

PROCENA SIGURNOSTI BRANA

Ljubodrag SAVIĆ

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

Dragan SAVIĆ

Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Eksiteru, Velika Britanija

REZIME

U ovom radu se razmatraju savremene svetske metode za procenu sigurnosti brana, sa posebnim naglaskom na metodi upravljanja rizikom, koja je trenutno najsveobuhvatniji postupak za procenu rizika od brana. Objasnjeni su osnovni pojmovi i načela ove metodologije, prikazana svetska iskustva u primeni i ukazana je potreba da se ovakav postupak uvede i u našu praksu.

Ključne reči: Sigurnost brana, rizik, hazard, procena rizika, analiza rizika, upravljanje rizikom.

1. UVOD

Visoke brane spadaju u građevine koje sa sobom nose rizik. Ma koliko bio "siguran" projekat i izvođenje brane, voda u jezeru iza brane uvek će predstavljati potencijalnu opasnost za nizvodno područje, a posledice koje mogu nastati naglim izlivanjem vode i nanosa iz jezera katastrofalne. Sagledavanje ove opasnosti se često svesno ili nesvesno prikriva. Na primer, tradicionalni pristup dimenzionisanja preliva korišćenjem verovatno maksimalnog protoka (VMP) pogrešno sugeriše da taj protok ne može biti prevaziđen, odnosno da nema rizika od preliivanja brane. Međutim, sa novim podacima ne retko se povećava i vrednost VMP-a (Erčić 2002), pa neizvesnost i rizik očigledno postoje. Ovo nameće pitanje ocene sigurnosti brane, kao značajne karike u postupku projektovanja novih i revitalizacije postojećih brana.

Uzroci koji mogu da izazovu opasnost od rušenja brane su različiti (poplave, zemljotresi, kvar uređaja, blokiranje prelivnog polja, pogrešna procena osobina materijala u temelju ili telu brane i sl.), a takođe i

mehanizmi rušenja, koji zavise od tipa brane, kvaliteta projekta i izvođenja. Čim se prihvati činjenica da brana nije neranjiva, nameće se potreba za sagledavanje svih *realno mogućih uzroka i mehanizama rušenja*, po mogućstvu sa određenim *verovatnoćama* njihovih ostvarenja. Takođe, za razmatrane uzroke i mehanizme rušenja, trebalo bi što tačnije *proceniti i vrednovati štete-posledice* koje se mogu očekivati usled rušenja. Verovatnoća koja opisuje rušenje brane, uz procenu posledica od rušenja, može da pruži ocenu *rizika od brane*, a društvo bi moralo da se opredeli za *nivo rizika koji je spremno da prihvati*. Ako je *rizik od brane* preveliki-neprihvatljiv, neophodno je nešto preduzeti da bi se rizik smanjio i doveo u *prihvatljive granice*.

Osnovni motiv ovog rada je da se problematika sigurnosti brana približi inženjerima i donosiocima odluka. Cilj je:

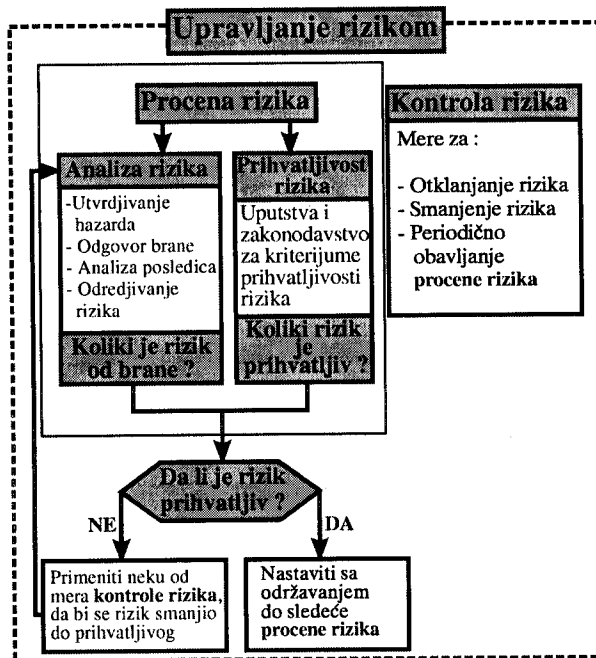
- Da se *objasne postavke* metode *upravljanja rizikom*, kao najsavremenije metodologije koja se u svetu primenjuje u oceni sigurnosti brana.
- Da se prikažu *svetska iskustva* iz oblasti sigurnosti brana.
- Da se razmotre *prednosti i mane* raznih pristupa ocene sigurnosti brana.
- Da se sagledaju potrebe i mogućnosti primene *upravljanja rizikom* u oceni sigurnosti brana u našim uslovima.

2. OSNOVE UPRAVLJANJA RIZIKOM

Prema opšte prihvaćenoj definiciji ICOLD-a, *upravljanje rizikom* je *sistematska primena upravljачke politike na pronalaženju, analizi i proceni rizika, kao i na primeni mera za otklanjanje, smanjenje i nadgledanje rizika*. "Ako je moguće proceniti *verovatnoću nekog budućeg događaja* koji ugrožava sigurnost brane (na primer

poplave, zemljotresa, kvara uređaja za podizanje ustave i sl.) i ako je moguće proceniti *verovatnoću oštećenja brane* koja nastaje usled razmatranog događaja, kao i *posledice* koje se mogu očekivati usled tog oštećenja, onda je moguće sagledati *rizik*, a rizik je dobar putokaz za donošenje odluke" (ICOLD 1999).

Pojmovi *hazarda* i *rizika* imaju sasvim različita značenja u različitim oblastima primene, pa će se prvo ukazati na ove razlike. (U svakodnevnoj upotrebi ova dva pojma najčešće imaju isto značenje.) U terminologiji ICOLD-a pod *hazardom* se podrazumevaju *moguće posledice* koje nastaju usled rušenja brane (ljudske žrtve, materijalne štete), dok u **upravljanju rizikom** hazard označava *moguću opasnost* po branu (poplavni talas, zemljotres, kvar na uređaju za podizanje ustava).



Slika 1. Šema upravljanja rizikom

Kod ICOLD-a pod *rizikom* se podrazumeva *verovatnoća* događaja (rušenja brane, ili sl.), dok u **upravljanju rizikom** rizik predstavlja zajedno: *verovatnoću* i *posledice* od rušenja brane. Prema ovoj drugoj terminologiji, rizik se obično pretstavlja kao **produkt verovatnoće i posledice** (na primer, verovatnoća proloma \times godišnje materijalne štete od plavljenja), ili kao dijagram verovatnoća - posledica (Erčić 2002, ICOLD 1999). Upravljanje rizikom omogućava da se

rizik sagleda i proceni njegova prihvatljivost za društvo i vlasnika objekta, pa da se na osnovu ove procene sagleda kakve mere bi trebalo preduzeti kako bi se rizik otklonio, ili smanjio do prihvatljivih granica. Aktivnosti koje obično sačinjavaju upravljanje rizikom predstavljene su šematski na sl. 1.

Procena rizika (Risk assessment) je osnovna karika upravljanja rizikom. Na osnovu podataka o *riziku od razmatrane brane* u razmatranom trenutku i *prihvatljivosti rizika odlučuje se* koja od mera za upravljanje rizikom će se primeniti radi otklanjanja ili smanjenja rizika.

Analiza rizika (Risk analysis) omogućava određivanje **rizika od brane** (sl.1). Prvo se sagledavaju mogući **hazardi** - opasnosti po branu - "**utvrđivanje hazarda**" (poplave, zemljotresi, začepljivanje prelivnih polja, unutrašnja erozija, kvar na uređajima za podizanje ustava, klizanje bokova doline, rušenje uzvodne brane, ratna dejstva i sl.). Za svaki od razmatranih hazarda procenjuje se "**odgovor brane**", pri čemu se što tačnije određuju direktne posledice razmatranog hazarda na stabilnost brane. Sagledavaju se svi *relno mogući mehanizmi rušenja brane* - svi *lanaci* (putanje) događaja koji mogu dovesti do rušenja. Svaki od lanaca predstavlja povezane događaje, od kojih se svakom pripisuje *individualna verovatnoća*. Na kraju lanca se sračunava *ukupna verovatnoća* proloma za razmatranu putanju (na primer, nailazak poplavnog talasa + kvar na uređaju za podizanje ustave + nepredviđeno prelivanje brane + rušenje brane usled erozije nasipa). (Za postupak pripisivanja verovatnoća videti DEFRA 2002 i ICOLD 1999.) Sledi "**analiza posledica**", gde se računa prostiranje poplavnog talasa nizvodno od brane, i procenjuju ljudski gubici, materijalna šteta i ostali efekti koje poplavni talas može da izazove. Konačno, veza između verovatnoće proloma i posledica određuje "**rizik od brane**", što je i rezultat analize rizika. Kao što je napred rečeno, rizik se može prikazati na više načina, najčešće kao proizvod verovatnoće proloma i posledica, ili kao dijagram verovatnoća-posledica. Analiza rizika je obiman i složen posao za koji su potrebniiskusni sgručnjaci (eksperti) različitih profila, počev od hidrotehničara, konstruktera, geotehničara i geologa, do analitičara rizika. Posebno je osetljivo određivanje *odgovora brane* i vrednovanje šteta u okviru *analize posledica*. Veoma je bitno što preciznije opisati posledice rušenja brane. Posledice mogu biti: gubitak ljudskih života, direktne materijalne štete (uništavanje dobara razornim dejstvom poplavnog talasa),

indirektne kratkorčne i dugoročne materijalne štete (uticaj na privredu regiona, zbrinjavanje ugroženog stanovništva, i sl.), posledice koje se ne mogu meriti (uticaj na životnu sredinu, kulturno-istorijske spomenike), niti proceniti (pretpljene patnje).

Prihvatljivost rizika (ili *vrednovanje prihvatljivosti rizika* ili *evaluacija rizika* - Risk evaluation) je postupak kojim se određuje **koliki rizik je prihvatljiv za društvo**. Ovo je deo *procene rizika* koji treba da što potpunije sagleda i proceni odgovor društva (ljudi koji gazduju branom, ljudi čiji su životi neposredno ugroženim branom, i ljudi čiji su interesi povezani sa branom). Posebno osetljivo pitanje je eksplicitno (i kvantitativno) iskazivanje mogućnosti ljudskih žrtava. Važno je razumeti da uvođenje ljudskih života u procenu rizika ne znači smanjivanje pouzdanosti brane (brana će se projektovati i graditi jednako pouzdano kao i do sada), već se samo *ne prećutkuje* činjenica da brana, ma kako sigurno i dobro izvedena uvek predstavlja opasnost za nizvodno područje. U *proceni rizika (analizi i prihvatljivosti)* zasebno se procenjuje rizik od gubitaka ljudskih života, a zasebno rizik od materijalnih gubitaka. Prihvatljivost rizika od gubitaka ljudskih života se najčešće prikazuje preko tzv. *F-N dijagrama*, gde je *F* = kumulativna verovatnoća, a *N* = broj ljudskih života (Bowles 1997).

Kontrola rizika (Risk control) predstavlja skup mera koje na raspolaganju ima Donosilac odluke, a na osnovu kojih se odlučuje o upravljanju rizikom. Ukoliko se pokaže da je rizik od brane prihvatljiv, ne mora se preduzimati nikakva nova mera, dovoljno je nastaviti sa praćenjem (osmatranjem) brane. Ako se ustanovi da rizik od brane nije prihvatljiv, pa ga je potrebno smanjiti u prihvatljive okvire, mere mogu biti različite:

- Popravke i dorade na brani i opremi.
- Preseljenje ugroženog stanovništva i izmeštanje dobara.
- Izrada ili osavremenjavanje sistema za uzbunjivanje stanovništva.
- Osavremenjavanje upravljanja akumulacijom i doobuka posade.
- Osiguranje, i druge.

U postupku *upravljanja rizikom* se *efekti svake od razmatranih mera* (kontrole rizika) vrednuju *ponavljanjem procene rizika*. Odluku o primeni mera donosi *donosilac odluke*, dok je zadatak stručnjaka

(analitičara rizika, ekonomista i inženjera) da pruže što tačniju i nepristrasniju sliku rizika, na osnovu koje će se omogućiti donošenje ispravne odluke.

Ukoliko se upravljanje rizikom primenjuje na veći broj brana (na primer, sve brane u okviru regije ili sliva, ili brane koje pripadaju istom vlasniku), korisno je primeniti takovanu *portfolio analizu*, gde se sve brane tretiraju sa istim nivoom preciznosti i gde su svi kriterijumi prihvatljivosti rizika ujednačeni. Ovakva analiza omogućava da se uporede nivoi rizika na svim razmatranim branama, čime se postiže efikasnije planiranje i raspodela sredstava za umanjene rizika. *Analiza kaskada* je postupak u kome se upravljanje rizikom primenjuje na niz brana koje čine kaskadu akumulacija.

Velika neizvesnost usled nedovoljnog poznavanja mehanizama rušenja i ostalih relevantnih procesa i/ili njihovih parametara dovodi do neizvesnosti krajnjeg rezultata - verovatnoće proloma. (Prema DEFRA (2002) neizvesnost u proceni parametara može da bude i preko 5 puta.) Zbog toga se *upravljanje rizikom* često primenjuje samo kao dopunski alat pri donošenju odluka. Međutim, *procena rizika* upućuje ljude koji su odgovorni za branu na dublje i češće razmišljanje o svom objektu. *Analiza rizika* je odličan način da se upozna objekat i njegovo okruženje u svom realnom stanju, kao i da se njime bolje upravlja - preko nje se može mnogo naučiti o objektu i steći vredna iskustva za naredne objekte (Rettemeier et al. 2000). Takođe se omogućava efikasnije planiranje i usmeravanje sredstva za održavanje objekta.

3. SVETSKA ISKUSTAVA ZA PROCENU SIGURNOSTI BRANA

Slučajevi incidenata i proloma brana pokazuju da je nemoguće ostvariti potpunu sigurnost, pa je opasnost po život stanovništva nizvodno od brane uvek prisutna. Samo u SAD je zbog incidenata na branama od 1970-e do danas poginulo preko 350 ljudi, dok su pojedinačni slučajevi u nekim zemljama odneli mnogo više ljudskih života. Na primer, prelivanje brane Vajont u Italiji je izazvalo 2500 žrtava.

Tabela 1 daje procentualno učešće raznih uzroka proloma brana iz pregleda svetske literature (DEFRA, 2002).

Tabela 1. Učešće raznih uzroka proloma brana u svetu

	Svi tipovi brana		Nasute brane		Betonske
	Middle-brooks (1953)	Charles i Boden (1985)	ICOLD (1995)	Foster et al. (2000)	ICOLD (1995)
Starost brane	Celokupan korisni vek		Posle 5 godina	Posle 5 godina	-
Prelivanje	30%	24%	51%	43%	33%
Prolom uzvodne brane	nije razlikovan		6%	-	-
Unutrašnja erozija tela brane	38%	55%	27%	32%	nije razlikovan
Unutrašnja erozija temelja	-	-	17%	14%	29%
Klizanje	15%	14%	0%	2%	38%
Prateće građevine	-	-	nije dato	4%	nije dato
Ostali	17%	7%	nije dato	5%	nije dato
Ukupno	100%	100%	101%	100%	100%

Primena metoda za *analizu, procenu i upravljanje rizikom* za ocenu sigurnosti i dimenzionisanje brana je sve rasprostranjenije u svetu.

Australija. Australijska komisija za visoke brane (ANCOLD) je 1994-e objavila svoja prva uputstva za procenu rizika (nova uputstva su u pripremi). Najznačajnije postavke ovih upustava su:

- postoji sedam klasa hazarda (kao funkcija broja ugroženih života i klase štete i gubitaka);
- povratni period projektnih (merodavnih) proticaja se određuje na osnovu upravljanja rizikom, ali se takođe daje i alternativa određivanja proticaja tradicionalnim metodama;

Kanada. Kanadsko udruženje za brane je 1999-e izdalo "Uputstva za sigurnost kanadskih brana". Prema ovom uputstvu su zadržane tradicionalne analize sigurnosti brana koje se zasnivaju na koeficijentima sigurnosti.

Nemačka. Zbog federalnog karaktera države, svaka od pokrajina u Nemačkoj ima potpunu kontrolu nad načinom analize sigurnosti brana. Na primer, Rettemeier et al. (2000) u svom članku objašnjava analizu sigurnosti brana u jednoj od pokrajina uključujući i upotrebu F-N dijagrama.

Portugal. Portugalska regulativa se zasniva na proračunu "globalnog indeksa rizika". Ocena ovog indeksa proizilazi iz:

- 11 faktora koji utiču na sigurnost brane grupisanih u *spoljne* (npr. seizmičnost, klizanje bokova doline,

itd), *stanje brane* (stanje konstrukcije, temelja, itd.) i *faktore ljudskog i ekonomskog hazarda*;

- svaki od 11 faktora može imati jednu od 6 vrednosti nivoa rizika, od kojih su neke kvantitativne (npr. verovatnoća prevazilaženja poplavnog talasa), dok su ostale kvalitativne.

SAD. Zbog značajnog broja incidenata na branama u toku sedamdesetih i početkom osamdesetih godina prošlog veka u SAD su sprovedene brojne analize sigurnosti brana. Proces je kulminirao izglasavanjem zakonskog akta "Nacionalnog programa sigurnosti brana" 1996-e godine. Ipak, zbog federalnog karaktera države, u SAD ne postoji samo jedna organizacija zadužena za sigurnost brane već je ta odgovornost podeljena na 23 federalne agencije. Ono što je ipak učinjeno na federalnom nivou je osnivanje "nacionalnog programa praćenja ponašanja brana" na osnovu koga se prikupljaju podaci o ponašanju i sigurnosti brana u celoj državi. Dve najveće federalne agencije u SAD su nadležne za većinu brana u zapadnom (US Bureau of Reclamation, USBR), odnosno istočnom delu države (US Army Corps of Engineers, USACE):

- USBR koristi "Risk Based Profile System" koji se zasniva na popunjavanju formulara i zahteva jedan dan rada iskusnog inženjera. Rizik je definisan kao proizvod *verovatnoće hazarda, verovatnoće neželjenog odgovora brane* (usled hazarda) i *posledice neželjenog odgovora brane*. Hazardi su: statički, hidrološki, seizmički i operativni (prva tri sa težinama 30% a poslednji sa 10%).
- USACE je 1999-e razvio postupak "indeksa stanja" nasutih brana (Condition Rating Procedure) koji

uključuje sistem za rangiranje relativne važnosti različitih vrsta hazarda. Ovaj sistem se zasniva na ekspertskoj proceni indeksa stanja, ali ne koristi verovatnoću događaja.

Velika Britanija. Upravljanje rizikom nije u potpunosti prihvaćeno u britanskoj praksi iako je urađeno dosta studija njegove moguće primene. Najznačajnije od njih su CIRIA (2000) i DEFRA (2002):

- CIRIA (2000) daje uputstva za upravljanje rizikom za britanske brane. Uz korišćenje uprošćene analize proloma brane korisnik prati listu mogućih pokazatelja problema i procenjuje posledice i verovatnoću pojave rušenja brane. Navedeni su sledeći koraci u analizi rizika: (1) *uprošćena analiza proloma brane*, (2) *kvantifikovanje nizvodnih posledica*, (3) *izbor i izrada analize otkaza, posledice i kritičnosti*.

DEFRA (2002) izveštaj je urađen sa ciljem da se predloži novi *integralni sistem* koji bi obezbedio okvire i smernice za donošenje odluka zasnovane na *godišnjim verovatnoćama, posledicama, i prihvatljivosti* svih pretnji sigurnosti brana. Sistem nije planiran za detaljnu analizu pojedinačnih brana, već za brzu analizu na osnovu postojeće nacionalne baze podataka. Između ostalog autori izveštaja zaključuju: (1) da u Britaniji ne postoji standard za prihvatljiv rizik, (2) da je *integralni sistem* moguće napraviti za nasute brane ali ne i za betonske, jer za njih nema dovoljno istorijskih podataka o incidentima, (3) da su u poređenju sa periodom pre 1997-e, radovi na povećanju propusne moći preliva značajno smanjili incidente prelivanja preko tela brana, pa je sada unutrašnja erozija češći razlog problema na nasutim branama od prelivanja preko tela brane, (4) da je ispitivanje novog sistema na 10 brana ukazalo na značajan rizik prouzrokovan branama u kaskadi.

4. POTREBE I MOGUĆNOSTI PRIMENE U NAŠIM USLOVIMA

U našim uslovima se pri oceni sigurnosti postojećih brana i dimenzionisanju novih brana po pravilu koriste takozvani "tradicionalni kriterijumi" (Erčić 2002, Erčić 2002a). Ovaj autor definiše *tri generacije kriterijuma* za određivanje merodavnih nivoa i protoka pri *hidrauličkom* dimenzionisanju visokih brana. Kriterijumi *prve generacije* ne uzimaju u razmatranje

nivo rizika nizvodno od brane (a koji se utvrđuje na osnovu sagledavanja mogućih posledica proloma). Kriterijumi *druge generacije*, koji se trenutno kod nas najčešće primenjuju (Savić 2003), uzimaju u obzir i nivo rizika nizvodno od brane, ali je analiza kvalitativna. Ne ulazi se u *modeliranje mogućih scenarija događaja* sa procenom verovatnoće da će razmatrana brana biti srušena, niti u vrednovanje posledica i efekata koje će te posledice imati po društvo. Ove dve generacije kriterijuma označice se kao *tradicionalne*. *Treća generacija* kriterijuma zasniva se na primeni metodologije *upravljanja rizikom*. Erčić (2002) razrađuje primenu ove metode na naše uslove, na osnovu čega predlaže postupak za određivanje merodavnih protoka za prelive na branama. Saglasno svetskim iskustvima, predlaže se uporedno korišćenje analize rizika i metodologije druge generacije.

Svetska iskustva pokazuju da je hidrološki aspekt sigurnosti *neophodan*, ali *ne i dovoljan* za *opštu procenu sigurnosti brane* (DEFRA 2002). Jednako studiozno treba razmotriti i ostale moguće *hazarde* (zemljotrese, unutrašnju eroziju, otkaz uređaja za pokretanje ustava, i sl.), i za njih proceniti odgovarajuće rizike. Samo tako se može dobiti sveobuhvatna procena rizika od brane, a takođe i steći pravi uvid u stanje brane (ukoliko je reč o proceni sigurnosti postojećeg objekta).

Portfolio analizom postojećih brana za celu zemlju ili određene oblasti (po slivovima, ili regionima) stekao bi se uvid u stvarno stanje brana, sagledale bi se razmere pojedinačnih problema, pa bi se blagovremeno mogle preduzeti najcelishodnije mere za njihovo otklanjanje, kao i za detaljniju analizu "sumnjivih" brana. Takođe bi se omogućilo efikasno planiranje i usmeravanje sredstva koja bi se koristila za smanjenje rizika od brana u prihvatljive okvire. *Upravljanje rizikom* takođe se može primenjivati i pri projektovanju *evakuacije vode za vreme građenja brane*, kao i pri projektovanju (i proceni stanja) drugih hidrotehničkih građevina (vodozahvata, prevodnica, kanala, tunela, vodostana i sl.). Treba istaći potrebu za ocenom sigurnosti brane u toku prvih 5 godina upotrebe, s obzirom da se u tom periodu mogu uočiti mnoge "mladalačke bolesti i problemi".

Pri projektovanju *novih brana*, metodu *procene rizika* treba koristiti sa merom. U nižim fazama projektovanja nema potrebe za korišćenjem ovako složenog alata, a nema ni mogućnosti, tj. nema dovoljno podataka da bi se analiza mogla smatrati iole pouzdanom. U višim

fazama projektovanja, posebno u glavnom projektu, svakako bi trebao primeniti *procenu rizika*, ali kao dodatnu metodu tradicionalnim metodama.

5. ZAKLJUČAK

Prema napred navedenom mogu se izvesti sledeći zaključci:

- *Upravljanje rizikom* je korisna metodologija za određivanje sigurnosti postojećih i za dimenzionisanje novih brana. Međutim, zbog neizvesnosti velikog broja parametara koji utiču na rezultate upravljanja rizikom, ovu metodologiju bi trebalo primenjivati u sprezi sa tradicionalnim metodama.
- Upravljanje rizikom često zahteva dodatna osmatranja i podatke, pa je korisno osnivanje *baza podataka* za branu ili portfolio brana.
- Upravljanje rizikom ukazuje na potrebu za *novim metodologijama, znanjima i alatima*, kao i za odgovarajućim zakonodavnim merama.
- *Analiza rizika* pruža pregledniju i realniju sliku brane u razmatranom trenutku - omogućava da se objekat bolje upozna i da se njime bolje upravlja.
- *Procena rizika* omogućava efikasnije planiranje i usmeravanje sredstva za održavanje kako pojedinačnih brana, tako i grupe brana u okviru *portfolio anaize*.

LITERATURA

- [1] Bowles, D.S., Anderson, L.R. and Glover, T.F., (1997) "A role for risk assessment in dam safety management". In: Broch, Lysne, Flatabo and Helland-Hansen (Eds.). Balkema, Rotterdam. Proceedings of the 3rd International Conference HYDROPOWER 97, Trondheim, Norway.
- [2] Bowles, D.S., Anderson, L.R., Glover, T.F. and Chauhan, S.S., (2003), "Dam Safety Decision-Making: Combining Engineering Assessments with Risk Information", Proceedings of the 2003 USSD Annual Lecture, Charleston, SC, April 2003.
- [3] Charles, J.A. i J.B. Boden (1985) The failure of embankment dams in the United Kingdom, Proc. Symp. On Failures in Earthworks, Thomas Telford, London.
- [4] CIRIA (2000) Risk management for UK reservoirs. Hughes A K, Hewlett H W M, Morris M, Sayers P, Moffat A I B, Harding A and Tedd P., Report C542, CIRIA, London.
- [5] DEFRA (2002) Reservoir Safety - Floods and Reservoir Safety Integration, Brown & Root, Leatherhead, England.
- [6] Erčić, Ž., (2002), "Merodavni protoci za prelivanje na branama", YU-Build - Arhitektura i građevinarstvo u Srbiji i Crnoj Gori.
- [7] Erčić, Ž., (2002a), "Hidrološka sigurnost brane i merodavni protoci", 13-to savetovanje Jugoslovenskog društva za hidraulička istraživanja, Sokobanja.
- [8] Foster, M., R. Fell i Spannangle (2000), Statistics of embankment dam failures and accidents, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 37, No. 5.
- [9] ICOLD (1999), "Risk Assessment as an Aid to Dam Safety Management", Draft.
- [10] ICOLD (1995), Dam failures: statistical analysis, ICOLD Bulletin 99.
- [11] Kreuzer, H., (2000), "The Use of Risk Analysis to Support Dam Safety Decisions and Management", Question 76, Commission internationale Des Grands Barrages, Beijing.
- [12] Middlebrooks, T.A. (1953), Earth dam practice in the United States, Trans. ASCE geotechnical.
- [13] Rettemeier, K., Falkenhagen, B., Kongeter, J., (2000), "Risk Assessment - New Trends in Germany", Question 76, Commission internationale Des Grands Barrages, Beijing.
- [14] Savić Lj., (2003), "Uvod u hidrotehničke građevine", Građevinski fakultet Beograd.

DAM SAFETY ASSESSMENT

by

Ljubodrag SAVIĆ

Faculty of Civil Engineering, Belgrade

Dragan SAVIĆ

School of Engineering and Computer Science, University of Exeter, Exeter, UK

Summary

This paper presents modern methodologies for dam safety assessment. Particular attention is given to the risk management method, which is currently considered as the most comprehensive approach. Basic notions and principles of the method are explained, an overview of the worldwide experience of its implementation is

given, and the need for its adoption and implementation in Serbia and Montenegro is recognised.

Key words: Dam safety, risk, hazard, risk assessment, risk analysis, risk management.

Redigovano 10.11.2003.