranih argumentov vsebujejo nekaj elementov resnice, toda v svojem bistvu se izogibajo nekaterim primarnim dejstvom. Vsaka skrbna študija, ki je bila opravljena doslej, je namreč pokazala, da gre tukaj

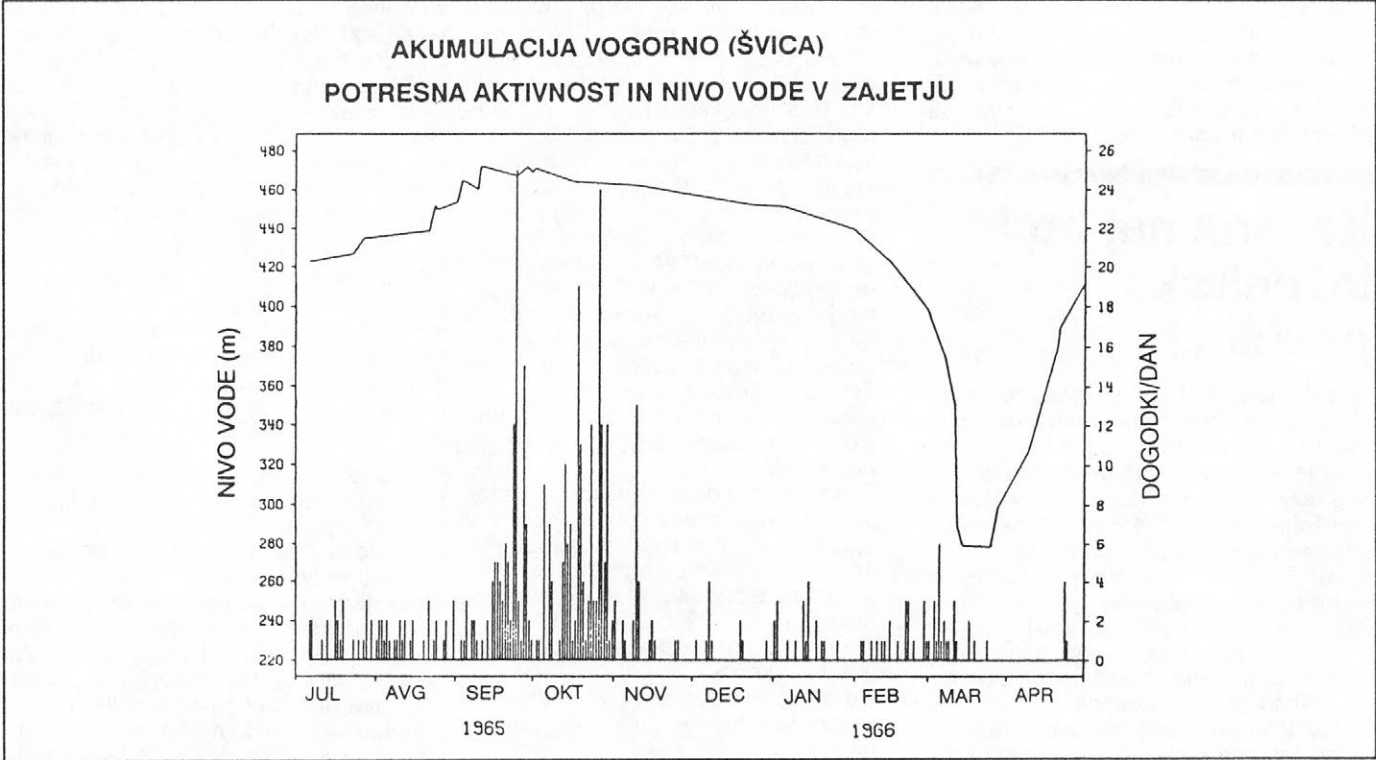
za odnos vrste vzrok in učinek pri nekaterih potresih in nekaterih pregradah. Dve med njimi, že omenjeni Koyna in Hsinfengkiang, sta bili zelo nevarno blizu katastrofalnega porušenja zaradi induciranih potresov in obe stojita v seizmično malo aktivnih conah. Zbiralnik Hsinfengkiang na primer v coni 7. stopnje intenzitetne lestvice jakosti potresov (10).

Opozoriti je treba še na to, da se obstoječi problemi nanašajo predvsem na regije z majhnimi naravnimi seizmičnostmi, ker dimenzionirajo pregrade v močno aktivnih seizmičnih območjih **tudi** za čim večjo odpornost proti močnim lokalnim potresom, seveda če je ta znanstveno pravilno ovrednotena.

Današnja stopnja znanja o induciranih potresih je žal tako majhna, da nikjer na svetu ne moremo za poljubno pregrado trditi, da je imuna pred potresno nevarnostjo. Predvsem ne vemo natanko, zakaj se ti potresi dogajajo. Tudi ne moremo razpoznati območij, kjer so inducirani potresi verjetnejši, od tistih, ki to niso. Lahko je reči, da sta geologija in seizmotehnik določenega območja drugačni od tiste, ki jo najdemo na primer na območju Koyna, toda dokler ne bomo razumeli, kaj je tisto v fizičnem okolju Koyna, kar je privedlo do sproženja potresov, naša izjava ni zelo pomenljiva. In še to: vsakdo lahko uvidi, da so lokacije pregrad, kjer je prišlo do induciranih potresov, v zelo različnih geoloških okoljih, to-



Slika 2. Zbiralniki v Švici z globinami voda, ki so večje od 100 m (trikotniki). S krogi so označena področja, kjer je prišlo do induciranih potresov.



Slika 3. Število registriranih seizmičnih pojavov in spremembe vodne gladine v zbiralniku Vogorno v Švici v časovni odvisnosti.

da kljub vsemu strokovnjaki doslej še ni-
so uspeli izluščiti tistih bistvenih okoli-
ščin in lastnosti, ki bi jim dale pečat razli-
čnosti ali celo nevarnosti v primerjavi s
tisočeriimi **navidežno podobnimi** lokaci-
jami, kjer do takšnih dogodkov ni prišlo.
Celo sosednji in bližnji zbiralniki, ki so,
kot kaže, v istem geološkem okolju, so
večkrat pokazali povsem drugačne stop-
nje aktivnosti, kot se je to pokazalo na
primeru zajetja Manic 3 Reservoir v Que-
becu (3).

Ocenitve tveganja zaradi pojava induci-
ranih potresov temeljijo danes predvsem
na statističnih pristopih, katerih izpoved-
na možnost je več kot neboljena. Pre-
grade takšne vrste naj bi vsekakor bile
sposobne prenesti potrese z magnituda-
mi okoli $M = 6$, pa če gre za seizmično
ali aseizmično območje. Pri tem moramo
upoštevati, da je najpomembnejša pre-
grada sama, manj pa seveda drugi infra-
strukturni ali pomožni objekti, katerih mo-
rebitne porušitve seveda ne bi ogrožale
okolice pod samim zbiralnikom, temveč
bi povzročile le izpad proizvodnje energije.

To, nekoliko manj optimistično sliko tre-
nutnega stanja skoraj povsod na svetu
bo skušala z novimi idejami razjasniti
znanost.

**Nekaj
znanstvenih
spoznanj in dilem**

Pri proučevanju problematike inducirane
seizmičnosti so trenutno dokaj obetavne

študije podtalnih hidroloških okolij blizu
pregrad. Čeprav mehanizem rezervoar-
skega induciranja te vrste pojavov ni po-
vsem jasen, je verjetno tesno povezan s
spremembami **pornih tlakov** v globlje le-
žečih prelomnih conah. Te nastanejo kot
posledica polnitve zbiralnega bazena. In
čeprav še ne moremo zanesljivo razpo-
znovati diagnostičnih geoloških tvorb, ki
so povezane z območji, na katerih se po-
javljajo procesi induciranja seizmov, se
utrjuje spoznanje, da so večji sproženi
dogodki skoraj praviloma v conah z aktiv-
nimi holocenskimi procesi nastajanja
prelomov:

Žal pa podrobnih geoloških terenskih
študij, ki zadevajo predvsem neotektoni-
ko na območjih, za katera se je kasneje
izkazalo, da so podvržena procesom in-
duciranih potresov, velikokrat sploh niso
opravili.

Številni raziskovalci, med njimi Simpson,
Packer in drugi, so opozorili na to, da so
pojavi induciranih potresov med časom
polnjenja zbiralnikov najštevilnejši na ob-
močjih, kjer so takšni procesi ustvarjanja
prelomov, ki so značilni za normalne in
horizontalne prelome, v nasprotju z ob-
močji, kjer so značilni narivni mehanizmi
(6, 10). V enem samem značilnem prime-
ru (pregrada Tarbela v Pakistanu) so opa-
zili, da se je nivo seizmičnosti v regiji na-
rivnih prelomov med potekom polnjenja
akumulacijskega jezera celo **zmanjšal**,
za kar so skušali najti dokaj prepričljive
mehanične argumente.

Čeprav imajo tovrstne raziskovalne študi-
je trenutno le omejeno inženirsko upo-
ravnost, obstajajo znaki, da bodo v bliž-
nji prihodnosti lahko odgovorile na vrsto
vprašanj, ki zadevajo verjetnostne opre-
delitve takšnih pojavov.

S tem pa bo seveda dan tudi prispevek k
ocenitvi seizmično pogojenega hazarda
kot primarnega povzročitelja ogroženosti,
kakor tudi z njim povezanih možnih se-
kundarnih posledic. Dileme, ki se poraja-
jo in terjajo odgovor, so naslednje:

1. Je površinsko prelamljanje plasti v
povezavi z induciranimi potresi mo-
žno?

Odgovor je pozitiven v primeru, če je
magnituda inducirane potresa tak-
šna, da bi povzročila površinske pre-
lome tudi pri povsem naravnih potre-
sih. Podčrtati je treba, da pripisujejo
odnosom na relaciji prelom — potres
velikokrat prevelik pomen in pozablja-
jo na dejstvo, da nastajajo tvorbe te
vrste na Zemljini površini tudi kot re-
zultati številnih drugih geodinamičnih
pojavov, še zlasti bradiseizmičnih gi-
banj in gravitacijskih pojavov, vse v
zvezi z notranjo dinamiko Zemljinega
plašča in skorje.

Po M. Otsuki je verjetnost $p(M)$ poja-
vljanja preloma na površju tal v odvis-
nosti od potresne magnitude nasled-
nja (5):

za M	$p(M)$ %
5,0	3
5,5	6
6,0	11
6,2	14
6,4	19

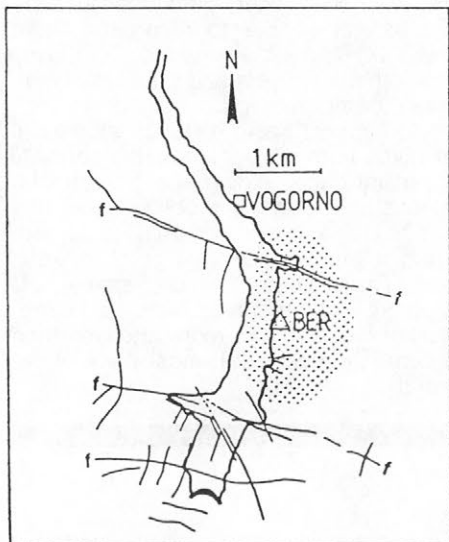
Verjetnost pojavljanja preloma je bila
torej ob potresu v Koyni okoli 19 %, pri
tem pa so opazili pomik tal za okoli
30 cm na holocenskem prelomu, ki je
potekal skozi eno krilo zbiralnika. Se-
veda obstaja tudi potencialna nevar-
nost, da bi tak skriti prelom iz prejš-

njih geoloških obdobjih tekkel skozi samo pregrado.

2. Ali je možno, da bi do takšnega sproženega pomika tal prišlo ob prelomu, za katerega se je prej splošno mislilo, da je potresno »neaktiven«?

Menijo, da pomiki ob »neaktivnih« prelomih pod naravnimi pogoji običajno niso kredibilni, seveda če na problem gledamo z inženirske plati. Tak način gledanja je pogostokrat podlaga za definicijo »aktivnih« in »neaktivnih« prelomov. Novejši pogledi na to problematiko niso tako zelo poenostavljeni. Obremenitev zbiralnika namreč lahko povzroči pomik ob prelomu, za katerega so mislili, da je »neaktiven«. Zbiralnik namreč lahko povzroči porazdelitev notranjih napetosti v podlagi, ki so dokaj različne od empiričnih, obstoječih skozi tisočletja dolge dobe. To velja še zlasti v primerih, ko gre za masivne strižne prelomne cone, ki bi jih lahko klasificirali kot oslabiljene cone.

3. Kakšno vlogo igra voda pri nastajanju strižnega prelamljanja? Zastarele mehanistične predstave gradbeniških praktikov vlogo vode zanemarjajo. Ni jim umevno, kako lahko voda prodre v Zemljino skorjo kilometre globoko. Raziskave neodvisnih skupin uglednih znanstvenikov pa dajejo povsem drugačne rezultate. Voda igra v potresni mehaniki izredno pomembno vlogo. Mehanična vloga tlaka pozne vode slabi trdnost kamnin in jih dela krhke. Kemijski vpliv vode je dvostranski: a) omogoča nastanek kataklastičnih deformacij pri majhnih napetostih z mehanizmi, kot je na primer »napetostna korozija«, in b) omogoča zapolnitev razpoklin v kamninah. Ta nastaja lahko zelo naglo s precipitacijo iz pornih fluidov, bogatih mineralov. Pomembne raziskave v tej smeri so nedavno opravili v Angliji (8).
4. Kako dolgo po začetnem polnjenju zbiralnika so možni inducirani potresi?



Slika 4. Karta zbiralnika Vogorno z geološko določenimi prelomi in z epicentričnim področjem (točkasto) registriranih potresov.

Pri štirih največjih pregradah, kjer so nastali inducirani potresi, so se ti pojavili po enem, treh, štirih in petih letih od začetka polnjenja. Pri vseh pa se je neznatna seizmična aktivnost začela pojavljati takoj na začetku polnjenja in se je pojavljala sporadično vse do glavnega potresa. Časov nad pet let seveda ne smemo izločiti, čeprav se pri tem verjetnost odnosa med vzrokom ter učinkom zmanjšuje in je manj prepričljiva. Pojavlja se še problem, ali je kak kasnejši potres v bližini pregrade, ki bi se pojavil kasneje, pripisati prav inducirani kategoriji potresov ali pa bi morebiti šlo za povsem naraven pojav.

5. Vprašanje skeptikov: Ali bi do potresa, ki bi bil podoben induciranimu, lahko prišlo na konkretni lokaciji, tudi če tam ne bi obstajala pregrada?

Odgovor na to vprašanje je dokaj preprost. Zbiralnik je samo **prožilno sredstvo**, ki sprošča naravne tektonske deformacije in sam po sebi ne generira glavne seizmične energije. Nekdo bi lahko pripomnil, da je polna pregrada samo pospešila dogodek, ki bi se kasneje tako in tako zgodil. Na svetu je zelo veliko območij, kjer so naravne sile v Zemljini skorji blizu točke kritičnih napetosti. Sama prisotnost na novo pojavljajočega se »motilca« lahko privede do seizmičnih pojavov tudi tam, kjer so tla mirovala na stotine ali več let. Drugače povedano: moči potresa, ki bi se pojavil, ne moremo natančno določiti, njegova magnituda pa naj bi v skrajnem primeru težila k največji možni vrednosti med 6 in 6,5.

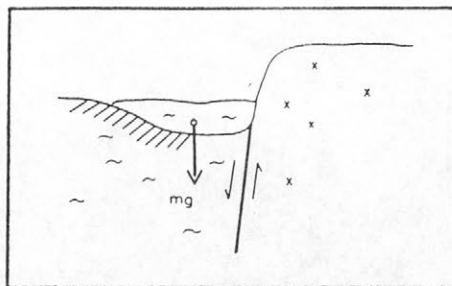
6. Kakšen vpliv ima pojav induciranih potresov na dizajn pregrad?

Za razliko od mnogih objektov druge vrste so dolinske pregrade konstruirane posebno skrbno z večkratnim varnostnim faktorjem. Določen problem utegne predstavljati le možna aktivna prelomnica tik pod osnovo pregrade. V takšni situaciji načrtovano lokacijo seveda opustijo.

Izkušnje ob močnih naravnih potresih so dokazale veliko odpornost ločnih betonskih in nasipnih zemeljskih pregrad. Ob velikem naravnem potresu 6. maja 1976 v Furlaniji, ki je dosegel $M = 6,3$, potresni sunki s pospeški okoli 40 % g niso povzročili nobenih poškodb na objektih pregrade Tul, Crosis, Alba, Ambiesta in drugih v razdaljah od 5 do 31 km od epicentra, čeprav so bila akumulacijska jezera v trenutku potresa polna (1).

7. Kakšen učinek utegne imeti fenomen induciranih potresov na operativno sposobnost sistema dolinske pregrade?

Pomembna je najprej ugotovitev, da je takšne pojave v določenem smislu mogoče nadzorovati z načinom polnjenja zbiralnika. Nekateri avtorji so mnenja, da se inducirani potresi lahko reducirajo na minimum, če zajetje polnimo počasi in gladko, kar dokazuje izkušnja pregrade Nurek v bivši Sovjetski zvezi. Drugod, na primer na Ki-



Slika 5. Dodatna obremenitev zajezone vode naj bi povzročala reaktiviranje tektonskega pomika.

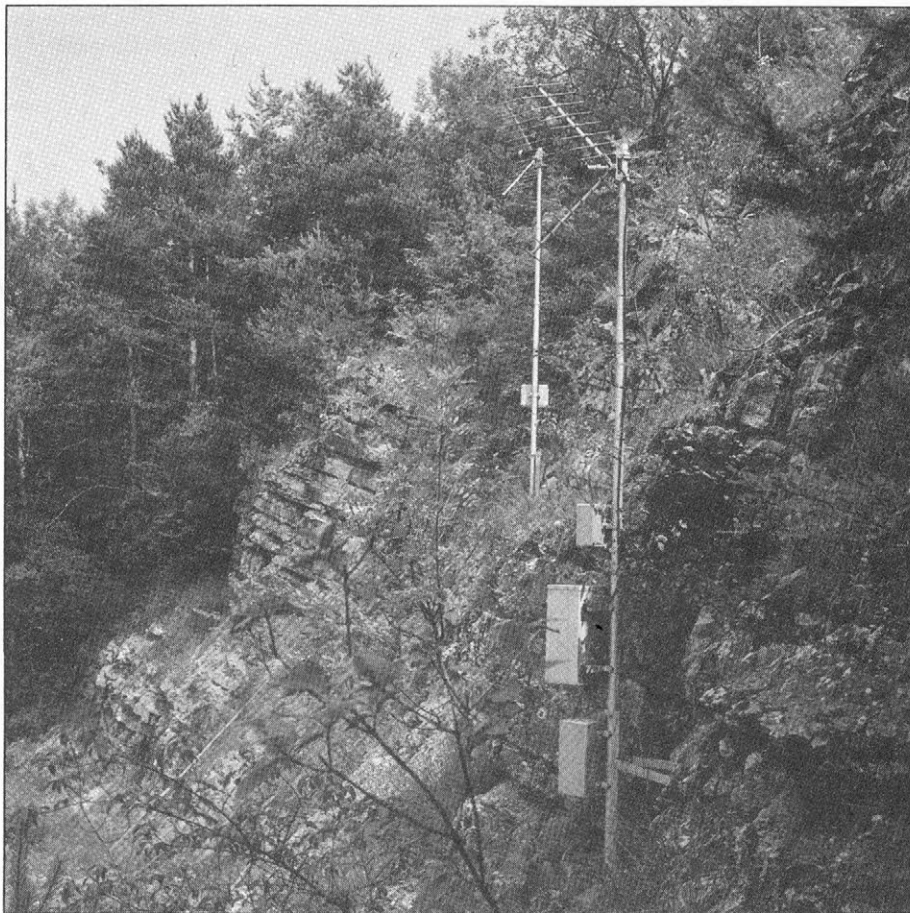
tajskem (Hsinfengkiang), so pregrado takoj po pojavljanju šibkih potresov ob njej ojačali. Da je bila takšna poteza modra, je pokazal potres z $M = 6,1$, ki je nastal kasneje skoraj tik pod pregrado.

8. Kaj priporočajo?

Upošteva številne empirične in teoretske rezultate, ki so se v teku let izkristalizirali v skupek novih spoznanj, prihajamo do naslednjih pomembnih ugotovitev:

- Verjetnost induciranih potresov je največja na območjih s strmo vpadajočimi motnjami, kjer prihaja do normalnih in horizontalnih pomikov tal ob prelomih.
 - Verjetnost teh pojavov je največja na območjih s srednjimi hitrostmi deformiranja (angl.: strain rate).
 - Na območjih s kompresijskim režimom z induciranimi potresi komaj lahko računamo.
 - V osnovi so najbolj ogrožena območja s povečano latentno (aktualno ali rezidualno) napetostjo.
 - Dodatno nevarnost predstavljajo tako imenovane predeksistenčne motene cone (Gougeove cone).
 - Priporočajo naslednje študije: terenska opažanja na poligonih, kvantitativne ocenitve pretokov voda v pogojih različne prepustnosti, proučevanje vpliva fluidov na kinetiko mineralnih reakcij, na deformacije in pomike gorskih mas, modeliranje fluidnih pretokov in Coulomb-Mohrove analize.
 - Poleg tega je primarna naloga seizmološki monitoring neposredne okolice visoke pregrade.
9. Zakaj je potreben seizmološki monitoring?

Prakticistični pogled na to problematiko razpolaga le z »argumentom«, češ da seizmološki nadzor območja pregrade tako in tako ne more preprečiti morebitnih induciranih potresov. Proti takemu enostranskemu gledanju ima strokovna javnost naslednje pomisleke: a) Seizmološke opazovalnice ob visokih pregradah nadzorujejo pojavljanje potresov z zelo majhnimi magnitudami in njihovo povezavo z močnejšimi dogodki — če ti seveda sledijo. b) Seizmični režim okolice pregrade se da deloma nadzorovati z načinom obratovanja pregrade, predvsem njenega polnjenja. c) Za prebivalstvo pod pregrado so rezultati seiz-



Slika 6. Lokalna seizmološka postaja s telemetričnim prenosom podatkov na obrobju zbiralnika (Eiteberg, Švica).

mološkega monitoringa edini način za hitre, neposredne in natančne informacije v sistemu obveščanja in opozarjanja. Sprejeti je treba tehnično odločitev, kako in s kolikšnim številom občutljivih seizmoloških postaj je treba nadzorovati takšno okolje, kako prenašati informacije, in v primeru ocenitve naraščajoče aktivnosti sprejeti ustrezne ukrepe, na primer znižanje vodne gladine v zbiralnikih.

Zaključek

Težnostni koncept obremenitve zbiralnika hidroenergetskega sistema v kvantitativnem pogledu ne zadošča, temveč se umika konceptu dinamičnega ekscesnega pornege tlaka, še zlasti glede na možne nehomogenosti v kamninah pod pregrado z vertikalnimi razsežnostmi dimenzij kilometrov. Vzpostavitev seizmološkega monitoringa je v vseh primerih nujna, še zlasti zato, ker v mnogih primerih pred samo gradnjo zbiralnika niso bile opravljene ustrezne kvantitativne raziskave globlje podlage območja akumulacije.

Upoštevanje probleme, ki sem jih omenil v prejšnjem poglavju, velja ob zaključku podčrtati predvsem naslednje:

1. Ni nujno, da se potresi različnih jakosti pojavljajo na istih prelomnih strukturah.

2. Majhni potresi niso enostavno reducirane verzije velikih.
3. Geometrijske lastnosti žarišč v prostoru niso ustaljene, temveč se po enem ali več potresih razvrščajo v drugačne oblikovne in s tem tudi prostorsko-energetske situacije.
4. Ocenitev potresne nevarnosti na podlagi »aktivnih« prelomov je enostranska. V ospredje prihajajo nove teorije, ki so zasnovane na problemih gubanja struktur.
5. Odnosi med hitrostjo P in S valov v zvezi z dilatano-difuzijskimi modeli kot prediktorji seizmičnih dogodkov so postavljeni pod vprašaj (9).

1. Ambraseys, N. N., 1976. The Gemoni di Friuli Earthquake of 6 May 1976. UNESCO, Paris, Restricted Technical Report RP/1975—76/2.222.3, Part II., 14.
2. Gough, D. I., 1978. Induced seismicity. The assessment and mitigation of earthquake risk. UNESCO, Paris, 91—117.
3. Leblanc, G., F. Anglin, 1978. Induced seismicity at the Manic 3 Reservoir, Quebec, B.S.S.A., 68, 1469—1485.
4. Mayer-Rosa, D., N. Deichmann, 1979. Observations of reservoir related seismicity in Switzerland. Proc. Int. Res. Conf. on Intra — continental earthquakes. Sept. 17—21, Ohrid, Yugoslavia, ETH Zürich, No. 278.
5. Otsuka, M., 1964. Earthquake magnitude and surface fault formation. Jour. Phys. Earth. Tokyo, XII, 1, 19—24.

6. Packer D. R., J. R. Lovegreen, and J. L. Born, 1977. Reservoir induced seismicity: V. G. (327 p.) Woodward — Clyde Consultants, Earthquake evaluation studies in the Auburn Dam Area, 8 v, NTIS Rept. PB-283 531/2 GA, PC a 15/MF A 01.
7. Rothé, J. P., 1973. Summary: Geophysical Report. Man-made Lakes: Their Problems and Environmental Effects. Amer. Geophys. Union (Geophys. monograph 17), Washington, 441—454.
8. Sammonds, P. R., P. G. Meredith, 1991. The role of water during shear faulting. EOS, AGU, Washington. 82.
9. Savage, J. C., 1991. The paradigm that failed. Earthquakes and Volcanoes, 22, N. 3, 113—114.
10. Simpson, D. W., 1976. Seismicity changes associated with reservoir loading. Engineering Geology, vol. 10, 123—150.

Vladimir Ribarič

Induced Seismism: The Case of Man-made Reservoirs for Hydroelectric Systems

In view of the present degree of ignorance concerning reservoir-induced earthquakes and recognizing the tremendous stakes involved, major dam-building agencies have a clear obligation to support those types of research that will enable us to eventually solve the problem. The arguments is compelling: literally millions if not billions of dollars are not being spent on designing and building dams for reservoir-induced earthquakes that will never occur, simply because we are as yet unable to recognize those areas which such events are more likely than others. Owners and builders of individual dams perhaps cannot be expected to support basic research studies of this type from project funds, but certainly the major dam-building agencies should. At least in Europe, this obligation seems not to have been generally accepted. From a purely economic point of view, never mind that of public safety, the problem of reservoir-induced earthquakes deserves far more attention than it currently receives in most parts of the world.

UJMA