

XXIII  
JUGOSLOVENSKI  
SIMPOZIJUM ZA  
OPERACIONA  
ISTRAŽIVANJA

ZBORNİK RADOVA

SYM  
OP  
IS  
'96

EDITORI  
T. Zečević  
M. Tourki  
M. Backović

Zlatibor,  
01.-05. oktobar 1996.

# ZBORNİK RADOVA

XXIII JUGOSLOVENSKOG SIMPOZIJUMA  
ZA OPERACIONA ISTRAŽIVANJA

## Izdavač

Ekonomski fakultet

Univerziteta u Beogradu

Kamenička 6,

11 000 Beograd

tel: 627-866/lok. 682, 621-967

fax: 639-560

e-mail: backovic@afrodita.rcub.bg.ac.yu

## Editori

prof. dr Tomislav Zečević

prof. dr Milka Tourki

dr Marko Backović

## Tehnički urednik

Bradić Aleksandra, dipl. ecc

## Slog i štampa

*Čigolja*  
Š T A M P A

## Tiraž

400 primeraka

ISBN = 86-403-0166-2

## Organizovanje ovog skupa su pomogle sledeće organizacije:

Savezno ministarstvo za nauku, tehnologiju, razvoj i životnu sredinu •

Ministarstvo za razvoj i tehnologiju Republike Srbije •

Beogradski sajam • Lutrija Beograd • REIK Kolubara •

Privredna banka Beograd • Inex rent-a-car • Beogradske elektrane •

## ORGANIZATORI

- **EKONOMSKI FAKULTET**

Kamenička 6, 11000 Beograd

- **EKONOMSKI INSTITUT**

Srpskih vladara 16, 11000 Beograd

- **INSTITUT "MIHAJLO PUPUN"**

Volgina 15, 11000 Beograd

- **SAOBRAĆAJNI FAKULTET**

Vojvode Stepe 305, 11000 Beograd

- **FAKULTET ORGANIZACIONIH NAUKA**

Jove Ilića 154, 11000 Beograd

- **DRUŠTVO OPERACIONIH ISTRAŽIVAČA**

Volgina 15, 11000 Beograd

- **RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET**

Đušina 7, 11000 Beograd

## IZVRŠNI ORGANIZATOR

**EKONOMSKI FAKULTET BEOGRAD**

**UNIVERZITETA U BEOGRADU**

**Kamenička 6, 11000 Beograd**

**tel: 627-866/lok. 682, 621-967**



## OPERATORI EKSPERTNOG SISTEMA ZA OCENU BEZBEDNOSTI BRANA OPERATORS OF AN EXPERT SYSTEM FOR SAFETY EVALUATION OF DAMS

Omilj Marković<sup>1</sup>, Života Nikolić<sup>1</sup>, Branislav Đorđević<sup>2</sup>, Dragana Ninković<sup>1</sup>, Tina Milanović<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INSTITUT ZA VODOPRIVREDU "JAROSLAV ČERNI"; <sup>2</sup>GRAĐEVINSKI FAKULTET U BEOGRADU

**Sažetak** - U radu je prikazan specifičan i originalan način prevazilaženja određenih teškoća, koje se odnose na konkretne uslove vezane za stanje u oblasti bezbednosti brana u Srbiji, koji ovu materiju svrstavaju u tzv. "fuzzy" problematiku. U tom kontekstu je uveden uslovan naziv "operatori ekspertnog sistema", koji obuhvata: (1) Rizike rušenja brana; (2) Podelu ugroženosti na posrednu i neposrednu; (3) Parametre, indekse i stepene posredne ugroženosti; (4) Intenzitete, indekse, stepene i pouzdanost ocene neposredne ugroženosti. Metodologije vrednovanja posredne i neposredne ugroženosti razvijene su primenom simboličkog programiranja u paketu ACCESS 2.0, u vidu "pilot" verzija.

**KLJUČNE REČI:** BRANE, UPRAVLJANJE, BEZBEDNOST, INFORMACIONI SISTEM, EKSPERTNI SISTEM

**Summary** -The paper deals with the specific and genuine way of overcoming some difficulties related to real conditions of evaluation of dam safety in Serbia, leading this subject towards the "fuzzy" problems. The so-called "expert system operators" were introduced, involving the following new expressions: (1) Dam failure risks; (2) Decomposition of hazard into two categories, "indirect" and "direct" one; (3) Parameters, indices and rates of indirect hazard, and (4) Intensities, indices, rates and confidence of direct hazard evaluation. Valorization methods of direct and indirect hazard were developed using symbolic programming within ACCESS 2.0 package, as "pilot" versions only.

**KEY WORDS:** DAMS, MANAGING, SAFETY, INFORMATION SYSTEM, EXPERT SYSTEM

### 1. UVOD

Ekspertni sistem za ocenu bezbednosti visokih brana (ES-OBVB) je razvijen sa ciljem da se prevaziđe zabrinjavajuće stanje u ovoj oblasti u Srbiji i da se u narednom periodu omogući upravljanje bezbednošću ovih, za privredu i nacionalnu bezbednost, veoma značajnih objekata.

Razvoj ES-OBVB su, u 1995. godini, finansirali Ministarstvo za nauku i tehnologiju i veliki privredni sistemi. U prvoj fazi razvoja ovog ES je u potpunosti zaokružen proces upravljanja bezbednošću brana, definisane su metodologije i sadržaji tehničke dokumentacije koja je

informacioni resurs ovog procesa, evidentirani su i raščlanjeni svi rizici rušenja brana, odnosno ugrožavanja bezbednosti nizvodnih područja čije sprečavanje je osnovni cilj upravljanja bezbednošću. Takođe su definisani elementi ekspertnog sistema OBVB: baze podataka, baza znanja i generator zaključaka. Rezultati prve faze razvoja ES-OBVB će se praktično primenjivati od 1996. g.

U ovom radu se prikazuju osnovni pojmovi ove problematike, koncepcija i metodologija njenog rešavanja, sa naglaskom na takozvane "operatore" ES-OBVB, pomoću kojih su na originalan način prevaziđene određene teškoće, specifične za stanje u ovoj oblasti u Srbiji a, prema oceni autora, i šire.

### 2. OSNOVNI PROBLEMI I POJMOVI OBVB

Problematika bezbednosti brana je pre svega kompleksna a zatim multidisciplinarna oblast, o kojoj nema mnogo informacija, kako u domaćoj, tako ni u svetskoj literaturi. Njena kompleksnost se ogleda u otkrivanju svih rizika rušenja brana i hazarda ugrožavanja bezbednosti, kako brana, tako i nizvodnih područja; zatim u njihovom raščlanjavanju prema načinu praćenja na one čiji nastanak i razvoj se može pratiti instrumentalnim i vizuelnim osmatranjem brana i one čije postojanje se utvrđuje na drugi način ili se može samo globalno konstatovati; dalje, u raščlanjavanju prvih na pojave procese i okolnosti, čijim praćenjem se utvrđuje postojanje pojedinih rizika; na kraju, u višekriterijumskom pretraživanju i selekciji onih, koje na bilo koji način ugrožavaju bezbednost i njihovom vrednovanju. U integralu se dobija vrlo veliki broj elementarnih skupova informacija o rezultatima osmatranja, koji se grupišu u veće srodne skupove pojava, procesa i okolnosti čije nespriječavanje izaziva rizik rušenja i hazard ugrožavanja bezbednosti, koje pojedinačno i kao celinu treba oceniti.

Multidisciplinarnost problematike OBVB se ogleda u potrebi angažovanja praktično svih inženjerskih disciplina, pri čemu je osnovni problem njihovo adekvatno objedinjavanje, jer svaka od njih primenjuje određene standardizovane postupke i metode rada za otkrivanje i praćenje pojedinačnih problema koji pripadaju oblasti bezbednosti brana, pri čemu do sada nije postojala jedinstvena metodologija primerena ovoj problematici.

Na osnovu izvornih definicija, da rizik predstavlja verovatnoću pojave, ili mogućnost nastanka nepovoljnih

zvanih "operatora" ES-OBVB. U ove operatore u najopštijem smislu, spadaju vidovi ugroženosti i metodološki alati valorizacije svakog vida ugroženosti. Izvršeno je raščlanjavanje ugroženosti na dva vida: posrednu i neposrednu ugroženost (PU) i (NU).

Posredna ugroženost (PU) je formulisana kao nedostatak ili loš kvalitet informacija o brani i njenom osmatranju, zbog čega nije moguća pouzdana ocena njene bezbednosti. Manjkavost informacija u suštini predstavlja manjkavost tehničke dokumentacije o osmatranju, opreme za osmatranje i postupaka osmatranja. PU je obrnuto srazmerna sa pouzdanošću ocene neposredne ugroženosti (NU), kako po određenom riziku od A do I, tako i u celini. PU je u ovom momentu realno velika kod svih brana u Srbiji. Ekstremno velika PU praktično onemogućuje ocenu NU. Ekstremno mala PU nas približava praktično nedostupnom idealu apsolutne pouzdanosti ocene NU. Realno postojanje PU ne znači da je bezbednost neposredno ugrožena, ali zbog manjkavosti informacija uvek postoji određeni niži stepen pouzdanosti ocene NU, po rizicima za koje ona objektivno postoji. Valorizacija PU se vrši preko parametra (P) za svaki rizik (R), preko indeksa ( $I_{pu}$ ) i stepena

posredne ugroženosti  $S_{pu}$ .

Svaki rizik od A do I treba pretražiti po parametrima: P1. Da li postoji projekat osmatranja (DA/NE); P2. Da li je projekat osmatranja kvalitetan (DA/NE); P3. Da li se osmatranje vrši prema projektu (DA/NE); P4. Da li postoje kriterijumi za ocenu ponašanja brane (DA/NE); P5. Da li je stanje uređaja za osmatranje po rizicima A do D zadovoljavajuće; da li je stanje obaveštavanja po rizicima E, F i I zadovoljavajuće; da li postoji mogućnost valorizacije rizika G i H (DA/NE); P6. Da li je korisnik izradio godišnji izveštaj (DA/NE); P7. Da li je godišnji izveštaj kvalitetan (DA/NE); P8. Da li je izvršena analiza i tumačenje rezultata osmatranja (DA/NE) i P9. Da li je kvalitet pod P8 dobar (DA/NE).

Odgovorima na pitanja P1 do P9, popunjava se Tablica PU, u kojoj svako polje predstavlja "indeks posredne ugroženosti" po određenom riziku R i parametru P,  $I_{pu}(R, P)$ , čija pojedinačna vrednost može, u zavisnosti od utvrđenog stanja, da bude jednaka nuli (dobro stanje), ili da bude različita od nule (loše stanje). Zbir svih vrednosti  $I_{pu}$  predstavlja "stepen posredne ugroženosti"  $S_{pu}$ , čija vrednost iznosi:

PARAMETRI	RIZICI POSREDNOG UGROŽAVANJA BEZBEDNOSTI BRANE								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
P1	$I_{pu}(A,P1)$	$I_{pu}(B,P1)$	$I_{pu}(C,P1)$	$I_{pu}(D,P1)$	$I_{pu}(E,P1)$	$I_{pu}(F,P1)$	$I_{pu}(G,P1)$	$I_{pu}(H,P1)$	$I_{pu}(I,P1)$
P2	$I_{pu}(A,P2)$	$I_{pu}(B,P2)$	$I_{pu}(C,P2)$	$I_{pu}(D,P2)$	$I_{pu}(E,P2)$	$I_{pu}(F,P2)$	$I_{pu}(G,P2)$	$I_{pu}(H,P2)$	$I_{pu}(I,P2)$
P3	$I_{pu}(A,P3)$	$I_{pu}(B,P3)$	$I_{pu}(C,P3)$	$I_{pu}(D,P3)$	$I_{pu}(E,P3)$	$I_{pu}(F,P3)$	$I_{pu}(G,P3)$	$I_{pu}(H,P3)$	$I_{pu}(I,P3)$
P4	$I_{pu}(A,P4)$	$I_{pu}(B,P4)$	$I_{pu}(C,P4)$	$I_{pu}(D,P4)$	$I_{pu}(E,P4)$	$I_{pu}(F,P4)$	$I_{pu}(G,P4)$	$I_{pu}(H,P4)$	$I_{pu}(I,P4)$
P5	$I_{pu}(A,P5)$	$I_{pu}(B,P5)$	$I_{pu}(C,P5)$	$I_{pu}(D,P5)$	$I_{pu}(E,P5)$	$I_{pu}(F,P5)$	$I_{pu}(G,P5)$	$I_{pu}(H,P5)$	$I_{pu}(I,P5)$
P6	$I_{pu}(A,P6)$	$I_{pu}(B,P6)$	$I_{pu}(C,P7)$	$I_{pu}(D,P6)$	$I_{pu}(E,P6)$	$I_{pu}(F,P6)$	$I_{pu}(G,P6)$	$I_{pu}(H,P6)$	$I_{pu}(I,P6)$
P7	$I_{pu}(A,P7)$	$I_{pu}(B,P7)$	$I_{pu}(C,P7)$	$I_{pu}(D,P7)$	$I_{pu}(E,P7)$	$I_{pu}(E,P7)$	$I_{pu}(G,P7)$	$I_{pu}(H,P7)$	$I_{pu}(I,P7)$
P8	$I_{pu}(A,P8)$	$I_{pu}(B,P8)$	$I_{pu}(C,P8)$	$I_{pu}(D,P8)$	$I_{pu}(E,P8)$	$I_{pu}(F,P8)$	$I_{pu}(G,P8)$	$I_{pu}(H,P8)$	$I_{pu}(I,P8)$
P9	$I_{pu}(A,P9)$	$I_{pu}(B,P9)$	$I_{pu}(C,P9)$	$I_{pu}(D,P9)$	$I_{pu}(E,P9)$	$I_{pu}(F,P9)$	$I_{pu}(G,P9)$	$I_{pu}(H,P9)$	$I_{pu}(I,P9)$

$$S_{pu} = \sum_{R=A}^{R=I} \sum_{P=1}^{P=9} I_{pu}(R, P)$$

Ako se za svaki  $I_{pu}$  usvoji ista težina, vrednosti  $S_{pu}$  se, izraženo u %, nalaze u intervalu:  $0 \leq S_{pu} \leq 100$ .

Ekstremne vrednosti  $S_{pu}$  su:

- $\min S_{pu} = 0$ , što znači da brana nije posredno ugrožena - idealno, nedostižno stanje,
- $\max S_{pu} = 100$ , što znači da je brana maksimalno posredno ugrožena i da se NU ne može oceniti.

Faktor pouzdanosti ocene stepena NU se prema prethodnim razmatranjima definiše kao:  $FP_{nu} = 100 - S_{pu}$ .

Prethodna metodologija je, korišćenjem paketa ACCESS u WINDOWS okruženju, kompjuterizovana, čime je rešen problem valorizacije posredne ugroženosti. Pored valorizacije  $S_{pu}$ , detaljno su definisane interventne mere, koje korisnik brane mora da preduzme, a koje se u suštini svode na eliminaciju negativnih odgovora po parametrima pretraživanja P1 do P9.

Neposredna ugroženost (NU) je definisana korišćenjem klasičnog postupka formiranja baza znanja, primenom tria O - A - V (Objekat - Atribut - Vrednost). Pri tom objekat predstavlja uzrok, odnosno povod ugrožavanja i može biti bilo koji rezultat osmatranja, atribut predstavlja "prekoračenje", koji se u punoj for-

mulaciji, kada je reč o instrumentalnom osmatranju, odnosi na prekoračenje tzv. "dopuštenih vrednosti merljivih veličina", odnosno, kada je reč o vizuelnom osmatranju, na pojave, procese i okolnosti, koje ukazuju na neposredno ugrožavanje bezbednosti

NU reprezentuje stanje bezbednosti visoke brane i mora se oceniti za sve rizike ugrožavanja bezbednosti od A do I. NU predstavlja osnovni pokazatelj za preduzimanje tzv. "bezbednosnih mera", koje se moraju sprovesti da bi se otklonili uzroci neposrednog ugrožavanja.

Valorizacija NU se vrši određivanjem vrednosti atributa "prekoračenje", za sve rizike ugrožavanja bezbednosti od A do I. Prvo se pretraživanjem rezultata osmatranja za rizike od A do D pronade pojava, proces ili okolnost, odnosno tzv. "objekat", kod koga realno postoji atribut "prekoračenje", a za rizike od E do I samo utvrdi njihovo postojanje. Rezultati kod kojih ne postoji prekoračenje, odnosno "prekoračenje = 0", ne ugrožavaju bezbednost brane. Vrednosti atributa "prekoračenje" određuju iskusni stručnjaci (eksperti) u oblasti bezbednost brana ili inženjeri znanja, birajući jednu od sledećih unapred ponuđenih opcija: "sumnja", "upozorenje" i "neposredna opasnost". Značenja vrednosti atributa prekoračenje odnose se, za prvih

osam rizika, na mogućnost rušenja brane i hazard nizvodnih područja, odnosno samo na hazard nizvodnih područja, kada se radi o poslednjem riziku. Vrednosti prekoračenja se dodeljuju u skladu sa kriterijumima za ocenu ponašanja dotične brane u pogonu, odnosno preciznije, prema dopuštenim vrednostima mernih veličina i trendovima pojava, procesa i okolnosti, koji se utvrđuju u procesu osmatranja brane.

Razvijena su tzv. proizvodna pravila [1, Pogl. D] za slučaj da prekoračenje postoji, odnosno da je njegova vrednost  $\neq 0$ . Ova pravila su definisana stepenima neposredne ugroženosti (S) po svakom riziku (R), koji su svrstani po opadajućem redosledu: **Stepen I:** vrednost prekoračenja = "neposredna opasnost"; **Stepen II:** vrednost prekoračenja = "upozorenje", uz dopunski uslov da do rušenja brane može doći i bez ekstremnih spoljnih uticaja, kao što su zemljotresi i izuzetno velike vode; **Stepen III:** vrednost prekoračenja = "upozorenje", uz dodatni uslov da do rušenja brane može da dođe isključivo u slučaju dejstva ekstremnih spoljnih uticaja, i **Stepen IV:** vrednost prekoračenja = "sum-

nja", kao rano otkrivanje "upozorenja", bez mogućnosti realne i pouzdane ocene neposredne ugroženosti.

Utvrđivanjem realnih stepena ugroženosti po svakom riziku formira se Tablica NU. Svako polje ove tablice predstavlja "indeks neposredne ugroženosti"  $I_{nu}$  po određenom riziku R i intenzitetu S,  $I_{nu}(R, S)$ , čija pojedinačna vrednost može, u zavisnosti od utvrđenog stanja, da bude jednaka nuli (dobro stanje), ili da ima konačnu vrednost (jedno od loših stanja SI do SIV). Zbir svih vrednosti  $I_{nu}$  predstavlja "stepen neposredne ugroženosti" ( $S_{nu}$ ), čija vrednost iznosi:

$$S_{nu} = \sum_{R=A}^{R=I} \sum_{S=I}^{S=IV} I_{nu}(R, S)$$

Ako se za svaki  $I_{nu}$  usvoji ista težina, vrednosti  $S_{nu}$ , izražene u %, nalaze se u intervalu  $0 \leq S_{nu} \leq 100$ . Na taj način se za svaku branu može dobiti numerički pokazatelj njenog stepena neposredne ugroženosti, koji sa faktorom pouzdanosti  $FP_{nu}$  predstavlja definitivnu ocenu njene neposredne ugroženosti.

INTENZ UGROŽ	RIZICI NEPOSREDNOG UGROŽAVANJA BEZBEDNOSTI BRANE (R)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
S I	Inu(A,I)	Inu(B,I)	Inu(C,I)	Inu(D,I)	Inu(E,I)	Inu(F,I)	Inu(G,I)	Inu(H,I)	Inu(I,I)
S II	Inu(A,II)	Inu(B,II)	Inu(C,II)	Inu(D,II)	Inu(E,II)	Inu(F,II)	Inu(G,II)	Inu(H,II)	Inu(I,II)
S III	Inu(A,III)	Inu(B,III)	Inu(C,III)	Inu(D,III)	Inu(E,III)	Inu(F,III)	Inu(G,III)	Inu(H,III)	Inu(I,III)
S IV	Inu(A,IV)	Inu(B,IV)	Inu(C,IV)	Inu(D,IV)	Inu(E,IV)	Inu(F,IV)	Inu(G,IV)	Inu(H,IV)	Inu(I,IV)

Metodologija valorizovanja  $S_{nu}$  je, korišćenjem paketa ACCESS u WINDOWS orkuženju, primenom simbolskog programiranja, softverski formulisana, čime je i ovaj problem rešen. Pored valorizacije  $S_{nu}$ , u Studiji su detaljno definisane interventne i bezbednosne mere, koje korisnik mora da preduzme u cilju eliminacije ugroženosti brane. Primenom simbolskog programiranja ove mere su softverski ugrađene u odgovarajuću pilot verziju [1, Pogl. E].

## 6. ZAKLJUČCI

1. Izradom ES OBVB, kao jedinstvenog informacionog i ekspertnog sistema u okviru VISS-a [6], omogućeno je počev od 1996. god. sistematsko i pouzdano praćenje ponašanja visokih brana u Srbiji.

2. ES - OBVB je otvoren za dopunjavanje, unapređenje i prilagođavanje, kako u informatičkom, tako i u proizvodnom delu.

3. Prvom primenom ES OBVB će se stvoriti početna osnova baza podataka o PU i NU svih brana u Srbiji, na osnovu koje će nadležni organ, zadužen za bezbednost brana biti u stanju da argumentovano i ažurno vrši svoju funkciju.

4. Ocenjuje se da će u prvoj fazi primen ES OBVB, vreme potrebno za ocenu stanja osmatranja i bezbednosti smanjiti od sadašnjih više od godinu dana, na nekoliko dana od završetka periodičnog izveštaja.

## LITERATURA:

- [1] Marković O., Ž. Nikolić, D. Ninković, S. Đurić, *Razvoj ekspertnog sistema za ocenu bezbednosti visokih brana* (9 poglavlja, 305 str., 60 slika i 11 priloga - rukovodilac istraživanja Prof. dr B. Đorđević), Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Beograd, 1995.
- [2] Anonimus, *"Dam Failures, Statistical Analysis"*, ICOLD, Paris, 1995.
- [3] Anonimus, *"Lessons from Dam Incidents"*, ICOLD, Paris, 1974.
- [4] Anonimus, *"Safety Evaluation of Existing Dams"*, Technical Publ., USBR, Denver, Colorado, 1983.
- [5] Hammon P., D. King, *"Expert Systems"*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1987.
- [6] Đorđević B., *"Razvoj sistema za praćenje ponašanja i ocenu bezbednosti visokih brana"*, YUINFO 95.
- [7] Dubois, D., Prade, H., *"Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications"*, N. Y., London, Toronto, 1980.
- [8] Zimmermann, H. J. *"Fuzzyset Theory - and its Applications"*, Kluwer Publ., Boston, 1988.
- [9] Nikolić Ž., O. Marković, *"Uputstva i smernice za unifikaciju tehničke dokumentacije za osmatranje i ocenu stanja osmatranja i bezbednosti visokih brana"*, Institut "Jaroslav Černi", Beograd, 1996.