

SYMPOSIUM

OP

IS

'95

ZBORNIK
RADOVA

Editor:
Slobodan Vujić

XXII JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM ZA OPERACIONA ISTRAŽIVANJA
DONJI MILANOVAC, 03.-07. 10. 1995.

ZBORNİK RADOVA

XXII JUGOSLOVENSKOG SIMPOZIJUMA ZA OPERACIONA ISTRAŽIVANJA

Izdavač:

Rudarsko-geološki fakultet
Univerziteta u Beogradu
Katedra za primenu računara u rudarstvu
11000 Beograd, Đušina 7
tel. 011/33-85-64
fax. 011/33-55-39
El. pošta: VUJIC@RGF.RGF.BG.AC.YU

Editor:

Prof. dr inž. Slobodan Vujić

Tehnička priprema:

Dipl. inž. Ksenija Stojkov
Dipl. inž. Milena Josipović
Dipl. inž. Aleksandar Petrovski

Dizajn korica:

Dipl. inž. Aleksandar Petrovski

Štampa:

Grafički atelje "GALEB"
11070 Zemun, Kej Oslobođenja 73
tel. 011/61-85-01

Tiraž:

400 primeraka

CIP - Katalogizacija u publikaciji
Narodna biblioteka Srbije, Beograd

ID=40065036



SISTEM ZA PODRŠKU ODLUČIVANJU U PROCESU OCENE BEZBEDNOSTI VISOKIH BRANA

DECISION SUPPORT SYSTEM FOR LARGE DAMS SAFETY EVALUATION

Branislav Đorđević¹, Omilj Marković², Života Nikolić², Tina Milanović¹

¹ GRAĐEVINSKI FAKULTET U BEOGRADU

² INSTITUT ZA VODOPRIVREDU "JAROSLAV ČERNI"

Abstrakt - Razmatra se ekspertni sistem (ES) za podršku odlučivanju u procesu ocenjivanja bezbednosti brana u Srbiji. Cilj ES, koji će se oslanjati na odgovarajući informacioni sistema (IS) je da se pomogne Donosiocima odluka da vrlo operativno donose odluke u domenu bezbednosti brana - počev od ocena njihove bezbednosti, pa do utvrđivanja mera koje treba preduzeti da bi se bezbednost brana održavala na zahtevanom visokom nivou.

KLJUČNE REČI: BRANE, BEZBEDNOST, EKSPERTNI SISTEM, OSMATRANJA, ODRŽAVANJE.

Abstract - The state of the observation and safety evaluation of large dams at the territory of Serbia is analyzed. The need for the development and method for creation of an Expert system, which would involve at the uttermost competent and operative manner all relevant activities on observation and safety evaluation of dams, is also explained.

KEY WORD: DAMS, SAFETY, EXPERT SYSTEM, OBSERVATION, MAINTAINS

1. UVOD

U Srbiji su registrovane 53 brane koje po klasifikaciji ICOLD-a (Međunarodnog komiteta za visoke brane) spadaju u kategoriju visokih brana. Shodno zakonskim propisima [1] predviđeno je njihovo redovno tehničko osmatranje, sa izradom odgovarajućih periodičnih / godišnjih elaborata kojima se ocenjuje tekuća bezbednost brana. Međutim, taj posao je do sada rađen bez odgovarajuće operativne informacione podrške, što je za posledicu imalo neažuran, spor i nepotpun proces donošenja zaključaka o tekućoj bezbednosti brana. Da bi se te slabosti otklonile, tokom 1993. - 1995. godine urađen je odgovarajući modul za osmatranje brana u okviru Vodoprivrednog

informacionog sistema Srbije (VISS) čiji je razvoj započeo. Struktura VISS-a prikazana je na SYM-OP-IS '94, sa svim bitnim elementima [2], dok je detaljniji prikaz modula VISS-a za osmatranje brana prikazan na skupu informatičara na Brezovici 1995 [3]. Zato se ti elementi IS neće ovde ponavljati.

Razvoj informacionog modula za osmatranje brana, koji omogućava da se oskultacioni sistem učini izvanredno operativnim, sa mogućnošću da se svi podaci koji se unose u sistem odmah proveravaju i verifikuju - otvorio je mogućnost da se pređe na sledeću etapu razvoja sistema za podršku odlučivanju - razvoj Ekspertnog sistema za praćenje bezbednosti visokih brana Srbije. Imajući u vidu izuzetni značaj te aktivnosti na bezbednost ljudi i dobara, razvoju tog ES se pridaje poseban značaj.

2. ZADACI EKSPERTNOG SISTEMA ZA PRAĆENJE BEZBEDNOSTI BRANA

Analiza bezbednosti brana je složena multidisciplinarna aktivnost, koja mora da sagleda sve rizike, kao uzročnike ugrožavanja bezbednosti brana, kao i posledice, do kojih bi došlo u slučaju rušenja. Zbog toga je cilj najvišeg reda svih koji učestvuju u aktivnostima osmatranja i ocenjivanja bezbednosti brana da istu održavaju u stanju da ona može, bez opasnosti od rušenja, da izdrži sve računске nepovoljne uticaje kojima može da bude izložena tokom korišćenja. Bezbednost brane zavisi od niza stanja, koji se mogu sistematizovati u sledeće grupe: (a) stanje statičke i filtracione stabilnosti tela i temelja brane; (b) stanje stabilnosti terena po obodu akumulacije; (c) stanje dovodno - odvodnog sistema postrojenja; (d) stanje bezbednostno važnih uređaja i postrojenja (evakuacionih organa, drenažnih sistema, itd); (e) stanje bezbednosti uzvodnih brana; (f) stanje kvaliteta projekta i izvedenih radova na brani. Pored

navedenih stanja, bezbednost zavisi još i od upravljačke varijable - od načina upravljanja uređajima na brani, kojima se upravlja vodnim režimima u akumulaciji i u zoni donje vode brane.

Ekspertni sistem za praćenje i ocenjivanje bezbednosti brana ima cilj da vrlo operativno rešava sledeće grupe zadataka:

- **Zadaci osmatranja:** razvoj i unapređenje metodike osmatranja brana, kao polazišta za ocenjivanje njihove bezbednosti.
- **Zadaci interpretacije:** blagovremena analiza podataka osmatranja, još tokom njihovog registrovanja i verifikacija njihove tačnosti, upotrebljivosti i eventualnih zahteva za novim / ponovljenim merenjima i osmatranjima.
- **Zadaci dijagnostike:** zaključci o tekućem stanju bezbednosti brana, narušavanju planiranih ponašanja i upoređivanje stanja sa određenim kritičnim graničnim vrednostima stanja.
- **Zadaci estimacije:** prognoza razvoja procesa ponašanja brana i predviđanje kritičnih događaja i režima.
- **Zadaci održavanja:** zaključivanje o neophodnim merama tekućeg i investicionog održavanja brana, kako bi se bezbednost održala na potrebnom nivou ili povećala, ako je to neophodno.
- **Zadaci projektovanja:** izvlačenje zaključaka o poboljšavanju projektovanja brana, u svetlu iskustava osmatranja postojećih objekata. Predlaganje eventualnih dogradnji / adaptacija postojećih objekata.
- **Zadaci delovanja u kriznim situacijama:** kompjuterska simulaciona provera procedura za delovanje u kriznim situacijama (zemljotres, ekstremne velike vode, havarije nekih elemenata brana, generisanje talasa velikih voda na uzvodnim postrojenjima namerno ili greškama u upravljanju).
- **Zadaci obučavanja:** obučavanje i samoobučavanje posade za delovanje u normalnim i kriznim situacijama.
- **Zadaci upravljanja:** obuhvataju sve predhodne zadatke, čime se obezbeđuje pravovremeno i adaptivno upravljanje postrojenjima sa branama u svim fazama njihovog planiranja, eksploatacije i adaptacije, posebno u uslovima upravljanja pri kriznim događajima, kada je neophodno veoma brzo delovanje, koja prevazilazi mogućnosti ljudske spoznaje u uslovima vremenske iznudice i emocionalne napregnutosti zbog izuzetne odgovornosti koje vuku pojedine upravljačke odluke.

Imajući u vidu specifikum gornjih zadataka, za ovaj ES je bitno da mora da bude u stanju da prepozna kritične faktore i situacije i da nađe i predloži načine kako da se iste prevaziđu. To je posebno važno za delovanje pri iznenadnim i kriznim događajima, kada se problem može da reši samo

brzim prebacivanjem sa modelskog na heuristički kolosek zaključivanja.

Elementi Ekspertnog sistema za praćenje bezbednosti brana prikazani su na slici 1. Ključni element ES je baza znanja, koja ima više segmenata. Nju čine znanja o performansama i projektnim karakteristikama pojedinih tipova brana koje su obuhvaćene ES, znanja o ponašanju brana, kao i znanja eksperata, koja se po posebnoj metodici sistematizuju i formalizuju, kako bi mogla da budu korišćenja u ES. Na šemi se uočava da je baza znanja u ES odvojena od procesa računanja i da je njen sastavni deo (ovde isključivo izdvojen radi preglednosti) blok 'predstavljanje znanja'. Drugi blok, povezan interaktivno sa bazom znanja je 'baza modela', koji je takođe isključivo radi preglednosti naglašeno izdvojeno povezan sa algoritmima za računanje, kao posebnim blokom. Jedan od ključnih elemenata ES je 'generator zaključaka', čiji je zadatak da na osnovu heurističkih pravila izabere i primeni ono pravilo koje najviše odgovara na određenoj etapi rešavanja problema. U okviru šireg bloka 'ulaz - izlaz' mogu se izdvojiti podsistemi za prikupljanje znanja, za objašnjavanje i obučavanje, kao i za vezu sa korisnikom. Osobinu evolucionog, postepenog i inkrementalnog razvoja ES zaokružuje blok 'razvoj', koji podrazumava kontinuirani proces razvoja ES, u skladu sa povećanim zahtevima koje pred njega postavlja korisnik.

Za ovaj ES potreban je veoma operativan informacioni podsistem za osmatranje i prenos podataka o ponašanju brana. Ponašanje se registruje preko niza oskultacionih instrumenata, kojima se mere veličine koje su relevantne za praćenje tekuće bezbednosti brana. Te veličine se okvirno mogu sistematizovati na sledeći način:

Betonske gravitacione brane (masivne i olakšane): merenje uzgona, kontrola rada drenažnog sistema, merenje nivoa u piježometrima, merenje rotacije u osnovi brane; merenje relativnih horizontalnih pomeranja krune brane viskom; merenje pomeranja temeljne spojnice obrnutim viskom; merenje temperature betona. Pored ovih oskultacija na ugrađenim instrumentima, potrebna su još i sezonska merenja: apsolutnih vertikalnih i horizontalnih pomeranja tačaka na površini objekta i na terenu primenom geodetskih metoda, kao i praćenje pomeranja krune brane primenom alinjmata.

Lučne brane: merenja horizontalnih pomeranja primenom viska, merenja apsolutnih horizontalnih pomeranja temeljne spojnice obrnutim viskom, merenje temperature betona, merenje otvaranja razdelnica, merenja nivoa vode u piježometrima, merenja dilatacija u betonu primenom elektroakustičkih ekstenzometara; merenja pomeranja

stenske mase primenom ekstenzometara sa dugačkim gazom; merenja uzgona; merenja apsolutnih vertikalnih i horizontalnih pomeranja tačaka na površini objekta i na terenu oko brane primenom geodetskih metoda, kao i merenje pomeranja krune brane primenom alinijmana.

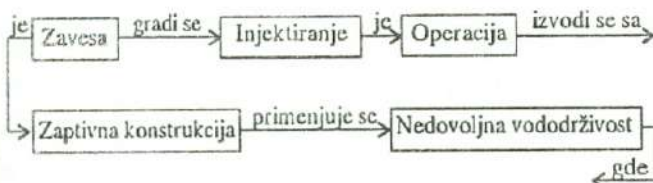
Nasute brane od zemlje i kamenog nabačaja: merenje nivoa vode u pjezometrima oko brane, merenje pornih pritisaka u jezgru brane; merenje totalnih pritisaka u pojedinim tačkama objekta primenom odgovarajućih naponskih ćelija; merenje provirnih voda kroz telo brane i temelje, merenja relativnih vertikalnih pomeranja tačaka u brani i temeljima (krosarm i drugi uređaji), kao i merenja apsolutnih vertikalnih i horizontalnih pomeranja na površini brane i na terenu oko nje primenom geodetskih metoda.



Slika 1: Struktura ES za praćenje bezbednosti brana

Predstavljenje znanja, kao vid formalizacije znanja da bi isto moglo da bude upotrebljen u procesu zaključivanja, u ovom ES se strukturiraju u sledećim oblicima:

(1) Semantičke mreže su pogodan vid predavljanja elementa tezaurusa znanja u ES za praćenje ponašanja brana. Čvorovi su činjenice, a lukovi pokazuju veze između njih. Mrežama se u ES unosi semantički način objašnjavanja određenih pojmova i pojava, koje su bitne za dijalog sa ES tokom rešavanja problema. Detalj jedne semantičke mreže daje se na slici 2.



Slika 2: Detalj jedne semantičke mreže

(2) Tripleti: O - A - V (predmet - atribut - vrednost). Objekti su u ovom ES odgovarajuće fizičke celine (brana, akumulacija, pojedini evakulacioni organi, slapišta) čije se performanse bezbednostno ocenjuju. Atributi su neke opšte karakteristike ili osobine vezane za objekte: nasuta / betonska (brana), aktivirano (klizište), ugrožena (bezbednost), blokirana (ustava), itd. Vrednosti atributa označavaju prirodu atributa u određenoj situaciji. Može se definisati opisno i/ili numerički. Veza objekat \Rightarrow atribut može se dati u vidu: 'has a' (ima, sadrži) ili: 'is a' (jeste \Rightarrow). Povezani na taj način tripleti predstavlja svojevrsni vid semantičke mreže, vrlo pogodne za razvoj ovog tipa ES. Primer: brana (nasuta) \Rightarrow provirna linija $>$ kota ... \Rightarrow ugrožena stabilnost. Određene neizvesnosti se mogu obuhvatiti na više načina, ali se u okviru ovog ES koriste dva pristupa: (a) preko fuzzy veličina, čime se mogu opisati i pojmovno neodređene veličine (stara oprema, veliki uzgon), (b) preko faktora pouzdanosti, na nekoj skali u opsegu -1 do +1, slično kao što je urađeno u poznatom ES MYCIN (sigurno pogrešno, skoro sigurno ne, verovatno ne, malo moguće, verovatno, skoro sigurno, sigurno).

(3) Produkciona pravila, koja se definišu kauzalnim sudovima tipa: 'Ako ...onda...', koja sadrže neke uslove / događaje i dejstva koje oni stvaraju. Prikazuju se i složenijim lancima tipa: stanje / događaj \Rightarrow uslov u pravilu \Rightarrow dejstvo \Rightarrow nova situacija \Rightarrow novo pravilo \Rightarrow itd. Njima se predstavljaju znanja tipa: stanje \Rightarrow dejstvo; akcija \Rightarrow reakcija; uslov \Rightarrow zaključak; uzrok \Rightarrow posledica. Neki primeri produkcionih pravila:

'Ako se konstatuje proviranje *mutne vode* u drenažnoj galeriji nasute brane, onda je stanje *veoma ozbiljno*, jer je to znak da je u toku neka sufoziona destrukcija jezgra'. Pravila imaju sledeće osobine: (a) Modularnost: pravilo definiše mali, relativno nezavisni deo znanja; (b) Mogućnost proširivanja: nova znanja se dodaju nezavisno od drugih pravila; (c) Izmenljivost: stara pravila se mogu promeniti; (d) Preglednost: ES je u stanju da objasni kako je došao do rešenja koje predlaže.

(4) Meniji se takođe koriste za predavljanja znanja u vidu lako pretraživih okvira.

Bazu modela u okviru ES za praćenje bezbednosti brana čini čitav lanac probablističkih i determinističkih matematičkih modela za analizu ponašanja brana. U okviru baze modela biće i model za višekriterijumsko vrednovanje pouzdanosti brane, na bazi analize više bitnih komponenti njenog stanja.

Generator zaključaka je ključni deo ES, koji predstavlja integrativni kvalitet veštačke inteligencije. Njegov zadatak je da izabere i primeni ona pravila koja odgovaraju određenoj etapi

rešavanja problema ocene stanja bezbednosti brana i da ih poveže u odgovarajući lanac zaključaka, formirajući sve složeniju strukturu zaključaka, sa njihovim uopštavanjima prema izvedenim zaključcima višeg reda. Povezivanje lanca zaključaka u ES primenjuje se unapred i unazad. Zaključivanje unapred podrazumeva praćenje sleda: događaj / uzrok \Rightarrow predviđanje posledica / stanja. Primer: seizmograf na brani registruje zemljotres određenih karakteristika: ...pravac ...ubrzanje ...magnituda...; IS o tome automatski obaveštava ES i odmah prelazi na ubranu proceduru automatskog očitavanja oskultacionih instrumenata; ES postavlja zahteve za dodatnim informacijama od eksperata koji ga konsultuju (uključiv i informacije o vizuelnim posledicama na pojedinim kritičnim mestima na konstrukciji); na osnovu svega ES generiše zaključke o posledicama, pa predlaže određene mere delovanja: način i dinamiku ispuštanja vode, zahteve za posebnim merenjima i intervencijama, itd). Zapaža se da je ovaj smer zaključivanja logičan za brzo odlučivanje i delovanje u kriznim / havarijskim situacijama.

Povezivanje lanca zaključivanja unazad podrazumeva dijalog sa ES na način da se na osnovu sagledavanja komponenti stanja postepeno sklapa mozaik o događaju, odnosno o opštem stanju / pouzdanosti brane. Evo uprošćenog primera za ilustracije takvog tipa zaključivanja. Merenja u drenažnom sistemu gravitacione brane pokazuju postepeno povećanje količine provirnih voda, a na pijezometrima za merenje uzgona registruje se povećanje uzgona, posebno na nekim zonama temeljne spojnice. ES zahteva dodatna simultana merenja protoka u drenažnom sistemu radi lokalizacije zone povećanog proviranja, kao i simultana očitavanja svih pijezometara za merenje uzgona, kao i pijezometara na prostoru oko brane. Ujedno, određuje nove koeficijente sigurnosti pojedinih lamela brane u novim uslovima i konstatuje njihove opsege. Ukoliko ES pri tim analizama računa sa preostalim neodređenostima (nedovoljno jasno određene parametre tretira kao rasplnute ('fuzzy') veličine - novi koeficijenti sigurnosti se mogu dobiti u vidu 'fuzzy brojeva', što omogućava jasnije sagledavanje opsega stvarne promene stabilnosti brane. Na osnovu analize rezultata tih merenja, uz korišćenje i numeričkih hidrodinamičkih modela, ES dolazi do zaključka da je došlo do smanjenja efekata injekcione zavese, pri čemu lokalizuje i zonu najvećih oštećenja i predlaže konkretne mere za ojačavanje oštećene zavese.

Ekspertni sistem se razvija za potrebe Glavnog centra za praćenje bezbednosti visokih brana, čije se osnivanje planira.

3. ZAKLJUČAK

Sadašnji sistem osmatranja brana i ocenjivanja njihove bezbednosti ne zadovoljava. Sistem je previše parcijalizovan, bez odgovarajuće je blagovremene kontrole, inertan je i deluje sa velikim zakašnjenjem. U toku je proces osavremenjavanja tog sistema, projektovanjem i postepenim formiranjem modula za osmatranje brana u okviru Vodoprivrednog informacionog sistema Srbije (VISS). Takođe, proces donošenja odluka o ocenama tekuće bezbednosti brana se osavremenjava izradom ovde prikazanog Ekspertnog sistema za ocenu stanja bezbednosti brana. Zadatak ta dva sistema je da maksimalno povećaju operativnost čitavog procesa osmatranja, kao i da stručno na najkompetentniji način pruže podršku u svim fazama odlučivanja iz domena ocenjivanja bezbednosti brana i izbora mera koje treba preduzimati radi dovođenja bezbednosti na zahtevani nivo. Očekuje se da će razvoj tog ES posebno poboljšati rad na održavanju brana, jer će na vreme upozoravati na pojave i procese koji smanjuju zahtevanu bezbednost brana.

4. LITERATURA

- [1] *Marković O. i dr.*, (1993.), PREDLOG ZA OTKLANJANJE NEDOSTATAKA OSMATRANJA VISOKIH BRANA U SRBIJI, Institut za vodoprivredu 'Jaroslav Černi', Beograd.
- [2] *Dorđević B. i M. Baošić*, (1994.), RAZVOJ VODOPRIVREDNOG INFORMACIONOG SISTEMA SRBIJE, SYM-OP-IS '94, Kotor.
- [3] *Dorđević B., Lj. Petrović i T. Milanović*, (1995.), RAZVOJ SISTEMA ZA PRAĆENJE PONAŠANJA BEZBEDNOSTI BRANA, YUINFO '95, Brezovica.
- [4] *Kujundžić, B. (Editor)*, (1982.), UPUTSTVO ZA TEHNIČKO OSMATRANJE VISOKIH BRANA, Institut za vodoprivredu 'Jaroslav Černi', Beograd.
- [5] *USD of the Interior, Bureau of Reclamation*, (1983.), SAFETY EVALUATION OF EXISTING DAMS, Denver, Colorado.
- [6] *Le May, Y. & C. Nury*, (1985.), AUSCULTATION DE BARRAGES D'WLECTICITW DE FRANCE; ICOLD, Q 56 R 78.
- [7] *Dorđević, B.*, (1993.), CYBERNETICS IN WATER RESOURCES MENAGEMENT, Water Resources Publication, Fort Collins, USD.