

5. POSVETOVANJE SLOCOLD

AKTUALNE TEME V PREGRADNEM INŽENIRSTVU – SEIZMIKA IN VELIKE PREGRADE

zbornik prispevkov

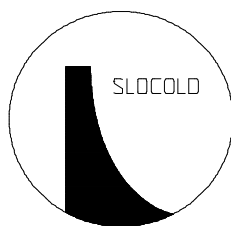
urednika

Andrej Kryžanowski

Andrej Širca



Ljubljana, maj 2003



5. POSVETOVANJE SLOCOLD

AKTUALNE TEME V PREGRADNEM

INŽENIRSTVU – SEIZMIKA IN

VELIKE PREGRADE

zbornik prispevkov

urednika

Andrej Kryžanowski

Andrej Širca

Ljubljana, maj 2003

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

627.8:550.346(063)(082)

SLOVENSKI nacionalni komite za velike pregrade. Posvetovanje (5 ;
2003 ; Ljubljana)

Aktualne teme v pregradnem inženirstvu : seizmika in velike
pregrade : zbornik prispevkov / 5. posvetovanje SLOCOLD, Ljubljana, 9. maj 2003 ;
urednika Andrej Kryžanowski, Andrej Širca. - Ljubljana : Slovenski nacionalni komite za
velike pregrade - SLOCOLD, 2004

ISBN 961-90207-4-X

1. Gl. stv. nasl. 2. Kryžanowski, Andrej, 1961-
213044992

5. POSVETOVANJE SLOCOLD, AKTUALNE TEME V PREGRADNEM
INŽENIRSTVU: SEIZMIKA IN VELIKE PREGRADE

ZBORNİK PRISPEVKOV

Andrej Kryžanowski, Andrej Širca (urednika)

izdal: Slovenski nacionalni komite za velike pregrade – SLOCOLD
© SLOCOLD 2003

Naklada: 120 izvodov

UVOD

V letošnjem, petem strokovnem posvetovanjem SLOCOLD smo namenili pozornost, v Sloveniji vse bolj aktualni tematiki: seizmično opazovanje velikih pregrad. Ob tej priložnosti smo povabili k sodelovanju kompetentne strokovnjake s področja inženirske geologije in seizmo-tektonike iz Slovenije in tujine. V veliko veselje mi je, da smo uspeli pritegnili k sodelovanju tudi kolege iz Makedonskega nacionalnega komiteja za velike pregrade (MAKOLD), ki so vsi, brez izjeme odzvali našemu povabilu in s svojimi prispevki obogatili vsebino letošnjega posvetovanja. V zborniku so prispevki razvrščeni po tematikah: prvih šest prispevkov se navezuje na problematiko seizmičnega opazovanja velikih pregrad; prispevka kolegov iz MAKOLD pa obravnavata teme s področja pregradnega inženirstva.

Strokovno predstavitev pričenjamo z opisom geološke zgradbe Slovenije (Poljak) z osnovnimi podatki, ki so v pomoč pri spoznavanju potresne dejavnosti v Sloveniji, prestavljeni v nadaljevanju (Vidrih). Sledi tematika s področja organiziranja seizmičnega opazovanja: prva tema predstavlja opazovanje seizmičnosti v Sloveniji (Sinčič, Vidrih), sledi navezava na opazovanje seizmičnosti na območju velikih pregrad (Godec, Vidrih) ter opis obstoječega seizmičnega monitoringa na velikih pregradah v Sloveniji, skladno z zakonsko regulativo (Mihailov). Tematiko zaokrožuje tematika, ki se navezuje na obravnavo tveganj in posledic pri eventualni porušitvi pregrade zaradi potresnih obremenitev konstrukcije (Zadnik).

V drugem delu so prikazani tipični primeri konstrukcijskih in tehnoloških rešitev pri načrtovanju in gradnji pregrad v Makedoniji (Tančev). V zadnjem prispevku tega zbornika pa avtor (Paskalov) navaja argumente v prid velikim pregradam kot argumentiran odgovor na vse bolj razširjeno nasprotovanje gradnji novih pregradnih objektov.

Dovolite mi, da se na temu mestu ponovno zahvalim referentom in kolegom iz MAKOLD za sodelovanje pri pripravi posvetovanja in s svojimi prispevki omogočili pripravo tega zbornika. Posebno zahvalo naslavljam tudi na naše kolektivne člane, ki s podporo omogočajo normalno delo našega društva, brez katere tudi ne bi mogli pripraviti letošnjega zbornika v obliki, ki je pred vami.

predsednik SLOCOLD:

mag. Andrej Kryžanowski

Ljubljana, 9. maj 2003

PODPORNI ČLANI

1. Dravske elektrarne Maribor d.o.o., Maribor
2. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana
3. GEOT d.o.o., Ljubljana
4. Geoinženiring d.o.o., Ljubljana
5. Gradbeno podjetje Grosuplje d.d., Ljubljana
6. Gradis GIZ d.o.o., Ljubljana
7. Gradis TEO d.d., Ljubljana
8. GZL Geoprojekt, Ljubljana
9. Holding Slovenske elektrarne d.o.o., Ljubljana
10. IBE d.d., Ljubljana
11. IRMA d.o.o., Ljubljana
12. Ministrstvo za obrambo URSZR
13. Nuklearna elektrarna Krško, Krško
14. Primorje d.d., Ajdovščina
15. Rafael d.o.o., Sevnica
16. Savske elektrarne Ljubljana d.o.o., Medvode
17. Soške elektrarne Nova Gorica d.o.o., Nova Gorica
18. Zavod za gradbeništvo Slovenije, Ljubljana

VSEBINA

GEOLOŠKA ZGRADBA SLOVENIJE	1
<i>Marjan POLJAK</i>	
POTRESNA DEJAVNOST SLOVENIJE	11
<i>Renato VIDRIH</i>	
OPAZOVANJE SEIZMIČNOSTI V SLOVENIJI	29
<i>Peter SINČIČ, Renato VIDRIH</i>	
SEIZMIČNO OPAZOVANJE VELIKIH PREGRAD	45
<i>Vadimir MIHAILOV</i>	
OPAZOVANJE SEIZMIČNOSTI NA OBMOČJU VELIKIH PREGRAD	61
<i>Matjaž GODEC, Renato VIDRIH</i>	
PROJEKTNA POTRESNA OBTEŽBA OB UPOŠTEVANJU VARNOSTI PREGRADNEGA OBJEKTA IN OGROŽENOSTI DOLVODNEGA PODROČJA	73
<i>Branko ZADNIK</i>	
PREGRADE V MAKEDONIJI	85
<i>Ljubomir TANČEV</i>	
KAJ STORITI S PREGRADAMI: GRADITI NOVE ALI PORUŠITI OBSTOJEČE ?	105
<i>Trifun PASKALOV</i>	

GEOLOŠKA ZGRADBA SLOVENIJE

Marjan POLJAK, univ.dipl.inž.geol.

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, Ljubljana

IZVLEČEK

Geološko zgradbo Slovenije pogojuje njena lega na stičišču Evroazijske plošče z Jadransko in Tisia mikroploščo. Največji del Slovenije pripada Dinaridom, ki predstavljajo severovzhodni deformirani rob Jadranske mikroplošče. V paleogeografskem smislu so ti sestavljeni iz Dinarske karbonatne platforme, ki je v grobem istovetna z Zunanji Dinaridi, Slovenskega bazena oz. območja globljemorskih kamnin, ki obsegajo Notranje Dinaride in del Južnih Alp ter Julijske karbonatne platforme, ki pripada Južnim Alpam. Severna Slovenija, točneje ozemlje severno od Periadriatskega šiva pripada Vzhodnim Alpam. Te so zgrajene iz metamorfoziranih in močno porušeni kamnin kar je posledica kolizije Jadranske mikroplošče z Evroazijsko. V Panonski bazen pa uvrščamo terene vzhodne Slovenije, kjer sedimenti nekdanjega Panonskega morja oz. jezera prekrivajo kamnine Dinaridov in Alp.

ABSTRACT

Geological framework of Slovenia is determined by its position near the junction of the Eurasian plate with the Adriatic and Tisia microplate. The most part of Slovenia belongs to the Dinarides that represent the northeastern and deformed part of the Adriatic microplate. They consist of several paleogeographic units: the Dinaric carbonate platform that roughly corresponds to the External Dinarides; the Slovenian basin that represents a deep water environment and occupies the Internal Dinarides and a part of the Southern Alps; and the Julian carbonate platform that belongs to the Southern Alps, Northern Slovenia that lies north of the Periadriatic lineaments is a part of the Eastern Alps. These are built up of metamorphosed rocks that were disturbed during the collision of the Adriatic microplate with the Eurasian plate. Terrains of the eastern Slovenia belong to the Pannonian basin, and they consist of the Pannonian basin sediments that cover rocks of the Dinarides and the Alps.

1. UVOD

Slovenija leži pri stičišču treh velikih geografsko-geotektonskih enot: Alp, Dinaridov in Panonskega bazena. V geološkem smislu pripada Alpam severni del Slovenije, točneje Pohorje in Kobansko ter Severne Karavanke. Po geotektonski razdelitvi so to Vzhodne Alpe. Meja proti Dinaridom poteka na južni strani po centralnih Karavankah in naprej preko Vitanjskega niza v Panonski bazen. Dinaride v širšem smislu delimo na 1) Južne Alpe, k njim spadajo Južne Karavanke, Julijske in Kamniško-Savinjske Alpe, 2) t.i. Slovenski bazen, ter 3) Notranje in 4), Zunanje Dinaride. Jugo zahodni del Slovenije, južno od Čičarije imenujemo Jadransko predgorje. V Panonski bazen uvrščamo vzhodni del Slovenije, v ožjem smislu pa samo skrajni severovzhod in sicer t.i. Mursko depresijo, kjer sedimentne kamnine Panonskega bazena dosega velike debeline tudi do 5000 metrov.

Geološka zgradba slovenskega ozemlja je najbolj celovito prikazana na Osnovni geološki karti Slovenije, ki je sestavljena iz posameznih listov merila 1:100 000. Izdelal jo je Geološki zavod Ljubljana v obdobju 1970-1990. Po podatkih z Osnovne geološke karte sta S. Buser in V. Draksler leta 1993 izdelala pregledno geološko karto Slovenije v merilu 1:500 000, M. Poljak pa leta 2000 pregledno strukturno-tektonsko karto Slovenije.

Pri opisu geološke zgradbe nekega ozemlja podajamo običajno naprej litologijo - opis kamninske sestave ter stratigrafijo - starostno zaporedje kamnin, ki so odkrite na površini ali ugotovljene v globini. Strukturne deformacije terena, ki so nastale skozi geološki čas praviloma zaradi delovanja endodinamskih sil v notranjosti Zemlje, imenujemo tektonika.

Po navedenih literaturnih virih ter po omenjeni metodologiji podajamo v pregledni obliki geološko zgradbo slovenskega ozemlja (sl. 1). Na sliki 2 so predstavljeni posplošeni geološki stolpci kamnin posameznih geotektonskih enot, na sliki 4 so vidne glavne geotektonske enote Slovenije skupaj s pomembnejšimi strukturami točneje prelomi in narivi, na sliki 5 pa njihov globinski položaj. Zaradi lažjega spremljanja besedila je na sliki 3 prikazana tudi časovna geološka lestvica.

2. SPLOŠNA GEOLOŠKA ZGRADBA

2.1 Stratigrafija

Najstarejše kamnine slovenskega ozemlja so metamorfne. Na površini izdanjajo v Vzhodnih Alpah, točneje na Pohorju, Kobanskem in Strojni. Izvorno so to globokomorske sedimentne kamnine, predvsem glinasti skrilavci predkambrijske do paleozojske starosti, ki so bili kasneje metamorfozirani v različne metamorfne kamnine, kot so gnajsi, filiti, skrilavci itd. Osrednji del

Pohorja pa gradi mnogo mlajša magmatska kamnina tonalit oziroma granodiorit, ki se je vtisnila v prej opisane metamorfne kamnine v času kenozoika, natančneje starejšega terciarja.

Mejna cona med Alpami in Dinaridi poteka po centralnih Karavankah; od Pece na zahodu preko Smrekovca do Paškega Kozjaka na vzhodu. Tako kot Pohorje je zgrajena iz metamorfnih in magmatskih kamnin s to razliko, da je tukaj del magmatskih kamnin, ki jih predstavlja granit, starejši in izvira iz mlajšega paleozoika.

Za **Dinaride** je značilno več različnih paleogeografskih okolij, ki so se oblikovala predvsem v mezozoiku in so odločilno vplivala na nastanek različnih kamnin. V **Južnih Karavankah** izdajajo na površini kamnine paleozojske in mezozojske starosti. Paleozojske kamnine predstavlja heterogena skladovnica globljemorskih in plitvomorskih ter kopenskih sedimentov (glinasti skrilavci, laporji, apnenci, peščenjaki, konglomerati, breče itd.), medtem ko so mezozojske kamnine zastopane večinoma v obliki karbonatnih sedimentov (dolomiti in apnenci), ki so nastajali v sorazmerno plitvem morju. **Julijske in Kamniško-Savinjske Alpe** so bile paleogeografsko nekoč del t.i. Julijske karbonatne platforme, ki se je formirala na začetku mezozoika. V plitvomorskem okolju so na platformi nastajale predvsem karbonatne kamnine (apnenec in dolomit). Med Julijskimi in Kamniško-Savinjskimi Alpami (Ljubljanska kotlina) ter v Kamniško-Savinjskimi Alpami (Zgornje-Savinjska dolina) je bila v kenozoiku natančneje v starejšem terciarju odložena več kot 1000 m debela skladovnica t.i. klastičnih sedimentov (laporji, meljevci, peščenjaki itd.) z vložki vulkanoklastičnih sedimentov (tuf).

Naslednji paleogeografski prostor Južnih Alp je t.i. **Slovenski bazen**, ki danes zajema predvsem **Alpsko predgorje**. V času mezozoika je tam nastal globljemorski bazen, v katerem so se odlagali predvsem klastični sedimenti. Ponekod se je v bazen izlivala tudi magma in tako so nastale manjše količine magmatskih kamnin (keratofirji, diabazi in dr.). V terciarju je na prostoru, ki se delno ujema s Slovenskim bazenom in sicer predvsem na območju današnjega Posavskega hribovja v manjših zalivih potekala sedimentacija nekdanjega Panonskega morja. V mlajšem kenozoziku (kvartarju) so se v današnji Ljubljanski kotlini in še nekaterih drugih kotlinah po Sloveniji odlagali sedimenti, ki so nastajali pri taljenju alpskih ledenikov. To so predvsem prodni zasipi, ki dosegajo debelino do 100 metrov. Paleogeografski prostor Slovenskega bazena se nadaljuje proti vzhodu in jugovzhodu v **Notranje Dinaride**. Tem prištevamo manjši del jugovzhodne Slovenije in sicer vzhodni del Posavskega hribovja in Gorjancev. Tudi tam so v mezozoiku nastajali pretežno globljemorski klastični sedimenti. Slednji so bili v kenozoiku delno prekriti s sedimenti Panonskega bazena, ki dosegajo v Krški kotlini debelino do 2000 metrov.

Južni del Slovenije pripada **Zunanjim Dinaridom**, ki pokrivajo prostor paleogeografske enote imenovane Dinarska karbonatna platforma. Tam so v največjem delu mezozoika nastajali plitvomorski karbonatni sedimenti (apnenec

in dolomit), ki dosegajo debelino do več tisoč metrov. V zahodnem, predvsem pa v jugozahodnem delu slovenskih Zunanjih Dinaridov prehajajao mezozojske in terciarne karbonatne sedimentne kamnine v globlje morske klastične sedimentne kamnine, ki jih imenujemo fliš. V litološkem smislu je to menjavanje laporjev, peščenjakov in konglomeratov. Debelina teh skladov je precejšnja in znaša do 1000 metrov.

Vzhodni del Slovenije pripada **Panonskemu bazenu**. V paleogeografskem smislu je Panonski bazen izolirani del nekdanjega oceana Tetide (Tethys), ki se v strokovni literaturi imenuje Paratetida (Paratethys). V starejšem terciarju so tukaj nastajali morski karbonatni in klastični, v mlajšem terciarju pa jezerski klastični sedimenti. Nastali so apnenci, laporji, gline, peski, peščenjaki in drugi sedimenti. V strokovni literaturi ta tip sedimentov imenujemo pogosto molasa. V času terciarja so se na prostoru Panonskega bazena pojavljali tudi izlivi magmatskih kamnin kot so andeziti, daciti, bazalti in drugi. Večjo debelino imajo t.i. tufski sedimenti starejšega terciarja. Tuf pa je kamnina, ki je nastala iz usedlega vulkanskega pepela. Sedimentacija se je na tem prostoru nadaljevala še v mlajšem kenozoiku - kvartarju. V rečnih in jezerskih okoljih se je takrat usedlo do največ 100 metrov sedimentov.

2.2 Tektonika

Strukturno zgradbo slovenskega ozemlja pogojuje njegova lega na stičišču treh litosferskih plošč (Evroazijske plošče ter Jadranske mikroplošče in mikroplošče Tisza) ter njihova dinamika skozi geološki čas. Jadranska mikroplošča predstavlja sicer severni ločeni del Afriške plošče, medtem ko se Tisza mikroplošča ali Tisia povezuje z Evrazijsko ploščo. Slednja leži v celoti izven Slovenskega ozemlja in zavzema južno Madžarsko in severno Hrvaško.

Najstarejše strukturne deformacije, ki jih lahko zaznamo na navedenem prostoru, so povezane z razlamljanjem nekdanj enotnega kontinenta Pangeae, ki se je začelo na začetku mezozoika. Razpadanje kontinenta na manjše dele (plošče in mikroplošče) je spremljalo širjenje prostora in nastanek prostranega oceana Tetide (Tethysa) med današnjima Evrazijo in Afriko. Zaradi regionalnega ekstenzijskega napetostnega polja so nastali v tem času predvsem regionalni normalni prelomi, ki v grobem ločijo območja s kopensko, plitvomorsko ali globokomorsko sedimentacijo. V tem času je nastal omenjeni Slovenski bazen med Julijsko in Dinarsko karbonatno platformo. Strukture, ki izvirajo iz tega obdobja, prepoznamo danes samo posredno in sicer po položaju in medsebojnem odnosu različnih tipov sedimentov.

Naslednji sklop strukturnih deformacij je nastal pri zapiranju prej omenjenega oceana in trčenja litosferskih plošč in mikroplošč. To dogajanje se je začelo ob koncu mezozoika in traja v določeni meri še do danes. Slovenija leži skoraj v celoti na severovzhodnem robu Jadranske mikroplošče. Pri koliziji le-te z mikroploščo Tisie na jugovzhodu in Evrazijsko ploščo na severu so nastali Dinaridi oz. Alpe.

Dinaridi (Zunanji in Notranji) so v strukturnem smislu zgrajeni iz gub, prelomov in narivov v generalni smeri NW-SE. Številne od teh struktur imajo regionalni značaj in se kot npr. Idrijski prelom raztezajo v dolžini več sto kilometrov. V geotektonskem smislu predstavljajo Dinaridi močno deformirani rob Jadranske mikroplošče in so od severovzhoda proti jugozahodu narinjeni na njen osrednji in sorazmerno neporušeni del, ki ga imenujemo Adriatik ali Jadransko predgorje. V Sloveniji ta meja poteka po jugozahodnem robu Krasa in Čičarije. Za **Južne Alpe** so značilne gube, prelomi in narivi v splošni smeri E-W. Izraziti so nekateri regionalni narivi kot sta npr. nariv Julijskih Alp ter nariv Kamniško-Savinjskih Alp. Smer narivanja je potekala od severa proti jugu. Izrazito nagubano območje pa je Posavsko hribovje, ki ga v strukturnem smislu opredeljujemo kot Posavske gube.

Meja med Južnimi in Vzhodnimi Alpami je t.i. **Periadriatski šiv**, ki v globini predstavlja tudi mejo med Jadransko mikroploščo in Evroazijsko ploščo. Na površini je prekrit s tektonskimi pokrovi t.i. Avstro-Alpina, ki so deli Jadranske mikroplošče. Cono Periadriatskega šiva gradi pas magmatsko – metamorfnih kamnin ter snop prelomov v splošni smeri E-W do NE-SW. V **Vzhodnih Alpah** prevladujejo narivi s smerjo narivanja od juga proti severu, ki se raztezajo v splošni smeri E-W. Najizrazitejši med njimi je nariv Severnih Karavank.

V **vzhodnem delu Slovenije** prevladujejo v strukturnem smislu regionalni prelomi in narivi v smeri SW-NE. Pripadajo t.i. Zagrebški ali Balatonski coni, ki je nastala pri trčenju Tisie z Evroazijsko ploščo. Te strukture ležijo v podlagi sedimentnega pokrova Panonskega bazena. Pomembnejši je Ljutomerski prelom, ki v globini obenem predstavlja tudi mejo med Vzhodnimi in Južnimi Alpami. Na površini pa je najizrazitejši predstavnik navedene cone morfostrukturni masiv Gorjancev. Rezultat kolizije opisanih litosferskih plošč in mikroplošč ter njihove dinamike v terciarju in kvartarju je kompresijsko napetostno polje na njihovem stičišču ter os glavne največje napetosti (δ_1) v smeri N-S.

V tovrstnem napetostnem polju imajo *dinarski* prelomi v smeri NW-SE in *balatonski* v smeri NE-SW značaj levih oz. desnih strižnih struktur. Južnoalpske gube in narivi v smeri W-E so kompresijske strukture. Na celotnem ozemlju Slovenije so v manjšem številu prisotni tudi prelomi v splošni smeri N-S. Imajo značaj tenzijskih razpok in se na terenu pogosto pojavljajo kot normalni prelomi. Prelomi Periadriatske strukturne cone so tudi desnozmični. Posledica tega so t.i. *pull-apart* bazeni, ki so nastali v sekundarnem ekstenzijskem napetostnem polju. Značaj slednjih kažejo Ljubljanska, Celjska in Slovenjegraška kotlina.

Poleg geoloških so pokazatelji recentne geodinamike tudi potresi. Ti so v Sloveniji pogosti, vendar dokaj razpršeni (Ribarič, 1982), kar kaže na izrazito, toda zapleteno porušenost slovenskega ozemlja. V seizmologiji je mogoče izračunati mehanizem nastanka potresa v njegovem žarišču. Dosedanji izračuni kažejo v splošnem isto strukturno zakonitost, kot smo jo že opisali. Torej se

pojavljajo v Dinaridih desnozmični, v Balatonski coni levozmični in v Južnih Alpah reverzni mehanizmi potresov (Poljak in dr., 2000).

Kvantitativne parametre recentne dinamike ozemlja ugotavljamo s pomočjo geodetskih meritev. Pri tem so najpomembnejše nivelmanske meritve vertikalnih premikov in meritve horizontalnih premikov s pomočjo GPS metode. Dosedanje sistematične meritve vertikalnih premikov kažejo, da je red velikosti le-teh na slovenskem ozemlju do nekaj milimetrov na leto (Koler, 1990), vendar so zaradi različnih natančnosti meritev v različnih obdobjih meritev te vrednosti le orientacijske. Natančne meritve, ki se v zadnjem obdobju izvajajo na posameznih ožjih območjih kot npr. v Ljubljanski ali Krški kotlini, pa kažejo tako vertikalne kot tudi horizontalne premike s hitrostjo manj kot 1 milimeter na leto (Koler in Breznikar, 1999; Vodopivec in Kogoj, 1999).

3. SKLEP

Poznavanje geološke zgradbe določenega ozemlja, ne le splošno, kot je to podano v tem besedilu, temveč tudi detajlno, je potrebno tako v znanstvenem smislu, kot tudi v uporabne namene. Razumevanje litološke in stratigrafske zgradbe ter poteka starejših in sedanjih strukturnih deformacij namreč omogoča boljše predvidevanje geoloških dogajanj tudi v prihodnosti. Poleg poznavanja in uporabe obstoječih podatkov pa je običajno koristno ali pa kar neizogibno izvesti tudi dodatne geološke in sorodne raziskave, na kar se pogosto pozablja pri pomembnejših posegih v prostor.

LITERATURA

Buser, S., Draksler, V., 1993: Geološka karta Slovenije 1:500 000. Geodetski zavod Slovenije, Ljubljana.

Koler, B., 1990: Ugotovitev vertikalnih premikov na osnovi analize nivelmalnskih mrež višjih redov na območju Slovenije. Disertacija. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana.

Koler, B., Breznikar, A., 1999: Določitev vertikalnih premikov na območju Krškega in Krške kotline. 5. strokovno srečanje Slov. združ. geod. geof., Zbor predavanja, II del, 31-49, Ljubljana.

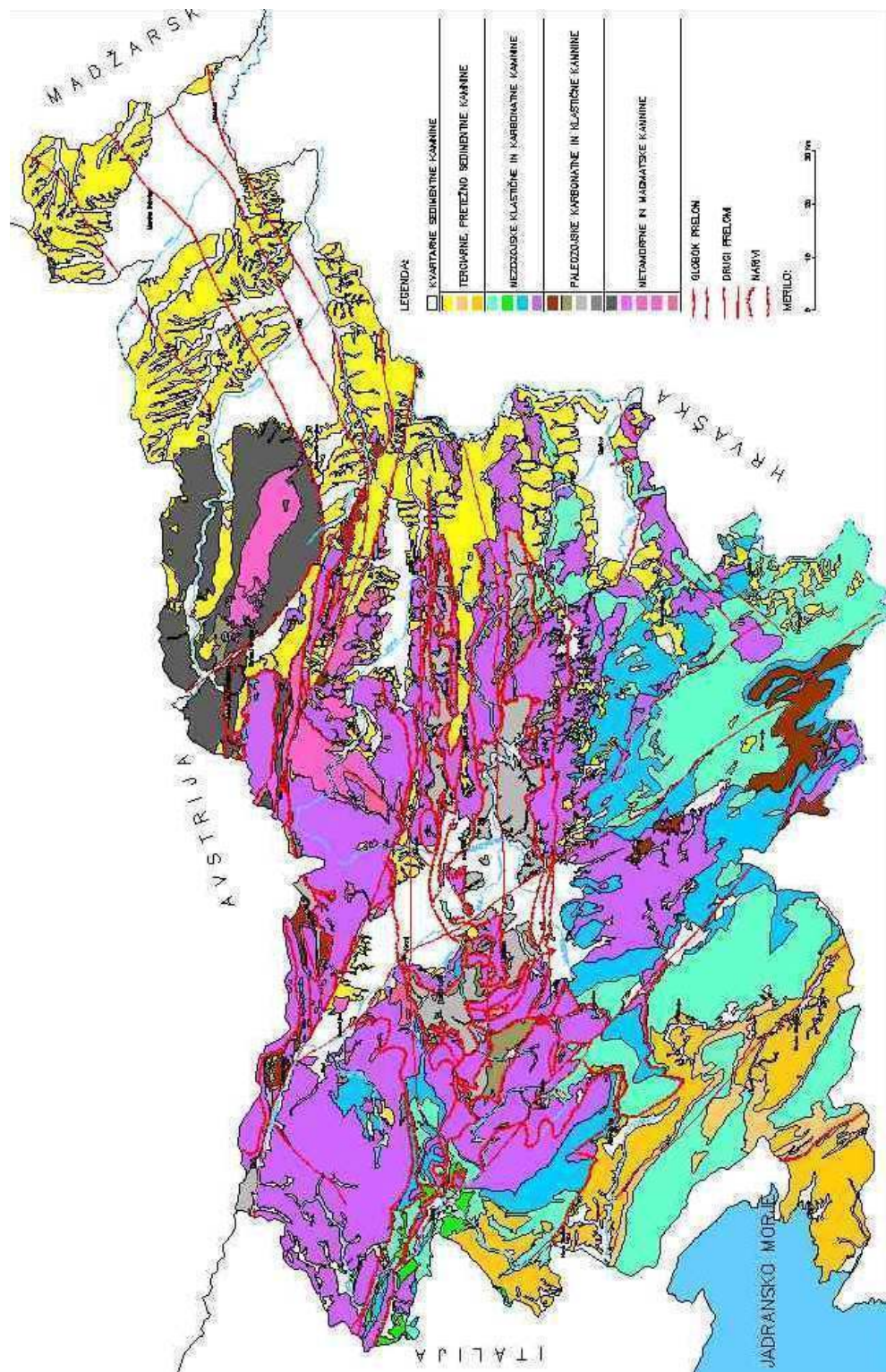
Poljak, M., 2000: Strukturno-tektonska karta Slovenije 1:250 000. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.

Poljak, M., Živčič, M., Zupančič, P., 2000: The Seismotectonic characteristics of Slovenia. Pur. appl. Geophys., 157, 37-55.

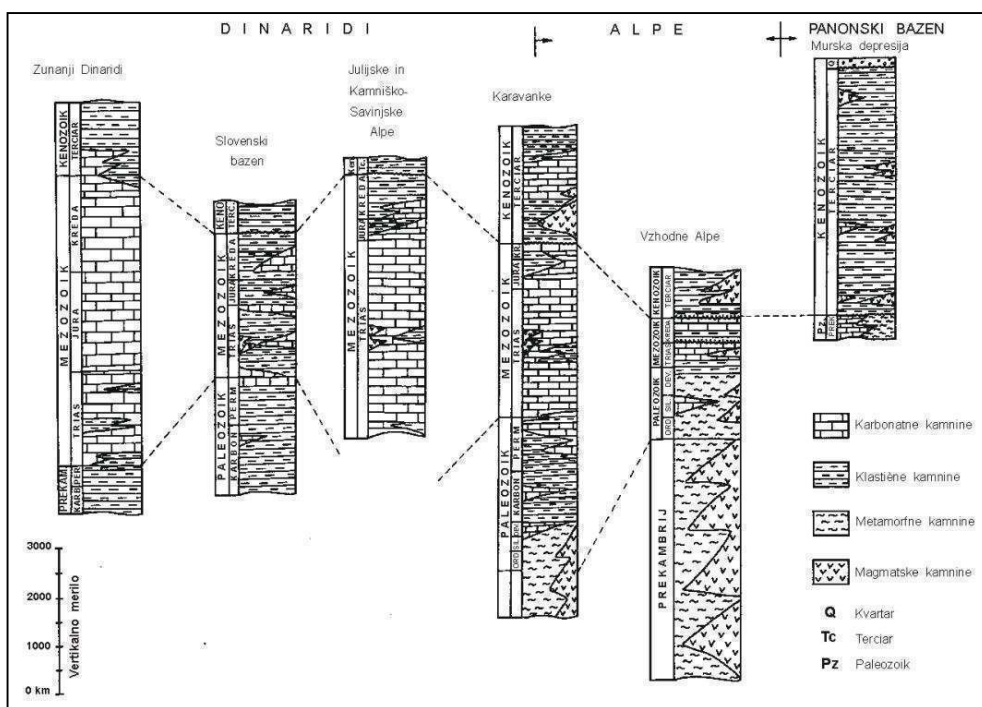
Ravnik, D., Rajver, D., Poljak, M., Živčić, M., 1995: Overview of the geothermal field of Slovenia in the area between the Alps, the Dinarides and the Pannonian basin. *Tectonophysics*, 250, 135-149.

Ribarič, V., 1982: Seizmičnost Slovenije – katalog potresov (792 n.e. – 1981). Seizmološki zavod Slovenije, Ljubljana.

Vodopivec, F., Kogoj, D., 1999: Geodetske meritve morebitnih horizontalnih premikov tal v Krški kotlini. 5. strokovno srečanje Slov. združ. geod. geof., Zbor predavanja, II. del. 18-30, Ljubljana.



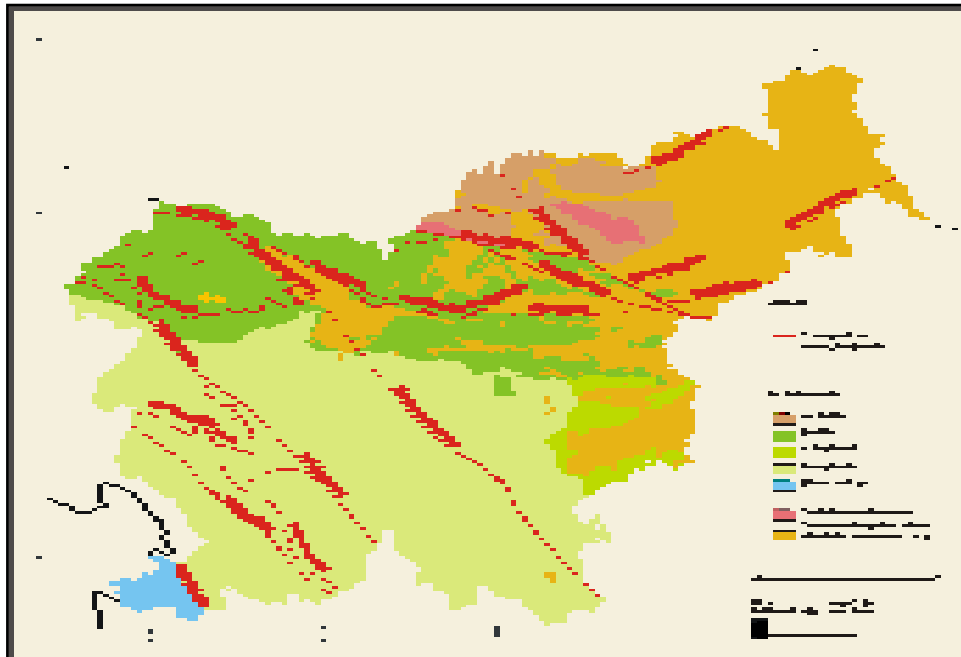
Slika 1: Pregledna geološka karta Slovenije (www.geo-zs.si)



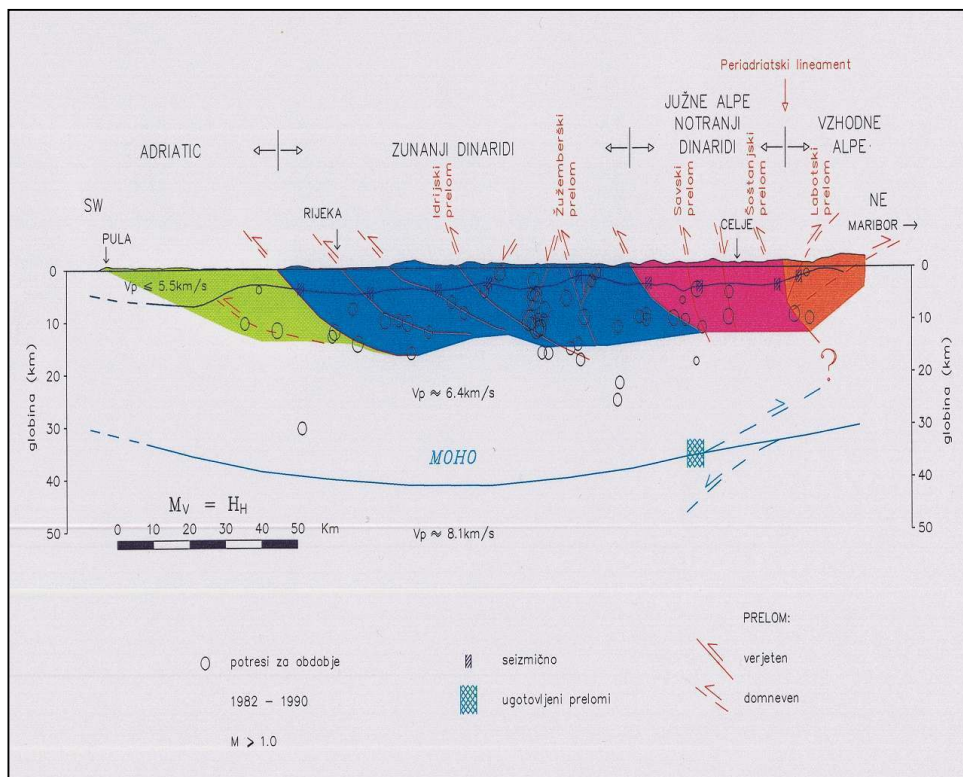
Slika 2: Posplošeni stratigrafski stolpci za posamezne geotektonske enote v Sloveniji

GEOLOŠKE DOBE		STAROSTI (v mio. let)
KENOZOIK	KVARTAR	0,01
	TERCIAR	2
MEZOZOIK	KREDA	65
	JURA	142
	TRIAS	205
	PERM	250
	KARBON	292
	DEVON	354
	SILUR	417
	ORDOVICIJ	440
	KAMIBRIJ	485
	PALEOZOIK	ALGONKIJ
ARHAIK		

Slika 5: Posplošena geološka časovna lestvica (IUGS, ICS: www.micropres.org/stratigraphy)



Slika 4: Pregledna tektonska karta Slovenije



Slika 5: Tektonsko interpretirani seizmični refrakcijski profil Pula-Maribor s hipocentri potresov (po Ravnik et al., 1995)

POTRESNA DEJAVNOST SLOVENIJE

mag. Renato VIDRIH, univ.dipl.inž.geol.

MOP, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Dunajska 47, Ljubljana

IZVLEČEK

Potresi so ena najhujših elementarnih nesreč, ki so v zgodovini po vsem svetu zahtevali več milijonov smrtnih žrtev (samo v 20. stoletju je ob potresih izgubilo življenje 1,6 milijona ljudi). Potresov, kakršen je bil leta 1556 na Kitajskem, ki je zahteval več kot 830.000 žrtev, seveda v Sloveniji ni bilo in seizmologi jih tudi ne pričakujemo. Zgodovinski podatki nam pričajo, da lahko pri nas le v daljšem časovnem obdobju nastanejo potresi, ki presežejo IX. stopnjo po lestvici EMS.

Na potresni karti vidimo, da je večji del Slovenije ogrožen do VII. stopnje, vmes pa so območja, kjer so možni potresi VIII. in celo IX. stopnje po EMS. Najmočnejši potresi, ki so zatresli naše ozemlje, so bili koroški potres leta 1348, idrijski potres leta 1511 in ljubljanski potres leta 1895. Vsi so zahtevali tudi žrtve. V 20. stoletju je bilo na Slovenskem 20 potresov, ki so povzročili večjo ali manjšo gmotno škodo, na srečo brez smrtnih žrtev. Potresi, ki povzročajo gmotno škodo, so pri nas sorazmerno pogosti, zato moramo biti nanje pripravljeni, predvsem z dobro zgrajenimi zgradbami.

ABSTRACT

Earthquakes which demanded several millions casualties in our history are one of the worst national catastrophes. In the 20th century alone they caused deaths of more than 1,6 million people. Earthquakes like the 1556 China earthquake with 830.000 casualties never occurred in Slovenia and are not to be expected. According to the historical data, earthquakes above intensity IX EMS scale, can in Slovenia only occur in a long period of time.

According to the Seismic hazard map of Slovenia in the major part of the country, earthquakes with intensity up to VII on the EMS scale are expected. There are some areas, where intensity can reach VIII or IX on the EMS scale. Some of the strongest earthquakes, which occurred on our territory are the 1348 Carinthian earthquake, the 1511 Idria earthquake and the 1895 Ljubljana earthquake. They all caused casualties. In the 20th century there were 20 earthquakes in Slovenia, which caused minor or greater damage, fortunately without casualties. Earthquakes, causing damage are quite common in Slovenia and we have to be prepared for them, especially in the field of building construction.

1. UVOD

Ozemlje Slovenije spada po številu in moči potresov med aktivnejša območja, saj leži na potresno dejavnem južnem robu Evrazijske geotektonske plošče, na severozahodnem robu sredozemsko-himalajskega seizmičnega pasu, ki je eden od potresno najaktivnejših na Zemlji. Na majhnem slovenskem prostoru se stikajo tri regionalne geotektonske enote: na severu in zahodu Alpe, na južnem, jugozahodnem in osrednjem delu Dinaridi in na severovzhodu Panonski bazen. Razlogi za nastajanje številnih šibkih, pa tudi močnih potresov so v zapleteni geološki in tektonski zgradbi našega ozemlja, ki leži na manjši Jadranski plošči, stisnjeni med Afriško na jugu in Evrazijsko na severu. Jadranska plošča se vrti v nasprotni smeri urinega kazalca, kar povzroča predvsem na severni in vzhodni strani različna premikanja. Južna in zahodna Slovenija ležita na severnem delu plošče, ki je zelo deformiran in narinjen na osrednji, manj deformiran del plošče. Zaradi premikanj v različnih smereh prihaja med njimi do napetosti, ki so lahko vzrok za nastanek potresov. Premikanja plošč povzročajo na ozemlju Slovenije napetosti v smeri sever-jug, ki se sproščata v potresih ob prelomih severozahod-jugovzhod (dinarska smer) in severovzhod-jugozahod (prečnodinarska smer), ter ob naravnih strukturah, ki potekajo v smeri vzhod-zahod.

Iz zgodovinskih virov in v novejšem obdobju iz rednega beleženja in spremljanja potresnih pojavov lahko vidimo, da je bilo v preteklosti na naših tleh več kot 60 rušilnih potresov. Poleg grotne škode so zahtevali tudi številna človeška življenja. Potresno najbolj nevarna območja v Sloveniji so poleg ljubljanskega, kjer se je v preteklosti sprostilo največ potresne energije, še idrijsko, tolminsko in krško-brežiško. Potresna žarišča nastajajo na celotnem ozemlju Slovenije, najmanj jih je na skrajnem severovzhodnem delu. Samo v 20. stoletju je nastalo pri nas več kot 20 potresov, katerih največja intenziteta je bila ali je preseгла VII. stopnjo po EMS, kar pomeni, da so povzročali večjo ali manjšo grotno škodo.

Prvi omenjeni potres na naših tleh je bil, po pisanju starih kronik, leta 567 n. št. (Vidrih, 1997, 2002, Živčič, 1994). Sledili so številni potresi, od katerih bodo v nadaljevanju natančneje opisani le nekateri najmočnejši. Naše kraje so prizadeli tudi številni močni potresi, katerih žarišča so bila zunaj ozemlja Slovenije. Danes seizmografi na slovenskih opazovalnicah zabeležijo na leto več sto šibkih potresov, od katerih jih prebivalci čutijo več deset (potresi, ki dosežejo ali presežejo III. stopnjo po EMS).

V Sloveniji sproti beležimo potrese od leta 1959. Na podlagi številnih šibkih, predvsem pa močnih potresov, geoloških, seizmoloških in drugih raziskav smo izrisali karte potresne nevarnosti in ogroženosti naše domovine. Seizmična karta Slovenije je osnova za izpopolnjevanje obstoječih predpisov o izgradnji gradbenih objektov na seizmičnih območjih in za potrebe prostorskega in urbanističnega načrtovanja in projektiranja (Ribarič, 1987).

2. PRELOMI

Ozemlje Slovenije seka več kot 100 pomembnejših prelomov, ki smo jih glede na njihovo smer razdelili v štiri skupine:

- prelomi s smerjo severozahod-jugovzhod (dinarska smer),
- prelomi s smerjo severovzhod-jugozahod (prečnodinarska smer),
- prelomi s smerjo vzhod-zahod (alpska smer),
- prelomi s smerjo sever-jug (prečnoalpska smer).

Razvrstitev in lega prelomov sta posledica smeri delovanja tektonskih pritiskov zaradi premikanja litosferskih plošč v tem delu Sredozemlja. Na slovenskih tleh so nastali prelomi, ki segajo do različnih globin. Večinoma so plitvi in segajo do globine 10 km, le redki so globlji in izrazitejši, kot npr. prelomi ob periadriatski coni, idrijski in savski prelom, nekoliko manj pa kozinski, šoštanjski in labotski. Potresna dejavnost seizmogenih območij je odvisna predvsem od dolžine aktivnih delov prelomnih struktur in od globin, do katerih te strukture segajo. Dolžine aktivnih delov prelomov so v Sloveniji relativno majhne (Sikošek, 1982). Delimo jih v tri skupine:

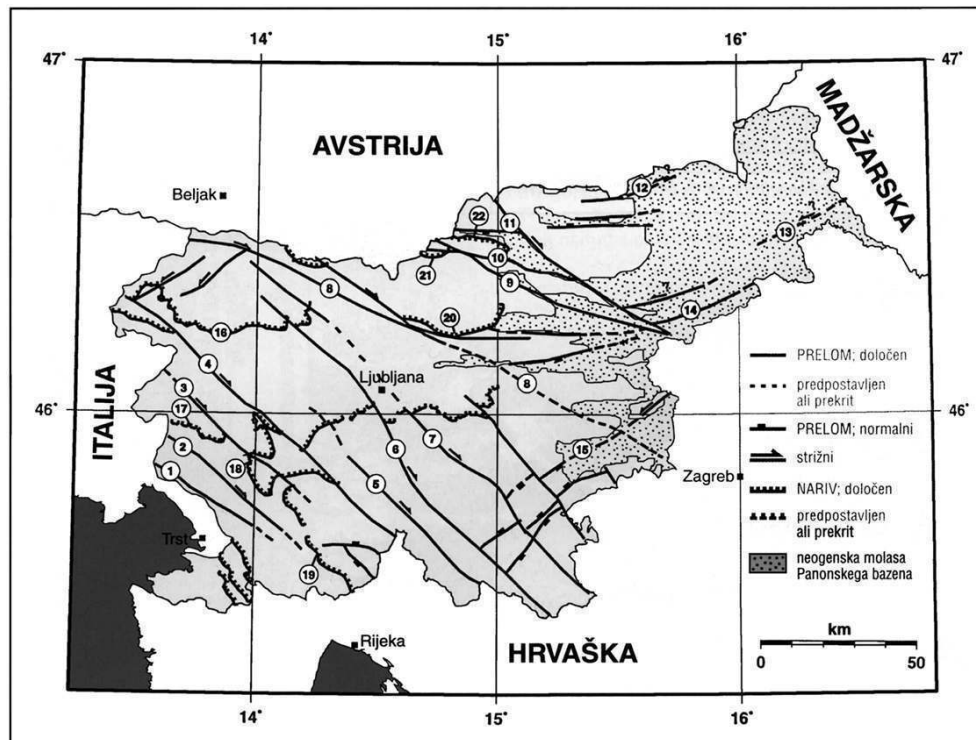
- dolgi prelomi z dolžinami aktivnih delov nad 12 km,
- srednje dolgi prelomi z dolžinami aktivnih delov med 2 in 11 km in
- kratki prelomi z dolžinami aktivnih delov do 2 km.

Prelomi kot viri seizmične energije delijo ozemlje v seizmogene enote. Glede na velikost ločujemo seizmogena območja, sisteme, cone in bloke. Najpomembnejši prelomi, ki sekajo slovensko ozemlje, so prikazani na sliki 1.

3. SEIZMOTEKTONSKE ZNAČILNOSTI

Območje Slovenije je z geofizikalnega stališča pomanjkljivo raziskano. Z globinskim seizmičnim sondiranjem bi o litosferi vedeli veliko več, kot vemo. Na podlagi nekaterih geofizikalnih meritev (predvsem gravimetrije, magnetometrije, seizmike) lahko govorimo o dveh delih skorje. Sedimentni pokrov (to so večinoma paleozojske, mezozojske in kenozojske kamnine) gradi epidermalni del, katerega debelina je različna, približno do 15 km. Sledi krystalni del, ki ga sestavljajo granitne in bazaltne plasti. Nahaja se v globini med 15 in 25 km. Na več mestih je med granitnim in bazaltnim delom ugotovljena meja, ki se po avstrijskem geofiziku V. Conradu (1876-1962) imenuje Conradova diskontinuiteta. Spodnja površina krystalnega dela, kjer se izrazito spreminjajo hitrosti seizmičnih valov, se imenuje po zagrebškem geofiziku A. Mohorovičiću (1857-

1936) Mohorovičičeva diskontinuiteta in se na območju Slovenije nahaja v različnih globinah, med 27 in 46 km. Največja je v Julijskih Alpah, proti vzhodu in jugovzhodu pa se zmanjšuje, tako da je na območju Slovenskih goric njena debelina le 27 km.



Slika 1: Glavni tektonski prelomi v Sloveniji so povzročili nastanek več seizmogenih območij, med katerimi so najdejavnejša ljubljansko, idrijsko-tolminsko in krško-brežiško (Poljak et al., 2000). Glavni prelomi: 1-Divača, 2-Raša, 3-Predjama, 4-Idrija, 5-Borovnica, 6-Želumlje, 7-Žužemberk, 8-Sava, 9-Šoštanj, 10-Smrekovec, 11-Labod, 12-Kungota, 13-Ljutomer, 14-Donat, 15-Orlica. Glavni narivi: 16-Julijske Alpe, 17-Trnovski gozd, 18-Nanos, 19-Snežnik, 20-Kamnik-Savinjske Alpe, 21-južne Karavanke, 22-severne Karavanke (Poljak et al., 2000).

4. GLOBINE POTRESNIH ŽARIŠČ

Globine potresnih žarišč na območju Slovenije so omejene z debelino skorje, saj so globoka žarišča zelo redka. Večina žarišč nastane v globinah med 5 in 15 km. Razdelili smo jih v tri intervale od 0 do 5 km, od 5 do 10 km in od 10 do 15 km. Šibki potresi ($M < 3,0$) nastajajo predvsem v globini od 0 do 10 km, kar priča o dejavnosti plitvih seizmogenih prelomov. Žarišča močnejših potresov ($M > 5,0$) pa nastajajo v globini med 10 in 15 km, kar je na meji med epidermalnim in krystalnim delom Zemljine skorje.

Dobro zasnovano delo bomo lahko nadaljevali le s kakovostnim spremljanjem potresne dejavnosti, za kar pa bi potrebovali okoli 25 opazovalnic

državne mreže, ki bi bile razporejene po celotni Sloveniji. Ker vemo, da je Slovenija na potresno nevarnem območju (to nam dokazuje 60 rušilnih potresov, ki so v preteklih stoletjih zatresli naša tla, povzročili ogromno gmotno škodo in zahtevali številna življenja), lahko na naših tleh vedno znova pričakujemo močnejše potrese. Nanje smo lahko pripravljeni le s stalnim opazovanjem in proučevanjem potresne dejavnosti, saj le na ta način lahko zmanjšamo potresno tveganje. K temu pa lahko pripomore samo dovolj gosto postavljena in kakovostno opremljena državna mreža potresnih opazovalnic.

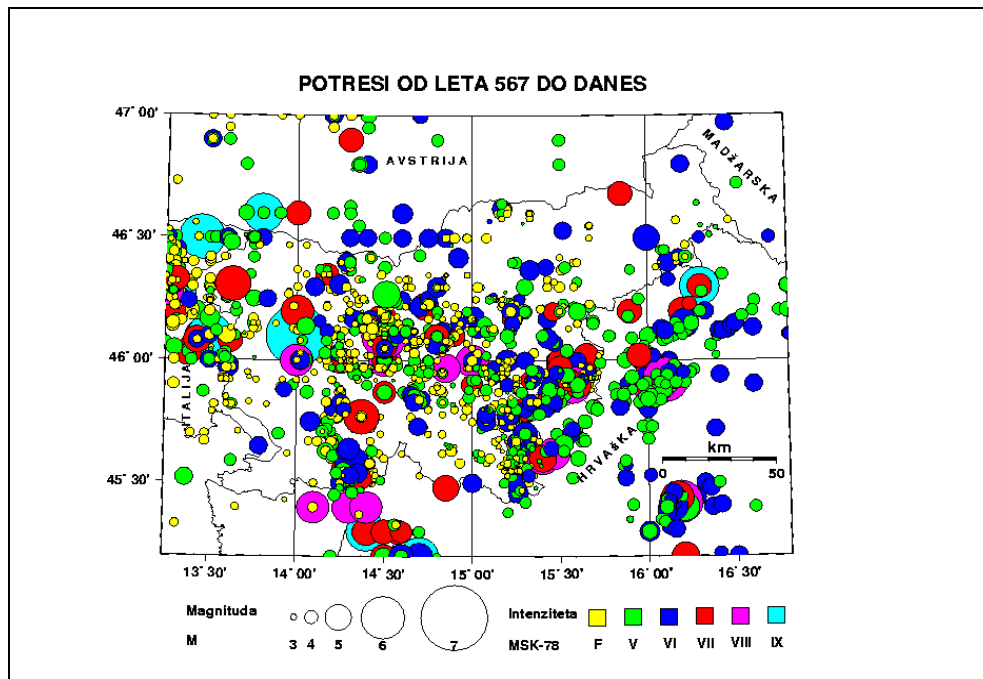
5. MOČNEJŠI POTRESI NA SLOVENSKEM PRED 20. STOLETJEM

Potresi, ki so bili v preteklosti na slovenskem ozemlju, so zbrani v katalogu potresov avtorja V. Ribariča in zajemajo dogodke od leta 792 n. št. dalje (Ribarič, 1982). Kasneje je bil katalog dopolnjen s podatki iz katalogov sosednjih dežel, kjer so zajeti potresi od leta 567 n. št. dalje. V dopolnjenem katalogu so nekateri potresi na novo locirani, na novo pa so preračunane tudi magnitude (Živčič, 1994). Skupno zajema prek 3000 dogodkov. V Preglednici 1 na koncu prispevka podajam potrese, ki so nastali na ozemlju Slovenije od leta 567 n. št. dalje in so dosegli ali presegli največjo intenziteto med VI. in VII. stopnjo po EMS.

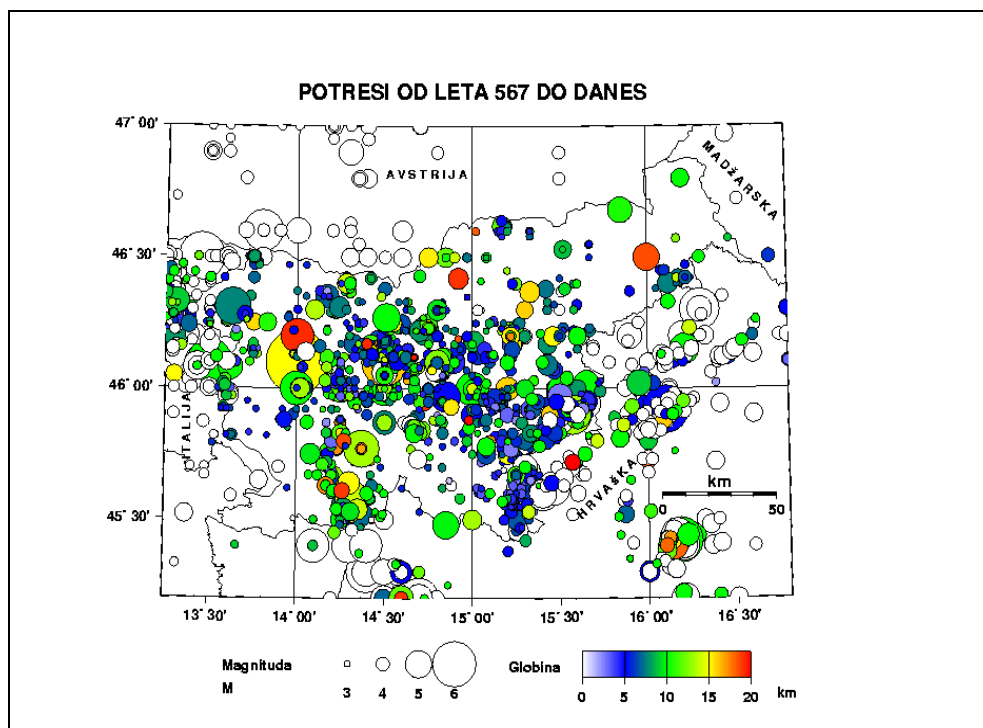
Najmočnejši potresi, ki so nastali na slovenskem in sosednjih ozemljih od leta 567 n. št. dalje, so prikazani na slikah 2 (intenzitete) in 3 (magnitude). V nadaljevanju sledijo kratki opisi najmočnejših potresov, ki so nastali na našem ozemlju v preteklosti in potresov, katerih učinki so zajeli tudi naše kraje (Ribarič, 1982, Vidrih, 1997, Vidrih, 2002).

5.1 Veliki koroški potres leta 1348

Potres pri Beljaku ali veliki koroški potres je eden najpomembnejših potresov v potresni zgodovini Evrope. Kljub temu, da je bilo njegovo žarišče v bližini Beljaka v Avstriji (zanimivo je, da nekatere sodobne raziskave kažejo, da je bilo njegovo žarišče v Furlaniji v Italiji), je močno prizadel tudi naše kraje. Nastal je 25. januarja 1348 med 14. in 15. uro po svetovnem času. Žarišče je bilo v globini približno 7 km, njegova magnituda je bila 6,5. Največji učinki, ki jih je potres dosegel na območju Beljaka in v severovzhodni Italiji, so ocenjeni na X. stopnjo po EMS. S tem potresom se ne more primerjati noben dogodek v vsej srednji Evropi. Potres je terjal 20.000, po nekaterih podatkih celo 40.000 žrtev. Največ ljudi je izgubilo življenje ob samem rušenju, veliko žrtev pa je bilo tudi zaradi številnih požarov in poplav in verjetno tudi nekaterih kužnih bolezni, ki so se pojavile po potresu. Mesto Beljak je bilo popolnoma porušeno, močno prizadeti sta bili celotna Koroška in Kranjska. Valvasor piše, da je bilo na Kranjskem, Koroškem in Štajerskem ob potresu porušeni 26 mest in 40 gradov in cerkva. Tresenje so čutili prebivalci do Neaplja, Rima, Firenz, Strasbourga,



Slika 2: Intenzitete potresov v Sloveniji od leta 567 n. št. dalje. Upoštevani so vsi potresi, katerih intenziteta je dosegla ali preseгла III. stopnjo po EMS.



Slika 3: Magnitude potresov v Sloveniji od leta 567 n. št. dalje. Upoštevani so vsi potresi, katerih magnituda je preseгла 3,0.

Lubecka (Lužice), Krakowa itd., to je na ozemlju z radijem okoli 750 km, kar je skoraj 1,8 milijona km².

Veliki pospeški tal v epicentralnem območju so z južnega pobočja gore Dobrač (2166 m) sprožili plaz v dolžini 5 km. Nekateri raziskovalci so izračunali, da je v dolino zgrmela 1 milijarda m³ materiala (1 km³). Naknadni potresi, ki so sledili še cel mesec, so gmotno škodo še povečevali, šibkejši sunki pa so tresli okolico Beljaka še kakšni dve leti. Po nekaterih podatkih naj bi bilo v prvi noči po glavnem potresu še okoli 40 sunkov.

5.2 Potres na idrijskem leta 1511

Že tako razgibano dogajanje v naših krajih v začetku 16. stoletja je zaokrožil najmočnejši potres na Slovenskem. Nastal je 26. marca 1511 ob 14. uri po svetovnem času. Nekateri avtorji menijo, da sta bila v kratkem časovnem razmiku dva močna sunka. Prvi naj bi ob omenjenem času nastal na Idrijskem, drugi pa okoli 21. ure v Furlaniji. Analize poškodb kažejo, da so bila huda rušenja popoldan v vzhodnih pokrajinah (zahodna in osrednja Slovenija), zvečer pa v Furlaniji, Julijski krajini, Karniji in Benečiji. Prvi je imel magnitudo 6,8, za drugega pa nekateri avtorji ocenjujejo vrednost 7-7,2. Globina prvega je bila 15 km, drugega pa okoli 20 km. Na obsežnem epicentralnem območju, ki je segalo od Čedadada (Cividale) do Humina (Gemona) pa tja do Idrije, so največji učinki dosegli med IX. in X. stopnjo. Po nekaterih avtorjih so ponekod lokalni učinki dosegli X. stopnjo po EMS. Potresne učinke so čutili na severu do Bamberga, Bayreutha, Hofa in celo Lubecka (Lužice), na jugu do Urbina v Italiji; zajel je celotno Švico, Hrvaško, Madžarsko, Češko in Slovaško. Polmer potresnih učinkov je bil podoben kot pri beljaškem potresu, okoli 750 km, kar pomeni skoraj 1,8 milijona km² veliko območje. Ob potresu je umrlo 12 000 ljudi, po nekaterih avtorjih pa je bilo ob prvem potresu na idrijskem mrtvih 3000 ljudi, ob večernem potresu v Furlaniji pa še 12.000. Novejše raziskave kažejo na manjše število mrtvih. Sledili so številni popotresni sunki z najmočnejšim 8. avgusta 1511 na območju Čedadada. Marsikatera zgradba, ki je bila ob prvih potresih le delno poškodovana, je bila kasneje porušena. Nekateri avtorji pišejo, da je potresni sunek zahteval 3000 življenj.

5.3 Potres leta 1895 v Ljubljani

Velikonočni potres je nastal 14. aprila 1895 ob 20. uri in 17 minut po svetovnem času. Žarišče je nastalo v globini 16 km, njegova magnituda je bila 6,1. Največje učinke, med VIII. in IX. stopnjo po EMS, je dosegel na območju mesta Ljubljane, Ljubljanskega barja in do Vodice na severu. Potresni sunek je zajel veliko območje s polmerom približno 350 km, kar pomeni približno 385.000 km². Največje poškodbe so nastale v premeru 18 km, od Iga do Vodice. Manjše poškodbe so nastale v polmeru okoli 50 kilometrov. Njegovo moč ponazarjajo tudi podatki, da so potres čutili prebivalci Dunaja, Splita ter v italijanskih mestih Assisi, Firenze in Alessandria.

Ljubljana je imela okoli 31 000 prebivalcev, ki so živeli v približno 1400 zgradbah. F. Govekar in M. Zarnik (1910) navajata natančne številke: od skupno 1373 hiš je bilo 589 pritličnih, 437 enonadstropnih, 264 dvonadstropnih, 77 trinadstropnih in 6 štirinadstropnih. Potres je poškodoval okoli 10 % zgradb, ki so jih kasneje večinoma porušili. Na srečo mrtvih ni bilo veliko. V Ljubljani naj bi pod ruševinami umrlo sedem ljudi, v Vodichah pa je zasulo tri otroke. Smrtno poškodbe so večinoma povzročili odpadli deli dimnikov in strešnikov, nekatere pa so zasuli podrti stropi. Nekaj jih je umrlo med reševanjem. Glavnemu sunku je v naslednjih desetih dneh sledilo več kot 100 popotresov, ki so prebivalce še bolj begali. Potres je povzročil ogromno gmotno škodo, ki je bila ocenjena na približno 7 milijonov goldinarjev. Posledice niso imele le negativnih učinkov, saj se je v Ljubljani po potresu marsikaj spremenilo na bolje. Ob ideji o urbanističnih in arhitektonski obnovi Ljubljane je nastala tudi raziskava o gradbenotehničnih normativih, ki je pripeljala do prvih smernic za potresnovarno gradnjo. Že dve leti po potresu je v kletnih prostorih višje realke na Vegovi ulici v Ljubljani začela delovati prva potresna opazovalnica v Avstro-Ogrski monarhiji.

6. MOČNEJŠI POTRESI V 20. STOLETJU

6.1 Potres leta 1917 v Brežicah

Med močnejšimi v 20. stoletju je bil potres 29. januarja 1917 ob 8. uri in 22 minut po svetovnem času v Brežicah. Globina žarišča je bila 13 km. Magnituda potresa je bila 5,7, dosegel pa je največje učinke VIII. stopnje po EMS. Potresni sunek je najbolj prizadel območje Krško-Brežiškega polja in Gorjancev. Najbolj so bile poškodovane zgradbe v Brežicah, Krški vasi, Globokem in Stojdragi. Potres so čutili prebivalci celotne današnje Slovenije, njegov vpliv pa je segal tudi v Avstrijo, Italijo in na Hrvaško. Glavnemu potresnemu sunku so sledili številni šibkejši, v prvem dnevu več kot 30. Najmočnejši potresi so imeli intenziteto večjo od VI. stopnje po EMS. V naslednjem mesecu je bilo še okoli 30 popotresnih sunkov, ki so dosegali največje intenzitete med III. in VI. stopnjo. V tem stoletju je bilo na tem območju še nekaj močnejših potresov, tudi takih, ki so dosegli VII. stopnjo po EMS in povzročili manjšo gmotno škodo.

6.2 Potres leta 1956 na Ilirskobistriškem

Med močnejše potrese v 20. stoletju na območju Slovenije spada tudi potres, ki je nastal 31. januarja 1956 ob 2. uri in 25 minut po svetovnem času na ilirskobistriškem območju. Njegova magnituda je bila 5,1, največja intenziteta pa VII. stopnje po EMS. Žarišče je nastalo v globini okoli 7 km. Poškodbe so nastale v krajih Ilirska Bistrica, Koseze, Trnovo in okolici. Večje poškodbe so bile predvsem v Ilirski Bistrici, kjer je bilo poškodovanih 60 % zgradb, od tega 30 % huje. Potres so čutili na ozemlju s polmerom približno 135 km, kar pomeni skoraj 60.000 km² veliko območje.

6.3 Potres leta 1963 na Litijem

Po nekaj mirnejših letih je na vzhodnem robu ljubljanske kotline na območju Litije nastal potres, ki so ga močno čutili tudi prebivalci Ljubljane (zadnji močnejši potres na litijem je bil 6. maja 1939). Do sprostitve potresne energije je prišlo 19. maja 1963 ob 10. uri 0 minut po svetovnem času. Epicentralno območje je poleg Litije zajelo še naselja Šmartno, Hotič, Vače, Moravče in Kamnik, torej ozemlje v smeri severozahod-jugovzhod. Žarišče je nastalo v globini 13 km. Magnituda potresa je bila 4,9, največja intenziteta pa VII. stopnje po EMS. Čutili so ga do 140 km daleč. Največ poškodovanih zgradb, več kot 50 %, je bilo v Litiji in Šmartnem. Potres je povzročil večjo škodo tudi v Kresnicah. Po nedeljskem dopoldanskem potresu so prebivalci popoldan in ponoči čutili še pet šibkejših popotresnih sunkov, ki so povzročili dodaten strah med prebivalstvom. Do konca leta se je zvrstilo več kot 50 šibkejših potresov. Najmočnejši je bil 15. novembra ob 5. uri in 15 minut po svetovnem času (dosegel je VI. stopnjo po EMS).

6.4 Potres leta 1974 na Kozjanskem

Idilično Kozjansko z majhnimi skromnimi lesenimi hišami, kritimi s slamo, in navidezno trdnimi kamnitimi zgradbami, je 20. junija 1974 ob 17. uri in 8 minut po svetovnem času prizadel močan potres. Njegova magnituda je bila 5,1, največji učinki pa so dosegli med VII. in VIII. stopnjo po EMS. Žarišče je nastalo v globini približno 13 km. Njegov vpliv je zajel območje s polmerom okoli 150 km ali 70.000 km². Najbolj prizadeta kraja sta bila Šmarje pri Jelšah in Šentjur, kjer je bilo poškodovanih okoli 1000 zgradb v več kot 80 zaselkih. Potres so čutili prebivalci vseh večjih slovenskih mest razen na Koprskem. Njegov vpliv pa je zajel tudi severozahodni del Italije, večji del Avstrije in severozahodno Hrvaško, vključno z Zagrebom. Potresnim sunkom je sledilo deževje, ki je povzročilo še dodatne težave pri reševanju in popravilih. Med potresom so nastali številni novi plazovi, obnovili pa so se tudi nekateri stari. Poškodovanih je bilo okoli 5300 zgradb, od katerih so jih kasneje veliko porušili (okoli 1000): v občini Šmarje pri Jelšah 3630, v občini Šentjur pri Celju 1309, v občini Celje okoli 344 in v občini Slovenske Konjice 14. Prizadetih prebivalcev je bilo več kot 15.000.

6.5 Potresi leta 1976 v Furlaniji in njihove posledice v Posočju

Potresi, ki so v maju in septembru leta 1976 prizadeli severovzhodno Italijo, predvsem Furlanijo, so imeli grozljive posledice tudi v severozahodni Sloveniji. Na srečo pri nas smrtnih žrtev ni bilo (v Italiji 987), nastala pa je ogromna gmotna škoda tako v Posočju kot tudi drugod v severozahodni Sloveniji. Glavna potresna sunka sta nastala v maju in septembru, prvi 6. maja ob 20. uri 0 minut po svetovnem času z magnitudo 6,5 in drugi 15. septembra ob 9. uri in 21 minut z magnitudo 6,1. Prvi je dosegel največje učinke med IX. in X. stopnjo (ponekod z dodatnimi lokalnimi učinki celo X. stopnjo po EMS), drugi pa IX. stopnjo po EMS (skupni učinki so dosegli X. stopnjo). Globina žarišč je bila med 10 in 15 km.

Potres je povzročil večjo gmotno škodo na približno 600 km², vključno z našimi kraji, čutili pa so ga prebivalci več držav s skupno površino približno 1 milijon km² (polmer občutljivosti potresa je bil okoli 570 km). Potres so čutili tudi v Švici, Avstriji, južni Nemčiji, na Češkem, Slovaškem, južni Poljski, jugozahodni Madžarski in severozahodni Hrvaški. Potres so čutili prebivalci celotne Slovenije. Na srečo pri nas ni bilo tako hudo. Ob nastali veliki gmotni škodi na srečo ni bilo smrtnih žrtev. Največje učinke, VIII. stopnje po EMS, je potres dosegel v Breginjskem kotu, v Kobaridu med VII. in VIII. stopnjo, v Tolminu VII. stopnjo, v Bohinjskem kotu med VI. in VII. stopnjo, v Ljubljani, na Goriškem, Idrijskem in Postojnskem VI. stopnjo, v osrednji in južni Sloveniji ter na vzhodu do Maribora V. stopnjo, v severovzhodni Sloveniji pa IV. stopnjo po EMS. Septembrski potres je imel nekoliko nižjo intenziteto.

Največjo škodo so potresni sunki povzročili v vaseh Breginj, Ladra, Smast, Trnovo in Srpenica. V teh naseljih je že po majskem potresu ostalo brez strehe nad glavo več kot 80 % prebivalcev. Skupno število zelo poškodovanih objektov ob majskih in septembrskih potresih je bilo okoli 4000 (objekti, ki jih je bilo treba podreti ali so bili porušeni že med potresi), vsega skupaj pa je bilo poškodovanih okoli 12 000 zgradb. Številne objekte, ki jih niso utegnili sanirati po majskih potresih, so septembrski dokončno porušili, še večja bojazen pa je bila bližajoča se zima. Do konca junija je bilo okoli 400 potresnih sunkov, od katerih so jih prebivalci skoraj 200 čutili. Do konca oktobra so se tla zatresla še približno 300-krat. Žarišča septembrskih potresov so bila nekoliko severneje in bližje našim krajem. Če seštejemo učinke obeh serij potresov, lahko ugotovimo, da so skupni učinki v Breginjskem kotu dosegli IX. stopnjo, v drugih delih Posočja in v delih Bohinjskega kota pa VIII. stopnjo po EMS lestvici.

6.6 Potres leta 1977 pod Storžičem

Manj kot leto dni po potresih, ki so razdejali Posočje, so se slovenska tla ponovno močno stresla, tokrat na Gorenjskem. Potresni sunek je nastal 16. julija 1977 ob 13. uri in 13 minut po svetovnem času in je imel magnitudo 4,6. Žarišče je nastalo 8 km globoko. Na epicentralnem območju je dosegel med VI. in VII. stopnjo po EMS. Poleg preplaha med prebivalstvom je povzročil tudi gmotno škodo. Epicenter potresa je bil v bližini Preddvora pod Storžičem. Potresni valovi so poleg zahodne in osrednje Slovenije zajeli tudi zahodno Italijo in jugozahodno Avstrijo, predvsem Koroško.

6.7 Potres leta 1982 v Savinjski dolini

Potres 3. julija 1982 ob 13. uri in 42 minut po svetovnem času prebivalcev Savinjske doline ni samo prestrašil, ampak je v Šempetru povzročil gmotno škodo. Vpliv potresa je zajel majhno območje s polmerom okoli 20 km oziroma okoli 1300 km² površine, med Velenjem na severu in Zagorjem na jugu, Vranskim na zahodu in Celjem na vzhodu. Imel je magnitudo 3,5, ker pa je bilo

žarišče zelo plitvo, okoli 4 km globoko, so bili njegovi učinki na površini zelo veliki in so na območju Šempetra v Savinjski dolini dosegli med VI. in VII. stopnjo po EMS. Potresni sunek je spremljalo močno bobnenje, ki je značilno za potrese v Savinjski dolini. Potresni sunek je gmotno škodo povzročil le v Šempetru, kjer je bilo poškodovanih okoli 170 zasebnih in okoli 20 družbenih zgradb. Glavnemu potresu je sledilo več potresnih sunkov, ki so jih čutili večinoma le posamezniki v Šempetru.

6.8 Potres leta 1995 na Ilirskobistriškem

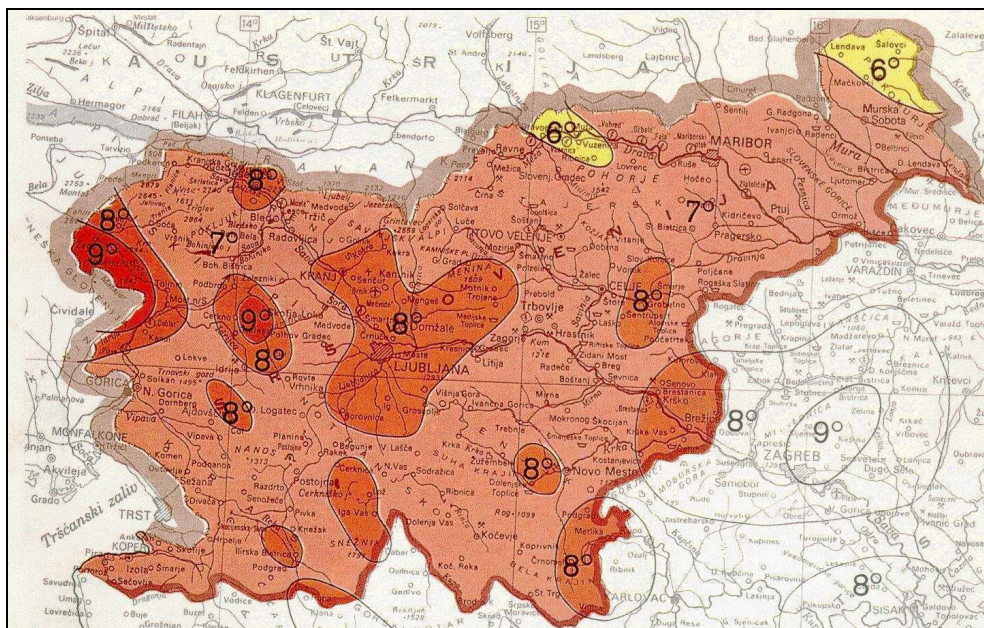
Potresa sta nastala 22. maja 1995 in sta bila sta med najmočnejšimi v zadnjih desetletjih na Slovenskem. Za seizmologe nista bila presenečenje, saj na tem območju lahko pričakujemo potrese do VIII. stopnje po EMS. Prvi potres je nastal ob 11. uri in 16 minut po svetovnem času in je imel magnitudo 4,4. Njegova intenziteta je bila VI. stopnje po EMS, žarišče pa 17 km globoko, kar je za slovenski prostor razmeroma globok potres. Ob 12. uri in 50 minut po svetovnem času pa je nastal še močnejši potres z magnitudo 4,7 in največjimi učinki VI. stopnje. Žarišče drugega je bilo v globini 10 km. V naslednjih dneh jima je sledilo še okoli 80 popotresov.

6.9 Potres leta 1998 v zgornjem Posočju

Eden najmočnejših potresov 20. stoletja z žariščem na ozemlju Slovenije je nastal 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju. Njegova magnituda je bila 5,6, največji učinki pa so dosegli med VII. in VIII. stopnjo po EMS. Žarišče potresa je nastalo med dolino Lepene in Krnskim gorovjem, v globini okoli 8 km. Potres je poleg velike gmotne škode na objektih na Bovškem, Kobariškem in Tolminskem, povzročil tudi precejšnje spremembe v naravi, saj so nastali številni skalnati podori, ki so ponekod popolnoma uničili planinske poti. Padajoče skale in kamenje pa je ponekod poškodovalo ali celo uničilo nekatere pomnike iz I. svetovne vojne. Potres 12. aprila so čutili prebivalci celotne Slovenije in prebivalci nekaterih predelov devetih sosednjih držav: Hrvaške, Bosne in Hercegovine, Madžarske, Avstrije, Švice, Italije, Slovaške, Češke in Nemčije. Potres je nastal ob 10. uri in 55 minut po svetovnem času, ravno v času velikonočnega kosila, zato je bila panika med prebivalstvom še večja, saj je bila večina ljudi doma. V prvih 20 urah po glavnemu potresu je bilo več kot 400 popotresnih sunkov, v naslednjih mesecih pa več kot 9000. Najmočnejši popotresni sunek je nastal 6. maja ob 4. uri in 52 minut po našem času in je imel magnitudo 4,2. Ob potresu je bilo poškodovanih več kot 4000 objektov, na srečo pa ni zahteval smrtnih žrtev (Godec in sod., 1999).

7. KARTE POTRESNIH NEVARNOSTI

V Sloveniji so še vedno v veljavi karte potresne nevarnosti, ki so izšle leta 1987 v okviru karte Jugoslavije in slonijo na potresnih intenzitetah. Avtor za slovensko ozemlje je bil dr. V. Ribarič. To so karte, ki z določeno verjetnostjo prekoračitve predvidevajo največje potresne učinke. Prva faza izdelave karte predstavlja žariščne cone možnih potresov z njihovimi maksimalnimi magnitudami. Druga faza predstavlja intenzitete pričakovanih potresov za različna območja in za različne povratne dobe. Karte so izdelane po teoriji ekstremov. Maksimalne intenzitete so izračunane za najdaljše obdobje, to je 10 000 let. Za graditev objektov in rabo prostora je bilo treba izračunati parametre za krajša časovna obdobja, za 50, 100, 200, 500 in 1000 let. V skladu z navodili za uporabo karte je območje, kjer je možna intenziteta $I \geq VII$, stopnje po lestvici MSK (EMS), treba opraviti dodatne seizmološke raziskave in mikrorajonizacijo terena v skladu s tehničnimi predpisi za gradnjo na seizmičnih območjih.



Slika 4: Uradna karta potresne nevarnosti Slovenije za povratno dobo potresov 500 let - karta potresne intenzitete (avtor: V. Ribarič). Za potresno varno gradnjo je v Sloveniji še vedno v veljavi Pravilnik (z dopolnitvami) o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih (Ur. I. SFRJ 31/1981, 49/1982, 52/1990), ki predpisuje za projektiranje »navadnih stavb« uporabo karte potresne intenzitete za povratno dobo 500 let (Seizmološka karta SFR Jugoslavije in Tolmač, 1987). Ta karta se z ustrezno empirično zvezo med vrednostmi intenzitete in projektnega pospeška tal lahko uporablja tudi kot karta projektnega pospeška tal skupaj s slovenskim predstandardom, ki ga je leta 1995 izdal Urad RS za standardizacijo in meroslovje kot vzporedno in priporočeno možnost za projektiranje in ki je z metodo platnice privzeti del evropskega predstandarda Eurocode 8 iz leta 1994 (CEN, 1994).

Seizmološke karte so namenjene potrebam pravilnika o tehničnih normativih za gradnjo objektov na seizmičnih območjih, pa tudi za potrebe prostorskega in urbanističnega načrtovanja in projektiranja. Za projektiranje objektov, razvrščenih v II. kategorijo (predvsem stanovanjske hiše in vsi tisti industrijski in javni objekti, ki niso uvrščeni v I. kategorijo), je v veljavi karta s povratno dobo potresov 500 let (slika 4). Za povratno dobo 500 let obstaja 90-odstotna verjetnost da vrednosti na karti v 50 letih ne bodo presežene.

V zadnjem času je bila izdelana nova, sodobna karta potresne nevarnosti Slovenije (slika 5). Bistvo nove karte je v tem, da namesto maksimalnih intenzitet potresov računajo projektni pospešek tal in prožnostne spektre odziva za različne vrste tal, kot jih opredeljuje Eurocode 8. Vrednosti pospeškov so izračunane po metodologiji verjetnostne analize potresne nevarnosti (Lapajne in sod., 2000). Če primerjamo veljavno karto potresne nevarnosti Slovenije z novo karto projektnega pospeška tal, vidimo, da razlike pravzaprav niso velike, saj se območja majhne in velike potresne nevarnosti na obeh kartah približno ujemajo.

8. PREDPISI O POTRESNO VARNI GRADNJI

Znanje in vedenje o potresno varni gradnji se nenehno povečuje in s tem se nenehno izboljšujejo in izpopolnjujejo tudi predpisi. Močnejši potres ponavadi razgali pomanjkljivosti in nepravilnosti, ki so se zgodile med gradnjo. Tako pridobljene izkušnje vplivajo na kasnejšo izboljšavo predpisov in tudi na prakso potresno varnejše gradnje. Navkljub razvoju znanja na področju potresno varne gradnje navkljub in neprestanemu izboljševanju zakonodaje lahko na prizadetih območjih vidimo tudi nedokončane novogradnje, ki so jih poškodovali potresi. Nekateri objekti nimajo vgrajenih potresnih vezi. Ob tem je treba poudariti, da znašajo stroški potresne zaščite med gradnjo pri posameznih kategorijah zgradb od 1,3 % do 5 % vrednosti zgradbe (odvisno tudi od potresnega območja, na katerem objekt gradijo – VII., VIII. ali IX. stopnja EMS).

Predpisi o potresni varni gradnji so bili v preteklosti deležni več izboljšav. Po končani II. svetovni vojni veljavni predpis (Začasni tehnični predpisi za obremenitev zgradb-Uradni list SFRJ št. 61/48) je potresno obremenitev močno podcenjeval. Velik napredek so predstavljali predpisi iz leta 1964 (Pravilnik o začasnih tehničnih predpisih za gradnjo na seizmičnih področjih-Uradni list SFRJ 39/64), ki so sledili predpisu, ki je že leto popreje stopil v veljavo v Sloveniji (Odredba o dimenzioniranju in izvedbi gradbenih objektov v potresnih območjih-Uradni list SRS 18/63). Razvoj stroke in izkušnje po močnih potresih so narekovale spremembe predpisov. Rezultat je bil nov predpis leta 1981 (Pravilnik o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih-Uradni list SFRJ 31/81), kateremu so sledile še dopolnitve. Ta pravilnik zagotavlja višjo raven potresne varnosti kot predhodni. Žal za posamezne vrste konstrukcij (inženirski objekti) nimamo primerne predpisa, ker določila predpisa iz leta 1964 za to področje niso več uporabna. Tako je Urad Republike Slovenije za standardizacijo in meroslovje kot osnovo za slovenske standarde na področju konstrukcij vzel evropske standarde Eurocode. Področje projektiranja

V kratkem pregledu seizmičnosti Slovenije lahko ugotovimo, da je naše ozemlje potresno dejavno, kar nam dokazujejo tako močni potresi v preteklosti kot tudi potresi, ki nastajajo v današnjem času. To je potrdil tudi zadnji potres v zgornjem Posočju leta 1998. Ta potres pa nas ni opozoril le na potresno dejavnost, ampak predvsem na pomen potresno varne gradnje. Glede na to, da lahko močnejše potrese pričakujemo tudi v prihodnje, je najboljša zaščita pred njimi potresno varna gradnja in potresno ojačevanje starejših oziroma slabše zgrajenih objektov. Vse to pa zahteva sistematično in dolgotrajno delo. Ob tem pa je treba upoštevati tudi lokalne razmere na terenu, ki lahko zelo vplivajo na učinke in posledice potresa.

Seveda pa ne moremo mimo seizmičnih kart, ki jih na Uradu za seizmologijo Agencije RS za okolje stalno izpopolnjujemo. Karte potresne nevarnosti, ogroženosti in ranljivosti pripomorejo k zmanjšanju potresnega tveganja. Za izdelavo kakovostnih kart pa je poleg poznavanja zgodovinskih potresov, geologije, seizmologije, seizmotektonike in številnih drugih raziskav potrebno imeti kakovostno mrežo potresnih opazovalnic. Z letom 2000 smo začeli postavljati mrežo 25 potresnih opazovalnic, ki bo, če bo šlo vse po sreči, dograjena do leta 2003. Postavitev državnega alarmnega sistema z obveščanjem v stvarnem času bo temeljil na samodejni obdelavi podatkov in na samodejnem posredovanju podatkov ustreznim službam. Potresni zapisi načrtovane mreže bodo omogočili čim natančnejše opredeljevanje osnovnih potresnih parametrov na podlagi globinskega geofizikalnega modela ozemlja Slovenije. Prav tako bodo omogočili zanesljivejše ocenjevanje in izboljšavo državne karte potresne nevarnosti za potrebe potresno varne gradnje na podlagi natančnejšega poznavanja seizmotektonskih razmer na ozemlju Slovenije. Z dovolj gosto postavljeno in kakovostno opremljeno državno mrežo bomo v pričakovanju potresov nanje mnogo bolje pripravljeni in s tem bomo postopoma zmanjševali potresno tveganje pri nas.

LITERATURA

- Godec, M., Vidrih, R., Ribičič, M., 1999b. A survey of damage caused by 1998 earthquake in the Soča valley (Slovenia). – 12th World Conference on Earthquake engineering, 30. Jan.- 4. Feb. 2000, 447, Auckland.
- Lapajne, J., Zabukovec, B., Šket-Motnikar, B., Zupančič, P., 1997. Državna karta projektnega pospeška tal. – Potresi v letu 1996. Uprava RS za geofiziko, 63-73, Ljubljana
- Poljak, M., Zupančič, P., Lapajne, J., Motnikar, B., 2000. Seismotectonic Input for Spatially Smoothed Seismicity Approach. – Seismicity Modeling in Seismic Hazard Mapping, 117-125, Poljče.
- Ribarič, V., 1982. Seizmičnost Slovenije. Katalog potresov (792 n. e.-1981 n. e.). – Seizmološki zavod SR Slovenije, 649 str., Ljubljana.
- Ribarič, V., 1987. Seizmološka karta za povratno periodo 500 let. – Zajednica za seizmologiju SFRJ, Beograd.
- Sikošek, B., Tektonika, neotektonika in seizmotektonika SR Slovenije. – Seizmološki zavod SR Slovenije, 150 str., Ljubljana.
- Vidrih, R., 1997. Močnejši potresi na Slovenskem. – Feljton 1 – 1 6, 6. - 24. junij 1997, Dnevnik.
- Vidrih, R., 2002. Potresi. Nesreče in varstvo pred njimi (ur. B. Ušeničnik), URSZR, 222 – 240, Ljubljana.
- Živčič, M., 1994. Earthquake catalogue. In Probabilistic Assessment of Seismic Hazard at Krško Nuclear Power Plant (eds. Fajfar, P. and Lapajne, J.) University of Ljubljana, Dept. of Civil Engineering.

Preglednica 1 (prvi del): Seznam potresov, ki so nastali na ozemlju Slovenije od leta 567 n. št. dalje in so dosegli ali presegli največjo intenziteto med VI. in VII. stopnjo po EMS (8, 24).

dan	mes	leto	ura	N	E	glob	MAG	EMS	območje
		567		45,6	15,3		5,8	IX	Bela krajina
	2	792		46,0	14,5	10	5,4	VIII	Ljubljansko barje
26	3	1081		46,0	15,0	10	5,4	VIII	JV od Litije
		1097		45,6	15,3		5,8	IX	Kočevsko
	1	1508		46,0	14,5	10	4,9	VII	Ljubljansko barje
26	3	1511	0:00	46,1	14,0	15	6,8	X	Idrija, Cerkno
17	11	1575		46,1	14,5	10	4,9	VII	Ljubljana
22	4	1590	12:30	46,1	14,5	10	4,9	VII	Ljubljana
		1621		46,2	14,5	10	4,9	VII	Ljubljana, Kamnik
5	5	1622	0:00	46,1	14,5	10	5,2	VII-VIII	Ljubljana
		1625		46,0	14,5	10	4,9	VII	Ljubljansko barje
17	6	1628	0:00	46,0	15,5	7	5,0	VIII	Krško, Brestanica
27	11	1632	0:00	46,0	15,5	8	4,7	VII	Krško, Brestanica
		1640		45,9	15,5	2	5,4	IX	Brežice
21	10	1684	5:30	46,1	14,5	9	4,9	VII	Ljubljana
10	5	1689	0:00	46,0	14,9	5	5,2	VIII	dolina Temenice
29	6	1695		46,0	15,5	8	4,6	VI-VII	Krško, Brestanica
29	11	1695		46,0	15,5		4,6	VI-VII	Krško, Brestanica
11	2	1699		45,6	15,3	6	5,3	VIII	Metlika
3	2	1716		46,1	13,6	10	4,9	VII	Kanal, Anhovo
24	3	1784		46,1	14,5	10	4,7	VI-VII	Ljubljana
2	5	1819	0:00	46,0	14,0	10	4,6	VI-VII	Idrija
2	8	1830	0:00	46,0	15,5	10	4,9	VII	Krško, Brestanica
22	3	1839	4:15	46,4	16,1	8	4,6	VI-VII	okolica Ormoža
27	8	1840	12:05	46,2	14,7	8	5,1	VII-VIII	planina Menina
21	12	1845	20:40	46,1	14,5	7	5,1	VII-VIII	Ljubljana
17	11	1852	14:03	46,1	15,0	6	4,5	VI-VII	vzhodno od Litije
16	1	1853	1:30	45,9	15,6	5	4,3	VII	Brežice
9	11	1856	22:17	45,9	14,5	8	4,8	VII	Krim, Mokrc
7	3	1857	2:56	46,2	14,0	19	5,4	VII-VIII	Cerkno
8	5	1860	5:30	45,9	15,6	3	4,2	VI-VII	Brežice
13	10	1869	3:30	46,4	14,2	7	4,8	VII	dolina Radovne
2	3	1870	0:00	46,1	14,9	4	4,6	VII	Sava, Litija
2	12	1871		45,9	15,0	5	4,7	VII	Trebnje
4	4	1877	19:45	46,2	15,2	4	4,6	VII	Laško, Celje
12	9	1877	15:30	46,0	15,2	6	4,5	VI-VII	dolina Mirne
21	8	1878	0:00	46,0	15,2	16	4,8	VI-VII	dolina Mirne
12	9	1879		46,2	14,3	7	4,5	VI-VII	Škofja Loka

Legenda:
glob: globina v kilometrih
MAG: magnituda
EMS: intenziteta

Preglednica 1 (drugi del): Seznam potresov, ki so nastali na ozemlju Slovenije od leta 567 n. št. dalje in so dosegli ali presegli največjo intenziteto med VI. in VII. stopnjo po EMS (8, 24).

dan	mes	leto	ura	N	E	glob	MAG	EMS	območje
12	2	1880	16:30	45,5	15,3		4,6	VI-VII	Bela krajina
4	2	1881	1:26	45,8	14,1	10	4,6	VI-VII	Hrušica, Nanos
17	7	1882	7:51	46,0	14,3	12	5,0	VII	Vrhnika
14	4	1895	20:17	46,1	14,5	16	6,1	VIII-IX	Ljubljana
15	7	1897	5:53	46,1	14,5	7	4,9	VII	Ljubljana
17	4	1898	22:49	46,1	14,5	11	4,3	VI-VII	Ljubljana
18	9	1899	5:16	46,2	14,4	8	4,6	VI-VII	Medvode, Kranj
16	2	1901	20:06	46,2	15,0	9	4,6	VI-VII	Trbovlje
16	2	1903	19:59	46,0	14,2	4	4,3	VI-VII	Vrhnika, Rovte
23	5	1905	13:13	45,9	15,3	3	4,5	VII	Škocjan, Bučka
14	11	1905	12:47	46,0	15,5	1	3,9	VI-VII	Krško, Brestanica
22	2	1908	10:34	46,0	15,7	10	4,9	VII	SV od Brežic
20	11	1908	4:03	46,3	15,3	7	3,8	VI-VII	Celje, Vojnik
20	5	1913	16:15	45,5	14,4	7	4,8	VII	Snežnik
18	9	1916	11:08	46,0	15,7	5	4,7	VII	SV od Brežic
30	10	1916	0:17	46,3	14,8	10	4,6	VI-VII	Gornji grad
29	1	1917	8:22	45,9	15,6	13	5,7	VIII	Brežice
5	1	1921	0:20	45,8	15,1	7	4,5	VI-VII	Dolenjske Toplice
15	9	1924	20:07	46,2	15,2	15	4,4	VI-VII	Celje, Laško
3	12	1924	21:34	45,9	15,6	13	5,0	VII	Brežice
1	1	1926	18:04	45,8	14,4	13	5,6	VII-VIII	Cerkniško jezero
25	8	1928	21:09	45,9	15,6	5	4,8	VII	Brežice
19	12	1934	6:14	45,8	15,2	3	4,2	VI-VII	Novo mesto
6	5	1939	4:10	46,1	14,8	11	4,4	VI-VII	Kresnice, Litija
9	3	1940	4:54	45,8	15,4	4	4,6	VII	Gorjanci
1	10	1953	18:27	46,0	15,5	3	4,9	VII	Krško, Brestanica
31	1	1956	2:25	45,6	14,3	7	5,1	VII	Ilirska Bistrica
19	3	1958	16:03	46,5	14,8	15	4,5	VI-VII	Peca
19	5	1963	10:00	46,1	14,8	13	4,9	VII	Kresnice, Litija
20	6	1974	17:08	46,2	15,5	13	5,1	VII-VIII	Kozjansko
16	7	1977	13:13	46,3	14,3	8	4,6	VI-VII	Kranj, Golnik
3	7	1982	13:42	46,3	15,1	4	3,5	VI-VII	Šempeter, Sav.dol.
12	4	1998	10:55	46,3	13,6	8	5,6	VII-VIII	zgornje Posočje

Legenda: **glob:** globina v kilometrih
 MAG: magnituda
 EMS: intenziteta

OPAZOVANJE SEIZMIČNOSTI V SLOVENIJI

Peter SINČIČ, univ.dipl.inž.elekt.

mag. Renato VIDRIH, univ.dipl.inž.geol.

MOPE, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Dunajska 47, Ljubljana

IZVLEČEK

Po potresu 12. aprila 1998 z epicentrom v zgornjem Posočju, ki je povzročil veliko gmotno škodo, je Vlada Republike Slovenije sprejela sklep o posodobitvi omrežja potresnih opazovalnic. Modernizacija obsega posodobitev sedmih obstoječih in izgradnjo 18 novih potresnih opazovalnic. Posodobljen merilni sistem naj bi omogočil hitrejše alarmiranje ob potresih ter pridobivanje kvalitetnejših seizmoloških podatkov za nadalnje geološke raziskave. V letu 2001 je Urad za seizmologijo Agencije RS za okolje z novimi instrumenti opremil tri obstoječe potresne opazovalnice: v Ljubljani (LJU), v Dobrini na Kozjanskem (DOBS) in v Goričicah ob Cerknškem jezeru (CEY), maja 2002 pa je bilo v omrežje vključenih še pet novih opazovalnic: Črešnjevce (CRES), Goliše (GOLS), Legarje (LEGS), Podkum (PDKS) in Grobnik (GROS). Konec leta 2002 pa še opazovalnici Robič (ROBS) in Pernice (PERS). Omrežje potresnih opazovalnic je povezano z omrežji sosednjih držav Avstrije, Italije in Hrvaške, tako da poteka nemotena izmenjava podatkov, prav tako pa je vključeno v evropsko seizmološko omrežje ORFEUS.

ABSTRACT

On April 12th, 1998 a strong earthquake occurred in Upper Soča Valley and caused large material damage. Therefore the government of the Republic of Slovenia passed a decree on modernization of the national seismic stations network. This decree includes modernization of the existing 7 seismic stations and building of 18 new stations. Updated measuring system should enable quicker alarming and acquisition of quality seismic data for further geological research. In 2001 the Seismology Office of the Environmental Agency equipped 3 existing seismic stations with new instruments. Those stations were in: Ljubljana (LJU), Dobrina in Kozjansko area (DOBS) and Goričice near the Cerknica lake (CEY). Five additional stations were included in the new network in May 2002: Črešnjevce (CRES), Goliše (GOLS), Legarje (LEGS), Podkum (PDKS) and Grobnik (GROS). By the end of the year 2002 stations Robič (ROBS) and Pernice (PERS) were also connected to the network. Our seismic network is connected to the networks from Austria, Italy and Croatia. Data exchange between our network and that of our neighbouring countries runs smoothly, as well as the exchange with the European seismic network ORPHEUS.

1. UVOD

V seizmičnem pogledu uvrščamo Slovenijo med dejavnejša območja na južnem robu Evrazijske plošče. V preteklosti pa tudi danes tu nastajajo močni potresi. Potresna žarišča nastajajo na celotnem ozemlju Slovenije, najbolj nevarna območja pa so poleg ljubljanskega, kjer se je v preteklosti sprostil največ potresne energije, še idrijsko, tolimsko in krško-brežiško območje.

Prvi zgodovinski podatki o potresih na naših tleh in bližnji okolici segajo tja v leto 567. Imamo torej skoraj 1500-letne zapise o potresni dejavnosti na območju Slovenije. Za seizmologe ter druge strokovnjake, ki ocenjujejo seizmičnost, potresno nevarnost in ogroženost našega ozemlja, so ti zapisi neprecenljive vrednosti. Iz zgodovinskih virov vidimo, da je bilo v preteklosti na naših tleh več kot 60 rušilnih potresov. Med njimi lahko izpostavimo nekaj najmočnejših potresov, ki so zaznamovali potresno zgodovino naše dežele. Koroški potres leta 1348 je na Kranjskem, Koroškem in Štajerskem porušil 26 mest ter 40 gradov in cerkva in zahteval 20.000 življenj. Ob idrijskem potresu leta 1511 je umrlo 12.000 ljudi, ob ljubljanskem potresu leta 1895 pa naj bi bilo okoli deset mrtvih ter velika materialna škoda.

Najmočnejši potresi v 20. stoletju so bili leta 1917 v Brežicah, leta 1956 na ilirsko-bistriškem območju, leta 1963 na litijskem območju, leta 1974 na Kozjanskem, majski in septemberski potresi leta 1976 z žarišči na območju Furlanije so imeli grozljive posledice v severozahodni Sloveniji, saj je bilo poškodovanih več kot 12.000 zgradb, od katerih jih je bilo potrebno 4.000 porušiti, leta 1977 potres pod Storžičem, leta 1982 v Savinjski dolini, leta 1995 okrog Ilirske Bistrice in najmočnejši potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju. V opazovanem obdobju od leta 567 pa do današnjih dni je bilo na ozemlju Slovenije ali v obmejnih območjih sosednjih dežel skupno 6.000 potresov, katerih intenziteta je večja od II. stopnje po EMS intenzitetni lestvici, od tega 73 potresov intenzitete od VIII. do X. stopnje po EMS lestvici.

Sistematično zapisovanje, spremljanje in obdelava podatkov o potresni dejavnosti na Slovenskem sega v leto 1897, ko je dr. Albin Belar v Ljubljani na Vegovi ulici v prostorih višje realke postavil prvi seizmograf na Slovenskem, ki je bil tudi prvi v takratni avstroogrski monarhiji. To je bil začetek slovenske instrumentalne seizmologije. Ker se je večina zapisov iz začetnega obdobja razvoja seizmologije izgubila, je pričel dr. Vladimir Ribarič ponovno graditi temelje slovenske seizmologije. Instrumentalno zapisovanje potresov je ponovno steklo leta 1958 na observatoriju Golovec v Ljubljani. Seizmološka dejavnost se je po letu 1958 naprej odvijala na Geofizikalnem inštitutu Univerze v Ljubljani, ki je skupaj z Astronomskim inštitutom tvoril Astronomski geofizikalni observatorij, od leta 1980 dalje pa na Seizmološkem zavodu Socialistične Republike Slovenije, ki je bil ustanovljen kot republiška upravna organizacija. Ob osamosvojitvi Slovenije leta 1991 se je preimenoval v Seizmološki zavod Republike Slovenije, ob koncu leta 1994 je Seizmološki zavod dobil nove zadolžitve in novo ime - Uprava RS za geofiziko, ki je delovala v okviru

Ministrstva za okolje in prostor. S sprejemom Zakona o spremembah in dopolnitvah zakona o organizaciji in delovnem področju ministrstev (Ur. l. RS, št. 30/01) je prišlo do združitve Uprave RS za geofiziko, Hidrometeorološkega zavoda in Uprave RS za varstvo narave v Agencijo RS za okolje, seizmološka opazovanja in druge dejavnosti pa se nadaljujejo v Uradu za seizmologijo te agencije.

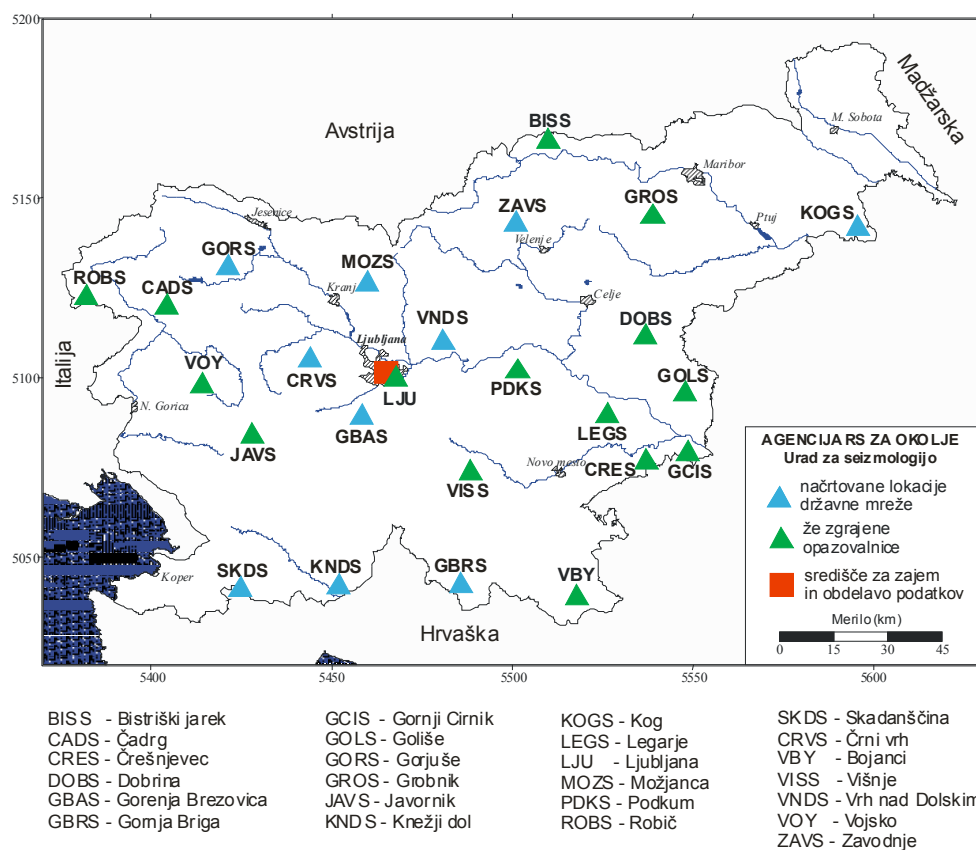
2. OMREŽJE POTRESNIH OPAZOVALNIC

Obstoječe omrežje potresnih opazovalnic je do maja leta 2002 sestavljalo sedem opazovalnic, od tega šest opremljenih z digitalnimi seizmografi, komunikacijsko povezanih med seboj z najetimi linijami preko komunikacijske hrbtenice državnega računalniškega omrežja (HKOM), z avtomatskim prenosom podatkov in z nadzorom delovanja in konfiguriranjem inštrumentov iz centralnega računalnika na observatoriju na Golovcu v Ljubljani. Sedma opazovalnica je opremljena z analognim seizmografom z zapisom s črnilom na papir in potrebuje za svoje delovanje usposobljeno osebje, seizmogrami pa se pošiljajo v centralo v Ljubljano po pošti (Sinčič, Vidrih, 1993, Vidrih, Sinčič, Gostinčar, 1997).

Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju, ki je povzročil veliko škodo na širšem potresnem območju, je pokazal na pomanjkljivo opremljenost slovenske seizmološke službe, da bi hitro in dovolj natančno posredovala podatke o osnovnih potresnih parametrih. Izkazalo se je, da tako javne službe kot širša javnost pričakujeta ustrezno informacijo o potresu in prizadetem območju v bistveno krajšem času, kot je predvideno v načrtih pripravljenosti na potres. Vlada Republike Slovenije je zadalžila Ministrstvo za okolje in prostor, takratno Upravo RS za geofiziko, da za vlado čimprej pripravi informacijo o potresnih opazovalnicah v državi in predloge ukrepov za posodobitev državnega potresnega opazovanja. Potres 31. avgusta istega leta v bližini Trebnjega na Dolenjskem je le še podkrepil potrebo po ukrepih, ki bi zagotovili učinkovito delovanje seizmološke službe. Predvidena je bila modernizacija omrežja potresnih opazovalnic z izgradnjo osemnajstih novih opazovalnic in posodobitvijo obstoječih sedmih. Posodobitev naj bi bila končana do konca leta 2004 (Lapajne, Sinčič, Živčič, 1998). Osnovni namen posodobitve omrežja potresnih opazovalnic je vzpostavitev državnega potresnega opazovalnega omrežja, ki bo omogočalo:

- zajem podatkov o potresih, ki jih čutijo prebivalci na območju Slovenije in jih v stvarnem času posredovati v center,
- čim hitreje z zadostno natančnostjo določiti osnovne potresne parametre za potrebe obveščanja in ukrepanja po potresu,
- zagotoviti točnost določanja potresnih parametrov šibkih potresov z natančnostjo, potrebno za sodobne seizmotektonske študije (napaka določitve žarišča in nadžarišča potresa naj ne bi bila večja od enega kilometra),

- zagotoviti kakovosten zapis seizmičnih signalov v dovolj širokem frekvenčnem pasu, ki omogoča določanje dinamičnih parametrov potresnih žarišč in izračun parametrov potresne nevarnosti (Ravnik, Živčič, Trnkoczy, 1999).



Slika 1: Razporeditev potresnih opazovalnic na območju Slovenije.

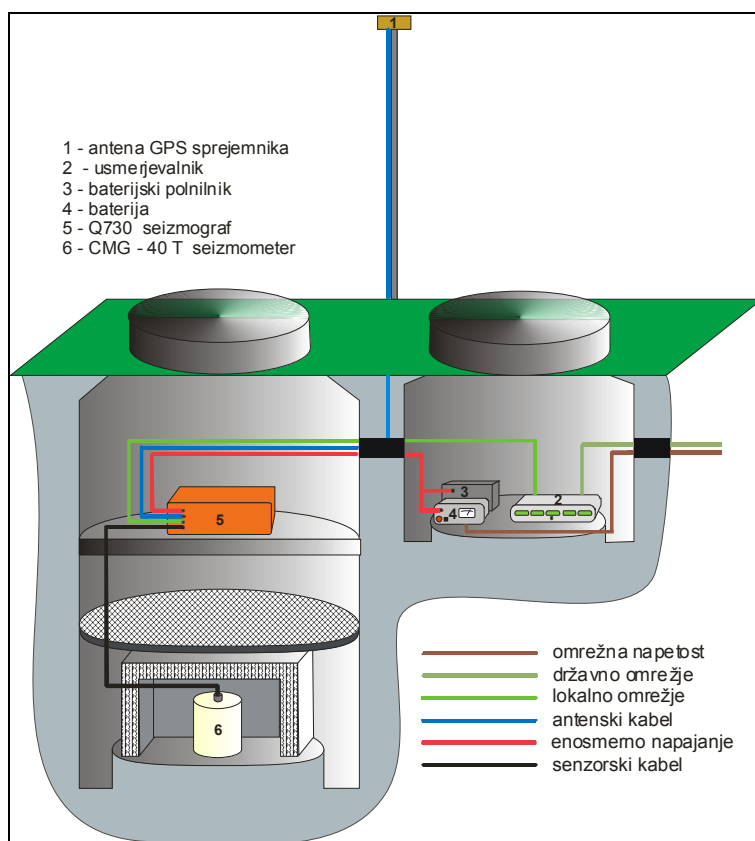
Izbira lokacij sodobnega omrežja potresnih opazovalnic je zahteven interdisciplinarni projekt, za katerega je potrebno izpolniti pogosto nasprotujoče zahteve glede seizmogeološke ustreznosti lokacije, možnosti odkupa zemljišča, možnosti gradbene izvedbe, zagotovitve vira energije in povezave s središčem za zbiranje in analizo podatkov. Da ima omrežje opazovalnic željene lastnosti, je glede na naravne in druge danosti pogosto potrebna optimizacija kompromisnih rešitev. Glede na kriterije za izbor lokacije potresne opazovalnice, ki vključujejo splošne pogoje (geometrija omrežja), naravne danosti (seizmogeološke lastnosti, seizmični nemir, relief, klimatski pogoji) in izvedbene pogoje (možnost odkupa zemljišč, zagotovitev vira energije in komunikacij za prenos podatkov, izvedljivost gradbenih del, dostopnost in zaščita pred vandalizmom) je bila izbrana razporeditev potresnih opazovalnic, kot je prikazana na sliki 1 (Gosar, Zupančič, Vidrih, 1999).

3. POTRESNA OPAZOVALNICA

Opremo potresnih opazovalnic sestavljajo senzor, zajemalna enota, komunikacijska oprema za kontinuirani prenos podatkov v center za obdelavo podatkov in brezprekinitveno napajanje. Glede na izbiro senzorja imamo tri vrste potresnih opazovalnic:

- Za štiri opazovalnice je predvidena namestitev trikomponentnega širokopasovnega seizmometra Guralp CMG-40T zaradi slabe geološke podlage v 18 metrov globoko vrtino. Zgrajeni sta že dve opazovalnici tega tipa: Goliše (GOLS) in Legarje (LEGS).
- Pet opazovalnic bo šestkanalnih, poleg trikomponentnega širokopasovnega seizmometra Guralp CMG-40T je v seizmičnem jašku predvidena še namestitev akcelometra Kinematics Episensor. Zgrajena je že opazovalnica na Golovcu v Ljubljani (LJU).
- Za šestnajst opazovalnic je predvidena namestitev trikomponentnega širokopasovnega seizmometra Guralp CMG-40T v seizmičnem jašku (slika 2). Zgrajene so že opazovalnice: Dobrina (DOBS), Cerknica (CEY), Črešnjevec (CRES), Podkum (PDKS) in Grobnik (GROS).

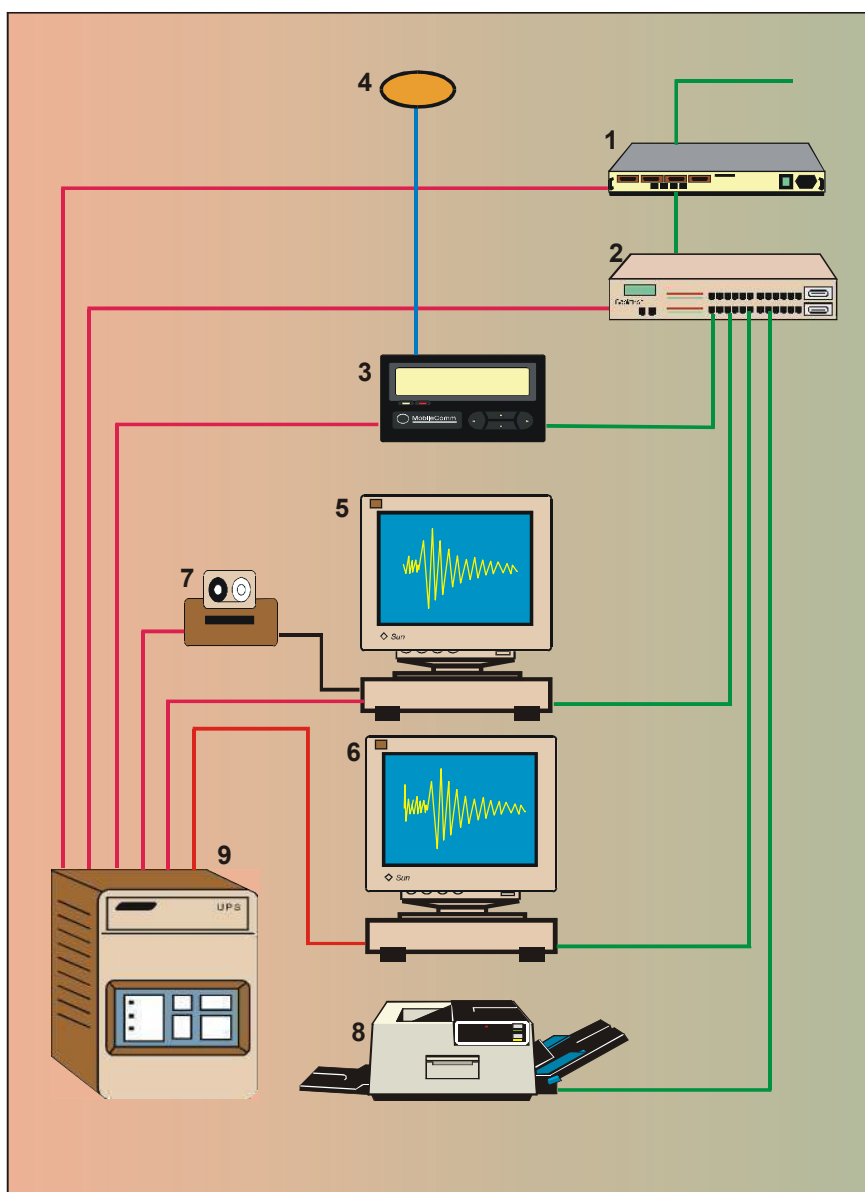
Poleg seizmometra je v **seizmičnem jašku** nameščen širokopasovni zajemalni sistem Quanterra Q730. Sistem ima na vhodu tri (pri petih opazovalnicah šest) neodvisne 24-bitne analogno-digitalne (A/D) med seboj galvansko ločene pretvornike, vgrajen DSP (digital signal processor), GPS sprejemnik točnega časa, RAM pomnilnik za začasno shranjevanje podatkov (buffer). Komunikacijski protokol omogoča paketni prenos podatkov. Za A/D pretvorbo je uporabljena delta sigma modulacija z osnovno frekvenco vzorčenja 20 kHz. Nižje frekvence vzorčenja dobimo v DSP modulu z decimacijo in digitalnim filtriranjem. Za zajemanje podatkov skrbi programska oprema Shear. Prenos podatkov v središče za obdelavo (SOP) poteka v realnem času. Komunikacijski protokol omogoča uporabniku nastavitve prioritete pri pošiljanju podatkov, na primer samo prenos posameznih dogodkov z manjšo frekvenco vzorčenja ali kontinuiran prenos zajemanega kanala. Tako tudi ob krajši prekinitvi prenosnih linij ne ostanemo brez podatkov. Komunikacija lahko poteka asinhrono preko serijskih vrat ali s TCP/IP protokolom preko vgrajene Ethernet kartice. Komunikacija je dvosmerna, tako da lahko iz osrednjega računalnika daljinsko nastavljamo parametre zajemalnega sistema in kalibriramo sistem. Ura v zajemalnem sistemu je usklajena z GPS sistemom točnega časa, njena napaka pa je manjša od 1 ms (Vidrih in sod., 2003). V **pomožnem jašku** je nameščena komunikacijska oprema za vključitev opazovalnice v državno računalniško omrežje, ki jo tvorita usmerjevalnik in modem, 12-voltno baterijsko napajanje s polnilcem in razsmernikom, ki omogoča 24-urno delovanje potresne opazovalnice ob izpadu omrežne napetosti, ter priključek na omrežno napetost 230 V in priključek na najeto linijo za prenos podatkov. Antena GPS sprejemnika je pritrjena na zračnik.



Slika 2: Shematski prikaz potresne opazovalnice. V merilnem jašku vidimo senzor in zajemalno napravo, ostala oprema za napajanje in komunikacijo pa je v pomožnem jašku.

4. SREDIŠČE ZA OBDELAVO PODATKOV (SOP)

Srce središča za obdelavo podatkov (slika 3) sestavljata dve Sun Blade 100 delovni postaji z Antelope programsko opremo, tračna enota za arhiviranje podatkov, časovni strežnik, usmerjevalnik, hub, tiskalnik in brezprekinitveno napajanje. Prva delovna postaja skrbi za zajem podatkov iz opazovalnic, na drugi pa poteka analiza seizmogramov. Tračna enota ima kapaciteto 72Gb podatkov. Hub povezuje posamezne aparature središča v lokalno omrežje, ki je z usmerjevalnikom vključeno v državno računalniško omrežje HKOM. Brezprekinitveno napajanje omogoča enourno delovanje središča za obdelavo v primeru izpada omrežne napetosti.

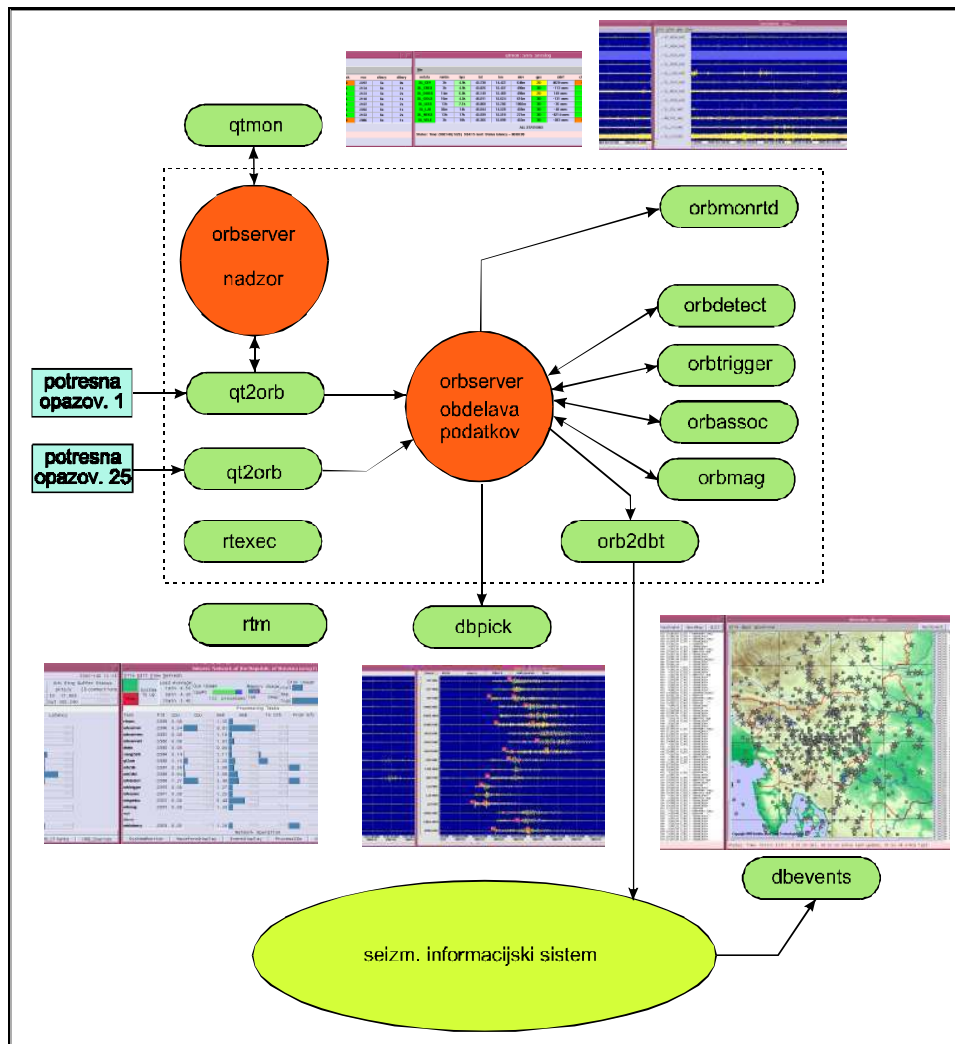


Slika 3. Središče za obdelavo podatkov.

(1) Usmerjevalnik, ki povezuje središče za obdelavo podatkov z državnim računalniškim omrežjem; (2) Koncentrator, ki omogoča zvezdno topologijo lokalnega omrežja; (3) Omrežni časovni strežnik NTS-90, ki zagotavlja točno časovno bazo; (4) Antena GPS sprejemnika; (5) Sun Blade 100 delovna postaja za zajem in obdelavo podatkov v stvarnem času; (6) Sun Blade 100 delovna postaja za obdelavo podatkov; (7) Tračna enota za shranjevanje podatkov s kapaciteto 72 GB; (8) Tiskalnik za izpis analiz dogodkov; (9) Brezprekinitveno napajanje, ki omogoča enourno delovanje ob izpadu omrežja.

Programsko opremo Antelope, izdelek BRTT (Boulder Real Time Technologies, Inc.), sestavljajo moduli za zajem, prenos, lokalno shranjevanje,

obdelavo, arhiviranje in distribucijo seizmičnih podatkov. Programi tečejo na Sunovih delovnih postajah in na osebnih računalnikih z Intelovo strojno opremo. Ne glede na izbrano strojno opremo mora biti operacijski sistem Solaris. Obdelava podatkov poteka tako avtomatsko v stvarnem času kot tudi interaktivno. Sestavni del programskega paketa je tudi informacijski sistem, ki vsebuje surove podatke – valovne zapise potresov, rezultate analiz in drugih podatkov (Borman, Hanka, Trnkoczy, 1988a, 1988b).

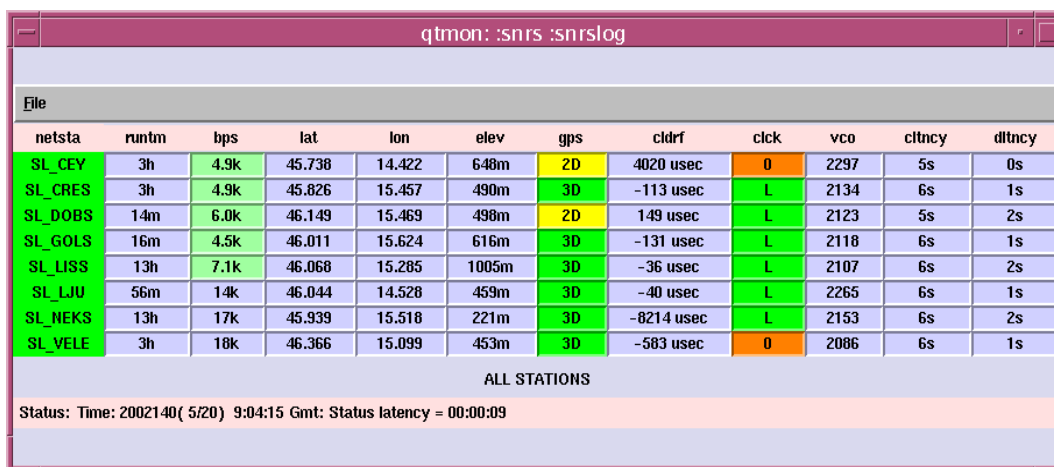


Slika 4: Antelope upravljalni sistem v središču za obdelavo v Ljubljani.

Znotraj Antelope sistema se podatki pretakajo skozi mehanizem, imenovan objektni medpomnilnik ORB (Object Ring Buffer), ki je srce sistema. Vsak ORB je upravljan s programom orbserver. Vmesniški moduli vpisujejo podatke, zajete na opazovalnicah, v enega ali več ORB enot, ki jih uporabljamo tudi za pošiljanje ukazov na opazovalnice. Podatke lahko uvozimo v ORB tudi iz drugih ORB enot, to je iz drugih seizmoloških centrov. V ORB enoti se shranjujejo zajeti podatki opazovalnic in rezultati obdelav teh podatkov. Antelope vsebuje programske module, ki omogočajo avtomatsko detekcijo, določanje vstopnih časov,

združevanje dogodkov, lociranje, oceno magnitude in arhiviranje v stvarnem času. Vsak modul deluje kontinuirano kot samostojen program, pobira vhodne podatke in odlaga izhodne v ORB enoto. Izhodni podatki iz ORB enote lahko potujejo na drugo ORB enoto ali na arhivske module, ki arhivirajo vhodne podatke iz opazovalnic in rezultate analiz v seizmični informacijski sistem, v podatkovno bazo. Naknadno lahko podatke obdelujemo s programskimi moduli podatkovne baze. Vse vrste programskih modulov sistema Antelope upravljajo in nadzirajo administratorski programski moduli. Rezultate analiz lahko skupaj z zajetimi podatki z opazovalnic prenašamo med različnimi enotami. To možnost smo izkoristili za izmenjavo podatkov z avstrijsko seizmološko službo in za posredovanje naših podatkov univerzi v Trstu ter v evropski seizmološki center ORFEUS.

Prenos podatkov lahko poteka po različnih komunikacijskih protokolih, v našem omrežju pa smo uporabili internetni TCP/IP protokol. Program poleg prenosa podatkov omogoča tudi pregled stanja instrumentov, daljinski nadzor in nastavitve parametrov seizmografov, tako digitalizatorjev kot tudi senzorjev. Standardni nadzorni program z grafičnim vmesnikom omogoča operaterju pregled nad funkcijami instrumentov na opazovalnicah in komunikacijskih linijah (slika 5).



The screenshot shows a window titled "qtmon: :snrs :snrslog". It contains a table with the following columns: netsta, runtm, bps, lat, lon, elev, gps, cldrf, clck, vco, cltncy, dltncy. The table lists several stations with their respective parameters. Below the table, it says "ALL STATIONS" and "Status: Time: 2002140(5/20) 9:04:15 Gmt: Status latency = 00:00:09".

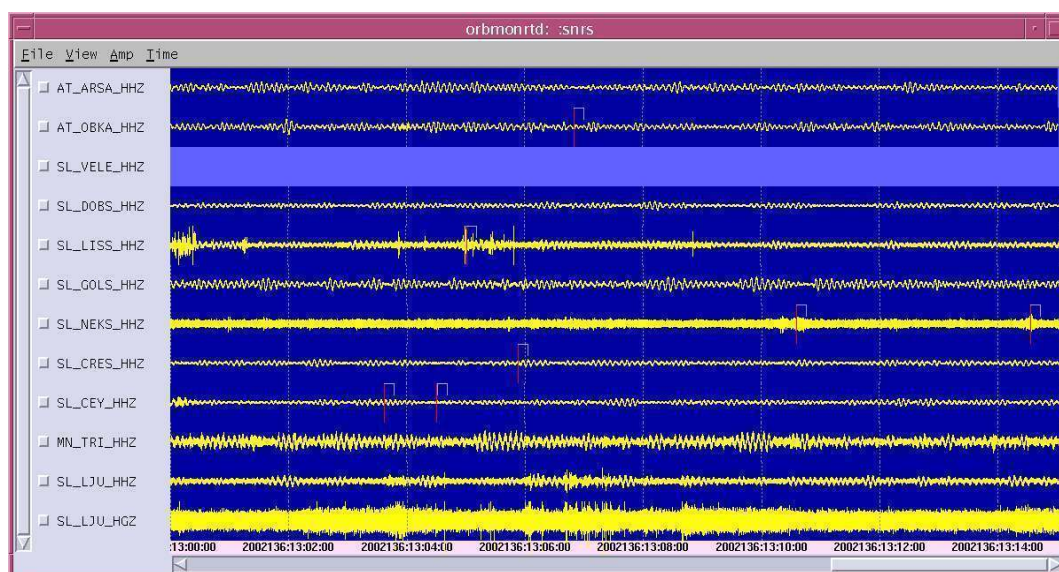
netsta	runtm	bps	lat	lon	elev	gps	cldrf	clck	vco	cltncy	dltncy
SL_CFY	3h	4.9k	45.738	14.422	648m	2D	4020 usec	0	2297	5s	0s
SL_CRES	3h	4.9k	45.826	15.457	490m	3D	-113 usec	L	2134	6s	1s
SL_DOBS	14m	6.0k	46.149	15.469	498m	2D	149 usec	L	2123	5s	2s
SL_GOLS	16m	4.5k	46.011	15.624	616m	3D	-131 usec	L	2118	6s	1s
SL_LISS	13h	7.1k	46.068	15.285	1005m	3D	-36 usec	L	2107	6s	2s
SL_LJU	56m	14k	46.044	14.528	459m	3D	-40 usec	L	2265	6s	1s
SL_NEKS	13h	17k	45.939	15.518	221m	3D	-8214 usec	L	2153	6s	2s
SL_VELE	3h	18k	46.366	15.099	453m	3D	-583 usec	0	2086	6s	1s

ALL STATIONS

Status: Time: 2002140(5/20) 9:04:15 Gmt: Status latency = 00:00:09

Slika 5: Program **qtmon** omogoča pregled nad delovanjem instrumentov na opazovalnicah in komunikacijskih linijah.

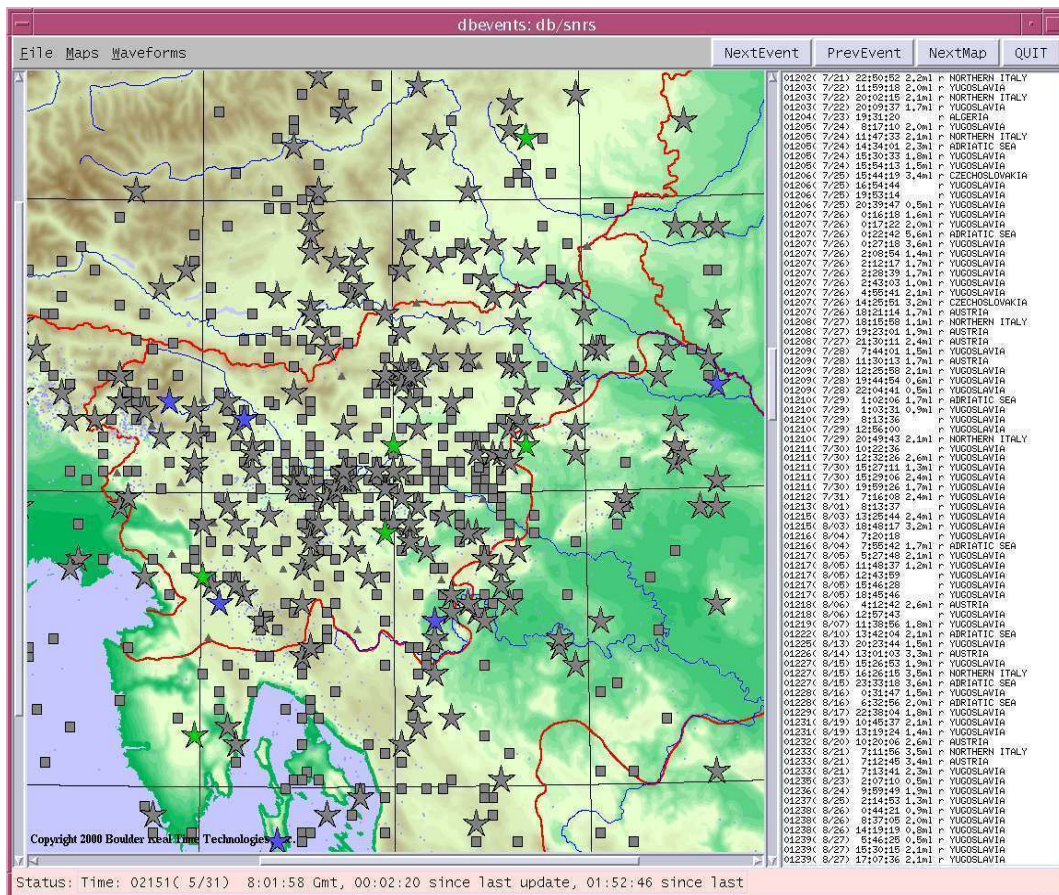
Grafični vmesnik omogoča uporabniku pregled zajetih podatkov na opazovalnicah, ki se izrisujejo po zaslonu v stvarnem času (slika 6). Program ima veliko možnosti nastavljanja parametrov, od števila kanalov, ki jih prikazuje, filtriranje podatkov pred prikazovanjem, ponavljanje istih podatkov, nastavljanje amplitudnega in časovnega merila. Obdelava podatkov poteka avtomatsko: določitev vstopnih časov in STA/LTA detekcija na vseh kanalih. Nek dogodek je spoznan kot potres, ko je detektiran na v naprej določenem številu opazovalnic v določenem časovnem oknu. Za potres se potem izračuna lokacija in magnituda.



Slika 6: Grafični vmesnik **orbmonrtd** omogoča prikaz različnih podatkov na zaslonu. Poleg opazovalnic državnega seizmološkega omrežja vidimo na zaslonu še zapise avstrijskih opazovalnic ARSA in OBKA, italijanske opazovalnice TRI in začasnih opazovalnic VELE (Velenje), LISS (Lisca) in NEKS (Krško).

Program vpisuje v podatkovno bazo vseh dogodkov v stvarnem času ter ponovno pregledanih dogodkov in rezultatov obdelave. Baza s prikazi zemljevidov z vrisanimi lokacijami potresov se stalno obnavlja z novimi podatki. Baza je dinamična in se obnavlja z novimi informacijami, ko se spremenijo vhodne preglednice. Poleg prikaza epicentrov na zemljevidu imamo še druge podatke: lokacije epicentrov, starost dogodka, magnitudo potresa (slika 7).

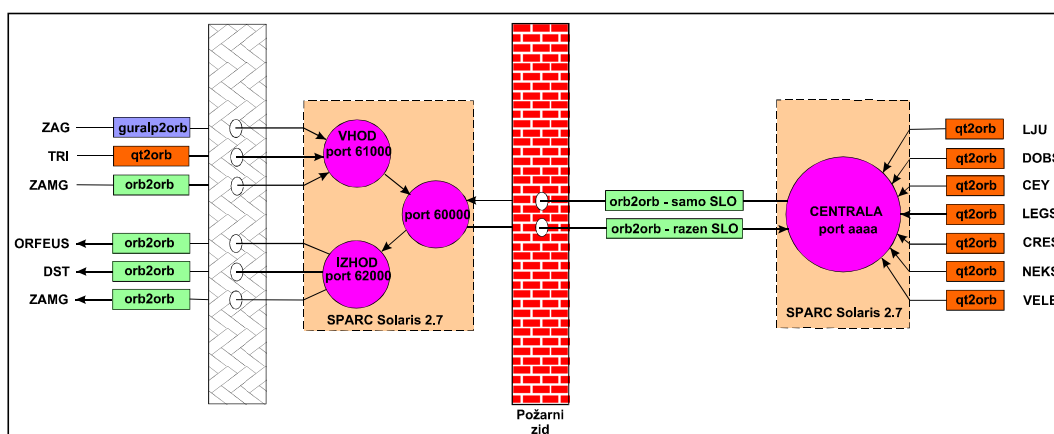
Omrežje potresnih opazovalnic je vključeno v zasebno računalniško omrežje HKOM, omrežje državnih organov Republike Slovenije, ki ga upravlja Center Vlade Republike Slovenije za informatiko. Prostrano omrežje državnih organov HKOM je privatno omrežje, ki je zasnovano za prenos podatkov med posameznimi zaključenimi celotami (CURS, DURS, ...) in med posameznimi končnimi uporabniki in centralnim sistemom aplikativnih in podatkovnih strežnikov in storitev (elektronska pošta, Internet, klicni dostopi, ...). Zaradi svoje vloge je sestavljeno iz dveh med seboj povezanih prenosnih nivojev. To sta fizični prenosni nivo in logični prenosni nivo. Omrežje je povezano s svetovnima omrežjema Internet in X.25, je profesionalno varovano in grajeno ter vzdrževano po natančno določenih standardih in pravilih. Logični nivo sestavljajo usmerjevalniki, ki medsebojno usmerjajo promet med posameznimi končnimi uporabniki. Tudi ti delujejo po zelo strogih zahtevah, saj je potrebno zagotoviti kar največjo optimizacijo medsebojnih povezav.



Slika 7: Program *dbevent* nam prikaže okno z zemljevidom z vrisanimi epicentri potresov in z drugimi seizmološkimi podatki.

4.1 Intranet / internet

Potres, ki je nastal 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju, so čutili tudi prebivalci sosednjih dežel, zato se je porodila ideja po združitvi omrežij, saj bi s tem prišli do večjega števila podatkov, natančnejši bi bili izračuni potresnih parametrov, pa tudi ob izpadu delovanja posameznih opazovalnic, bi še vedno pridobili zadostno količino podatkov. Medtem, ko imajo v Italiji (Univerza v Trstu), Avstriji (ZAMG) in Hrvaški (GZ) svoja, oz. uporabljajo javna prenosna omrežja za prenos podatkov, je slovensko seizmološko omrežje vključeno v državno računalniško omrežje HKOM, ki je posebej varovano. Da bi omogočili izmenjavo podatkov, so nam strokovnjaki Centra Vlade za informatiko predlagali rešitev s postavitvijo delovne postaje v DMZ coni, ki omogoča izmenjavo podatkov (slika 8). Delovna postaja v DMZju je nameščena med dvema požarnima zidoma, s strogo kontroliranim dostopom in operacijami, ki se lahko izvajajo. Preprečene so podatkovne zanke. Ne moremo izvoziti podatkov h gostitelju, od katerega sprejemamo podatke. Vhodna in izhodna ORB enota sta ločeni in povezani s centralno ORB enoto. Ta pa je povezana z delovno postajo že znotraj omrežja HKOM.



Slika 8. Izmenjava podatkov Urada za seizmologijo z inštitucijami v tujini.

Trenutno sprejemamo podatke s potresne opazovalnice v Zagrebu (ZAG), v Trstu (TRI) in z vseh avstrijskih opazovalnic (ZAMG), od katerih so za nas zanimivi podatki iz opazovalnic OBKA nad Železno Kaplo in ARSA pri Gradcu, ker sta najbližji našemu ozemlju. Zapise vseh naših opazovalnic posredujemo avstrijski seizmološki službi (ZAMG), Univerzi v Trstu (DTS) in evropski organizaciji ORFEUS (Observatories and Research Facilities for European Seismology). Podatke posredujemo v ORFEUS v okviru projekta MEREDIAN (Mediterranean-European Rapid Earthquake Data Information and Archiving Network), katerega cilj je omogočiti lahek dostop do velikih količin kvalitetnih seizmoloških podatkov za analizo in raziskovanje območij Evrope in Mediterana. Glavni elementi projekta so:

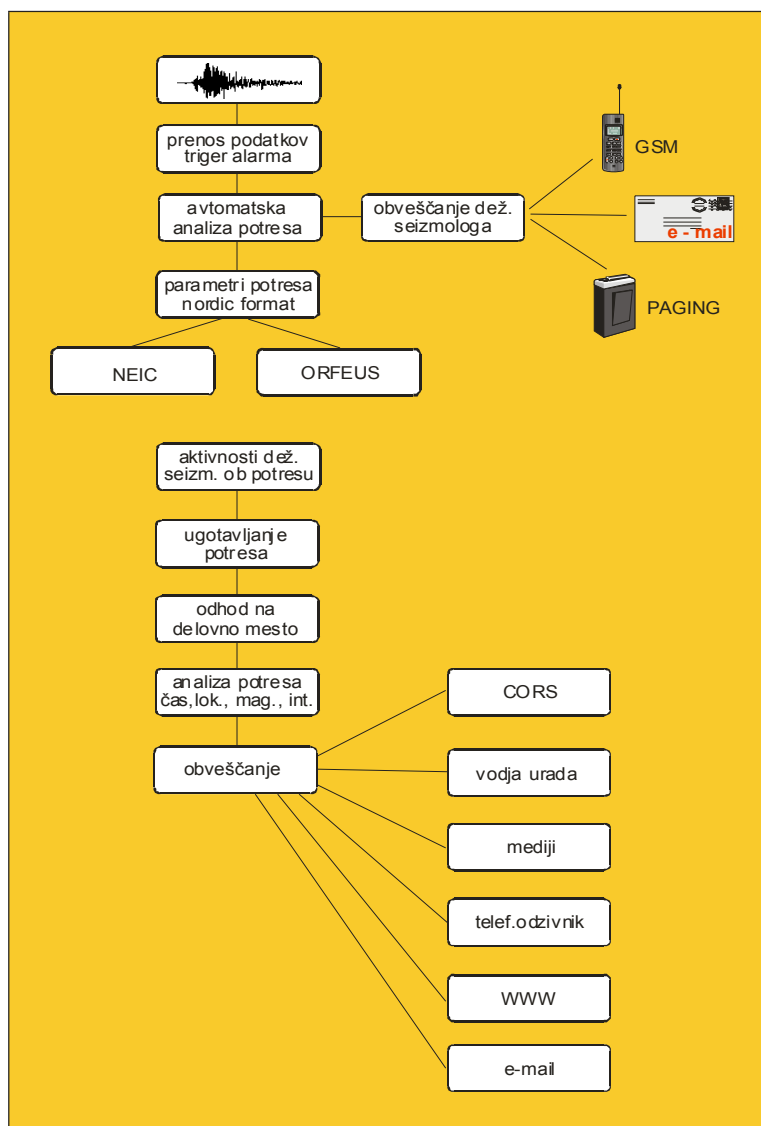
- omogočiti dostop do seizmoloških podatkov (zapisov potresa) v stvarnem času (nekajminutna zamuda) in do arhiva kvalitetnih podatkov (z največjo zakasnitvijo največ eno leto),
- vpeljati avtomatsko izmenjavo podatkov,
- razviti arhiv evropskih podatkov in
- koordinirati razvoj seizmološke programske opreme in njeno distribuiranje skozi koncept odprte kode (Open source).

4.2 Shranjevanje in dostop do podatkov

Sistem Antelope vsebuje poleg različnih programskih modulov za zajem, prenos, obdelavo in distribucijo podatkov v stvarnem času tudi tako imenovani seizmični informacijski sistem, v katerem so shranjeni podatki, zajeti na potresnih opazovalnicah, rezultati različnih obdelav in tudi drugi podatki namenjeni za paketno in interaktivno obdelavo. To je relacijska baza podatkov, razvita iz javno dostopne baze podatkov Datascope.

4.3 Aktivnosti ob potresu

V času po potresu v zgornjem Posočju se je izkazalo, da tako javne službe kot širša javnost pričakujejo ustrezno informacijo o potresu in prizadetem območju dosti prej kot v eni uri, tako kot je bilo predvideno oz. definirano v Načrtu zaščite in reševanja ob potresu na območju Slovenije. Novo omrežje potresnih opazovalnic naj bi bilo sposobno avtomatsko v stvarnem času določiti parametre potresa in jih sporočiti na ustrezna mesta. Izkušnje pa kažejo, da algoritmi za izračun lokacije niso zanesljivi, še posebej v primeru, ko je premalo podatkov. Zato dežurni seizmolog podatke vedno preveri, predno grede v javnost. Na sliki 9 je prikazan diagram poteka dejavnosti ob potresu.



Slika 9: Diagram poteka aktivnosti ob potresu.

Ob potresu se podatki o proženju in zapisi potresa s seizmografov na opazovalnicah prenesejo v centralni računalnik, kjer se izvede avtomatska analiza dogodka. Po analizi se avtomatsko pošlje obvestilo dežurnemu seizmologu po treh poteh istočasno: po elektronski pošti, po mobitelu in po pozivniku. Sporočilo vsebuje identifikacijsko številko dogodka, čas potresa, obe koordinati lokacije in globino žarišča potresa ter lokalno magnitudo potresa. Čas med nastankom lokalnega potresa in SMS sporočilom, ki ga dobi dežurni seizmolog na mobilni telefon, je dolg približno tri minute. Šibkejši dogodki, katerih magnituda je $< 2,0$, so slabše locirani. Pri teleseizmih v sporočilu manjka podatek o magnitudi. Avtomatski sistem pripravi še poročilo o potresu v nordic formatu in ga pošlje v NEIC (National Earthquake Information Center) in ORFEUS. Ko dobi sporočilo, se dežurni seizmolog takoj odpravi na svoje delovno mesto in ugotovi kje je potres nastal. Določeni teleseizmi namreč povzročijo enak odziv sistema, kot da je šlo za lokalni potres. Opravi še ročno analizo potresa in preveri izračun. V tem času ima na voljo že več podatkov in pripravi sporočilo o potresu. Sporočilo o potresu vsebuje naslednje podatke:

- dan v tednu, datum in uro potresa (lokalni in ne UTC čas!),
- oddaljenost in smer od izbrane opazovalnice,
- magnitudo,
- nadžarišču najbližji kraj,
- kraje, kjer so potres čutili ljudje,
- kraje, kjer je potres povzročil gmotno škodo,
- oceno intenzitete

Poročilo potem pošlje po navedenem vrstnem redu naslednjim prejemnikom: CORS (Center za obveščanje Republike Slovenije), vodji Urada za seizmologijo, medijem (STA, radio, TV, časopisi), ga posname na telefonski odzivnik, naloži na internetno stran in pošlje sporočilo še na pripravljene naslove po elektronski pošti.

5. ZAKLJUČEK

Urad za seizmologijo je v okviru zakonsko opredeljenih nalog ter na osnovi internih analiz o stanju na področju seizmološkega monitoringa ter ocenjevanja potresne dejavnosti v Sloveniji zastavil cilje, ki naj bi bili doseženi z realizacijo projekta »Posodobitev državne mreže potresnih opazovalnic«. Ti cilji so:

1. Postavitev državnega potresnega alarmnega sistema z obveščanjem v stvarnem času, ki bo temeljil na samodejni obdelavi podatkov in na samodejnem posredovanju podatkov ustreznim službam. Zahtevam po obveščanju v stvarnem času ter samodejni obdelavi podatkov in njihovo posredovanje ustreznim službam (porabnikom) je možno zadostiti z ustrezno

sodobno seizmološko in računalniško opremo ter s primerno organizacijo upravljanja in vodenja mreže potresnih opazovalnic. Mreža potresnih opazovalnic bo omogočala obveščanje javnosti z osnovnimi karakteristikami potresa najkasneje v 10 minutah po potresu.

2. Čim natančnejše opredeljevanje osnovnih potresnih parametrov (predvsem koordinat epicentra, globine ter velikosti in obsega potresa) na podlagi globinskega geofizikalnega modela ozemlja Slovenije, ki ga bo mogoče izdelati na podlagi potresnih zapisov načrtovane mreže potresnih opazovalnic. Število in porazdelitev potresnih opazovalnic je odvisno od ocenjene potresne nevarnosti in ogroženosti, velikosti opazovanega območja in namena zbiranja podatkov. Dokaj natančna opredelitev položaja žarišča temelji na poznavanju časa, ki ga je potresno valovanje potrebovalo za pot od žarišča do potresnih opazovalnic. Natančnost opredelitve potresnih količin je odvisna od kakovosti in števila potresnih zapisov, porazdelitve opazovalnic in oddaljenosti najbližje opazovalnice od žarišča ter poznavanja globinskega geofizikalnega modela ozemlja. Globinski geofizikalni model, ki je potreben za preračun časa v oddaljenost, lahko opredelimo iz zapisov mreže potresnih opazovalnic ali s precej dražjimi globokimi seizmičnimi raziskavami. Za ozemlje Slovenije takega modela zaenkrat ni bilo mogoče izdelati, ker je število opazovalnic nezadostno. Pri potresu se namreč sproščena energija razširja v obliki prožnostnega valovanja, ki prinese na površje tudi informacijo o lastnosti globinskih struktur, skozi katere je potovalo. S postavitvijo predlagane mreže potresnih opazovalnic bo možno pridobiti nujno potrebne zapise potresov, na podlagi katerih bo lahko izdelan ustrezen model. Za opredelitev lege nadžarišča potresa so nujni zapisi najmanj treh opazovalnic, za opredelitev globine žarišča pa še zapis vsaj ene opazovalnice, ki od žarišča ni oddaljena več kot znaša globina. Ker tehnologija zaznavanja in zapisovanja potresov zaenkrat ne omogoča, da bi z eno vrsto instrumentov ustrezno zapisali celoten dinamični in frekvenčni razpon, v katerem se potresi pojavljajo, je nujno, da se v osnovno mrežo vključijo štiri opazovalnice s senzorji z večjim frekvenčnim obsegom ter ena opazovalnica za opazovanje močnih potresov v svetu. S tem bi Republika Slovenija tudi izpolnila svoje mednarodne obveznosti, ki jih je prevzela s podpisom pogodbe o prepovedi jedrskih poskusov (Comprehensive nuclear test ban treaty monitoring).
3. Zanesljivejše ocenjevanje in boljša državna karta potresne nevarnosti za potrebe potresno varne gradnje na podlagi natančnejšega poznavanja seizmotektonskih razmer na ozemlju Slovenije, kar bodo omogočili potresni zapisi načrtovane mreže potresnih opazovalnic. Za potrebe prostorskega načrtovanja in racionalne potresno varne gradnje je nujna karta, ki realno ocenjuje potresno nevarnost. Izdelava karte temelji na poznavanju časovno prostorske porazdelitve potresne dejavnosti in določitvi aktivnih prelomnih con, ki so lahko vir močnega potresa v prihodnosti. Tega z obstoječo gostoto mreže potresnih opazovalnic ni možno napraviti. S postavitvijo predlagane mreže potresnih opazovalnic bodo zagotovljeni potrebni podatki za spoznavanje potresnih in seizmotektonskih razmer na ozemlju Slovenije. To so vhodni podatki in podlaga za izdelavo zanesljivejše in natančnejše državne karte potresne nevarnosti.

4. Povezava slovenskega alarmnega sistema s potresnimi alarmnimi sistemi sosednjih držav - predvsem z Avstrijo in Italijo. V konceptualnem smislu bo državna mreža potresnih opazovalnic zastavljena tako, da bo omogočala kasnejšo povezavo treh alarmnih sistemov - Slovenije, Italije in Avstrije, pri čemer sta smiselna dva načina povezave: povezani samostojni alarmni sistemi z izmenjavo podatkov prek elektronske pošte, skupen alarmni sistem s sočasnim prenosom podatkov iz državnih računalniških središč v vsa tri državna središča za obdelavo seizmoloških podatkov.

LITERATURA

Antelope, ARTS configuration and operations manual, 1998, Boulder Real Time Technologies, inc. 68 str.

Borman, P., Hanka, W., Trnkoczy, A., 1988a. Seismic Station Site Preparation. <http://www.seismo.com/msop/nmsop/nmsop.html>

Borman, P., Hanka, W., Trnkoczy, A., 1988b. Factors Affecting Seismic Site Quality. <http://www.seismo.com/msop/nmsop/nmsop.html>

Gosar, A., Zupančič, P., Vidrih, R., 1999. Izbor lokacij za novo mrežo potresnih opazovalnic v Sloveniji: geološke in geofizikalne raziskave. Potresi v letu 1999. Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Ljubljana, 50 – 60. http://www.gov.si/cvi/slo/stk/projekti/HKOM_opis.htm

Kradolfer, U., 1996. AutoDRM – The first Five Years, Seismological Research letters, Vol 67, 4, 30 – 33.

Lapajne, J., Sinčič, P., Živčič, M., 1998. Načrti za posodobitev opazovanja potresov v Sloveniji, Ujma 12, Ljubljana, 153-155.

Ravnik, J., Živčič, M., Trnkoczy, A., 1999. Modeliranje zmogljivosti mreže potresnih opazovalnic, Potresi v letu 1999, Agencija RS za okolje, Ljubljana 73 - 82.

Sinčič, P., Vidrih, R., 1993. Mreža potresnih opazovalnic v Sloveniji. Ujma 7 Ljubljana, 130 – 137.

Vidrih, R., Sinčič, P., Gostinčar, M., 1997. Seismic network in Slovenia. A hundred years of the first Seismic Observatory in Slovenia. 29th General Assembly of the IASPEI, Abstracts, W 18 1775, Thessaloniki.

Vidrih, R., Sinčič, P., Živčič, M., 2003. Modernizacija državne mreže potresnih opazovalnic. 16. posvetovanje slovenskih geologov. Geološki zbornik 17, Ljubljana, 167 – 171.

SEIZMIČKO OSMATRANJE VISOKIH BRANA

Prof. dr. Vladimir MIHAILOV

Institut za zemljotresno inženerstvo i inženerska seizmologija,
Univerzitet "Sveti Kiril i Metodij"-Skopje, P.O.Box 101, Skopje, Macedonia

IZVLEČEK

Potresi so po svoji naravi, kot njihovem učinku na objekte izjemno kompleksne narave in predstavljajo nenehno potencialno nevarnost, da v kratkem času povzročijo uničujoče posledice v prostoru in na objektih. Ob tem je potrebno poudariti, da predstavlja porušitev pregrad, zaradi potresa eno od največjih potencialnih tveganj za nastanek škode izjemnih razmer, še posebej, če se objekt nahaja v vplivnem območju poselitev.

Karakteristične podatke o temeljnih tleh in odzivu konstrukcije pri učinkovanju potresa pridobimo na podlagi instrumentacije objekta za registracijo potresov. Primerjave projektno določenih parametrov in odziv konstrukcije zaradi potresa so nemogoče, brez ustrezne registracije. Prav tako, brez ustrezne registracije učinkovanja potresa na konstrukcijo, ni možno podati varnostno oceno, ne podatkov za ustrezno sanacijo objektov.

Za točno opredelitev reakcije konstrukcije je potrebno instalirati ustrezno mersko opremo, v točno defiiniranih točkah na pregradi in v neposredni okolici. Število inštrumentov ni možno splošno določiti, temveč je odvisno od več faktorjev: seizmotektonike okolice, pogojev temeljenja, tip in namena pregrade, materiala ipd. Priporoča se, da se izvedejo predhodne študije in analize za točno definiranje obsega instrumentacije objektov.

ABSTRACT

According to the nature of their origin and their effect upon structures, earthquakes represent very complex phenomena involving potential threat of high scale destruction of nature and structures within a very short time. It should particularly be pointed out that failure and damage to dams poses one of the greatest potential threats for occurrence of large scale consequences, particularly if these are located near densely inhabited and highly developed urbanized media.

The most important data on the character of ground motion and response of dam structures to earthquakes are obtained by installation of instruments for recording of earthquakes. Without an appropriate record, it is not possible to compare the behaviour of a dam during an earthquake effect to the design seismic parameters nor it is possible to make a decision for safe usage or rational repair of dams immediately after an earthquake.

To completely define the response of the dam structures, it is necessary to install instruments at some locations of the dam or its immediate surrounding. The number of instruments depends on a number of factors (seismotectonic characteristics of the area, the foundation conditions, the type and the purpose of the dam, the construction material, etc.) wherefore it can't be generally defined. It is therefore necessary to carry out previous studies and analyses for definition of the optimal number of instruments.

ABSTRAKT

Zemljotresi po svojoj prirodi nastajanja kao i po njihovom dejstvu na objekte su veoma komplikovana pojava, koja sadrži potencijalnu opasnost da, u veoma kratkom trajanju, izvrše razaranja prirode i objekata ogromnih razmera. Ovde, posebno treba istaći, da je jedna od najvećih potencijalnih mogućnosti za nastajanje štete velikih razmera kod dejstva zemljotresa, rušenje objekata tipa brane, naročito kada je njihov položaj takav da ugrožava gusto naseljenje i visoko razvijene urbanizirane sredine.

Najznačajniji podaci o karakteru kretanja tla i reakcijama konstrukcija brana prilikom dejstva zemljotresa se dobijaju putem instaliranja instrumenata za registraciju zemljotresa. Bez odgovarajuće registracije nije moguće da se uporedi ponašanje brane za vreme dejstva sa projektnim seizmičkim parametrima, niti da se donese odluka za dalje bezbedno korišćenje ili racionalnu sanaciju brana neposredno posle zemljotresa.

Za potpuno definisanje reakcije konstrukcija brana potrebno je instrumentiranje u određenom broju tačaka na brani i njenoj neposrednoj okolini. Broj instrumenata zavisi od više faktora: seismotektonske karakteristike područja, uslovi fundiranja, tipa i namene brane, građevinskog materijala i dr., zbog čega ne može generalno da se odredi. Poželjno je da se izrade predhodne studije i analize za definisanje optimalnog broja instrumenata.

1. UVOD

Permanentna opasnost od pojave zemljotresa koji se relativno često događaju, ukazuju da je neophodno da se preventivom protiv štetnog delovanja zemljotresa treba započeti još u fazi planiranja i projektovanja objekata. Efekat preduzimanja preventivnih i zaštitnih mera je znatno efikasniji i racionalniji od onih koji bi se kasnije preduzeli za otklanjanje posledica od dejstva zemljotresa.

Visoka brana pretstavlja posebno važan element kod procene seizmičke opasnosti šireg područja oko brane, odnosno kod definiranja seizmičkog rizika područja na kome će se graditi brana. Mnoge visoke brane u svetu locirane su u područjima visoke seizmičke aktivnosti ili u neposrednoj blizini područja koja su u prošlosti bila izložena jakim zemljotresima. Zbog toga mogućnost pojave oštećenja od eventualnih, budućih, prirodnih ili "izazvanih" (induciranih) zemljotresa treba imati uvek u vidu. Ovde posebno treba istaći veliku potencijalnu opasnost od nastanka šteta ogromnih razmera od rušenja odnosno oštećenja brana kod dejstva zemljotresa, kao i mogućnost izazivanja pojave lokalnih zemljotresa, kod punjenja akumulacije. Od velikog broja primera oštećenja brana od dejstva prirodnih zemljotresa pomenimo samo Habgen u Montani (SAD) 1958 g., brana Eklutna u Aljasci (SAD) 1964 godine i brana Van Norman u Kaliforniji (SAD) 1971 god.

Veoma su karakteristična oštećenja brana koja su nastala od "inducirane" seizmičnosti terena, t.j. od izazvanih zemljotresa koji su nastali kao posledica punjenja akumulacije. Neki od ovih slučajeva pojavili su se i u regionima za koje se smatralo da su sa malom ili umerenom seizmičkom aktivnošću. Pominjemo samo tri najkarakterističnija slučaja: (1) brana na jezeru Kariba u Centralnoj Africi; (2) brana Koyna u Indiji i (3) brana Hsenfengkiang u NR Kini. Kod ovih slučajeva najjači zemljotresi bili su sa magnitudom 6,4 i prouzrokovali su veoma teška oštećenja na branama. Na betonskoj gravitacionoj brani Koyna javile su se velike pukotine za čije otklanjanje - za opravku i ojačanje konstrukcije bila su potrebna velika materijalna sredstva. Isti je slučaj i sa branom Hsenfengkiang na kojoj je zemljotres iz 1962 godine sa $M=6,1$ prouzrokovao pukotine duge 82 metara na gornjem delu konstrukcije brane.

Gornji primeri nalažu potrebu za detaljnim izučavanjem seizmičnosti lokacije brane. To znači da je pored statističke analize postojećih (instrumentalnih, istorijskih i dr.) podataka o dogođenim zemljotresima i terenskih, tektonskih i geoloških, izučavanjem terena, neophodno je i instrumentiranje brane i njihove neposredne okoline.

2. SEIZMIČKI MONITORING KONSTRUKCIJE - OPŠTE POTREBE

Pojava jakih zemljotresa, u nedostatku instrumenata za registraciju jačine zemljotresa i reakcije konstrukcije brane uvek izaziva veliki broj pitanja na koja nije moguće dati tačan odgovor. Naime, kod oštećenja konstrukcije brane ne postoji mogućnost, bez odgovarajuće registracije, da se uporedi ponašanje

konstrukcije kod dejstva zemljotresa sa pretpostavljenim projektnim seizmičkim parametrima i kriterijumima, a nemože se doneti ni odluka za racionalnu sanaciju i ojačanje konstrukcije. Posebne poteškoće javljaju se kada zemljotresi ne prouzrokuju velika i uočljiva oštećenja. U tom slučaju, za procenu upotrebljivosti konstrukcije potrebno je izvršiti posebna merenja sa skupim pregledima.

Podaci o kretanju tla za vreme zemljotresa na kome su izložene konstrukcije i ponašanje konstrukcija su od fundamentalnog značenja za ocenu seizmičkog hazarda, definisanja projektnih parametara i kriterijuma kao i za sva ostala dinamička ispitivanja u oblasti zemljotresnog inženjerstva. Bez ovih podataka, sva dalja istraživanja i analize biće zasnovane na bazi pretpostavki. Proizvoljni karakter pojave zemljotresa otežava direktno dobijanje najbitnijih podataka. Jedan od mogućih načina za rešavanje ovih problema je instaliranje mreže sa velikim brojem instrumenata za registraciju kretanja tla i odgovor konstrukcija za vreme silnih zemljotresa.

Imajući ovo u vidu početkom 1972 god. na predlog Instituta za zemljotresno inženjerstvo i inženjersku seizmologiju iz Skoplja, na teritoriji bivše SFRJ instalirana je mreža za registraciju silnih zemljotresa. Na početku u ovoj mreži, bila su uključena oko 100 instrumenata za registraciju silnih zemljotresa - akceleroграфи SMA-1 proizvod KINEMATRICS USA. Kasnije njihov broj se kontinuirano povećavao da bi na kraju osamdesetih godina dostigao brojku od nešto malo preko 300 instrumenata. Ovi instrumenti su bili locirani na (1) osnovnoj steni, (2) na karakterističnih počvenih sredina i (3) na različite vidove konstrukcije. Rezultati koji su dobiveni radom ove mreže, u potpunosti su opravdali sva očekivanja. Dobiveni su podaci (registracije, spektri i dr.) od neprocenljive vrednosti koji su našli veliku primenu u aseizmičkom projektovanju objekata i kod izrade odgovarajućih propisa.

U zemljotresnom inženjerstvu, sve je veća potreba za instaliranjem mreže za registraciju jakih zemljotresa i rezultata koji se dobijaju od njih. Poseban interes postoji za seizmičko instrumentiranje objekata zato što dobiveni rezultati daju značajan doprinos celokupnoj aktivnosti za smanjivanje seizmičkog rizika i minimiziranje oštećenja ovih konstrukcija od uticaja katastrofalnih zemljotresa. Primena rezultata je jednako važna kako za teoretska i fundamentalna istraživanja u oblasti zemljotresnog inženjerstva, tako i za aplikativna i praktična istraživanja u ovom domenu.

Seizmički monitoring konstrukcija je jedna od aktivnosti u okviru seizmologije i zemljotresnog inženjerstva, kojoj se u zadnje vreme posvećuje velika pažnja. Ovo nije bez razloga, budući da rezultati dobijeni putem ovakvog monitoringa ima višekratni cilj u zaštiti od zemljotresnog delovanja. Osim ovog, oni predstavljaju i osnovne podatke za projektovanje seizmički otpornih konstrukcija što direktno utiče opštom naporu za smanjenje postojećeg seizmičkog hazarda u urbanim sredinama. Ovaj referat posvećen je problemima seizmičkog monitoringa brane, zato će u nastavku biti diskutiran samo problemi vezani za monitoring brane.

3. SEIZMIČKI MONITORING BRANA

Instrumentiranje hidrotehničkih objekata, posebno konstrukcije brana, predstavlja jedan od najracionalnijih oblika i metoda seizmičke zaštite. Podaci koji bi se dobili od registracije zemljotresa na ovim instrumentima koristili bi se kao bazični podaci za definiranje seizmičkih parametara i kriterijuma za projektovanje. Osim toga bez odgovarajuće registracije nije moguće da se uporedi ponašanje objekata (brane) za vreme dejstva zemljotresa sa projektnim seizmičkim parametrima, niti da se donese odluka za dalje bezbedno korišćenje ili neophodnost saniranja brane neposredno posle zemljotresa. Iz navednih razloga, preporučuje se seizmičko instrumentiranje, odnosno instaliranje instrumenata za registraciju zemljotresa na svim hidrotehničkim objektima, a posebno na visokim branama, koje su locirane u seizmički aktivnim područjima.

Seizmički monitoring brana još uvek je aktuelni problem u zemljotresnom inženjerstvu. Rezultati obrađenih registracija od zemljotresa daju veliki doprinos za eksperimentalne i analitičke studije za dinamičko ponašanje brana. Sve ovo utiče direktno optimizaciji procesa projektovanja i izgradnje seizmički otpornih brana.

Broj instrumenata na branama koji se nalaze u seizmički aktivnim područjima je relativno mali, u svetskim razmerima, i još dugo vremena neće biti dovoljan za potpuno definiranje ponašanja konstrukcije, t.j. reakcija brane kod dejstva zemljotresnih kretanja. Zbog toga je veoma važno da se dobije maksimalni iznos informacija od ovog relativno malog broja instrumenata. Neophodno su veće napore i razumevanja Investitora da se broj instrumenata instaliranih na postojećim branama poveća.

Povećanje broja je posebno važno za brane izgrađene po najnovijim tehnologijama i metodama projektovanja. Ovo je tehnički i ekonomski opravdano budući da su troškovi instrumentiranja zanemarljivi u odnosu na ukupnu investiciju sa druge strane ovi instrumenti za registraciju jakih zemljotresa instalirani na brani omogućuju dobijanje osnovnih podataka o ponašanju brane za vreme zemljotresa, donošenje odluke o daljoj eksploataciji ili o potrebi za sanaciju brane neposredno posle dogođenog zemljotresa.

Posebno važan elemenat kod ovih instrumenata su njihove izlazne informacije. Poželjno je da oni budu u takvoj formi da se iz njih na licu mesta, neposredno posle dogođenog zemljotresa može dobiti informacija o jačini zemljotresa i ponašanja objekata. Na osnovu toga moguće je doneti odluku o daljoj eksploataciji brane. Na primer, ako je brana projektovana sa $a=0,25g$, kao projektni parametar, a maksimalna amplituda registrovanog ubrzanja je manja od ove vrednosti, onda se može sa velikom pouzdanošću doneti odluka o daljoj eksploataciji brane bez posebne sanacije ili ojačanja. Međutim, kada registrovano ubrzanje iznosi više od $0,25g$, onda je poželjno, i u slučaju kada ne

postoje vidljivi znaci o oštećenju brane, da se uradi posebna studija i utvrde veličine naprezanja i deformcija brane od dejstva sile registrovanog zemljotresa.

Za vreme poslednjih tri dekada, učinjen je veliki napredak u saznanjima o zemljotresnom delovanju na betonske i zemljane brane. Razvoj instrumenata za tačno registrovanje realnih zemljotresnih kretanja kao i napredak kompjuterskih analitičkih postupaka rezultiraju u boljim ocenama seizmičkog odgovora brana. Uloženo je mnogo napora u formuliranju analitičkih i numeričkih metoda za predviđanje ponašanja zadatak zemljotresa, generalno pretstavljen odgovarajućom vremenskom istorijom ubrzanja. značajan napredak je postignut i kod definiranja seizmičkog ulaza za karakteriziranje seizmičke izloženosti određene konstrukcije.

Smatramo da je neophodno da se projektanti brane što više upoznaju sa rezultatima i značajem observiranih podataka od realnog ponašanja brane pod dejstvom seizmičkih sila, kako bi mogli da ove podatke koriste što više u svakodnevnoj praksi. Na taj način sigurno će se stvoriti uslovi za što racionalnijem pristupu kod aseismičkog projektovanje brane.

3.1 Tehnička regulativa

Tehnički propisi i normativi predstavljaju jednu od osnovnih mera zaštite od zemljotresa. Postoje više ovakvih propisa. Međutim, na žalost, oni nemogu da obuhvate sve oblasti i faze planiranja i projektovanja koje mogu da podignu nivo zaštite od zemljotresa. Zbog specifičnosti prirode pojave zemljotresa i njegovo delovanje na objekte propisi nemogu direktno da obuhvate sve seizmičke uticaje od kojih neposredno zavisi ponašanje, stabilnost i povredljivost objekata. Zbog toga je potrebno, pored unapređenja mera zaštite u tehničkim propisima, da se pronalaze nove sadržine i forme seizmičke zaštite u svim oblastima tehničke delatnosti.

Seizmički monitoring konstrukcije brana je relativno komplikovan proces, pre svega zbog nedovoljne definiranosti prirode pojave zemljotresa i ponašanje objekata pod njihovim dejstvom. U više zemalja postoje propisi i normativi za seizmički monitoring konstrukcija kojima se na određeni način, u principu, definišu kriterijumi za seizmički monitoring.

U bivšoj Jugoslaviji početkom 1988 god. donešen je Pravilnik o tehničkim normativima za seizmičko osmatranje visokih brana (Službeni list SFRJ br.6 str. 150 od 22.01.1988.god) koji je još u upotrebi u pojedinim državama koji su bili u sastavu SFRJ. Krajem 1999 god. u Republici Sloveniji donešen je pravilnik o opozovanju seizmičnosti na območju velike pregrade (Uradni list Republike Slovenije, december 1999 god. št. 92 strana 13.648) čime je prestala važnost napred navedenog pravilnika.

Obaveza iz ovog Pravilnika je seizmičko osmatranje t.j. instrumentiranje šireg regiona brane i akumulacije kao i same brane. Ovaj vid istraživanja sastoji se iz dve faze:

- seizmičko osmatranje za praćenje indukovane seizmičnosti i
- seizmičko osmatranje za registrovanje dinamičkog ponašanja tla, temelja i tela brane za vreme jakih zemljotresa.

Za obezbeđivanje ovih informacija koje su različite prirode, potrebna su istraživanja i monitoring lokacija brana uz pomoć:

- Lokalne mreže seizmoloških stanica - seizmografa,
- Instrumenata za registraciju silnih zemljotresa - akcelerografa.

Lokalna seizmološka mreža sastavljena od najmanje tri pokretne seizmološke stanice, raspoređene tako da u potpunosti pokrivaju posmatrano područje, daje odgovor na prostorni raspored epicentara zemljotresa i njihovih energetskih karakteristika, odnosno na lokalnu seizmičku aktivnost. Rad ove mreže treba početi najmanje dve godine pre početka izgradnje brane i produžiti do kraja punjenja akumulacije, odnosno godinu dana posle puštanja u pogon. Poželjno je, posebno u područjima visoke seizmičke aktivnosti, da ova mreža radi kao stalna, bez prekida. Kod ovih osmatranja veoma je važan period punjenja akumulacije obzirom na mogućnost pojave "izazvanih" lokalnih zemljotresa radi narušavanja prirodnog režima usled promene naponskog stanja u tlu (primer: Grančarevo i Mratinje kod nas).

Instrumenti za registraciju jakih zemljotresa instalirani na brani omogućavaju dobijanje osnovnih podataka o ponašanju brane za vreme zemljotresa, odnosno odluke o daljoj eksploataciji ili o potrebi za sanaciju brane neposredno posle dogođenog zemljotresa. Specifičnost uslova pojedinih lokacija brane (geološke, seizmološke i dr.) tip konstrukcije brane, veličina akumulacije i t.d. kao i ozbiljnost posledica koje mogu nastati od oštećenja brane, su takve prirode da je neophodna detaljna studija o optimalnom broju i lokacije instrumenata za registraciju jakih zemljotresa.

Dosadašnja svetska iskustva govore da je inducirana seizmičnost kod punjenja akumulacije uglavnom vezana za visoke brane sa $H < 100$ m. Međutim manje brane, obzirom na njihov veliki broj, imaju relativno visoki potencijal opasnosti. Iz ovih razloga predlaže se da lokalna mreža seizmoloških stanica bude ograničena samo na visoke brane, a mreža instrumenata za registraciju jakih zemljotresa na sve brane u seizmički aktivnim područjima. Stoga u daljem tekstu biće prezentirani samo neki od opštih principa za instrumentiranje brana sa instrumentima za registraciju jakih zemljotresa.

Seizmičko osmatranje brane i akumulacije se planira, projektira, izvodi i organizira, posebno za svaki objekat. Kod toga neophodno je da se izradi

projekat za seizmički monitoring na osnovu zahteva pravilnika i eventualni detaljni istraživanja lokacije brane.

3.2 Projekt za seizmički monitoring

Za efikasno i realno prosleđivanje seizmičnosti lokacije jedne brane i dinamičko ponašanje tla na brani, predlaže se izrada posebnog projekta za seizmički monitoring. Osnovni parametri za izradu ovog projekta mogu se klasificirati u dve grupe:

- Globalni parametri definisani Pravilnikom i
- Parametri determinirani sa lokacijom i konstrukcijom brana.

Prva grupa parametara decidno je definisana u spomenutom Pravilniku i kao takvi se treba primeniti u projektu za seizmički monitoring. Parametri druge grupe definišu se za svaku branu posebno i zavise od:

- Seizmičkog režima makro i mikro regiona;
- Jakosnih i dinamičkih karakteristika lokalnog tla;
- Načina fundiranja;
- Tipa brane i fundamenta;
- Dinamičkih karakteristika brana;
- Interakcije tlo-fundament brana;
- Geometriskih karakteristika brana;
- Kapacitet oskultacija;
- Površina akumulacije.

Sve napred pomenute komponente imaju parcijalan i interaktivan efekt na dinamičke karakteristike ponašanja brana. Ove karakteristike, koje imaju veliki efekat na seizmički monitoring, na branama obično se opredeljuju dinamičkom analizom na matematičkom modelu brane ili ispitivanjem brana u punoj veličini metodom prinudnih vibracija ili ambient vibracijama. Ovim ispitivanjem se dobijaju:

- Sopstvene (prirodne) frekvencije,
- Kapacitet prigušenja konstrukcije, i
- Tonovi oblici vibracija brana.

Na osnovu analize dobijenih rezultata izrađuje se projekt za seizmički monitoring sa kojim se definiše:

- Optimalni sistem za seizmički monitoring;

- Lokacije instrumenata koji će biti instalirani na telu brana;
- Tip seizmičkih instrumenata sa karakteristikama koja odgovaraju zahtevima Pravilnika i sa mogućnošću za njihovo međusobno telemetrsko povezivanje.

Preporučuje se da posebno bude izrađen projekt za telemetrsko međusebno povezivanje instaliranih instrumenata sa centralnom stanicom za osmatranje brane. Podaci koji će se dobiti ovim seizmičkim monitoringom imaju više značenja, među kojima posebno pominjemo:

- Verifikacija ulaznih seizmičkih parametara na osnovi kojih je projektovana brana i pridružni objekti;
- Mogućnost da se izvrši kontrola - analiza nivoa seizmičke stabilnosti brane od efekta zemljotresa korišćenjem dobivenih registracija;
- Analiza retroaktivnih efekata akumulacije na seizmički režim u bližoj okolini;
- Optimizacija procesa projektovanja budućih brana.

Sve napred pomenute parametre i kriterijume primenjene su kod izradi projekata za seizmički monitoring Savskih, Soških i Dravskih elektrana. Kod izrade ovih projekata uočene su određene nedoslednosti i propusti u Pravilniku o opozovanju seizmičnosti na območju velike pregrade.

4. STANJE U SLOVENIJI

Seizmičko osmatranje brana u Sloveniji ima relativno "dugu istoriju". Prvi instrumenti za registraciju silnih zemljotresa - akceleroografa tip SMA1, proizvodnja Kinometrics, instalirani su na branama Soških elektrana odnosno na brani HE Doblar krajem osamdesetih godina prošlog stoljeća. Nešto kasnije instalirani su i instrumenti na brani HE Solkan.

Nakon toga i na nekim branama Dravskih elektrana - brana HE Fala i brana HE Zlatoličje - instalirani su instrumenti za registraciju silnih zemljotresa. Sredinom devedesetih godina izvršeno je seizmičko instrumentiranje i na brani HE Moste. U tabeli koja sledi dati su osnovni podaci o instrumentiranim branama u Sloveniji.

Tabela 1: Osnovni podaci o instrumentiranim branama u Sloveniji

Naziv brane	Broj instaliranih instrumenata	Tip instrumenata - akceleroografa	Početak seizmičkog monitoringa	Danjašna sastojba
HE "Doblar"	4	SMA-1	1989	U radnom stanju
HE "Solkan"	3	SMA-1	1989	U radnom stanju

HE "Fala"	2	SMA-1	1989	U radnom stanju
HE "Zlatoličje"	2	SMA-1	1989	U radnom stanju
HE "Moste"	4	SMA-1	1998	U radnom stanju

Instaliranje, odražavanje instrumenata i radnom stanju i obrada dobivenih podataka izvršio je Institut za zemljotresno inženjerstvo i inženjersku seizmologiju iz Skoplja. Ovi instrumenti i danas su u potpunom radnom stanju, nalaze se na ovim branama i registruju sve dogođene zemljotrese na široj okolini brana. Kao primer za ovo navodimo registracije dobivene od zemljotresa od 12.04.1998 koji se dogodi na području Gornjeg Posočja. Zemljotres je registriran na instrumentima instaliranih na branama Dobljar, Solkan i Moste. U daljem tekstu prikazane su neke od ovih registracija i dobiveni rezultati (spektri reakcije, Fourier spektri i dr.) obradom ovih registracija. Poznato nam je da i na brani Vrholovo postoje instrumenti za registraciju silnih zemljotresa instaliranih na inicijativi investitora - Savske elektrarne.

Na ovom mestu pominjemo da su svi ovi instrumenti instalirani na osnovu tadašnjih naših i svetskih naučnih i stručnih znanja i iskustva o seizmičkom monitoringu brana i u potpunosti sa zahtevima Pravilnika o tehničkim normativima za seizmičku oskultaciju brana koji je izdan u bivšoj SFRJ početkom 1988 godine. Takođe pominjemo da ova seizmička oskultacija brana u Sloveniji ne zadovoljava u potpunosti pojedine zahteve novog "Pravilnika o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade" koji je izdat decembra 1999 godine. Određena odstupanja postoje kod karakteristika instrumenata za registraciju silnih zemljotresa. Međutim mi smatramo da u nedostatku novih, savremenijih instrumenata i postojeći, stari SMA-1 mogu da se i dalje koriste. Takođe smatramo da je neophodno da se u najskorije vreme izvrši promena odnosno nabavka novih instrumenata i da se ukupni sistem seizmičkog monitoringa brana u Sloveniji prilagodi zahtevima Novog pravilnika.

Tabela 2: Maksimalne vrednosti ubrzanja, brzina i pomaka za brana "Moste"

Podatci za		Absolutna maksimalna koregirana								
Instrumente SMA-1		Komponenta N 40 W			Komponenta N 50 E			Komponenta VER.		
Lokacija	Red. broj	Ubrz- nja cm/s/2	brzina cm/s	pomaci cm	Ubrz- nja cm/s/2	brzina cm/s	pomaci cm	Ubrz- nja cm/s/2	brzina cm/s	pomaci cm
Lok.-1 krona- kota=527.90	704	19.4	0.945	0.127	34.9	2.078	0.125	12.4	0.723	0.074
Lok.-2 kota=518.00	670	21.6	1.083	0.118	28.8	1.891	0.155	12.8	1.008	0.135
Lok.-3 kota=503.00	720	13.2	1.072	0.152	17.9	1.224	0.133	9.1	0.656	0.071
Lok.-4 kota=481.63	700	10.4	0.864	0.140	13.7	0.911	0.086	7.0	0.683	0.096

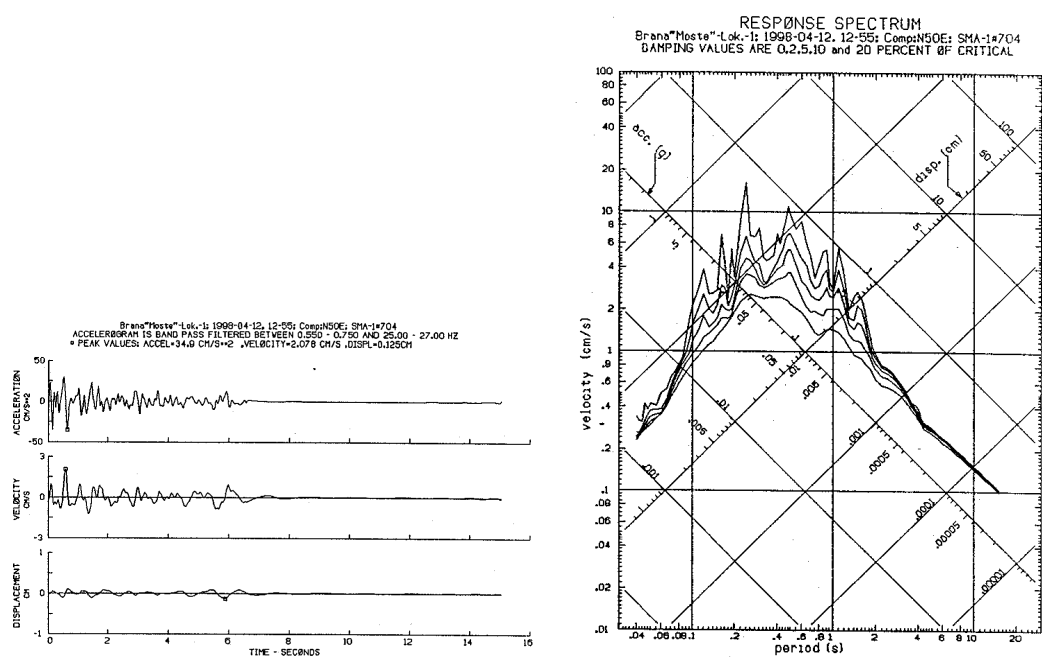


Fig. 1 Časovni poteki pospeška, hitrost in premika in spektri odziva za pregrade HE MOSTE (Potres 12-IV-1998, $M=5.5$)

Tabela 3: Maksimalne vrednosti ubrzanja, brzina i pomaka za brana "Doblar"

Podatki za		Absolutna maksimalna koregirana								
Instrumente SMA-1		Komponenta N 75 E			Komponenta N 15 W			Komponenta VER.		
Lokacija	Red. broj	Ubrz-anja cm/s/2	brzina cm/s	pomaci cm	Ubrz-anja cm/s/2	brzina cm/s	pomaci cm	Ubrz-anja cm/s/2	brzina cm/s	Pomaci cm
Lok.-1 Predor gore	2822	21.7	1.143	0.116	26.3	1.031	0.146	14.3	0.663	0.075
Lok.-2 krona desno	2843									
Lok.-3. krona levo	735	15.3	0.455	0.028	24.5	0.702	0.050	13.0	0.670	0.076
Lok.-4. tunel dole	2811	12.0	0.777	0.081	13.9	0.573	0.053	7.5	0.618	0.073

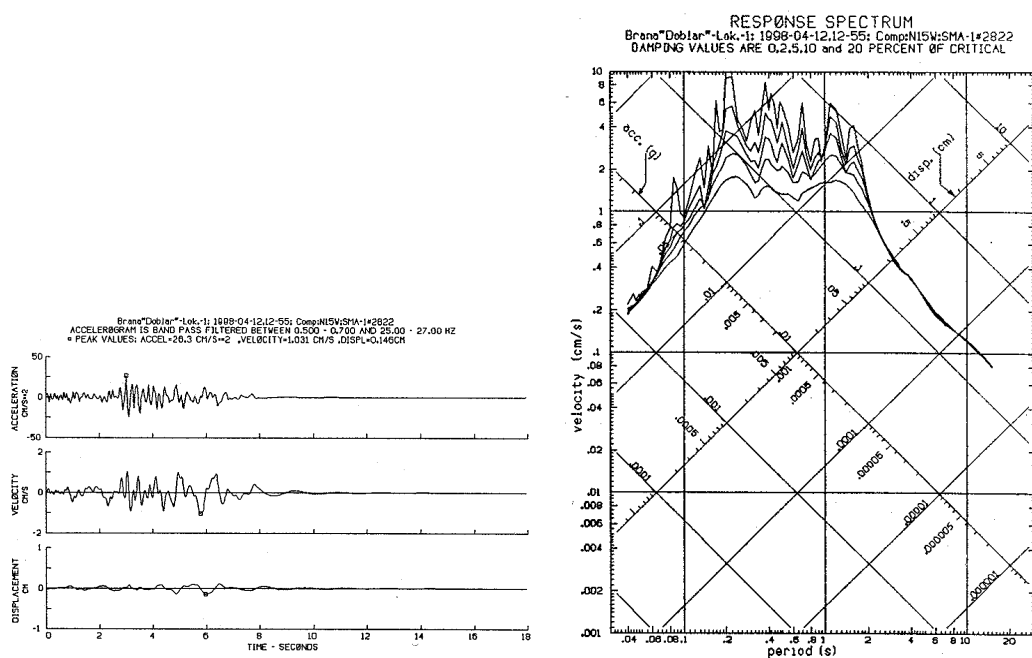


Fig. 2 Časovni poteki pospeška, hitrost in premika in spektri odziva za pregrade HE DOBLAR (Potres 12-IV-1998, $M=5.5$)

Tabela 4: Maksimalne vrednosti ubrzanja, brzina i pomaka za brana "Streževo"

Podatci za		Absolutna maksimalna korigirana								
instrumente SMA-1		Komponenta N 40 E			Komponenta N 50 W			Komponenta VER.		
Lokacija	Red. broj	Ubrz-anja cm/s/2	brzina cm/s	pomaci cm	Ubrz-anja cm/s/2	brzina cm/s	pomaci cm	Ubrz-anja cm/s/2	brzina cm/s	pomaci cm
Lok.-1 Krona brane	4777	-246.7	20.492	-1.992	166.3	-10.030	0.719	179.9	7.691	-0.449
Lok.-2 Sredina brane (I berma)	5200	-244.3	-12.773	1.129	-149.4	-5.896	0.401	107.9	-2.407	0.091
Lok.-3. (II berma levo)	4259	199.9	16.818	-1.478	103.2	-6.158	0.508	216.8	17.981	-1.576
Lok.-4. (II berma desno)	5116	313.1	18.312	-1.865	-161.9	6.586	0.595	128.6	-3.740	-0.176

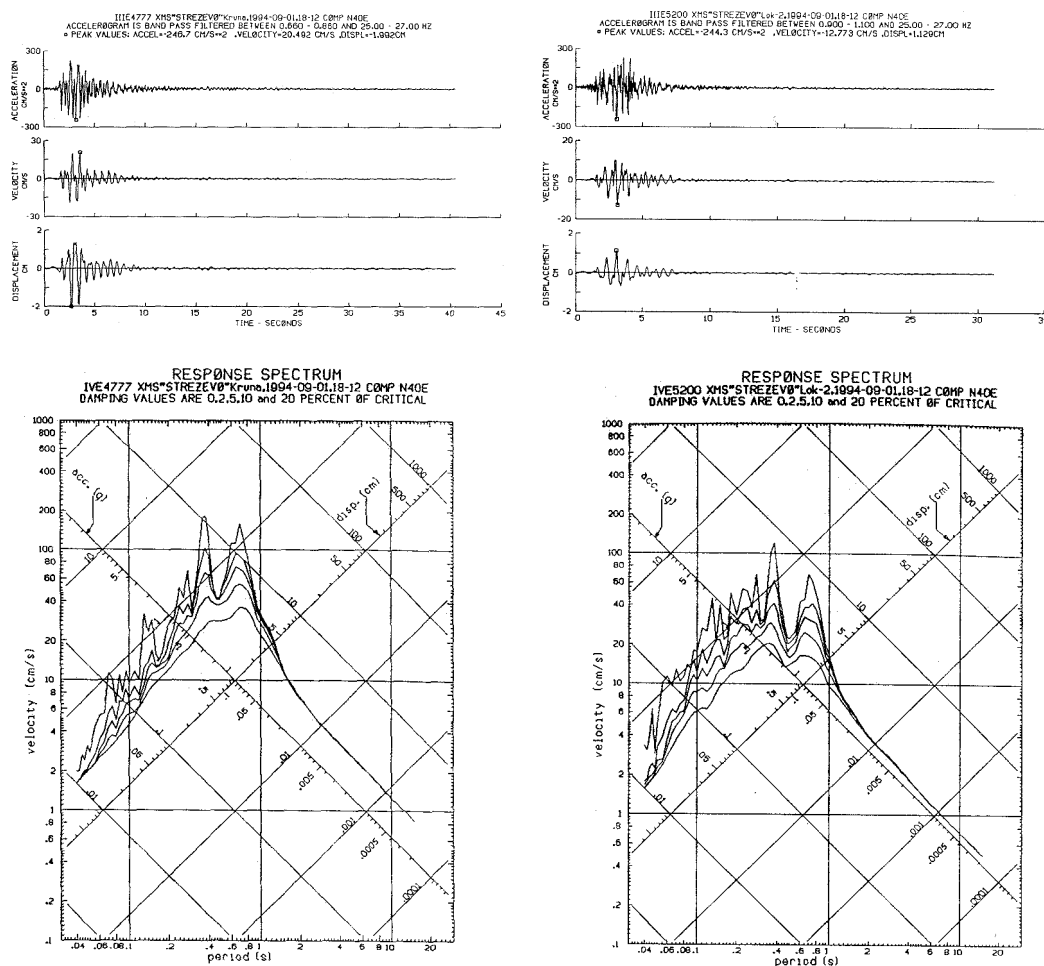


Fig. 3 Časovni poteki pospeška, hitrost in premika in spektri odziva.

Potres 01-IX-1994, M=5.4, Region Bitola

5. DOBIVENI REZULTATI

Od početka seizmičkog monitoringa brane u Sloveniji i šire na teritoriji bivše SFRJ dogodilo su se nekoliko silnih zemljotresa ($M \geq 5.5$) i više zemljotresa umerenog intenziteta ($M \geq 3.0$). Kod toga dobiveni su više registracija, od koji posebno pominjemo registracije dobivene na instrumentima koji su bili instalirani na pojedinim branama. Rezultati od ovih registracija na određeni način našli su direktnu primenu u svakodnevnoj inženerskoj praksi – kod projektovanja, donošenja odluke o mogućnosti daljoj upotrebi brane nakon dogođenog zemljotresa i.t.d. U nemogućnosti, zbog ograničenog prostora, da se prezentira jedan detaljniji pregled o registrovanim zemljotresima i dobivenih rezultata u produžetku biće dati samo neke osnovne rezultate od registracija dva zemljotresa koji su se dogodili u Sloveniji i Makedoniji.

Zemljotres od 12.04.1998 god. sa $M=5.5$ koji se dogodio u gornjem Posočju registrovan je na više instrumentima koji su bili instalirani na branama HE Dobljar, HE Solkan i HE Moste. Zemljotres sa $M=5.4$ koji se dogodio 1.09.1994 god. U okolini Bitolja (Makedonija) registrovan je na instrumentima koji su bili instalirani na brani "Streževo".

Rezultati registracije ovih zemljotresa prezentirani su preko tabela i grafičkih prezentacija (registracije i spektri reakcije) koji su dati u produžetku. Pri tome napominjemo da je ovo samo jedan mali deo, selektiranih, podataka od registracije gorepomenutih zemljotresa, koji imaju za cilj da ilustriraju rezultate koji se dobivaju seizmičkim monitoringom brana. Detaljnije podatke i dobivene rezultati drugih zemljotresa mogu se dobiti od publikacija ili od datoteka Instituta za zemljotresno inženjerstvo i inženerska seizmologija Skopje.

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu napred iznetih mišljenja u rezultata i određenog iskustva od seizmičke instrumentacije brana u bivšoj SFRJ, Makedoniji i Sloveniji može se konstatirati sledeće:

- Seizmički monitoring brana još uvek je aktuelni problem u zemljotresnom inženjerstvu. Rezultati obrađenih registracija od zemljotresa daju veliki doprinos za eksperimentalne i analitičke studije za dinamičko ponašanje brana. Sve ovo utiče direktno optimizaciji procesa projektovanja i izgradnje seizmičkih otpornih brana.
- Broj instrumenata na branama koji se nalaze u seizmičkim aktivnim područjima je relativno mali, u svetskim razmerima, i još dugo vremena neće biti dovoljan za potpuno definiranje ponašanja konstrukcije, t.j. reakcija brane kod dejstva zemljotresnih kretanja. Zbog toga je veoma važno da se dobije

maksimalni iznos informacija od ovog relativno malog broja instrumenata. Neophodno su veće napore i razumevanja Investitora da se broj instrumenta instaliranih na postojećim branama poveća.

- Povećanje broja je posebno važno za brane izgrađene po najnovijim tehnologijama i metodama projektovanja. Ovo je tehnički i ekonomski opravdano budući da su troškovi instrumentiranja zanemarljivi u odnosu na ukupnu investiciju, sa druge strane ovi instrumenti za registraciju jakih zemljotresa instalirani na brani omogućuju dobijanje osnovnih podataka o ponašannu brane za vreme zemljotresa, donošenje odluke o daljoj eksploataciji ili o potrebi za sanaciju brane neposredno posle dogođenog zemljotresa.
- Stanje seizmičkog monitoringa u Sloveniji je relativno dobro, iako se još uvek obavlja sa zastarelim instrumentima - akcelerografi SMA-1. Neophodno je da se naprave napore za nabavku i instaliranje instrumenata novijih generacija, sa tehnološkim rešenjima u skladu sa novim Pravilnikom.
- Posebno potenciramo aktivnosti i istraživanja koja su u okviru Pravilnika izvršena za izradu projekata za seizmički monitoring brana u okviru Savskih, Soških i Dravskih elektrana. Neophodni su dalji zajednički napore od strane Investitora i projekatana za celosnu realizaciju ovih projekata.
- Kod realizacije projekata za seizmički monitoring uočene su određene nedoslednosti i propusti u pravilniku. Neka od njih posebno komentiramo:
 - Broj potrebnih instrumenata lociranih na branama definirano je samo na osnovu visine brane. Ostali relevantni parametri navedeni u grupi dva u poglavlju 3.2 nisu uzeti u obzir iako ona mogu da imaju i primaran uticaj kod definiranja minimalnog broja instrumenata instalirana na telu brane.
 - Problem brana u nizu, kao što je slučaj sa branama na Dravi, Soči i Savi u Sloveniji uopšte nije tretiran. Rešenje ovog problema je između ostalog i vezan sa ekonomskim aspektima seizmičkog monitoringa.

LITERATURA

1. Mihailov, V. 1985. "Yugoslav Strong Motion Network", *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 3:110-122, Elsevier Science Publishers B.. Amsterdam.
2. Mihailov, V. 1990. "Yugoslav Strong Motion Network- Some Experience and Results", *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Sismologie*. Volume 1, pp. 41-51, Walferange, Luxemburg.
3. Mihailov, V., Trnkoczy A., 1990. "Instalation of Network of Instrument for Recording of induced Seismicity and Dynamics Behavior of Body Dams", *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Sismologie*. Volume 1, pp. 103-112, Walferange, Luxemburg.
4. Mihailov, V., Dojcinovski D & D. Mamucevski, 1995. "Sesismic monitoring on structures: Some experence and related problem", *10th European Conference on Earthquake Engineering*. Volume 1, pp. 223-227, Vienna, Austria.
5. Mihailov, V., D. Dojcinovski, 1999. " Strong Motion Instrumentations of Dams in Macedonia. Some Experience and Results ", *Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Strong Motion Instrumentation for Civli Engineering Structures*, pp. 275-292, Istanbul, Turkey.

OPAZOVANJE SEIZMIČNOSTI NA OBMOČJU VELIKIH PREGRAD

Matjaž GODEC, univ.dipl.inž.gradb.
mag. Renato VIDRIH, univ.dipl.inž.geol.

MOP, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Dunajska 47, Ljubljana

IZVLEČEK

Vsako leto v Zemljini notranjosti nastane več močnih potresov z obsežnimi posledicami na površini in tudi na večjih objektih. Med slednje štejemo tudi velike pregrade, od katerih so mnoge zgrajene na potresno aktivnih območjih. Za presojo projektnih obtežb in obnašanja pregradnih objektov smo se v Sloveniji odločili, da je za zagotavljanje varnosti pregrad potrebno nadaljevati opazovanje njihove seizmičnosti. V Uradnem listu RS je bil leta 1999 objavljen Pravilnik o opazovanju seizmičnosti na območju velikih pregrad, ki predpisuje načine opazovanja, tehnične normative instrumentov ter pogoje, ki jih mora izpolnjevati izvajalec opazovanja vpliva seizmičnosti na velike pregrade. Pravilnik med naštetim opredeljuje tudi pojem velike pregrade, nadzor nad izvajanjem opazovanja pa opravljajo inšpektorji, pristojni za varstvo okolja.

ABSTRACT

There are many strong earthquakes on our planet occurring every year. They also cause extensial consequences on large structures such as large dams which are often build in active seismic regions. To estimate seismic loads and behaviour of the dams it was agreed in Slovenia to continue seismic monitoring of the dams in order to assure their safety. The Regulation of seismic monitoring of large dams was issued in the National Gazette in 1999. It regulates methods of seismic monitoring, technical standards of the equipment, conditions which must be fulfilled by the performer of the seismic monitoring and also defines the conception of large dams. The supervision of performing the Regulation is to be conducted by environmental inspectors.

1. UVOD

Letno je na Zemlji zabeleženih preko 3 milijone potresov. Večina teh je tako šibkih, da jih ljudje ne čutimo. Toda vsaj 900 potresov letno je močnejših od magnitude 5. Takšni potresi lahko povzročajo tudi obsežne posledice. Od leta 1900 je v potresih izgubilo življenja prek 1,6 milijona ljudi, posledice potresov pa v posameznih državah pomenijo pravo gospodarsko katastrofo. Mnoge pregrade po svetu so zgrajene na potresno aktivnih območjih in po znanih podatkih je 74 pregrad utrpelo poškodbe zaradi potresov, od tega 27 pregrad hude ali zelo hude poškodbe (Preglednica 1). Zaradi potresa so tako utrpeli poškodbe tudi nam bližnje pregrade v Makedoniji, Romuniji in Veliki Britaniji. Na slikah 1a in 1b so za pregrado Ši-Gang prikazane posledice potresa na Tajvanu leta 1999.

2. OPAZOVANJE SEIZMIČNOSTI

Sestavni del ocene potresne nevarnosti območij in lokacij pregradnih objektov je opazovanje seizmičnosti pregradnih objektov. Poleg tega je to opazovanje bistveno za presojo potresne odpornosti objektov. Tako dobljeni podatki omogočajo smotrne projektne odločitve pri novogradnjah, pri obstoječih pregradah pa omogočajo čim stvarnejše odločitve pri popravilih ali ojačevanjih po morebitnih poškodbah zaradi potresov. Zapisi dejanskih potresov nam pomenijo edine prave rezultate. Tako dobljeni rezultati nam služijo za presojo projektних obtežb, obnašanja in celovito oceno varnosti pregrad.

Na osnovi Pravilnika o tehničnih normativih za seizmično opazovanje visokih pregrad (UL SFRJ 6/88) in Zakona o varstvu okolja (UL RS 32/93) smo se zato v Sloveniji odločili, da je za zagotavljanje varnosti pregrad potrebno nadaljevati z njihovim potresnim opazovanjem. Pri pripravi pravilnika so bile uporabljene pri zagotavljanju potresnega opazovanja tudi izkušnje drugih držav. Izkušnje s potresnim opazovanjem imajo med drugimi v Avstraliji, Avstriji, Kanadi, Italiji Japonski, Švici in ZDA (Fajfar, 1996). Slovenski Pravilnik o opazovanju seizmičnosti na območju velikih pregrad, objavljen v Uradnem listu RS št. 92, leta 1999, predpisuje:

- način opazovanja inducirane seizmičnosti, ki jo povzroča voda v zbiralniku, zajezena z veliko pregrado,
- način opazovanja dinamičnega obnašanja telesa in temelja velikih pregrad, zbiralnikov oziroma prostora za njimi, ter prostega površja v njihovi neposredni bližini ob delovanju potresov,
- tehnične normative seizmoloških instrumentov in normative za njihovo vzdrževanje in
- pogoje, ki jih mora izpolnjevati izvajalec opazovanja vpliva seizmičnosti na velike pregrade.

Velika pregrada (v nadaljnjem besedilu: pregrada) po tem pravilniku je:

- vsaka pregrada, ki je višja od 15 metrov (višina pregrade je opredeljena v skladu s privzeto terminologijo ICOLD in se meri od najnižje točke temeljenja do vrha pregrade (Zadnik, 1997) ali
- vsaka pregrada med 10 in 15 metri višine, ki izpolnjuje vsaj enega od naslednjih pogojev:
 - dolžina krone ni manjša od 500 metrov,
 - vsebina zbiralnika, ki ga ustvari pregrada, ni manjša od enega milijona kubičnih metrov,
 - maksimalna visoka voda, ki vpliva na pregrado, ni manjša od 2000 kubičnih metrov na sekundo,
- pregrada je imela težke pogoje temeljenja in
- pregrada je neobičajna konstrukcija.

Namen pravilnika je zagotoviti opazovanje inducirane seizmičnosti in opazovanje dinamičnega obnašanja pregrade. Pri tem pomeni:

- opazovanje **inducirane seizmičnosti** zaznavanje in zapisovanje sprememb potresne dejavnosti, ki nastajajo zaradi vode v zbiralniku, zajezene v prostoru za veliko pregrado,
- opazovanje **dinamičnega obnašanja pregrade** pa zaznavanje in zapisovanje odziva telesa in temelja pregrade ter prostega površja okoli nje na potres.

Zavezanec za zagotovitev opazovanja inducirane seizmičnosti in opazovanja dinamičnega obnašanja pregrad po pravilniku je lastnik pregrade. Zavezanec za postavitve instrumenta oziroma instrumentov za opazovanje inducirane seizmičnosti (seizmograf) in instrumentov za opazovanje dinamičnega obnašanja pregrade (akcelerograf) je lastnik pregrade. Zavezanec za zagotavljanje izvajanja obratovalnega monitoringa je upravljalec pregrade.

3. INDUCIRANA (TRIGERIRANA/PROŽENA) SEIZMIČNOST

Pojav potresov, ki so povezani s človeško dejavnostjo, imenujemo inducirana ali, bolj pravilno, triggerirana seizmičnost. Le-ta se manifestira v širokem prostorsko-časovnem in energetskem razponu: od mikropotresov v neposredni bližini vira sprememb do rušilnih potresov z žariščem na globini večji od deset kilometrov. Poznamo več vzrokov za inducirano (triggerirano) seizmičnost. Najbolj pogosti so:

- vodna zajetja,
- injektiranje tekočin ali plinov v zemljino notranjost,
- črpanje nafte in plina,
- rudarjenje in kamnolomi,
- črpanje geotermalne energije,
- podzemni jedrski poskusi.

Potresi, trigerirani z vodnimi zajetji, sodijo med močnejše. Do sedaj je nedvomno ugotovljen in dokumentiran pojav sprememb potresne aktivnosti na vsaj 120 vodnih zajetjih. Najmočnejši so bili:

- Koyna, Indija, 10.12.1967, M=6,5
- Kremasta, Grčija, 05.02.1966, M=6,3
- Kariba, Rodezija-Zambija, 23.09.1963, M=5,8

V vseh teh primerih je bila globina vode večja od 80 m. Enostavna statistika poda, da je vsako petdeseto vodno zajetje z globino vode večjo od 80 m sprožilo potres magnitude 5,7 ali večje. Sloveniji najbližja primera sta v Piave de Cadore (Italija), kjer je 13.01.1960 nastal potres in Vajont v Italiji s potresi magnitude okoli 3. Čeprav je raziskanost teh pojavov in znanje o njihovih vzrokih (zaenkrat) precej pomanjkljivo, je precej verjetno, da potresov ne povzročata človeška dejavnost. V območju, kjer taki potresi nastajajo, morajo obstajati tektonsko ugodni pogoji za nastanek potresov in spremembe seizmičnosti.

Zaenkrat sta ugotovljena dva možna mehanizma, ki lahko sprožita spremembo naravne seizmičnosti. V obeh primerih gre za motnje v naravnem napetostnem stanju. Teža vode v zajetju izvaja dodaten pritisk v vertikalni smeri. Potresi, sproženi s tem mehanizmom, so praviloma šibkejši (ker je masa vode tudi pri največjih zajetjih relativno majhna v primerjavi z maso kamnine pod zajetjem) in se pojavljajo kmalu (nekaj dni ali mesecov) po začetku polnjenja zajetja na majhnih globinah (do 3 km) in v neposredni bližini. Zelo pogosto je število potresov povezano z višino vode ali s hitrostjo polnjenja in praznjenja zajetja. V določenih pogojih je sprememba taka, da se naravna seizmičnost zmanjša. Tako je v pogojih, kjer je največja napetost vertikalna ali ima strm vpad, pričakovati pojav novih potresov (območja, v katerih prevladujejo normalni in zmični prelomi), ker teža vode poveča naravne napetosti. V območjih, v katerih je največja napetost horizontalna, je pogost pojav zmanjšanja naravne seizmičnosti, ker teža vode deluje nasprotno od naravnih pogojev.

Drugi mehanizem je povečanje pornega pritiska podzemnih voda, ki zmanjšuje upor kamnine ob prelomu proti zmičnim napetostim. Potresi, sproženi na ta način, nastajajo v večjih globinah (tudi več kot 10 km), lahko tudi na večjih oddaljenostih (nekaj deset kilometrov) od vodnega zajetja. Ker voda potrebuje precej časa, da prodre do globin (odvisno od permeabilnosti kamnin), se taki

potresi lahko prvič pojavijo tudi več let po polnjenju (do 20 let). Potresi večjih magnitud nastajajo ob večjih prelomih in njihov obstoj je predpogoj tudi za pojav potresov. Vodne zaježitve so praviloma v rečnih dolinah, ki so nastale z erozijo v območjih z aktivno tektoniko, ki jih večinoma sekajo številni prelomi. Dinamika pojava trigerirane seizmičnosti je lahko različna. Zaenkrat so spoznali nekaj »tipičnih« obnašanj:

- potresi takoj po polnjenju (najbolj pogosti), so povezani s spremembo nivoja vode in se včasih prenehajo ponavljati po nekaj letih,
- stalni potresi (redkejši pojav) kažejo na stalno spremembo seizmičnosti,
- seizmičnost v kraških območjih, ki je včasih tudi v povezavi z zelo majhnimi zajetji,
- aseizmična zajetja, pri katerih pride do zmanjšanja potresne aktivnosti in
- mešana, v katerih s časom pride do prehoda iz enega tipa v drugega.

Pojav inducirane seizmičnosti predstavlja nevarnost tako za sam jez, kakor tudi za okolico. V primeru močnejšega potresa lahko pride do poškodb pregrade in iztekanja vode, ali do plazov v vodno zajetje, ki hitro dvignejo vodno gladino in sprožijo vodni val. Tveganju so posebej izpostavljena območja z nizko naravno seizmičnostjo, kjer pregrade niso projektirane za močnejše potrese, kot je to praviloma v območjih z visoko seizmičnostjo in močnimi potresi v preteklosti (slika 1a in 1b).

Poznavanje problema inducirane seizmičnosti v vodnih zajetjih je pomanjkljivo in ni možno z gotovostjo trditi, da bi bilo kakšno vodno zajetje kjerkoli v svetu varno pred možnostjo induciranih potresov. Kontinuirano spremljanje potresne aktivnosti v bližini vodnega zajetja pripomore k boljšemu razumevanju pojava trigerirane seizmičnosti in mehanizmov, ki jo povzročajo, kot tudi tektonskih pogojev, v katerih je ta pojav bolj ali manj verjeten. Za opazovanje šibkih potresov je nujna uporaba občutljivih instrumentov v neposredni bližini, da lahko ugotovljamo nastanek potresov in ga skušamo korelirati s drugimi parametri (višina vode, hitrost sprememb nivoja vode...). Za vse do sedaj ugotovljene močne trigerirane potrese je ugotovljeno, da so jim predhodili številni manjši potresi. Opazovanje trigeriranih potresov je specifično področje seizmologije, v katerem se strokovnjaki strinjajo, da je napovedovanje potresov mogoče. Nekateri avtorji so celo mnenja, da je trigerirano seizmičnost mogoče kontrolirati z režimom delovanja vodne pregrade. Glede na pravilnik se mora opazovanje inducirane seizmičnosti izvesti na pregradah, katerih višina je večja od 40 metrov, in sicer:

- pregrada, katere višina je večja od 100 m, mora imeti na prostem površju v oddaljenosti do pet kilometrov od obale zbiralnika lokalno mrežo najmanj treh seizmografov,
- pregrada, katere višina je med 40 in 100 m mora imeti na prostem površju v oddaljenosti do pet kilometrov od obale zbiralnika najmanj en seizmograf.

Za zagotovitev optimalnega zaznavanja in zapisovanja ter določanja parametrov lokalnih potresov je potrebno izdelati poseben projekt, v katerem se določi lokacije seizmografov, vrsto opreme in način njene postavitve. Posebni projekt odobri ministrstvo, pristojno za varstvo okolja. Ta posebni projekt je sestavni del projekta za pridobitev dovoljenja za poseg v prostor za graditev pregrade. Lastnik pregrade mora zagotoviti začetek opazovanja inducirane seizmičnosti najmanj tri leta pred začetkom polnjenja zbiralnika, oziroma prostora za pregrado ter zagotavljati to opazovanje najmanj deset let po (prvi) zapolnitvi do kote polnitve, določene s projektom za pridobitev dovoljenja za poseg v prostor za graditev pregrade. Ministrstvo lahko po preteku predpisane dobe na predlog zavezanca odloči, da opazovanje inducirane seizmičnosti preneha, če iz analize z opazovanjem dobljenih podatkov izhaja, da se seizmičnost ozemlja, na katerem stoji pregrada, zaradi pregrade ni spremenila. V pravilniku je opredeljena tudi oprema seizmografov.

4. OPAZOVANJE DINAMIČNEGA OBNAŠANJA PREGRADE

V zvezi z opazovanjem dinamičnega obnašanja pregrade veljajo naslednje zahteve pravilnika:

- za pregrade z višino 60 ali več metrov mora biti postavljena mreža najmanj štirih akceleroagrafov, od katerih je eden v temelju, dva v telesu pregrade, eden pa na prostem površju,
- za pregrade višine od 30 do 60 metrov mora biti postavljena mreža najmanj treh akceleroagrafov, od katerih je eden v temelju, eden v telesu pregrade, eden pa na prostem površju,
- za druge pregrade morata biti postavljena najmanj dva akceleroagrafa, od katerih je eden v temelju pregrade, drugi pa na prostem površju.

Vsi akceleroografi, postavljeni na posamezni pregradi, morajo biti povezani v enoten sistem merjenja in zbiranja podatkov o opazovanju dinamičnega obnašanja pregrade. Za zagotovitev optimalnega zaznavanja in zapisovanja dinamičnega opazovanja obnašanja pregrade je potrebno prav tako izdelati posebni projekt opazovanja, v katerem se določi število in lokacije akceleroagrafov, vrsto opreme ter način njene postavitve. Posebni projekt odobri Ministrstvo in je sestavni del projekta za pridobitev dovoljenja za poseg v prostor za graditev pregrade. Pravilnik predpisuje tudi opremo akceleroagrafa in sestavine oz. lastnosti.

5. NAMESTITEV INSTRUMENTOV

Instrumenti na prostem površju zapisujejo potresno nihanje tal, na katero ne vpliva obstoj pregrade in vodnega zajetja. Prikazujejo nihanje, ki bi bilo

na območju pregrade, če le te ne bi bilo. Instrumenti morajo biti postavljeni čim bližje pregradi, vendar dovolj daleč, da lahko zanemarimo vpliv objekta na zapise. Ta oddaljenost naj bi bila enaka dvojni višini pregrade. **Instrumente v temelju pregrade** instaliramo na značilna temeljna tla. Lokacijsko se postavljajo v celice na betonskih temeljih, ki omogočajo povezavo z osnovno hribino, na kateri stoji pregrada. Z **instrumenti v/na telesu pregrade** se meri odziv konstrukcije. Osnovno mesto je na kroni pregrade, kjer pričakujemo največje pomike.

6. ZAGOTAVLJANJE OPAZOVANJA

Opazovanje inducirane seizmičnosti in dinamičnega obnašanja pregrade lahko za zavezanca iz pravilnika izvaja pravna ali fizična oseba, ki ima pooblastilo Ministrstva. Pooblastilo Ministrstva lahko pridobi pravna ali fizična oseba, ki ima registrirano geofizikalno ali drugo ustrezno dejavnost opazovanja, meritev in kartiranja (seizmološki opazovalec). Ministrstvo izda pooblastilo ob izpolnjevanju pogojev iz pravilnika v obsegu, za katerega zavezanec oziroma oseba zaprosi, glede na vrsto in obseg izvajanja opazovanja. Seizmološki opazovalec mora za pridobitev pooblastila izpolnjevati pogoja, da je gospodarska družba, zavod ali samostojni podjetnik ter da ima sedež v Republiki Sloveniji.

Seizmološki opazovalec dobi pooblastilo na podlagi vloge pri Ministrstvu. Vloga mora vsebovati podatke o prosilcu ter navedbo vrste in obsega izvajanja seizmološkega opazovanja, za katerega prosilec želi pooblastilo. Pooblastilo se lahko izda za največ šest let in se lahko obnovi na podlagi ponovne vloge prosilca, če izpolnjuje pogoje, določene v 26. členu pravilnika. Ne glede na določbe pravilnika lahko seizmološki opazovalec do 31.12.2004 dobi pooblastilo tudi, če izpolnjuje naslednje pogoje:

- da je gospodarska družba, zavod ali samostojni podjetnik,
- da ima sedež v Republiki Sloveniji,
- da ima ustrezno število tehnično in strokovno usposobljenih delavcev z ustrezno izobrazbo in izkušnjami za opravljanje seizmološkega opazovanja po tem pravilniku,
- da razpolaga z ustrezno instrumentacijo ter preizkusno in merilno opremo za izvajanje seizmološkega opazovanja ter za vzdrževanje opreme v skladu s tem pravilnikom.

Izpolnjevanje pogojev ugotavlja Ministrstvo v sodelovanju z upravnim organom, pristojnim za standardizacijo in meroslovje. O opazovanju inducirane seizmičnosti ter opazovanju dinamičnega obnašanja pregrade med potresi je seizmološki opazovalec dolžan vsako leto izdelati letno poročilo v predpisani obliki, najkasneje do 31. marca za preteklo leto. Prav tako je dolžan ob vsakem potresu, pri katerem vršni pospešek na prostem površju preseže vrednost 5

odstotkov zemeljskega pospeška, pripraviti posebno poročilo, ki mora vsebovati vse izvirne registracije potresnega nihanja in pripadajočo obdelavo. To poročilo je potrebno dostaviti Ministrstvu v roku 30 dni po dogodku. Poročila mora zavezanec hraniti deset let. Nadzor nad izvajanjem pravilnika opravljajo inšpektorji, pristojni za varstvo okolja.

Zavezanci za izvajanje seizmološkega opazovanja morajo za obstoječe pregrade zagotoviti opazovanje v skladu s tem pravilnikom najkasneje v enem letu po njegovi uveljavitvi. V enakem roku morajo zavezanci uskladiti z določbami pravilnika tudi obstoječe sisteme seizmološkega opazovanja, ki so bili postavljeni po Pravilniku o tehničnih normativih za seizmično opazovanje visokih vodnih pregrad (Uradni list SFRJ številka 6/88). Ne glede na določbe 8. člena pravilnika morajo zavezanci najkasneje v enem letu po uveljavitvi tega pravilnika zagotoviti tudi opazovanje inducirane seizmičnosti za pregrade iz 5. člena pravilnika. To opazovanje mora trajati najmanj tri leta, po preteku tega časa pa lahko preneha ob predpisanih pogojih in po predpisanem postopku.

7. ZAKLJUČEK

V Preglednici 2 je podan seznam pregrad v Sloveniji. Glede na razpoložljive podatke ocenjujemo, da je v okviru izvajanja pravilnika potrebno instalirati 76 akcelerografov in 6 seizmometrov. Glede na dosedanje izkušnje izvajanja pravilnika je bilo ugotovljeno, da bodo potrebne predvsem spremembe pri poglavju o ugotavljanju izpolnjevanja pogojev opazovalcev.

LITERATURA

Huber, B., 1995. Earthquake Induced Damage to Dams – Classification and Statistical Evaluation. University of Technology Vienna, Vienna.

Zadnik, B., 1997. Tehnični slovar za pregrade. Slovenski nacionalni komite za velike pregrade, Ljubljana.

Fajfar, P., Zadnik, B., 1996. Strokovne podlage za pravilnik o seizmološkem monitoringu velikih pregrad. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana.

Pravilnik o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade. Uradni list Republike Slovenije št.92/99, Ljubljana.

Preglednica 1: Hude in zelo hude poškodbe na pregradah (Huber, 1995).

Obdobje izgradnje	Višina	Pospešek (g)	Tip	Poškodbe
Do 1910	13,4	?	zemeljska	hude
	14,0	0,18	zemeljska	hude
	14,0	0,21	zemeljska	hude
	23,0	0,80	zemeljska	hude
	30,0	0,80	zemeljska	hude
1911-1930	16,2	0,25	zemeljska	hude
	20,0	0,09	zemeljska	hude
	20,0	0,12	zemeljska	hude
	20,0	0,12	zemeljska	hude
	24,0	0,25	zemeljska	hude
	25,0	0,55	zemeljska	zelo hude
	27,0	?	zemeljska	hude
	30,3	?	skalometna	hude
	37,5	0,70	zemeljska	hude
	42,2	0,50	zemeljska	zelo hude
	49,3	0,30	zemeljska	hude
1937-1950	62,0	0,50	zemeljska	hude
	72,0	0,41	skalometna	hude
	82,7	0,15	skalometna	hude
1951-1965	66,0	0,10	zemeljska	zelo hude
	103,0	0,60	betonska - težnostna	hude
	105,0	0,45	stebarska	hude
	106,0	?	stebarska	hude
1966-1986	Nič	Zabeleženega		
Neznano	17,0	?	zemeljska	hude
	22,0	0,40	zemeljska	hude
	46,0	0,17	zemeljska	hude
	98,0	?	skalometna	hude

Slika 1a.



Slika 1b.



Slika 1a in 1b: Porušena pregrada ob potresu 20. septembra 1999 na Tajvanu. Pregrada Ši-Gang je bila postavljena na tektonskem prelomu, kjer je prišlo ob potresu do površinskega pretрга. Na eni strani preloma je prišlo do dviga 3 – 4m, na drugi pa do pogreznitve 1 – 2m. Slika 1a kaže celotno pregrado, 1b pa detajl porušitve (foto: R. Vidrih).

PROJEKTNA POTRESNA OBTEŽBA OB UPOŠTEVANJU VARNOSTI PREGRADNEGA OBJEKTA IN OGROŽENOSTI DOLVODNEGA PODROČJA

doc.dr. Branko ZADNIK, univ.dipl.inž.grad.

IBE, d.d., Hajdrihova 4, Ljubljana

IZVLEČEK

Prikazana je metodologija določanja verjetnosti letne prekoračitve projektnega potresnega parametra z uporabo »projektne koraka«. Izhodišče je izbor merodajnega potresa za analizo konstrukcije, kot se ga določi s posebno analizo seizmičnosti področja za lokacijo pregrade. V sklopu pridobivanja podatkov o ogroženosti lokacije je eden od pomembnih virov podatkov tudi seizmično opazovanje. Izbor projektnega rizika je možno določiti z uporabo dodatne metode uteži pri vrednotenju ogroženosti dolvodnega področja ob eventualni porušitvi pregrade in/ali nekontroliranega iztoka vode iz zajetja.

SUMMARY

The »design step« methodology for establishing annual exceedance probability of design earthquake parameter is shown. Special seismological analysis for dam location represents the basis for design earthquake. In the data acquisition procedures regarding the hazard of location, seismic monitoring plays a very important role. The additive weighting scheme may be used for judgment of design risk for the downstream area in case of dam failure and/or uncontrolled release of the reservoir.

1. UVOD

1.1 Seizmičnost področja in projektni potres

Določanje seizmičnosti nekega področja temelji na izsledkih obsežnih siezmoloških raziskovalnih del na terenu in v laboratorijih, ki se praviloma opravijo še pred pričetkom gradnje. Rezultati teh raziskav nam predočijo seizmično aktivnost bližnje in daljne okolice pregrade, možnost nastopa potresa iz neznanih in v teku raziskav odkritih prelomnic, kakor tudi energetske karakteristike lokalnih in oddaljenih žariščnih con. V tej fazi se tudi določi možno premikanje temeljnih tal ob bodočem potresu. To je najdelikatnejši del celotnega postopka seizmične analize objekta in je tudi teoretično najmanj dorečen. Parametre premikanja tal se dobi s statistično analizo podatkov o znanih potresih iz preteklosti in s proučevanjem tektonskih in geoloških pogojev lokacije. Rezultat teh aktivnosti je podan v definiranju »projektnega potresa«, za katerega se najpogosteje uporablja definicija, ki dovoljuje večkratni nastop tega potresa v življenjski dobi objekta brez nastopa poškodb. Drugi cilj pa je določitev »maksimalnega možnega potresa«, to je potresa, pri katerem dopuščamo poškodbe objekta s pogojem, da le-te ne povzročijo katastrofalnih vplivov na okolico.

Za čim bolj celovit in pravičen pogled na seizmičnost lokacije je potrebno opraviti analizo, ki načelno temelji na širšem pregledu ogroženosti izbranega področja glede na nastop potresov iz različnih žariščnih con. Da bi se izognili enostranski obravnavi tega problema, se danes prakticira preizkus konstrukcije na več tipov potresov tako, da v največji možni meri eliminiramo vpliv napačnih predpostavk. Potrebno je tudi poudariti, da so pregradni objekti objekti posebne vrste, s povečanim nivojem rizika za dolvodno prebivalstvo in da jih lahko s tega gledišča primerjamo z jedrskimi objekti. Zaradi tega jih tudi slovenski (EC 8) standard v poglavju 1.1.1 (2) eksplicitno izključuje in jih prepušča posebnim študijam in raziskavam (Lit.7).

1.2 Potresi in pregrade

Pogled v zgodovino nam pove, da so potresi v preteklosti poškodovali že večje število pregrad. V večini primerov so bili ti objekti postavljeni v potresno zelo dejavnih območjih zahodnega dela ZDA, Čila, Kitajske, Japonske in Tajvana. Vendar sta poznana tudi primera pregrade Ealsburn iz Škotske (1839) in pregrade Koyna v Indiji (1967), ki opozarjata, da lahko tudi potresi na potresno manj dejavnih področjih resno ogrozijo varnost pregradnega objekta in njegove okolice. *Inducirana seizmičnost* zaradi polnitve vodnega zajetja naj bi bila vzrok za nastanek potresa Koyna. Sama pregrada je bila pri tem potresu sicer težko poškodovana, vendar se ni porušila. Rušilna moč tega potresa se je pokazala tudi na dolvodno ležečem mestu Koynanagar, kjer je 180 ljudi izgubilo življenje, okrog 2000 pa je bilo ranjenih.

ICOLD svetuje v svojih poročilih, da naj se s primernimi ukrepi zagotovi, da naj največji pričakovani potres ne bi povzročil poškodb pregrad, kjer bi to pomenilo veliko nevarnost za dolvodno živeče prebivalstvo.

1.3 Inducirana seizmičnost

Potres, ki naj bi ga sprožilo vodno zajetje za novo zgrajeno pregrado (AIS), je v strokovnih krogih še vedno protisloven pojav, katerega vzrokov ni lahko dokazati in je zato deležen posebne pozornosti. Tako na primer poročila Rothe (Lit. 2) o vrsti potresov, ki so nastali po zajezitvi reke Acheloos (umetno akumulacijsko jezero Kremasta) v Grčiji. Potresna dejavnost je tam dosegla vrhunec 5. februarja 1966 v potresu z magnitudo 6.3, ki je imel za posledico eno smrtno žrtev, 60 ranjenih, 480 porušenih in 1200 močno poškodovanih objektov. O tem dogodku piše Meade leta 1991, da je bil le del normalne potresne dejavnosti tega področja in trdi, da ni bilo vzročne povezave s polnjenjem zajetja. Strinja pa se s trditvami, da je bila inducirana seizmičnost vzrok za potrese pri pregradah Kariba, Hsingfengkiang, Manic 3, Hoover in Nurek.

Preglednica 1: Možni primeri inducirane seizmičnosti zaradi vodnega zajetja

Pregrada	Država	Datum	Magnituda potresa	Višina pregrade (m)	Prostornina zajetja (Mm ³)
Monteynard	Francija	25.04.1963	4.9	130	275
Grandval	Francija	05.08.1963		78	292
Hoover	ZDA	04.05.1939	5.0	142	35.000
Kariba	Zambia/Zimbabve	23.09.1963	6.1	125	175.000
Kremasta	Grčija	05.02.1963	6.3	147	4.750
Koyna	Indija	10.12.1967	6.5	103	2.780
Nurek	Tadžikistan	1972	4.5	300	10.500
Hsingfengkiang	Kitajska	19.03.1962	6.1	105	13.896
Aswan	Egipt	14.11.1981	5.5	111	168.900
Manic 3	Kanada	23.10.1975	4.1	108	10.423
Kurobe	Japonska	???.08.1961	4.9	186	199

V Preglednici 1 so prikazane različne lokacije pregrad, kjer predpostavljajo, da je prišlo do AIS zaradi vodnega zajetja (Lit. 3). Po ICOLD (Lit.4) lahko pride do AIS pri pregradah višjih od 100 m ali pri zajetjih, ki presegajo 500 milijonov m³. Pri novo zgrajenih pregradah pa je možen pojav AIS v tektonsko občutljivih območjih že tudi pri manjših pregradah ali zajetjih. Za razmislek sta pomembni dve dejstvi;

- Primer Koyna je pokazal, da obstoji resna nevarnost za izgubo življenj in gospodarsko škodo tudi v primeru, če se zaradi AIS pregrada ne poruši.
- Potresi pogosto sprožajo plazenje pobočij. Rothe dopušča, da je manjši potres sprožil zemeljski plaz, ki je povzročil katastrofo v Vajontu (Italija) 9. oktobra 1963, vendar to ni dokazano.

2. SEIZMOLOŠKI MONITORING

Tehnični vidik seizmološkega monitoringa v svetu običajno urejajo tehnična navodila in pravilniki, ki se zelo razlikujejo v odvisnosti od države, njene ekonomske moči, zgodovinskega razvoja tega področja, izkušenj in tudi kulture dežele. V zadnjih nekaj letih so predvsem v zahodnih državah usmerjena prizadevanja v poenotenje obravnavanja te problematike. Zaenkrat se posamezne države še vedno držijo svojih navodil, pravilnikov in predpisov. Predvsem so vodilne evropske države v International Commission on Large Dams (ICOLD) že naredile določene korake, ki bodo pripeljali vsaj do istih načel za oblikovanje bolj enotnih predpisov. Pri tem ima ICOLD pomembno vlogo kot nevtralna povezovalna institucija. S slovenske strani je v tovrstne aktivnosti vključen SLOCOLD (Slovenski nacionalni komite za velike pregrade). Ker so tovrstne mednarodne aktivnosti dolgotrajne in operativno ni pričakovati konkretnih rezultatov v naslednjih nekaj letih, smo tudi v slovenskem prostoru v preteklih letih uredili izhodišča za to področje z izdajo lastnega pravilnika o seizmološkem monitoringu velikih pregrad (Lit.1). S tem so bile dane osnove za spremljanje enega najpomembnejših vplivov na kapitalsko zahtevne pregradne objekte, posredno pa se zagotavlja tudi večja varnost samih objektov in dolvodnih območij.

2.1 Splošno o seizmološkem monitoringu

Seizmološko opazovanje pregradnih objektov je sestavni del ocenjevanja potresne nevarnosti območij, lokacij pregradnih objektov in presoje potresne varnosti samih objektov. Izbira sistema opazovanja je odvisna od pomembnosti, velikosti, vrste in lokacije pregrade, strošek opreme s katero se meri premikanje temeljnih tal in odziv konstrukcij na to, pa je zanemarljiv v primerjavi s koristmi, ki jih lahko dajo podatki teh meritev. Ti omogočajo smotrne projektne odločitve pri novogradnjah, pri obstoječih pregradah pa pri popravilih in ojačevanjih ob morebitnih poškodbah zaradi potresa. Zapisi dejanskih potresnih dogodkov služijo za presojo projektnih obtežb, na katere je bil konkreten objekt dimenzioniran, oceno njegove varnosti in ogroženosti dolvodnega območja. Danes je na trgu široka ponudba opreme za opazovanje, zapisovanje, prenos in obdelavo potresnih zapisov.

Splošno izhodišče v svetu je, da se seizmološki monitoring izvede predvsem na velikih pregradah ter na pregradah, kjer je prisotna velika dolvodna ogroženost. Teži se za tem, da se vse možne lokacije pregrad v potresno dejavnih območjih opremijo s seizmološkimi opazovalnimi sistemi nekaj let pred pričetkom izgradnje pregradnih objektov. V tem času se opazuje potresna dejavnost na lokaciji tako,

da je mogoče kasneje ugotoviti morebitno, s pregrado oziroma z vodnim zajetjem, povzročeno povečanje seizmične dejavnosti oziroma spremljati eventualno z vodnim zajetjem oziroma akumulacijo inducirano seizmičnost (AIS). Izbor primerne merilne opreme, določitev števila merilnih mest, njihova prostorska razporeditev, način postavitve, kalibracija instrumentov ter obdelava in vrednotenje potresnih zapisov zahtevajo visoko strokovno kader ter organiziran projektno voden pristop, v katerem sodelujejo strokovnjaki s področja seizmologije ter potresnega in pregradnega inženirstva.

Razpoložljiva oprema omogoča zapisovanje potresnih dogodkov v treh, med seboj pravokotnih smereh. Običajna praksa v svetu je, da se zapisovanje potresnih nihanj poveže tudi z merjenjem ostalih količin, ki popisujejo odziv pregrade na zunanjo obtežbo. To so nepovratni pomiki konstrukcije, spremembe pornih pritiskov v telesu pregrade in v temeljnih tleh, velikost hidrodinamičnih pritiskov na vodnem licu pregrade, itd. Takšen povezan monitoring presega obseg zajemanja in obdelave le seizmoloških podatkov zaradi česar se seizmološki monitoring vedno povezuje z ostalimi sistemi opazovanja pregradnega objekta v enoten sistem opazovanja, s po možnosti centralnim zbiranjem in analizo vseh merskih podatkov.

3. RAZVRŠČANJE IN PREDLOG KATEGORIZACIJE PREGRADNIH OBJEKTOV

Kategorizacija pregrad nam lahko omogoči enotni sistem opisovanja že zgrajenih in bodočih, še načrtovanih, pregradnih objektov glede na njihovo velikost, prostornino zajetja in način delovanja zajezitve. Enotna kategorizacija naj bi se uporabljala v vseh navodilih za določevanje varnosti pri zasnovi, projektiranju, izvedbi in vzdrževanju posameznega objekta. To poglavje je le pregled različnih pogledov na ta dejavnik in ponazoritev pomembnosti razvrščanja novonastajajočih in tudi obstoječih objektov v določene razrede. Razvrstitev pregrad v razrede je zahtevna in odgovorna naloga, saj pomeni uvrstitev v določeni razred tudi določene stroške pri zasnovi in izgradnji novih objektov ter vzpostavitvi sistema opazovanja, po drugi strani pa posredno tudi večje ali manjše tveganje za objekt v kolikor se vzpostavi pomanjkljiv sistem opazovanja.

Obstoje številni sistemi razvrščanja pregradnih objektov. Poznane so definicije objektov velikih pregrad kot jih uvaja ICOLD in so privzete tudi v slovenskem pravilniku o seizmičnem opazovanju (Lit.1), v ZDA se pregrade v povezavi z uporabnostjo akumulacije dele po hidravlični višini, obstoje sistemi delitve glede na uporabnost akumulacije, vendar pa je odločujoč način, za pričujoči razmislek, razvrščanje glede na potencial dolvodne ogroženosti.

Dejstvo je, da se ogroženost dolvodnih področij lahko s časom spremeni. Urbani in industrijski razvoj ter povečanje števila prebivalstva v potencialno ogroženem področju dolvodno od pregrade so osnovni elementi, ki vplivajo na

razvrstitev pregrade v razred višjega hazarda. S tem se v sistemu kategorizacije prerazporedi, posledično pa se postavijo ostrejšje zahteve za njeno varnost.

3.1 Razvrstitev pregrad glede na potencial dolvodne ogroženosti.

Običajna praksa v gradbeništvu je, da stopnja konservativnosti projekta odgovarja predvideni uporabi in/ali posledicam morebitne porušitve posameznega elementa kot dela večjega sistema konstrukcije. V primeru, da morebitna napaka ali porušitev tega elementa, ne povzroča nevarnosti za širšo javnost in okolico, se določa projektne parametre na običajni ekonomski osnovi in/ali presoji vpliva te porušitve na obratovanje sistema, katerega del je obravnavani element.

Drugačen pristop je, kadar eventualna napaka lahko ogrozi človeška življenja. V tem primeru je zasnova in projektiranje tega elementa tipično konservativno tako, da se s tem doseže potrebno zaščito pred posledicami porušitve. V posebnih primerih, ko je število ogroženih življenj lahko zelo veliko, in tipičen primer so ravno pregrade, je takšen konservativen pristop še posebej poudarjen. Pri tem igra svojo vlogo seveda tudi fizična velikost elementa oziroma objekta in stroški eventualnih popravil ali celo zamenjave. Tako je logično, da za večje pregrade predvidimo večji nivo zaščite kot za manjše, investicijsko ne tako zahtevne objekte.

Konservativnost takšnega ocenjevanja je uvedena v model s projektnim korakom, kot je prikazano na Sliki 1. Uporabimo osem možnih korakov, s katerimi so povezane kategorije razvrstitve in odgovarjajoči projektni dogodki oziroma obtežbeni pogoji (Lit. 5, Lit 6).

Izbira projektnega koraka in odgovarjajoče letne verjetnosti prekoračitve potresnega parametra (npr. vršnega pospeška tal) je uvedena z uporabo dodatne sheme uteži. S tem se vključi vse razpoložljive pomembne informacije v numerično obliko (posledično utež – projektni korak), ki je vodilo pri odločanju. Metodologija predpisuje točkovanje različnih vplivnih parametrov. Tako se na primer točkuje parametre višine pregrade, koristnosti objekta, indeks katastrofe itd., kot kaže Preglednica 2. Po presoji in vrednotenju posameznih parametrov se točke seštejejo in seštevke točk oziroma posledična utež nato uvrsti obravnavani objekt v pripadajoči projektni korak (Slika 1), ki mu pripada vrednost verjetnosti letne prekoračitve pojava projektnega potresnega parametra.

Kumulativne točke posledic	200	300	400	500	600	700	800		
projektni korak	1	2	3	4	5	6	7	8	teoretično maksimalni dogodek
verjetnost letne prekoračitve	10^{-3}		10^{-4}		10^{-5}		10^{-6}		

Slika 1: Določanje verjetnosti letne prekoračitve projektnega potresnega parametra preko določitve projektnega koraka.

Projektni korak 1 se uporabi pri zasnovi objekta v primeru, ko se ocenjuje, da bodo dolvodne posledice porušitve pregrade minimalne in da ne obstoji nevarnost za človeška življenja. Projektni potresni parameter ima pri tem prvem koraku verjetnost letne prekoračitve v rangi 10^{-3} .

Projektni korak 8 se uporabi, ko lahko pričakujemo katastrofalne posledice porušitve pregrade na dolvodnem področju in kjer so ogrožene stotine ljudi. V takšnem primeru je potrebno uporabiti projektne parametre za obtežbe, ki imajo ekstremno visoke vrednosti tako, da se zagotovi čimvečjo zaščito. Projektni korak 8 odgovarja teoretično največji vrednosti projektne obtežbe. Poenostavljen pristop, v fazi idejnega načrtovanja, je možen z uporabo ocene projektne koraka po Preglednici 3. Ta prikazuje splošne odvisnosti med projektnim korakom in običajno uporabljeno dolvodno klasifikacijo nevarnosti.

V primeru, da tu teoretični maksimum za projektno obtežbo ne obstoji, se za maksimalni projektni potresni parameter zahteva rang 10^{-6} torej, da se osvoji predpostavka, da je verjetnost prekoračitve nastopa dogodka z določeno magnitudo zelo majhna, to je 10^{-6} .

Preglednica 2: Numerično ovrednotenje posledic poškodb na pregradah.

KATEGORIJA POSLEDICE	POSLEDICE (točk)	PARAMETER	PREMISLEK
KAPITALSKA VREDNOST PROJEKTA	0 - 150 0 - 75	VIŠINA PREGRADE KORISTNOST PROJEKTA	Kapitalska vrednost pregrade Proizvaja dohodek Vrednost akumulacije
POTENCIALNA NEVARNOST ZA IZGUBO ŽIVLJENJ	0 - 75 0 - 300 0 - 100	INDEX KATASTROFE INDEKS PREBIVALSTVA SPOSOBNOST OPOZARJANJA	Razmerje med pretokom ob porušitvi in 100 letno poplavo izpostavljeno prebivalstvo potencial za bodoči razvoj sposobnost alarma v primeru porušitve
POTENCIALNA NEVARNOST ZA IZGUBO PREMOŽENJA	0 - 250	ŠTEVILO POŠKODOVANIH OBJEKTOV ALI PREKINJENIH AKTIVNOSTI	lastnina prebivalstva in komercialna lastnina ceste, mostovi, transportna sredstva komunalna infrastruktura (lifelines) poškodbe okolja zaradi vsebine akumulacije (usedline, strupene snovi,...)

Preglednica 3: Kategorija in povezava projektnega koraka z dolvodno ogroženostjo

KATEGORIJA OBJEKTA	POTENCIAL DOLVODNE OGROŽENOSTI	ŠTEVILO OGROŽENIH LJUDI	EKONOMSKE IZGUBE; KRATEK OPIS	POŠKODBE OKOLJA	TIPIČNI PROJEKTNI KORAK
1	NIZEK	0	minimalne ni naseljenih stavb omejeno kmetijstvo	nepoškodovani materiali in bazen	1 - 2
2	POMEMBEN	1 do 6	sprejemljive 1 do 2 naseljeni stavbi zaznavne kmetijske ali delovne površine avtoceste drugega reda in/ali železnica	omejeno onesnaženje vode zaradi vsebine rezervarja in le kratkotrajne posledice	3 - 4
3	VISOK	7 - 30	velike 3 do 10 naseljenih stavb redko naseljeno neurbanizirano področje z nekaj industrije in delovnih področij. Avtoceste prvega reda in železnice	resno ogrožena kvaliteta vode od usedlin bazena in dolgotrajne posledice na vodno in človeška življenja	3 - 6
4	VISOK	31 - 300	ekstremne, 11 do 100 naseljenih hiš, srednja gostota naseljenosti s pripadajočo industrijo, lastninske in transportne vrednosti		4 - 8
5	ZELO VISOK	več kot 300	ekstremne, več kot 100 naseljenih hiš, visoko razvito, urbanizirano, gostoposeljeno področje s pripadajočo industrijo, komunalno opremo, transportom, itd....		8

4. ZAKLJUČEK

Minimalni projektni nivo obtežb mora biti zelo zahteven v primerih, ko obravnavamo pregrado, ki ogroža dolvodno prebivalstvo. Posebno se to odraža pri izboru projektnih poplavnih voda in projektnih potresnih obtežbah. Velikokrat je zahtevani projektni nivo tako zahteven, da bi ga lahko popisali kot ekonomsko neupravičen v kolikor bi poskušali zgraditi pregrado z "verjetnostjo poškodb nič (0)". Pri potresnih obtežbah je rešitev tega problema z vpeljavo »**maksimalnega možnega potresa**« in projektnih rešitev, ki dovoljujejo v izrednih primerih poškodbe na objektu, istočasno pa zagotavljajo tolikšno integriteto konstrukcije, da je zagotovljeno njeno osnovno funkcioniranje, to je kontrolirano zadrževanje akumulirane vode. Osnovna predpostavka je, da lahko tak projektni dogodek nastopi tako poredko, da je verjetnost njegove pojave v življenski dobi konstrukcije praktično nična.

Odločitev o vrednosti letne prekoračitve projektnega parametra je za končni rezultat določanja obtežbe bistvenega pomena. Odvisne so predvsem od pripravljenosti družbe o tem, koliko je pripravljena vlagati v zaščito potencialno ogroženih območij pod pregradami. Številčne vrednosti, ki so prikazane v tem prispevku so povzete po praksi kot jo imajo v zvezni državi Washington v ZDA in odražajo njihovo odločitev po zelo visoki stopnji zaščite dolvodnih področij. Smatram, da bi pri nas morali to problematiko v bližnji bodočnosti morali tudi primerno urediti.

LITERATURA

[1] Pravilnik o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade, U.I. RS, št. 92/1999, november 1999.

[2] Rothe J.P.: *Eartslovenske standarde na področju konstrukcij vzeli evropske standarde Eurocode*. Področje projektiranja potresno varnih konstrukcij obravnava Eurocode 8. Standard ima v Sloveniji že status predstandarda, treba pa bo pospešiti dejavnosti, ki so potrebne za uvedbo predpisov Eurocode v slovenskem prostoru.

hquakes and Reservoir Loadings, Proceedings, 4. World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile, 1969.

[3] Hinks J.L., Gosschalk E.M.: *Dams and Earthquakes – a Review*, Dam Engineering, Vol.IV, Issue 1, Surrey UK, 1993.

[4] *Selecting Seismic Parameters for Large Dams*, ICOLD, Bulletin 72, Paris, 1989.

[5] Zadnik B.: *Kritični projektni parametri pri zasnovi pregrad*, University of Washington, Department of CE, Report No. 01/10-95, Seattle, WA, ZDA, November 1995.

[6] *Technical Note 2, Dam Safety Guidelines; Selection of Design/Performance Goals for Critical Project Elements*, Washington State Department of Ecology, Water Resources Program, Dam Safety Section, No.92-55F, Olympia WA, 1992.

[7] *SIST ENV 1998-1-1:2000, Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij; (Eurocode 8: Design provisions for earthquake resistance of structures, Part 1.1 General rules – Seismic actions and general requirements for structures)*, DD ENV 1998-1-1:1996.

BRANE U MAKEDONIJI

Prof. Dr. Ljubomir TANČEV, dipl. grad. inž.

Univ. "Sv. Kiril i Metodij", Građevinski fakultet, p. f. 560, 1001 Skopje, Makedonija

IZVLEČEK

Republika Makedonija ima bogate izkušnje na področju gradnje velikih pregrad. Od prve izgrajene pregrade, v letu 1938, pa do danes, je bilo izgrajenih 23. velikih pregrad in 110. jezov. Skupni volumen akumulacij znaša $2,4 \times 10^9 \text{ m}^3$.

Pretežni del izvedenih objektov so zemeljske pregrade, ena je večločna ter šest ločnih pregrad. Pri zemeljskih pregradah so tri pregrade višje od 100m in predstavljajo pomemben tehnološki dosežek tudi izven Makedonije. Kot najnovejši tehnološki dosežek je uporaba geosintetike pri tesnenju skalometne pregrade.

Velika pozornost je namenjena razvoju in uporabi sodobnih metod za statično in dinamično analizo pregrad, ki vključujejo tudi razvoj računsko zahtevnih tridimenzionalnih modelov.

ABSTRACT

Republic of Macedonia has a relatively rich practice in dam construction. From the first finished dam in 1938 up to now 23 large dams and about 110 small ones have been built. The total volume of the reservoirs is about $2,4 \times 10^9 \text{ m}^3$.

The most of dams are of embankment type, but, also one multiple arch dam and six arch concrete dams have been constructed. There are three earth-rock dams higher than 100 m and they are appreciable achievements not only for Macedonian conditions. Nowadays a geosynthetic lining has been applied as a waterproof element.

A great care has been given to the development and application of the advanced methods of static and dynamic analysis of these complex structures, including development of the rather complicated three-dimensional models.

ABSTRAKT

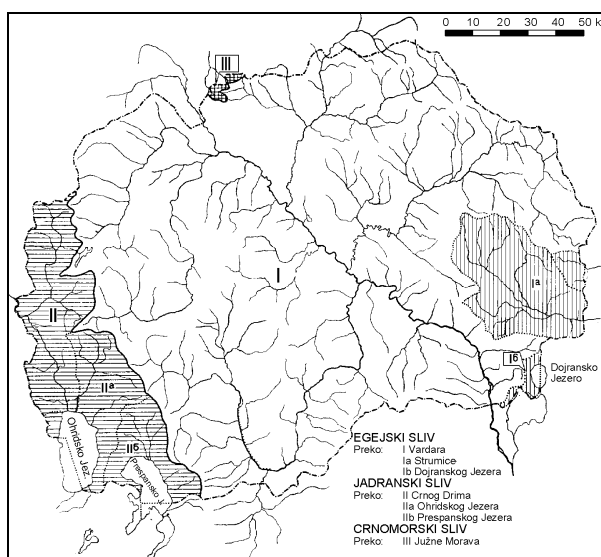
Republika Makedonija ima relativno bogatu praksu gradnje brana. Od prve završene brane 1938 godine, do danas izgrađene su 23 velike i oko 110 male brane. Ukupna zapremina akumulacija iznosi oko $2,4 \times 10^9 \text{ m}^3$.

Najveći broj izgrađenih brana su nasute, ali izgrađena je i jedna višelučna kontraforma brana, kao i šest lučnih betonskih brana. Među nasutim branama tri su više od 100 m i predstavljaju značajna ostvarenja ne samo za makedonske prilike. U najnovije vreme, kao vodonepropustljivi element kamenonasute brane primenjen je i ekran od geosintetike.

Velika pažnja posvećena je razvoju i primeni savremenih metoda za statičku i dinamičku analizu ovih kompleksnih konstrukcija, uključujući i razvoj veoma komplikovanih trodimenzionalnih modela.

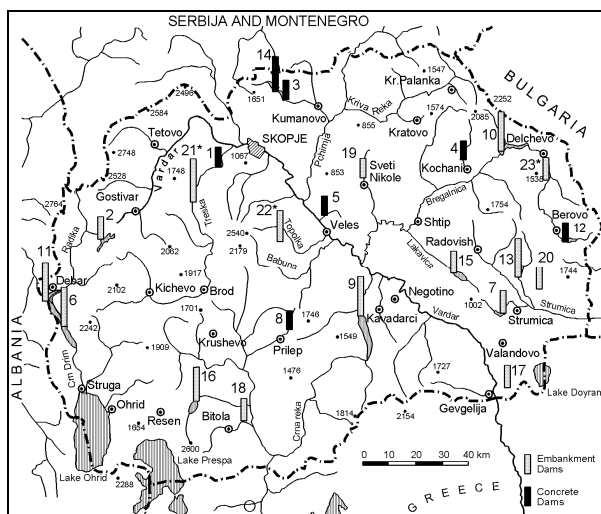
1.UVOD

Reke u Republici Makedoniji pripadaju u tri slivna bazena: Egejski, u kome se slivaju vode preko reka Vardara i Strumice, Jadranski, preko reke Crni Drim i Crnomorski, preko reke Binačka Morava, koji odnosi neznatan deo ukupnih voda. Najveći je sliv Vardara koji se proteže na 20525 km², odnosno zauzima 80% od teritorije Republike Makedonije. (Sl. 1). U prosečno vlažnu godinu reke u Makedoniji sadrže oko 0,4 km³ vode, odnosno ukupni godišnji proticaj svih vodoteka iznosi oko 7,5 km³. Iz ovoga se može zaključiti da svaki stanovnik Makedonije raspolaže polovinom rečne vode u odnosu na svetski prosek.



Slika 1. Slivni bazeni u Republici Makedoniji.

Jedva 30% potencijala reka u Makedoniji je iskorišćen, a oseća se nedostatak vode za različite namene. Neravnomerna raspodela vode u vremenu i prostoru u Makedoniji je jako izražena. Tako, prosečne godišnje padavine iznose 733 mm, ali one variraju već od 380 mm u nekim delovima Istočne Makedonije, pa do 2000 mm u visokim planinskim regionima Zapadne Makedonije. Zato je neophodno potrebno graditi nove akumulacije za izravnjanje neravnomernih proticaja u vodotocima. Gradnja brana u Republici Makedoniji datira od 1938 godine, kada je izgrađena lučna brana Matka na reci Treska, u okolini Skopja. Dosada izgrađene su 23 velike brane koje formiraju akumulacije (Sl 2); (Tab. 1), kao i 4 brane koje formiraju jalovišta. Najviše među njima su nasute brane Tikveš (113.5m) i Špilje (112) koje su bile najviše nasute brane i u nekadašnjoj Jugoslaviji. U završnoj fazi gradnje su tri hidročvora sa velikim branama, uključujući hidrosistem Lisiče na reci Topolka sa istoimenom branom, kao i Kozjak, na Tresci, nasute brane, od kojih ova zadnja ima konstruktivnu visinu od 126 m. Izgrađeno je i više malih brana (≈110) uglavnom u zadnjih dvadesetak godina. U odnosu na geološke, topografske i hidrološke uslove u Makedoniji ima različitih tipova pregradnih mesta, te zastupljene su kako nasute, tako i betonske brane.



Slika 2. Brane u Makedoniji.

(1) Matka, $H_s = 38$ m; 2) Mavrovo, 62 m; 3) Lipkovo, 40 m; 4) Gratče, 43 m; 5) Mladost, 34 m; 6) Globočica, 90 m; 7) Vodoča, 48.75 m; 8) Prilep, 38.5 m; 9) Tikveš, 113.5 m; 10) Kalimanci, 92 m; 11) Špilje, 112 m; 12) Ratevska Reka, 53 m; 13) Turija, 93 m; 14) Glaznja, 80 m; 15) Mantovo, 49 m; 16) Streževo, 84.6 m; 17) Paljurci, 21.5 m; 18) Suvodol, 38.3 m; 19) Mavrovica, 24 m; 20) Ilovica, 29.8 m; Kozjak*, 126 m; 22) Lisiče*, 76.9 m; 23) Lošana*, 45.2 m; (*) u gradnji

Tabela 1. Velike brane u Makedoniji

Ime	Reka	Godina izgradnje	Tip	H šmć	H_s šmć	L šmć	V_D šm ³ × 10 ³ Ć	V_R šm ³ × 10 ⁶ Ć	Namena
Matka	Treska	1938	AR	29.5	38	64	3	3.55	HEP
Mavrovo	Mavrovska	1952	EAR	54	62	210	777	357	HEP, IR
Lipkovo	Lipkovska	1958	AR	29.5	40	203	13	2.25	IR, WS
Gratče	Kočanska	1959	AR	29	43	150	12	2.4	WS, IR
Mladost	Otovica	1962	AR	27	34	73	2.56	8	IR
Globočica	Crn Drim	1965	E-R	82.5	90	196	998	58	HEP
Vodoča	Vodoča	1965	E-R	44	48.75	185	316.8	26.7	IR, WS
Prilep	Oreovečka	1966	MA	35	38.5	408.5	25.5	6	IR
Tikveš	Crna Reka	1968	E-R	104	113.5	338	2722	475	IR, HEP
Kalimanci	Bregalnica	1969	E-R	85	92	240	1389	127	IR, HEP
Špilje	Crn Drim	1969	E-R	101	112	330	2699	520	HEP
Ratevska	Ratevska	1972	AR	49	53	194	21.7	10.5	WS, IR
Turija	Turija	1972	E-R	77.5	93	417.3	1978	48	IR, WS, HP
Glaznja	Lipkovska	1972	AR	71.5	80	344	168	22	IR, HEP
Mantovo	Lakavica	1975	E-R	37.5	49	138	261	47.5	IR, WS
Streževo	Šemnica	1982	E-R	76	84.6	632	4300	112	IR, WS, HEP
Paljurci	Luda Mara	1982	EAR	21.1	21.5	310	185	2.9	IR
Suvodol	Suvodolska	1982	EAR	33.9	38.3	941	1740	7.88	R, WS
Mavrovica	Mavrovica	1982	EAR	24	29	360	400	2.8	WS, IR
Ilovica	Ilovička	1999	E-R	27.8	29.8	274	131	0.5	WS, IR
Kozjak*	Treska	(2002)	E-R	114	126	300	3340	550	R, HEP, WS
Lisiče*	Topolka	(2002)	ERT	66	76.9	579.6	3.295	23	WS, IR
Lošana*	Lošana	(2002)	R-F	41	45.2	165	260	1.08	WS

Ključ: H – visina iznad terena; H_s – konstruktivna visina; L – dužina krune brane; V_D – volumen brane; V_R – maksimalni kapacitet akumulacije; EAR – zemljana brana; E-R – kameno-zemljana brana; R-F – kamenonasuta brana; AR – lučna brana; MA – višelučna brana; WS – vodosnabdjevanje; IR – navodnjavanje; HEP – hidroenergija; R – retenzija; * – u gradnji

2. PRAKSA GRADNJE BETONSKIH BRANA

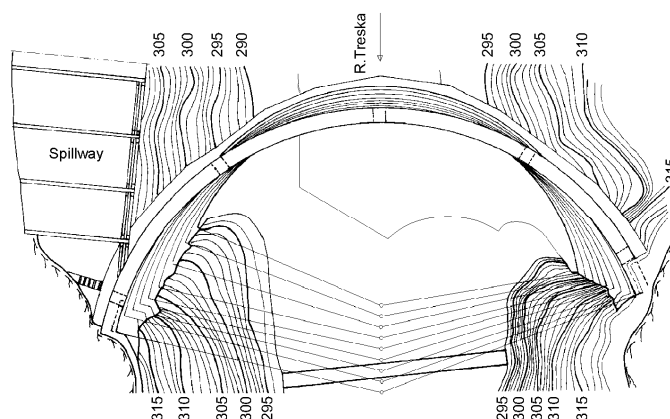
Najstarija, i, ujedno, jedina brana izgrađena u Makedoniji pre Drugog Svetskog Rata (1935-38 god.), je Matka (sada preimenovana u Sv. Andreja). To je armiranobetonska lučna brana, locirana na reci Treska, u okolini Skopja, koja još uvek služi svojoj nameni – formiranje akumulacije i stvaranje pada za proizvodnju električne energije. Ona pregrađuje kanjon reke na tesnom mestu V-oblika, sastavljenog od čvrste i nepropustljive stene. Brana se sastoji od 10 horizontalnih lukova sa različitim radijusom krivine (Sl. 3), svaki visok po 3 m. Debljina najnižeg luka je 1,6 m, a najvišeg 1,0 m. Ispod najnižeg luka, u osnovi, izgrađen je betonski fundament (Sl. 4).

Beton od koga su izvedeni lukovi bio je pripreman sa sadržinom od 325 kg sporovezujućeg cementa visoke otpornosti. Između pojedinih lukova izvedene su horizontalne fuge premazane sa nekoliko slojeva bitumena i sa ugrađenim tankim listom od cinka. Za postizanje nepropustljivosti ugrađen je bakarni lim debljine 0,5 mm, koji prodire 25 cm u susednim lukovima. Kao dodatnu meru za poboljšanje vododrživosti, uzvodna strana brane je premazana izolacionom smesom na bazi bitumenske emulzije, preko koje je nanesen zaštitni sloj cementnog maltera preko žičane mreže, fiksirane za telo brane. Sa desne strane, u steni, izgrađeni su preliv i temeljni ispust, dok su zahvatna građevina i dovod do pribranske hidrocentrale smešteni sa leve strane. Branu je projektovao Miladin Pečinar, profesor Univerziteta u Beogradu, kasnije akademik. Zdrava i čvrsta stena osnove pregradnog mesta, solidna i odgovarajuća konstrukcija brane – omogućili su dug i siguran eksploatacioni vek brane. Ona je prošla bez oštećenja i prilikom veoma jakog Skopskog zemljotresa od 26 jula 1963 god.

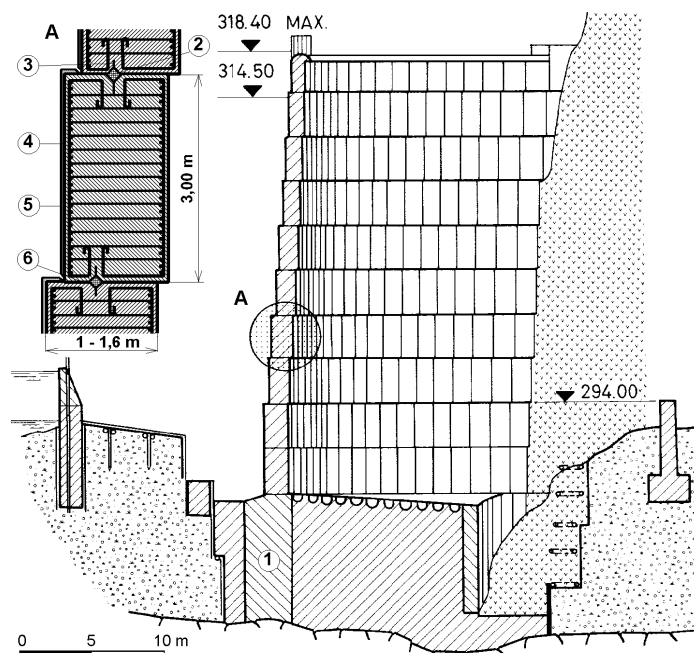
Nakon Drugog svetskog rata u Makedoniji je sagrađeno još pet lučnih brana, manje do srednje visine¹. Konstrukcija sa konstantnim spoljnim radijusom R_n po visini brane i konstantnim ili promenljivim centralnim uglom 2α , koja je odgovarajuća za pregradna mesta pravougaonog oblika, primenjena je kod brana Lipkovo i Gratče.

Brana Lipkovo, visoka 40 m iznad najniže tačke fundamenta, a 29,5 m iznad terena, ima odnos $H:L=1:5$. Branom je formiran akumulacioni prostor od $2,25\text{hm}^3$, koji služi za navodnjavanje i vodosnabdevanje. Izgrađena je na geološki veoma povoljnim profilom od dijabaza. Relativno široki profil kada je u pitanju lučna brana (Sl. 5), nametnuo je konstrukciju sa konstantnim radijusom zakrivljenosti i konstantnim centralnim uglom – 59 m, odnosno 140° . Centralni deo brane je prelivni, sa nekontrolisanim prelivnim poljima (1), svako široko 4 m, sa ukupnim prelivnim kapacitetom od $152\text{ m}^3/\text{s}$. U nižem delu ispod preliva izveden je temeljni ispust (2).

¹ U Makedoniji postoje uslovi za gradnju i drugih lučnih brana. Uzimajući u obzir fazu projektovanja, najdalje se otišlo sa branama *Matka II* (od nedavno ime joj je "Sv. Petka") na reci Tresci, kao i Čebren, na Crnoj Reci, obe za proizvodnju električne energije. Ova druga brana ima moguću visinu 190 m, ali realizacija ovog skupog projekta teško da se ostvari u bližoj budućnosti zbog problematičnih ekonomskih efekata (visoko koštanje u odnosu na proizvodnju energije).

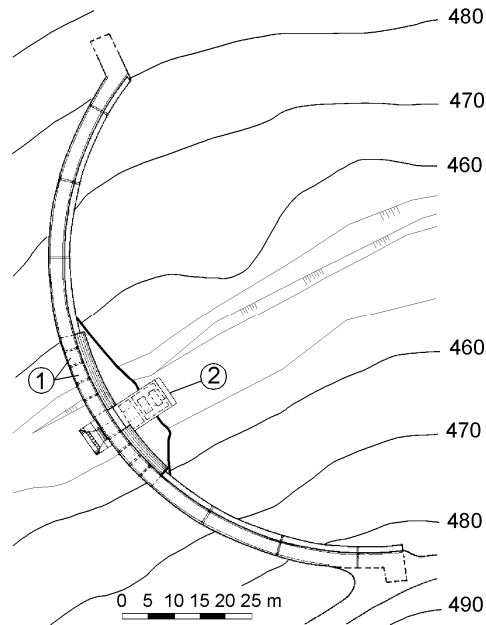


Slika 3. Osnova brane Matka, $H = 30$ m.

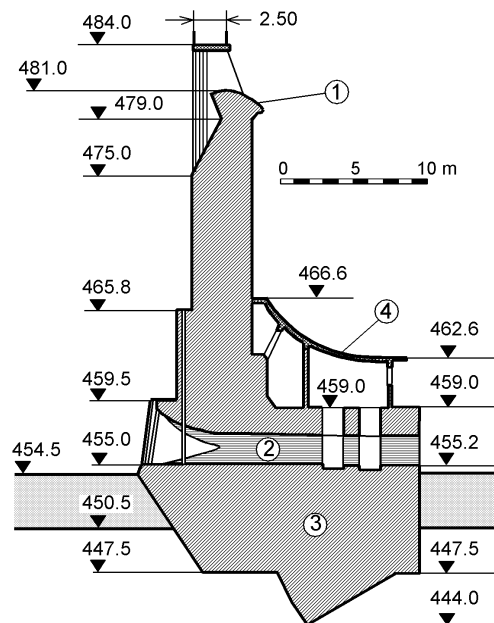


Slika 4. Poprečni presek brane Matka, zajedno sa detaljem fuge između lukova (A): (1) Betonski fundament; (2) Ispuna od gline; (3) Zaptivanje bakarnim limom; (4) Izolacija bitumenskim premazima; (5) Zaštitni sloj od armiranog maltera; (6) Izolacioni premazi i tanki cinkov list

U rečnom koritu fundiranje je izvršeno masivnim betonskim blokom (3), (Sl.6), koji preseca sedimentni sloj, kao i gornji, oštećeni sloj dijabaza. Zatvaračnica temeljnog ispusta zaštićena je od efekta prelivnog mlaza posebno oblikovanom konstrukcijom objekta (4). U telo brane je ugrađeno 13000 m³ betona, u blokovima 2 m širokim i 8 m dugačkim. Vodonepropustljivost je postignuta ugradnjom bakarnih ploča sa uzvodne i nizvodne strane.



Slika 5. Brana Lipkovo (osnova).



Slika 6. Brana Lipkovo (poprečni presek).

Brana Gratče izvedena je na Kočanskoj Reci, koja protiče kroz veoma strman kanjon. Osnova se sastoji od kristalizovanih škriljaca, oštećenih u površinskom sloju od nekoliko metara. Visina brane iznad terena je 29 m, dok konstruktivna visina iznosi čitavih 43 m. Deo brane iznad terena (1) je tanka armiranobetonska konstrukcija, temeljena na masivnom betonskom bloku (2) koji preseca debeli sloj rečnog nanosa (3), (Sl 7). Kod krune, 150 m dugačke, brana je široka 1 m. Prema temelju, debljina brane raste i kod kontakta sa masivnim blokom iznosi 3,45 m. Masivni fundamentni betonski blok je 6,45 m širok i 14 m

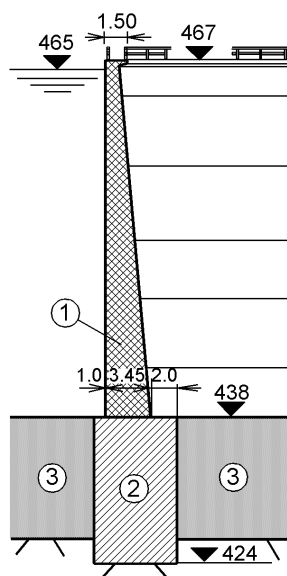
dubok. On igra ulogu čepa kroz depozit sedimenta i, u isto vreme, predstavlja temelj brani. U horizontalnim presecima, brana Gratče, kao i ostale lučne brane u Makedoniji, ima konstantnu debljinu. Radijus krivine horizontalnih lukova varira veoma malo – od 64,35 do 50,75 m, tako da se može smatrati konstantnim. Centralni ugao se kreće u granicama između 136° i 96° . U telo brane ugrađeno je 12.000 m^3 betona, sa prosečnim armiranjem od 40 kg čelika na 1 m^3 betona.

Brana Gratče zatvara akumulacioni prostor od $2,4 \text{ hm}^3$. U osnovi, zajedno sa pridružnim objektima, prikazana je na slici 8, na kojoj se mogu videti strmi bregovi i široko korito Kočanske Reke. Preliv je potpuno odvojen od tela brane i sastoji se od četiri prelivna polja, širine od po 7 metara, sa ukupnim prelivnim kapacitetom od $120 \text{ m}^3/\text{s}$. Temeljni ispust, smešten u središnjem delu brane, sastoji se od dve cevi $\text{Ø}1000 \text{ mm}$, sa zatvaračima smeštenim u maloj zatvaračnici, neposredno uz nizvodnu stranu brane.

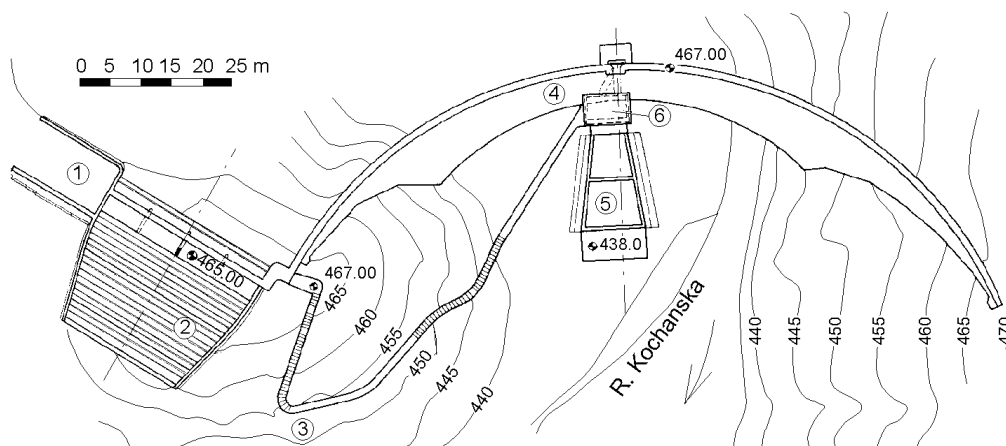
Ostale tri lučne brane izgrađene u Makedoniji – Mladost, Glažnja i Ratevska Reka – su sa duplom zakrivljenošću. Brana Glažnja, izgrađena 1971, locirana je 5 km uzvodno od brane Lipkovo. Konstruktivnom visinom od 80 m ($71,5 \text{ m}$ iznad terena), najviša je betonska brana u Makedoniji. Brana zatvara akumulaciju od 22 hm^3 , koji vrši kvalitativnu regulaciju voda Lipkovske Reke. U centralnom delu brane je smešten nekontrolisan preliv sa kapacitetom od $175 \text{ m}^3/\text{s}$. Odmah nizvodno od brane izvedeno je slapište u kome se smiruju prelivne vode, a i vode koje se ispuštaju iz temeljnog ispusta. Beton je pripreman od drobljenog agregata – krečnjaka, dok je ugradnja vršena u blokovima dimenzija $1,5 \times 14 \text{ m}$.

Treća lučna brana izvedena u Makedoniji sa duplom zakrivljenošću je Ratevska Reka, na istoimenj reci, u blizini Berova. Formira akumulaciju zapremine $10,5 \text{ hm}^3$, namenjenih za navodnjavanje. Pregradno mesto je sagrađeno od gnajsa, dok je nesimetričan profil poboljšan izgradnjom masivnih betonskih blokova na oba brega, (Sl. 11a). Dužina lučnog dela brane u kruni je 144 m , dok je dužina gravitacionih sekcija 34 m (desne), odnosno 16 m (leve). U središnjem delu izveden je nekontrolisani preliv kapaciteta $70 \text{ m}^3/\text{s}$, dok je desno od njega smešten temeljni ispust sa dijametrom cevi 1000 mm . U rečnom koritu izvedena je greda koja zagrađuje bazen za smirivanje energije prelivnog mlaza, (3), Sl.11a.

Visina brane iznad temelja je 49 m , dok konstruktivna visina iznosi 53 m . Široka je $1,5 \text{ m}$ kod krune, i debljuna joj se povećava za 8 cm na svaki metar. Gravitacioni blokovi pored krune su po 3 m i imaju trapezni poprečni presek. Telo brane je podeljeno na blokove fugama na svakih 16 m . Kao osnova brane, izveden je masivan betonski blok (2), (Sl. 11b). Radijus krivine centralne linije likova varira od $79,25$ do $37,07 \text{ m}$, dok se centralni ugao kreće od 104° to 65° . Ispod brane izvedeno je kontaktno injektiranje, kao i duboka injekciona zavesa. Kontaktno injektiranje izvedeno je od bušotina na rastojanju od po $1,5 \text{ m}$, dok je zavesa duboka 30 m , izvedena u dva reda.

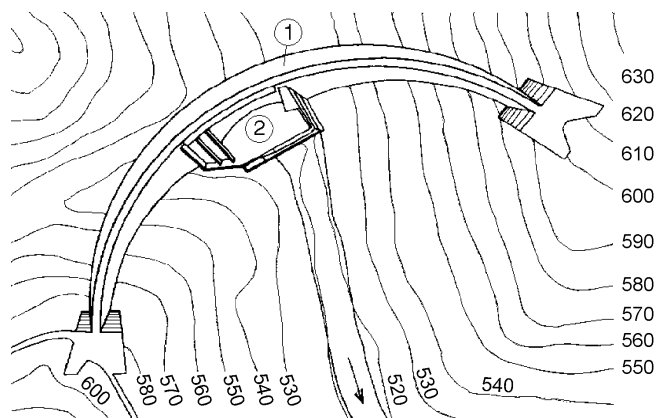


Slika 7. Brana Gratče, naprečni presek.

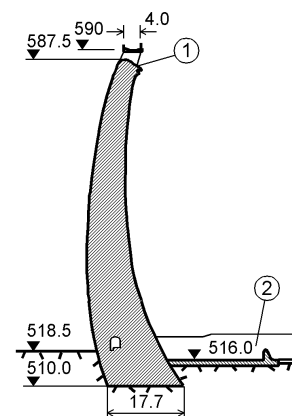


Slika 8. Brana Gratče, osnova.

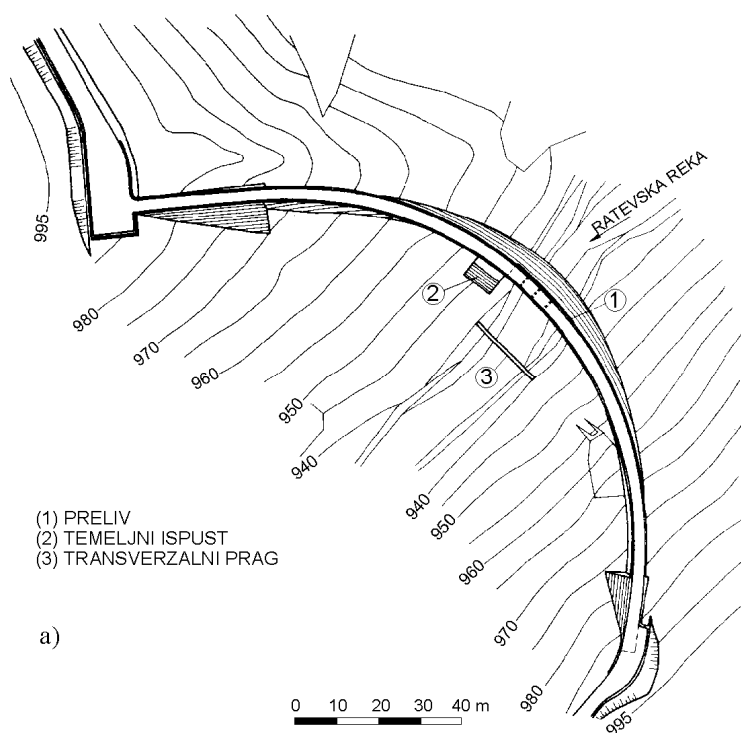
- (1) Plato; (2) Preliv; (3) Pristupni put; (4) Telo brane; (5) Slapište temeljnog ispusta; (6) Zatvaračnica temeljnog ispusta



Slika 9. Brana Glažnja, osnova.
(1) Telo brane; (2) Prelivni deo sa slapištem

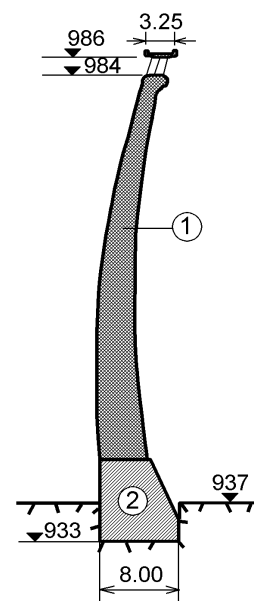


Slika 10. Brana Glažnja, presek.
(1) Prelivni profil krune; (2) Slapište



- (1) PRELIV
(2) TEMELJNI ISPUST
(3) TRANSVERZALNI PRAG

a)

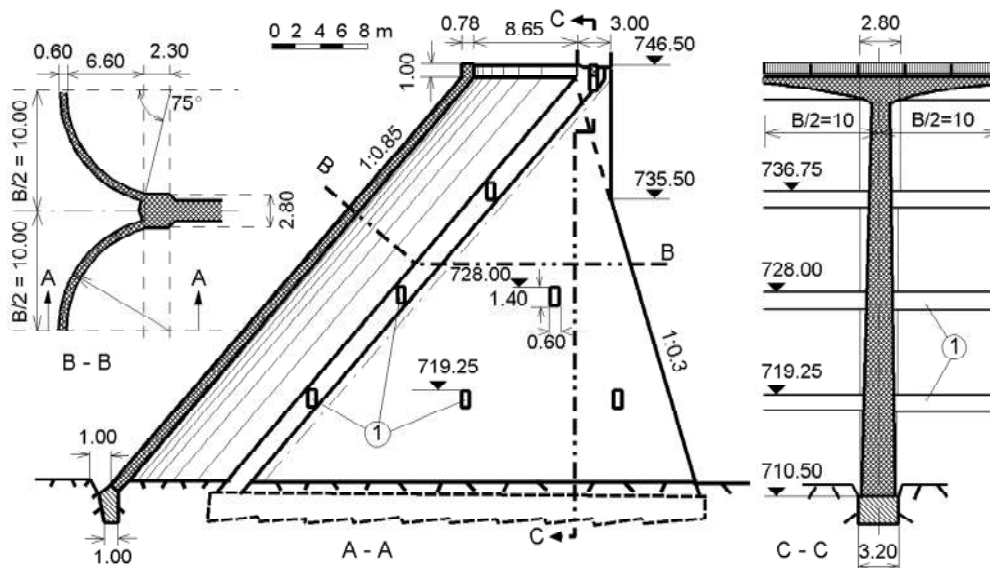


b)

Slika 11. Brana Ratevska Reka.
a) Osnova; b) Presek kroz prelivni deo brane; (1) Telo brane; (2) Betonski fundament

Karakteristično je što su sve tri lučne brane sa dvojnomo krivinom izgrađene u Makedoniji sa naklonom prema uzvodnoj strani, i pored toga što sve tri imaju prelivne delove u sredini. To znači da je prednost data stabilnosti brane, u odnosu na uslove preliivanja.

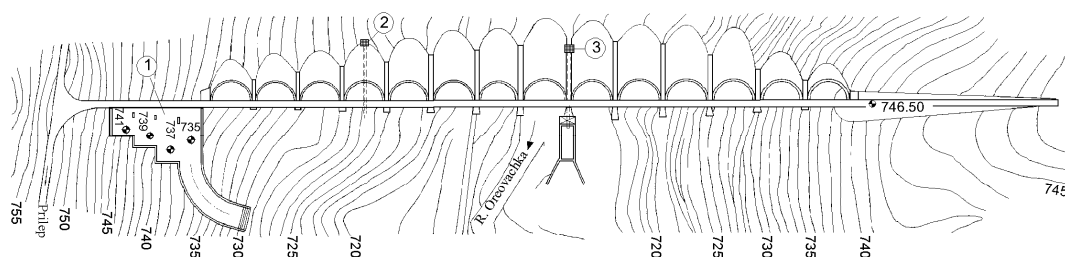
Sedma betonska brana u Makedoniji je kontrafora brana Prilep, izgrađena u okolini istoimenog grada, na Oreovačkoj reci, u periodu mart 1964 – mart 1966. Visoka je 35 m, izgrađena na granitnoj osnovi, na širokom pregradnom mestu, tako da je dužina krune brane 408,5 m. Na ovakvom pregradnom mestu mogući su razni tipovi brana, ali je prednost data kombinovanoj brani sa dominantnim centralnim delom od višelučne kontraforne brane, 280 m dugačke. Sastoji se od 14 nagnutih cilindričnih luskii, oslonjenih na 13 kontrafora, i od dva bloka na krajevima, Slike 12, 13 i 14. Kontrafori su na međusobnom osovinskom rastojanju od po 20 m. Imaju trougaoni oblik, sa naklonom uzvodne strane 1:0.85, a nizvodne 1:0.3 (Sl. 12). Debljina kontrafora kod krune je 1,40 m i povećava se idući nadole za 4 cm na svaki metar. Kod uzvodne strane kontrafori se zadebeljavaju do 2.80 m po celoj visini, da bi se obezbedilo odgovarajuće oslanjanje susednih cilindričnih ljuski. Ovaj deo kontrafora je izveden od betona više marke (30 MPa) u odnosu na ostale delove (22 MPa). Kontrafori su armirani konstruktivnom armaturom, sa 14 kg čelika na 1 m³ betona. U uzdužnom pravcu kontrafori su ukrućeni gredama (6 na broju) i mostom koji prelazi preko krune brane.



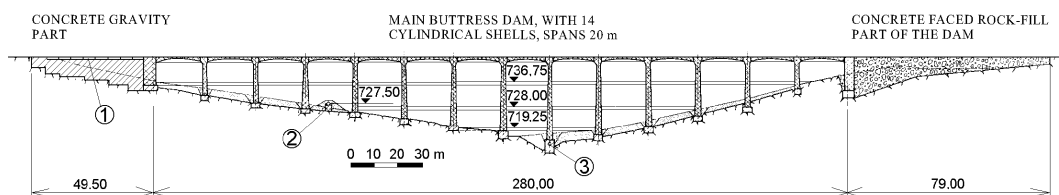
Slika 12. Poprečni presek (A-A) i detalji kontraforne brane Prilep.
(1) Poprečne grede za ukrućivanje

Cilindrični lukovi imaju isti naklon kao i kontrafori (1:0,85). Oni imaju konstantnu debljinu po celoj visini – 0,60 m. Izvedeni su od vodonepropustljivog betona (30 MPa) i armature od 45 kg/m³ betona. Vodonepropustljivost spojeva sa kontraforima obezbeđena je pomoću bakarnih listova debljine 1 mm, sa zabetoniranom širinom od 60 cm. Pre punjenja akumulacije, vodonepropustljivost uzvodne strane brane poboljšana je izolacijom od armiranog poliestera.

Sa desne strane brane izveden je gravitacioni betonski blok, maksimalne visine 10 m, oblikovan kao čeonih preliv, sastavljen od 8 prelivnih polja, svako široko 4,8 m. Za disipaciju energije prelivnog mlaza izvedeno je slapište sa 4 kanala, kaskadno postavljeno.



Slika 13. Brana Prilep, osnova. (1) Preliv; (2) Zahvat; (3) Temeljni ispust



Slika 14. Brana Prilep, uzdužni presek. (1) Preliv; (2) Zahvat; (3) Temeljni ispust

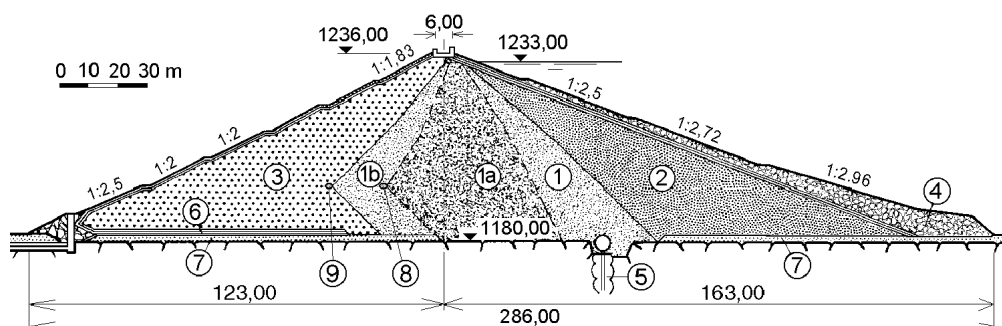
Sa leve strane brana završava nasutim delom dugim 78 m, maksimalne visine 14 m. Kao vodonepropustljivi element izveden je 20 cm deo armiranobetonski ekran. Telo nasipa izvedeno je od kamene sitneži, sa naklonom uzvodne kosine 1:1, a nizvodne 1:1,2.

Za proizvodnju betona bilo je instalirano postrojenje na desnom bregu, na 50 m od brane, sa kapacitetom od 8 m³/čas. Ugrađeno je ukupno 25.500 m³ betona, i to u kontraforima pomoću pokretne drvene oplata, a u lukovima pomoću fiksne oplata. Brana formira akumulaciju sa kapacitetom od 5 hm³, namenjenu navodnjavanju. Brana se uspešno eksploatiše skoro 40 godina. Ima ideja za njeno nadvišavanje radi povećanja akumulacionog prostora.

3. PRAKSA NASUTIH BRANA

Praksa gradnje nasutih brana u Makedoniji počinje branom Mavrovo. To je interesantan primer jer je gradnja započeta daleke 1948 godine, kada graditelji nisu imali na raspolaganju mehanizaciju. Ceo hidro-čvor je predat u rad nakon 10 godina. Brana je locirana na početku stenovitog dela Mavrovske Reke, odnosno neposredno ispred mesta gde ona napušta Mavrovske Polje, 25 km od Gostivara. Branom se zatvara akumulacioni prostor od 357 hm³. Brana Mavrovo je najveći i najvažniji objekat istoimenog hidroenergetskog sistema. To je zemljana zonirana brana, (Sl. 15), sa sledećim osnovnim dimenzijama:

1. Maksimalna visina brane iznad terena	56,0 m;
2. Konstruktivna visina	62,0 m;
3. Širina krune	6,0 m;
4. Širina brane kod osnove	286,0 m;
5. Dužina krune	210,0 m;
6. Nagibi kosina: uzvodne	1:2,50 1:2,96
nizvodne	1:1,83 1:2,50
7. Kota krune brane	1236 mnv



Slika 15. Poprečni presek brane Mavrovo.

(1, 1a, 1b) Glina i raspadnuti škriljac; (2) Uzvodni deo brane od škriljaca; (3) Nizvodni deo brane od krupnih škriljaca; (4) Obloga od lomljenog kamena; (5) Injekciona zavesa; (6) Horizontalni drenažni tepih; (7) Nanos od aluvijalnog šljunka; (8, 9) Uzdužne horizontalne drenaže

Telo brane sastoji se od različitih materijala, lociranih prema funkciji, (Sl. 15). U centralnom delu, ugrađen je slabopropustljivi zemljani materijal, i to: jezgro od gline i raspadnutih škriljaca, zona (1), sa temeljenjem u steni do dubine od 5,0 m, gde je smeštena kontrolno-injekciona galerija; zona (1a), nizvodno od jezgra, gotovo centralno postavljena, isto tako od gline i raspadnutih škriljaca, sa najmanjim koeficijentom filtracije; zona (1b), sa identičnim sastavom i osobinama kao i zona (1a). Potporna tela sastavljena su: uzvodno od škriljaca (2), zaštićenih na uzvodnoj kosini ređenim lomljenim kamenom; nizvodno potporna tela od krupnozrnih škriljaca (3).

U kontaktu uzvodnog dela brane sa osnovom od vulkanskog tufa izveden je horizontalni drenažni tepih od slojeva finog peska i krupnog šljunka (6). Sloj prirodnog aluvijalnog nanosa (7) odstranjen je u uzvodnom i u centralnom delu brane. Osnova brane sastoji se od vulkanskog andezitskog tufa i dacitskog tufa. Ispod brane i u bokovima izvedena je injekciona zavesa.

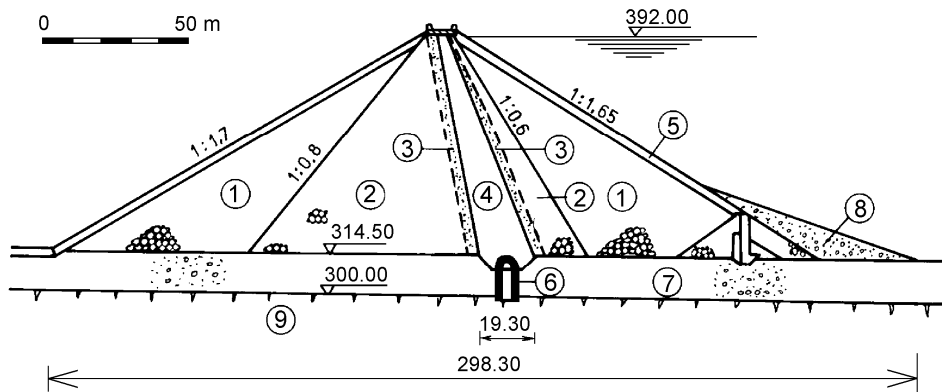
U toku gradnje brane utvrđeno je da je materijal u nizvodnom potpornom telu (3) sa nižom vodopropustljivošću u odnosu na predviđenu sa projektom. Da bi se – u takvim otežanim uslovima – omogućilo spuštanje filtracione linije prema početku horizontalnog drenažnog tepiha, odnosno da se spreči da ona izađe iz zone (1b), izvedene su dve dodatne horizontalne drenaže (8) i (9), paralelne sa uzdužnom osi brane.

Interesantno je da hidro-čvor Mavrovo nije snabdeven prelivom. Takvo rešenje je moguće zbog velike retenzione moći akumulacije, male površine sliva, (deo vode dovodi se u akumulaciju tunelom iz susednog sliva) i relativno visokog instalisanog kapaciteta triju hidrocentrala. Kasnije, u Makedoniji, izgrađeno je još nekoliko zemljanih brana, ali, najvažnija dostignuća na polju nasutih brana postignuta su gradnjom kameno-zemljanih brana sa centralnim glinenim jezgrom. Među njima, najveće i najvažnije su nekoliko brana sa malo zakošenim jezgrom.

Jedna od njih je brana Turija (Sl. 16), izgrađena u šezdesetim godinama u blizini grada Strumice. Nasip je visok 80 m i sagrađen je iznad debelog sloja aluvijalnog nanosa (7). Glineno jezgro je fundirano na bunarima od glino-betona (6), koji su manje kruti od betona, pa se lakše prilagođavaju deformacijama. Mešavina gline i betona je projektovana da zadovolji zahteve postavljene seizmičkom analizom – da bude vodonepropustljiva najmanje kao i jezgro i da može da se ugrađuje pumpama, od čega je takođe proizašao i njen sastav – suva masa : voda = 2:1 i glina : cement = 3:1. Postignuta je jačina ugrađenog glino-betona veća od 1500 kN/m². Treba primetiti da je uzvodna kosina malo oštrija od nizvodne, pošto je veći deo nizvodnog potpornog tela izgrađen od šljunka, a na uzvodnom kraju brane deponiran je i balastni materijal (8).

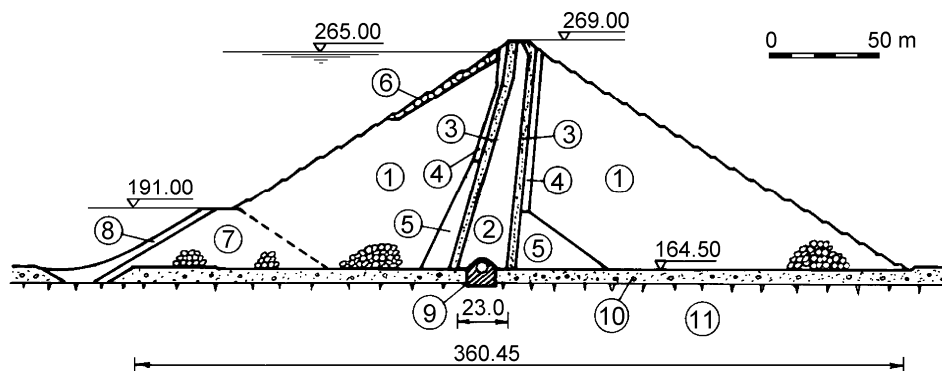
Najviša nasuta brana u eksploataciji u Makedoniji je *Tikveš*², izgrađena u periodu 1964-68 godine. Ona pregrađuje Crnu Reku u blizini grada Kavadarci, ograđujući akumulacioni prostor od 475×10^6 m³, namenjeneog za navodnjavanje Tikveškog Polja. (Sl. 17). Osnova pregradnog mesta sagrađena je od raznih vrsta škriljaca, dok su u rečnom koritu zastupljeni amfiboliti. Stenske mase uglavnom su nehomogene i anizotropne. Telo brane je sagrađeno iz sericitsko-kvarcitnih škriljaca, pozajmljenih iz kamenoloma, udaljenog 1 ÷ 1.5 km. Kameni nabačaj je zbivan u slojevima od po 5 m, sa hidromonitorima, pod uglom prirodnog naklona, tako da su ostavljane berme kod svakog sloja da bi se konačno dobio traženi prosečan naklon kosine od 1:1.7. Tanko glineno jadro je blago naklonjeno, sa izvođenjem u slojevima od po 20 cm pomoću ježeva i kompaktora. Spojeno je sa stenom pomoću masivnog betonskog bloka, u kome je smeštena injekciona galerija, iz koje je izvedena troredna injekciona zavesa.

² Brana *Tikveš* bila je najviša nasuta brana i na teritoriji nekadašnje Jugoslavije.



Slika 16. Brana Turija.

(1) Kameni nabačaj; (2) Šljunak; (3) Filterski slojevi; (4) Glina; (5) Zaštitni sloj od krupnog kamena; (6) Glino-beton; (7) Aluvijalni nanos; (8) Balastni materijal od rečnog nanosa; (9) Slojeviti škriljci i gnajsevi



Slika 17. Brana Tikveš.

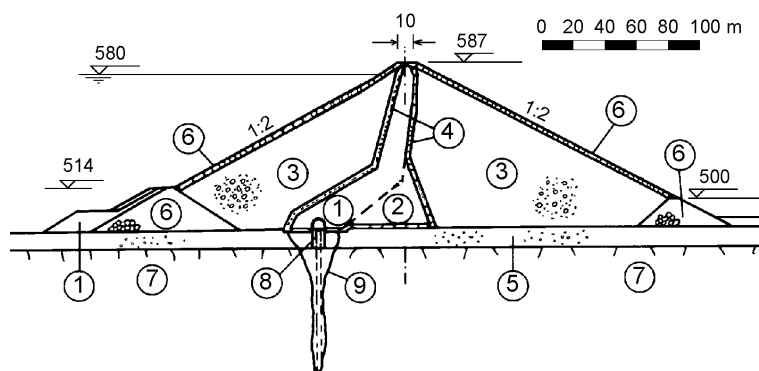
(1) Kameni nabačaj; (2) Glineno jezgro; (3) Filterski sloj I; (4) Filterski sloj II; (5) Drobljeni kamen; (6) Krupan kamen; (7) Predbrana (zagat); (8) Glineni ekran zagata; (9) Injekciona galerija; (10) Rečni nanos; (11) Stena

Dve značajne nasute brane sa zakošenim jezgrom pregrađuju reku Crni Drim – *Globočica* ($H = 82.5$ m) i *Špilje*. Brana *Špilje*, locirana odmah ispred uliva reke Radike u Crni Drim, izgrađena je u periodu 1966-69 godine. Visinom od 101 m iznad terena, zatvara akumulaciju od 520×10^6 m³. Telo brane je izgrađeno od šljunka, a kao nepropustljivi element izvedeno je jezgro od gline (Sl. 18). Osnova pregradnog mesta je veoma kompleksne geološke građe. U osnovi, ona se sastoji od krečnjaka i mermernih škriljaca, dok u rečnom koritu – aluvijalni nanos dostiže debljinu od 12 m. Materijal u osnovi, najviše zbog tektonske poremećenosti, je umereno do visoko vodopropustan.

Pregradno mesto je izabrano kao najodgovarajuće obzirom na topografiju terena. Konstrukcija jezgra je karakteristična zbog svoje izlomljene forme. U gornjem delu ono je malo zakošeno, dok je u donjem delu veoma zakošeno, da

bi se dobio dobar spoj sa kesonskom dijafragmom, ispod koje – na najboljem mestu, određenom prethodnim istraživanjima – izvedena je injekciona zavesa. Da bi se smanjili hidraulički gradijenti filtracionog toka i umanjila opasnost pojave pukotina, donji, prekršeni deo jezgra je proširen prema nizvodnoj strani glineno-šljunčanim klinom.

Nanosni materijal u rečnom koritu presečen je betonskom dijafragmom debljine 6 m, u većem delu izvedene kesonima u uslovima nezaštićene jame. Dijafragma je izvedena tako da su spuštene 4 kesonska bloka dužine od po 12 m, sa među-razmakom od $0.8 \div 1$ m, ispunjenim nanosom. Sa nizvodne strane ovi međuprostori zatvoreni su pomoću Larsenove špuntove pregrade i injektiranjem glino-cementnom smesom. Dijafragma je ukopana u osnovnu stenu $1 \div 3$ m. Kroz injekcionu galeriju, koja je u rečnom koritu postavljena na kesonsku dijafragmu, izvedena je injekciona zavesa, duboka $100 \div 145$ m.



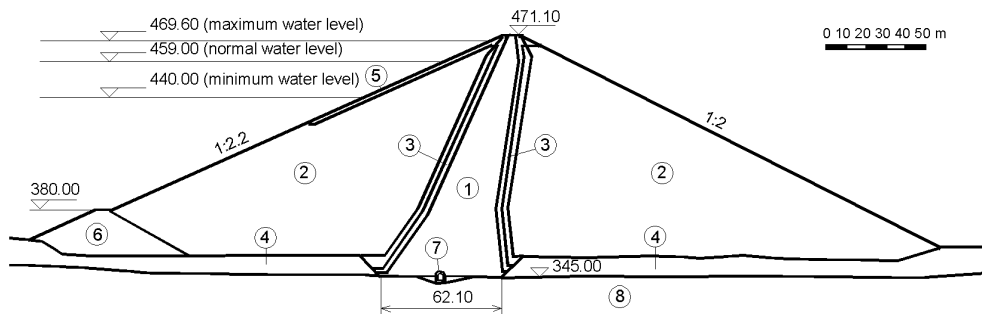
Slika 18. Poprečni presek brane Špilje.

(1) Glineno jezgro; (2) Glinoviti šljunak; (3) Šljunak; (4) Filterski slojevi; (5) Rečni nanos; (6) Nabačaj od krupnog kamena; (7) Krečnjak; (8) Kesonska dijafragma sa injekcionom galerijom; (9) Injekciona zavesa

Među hidročvorovima u izgradnji, najveći i najvažniji je Kozjak, na reci Treska, kojih 16 km uzvodno od postojeće brane Matka. To je višenamensko postrojenje sa glavnom namenom zaštite od poplava, zbog čega je u budućoj akumulaciji ostavljen slobodan prostor od $100 \times 106 \text{ m}^3$. Postrojenje će služiti i za proizvodnju električne energije ($152 \times 106 \text{ kWh}$ godišnje), kao i za vodosnabdevanje tehničkom vodom. Glavni objekat kompleksa je kameno-zemljana brana konstruktivne visine od 126 m. Pregradno mesto je tesno, sa naklonima kosina 1:1, odnosno 1:1,5. Telo brane je izvedeno kamenim nabačajem (krečnjak), eksploatisanog iz kamenoloma u blizini brane, dok je vodonepropustljivi element u vidu blago zakošenog jezgra. Glina za jezgro bila je transportirana iz pozajmišta udaljenog 15 km. Za prelazne slojeve korišćen je separirani materijal iz reke Treska, ali dodatne količine su dovožene sa daljine od 40 km.

Realizacija projekta započela je 1994 godine i bilo je planirano da završi 2000 godine. Međutim, zbog različitih razloga – čini se da je glavni bio

nedostatak finansijskih sredstava – puštanje u rad odloženo je za nekoliko godina. Brana, (Sl. 19), završena je krajem 2001 godine.

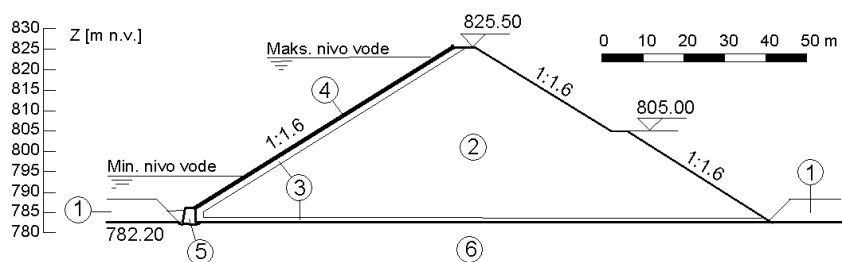


Slika 19. Poprečni presek brane Kozjak.

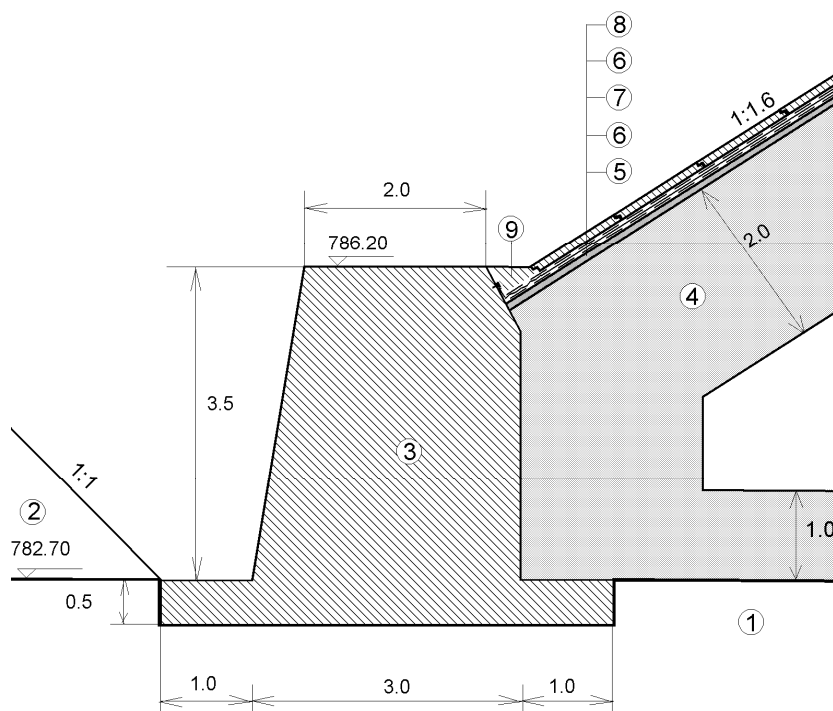
(1) Glineno jezgro; (2) Kameni nabačaj; (3) Prelazni slojevi; (4) Rečni nanos; (5) Zaštita kosine od ređanog kamena; (6) Uzvodni zagat; (7) Galerija; (8) Stenovita osnova

Krajem 2002 godine završena je brana Lošana, naša prva kamenonasuta brana sa ekranom od geosintetike. Visoka je 43 m i formira akumulaciju sa kapacitetom od $1 \times 106 \text{ m}^3$, namenjenog vodosnabdevanju grada Delčevo. Osnova je od granita, kao i telo brane. Pozajmište kamena bilo je locirano u budućoj akumulaciji. Odluka da se primeni ekran od geosintetike donesena je zbog nedostatka odgovarajućeg koherentnog zemljanog materijala u blizini pregradnog mesta. Najpre, izveden je armiranobetonski temelj (5) u uzvodnoj nožici brane. On služi kao fundament ekranu i kao podloga za izvođenje injekcionih radova. Ispod ekrana izveden je filterski sloj (4), debljine 2 m normalno na ekran, i produžen ispod čitavog tela brane debljinom od 1 m, (Sl. 20 i 21).

Ekran se sastoji od sledećih elemenata (Sl. 21): 1) podloge od mršavog betona sa sadržinom cementa 65 kg/m^3 , sa maksimalnim zrnom agregata 12 mm, debljine 7 cm; 2) sloja geotekstila – 500 gr/m^2 ; 3) PVC geomembrane, $d = 2.5 \text{ mm}$; 4) sloja geotekstila – 500 gr/m^2 ; 4) zaštitnih montažnih armiranobetonskih ploča dimenzija $1 \times 1 \text{ m}$, $d = 10 \text{ cm}$. Posebna pažnja posvećena je spoju geomembrane sa betonskim temeljom. Iznad geomembrane, po celoj dužini spoja, postavljena je lenta od nerđajućeg čelika, širine 40 mm, debljine 6 mm. Ona je, zajedno sa geomembranom, fiksirana za betonski temelj specijalnim zavrtnjima $\varnothing 10 \text{ mm}$, na rastojanjima od po 15 cm. Vodonepropustljivost spoja poboljšana je postavljanem specijalnog kita između geomembrane i betona izpod cele dužine čelične lente. Zaštitne betonske ploče bile su proizvedene u fabrici montažnih elemenata izvođača radova, locirane u Delčevu, 16 km udaljene od mesta ugradnje. Ugrađivanje je izvršeno pomoću kрана. Ukupna površina ekrana je $\approx 9000 \text{ m}^2$, a efektivno vreme njegove izgradnje bilo je 3 meseca. Geosintetički materijal bio je proizveden u Belgiji i Španjolskoj, a njegovo postavljanje je izvršila jedna firma iz Hrvatske. Brana je snabdevena bočnim prelivom i temeljnim ispuštom od čelične cevi $\varnothing 800 \text{ mm}$ sa armiranobetonskom oblogom.



Slika 20. Poprečni presek brane Lošana.
 (1) Rečni nanos; (2) Kameni nabačaj; (3) Filterski sloj; (4) Ekran od geosintetike; (5) Betonski temelj; (6) Stenovita osnova



Slika 21. Spoj ekrana od geosintetike sa armiranobetonskim temeljem.
 (1) Stenovita osnova; (2) Rečni nanos; (3) Armiranobetonski temelj; (4) Filterski sloj; (5) mršavi beton, $d = 7$ cm; (6) geotekstil, 500 gr/m^2 ; (7) PVC geomembrana, 2.5 mm ; (8) Montažne armiranobetonske ploče, $d = 10$ cm; (9) Betonski čep

4. DRUGA PITANJA

Svi prelive na makedonskim branama su nekontrolisani. Tri od betonskih brana snabdevene su prelivima preko krune brane dok kod ostale četiri izveden je čeonu preliv pored brane. Kod najviših nasutih brana primenivan je šahtni preliv (Špilje, Tikveš, Kozjak, Globočica, Streževu), a kod ostalih izvođen je bočni ili čeonu preliv. Velike vode su usvajane sa verovatnoćom pojavljivanja od 0.01% za nasute brane i 0.1% za betonske. Najveći kapacitet ima šahtni preliv brane Špilje – 2100 m³/s, međutim, u toku 30 godina eksploatacije nisu se pojavile prelivne vode veće od 150 m³/s. Slična je situacija i kod ostalih brana.

U toku čitavog perioda izgradnje i eksploatacije brana od 65 godina, u Makedoniji nije se dogodio ozbiljniji incident, i pored hroničnog nedostatka novca za održavanje i popravke. Oskultacija svih brana obavlja se uglavnom redovno, ali veliki broj uređaja je izbačen iz upotrebe i mora biti zamenjen novim.

Zadnjih 25 godina velika pažnja posvećivana je razvoju i primeni savremenih metoda za filtracionu, statičku i dinamičku analizu brana [1–6]. Na Univerzitetu "Sv. Kiril i Metodij" razvijeni su samvremeni modeli i kompjuterski programi za numeričku analizu kako betonskih, tako i nasutih brana. Primenjivani su na rešavanju naučnih i praktičnih problema. Razvijena je i primena gotovih programa poznatih firmi. Zadnjih nekoliko godina radili smo i na razvoju trodimenzionalnih modela za analizu nasutih brana. Sa rapidnim napretkom kompjuterske tehnologije (dramatičan porast brzine i kapaciteta, mogućnosti automatske obrade širokog spektra ulaznih i izlaznih podataka), trodimenzionalne analize nasutih brana postaju mnogo dostupnije. Pomoću obimnih parametarskih analiza došli smo do zaključka da kod naklona bregova pregradnog mesta od 1:3 i većih, uticaj trodimenzionalnog efekta na deformacije i stabilnost brane je značajan i ne sme se zanemariti [1]. U buduće, u ovakvim slučajevima, trodimenzionalna analiza postaće obavezna.

5. ZAKLJUČCI

Uzimajući u obzir broj stanovnika i teritoriju koje zahvata, može se zaključiti da Republika Makedonija ima relativno bogatu praksu gradnje brana. Od prve izgrađene brane 1938 godine, pa do danas izgrađene su 23 velike brane i oko 110 male. Ukupna zapremina akumulacionog prostora je oko 2.4×10^9 m³.

Sa dva-tri izuzetka, velike brane u Makedoniji građene su na stenovitim osnovama i u relativno povoljnim topografskim uslovima pregradnih mesta. Većina brana su nasute, ali izgrađena je i jedna višelučna kontrafora, kao i šest lučnih brana. Među nasutim branama tri su više od 100 m i pretstavljaju značajna ostvarenja ne samo za makedonske prilike. Nasute brane su uglavnom kamenozemljane, ali prošle godine izgrađena je prva kamenonasuta brana sa ekranom od geosintetike kao vodonepropustljivim elementom. Većina brana izgrađena je do 1982 i očita je potreba od izvesnih rekonstrukcija. Isto tako, neophodna je promena izvesnih uređaja za oskultaciju.

Velika pažnja posvećena je razvoju i primeni savremenih metoda za statičku i dinamičku analizu ovih kompleksnih konstrukcija, uključujući i razvoj veoma komplikovanih trodimenzionalnih modela.

Veliki deo potencijala reka u Makedoniji još uvek je neiskorišćen. To znači da ćemo morati i dalje graditi brane kako bi stvorili više akumulacionog prostora namenjenog vodosnabdevanju, navodnjavanju, proizvodnji električne energije, zaštitu od poplava i dr.

OPŠTA LITERATURA KORIŠĆENA ZA PRIPREMANJE TRUDA

1. JNKVB 1970. *Branite vo Makedonija*. Skopje: Jugoslovenski nacionalni komitet za golemi brani.
2. Tančev, L. 2003 (under production). *Dams and apurtenant hydraulic structures*. The Netherlands: Swets & Zeitlinger.
3. YUCOLD 1971. *Dams in Yugoslavia*. Belgrade: Yugoslav Committee on Large Dams.

REFERENCE

1. Dodeva, S., Tančev, L. & Kokalanov, G. 2002. *Uticao kosine bregova rečne doline na deformacije i naprezanja u telu nasutih brana*. Zbornik trudova, Skopje: Građevinski fakultet (na makedonskom jeziku).
2. Kokalanov, G., Tančev, L. 1988. *Finite element analysis of embankment dams*. Engineering modelling, No. 1, Split.
3. Mircevska, V. & Bickovski, V. 2002. *Automatic generation of 3D digital models for analysis of dams and filtration domains*. Computational Structural Dynamics Workshop, Skopje, February 22-24, 2001. The Netherlands: A.A. Balkema Publ.
4. Tančev, L. & Kokalanov, G. 1995. *Application of joint elements at finite element analysis of embankment dams*. Second International conference on Computational Methods in Contact Mechanics, Ferrara.
5. Tančev, L. 1989. *Statička analiza nasutih brana*. Skopje: Studentski zbor (na makedonskom jeziku)..
6. Tančev, L. 2003 (under production). *Dams and apurtenant hydraulic structures*. The Netherlands: Swets & Zeitlinger Publ.

ŠTO SA BRANAMA I VODNIM AKUMULACIJAMA? - GRADITI NOVE ILI RUŠITI POSOJEĆE -

Prof. dr Trifun Paskalov, dipl., gradj. inž.

Pretsednik MKVB

IZVLEČEK

V članku je prikazan problem, ki izhaja iz priporočil delovanja nevladne komisije: World Commission of Dams (WCD) v katerih priporočja, da se opustijo vse nadaljnje aktivnosti v zvezi z načrtovanjem, gradnjo in vzdrževanjem velikih pregrad. V skrajno negativističnem pogledu na problematiko le-ta izpostavlja naslednje:

- Vsako leto je na milijone ljudi prisiljeno, da se izseli zaradi posledic gradnje velikih pregrad. Ostalim so prikrajšane možnosti za preživetje oz. nimajo zagotovljenega ustreznega nadomestila za izgubljeno.
- Vpliv na poselitve dolvodno zaradi posegov je signifikanten, ni pa ustrezno prepoznano tekom načrtovanja in izvedbe.
- Velike pregrade imajo velik vpliv na rečni režim in rečni ekosistem, pri čemer ukrepi za umilitev vplivov večinoma ne dosežejo želenih učinkov.
- Velikokrat pri realizaciji niso doseženi želeni cilji, predvsem v tehničnem in ekonomskem smislu ter izkazana tendenca presejanja načrtovanih stroškov projekta.

Po drugi strani so bili, v okviru ICOLD, na postavljena stališča WCD izoblikovani odgovori, z izpostavitvijo koristi ter vso ostalo problematiko, kar zadeva velike pregrade. V članku je prikazan pristop k reševanju problematike po priporočilih ICOLD in v luči, kot ga vidi avtor prispevka.

ABSTRACT

The paper deals with the problem arising from the action taken by the World Commission of Dams (WCD) to abandon any activity of planning, designing, building and maintaining large dams stipulating some problems from totally negativistic point of view. Under the umbrella of "Cost of Dams" they are pointing out the following problems:

- Millions of people have been displaced from their homes each year due to the construction of large dams. Many were not resettled and those that

were rarely had their livelihoods restored. Compensation has in many cases been either non-existent or inadequate.

- Impact on communities downstream was often significant and was not addressed adequately in planning and design of large dams.
- Large dams have had extensive impacts on rivers, watersheds and aquatic ecosystems and efforts to mitigate these have met with limited success.
- While there was variability from one project to next, a considerable portion of large dams have fallen short of physical and economic targets with a high tendency to cost overruns.

From the other side, to the above provocative questions the International Commission of Large Dams (ICOLD) did not stay indifferent but took an active action stipulating all the benefits, as well as the concerns about dams from a general point of view. These steps of ICOLD and the views of the writer of this paper are discussed in the following text.

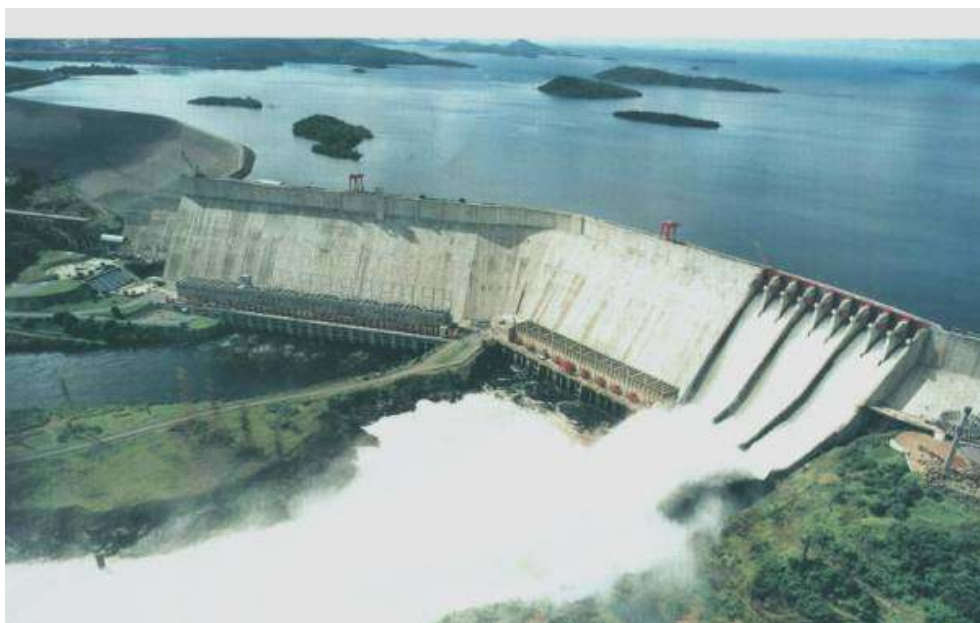
1. NEŠTO KAO UVOD

Autor ovog teksta dugo je razmišljao kakav naslov da dá svom pisaniju. Zvuči paradoksalno nalaziti se pred dilemom dali treba graditi nove brane ili, pak, rušiti postojeće. Izgleda apsurdno, zar ne? Međutim, činjenica je da se tendencija rušenja vrlo napadno propagira širom sveta. Zbog toga, pokušaćemo baciti jasniju svetlost ovom problemu, imajući u vidu da isti postaje vrlo akutan, osobito u zadnjih nekoliko godina.



Sl. 1 – Brana Almendra – Španija. Harmonija između objekta i prirode

Odavno je poznato da od kada postoji civilizirano društvo postoje i brane sa svojim vodnim akumulacijama. To je rađeno sa ciljem da se voda skladišta u periodu kada je ima više nego što su potrebe i da stoji društvu na raspolaganju u momentima kada mu je najneophodnija. To je, uostalom, sasvim normalna pojava. Sa druge strane, međutim, sada kada se javlja organiziran otpor protiv izgradnje ovakvih objekata, pa čak i tendencija rušenja i odstranjivanja postojećih, nalazimo za shodno da iznesemo naš stav po tom pitanju i da upoznamo naše inženjersko članstvo, pa i ostalo društvo, sa glavnim aspektima koji se odnose na ovu vrstu objekata. To se radi sa ciljem da bacimo pravo svetlo na njihovu ulogu, koju su ovi objekti odigrali i još uvek odigravaju u toku njihovog višemilenijskog postojanja.



Sl. 2 - Brana Guri - (Venecuela). Energetska instalirana snaga od 10.000 kW

Istorijski gledano, celokupna ljudska aktivnost prolazi u kontaktu sa prirodom. Tako, čovek još od početka njegovog bitisanja pokušavao je da se prilagodi prirodnoj sredini koja ga okružuje, da bi kasnije poveo aktivnu borbu protiv sila prirode. Ilustracija takvoj borbi predstavljaju izgradnja zaštitnih bedema duž depresivnih morskih obala, ukrućivanje i reguliranje tokova velikih reka, razvitak morskog i suvozemnog saobraćaja itd. Sve to je rezultat uspešne borbe čovečkog genija protiv sila prirode. Posle ovih uspeha ta borba sa prirodom ne prestaje, već naknadno nastaje era iskoriscenja prirodnih bogatstava. Znači, cilj ljudskog roda je da stavi pod sopstvenom kontrolom prirodna bogatstva i da iskoristi njihove blagodati. Isti taj ljudski genij je u mogućnosti da daje i tačnu prognozu vremenskih prilika, pa čak i da pokušava da utiče na njihovu promenu. Postoje još i uspešni pokušaji za pretskazivanje nekih prirodnih katastrofa, kao što su, na primer, nadolazak određenih poplavnih talasa, pojava uragana i tajfuna, vulkanskih erupcija i sl.

Nije već samo tako ljudski genij izmislio sentenciju da "**Voda i vatra su odlične slugе, ali vrlo loši gospodari**", koja mu postaje lajt motiv da iskoristi blagodete prirode za opšte dobro, ali pod strogom kontrolom i upravljanjem. Što se odnosi na vodu ona postaje još više aktuelnija ako se ima u vidu činjenica da postoji jaka tendencija za potpuno uništenje postojećih brana i njihovih akumulacija, respektivno. Ne treba nikad zaboraviti da se bez ovakvih objekata teško može zamisliti život na planeti Zemlji, imajući u vidu da na njoj živi šest milijardi ljudi, sa tendencijom da se taj broj duplira u narednih sto godina.

Voda je jedinstveni resurs na zemlji, koja se ne može sazdati veštačkim putem. Rezerve ovog resursa strogo su limitirane, pogotovo slatke vode. Svetska statistika govori da planeta Zemlja raspolaže sa sledećim resursima vode, koji se obnavljaju prirodnim putem [1].

- Od ukupne količine vode 97.5% zauzima slana voda u morima i okeanima, koja sa svoje strane pokriva 70% površine na planeti.
- Slatka voda zauzima prostor od svega 2.5%. Međutim, od te količine neupotrebljivi su čak 2.24%.
- Znači, na raspolaganju čovečanstvu, uključujući životinski i biljni sveta, ostaje svega 0,26%.
- Korisna količina vode u apsolutnom iznosu iznosi 12500 km³ i ista se sastoji od 9000 km³ istečne vode u rekama, te od 3500 km³ akumulirane vode na već izgrađenim akumulacijama.
- Pored gornje količine od 12500 km³, u prirodnim jezerima, glečerima i sličnim prirodnim rezervoarima nalazi se još 120 000 km³ akumulirane slatke vode, koja se za sada ne koristi.

Navedeni podaci ukazuju na činjenicu da, i pored limitirane količine slatke vode u prirodi, još uvek postoje potrebe za iskoriscenje i preostale raspoložive količine.

2. KRATAK ISTORIJAT POSTOJANJA BRANA

Za period od preko 5000 godina brane služe da akumuliraju i obezbeđuju potrebnu količinu vode u vremenu kada od nje postoji višak i da istu tu količinu stave na raspolaganju u periodima kada je nema dovoljnu u protočnom stanju kroz vodotokove. Tako, brane postaju integralni deo tehničke infrastrukture u celom svetu i konsekvntno, one životni standard podižu na višem nivou, omogućavajući svima nama veći broj neophodnih i korisnih stvari.

Polazeći od potrebe da se obezbedi ovaj prirodni proizvod ljudi su od davnina počeli da ga koriste na način da im bude od najveće koristi, a to je da se akumulira i sačuva kada ga ima u izobiliju i da ga koriste kada je najneophodnije. Tako, sa razvojem prvih modernih civilizacija, javljaju se i prve brane i akumulacije. To se može videti iz podataka iznetih u tabeli br. 1, koji su pozajmljeni iz literature, citirane pod brojem [2].

Tabela br. 1 Brane i akumulacije vode iz predhrišćanske ere

R. broj	Izgrađena (god.)	Zemlja	Ime brane	Tip brane	Funkcija	Namena
1	3000	Jordan	Jawa	gravitaciona	akumulacija	vodosnabdevanje
2	2600	Egipat	Kafara	nasuta	akumulacija	zaštita
3	2500	Bangladeš	Gabarbangs	nasuta	akumulacija	zaštita
4	1500	Jemen	Marih	nasuta	derivacija	irigacija
5	1260	Grčka	Kofini	nasuta	derivacija	zaštita
6	1250	Turska	Karakuyu	nasuta	akumulacija	vodosnabdevanje
7	950	Izrael	Shiloah	?	akumulacija	vodosnabdevanje
8	703	Irak	Kisiri	gravitaciona	derivacija	irigacija
9	700	Meksiko	Purson	nasuta	akumulacija	irigacija
10	581	Kina	Anfangfang	nasuta	akumulacija	irigacija
11	370	J. Agrika	Panda	nasuta	akumulacija	irigacija
12	325	Sudan	Musawarat	nasuta	akumulacija	vodosnabdevanje

Poštujući ove vrlo važne documentovane podatke, a nastojeći da se ublaži nedostatak vode, posebno u zemljama u razvoju, trend za izgradnju brana i vodnih akumulacija ne prestaje već, naprotiv, isti dobija na intenzitetu. To se može potvrditi faktom da su momentalno u svetu, prema kriterijumima Međunarodne komisije za velike brane (ICOLD), u upotrebi ni manje ni više nego 36000 velikih brana. Ovaj broj iz godine u godinu rapidno se povećava. Podaci Svetske banke za obnovu i razvoj (WBRD) nedvosmisleno govore da se samo u periodu 1997-99 godine razvija intenzivna aktivnost izgradnje novih brana, raspoređenih u sledećim zemljama [8].

Tabela br. 2 Aktivnost u izgradnji velikih brana - 1997-1999 godina

Redni broj	Zemlja	Brane u izgradnji	Redni broj	Zemlja	Brane u izgradnji
1	Indija	650	8	SAD	36
2	Kina	303	9	Španija	31
3	Turska	236	10	Rumunjska	29
4	J. Koreja	145	11	Južna Afrika	18
5	Japan	107	12	Zimbabve	13
6	Iran	69	13	Indonezija	10
7	Bazil	41	15	Ostale	51
Ili ukupno brane u fazi izgradnje:					1739

3. DALI IOLE POSTOJE NEGATIVNOSTI KOD BRANA?

Osvrnimo se sada malo na naslovu ovog neobičnog teksta. Izgleda, svakako, apsurdno i paradoksalno da jedan pretsednik nacionalnog komiteta za velike brane nastoji da brani stav i da daje obrazloženje o tome dali su brane potrebne ili ne. Međutim, to naslaže otpor prema ovim objektima, koji se vrlo organizovano odvija i nepotrebno zauzima veliki zamah. Taj otpor koordinira se preko ad hoc formirane Svetske komisije o branama (World Commission on Dams – WCD), organizacije koja egzistira pod kapom Svetske banke za obnovu i razvoj i koja raspolaže sa ogromnim finansijskim sredstvima za pokretanje velike propagandne mašinerij. U svome motu pod nazivom "Pročišćavajući svet od znanja o branama" (Distilling a World of Knowledge on Dams) ova Komisija naširoko agitira svoju propagandu protiv velikih brana i akumulacija, podupirajući to samo sa njihovim negativnim stranama, odnosno celosno ignorirajući koristi od njih i ne pominjajući šta ovi objekti znače za civilizaciju ovog sveta. Indikativna je činjenica da pokret protiv velikih brana dolazi baš sa strane razvijenih zemalja, mada ne postoji ni jedan jedini podatak da je neka brana u nekoj od tih zemalja demolirana, kao primer u korist ove antipropagande.

U vezi sa onim što je već rečeno, još jednom smo dužni da potenciramo da u akciji rušenja brana, koju sprovodi već pomenuta Komisija, ide se u tu krajnost da se pokreće jaka agitacija ne samo da se u svetu ne grade nove velike brane, već nastoli se, pomoću intenzivne agitacije, da se ruše postojeće. Nakratko, oni to čine potenciranjem sledećih pitanja-problema, stavljajući pod lupom kritiku, citiramo, "Koliko se opterećuje društvo izgradnjom jedne velike brane sa odgovarajućom akumulacijom i to ne samo sa aspekta finansijskih ulaganja već mnogo šire".

Baš zbog ove činjenice nalaže se potreba da se obrati pažnja ka ovom vidu kapitalnih inženjerskih objekata generalno, te da se obrazlože na objektivan način njihove uloge bilo da su one pozitivne ili pak, negativne. Nastojimo da ovo razmotrimo analizirajući sve faktore na način kako što sledi u nastavku teksta. Već spomenuta Svetska Komisija za Brani (WCD) obratila se ICOLD-u na neposredan način i inženjerskoj asocijaciji njenih članica, odgovarajućih nacionalnih komiteta, na posredan način sa niže citiranim argumentima, koji se mogu smatrati kao hendikep za brane:

- Svake godine milioni ljudi u svetu prinuđeni su da napuste svoje domove zbog izgradnje velikih brana. Mnogi od tih ljudi se ne zbrinjavaju uopšte, a oni ređi, koji su nekako zbrinjani, teško se prilagođavaju u novim uslovima življenja. U mnogim slučajevima ili ne postoji kompenzacija gubitaka, ili, ako iole postoji, ona je neadekvatna.
- Sudar brana sa stanovništvom, koje živi nizvodno od nje, često puta je snažan i nije objašnjen na adekvatan način u fazi planiranja i projektovanja velikih brana.
- Velike brane izazivaju snažan efekat na rekama, vodotocima i vodnim ekosistemima, a i napori za njihovo ublažavanje postižu mali ili ograničeni uspeh.
- Tamo gde postoji varijacija sa jednog na drugi projekat, značajni deo velikih brana postižu kratke fizičke i ekonomske ciljeve sa enormnom tendencijom povećavanja njihovog koštanja.

Dalje, u produžetku ovog teksta, uzećemo za slobodu da u odnosu na ova pitanja i probleme iznesemo naša objektivna gledanja, pri tome ne negirajući ni one momente, koji ne idu u prilog ovim objektima.

➤ *Brane i okolna sredina*

Sudar brana i akumulacija sa okolnom sredinom je nepobitan i neizbežan. Zemljište se poplavljuje, stanovništvo se raseljava, kontinuitet adekvatnog života duž reka se prekida, dok njihov tok se modificira. Često, količina vode se reducira zbog izgradnje derivacionih objekata. Znači, inženjersko društvo koje se bavi sa planiranjem, projektiranjem, građenjem i održavanjem brana, treba da ima uvek u vidu kako pozitivne tako i negativne strane ovog problema. Na taj način se uvek analiziraju ove osobine i pravi se balans za izbor optimalnog rešenja sa tehničkog, sigurnosnog i ekonomskog aspekta.

Još jednom se moramo osvrnuti problemu dali su savremenoj civilizaciji potrebni objekti tipa brana i akumulacija. Povećana zabrinutost za prirodni ambijent i za njegovo dovođenje u opasnost javlja se kao jedan od najneophodnijih razvojnih programa u dvadesetom veku nove ere. Ovo je regulirano i u sledećim vrlo važnim dokumentima:

- *Univerzalna Deklaracija OUN za Ljudska prava (1948);*
- *Deklaracija OUN za prava Razvoja (1986);*
- *Deklaracija iz Ria za Okolinu i Razvoj (1992);*

4. KORIST OD BRANA

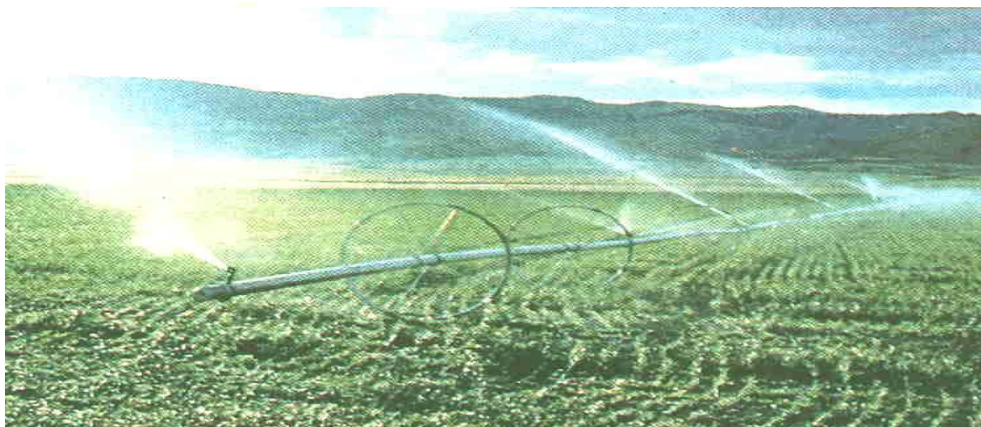
Sada treba dobro obrazložiti problem dali su ljudskoj civilizaciji potrebne brane, ili, polazeći od akcije Svetske komisije za brane (World Commission of Dams – WCD) da prihvatimo sugestiju ne samo da se ne grade nove već da se sruše postojeće.

Na ovaj provokativni izazov sa strane WCD, Međunarodna komisija za velike brane (ICOLD) nije mogla ostati indiferentna, već morala je da reagira na ovu akciju na adekvatan način i sa kontra argumentima. Tako, u svom nastupu preko publikovanog dokumenta "Brane i okolina" ("Dams and the Environment") ova Komisija brani svoju poziciju, odgovarajući izazovu na način što razmatra sve aspekte i donosi odgovarajuće odluke. Ove odluke, sa svoje strane, postaju neka vrsta pravila za njene članove, preko odgovarajućih Nacionalnih komiteta. Ovo se nakratko može rezimirati na način kao što sledi.

Nedvosmisleno je da je čovečanstvu neophodno potrebno da produži sa izgradnjom novih brana i to sa tendencijom intenziviranja ove aktivnosti. To se može potvrditi pomoću sledećih pokazatelja. Dobre karakteristike brana i vodnih akumulacija možemo ilustrirati preko jedne male serije odabranog teksta dopunjenog sa odgovarajućim fotografijama:

5. EKONOMSKI RAZVOJ:

➤ Navodnjavanje:

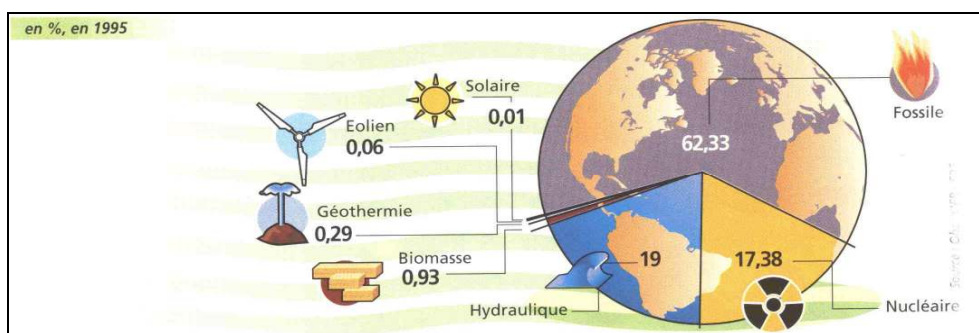


Sl. 3 - Brane u svetu obezbeđuju proizvodnju hrane od 20%

Brane u svetu daju svoj doprinos u proizvodnji hrane u visini od 18%-20% od ukupno proizvedene godišnje količine . U tom cilju polovina svetskih brana je izgrađena za potrebe navodnjavanja. U ovoj grupi spada i potreba vode za razvoj stočarstva.

➤ Proizvodnja energije:

Od ukupne proizvodnje energije u svetu hidroenergiji pripada 19%. To, svakako, omogućavaju izgrađene velike brane. U nekim zemljama, kao na primer u Brazilu, hidroenergija igra dominantnu ulogu.



Sl. 4 - Tipovi izvora za proizvodnju energije

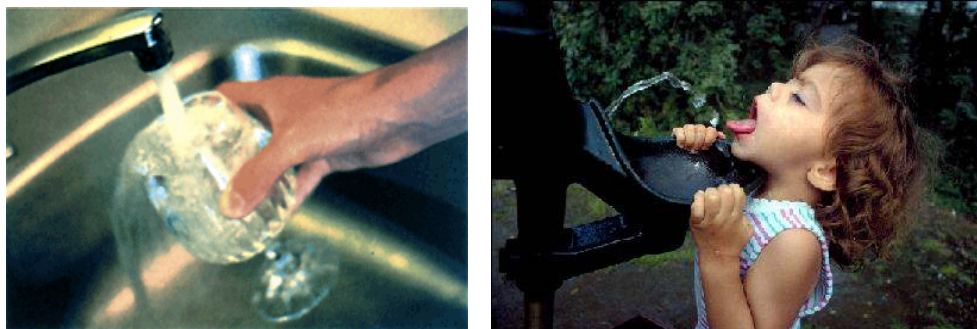


Sl. 5 - Brana Itaipu - (Brazil). Energetska instalisana snaga od 12500 kW

6. BLAGOSTANJE ČOVEČANSTVA

➤ Vodosnabdevanje:

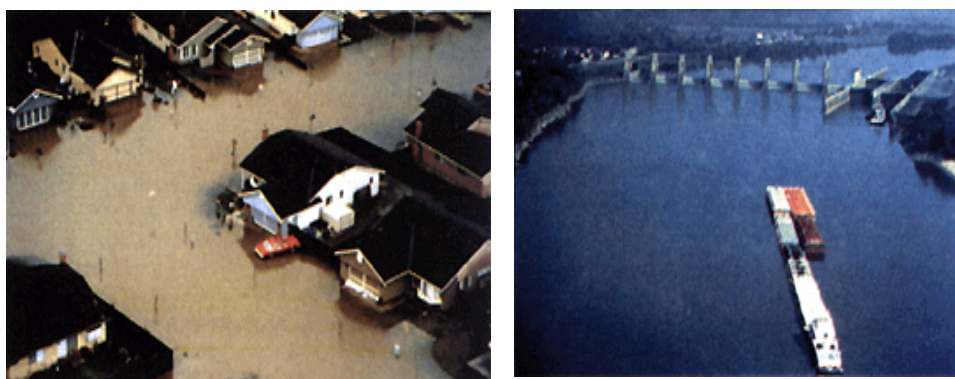
Globalni pokazatelji, gledano u svetskim razmerama, uokazuju na činjenicu da 12% od ukupnog broja izgrađenih brana ja namenjeno je isključivo potrebama snabdevanja stanovništva sa pitkom i higijenskom vodom.



Sl. 6 Snabdevanje stanovništva pitkom i higijenskom vodom.

➤ Kontrola i zaštita od poplava:

Od svih velikih brana u svetu 13% namenjeno je potrebi za zaštitu od poplava i za stavljanje istih pod sigurnon kontrolom.



Sl. 7 - Mere za zaštitu od poplava

➤ Unapređenje plovnosti u rekama i vodotocima



Sl. 8 - Uređenje plovidbe na reci Thames-i (Velika Britanija)

7. PROCES DONOŠENJA ODLUKA:

Briga za okolinu, uključujući prirodne uslove i socijalne aspekte, treba da bude manifestirana još u toku prvih koraka planiranja i da produži kroz sve faze projektovanja i implementacije, kao i za vreme celog životnog veka projekta.

8. BAZA PODATAKA:

Iscrpna ocena sudara sa okolinom treba da postane standardna procedura, te da se sprovodi znatno ranije pre izrade glavnog projekta i početka gradnje objekta.

9. EKONOMSKA ANALIZA:

U fazi donošenja konačnih odluka svaki projekat brane treba da bazira na jedinstvenu realnu ekonomsku analizu. Bilo kakva tendencija da se uveličavaju koristi i da se minimiziraju negativne strane treba da se striktno izbegava. Takođe, ovo nalaže da se uzima u obzir i neminovni sudar sa prirodnom i socijalnom sredinom.

10. NEOPHODNO PRIHVAĆANJE OPCIIJA:

U fazi planiranja nekog projekta brane, problem treba proučiti i sa aspekta postojanja alternativnih rešenja, koja bi mogla da ispune različite namene projekta brane sa najnižim stepenom koštanja za društvo i okolinu.

11. RASELJAVANJE U FUNKCIJI RAZVOJA:

Raseljavanje stanovništva sa terena budućih akumulacija mora da rezultira u čisto poboljšanje njegovog životnog standarda. Ljudi koji su direktno pogođeni projektom uvek treba da prvi osele blagodete istog, umesto da budu zaboravljeni i pogođeni zbog blagodeta drugih. U ovakvim slučajevima osobito treba pokazati brigu za stanovništvo, naročito ako je, često puta, reč za ranljive etničke grupe.

12. JAVNO PRIHVAĆANJE PROJEKTA:

Sudar projekta za razvoj vodnih resursa sa lokalnim stanovništvom može da postane značajan kako za vreme izgradnje tako i za vreme održavanja objekta. Svi projekti treba da budu isplanirani, implementirani i upravljavani sa jasnom i konsenzualnom saglasnošću zabrinute javnosti.

13. OSMATRANJE I PRILAGODLJIVO UPRAVLJANJE SA BRANAMA:

Kompletna post-građevinska revizija celog projekta, ili barem analiza performansi istog, mora da bude sprovedena sa aspekta sagledavanja i savladavanja većeg sudara sa okolinom. Čim projekat postane operativan, njegov sudar sa okolinom treba da bude procenjivan u striktno određenim i dobro odabranim intervalima.

14. ICOLD TREBA DA PRODUŽI SA ODRŽAVANJEM INICIJATIVE

U SMISLU:

- Nacionalne grupe da prošire inicijativu uključivanjem civilnog društva, naučnike-ekologe i pogođene grupe stanovništva.
- Da se uspostave radni programi na nacionalnom i regionalnom nivou sa ciljem da se koristi i revidira iskustvo iz prošlosti.
- Da se proširi Registar Brana ICOLD-a, uključivanjem u evidenciji i socijalne i ekološke parametre.
- Drski i neosnovani napad Svetske komisije za brane (WCD) na postojeće i buduće velike brane i akumulacije ne nudi nikakva alternativna rešenja,

već se svodi samo na opšti kritikizam i ništa više. Na ovu akciju Međunarodna komisija za velike brane (ICOLD) odgovara krajno smirenim i učtivim načinom. Ovo se postiže uključivanjem u svojoj politici sve kritičke osvrte u vidu nepisanih, ali opšte prihvaćenih pravila, koja treba da se poštuju kod korišćenja postojećih i budućih objekata ove vrste.

- Iz svega što je dosada rečeno teze WCD o štetama brana svode se uglavnom na problem raseljavanja stanovništva i na potapanje obrađivih površina, kreiranjem novih akumulacija. Koristi koje stiže društvo ovim objektima se ignoriraju i čak i ne pominju u njihovim obraćanjima javnosti. Zbog toga, smatramo za potrebno da se osvrnemo ka tim problemima i sa našim sopstvenim gledištem.



Sl. 9 -Razvoj rekreativnog sporta i turizma u jednoj veštačkoj akumulaciji

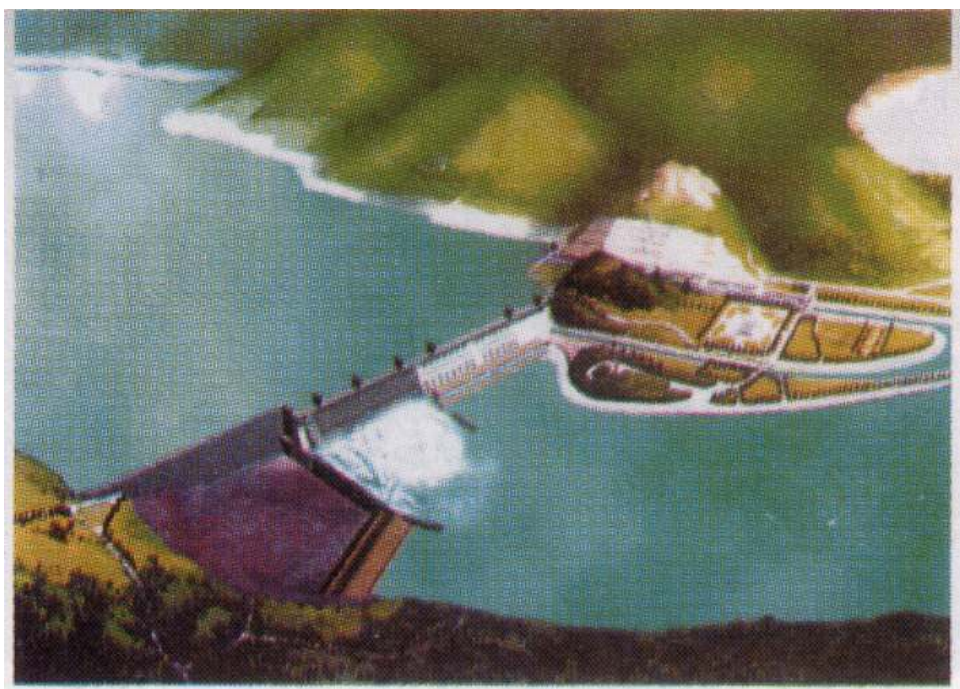
Svetske statističke analize ukazuju na činjenicu da u narednih 50-tak godina, odnosno oko 2050 godine, stanovništvo planete Zemlje će se povećati za 50% čime će dostići famoznu cifru od 9 milijardi ljudi. Od tog broja oko 7.5 milijardi živeće u zemljama u razvoju, ili jasnije rečeno u nerazvijenim zemljama. Ovoj ogromnoj ljudskoj populaciji voda će postati neophodna (nasušna) potreba, samo da zadovolji svoje biološke potrebe za pitku vodu i proizvodnju hrane. Sa druge strane poznato je da oko 75% protočne vode kroz rečna korita ne nalazi se u pravom vremenu i na pravom mestu. Brane, pak, sa svojim akumulacijama izravnjavaju ovaj nedostatak. Momentalno, prema kriterijuma ICOLD-a, u svetu egzistiraju oko 45000 velikih brana, a za zadovoljavanje pomenute više potrebe potrebno je izgraditi ni manje ni više nego oko 30000 novih. Aktuelni pretsednik ICOLD-a Mr. C.V.J. Varma, u svom inauguracionom govoru istakao je podatak da samo u negovoj rodnoj zemlji Indiji potrebno je izgraditi oko 7000-8000 novih velikih brana sa ciljem povećati kapacitet akumulirane vode od sadašnjih 174 milijardi m³ na 650 milijardi m³ za potrebe od pitke vode, proizvodnju hrane i energije itd. [4]. Kreiranje uslova za rekreaciju i zaštitu okoline takođe je prioritet budućih planera i graditelja brana.

Isticanje dobrih strana izgradnje velikih brana ilustriraćemo preko impozantnog projekta "Tri Klisure" ("The Three Gorges Project") na reci Yangtze u N.R. Kinu, što obuhvata celu nizu različitih objekata. To je svakako najbolji

primer iz svetske prakse.

Da našu pažnju usmerimo sada tom projektu i to ne toliko ka njegovoj tehničkoj već ka socio-ekonomskoj strani. Sa ovim projektom rešavaju se mnogi važni problemi sa ekonomsko-socijalnog aspekta, a takođe nastaje i veći broj neprijatnih momenata, ali o tome kasnije. Sada, nabrojimo tehničke karakteristike ovog projekta. Glavni objekti ovog sistema su sledeći:

- Zapremina akumulacije: 39.3 milijardi m³;
- Ukupna veličina pregradnog mesta: 15.28 km²;
- Brana sa njenim pratećim objektima;
 - Tip brane: Betonska-gravitaciona, duga 2309 m., visoka 185 m.;
 - Prelivi: dužina 483 m.; prelivni kapacitet 102500 m³/sec;
- Hidroelektrana;
 - Proizvodne jedinice energije 26, instalirana snaga 18200 MW;
 - Godišnja proizvodnje energije: 84.7 TWh;
- Objekti za navigaciju;
- Procenjeno koštanje objekta: oko 25 milijardi USD;
- Rok izgradnje: 17 godina;
- Navigacioni objekat: dve paralelne prevodnice sa plovnošću i za najveće plovne objekte;
- Krajni rok kompletiranja celog kompleksa objekata 2009 godine;



Sl. 10 – Izgled najvećeg građevinskog objekta u novoj istoriji čovečanstva

Pored navedenih karakteristika ovog projekta treba naglasiti i činjenicu da sa njegovim kompletiranjem poboljšava se i saobraćajna infrastruktura regiona izgradnjom više kilometara novih puteva i železnica, mostova, tunela i td. U okviru projekta sazdaje se i nov kulturni, obrazovni i turistički kompleks, budući da za ove nove potrebe izgrađeni su ili se grade odgovarajući infrastrukturni

objekti. Time se kompleks stiće novim korisnim osobinama od kojih nabrojaćemo sledeće:

- *Kontrola od poplava;*
- *Reduciranje nanosa, poznat kao vrlo ozbiljan problem kineskih reka;*
- *Proizvodnja hidroenergije;*
- *Proizvodnja hrane na nizvodnim plodnim površinama;*
- *Razvoj saobraćajne infrastrukture u regionu;*
- *Razvoja turizma, kulturnih i rekreacionih delatnosti.*

Treba svakako naglasiti i negativne strane ovog projekta. Kao najozbiljniji negativni efekat ovog kompleksa javlja se potreba za iseljenjem i da im se obezbedi smeštaj i ekonomski prosperitet stanovništva od blizu milion i dvesta hiljada ljudi. Sve ove aspekte su razmatrani u okviru projekta i dosta uspešno se rešavaju u toku realizacije. Međutim, ostaje dilema kako ovaj ogroman broj stanovništva prihvata ovu akciju i to više sa aspekta psihološke i sociološke, nego sa ekonomske reakcije.

Da usmerimo sada našu pažnju ka uslovima u kojima se nalazi naša država, Republika Makedonija. Po gustini izgrađenih velikih brana u odnosu na ukupan broj stanovnika Makedonija spada u red najrazvijenijih zemalja. Međutim, daleko smo od situacije da problem potrebe za vodom bude prevaziđen. Kada su u pitanju vodni resursi koji nam stoje na raspolaganju ne možemo da se pohvalimo, budući da su nedovoljni i loše raspoređeni u vremenu i prostoru. Znači, ne preostaje nam ništa drugo osim da produžimo i intenziviramo aktivnost za dalji razvitak naše vodne privrede. U toku dosadašnjeg planiranja, projektovanja i izgradnju velikih brana i mi se suočavamo sa problemima, koji su već navedeni i analizirani u ovom prilikom. Svež je primer sa hidrisistemom "Kozjak" i problemima investitora, JP "Elektrostopanstvo na Makedonija", u nastojanju da reši najbezbolnije problem eksproprijacije zemljišta, te raseljavanje pogođenog dela stanovništva. Sa sličnim ili istim problemima bili su suočeni i investitori izgrađenih sistema, kao što su "Mavrovo", "Špilje", "Globočica", "Tikveš", "Streževo", "Kalimanci", "Turija" i td., koji su rešavani na ne toliko bezbolan način, no ipak uspešno.

Korist od izgrađenih velikih brana u Makedoniji je neosporna, a to se najbolje može ilustrirati sa nekoliko niže nevedenih činjenica. Od ukupno raspoloživih agrarnih površina u našoj državi, koje iznose oko 667000 hektara, mogu se praktično navodnjavati oko 400000 hektara. Do sada izgrađeni derivacioni sistemi u Makedoniji omogućavaju navodnjavanje oko 164 000 hektara [8]. Prinosi od površina pod vodom su višekratno veći u upoređenju sa onima gde nema mogućnosti navodnjavanja. Najspektakularnija u ovom smislu je proizvodnja grožđa u regiji Tikveš, te pirinča u poljima oko Kočana.

Što se tiče proizvodnje električne energije pomoću postojećih hidroelektrana ono zauzima 30% od ukupnog kvantuma elektroenergije kod nas. Sa druge strane, iskoriscenje hidroelektričnog potencijala iznosi 24% od ukupno raspoloživog. U obezbeđenju zdrave vode za piće i higijenske potrebe stanovništva hidrisistemi "Lipkovo" i "Glažnja" su isključivi, no nedovoljni snabdevači Kumanova i okolnih naseljenih mesta, dok "Turija" i "Streževo", kao višenamenski objekti, nadopunjavaju potrebe Strumice i Bitole. Svedoci smo činjenice da ponos makedonskog neimarskog inženjerstva, hidrisistem

"Mavrovo", mada je predimno namenjen za proizvodnju hidroenergije, odigrao je i još uvek igra vodeću ulogu u razvitku turizma i rekreacije kod nas, a time i za ukupan razvoj privrede u tom pasivnom kraju naše države.

Prema tome svesni smo činjenice da izgradnja velikih brana izaziva, sa jedne strane izvesne štete lokalnom stanovništvu u smislu eksproprijacije zemljišta i neminovnog napuštanja rodni ognjišta, ali sa druge strane koristi od ovih objekata, gledano šire, je višekratno veća od štete. Da je to tako poduprećemo činjenicom da kašnjenje sa izgradnjom hidrosistema "Lisiče" u Velesu, i nepočetak gradnje hidrosistema "Zletovica" u istočnom delu Makedonije, dovodi do toga da dvesta hiljada ljudi mašta svakog leta da dođu do čaše čiste pitke vode. Pri tome nemamo nameru da potenciramo i ostale koristi od ovih sistema.



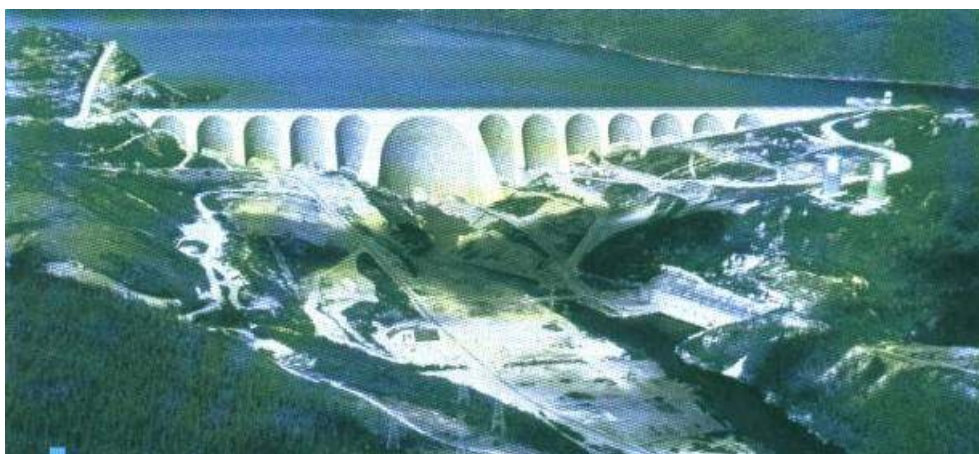
Sl. 11 Kameno-zemljana brana "Globočica" – Makedonija, H=98 m

Da se na kraju opet navratimo famoznoj dilemi, koja je izneta u naslovu ovog kratkog teksta. Pri tome želimo da naglasimo činjenicu da kod nas u Makedoniji ne postoji nikakva dilema. Naš stav je kristalno jasan. To nije stav samo našeg inženjerskog bratstva, već zauzima oblik manifesta celog našeg društva, a to se može izneti u sledećoj rečenici:

"Ne samo da ne stojimo iza stava Svetske komisije za brane (WCD) da se ne grade nove velike brane i da se eliminiraju postojeće, već, naprotiv, da se intenzivira razvoj ove delatnosti sa ubrzavajućom tendencijom za poboljšanje blagodeta svih ljudi na svetu, a i kod nas".

Mi, inženjeri iz Makedonije, znamo kako da planiramo, projektiramo, gradimo i kvalitetno održavamo velike brane i akumulacije voda, pri tome obezbeđujući punu sigurnost nizvodnog stanovništva bez obzira na kakve ekstremne uticaje mogu biti izloženi ovi objekti.

Ovo izlaganje o ulozi i koristi od velikih brana i vodnih akumulacija, kao što se vidi, nadopunjeno je sa jmalom serijom fotografija sa raznih brana u svetu, koje po svojoj monumentalnosti spadaju među najkreativnije tvorevine ljudskog uma u sferi građevinske umetnosti i predstavljaju krajni domet u graditeljskoj tehnologiji. Naslovi ispod svake slike su po izboru autora ovog teksta, pa se unapred izvinjavamo ako nisu najadekvatniji.



Sl. 12 - Brana Daniel Johnson (H=214 m Kanada). Skulptura u građevinarstvu

15. NEŠTO KAO ZAKLJUČAK

Završetak ovog izlaganja zaokružićemo parafrazirajući misao doskorašnjeg generalnog sekretara ICOLD-a gospodina Jacques Lecornu [1] da ne samo što ne treba rušiti postojeće brane već, naprotiv, njih treba duplirati. To je jedini način da se eliminiira glad stanovništva u zemljama u razvoju i da se stvore uslovi za nesmetanu egzistenciju životinjskog i biljnog sveta, kao i za poboljšanje životnog standarda ljudskog roda, gledano generalno. Ovu plemenitu aktivnost trebalo bi da vode Nacionalni komiteti za velike brane, u tesnoj koordinaciji sa Međunarodnom komisijom za velike brane-ICOLD. U našoj državi postoji nacionalni komitet, naslovljen kao *Makedonski komitet za golemi brani (MKGB)*, koji je punopravan član ICOLD-a, sa kontinuitetom članstva od 1950 godine.



Sl. 13 - Brana Katze, (Austrija) – elegancija u geometriji objekta



Sl. 14 - Vodopadi na reci Iguassu - Foz do Iguassu - (Brazil) kod brane Itaipu

LITERATURA

1. ICOLD Paper (2000): "DAMS AND THE ENVIROMENT". Special Edition of ICOLD, Paris, France
2. M. Turfan Editor (1999): "BENEFITS OF AND CONCERNS ABOUT DAMS – CASE STUDIES". Proc. of Workshop on the Occasion of the 67th Annual Meeting of ICOLD in Antalya, TRCOLD, Ankara, Turkey.
3. China Yangtze Three Gorges Project Development Corporation (2000): "PROCEEDINGS OF CHINA YANGTZE THREE GORGES PROJECT". Beijing, P.R. China.
4. INCOLD (2000): "INCOLD NEWS". Editor S.P. Kaushish, Vol. X, No. 2, July Septembre, 2000, New Delhi, India.
5. J.V.P "Makedonsko vodostopanstvo" (1999): "WATER MANAGEMENT OF MACEDONIA". Editor: Stanislava Dodeva, Skopje, Makedonija
6. Jacques Lecornu, ICOLD Secretary-General (2002): "NECESIDAD DE LAS PRESAS EN EL MUNDO". VII JORNADAS ESPANOLAS DE PRESAS. Zaragasa, Spain.
7. Alessandro Palmieri, Sr. Dam Specialist (1999): "DAM PROJECT PORTFOLIO". The World Bank fo Reconstruction and Development, Washington DC, USA.
8. International Commission of Largre Dams - ICOLD, Paris - The Web Site: www.icold-cigb.org
9. Trifun Paskalov, predsednik MKGB: "LIČNA ARHIVA AUTORA"