

PROJEKTNI POTRESNI PARAMETRI ZA PREGRADO HE GOLICA

Janez Lapajne*

UDK 550.34 (497.12 Golica) : 621.311.21

Glede na predloženo avstrijsko dokumentacijo je pregrada HE Golica projektirana za horizontalni pospešek 0,105 g, kar ustreza vsaj 7. stopnji po MSK za frekvence potresnega nihanja, ki bi lahko bile nevarne za pregrado. To je v skladu s potresno nevarnostjo, ki jo za širše območje pregrade prikazuje karta pričakovanih potresov s povratno dobo 1000 let. V analizi potresne stabilnosti pregrade je bila privzeta celo vrednost 0,12 g kot največji pospešek potresnega nihanja pod pregrado. Tudi za ta pospešek je dal izračun dopustne deformacije. Vse to kaže, da so bili projektni seizmični parametri primerno določeni in da je bila pregrada projektirana v skladu z jugoslovanskimi predpisi.

Zgodovinski podatki in novejši meritve kažejo, da lahko območje pregrade na Bistrici po potresni dejavnosti primerjamo s potresno najmanj nevarnimi območji v Sloveniji. Značaj in pomen objekta ter še zlasti potresna ranljivost in ogroženost nizvodnega območja pa kljub temu narekujejo skrbno izbiro projektnih potresnih parametrov. Podrobneje je določanje teh parametrov opisano v posebnem prispevku (1).

Glede na ekstrapolacijo podatkov danes veljavne seizmološke karte Slovenije prek slovensko-avstrijske meje spada lokacija pregrade v območje 7. stopnje MCS lestvice pri povratni dobi potresov 1000 let, ki razumno opredeljuje »maksimalni potres«. Pri povratni periodi 200 let, ki opredeljuje »projektni potres«, pričakujemo na območju pregrade potrese do 6. stopnje po MCS.

Čeprav je bila na ozemlju nekdanje Jugoslavije predpisana potresna lestvica MCS (in je še), v Sloveniji že več let uporabljamo lestvico MSK, ki je količinsko bolj opredeljena in glede pospeškov strožja oz. na varnejši strani. Tako prirejamo 7. stopnji maksimalni horizontalni pospešek 0,1 g (to je 10 % zemeljskega pospeška), 6. stopnji pa 0,05 g (5 % zemeljskega pospeška). Obe stopnji in pripadajoča pospeška se nanašata na srednja tla površja terena. V kameninski podlagi so ustrezne vrednosti navadno manjše.

(Opomba: Do ureditve slovenske zakonodaje ostajajo smiselno v veljavi pravilniki nekdanje SFRJ.)

Maksimalni projektni pospešek za pregrado

Pospeške za projektni in maksimalni potres na lokaciji pregrade HE Bistrica je leta 1985 ocenil Inštitut za potresno inženirstvo in inženirsko seizmologijo (IZIIS) iz Skopja (3). Za pospešek v os-

novnem gorstvu (kjer so potresni učinki praviloma manjši kot na površju) je za povratno dobo potresov 950 let (maksimalni potres) dobil vrednost 0,105 g, za povratno dobo 280 let (projektni potres) pa 0,095 g. Kot je razvidno iz dokumentacije firme **Kärntner Elektrizitäts — AG** (KELAG) iz Celovca (8), je pregrada temeljena v osnovnem gorstvu. Zato je avstrijski projektant pri analizi stabilnosti pregradnih pobočij glede zdrsov upošteval vrednost pospeška **0,105 g**.

Leta 1988 je IZIIS ponovno podal poročilo o projektnih seizmičnih parametrih (2), ki je le skrajšana različica poročila iz leta 1985. Nekoliko je spremenjen le spisek avtorjev. Seizmološki zavod Republike Slovenije je leta 1990 organizaciji EGS v Mariboru posredoval pozitivno mnenje o ustreznosti IZIIS-ovih projektnih seizmičnih parametrov (5).

Dinamična analiza pregrade

Pravilnik o tehničnih normativih za gradnjo objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih (Ur. l. SFRJ, 31/1981 s kasnejšimi dopolnitvami) predpisuje v Jugoslaviji in v Sloveniji **dinamično analizo za oceno možnih deformacij in poškodb pri projektnem in maksimalnem potresu**. IZIIS jo je napravil tudi za pregrado HE Golica na podlagi ocenjenih pospeškov in drugih vhodnih podatkov (4).

Po tej analizi je pregrada potresno varna. Tu je treba poudariti, da temelji analiza na mnogih privzetkih, ker ni bilo na voljo potrebnih merskih podatkov. Predpostavljene vhodne podatke ni bilo mogoče nadomestiti z izmerjenimi, ker zapisa takega potresa za obravnavano območje še vedno nimamo. Ker je bil v zaključku dinamične analize privzet dokaj neugoden primer potresa, kaže, da so privzetki o vhodnem potresu na varni strani. Privzetke, ki se nanašajo na pregrado, pa je bilo v določenem obsegu mogoče preveriti z meritvami na pregradi v času njene izgradnje in po njej.

Sodelavci KELAG-a so med izgradnjo pregrade sproti merili prostorninsko gostoto in statični modul posameznih plasti nasipa. Podatki teh meritev kažejo, da je nasip izveden kakovostno. Poleg tega so geofizični z Geološkega zavoda Ljubljana na že dokončani pregradi izmerili hitrosti širjenja umetno povzročenega (šibkega) potresnega valovanja, da bi preverili, če so bile predpostavljene vrednosti hitrosti strižnega valovanja, ki je ključni vhodni podatek dinamične analize, ustrezne. Meritve so pokazale, da je hitrost strižnega valovanja v pregradi okrog **540 m/s**, razen v površinski plasti debeline nekaj metrov (kar je glede na velikost pregrade zanemarljivo), kjer je bila izmerjena povprečna hitrost 350 m/s (6). IZIIS je ugotovil, da je pregrada potresno varna tudi pri manjših hitrostih (najmanjša privzeta vrednost je bila 450 m/s) in neugodnih časovno frekvenčnih lastnosti potresa. (Pri manjših hitrostih strižnega valovanja v pregradi so učinki potresa večji.)

Kaj je vneslo dvome o potresni varnosti pregrade?

Glede na podatke o seizmičnosti ožjega in širšega območja pregrade HE Golica in vse razpoložljive pisne materiale kaže, da so bili projektni seizmični parametri primerno določeni in da je pregrada glede na jugoslovanske predpise potresno varno projektirana. To potrjujejo tudi študije in dokumenti vsaj dveh slovenskih inštitucij (5, 6) in ene makedonske (2, 3, 4).

Kljub temu se je pojavila bojazen, da pregrada ni potresno varna. O pravilnosti postopka določitve projektnih potresnih parametrov je podvomilo tudi precej naših strokovnjakov, ker so bili po eni strani pomanjkljivo seznanjeni z opravljenimi deli in raziskavami, po drugi strani pa avstrijska stran nekaterih raziskav, ki jih opravljamo za take objekte pri nas, res ni napravila ali pa so bile po oceni naših strokovnjakov napravljene pomanjkljivo.

Sporni so bili predvsem seizmotektonika ter kameninski in preperinski plazovi. Naši geologi ocenjujejo, da manjkajo seizmotektonske raziskave predvsem širše okolice pregrade. Podrobnejši pregled izračuna projektnih pospeškov pa kaže, da tudi podrobnejše seizmotektonske raziskave ne bi prispevale k povečanju

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

vrednosti projektnih parametrov. Po ocenah avstrijskih geologov (tudi ob potrebu) ni nevarnosti kameninskih plazov ali večjega zdrsa pobočne preperine v zajezi prostoru, ki bi povzročil preliv vode prek pregrade. To oceno so sprejeli tudi naši geologi.

Pregrada ni projektirana in zgrajena le za 5. stopnjo po MSK

Potres z žariščem na severovzhodnem delu Pohorja, ki je 27. aprila 1991 prestrašil prebivalce severovzhodne Slovenije in povzročil predvsem na starejših hišah manjše poškodbe (7), je ponovno izpostavil vprašanje potresne varnosti avstrijske pregrade na Bistrici pod Golico. Za seizmologe je bilo predvsem pomembno naslednje vprašanje: Ali je omenjeni potres ovrgel prejšnje seizmološke študije in predvidevanja, na katerih temeljijo ocene potresne nevarnosti območja pregrade in izračun projektnih potresnih parametrov?

Edini podoben potresni dogodek, torej z magnitudo okoli 4 in epicentralno intenziteto 6 po MSK, za katerega vemo, da se je v zadnjih 200 letih sprožil tako blizu pregrade, je bil v letu 1825, torej pred 166 leti. Epicentra obeh potresov, leta 1825 in 1991, sta bila na slovenskem ozemlju. Na veljavnih seizmoloških kartah Slovenije za potrese s povratno dobo 100 in 200 let je območje obeh potresov uvrščeno v 6. stopnjo lestvice MSK. Torej se ni zgodilo nič nepričakovanega (ne glede na to, da so potresi praviloma napovedani in v tem smislu »nepričakovani«). Zato potres leta 1991 s šibkejšimi ponovitvami vred, ki so bile rezultat umir-

janja tal, tudi ni vnesel nič novega v naša dotedanja predvidevanja o potresni nevarnosti na prizadetem ozemlju oz. na širšem območju pregrade na Bistrici.

Učinki omenjenega potresa iz leta 1991 so bili na ožjem območju pregrade med 5. in 6. stopnjo po MSK. To dokazuje, da pregrada ni napravljena le za 5. stopnjo po MSK, kot so se nekateri bali, saj na pregradi niso opazili nobenih sprememb. Sicer pa je treba povedati, da vzdržijo potres 5. stopnje še stavbe, ki niso potresno varno grajene; le na slabših (predvsem starih) hišah se lahko pojavijo fine razpoke v ometu in tu in tam morda odpade omet. Zato po jugoslovanskih predpisih potresnih sil pri projektiranju pod 7. stopnjo po MCS sploh ni treba upoštevati.

Inducirani potresi so malo verjetni, vendar . . .

Poleg naravnih potresov obstaja možnost, da se z visoko vodno akumulacijo spremenijo globinske hidrološke razmere in zbudijo potresi na ožjem območju pregrade. Mnenja strokovnjakov o taki možnosti se sicer razhajajo, saj ni mogoče dati nedvoumnih dokazov, da se bo potresna aktivnost povečala, niti da se ne bo. Glede na višino pregrade, količino zajezne vode in geološke razmere na območju pregrade in zajezitenega prostora HE Golica je verjetnost za inducirane potrese zelo majhna. Zato pričakujemo, da se bo morebitna inducirana seizmičnost odrazila predvsem v šibkih potresnih pojavih. Te lahko zaznava le ustrezno občutljiva potresna opazovalnica nedaleč od pregrade.

Ne glede na večjo ali manjšo verjetnost induciranih potresov terja jugoslovanski **Pravilnik o tehničnih normativih za seizmično opazovanje visokih pregrad**

(Uradni list SFRJ, 6/1988) za primer, kakršen je HE Golica (7. stopnja po MCS oz. MSK pri povratni dobi 1000 let, višina pregrade med 40 in 100 m), postavitev najmanj ene trikomponentne potresne opazovalnice v bližini pregrade. Avstrijske strani formalnopravno naš pravilnik sicer ne zavezuje, zavezuje pa našo stran, saj sodelujemo z 20 %. Zaradi ogroženosti predvsem naše strani pa je avstrijska stran zavezana vsaj moralno.

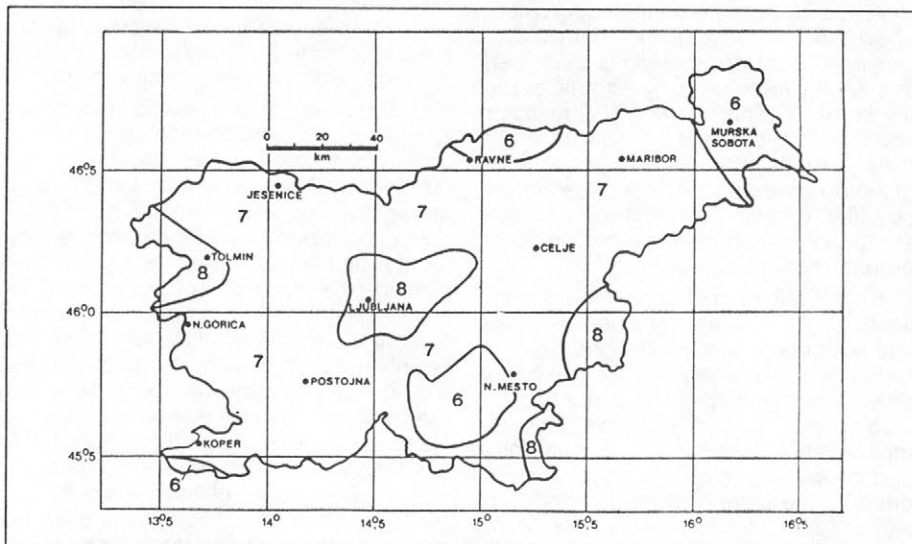
Glede na vse to je Seizmološki zavod Republike Slovenije predlagal postavitev stalne potresne opazovalnice na naši strani meje. KELAG je privolil v sofinanciranje opazovalnice. Za beleženje potresov z območja pregrade v času, ko te opazovalnice še ni, pa je SZRS v Bistriškem jarku postavil začasno opazovalnico.

Zaključek

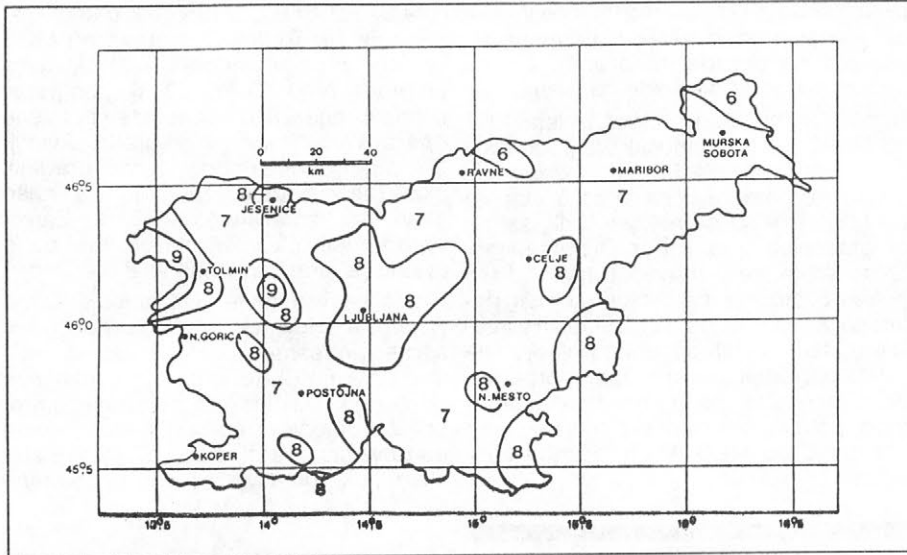
Slovenske institucije s področja seizmologije in geologije niso sodelovale pri potresnih analizah in izračunu projektnih potresnih parametrov za pregrado na Bistrici. Vključene so bile šele leta 1990 v ocenjevanje opravljenih raziskav, študij in analiz, ki so delo avstrijskih strokovnjakov, za področje potresne varnosti pa predvsem strokovnjakov z IZIS-a. Uporabljeni pa so seveda bili slovenski osnovni seizmološki in geološki podatki. Slovenski strokovnjaki so po pregledu predloženih materialov ter drugih podatkov ocenili, da so bili projektni seizmični parametri primerno določeni in da je bila pregrada projektirana v skladu z jugoslovanskimi predpisi.

Odkritje razpokane in preperle cone v kameninski podlagi, ki je niso mogli zatesniti z običajnimi postopki injektiranja in na katero je pokazal velik pretok izcejene vode, ko so začeli polniti zajeziteni prostor, je bil nov vzrok za strah in dvom. Pojavile so se celo podmene in ugibanja o povezanosti razpok s potresi. Pojasnila avstrijskih strokovnjakov, ki so razumna in prepričljiva, kažejo, da razpokana in preperela cona v kameninski podlagi pregrade ne vpliva na dosedanje ocene potresne nevarnosti na lokaciji pregrade ter na izračun projektnih potresnih parametrov. Gre za geološko tektonski, inženirsko geološki, hidrološki ter geotehnični problem in v okviru slednjega predvsem za problem tehnologije injektiranja. Taki in večji problemi se pojavljajo pri večini velikih geotehničnih posegov v naravo. Potresna varnost pregrade pa bi se zmanjšala, če kameninske podlage ne bi uspeli zadovoljivo zatesniti in bi prišlo do izpiranja pregradnega materiala, saj lastnosti pregrade v tem primeru ne bi več ustrezale projektiranim.

Menim, da je bilo poudarjanje potresne ogroženosti povezano tudi s problematiko odškodnin. Zato je treba povedati, da ima varnost pregrade malo skupnega z odškodninami. Večje ali manjše odškodnine ne smejo biti pogojene z večjo ali manjšo nevarnostjo porušitve pregrade



Slika 1. Seizmološka karta Slovenije za potrese s povratno dobo 200 let (po V. Ribarič).
Seismic map of Slovenia for earthquake return period 200 years (After V. Ribarič).



Slika 2. Seizmološka karta Slovenije za potrese s povratno dobo 500 let (po V. Ribariču).
Seismic map of Slovenia for earthquake return period 500 years (After V. Ribarič).

ob potresu. Ta mora biti potresno in vsestransko varna, sicer se ne sme uporabljati.

Šele pri varni pregradi se prične pogovor o odškodninah. Res je tudi, da stoodstotne varnosti ni. S tem povezan večni strah, pa naj je še tako malo utemeljen, mora lastnik pregrade plačati. V glavnem pa morajo biti odškodnine pogojene z bolj oprijemljivimi dejstvi: z manjšim pretokom Bistrice ter zato spremenjenim videzom prostora in s kakovostjo bivanja. Pri tem tudi ni nepomembno dejstvo, da bo območje umetnega jezera za pregrado in bližnja okolica nov avstrijski turistični objekt oz. prostor, Bistriški jarek pa je izgubil precej turistične privlačnosti (ki je hočeš nočeš tudi povezana z neprijetnim občutkom zadrževanja pod pregrado).

8. 1985. Ergänzende Standsicherheitsnachweise für den Erdbebenlastfall, Aufgrund des Gutachtens des Erdbebeninstitutes der Universität Skopje vom April 1985, KELAG, Klagenfurt.

Janez Lapajne Projected Earthquake Parameters (Design Basis Ground Motions) for the Koralpe Hydroelectric Dam

Historical data and recent measurements show that the area of the Bistrica Dam can be compared according to its seismic activity to seismically less hazardous areas in Slovenia. However, the nature and the importance of the dam and particularly the seismic vulnerability and risk of the downstream area nevertheless dictate the careful selection of projected earthquake parameters (design basis ground motions).

The height of the dam inspired the inhabitants of the downstream area with fear and doubts concerning its earthquake resistance. Slovene experts did not participate in the geological and geophysical studies but only in 1990 did they join their Austrian colleagues in the evaluation of studies, research, and analyses done by the latter and the results of the earthquake resistance study performed by experts from the Institute for Earthquake Engineering and Engineering Seismology (IEEES) of Skopje.

As is evident from the documentation of Kärntner Elektrizitäts AG (KELAG) of Klagenfurt (8), the dam is built primarily on mountainous terrain. Therefore, in the stability analysis of the dam sides and their resistance to slides, Austrian architects took into account an acceleration value of 0.105 g, which in 1985 was re-evaluated by the IEEES (3). It complies with the seismic hazard shown by an intensity map for a return period of 1000 years for the wider vicinity of the dam.

In its seismic stability analysis, the IEEES adopted the value of 0.12 g as the largest acceleration of seismic vibrations, and 450 m/s as the lowest speed of transverse waves behind the dam. For these values too, it made a calculation of permissible deformations of the dam. There is every indication that the project's seismic parameters were determined correctly and that the dam was designed in compliance with Yugoslav regulations.

It should be emphasized that due to the lack of necessary measurements the dynamic analysis is based on a number of adopted values. The presumed input earthquake could not be replaced by a measured one because there is no record of such a tremor for the studied area. Since the final analysis adopted the highest possible seismic intensity, the adopted values for the input earthquake appear to be on the safe side. Values adopted for the dam were subject to subsequent measurement.

During the construction of the dam, KELAG workers made regular measurements of the volume density and of the static module of individual layers of the dam. Results of these measurements show the superior workmanship involved in the construction of the dam. In addition, geophysicists from the Geological Institute of Ljubljana made measurements of the expansion velocity of artificially-caused transverse waves in the already finished dam in order to verify the adequacy of values of shear wave-motion velocity which is a key input item of information for dynamic analysis. Measurements showed that the shear wave-motion velocity behind the dam is about 540 m/s, which is better than 450 m/s.

The discovery of a cracked and brittle zone in the rock bed which could not be sealed off by the usual injection methods and which became evident due to a strong flow of water leaking out of the dam on its first filling was another reason for fear and doubt. Reasonable and convincing explanations by the Austrian experts reveal that the cracked and brittle layer in the rock bed of the dam has had no influence on evaluations of the dam's earthquake resistance made so far or on the calculation of earthquake parameters. However, if the rock bed is not adequately sealed and dam material is eroded, the dam's earthquake resistance would deteriorate since its properties would no longer meet the project requirements.

1. Lapajne, J., 1992. Določanje projektnih potresnih parametrov. Ujma, 6, Ljubljana.
2. Mihailov, V., T. Paskalov, N. Šešov, A. Šendov, M. Garevski, D. Dojčinovski, 1988. Brana Koralpe na Bistrici, Evaluacija seizmičnega hazarda i projektnih seizmičkih parametara. Knjiga I, Izveštaj IZIS 88—16, Skopje.
3. Mihailov, V., V. Ribarič, D. Dojčinovski, 1985. KW Koralpe — HE Golica, Ocena globalnog seizmičnog hazarda i projektnih seizmičkih parametara. Izveštaj IZIS 85—33, Skopje.
4. Paskalov, T., V. Mihailov, N. Šešov, A. Šendov, M. Garevski, D. Dojčinovski, 1988. Brana Koralpe na Bistrici, Analiza statičke i seizmičke stabilnosti brane. Knjiga II, Izveštaj IZIS 88—17, Skopje.
5. Ribarič, V., 1990. Uradno stališče o morebitnem ogrožanju pregrade HE Golica/KW Koralpe — dolina potoka Bistrice v obmejnem področju Avstrija—Jugoslavija. Seizmološki zavod Republike Slovenije, Ljubljana.
6. Uran, B., B. Tomšič, A. Gosar, 1991. Kontrolne seizmične meritve na pregradi HE Golica. Geološki zavod Ljubljana, Inštitut za geologijo, geotekniko in geofiziko, Ljubljana.
7. Vidrih, R., I. Cević, M. Godec, 1992. Potres na Koroškem (Muta). Ujma, 6, Ljubljana.