

## EKSPERTNI SISTEMI ZA PLANIRANJE I OPERATIVNO SPROVOĐENJE ODBRANE OD POPLAVA

Branislav ĐORĐEVIĆ<sup>1)</sup> i Tina DAŠIĆ<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Redovni član Akademije inženjerskih nauka Srbije

<sup>2)</sup> Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

*Any system which depends on human reliability is – unreliable.  
Svaki sistem koji zavisi od ljudske pouzdanosti – nepouzdan je.  
(Gilbov zakon, Marphijevi zakoni)*

### REZIME

U Teoriji pouzdanosti je dobro poznato: u upravljačkom lancu odlučivanja i operativnog sprovođenja upravljačkih odluka najslabija, najnepouzdanija karika je – čovek. To je posebno izraženo u slučaju odlučivanja u kriznim situacijama, naročito onim kada se odlučuje u vremenskoj iznudici, kada treba brzo donositi odluke sa velikim bezbednosnim rizicima i posledicama. U takvim okolnostima dolazi do radikalnog smanjivanja svih komponenti kognitivnih / spoznajnih funkcija čoveka: percepcije, sinteznog korišćenja znanja, pamćenja, pravilne sistematizacije prioriteta i značajnosti problema, sposobnosti donošenja brzih odluka, sagledavanja rizika i posledica upravljačkih operacija. Posledica takvog stanja je da se u kriznim stanjima naglo povećavaju veličine  $\lambda_h(t)$  – 'funkcije intenziteta pogrešaka čoveka tokom vremena', koja je analogna sa poznatom funkcijom iz Teorije pouzdanosti  $\lambda(t)$  – 'funkcijom opasnosti od kvara' kod tehničkih sistema. Upravo iz tih razloga u sve delatnosti koje su vitalno važne po bezbednost ljudske zajednice, posebno u onim upravljačkim aktivnostima koje se odigravaju u kriznim stanjima sa nizom neizvesnosti i velikim potencijalnim rizicima i opasnostima, uvode se Ekspertni sistemi (ES) kao neophodna, nezamenljiva podrška upravljanju.

Ekspertni sistem (ES) je računarski softver koji povezuje u jednu celinu informacione baze, matematičke modele, empirijska znanja i ocene eksperata, inženjersku intuiciju, heuristička pravila, kako bi na osnovu odgovarajućeg generatora zaključaka ES mogao da blagovremeno pruži donosiocu odluke koristan savet koji će mu pomoći da donese najbolju

upravljačku odluku. Odbrana od poplava jedna je od bezbednosno najdelikatnijih operacija u upravljanju vodama, koja u sebi krije i rizike da se pogrešnim upravljanjem mogu izazvati i nepovoljniji efekti od onih koji bi bili da upravljanje nije ni izvršeno. Zato postaje neizbežno da se što pre pristupi izradi ES za sve slivove, najpre za one koji su bezbednosno najugroženiji.

U članku se razmatraju dve grupe metodoloških pitanja. Najpre se daje osvrt na istraživanja (ne)pouzdanosti čoveka u upravljačkom lancu, a zatim se sistematizuju bazni principi razvoja Ekspertnih sistema za planiranje i upravljanje u oblasti zaštite od voda. Sektor voda jedne države, ukoliko zaista želi da na savremen i pouzdan način rešava probleme blagovremene pripreme sistema za zaštitu od poplava, kao i da odbranu od poplava sprovodi na najpouzdaniji upravljački način – u obavezi je da što pre pristupi razvoju ES, najpre na slivovima koji su najugroženiji i upravljački najosetljiviji. Ekspertni sistemi u oblasti zaštite od voda omogućavaju da se njima pouzdano rešava čitav spektar veoma važnih problema u oblasti zaštite od štetnog delovanja voda: dijagnostika stanja ugroženosti od povodanja, optimalno planiranje složenih sistema zaštite, estimacija / predviđanje razvoja hidroloških procesa, interpretacija rezultata osmatranja tokom ekstremnih hidroloških stanja, provera, održavanje i verifikacija pouzdanosti sistema zaštite, najpouzdanije odlučivanje u kriznim upravljačkim situacijama, obučavanje, optimalno operativno upravljanje tokom odbrane od poplava.

**Ključne reči:** odbrana od poplava, ekspertni sistemi, regulacija reka, upravljanje vodoprivrednim sistemima, pouzdanost čoveka, štete od poplava

## UVOD

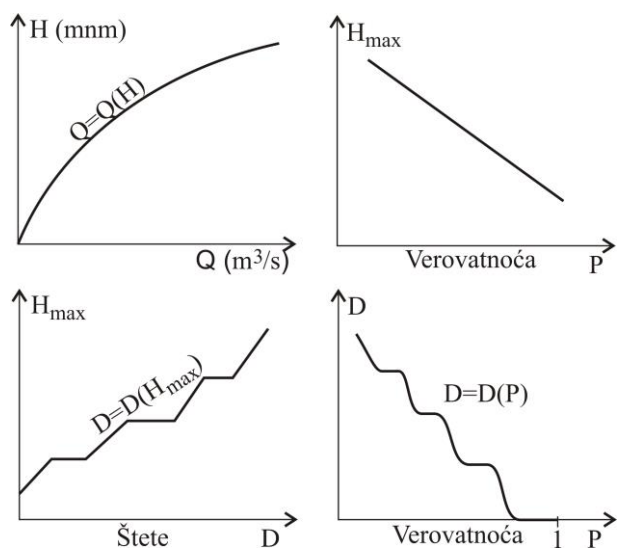
**Tezaurus korišćenih termina.** • *Upravljenje sistemima zaštite od poplava:* svi radovi na pripremi teritorije sa gledišta zaštite od štetnog dejstva voda, kao i sve operativne mere koje se obavljaju tokom trajanja povodanja. • *Priprema teritorije za zaštitu:* sve planske mere kojima se plavne zone namenski uređuju da budu najmanje ranjive u slučaju pojave povodanja - od izrade karata ugroženosti od poplava (u skladu sa Direktivom EU o poplavama) i usklađivanja svih prostornih i regulacionih urbanističkih planova sa definisanim zonama plavljenja, pa do planiranja i realizacije zaštitnih sistema. • *Zaštitni sistemi:* (a) linijski sistemi zaštite (nasipi, obaloutvrde, uređenje korita u cilju povećanja propusne sposobnosti, rasteretni kanalski sistemi), (b) aktivne mere zaštite: akumulacije, retenzije, biotehničke mere u slivovima kojima se usporava i smanjuje koncentracija povodnja sa sliva, kanalski sistemi kojima se upravljački preusmeravaju velike vode u cilju njihove optimalne evakuacije prema recipijentima (npr. HS DTD). • *Računska velika voda zaštite:* verovatnoća talasa velike vode na koji se dimenzionišu zaštitni sistemi, po pravilu je odabrana u skladu sa potencijalnim rizikom od plavljenja. • *Rizik:* rizik je ekonomska kategorija i od njega zavisi izbor računске velike vode na koju se na nekoj deonici planiraju sistemi zaštitne.  $Rizik = verovatnoća pojave \times posledice (štete) u slučaju poplave$ . • *Zaštitne kasete:* zaštitnim sistemima (namenskim nasipima i/ili nasipima puteva) jasno omeđen zatvoren branjeni prostor koji ima istu računsku vodu zaštite, pa time i istu hidrauličku 'sudbinu' u slučaju proboja linijskih sistema zaštite na bilo kom mestu. • *Ekspertni sistem (ES) za zaštitu od poplava:* računarski softver koji u jednu celinu povezuje informacione baze, matematičke modele, empirijska znanja i ocene eksperata, inženjerijsku intuiciju, heuristička pravila - kako bi na osnovu odgovarajućeg generatora zaključaka ES mogao da blagovremeno pruži donosiocu odluke predlog najbolje upravljačke odluke.

**Stalni porast složenosti sistema zaštite.** Neophodnost izrade, stalnog ažuriranja i korišćenja Ekspertnih sistema za podršku odlučivanju u zaštiti od poplava uslovljena je stalnim, sve bržim porastom složenosti i zaštitnih sistema i neophodnih mera operativne odbrane od poplava. Do porasta složenosti sistema i operativnog upravljanja dolazi iz više razloga.

(a) Zbog izgradnje sve skupljih sadržaja u zonama koje treba braniti od poplava brzo se povećavaju potencijalne štete i rizici. U opštem slučaju veličina štete zavisi od

godine (j) u budućnosti, jer zavisi od stanja izgrađenosti sistema zaštite i uređenosti teritorije za 'život sa poplavama'. Ovdje se pod godinom ne podrazumeva formalna godina, već se imaju u vidu neki vremenski preseki u budućnosti kada se u neorganizovanim društvima povećaju potencijalne štete zbog neodgovorne izgradnje u ugroženim zonama, ili, vremenski preseki kada će u okviru planskog uređenja teritorije biti realizovani zaštitni sistemi koji će smanjiti potencijalne štete. Veličine šteta zavise, takođe, i od meseca (i) u godini (j): štete u poljoprivredi bitno zavise od stanja razvoja kultura koje mogu da budu uništene poplavom (a to zavisi od meseca u godinu), a u nizu industrija (naročito prehrambenih) koje imaju proizvodnju tipa 'kampanja', štete su najveće ako se poplava desi u tom periodu. U skladu sa tim poznate su funkcije za neku deonicu reke u zoni zaštitne kasete (slika 1):

- kriva protoka  $Q=Q(H)$ ,
- raspodela verovatnoća maksimalnih nivoa  $H_{max}=H(P)$  za svaki od meseci u godini,
- dijagram šteta  $D=D(H_{max})$  koji je, po pravilu, skokovit, jer se štete naglo uvećavaju nakon prekoračenja nekih nivoa  $H_{max}$  (prelivanje nasipa, izlazak vode na neke plateau (rečne terase) na kojima se nalaze važni objekti.



Slika 1. Opšti postupak određivanja šteta od poplava

Na osnovu tih relacija definišu se štete u funkciji verovatnoće:  $D=D(P)$ . U najopštijem slučaju te funkcije mogu se uraditi i po godinama (j) i po mesecima godine (i), tako da se potencijalne štete  $D_{ij}$ , kao i  $D_j$  (šteta u nekoj 'planskoj' godini u budućnosti) dobijaju po relacijama (1):

$$D_{ij} = \int_0^1 D_{ij}(P) \cdot dP \quad \text{odnosno: } D_j = \sum_1^{12} D_{ij} \quad (1)$$

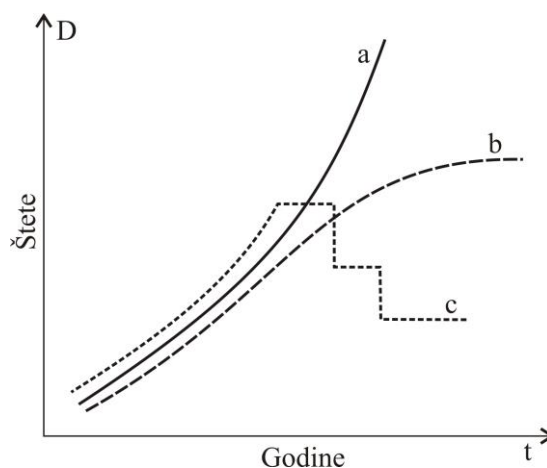
Veličina potencijalnih šteta zavisi najvećim delom od – organizovanosti države da obezbedi mudro ponašanje u prostoru i realizaciju potrebnih zaštitnih sistema. Na slici 2 su prikazane opšte funkcije potencijalnih šteta, za tri moguća scenarija razvoja sistema i uređenja teritorije. U neuređenim društvima, kakvo je, na žalost, i naše, u kome se dopušta da se nekontrolisano sa građevinskim objektima ulazi u vodno zemljište i plavne zone, funkcija potencijalnih šteta ima oblik eksponencijalnih rastućih funkcija (kriva a). Ukoliko se merama organizovane države zaustavi građenje u plavnim zonama porast šteta se usporava i zaustavlja (kriva b). Ali, ako se pored te aktivnosti preduzmu neke ozbiljnije mere zaštite, npr. nadvišenjem i ojačavanjem nasipa i izgradnjom akumulacija koje služe i za ublažavanje poplavnih talasa (slučaj dobro organizovanih društava), onda se mogu tokom vremena i smanjivati veličine potencijalnih šteta (kriva c). Diskretni oblik te funkcije (c) označava vremenske preseke realizacije pojedinih zaokruženih faza zaštitnih sistema: nadvišenje nasipa kojima se štite neke zaštitne kasete, početak punjenja neke akumulacije koja služi i za ublažavanje talasa velikih voda, celovita realizacija biotehničkih radova na bujičnim vodotocima i slivovima kojima se usporava i smanjuje formiranje povodanja, itd. Npr. u slučaju grada Valjeva i nizvodne doline Kolubare, do vrlo značajno smanjenje te funkcije potencijalnih šteta (po scenariju 'c') nastupiće odmah nakon stavljanja u funkciju akumulacije Stuborovni, jer ona u celosti retenzira poplavni telas koji se formira na tom delu sliva reke Jablanice.

Izbor najpovoljnije strategije zaštite od poplava, u okviru integralnog uređenja, korišćenja i zaštite prostora je ozbiljan optimizacioni zadatak. Rešava se uporednom analizom aktuelizovanih (diskontovanih) troškova zaštitnih sistema (T) i diskontovane dobiti koja se ostvaruje time što su otklonjene štete od poplava (D). Štete se moraju tretirati celovito, kao suma direktnih i indirektnih šteta. Direktnene su one koje su nastale u neposrednom plavljenom području, dok su indirektnene sve štete koje su nastale u širem okruženju, uključujući i one koje su nastale sa vremenskom zadržkom, zbog poremećaja proizvodnog lanca i u infrastrukturnim sistemima. Ako se ne mogu neposredno odrediti indirektnene štete se mogu uzimati prema koeficijentima odnosa direktnih i indirektnih šteta koji se koriste u svetu. Okvirno ti koeficijenti su sada u sledećim granicama: za štete u selima i poljoprivredi: oko

0,5÷0,8, za štete u gradovima 0,8÷1,5, za štete u industriji: 1,5÷2, za štete na komunikacijama: 1÷1,8. Indirektnene štete su po pravilu veće od direktnih i tokom vremena se taj odnos sve više povećava. To je i logično, jer se poremećaj privrednih i drugih aktivnosti širi po 'domino efektu' na znatno šira područja zemlje i na razne druge privredne subjekte. Niže granice se odnose na objekte i sisteme sa manjim uticajem na šire okruženje (manja sela i naselja, prerađivačke industrije lokalnog značaja, lokalne komunikacije), dok se gornje granice odnose na magistralne komunikacije, bazne industrije, velika naselja sa sadržajima čije se oštećenje i ispad iz funkcije prenosi na znatno šire okruženje.

Diskontnom analizom, sa diskontnom stopom na nivou prosečnih, treba odrediti visinu potencijalnih godišnjih šteta za svaku razmatranu strategiju razvoja branjenog područja, kao i za svaku kasetu (sistem zaštite). Obavezno uzeti u obzir i potencijalne indirektnene štete. Ukoliko nema tačnijih podataka, mogu se koristiti gore navedeni odnosi.

Pri optimizaciji je neophodno uvesti i kriterijumsko ograničenje koje se svodi na to da stepen zaštite od poplava (računska velika voda od koje se štite pojedine kasete) ne sme da bude manji od onog koji je utvrđen strateškim državnim planovima (prostornim planovima) prema veličini naselja koja se štite ili prema značajnosti kapitalnih objekata.



Slika 2. Dinamizam promene potencijalnih šteta zavisno od scenarija zaštitnog uređenja teritorije

(b) Zbog regulacionih radova u slivovima stalno se pogoršavaju režimi velikih voda - skraćuje se vreme koncentracije povodanja i povećava veličina Qmax. Upozoravajući primer je reka Dunav. Zaštitni sistemi

koji su sagrađeni tokom realizacije HE Đerdap dimenzionisani su prema velikim vodama ( $Q_{1\%}$ ) koje su određene na osnovu hidroloških serija do početka 60-tih godina prošlog veka. U međuvremenu su uzvodno i na Dunavu i na svim njegovim većim pritokama uzvedeni veoma ozbiljni regulacioni radovi, kojim je Dunav nasipima i isključivanjem velikih inundacija sve više 'utezan' u regulisano korito. Zbog toga je došlo do promene režima velikih voda, koje karakterišu veći  $Q_{max}$  za iste verovatnoće javljanja, kao i brži nailasci talasa. Posledice su vrlo ozbiljne: ranija zaštitna visina nasipa od 1,5 m (freeboard) znatno je smanjena, tako da je stepen zaštite branjenih područja smanjen u odnosu na računsku veliku vodu  $Q_{1\%}$ . Zbog toga je veoma važno preispitati čitav zaštitni sistem u novim uslovima, kako bi se izvršila neophodna rekonstrukcija nasipa. Na nekim deonicama dunavskih nasipa tokom povodnja 2006. godine dodatni nasipi od džakova su bili i preko 1,5 m, što rečito govori da je postojeći stepen zaštite nedovoljan u novim uslovima. Na isto upozorava podrobna analiza za Novi Sad (Plavšić, 2010) koja pokazuje da je u sadašnjim uslovima taj grad nedovoljno zaštićen upravo zbog pogoršanih režima velikih voda Dunava. Poboljšanje zaštitnih sistema je utoliko važnije što su u neposrednom priobalju Dunava i takvi sistemi kao što je 'Kostolački ugljeni basen', sa površinskim kopovima i vrlo značajnim TE. Pošto je kasete koja štiti taj izuzetno važan energetski basen nedovoljno pouzdana, i prema Dunavu, Mlavi i Velikoj Moravi (to su pokazali događaji iz maja 2014, kada je površinski kop bio delimično poplavljen), neophodno je dodatnim hidološkim studijama, projektima i radovima pouzdanost te kasete dovesti do računске vode 0,2%, koliko je Prostornim planom Srbije predviđen stepen zaštite za objekte tog nivoa značajnosti. To je utoliko lakše izvodljivo što ima dovoljno i materijala iz otkrivke i mehanizacije da se ti dodatni radovi na nadvišavanju nasipa racionalno obave. Slična situacija je i na drugim velikim aluvijalnim rekama – Savi, Tisi, Velikoj Moravi, i drugim.

(c) Velika neravnomernost vodnih režima u Srbiji i svim zemljama u okruženju još više se pogoršava zbog već očitovanih pogoršavanja ekstremnih hidroloških fenomena: ekstremne padavine su sve intenzivnije, povodnji sve veći i sa sve bržim vremenima koncentracija, dok su periodi suša i malovođa sve duži i ekstremniji.

Kao posledica tih fenomena povećava se složenost zaštitnih sistema i upravljanja po više osnova: • po prostornom obuhvatu zaštitnih sistema, koji se sve više moraju da šire na uzvodnije delove sliva, sa

tendencijom da uskoro obuhvate veći deo sliva, čime se realizuje upravljački princip da se zaštita od poplava prenosi na ceo sliv, • po broju elemenata zaštitnih sistema kojima treba upravljati i u fazi planiranja i u fazi operativnog upravljanja, • po broju ljudi i vrednosti dobara koje treba zaštititi, • po vremenskoj komponenti, jer se sve više skraćuje vreme za donošenje i realizaciju upravljačkih odluka, • po obimu i raznovrsnosti informacija koje treba koristiti u procesu donošenja upravljačkih odluka.

Suočen sa takvim porastom svih vidova upravljačke složenosti sistema zaštite, čovek kao element upravljačkog lanca postaje sve slabija karika, sve manje pouzdan ukoliko ne koristi savremene alate kibernetike podrške, ukoliko ne koristi Ekspertne sisteme za podršku u odlučivanju.

### POUZDANOST ČOVEKA U PROCESU UPRAVLJANJA SLOŽENIM SISTEMIMA

U vodoprivredi, delatnosti koje je veoma osetljiva sa gledišta pouzdanosti funkcionisanja sistema, do sada nije uzimana u razmatranja pouzdanost čoveka - ključnog činioca u upravljanju sistemima. Zanemarena je neumoljiva tačnost jednog od Marphyjevih zakona: 'Jedine stvarne greške su ljudske greške'. Na nužnost ozbiljne analiza problema (ne)pouzdanosti čoveka i njenog prevazilaženja uvođenjem u korišćenje i Ekspertnih sistema, egzaktno je i kod nas upozoreno (Đorđević, 1996), ali bez rezultata. Nije se pristupilo korišćenju Ekspertnih sistema čak ni u oblasti odbrane od poplava, koja je najdelikatnija, najstresnija upravljačka aktivnost, kada su sve kognitivne funkcije čoveka kao donosioca odluka veoma umanjene. Zato se ovde daje najsazetije podsećanje na bitne činjenice.

Pouzdanost čoveka u procesu upravljanja definiše se kao verovatnoća da čovek kao element upravljačkog dela sistema (UDS) neće načiniti grešku u intervalu  $t$ , ako je  $T$  slučajna promenljiva, koja označava vreme od početka rada do prve pogreške:

$$R(t) = R(T > t) \quad (2)$$

Zapaža se potpuna analogija sa pouzdanošću ostalih sistema, uz dve bitne specifičnosti: • kod čoveka razmatramo greške u radu tokom perioda ( $t$ ), a ne otkaze, • čovek ima sposobnost uočavanja greške i samokorigovanja. Razmotrimo gde se greške javljaju u upravljanju sistemima zaštite od poplava.

Ukoliko bi se razmatrala poznata kibernetika šema vodoprivrednog sistema (Đorđević, 1990, Djordjević,

1993), greške čoveka, one sa najvećim posledicama su sledeće: ▪ *Greške pri definisanju ciljne strukture, kriterijuma za vrednovanje, ograničenja.* To su strateške greške, koje imaju velike posledice na sisteme zaštite: odabrana od neadekvatne računске velike vode, zbog toga što se računa sa starim hidrološkim analizama (pomenut primer Dunava u zoni Novog Sada i kraj Kostolca), pogrešne koncepcije sistema (oslanjanje isključivo na linijske sisteme zaštite i u uslovima kada to nije dovoljno pouzdano). ▪ *Greške čoveka kao dela informaciono - upravljačkog sistema* (greške pri sakupljanju i interpretaciji informacija, itd.) koje mogu imati teške posledice ukoliko se kao takve, bez odgovarajuće provere, upotrebe za donošenje upravljačkih odluka. ▪ *Greške pri izboru matematičkih modela i algoritama.* ▪ *Greške u oceni stanja sistema,* posebno u neuočavanju njegovih slabih tačaka (pokazaće se, na primeru Kolubare, ključna greška koja je dovela do potapanja površinskih kopova). ▪ *Greške čoveka pri donošenju upravljačkih odluka.* Te greške su mnogo češće nego što se smatra i one najčešće imaju karakter 'lapsus mentis', nastao na bazi kombinacije, pa i kumulacije nekih drugih grešaka (pogrešno ocenjenih primarnih informacija, pogrešne interpretacije, pogrešne procene stanja u sistemu). ▪ *Greške pri izvršenju odluka.* Doneta odluka se najčešće izvršava tako što se na komandnom pultu obave odedene operacije (pritiskanje dugmadi, pokretanje prekidača). Tom prilikom nastupaju grešnje u neposrednoj operaciji izvršenja upravljanja. ▪ *Greške propuštanja izvršenja odluka.* To je česta greška, koja se svodi na previd čoveka da izvrši neku propisanu ili iskrslu operaciju. Nastaje iz više razloga: ne uoči se neko upozorenje na pultu, zaboravnost, napuštanje radnog mesta, itd.

**Analiza pouzdanosti čoveka.** Analize pokazuju da se čovek ponaša, sa gledišta pouzdanosti rada, analogno kao svi drugi sistemi. Ako je  $R_h(t)$  - pouzdanost čoveka kao dela informaciono-upravljačkog sistema, a  $\lambda_h(t)$  - intenzitet pogreške u funkciji vremena  $t$ , može se pokazati (Đorđević, 1990) da se pouzdanost čoveka definiše u poznatom obliku

$$R_h(t) = \exp \left\{ - \int_0^t \lambda_h(t) dt \right\} \quad (3)$$

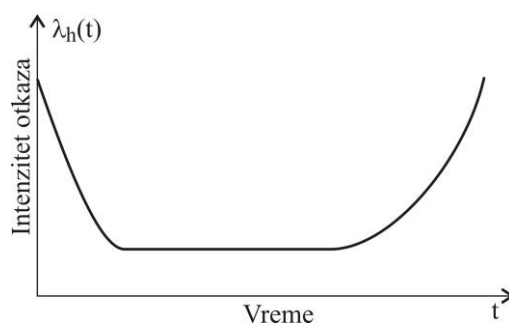
Empirijska istraživanja pokazuju da se funkcija ( $\lambda_h$ ) grešaka ljudi na upravljačkim poslovima mogu aproksimirati istim tipom raspodela kao u slučaju tehničkih sistema, pre svega Vejbulovom i Gama raspodelom. Za  $\beta=1$  i  $\gamma=0$  Vejbulova raspodela prelazi u eksponencijalnu. Ona važi tokom vremena kada je intenzitet pogrešaka konstantan, a to je onaj period kada

je čovek već uhodan sa poslom, a još uvek je odmoran. Za  $0 < \beta < 1$  funkcija  $\lambda_h(t)$  je opadajuća (pogodno za opisivanje početka rada, kada je veća učestalost grešaka zbog toga što se čovek još nije saživeo sa upravljačkom situacijom, a za  $\beta > 1$  funkcija  $\lambda_h(t)$  postaje rastuća, i pogodna je za opisivanje onog perioda rada kada čovek koji upravlja sistemom trpi posledice zamora i popuštanja koncentracije, te se opasnost od greške  $\lambda_h(t)$  ubrzano povećava. Iz toga se mogu izvući vrlo bitni zaključci da na odgovornim poslovima, na kojima pogreške imaju vrlo teške posledice, angažovanje ljudi treba da bude slično proceduri po kojoj rade kontrolori letenja. Nakon stupanja na dužnost jedan deo vremena samo prate rad partnera koga treba da zamene, da bi se saživali sa upravljačkom situacijom, ili, analitički, da bi 'izašli' iz prvog dela krive  $\lambda_h(t)$ , kada do greške dolazi zbog neuhodanosti i nedovoljnog shvatanja situacije. Nakon toga rade samo onoliko dugo dok se nalaze u drugom delu grafika  $\lambda_h(t) = \text{const}$  (eksponencijalna zona raspodele), a ne dopušta se da rade u trećoj zoni ( $\beta > 1$ ), kada se zbog zamora naglo povećava  $\lambda_h(t)$ . U periodu kada je  $\lambda_h = \text{const}$ . pouzdanost čoveka se svodi na poznatu relaciju

$$R(t) = \exp [-\lambda_h \cdot t] \quad (4)$$

U tom slučaju i očekivano vreme rada bez pogreške je

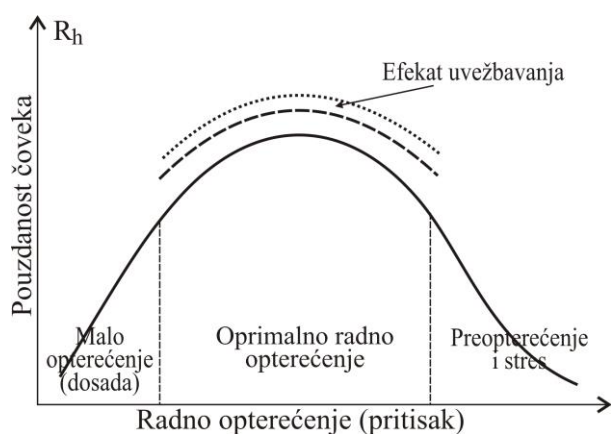
$$T_o = \Theta = 1/\lambda_h. \quad (5)$$



Slika 3. Funkcija  $\lambda_h(t)$  – opasnost od pogreške čoveka u procesu upravljanja

Za sagledavanje opasnosti od grešaka čoveka pri donošenju upravljačkih odluka u periodu operativne odbrane od poplava, bitne su analize pouzdanosti čoveka kada odlučuje u uslovima stresnog pritiska i preopterećenja tokom upravljanja, ukoliko odluke donosi bez podrške Ekspertnog sistema. Reinterpretiranjem istraživanja (Hollnagel, 1993) dolazi se do vrlo poučnog dijagrama - pouzdanost čoveka  $R_h$  u funkciji radnog opterećenja ('pristiska') na čoveka tokom rada. Ako je pritisak mali, a ne postoji

odgovarajuća kontrola, čovek kao upravljački organ je opušten i nonšalantan, pa je mala njegova pouzdanost kao radna performansa. Najveća pouzdanost je u uslovima umerenih pritisaka i dobre kontrole (središnji deo dijagrama). Međutim, ukoliko je čovek izložen velikom pritisku, ukoliko mora da odlučuje bez podrške Ekspertnog sistema, u uslovima vremenske iznudice, zamora i uz saznanje da su velike posledice njegovih upravljačkih odluka, to predstavlja stresno stanje koje radikalno smanjuje pouzdanost čoveka sa stanovišta donošenje ispravnih odluka (desni deo dijagrama). To je veoma važan, upozoravajući dijagram koji pokazuje da sa gledišta upravljačke pouzdanosti čoveka nisu pogodna ni premala ni prevelika opterećenja, i da postoji neka optimalna zona radne angažovanosti. Naime, ukoliko je brzina pristizanja informacija na osnovu kojih treba odlučivati manja od 0,1 bit/s, to dovodi do slabljenja percepcije, gubljenja pažnje, pada koncentracije i smanjenja pouzdanosti čoveka. Ali, duže trajanje informacionog opterećenja iznad 6÷7 bit/s dovodi do ubrzanog zamora, sa istim posledicama. Uticaj opterećenja na pouzdanost čoveka prikazuje se na slici 4. zapaža se da pouzdanost može povećati uvežbavanjem upravljačkih procedura.



Slika 4. Upravljačka pouzdanost čoveka u funkciji opterećenja ('radnog pritiska')

**Sposobnost samokorigovanja.** Za razliku od tehničkih sistema čovek ima sposobnost samokorigovanja nakon uočene greške. Ukoliko sa  $k(t)$  označimo intenzitet uočavanja i ispravljanja pogreške, može se dokazati (Hollnagel, 1993, Đorđević, 1996) da je korigujuća sposobnost čoveka  $C_h$  - verovatnoća da će pogreška biti odmah uočena i ispravljena tokom vremena  $t$ , ukoliko čovek radi u uslovima normalnog opterećenja

$$C_h = 1 - \exp\left\{-\int_0^t k(t)dt\right\} \quad (6)$$

Ekspertni sistemi sa pripadnicima profesija kod kojih je ta sposobnost bitna za njihovu vlastitu bezbednost (piloti, kosmonauti), pokazuju (USAEC, 1984) da se u zadacima koji su bliski zadacima osmatranja, praćenja i korekcije samo jedne promenljive, vreme uočavanja i korekcije uočene greške distribuira lognormalnom raspodelom. Međutim, utvrđeno je da se verovatnoća uočavanja greške višestruko smanjuje u uslovima velikog i stresnog radnog opterećenja.

**Ograničenje upravljačke sposobnosti čoveka.** Sve velike katastrofe tehničkih sistema (NE Ostrvo Tri milje, NE Černobil, itd.) nastupile su isključivo zbog veoma ozbiljnih ljudskih grešaka. Grešaka koje izazivaju nevericu. Npr. operateri u NE Ostrvo Tri milje 14 dana, u tri smene nisu uočili (mada je svetlosno upozorenje bilo na komandnoj tabli), da su greškom operatera zatvoreni zasuni na sve tri pumpe pomoćnog sistema hlađenja, koje moraju da budu uvek u stanju pripravnosti, kako bi se pumpe automatski uključile ako ispadne glavna pumpa rashladne vode. Kada je došlo do ispada glavne pumpe sistema hlađenja i uzaludnih pokušaja automatike da uključe jednu za drugom tri paralelno vezane pomoćne pumpe sekundarnog sistema hlađenja, automatski se uključio sistem 'hlađenja u nuždi' iz rezervoara pod pritiskom (bezbednosno veoma dobro obezbeđena elektrana). Međutim, operateri čitava 2,5 sata nisu uočili da nisu obavili dve najvažnije bezbednosne operacije: nisu zatvorili rasteretni ventil kroz koji se gubila rashladna voda iz reaktora, i nisu daljinskim upravljenjem zatvorili hermetičnu pregradu kojom se potpuno izoluje reaktorski blok od mašinskog dela NE (!). To je dovelo do prodora kontaminirane pare u mašinsku zgradu i preko ventilacionog sistema do njenog izbacivanja u okolinu. Primer pokazuje koliko se sužena upravljačka sposobnost čoveka u kriznim stanjima.

Nakon te havarije obavljena su veoma detaljna istraživanja pouzdanosti čoveka koja su ukazala na iznenađujuće nisku pouzdanost čoveka kao dela informaciono - upravljačkog sistema. Pokazalo se (USAEC, 1984):

- čovek u upravljačkom procesu ima znatno suženiju percepciju od one sa kojom se računalo, i manju sposobnost selekcije važnih od nevažnih informacija,
- znatno mu je ograničeniji kapacitet obrade analitički važnih informacija no što se smatralo, jer mozak može da obradi samo manji deo informacija koje čulni receptori primaju, tako da dolazi do

'informativnog zagušenja', • čovek je posebno nepouzdan ako treba da lično izvršava neke veoma delikatne operacije u kombinaciji, po nekom tačno definisanom redosledu, sa operacijama koje obavlja automatski upravljeno. Najvažniji rezultat tih istraživanja je upravo bio da se čoveku, kao nepouzdanom elementu upravljačkog sistema, ne sme da poveri upravljanje bez Ekspertnih sistema za podršku odlučivanju, koji će čoveka ne samo upozoriti na grešku, već će po potrebi i sprečiti realizaciju pogrešne upravljačke odluke. Sada nuklearne elektrane ne samo da ne bi izvršile pogrešne opasne komande, kao one u Černobilu, već bi nakon svetlosnog i zvučnog upozorenja, ako se upozorenje ne poštuje - prešle na isključivanje reaktora, ako bi rastrojeni operator insistirao na pogrešnim komandama.

Posebno je uočeno da se naglo smanjuju performanse (pouzdanost) čoveka u uslovima odlučivanja u veoma napregnutim stresnim uslovima. Samo kao primer: brzina prerade analitičkih informacija čoveka u povoljnim radnim uslovima je samo  $5 \div 10$  bit/s, i to se može u kraćim intervalima povećati do oko  $12 \div 15$  bit/s. Problem je, međutim, što se u uslovima upravljanja u stresnim uslovima, kada čovek odlučuje svestan mogućih teških posledica svojih odluka, sposobnost korišćenja i upravljački tačne obrade informacija smanjuje čak na manje od 0,5 bit/s, a da u nekim uslovima nastupa potpuna 'panična blokada' suvislog upravljačkog odlučivanja.

Treba navesti samo par veoma upozoravajućih primera velike učestalosti nekih i za vodoprivredu važnih pogrešaka čoveka kao dela upravljačkog sistema, prema detaljnim istraživanjima USAEC (USAEC, 1984). • Učestalost pogreške veličine reda  $5 \times 10^{-1}$ : operator pri preuzimanju dužnosti neće zapaziti na monitoru upozorenje da se neki vitalno važni prekidači nalaze u nedozvoljenom položaju, ukoliko ga na to ne upozori poseban i zvučan i svetlosni signal ili obavezujuća procedura provere. • Prosečna učestalost greške je  $0,2 \div 0,3$  u radu operatera u napregnutom radu, ukoliko zna da će odmah nastupiti vrlo opasne posledice i po njega i po druge ukoliko pogreši u nekoj upravljačkoj proceduri koju treba sprovesti po tačno određenom redosledu. • Učestalost greške je  $0, x$ , ako je  $x$  – broj potpuno istih prekidača kojima treba izvršiti neku operaciju, ukoliko je  $x \leq 6$ . • Greške učestalosti  $0,9 \div 1$  (!): ako je operator postavio u pogrešan položaj preklopnik za upravljanje jednim uređajem (npr. dovodenje u određen položaj nekog zatvarača), to će isto uraditi i sa drugim preklopnikom koji se nalazi u

istom rasporedu neposredno do njega, iznad ili ispod njega, ukoliko nema zvučnog i svetlosnog upozorenja nakon postavljanja u pogrešan položaj prvog preklopnika. • Greška učestalosti reda  $3 \times 10^{-1}$  je u slučaju da operator od više mogućih komandnih dugmadi pritiskuje jedno i ne primećuje svetlosni signal da je ta komanda već data! Ista učestalost je i da osoblje smene koja preuzima posao neće proveriti opremu, mada je to izričito naloženo, osim ukoliko nije propisana posebna kontrolna procedura da se to učini i verifikuje nekim tasterom. Dopunski kontrolor, ili drugi operator zadužen za to, neće primetiti na monitoring tabli početnu grešku operatora, ako nema posebnog zvučnog ili svetlosnog upozorenja. Treba zapaziti: učestalosti pogrešaka su alarmatno visoke upravo u upravljačkim situacijama koje su vitalno važne po bezbednost objekata (rad sa zatvaračima, neuočavanje upozorenja o pogrešnim pozicijama bezbednosno vitalnih uređaja, itd.).

**Upravljački odgovor na (ne)pouzdanost čoveka.** Nakon ovih poražavajućih konstatacija o (ne)pouzdanosti čoveka u procesu upravljanja, u novije vreme se kao posebna oblast na spoju više nauka (Teorije pouzdanosti, Ergonomije, Psihologije, itd) razvija tzv. Bezbednostno inženjerstvo. Cilj je da se iznađu metode kojima će se povećati pouzdanost čoveka u procesu upravljanja. Te mere se sprovode u više pravaca:

(a) *Mere na planu ergonomije* bave se poboljšanjem položaja, pristupačnosti, načina pokretanja upravljačkih uređaja - kako bi se opasnost od greške svela na najmanju meru. Navode se samo neke mere. • Pošto pouzdanost čoveka pri izvršenju neke komandne procedure (koja zahteva pokretanje niza prekidača) zavisi od međusobnog rastojanja tih prekidača / dugmadi, istraživanjima se traži optimalno rastojanje sa gledišta pouzdanosti čoveka koji ih koristi za upravljanje (ne valja ni kada su prekidači preblizu, ni kada su daleko jedan od drugog). • Bezbednostno posebno važni prekidači se dodatno zaštićuju i za njih se uvode posebne procedure pokretanja. Takvi prekidači se pokrivaju zaštitnim poklopcem (označavaju se upozoravajućim bojama), i za njih se uvode procedure pokretanja posebnim ključem, da se ne bi mogli pokrenuti pogrešnim, mahinalnim potezom. Za bezbednostno vrlo delikatne operacije obavezna su svetlosna i zvučna upozorenja, kako bi se uklopničar upozorio da se latio izvršenju procedure koja je posebno osetljiva sa gledišta bezbednosti. U hidrotehnici takva procedura se mora uvesti za pokretanje zatvarača na prelivima, jer se već dešavalo da uklopničari na nekim

visokim branama previše brzim otvaranjem ustava generišu izuzetno velike talase nizvodno, bez ikakvog upozorenja. ▪ Prekidači se grupišu prema logici procedure neke operacije, tako da se uklopničar pri izvršenju neke procedure usredsređuje samo na određeni deo komandne table. I upozoravajući svetlosni signali se grupišu prema opasnosti: ispred uklopničara (u posebno izdvojenoj ‘crvenoj’ zoni) su upozorenja sa najvećom težinom, dok su upozorenja sa manjom težinom raspoređena po grupama oko te zone.

**(b) Mere propisivanja obaveznih kontrolnih procedura** imaju zadatak da do maksimuma povećaju pouzdanost čoveka, posebno u okolnostima kada je veoma bitno da se neke delikatne operacije obave tačno po određenom redosledu, kao i da se ne zaboravi očitavanje nekog od važnih kontrolnih uređaja. ▪ Primenjuje se procedura kao u kokpitu putničkog aviona: jedan glasno čita proceduru operacija, a drugi je izvršava i glasno ponavlja da je izvršeno. ▪ Na komandnim mestima na kojima je čovek malo opterećen (dežura samo za slučaj nekog izvanrednog događaja), pa je upravo zbog toga malo pouzdan (Slika 4), uvode se obavezujuće kontrolne procedure (očitanje instrumenata po nekom redosledu u određenim intervalima vremena, sa verifikacijom pritiskanjem određenih tastera), kako bi se koncentracija održavala na potrebnom nivou. Ukoliko se procedura ne obavi na vreme, ili se obavi po pogrešnom redosledu - sistem upućuje upozorenje, sve do pravilnog izvršenja propisane procedure. ▪ Kombinacija mešovitog upravljanja automatike i čoveka nije dobra sa gledišta pouzdanosti, jer je velika verovatnoća da će čovek prevideti svoj deo posla. Ako je takvo upravljanje neophodno, onda automatici treba poveriti da veoma upadljivo upozori operatera šta treba da dalje uradi, pa ako to ne obave u propisanom vremenu ili u dopustivom opsegu upravljačkih parametara - da ona sama obavi i taj deo posla, izveštavajući rezolutno da je to obavljeno.

**(c) Ekspertni sistemi** su najmoćnije oružje za povećavanje pouzdanosti upravljanja sistemima zaštite od poplava, pa se taj pristup detaljnije razmatra u narednom poglavlju.

### EKSPERTNI SISTEMI KAO PODRŠKA UPRAVLJANJU SISTEMIMA ZAŠTITE OD POPLAVA

Polazište za ovo razmatranje je stav: složenost i važnost upravljanja zaštitnim sistemima od poplava, i u fazi građenja i u fazi operativne odbrane, dostigli su takav nivo da više ni jedna ozbiljna zemlja, ni jedna ozbiljna

institucija u sektoru voda niti može niti bi smela da upravlja takvim sistemima bez aktivne podrške namenski urađenih Ekspertnih sistema. Ekspertni sistemi se rade postupno, stalno se dopunjavaju i poboljšavaju i koriste se i za zadatke planiranja sistema zaštite, i u periodima operativne odbrane od poplava.

Ekspertni sistem (ES) je vid veštačke inteligencije i bitno se razlikuju od običnih sistema za obradu podataka po tome što je ES u stanju da oceni valjanosti raspoloživih podataka i da uz primenu potrebnih matematičkih modela i heurističkog ocenjavanja (na nivou ljudskog rezonovanja) iznađe najpovoljnije upravljačke odluke. Zato se može definisati da je ES računarski softver koji povezuje u jednu celinu baze podataka, matematičke modele, empirijska znanja i ocene eksperata, inženjerijsku intuiciju, heuristička pravila i operativne informacije koje se sakupljaju ‘on line’ tokom upravljanja, kako bi, na osnovu odgovarajućeg *generatora zaključaka*, mogao da predloži donosiocu odluke najbolje upravljanje, po kriterijumima i ograničenjima koji su unapred definisani. Iz širokog spektra zadataka ES izdvajaju se sledeće grupe: • dijagnostika stanja i pouzdanosti sistema zaštite, • monitoring operativnog stanja u sistemu, • estimacija / predviđanje razvoja procesa geneze povodnja, • interpretacija rezultata osmatranja, • planiranje / optimizacija složenih sistema zaštite, • održavanje sistema, • odlučivanje u havarijskim situacijama, • obučavanje za delovanje u kriznim stanjima, • upravljanje – koje obuhvata sve prethodne zadatke kojim se obezbeđuje optimalno upravljanje u svim fazama planiranja i operativnog upravljanja. Ekspertni sistem funkcioniše tako što kroz dijalog sa korisnikom, zahtevajući i proveravajući nove informacije, sam aktivira potrebne matematičke modele, analitički razmatra efekte i posledice svake od mogućih upravljačkih odluka i predlaže najbolje rešenje. Za ES je bitno da je u stanju da prepozna kritične parametre i situacije u vodoprivrednom sistemu (VS) i da nađe i predloži načine kako da se prevaziđu.

**Polazište za izradu Ekspertnog sistema za zaštitu od poplava.** Polazište za izradu ES su sledeća: ▪ ES za zaštitu od poplava radi se za sliv na kome je sistem zaštite jedinstvena funkcionalno-upravljačka celina (npr. sliv Kolubare, sliv Zapadne Morave, itd.). ▪ Upravljanje ES tokom poplavnog događaja, takođe, mora da bude na nivou sliva, po strukturi hijerarhijskog odlučivanja: strateške odluke donosi i kontroliše izvršenje centralni upravljački organ zadužen za sliv, dok se operativno izvršenje donetih upravljačkih odluka obavlja po teritorijalnim jedinicama. ▪ ES je zasnovan



na postupnom, evolucionom razvoju, pošto je u njemu znanje sistematizovano, nezavisno od operativnih informacija, što omogućava da se ES postupno osposobljava da rešava zadatke sve viših nivoa složenosti. ▪ ES se radi uz aktivno učešće eksperata koji svojim empirijskim znanjima i ocenama učestvuju i u kreiranju i u oformljenju baze znanja.

**Struktura Ekspertnog sistema.** Ekspertni sistem se formira određenom procedurom, u okviru koje su ključni sledeći postupci: • Prikupljanje znanja i formiranje baze znanja, izdvajanjem, sistematizacijom i formalizovanjem znanja koja se uvode u ES. • Predstavljanje znanja i izrada skupa matematičkih modela, kao baze modela, koji se koriste u pojedinim fazama analize, sinteze i upravljačkog odlučivanja. • Razvoj heuristike koja se temelji na izboru, oceni i uvođenju u ES empirijskih iskustava i pravila iz prakse, uz odgovarajuću njihovu kodifikaciju. • Formulisanje generatora zaključaka, čiji je zadatak da korišćenjem baze znanja, baze modela, kao i osnovnih i izvedenih informacija koje se uvode u ES izabere i predloži one upravljačke odluke koje najviše odgovaraju određenoj etapi rešavanja upravljačkog problema.



Slika 5. Osnovna struktura ekspertnog sistema

Pojednostavljena šema ES prikazana je na sl. 5. Zapaža se činjenica da je **Baza znanja**, jedan od ključnih elemenata ES, potpuno odvojena od procesa računanja, čime se dobija adaptivan ES, koji se stalno evolutivno

razvija i dograđuje. Baza znanja je sastavni deo bloka **Predstavljanje znanja**, kojim se znanja sistematizuju i formalizuju za operativno korišćenje. Na taj blok se naslanja blok **Baza modela**, koji sadrži skup matematičkih modela, simulacionih, estimacionih i optimizacionih, koji se koriste tokom procesa analize problema i u procesu zaključivanja. Oni koriste datoteke iz baze znanja, kao i operativne ulaze, koji se prikupljaju u procesu donošenja odluke. Sva računanja se obavljaju van neposrednog okvira ES, a zatim se rezultati dobijeni modeliranjem uvode u ES radi dalje obrade i zaključivanja. U Bazi modela se po pravilu nalaze i modeli za višekriterijumsku optimizaciju i višekriterijumsko rangiranje alternativa, sa mogućnošću vrlo fleksibilnog variranja težina koji se daju pojedinim kriterijumima. Treba zapaziti da je taj blok, takođe, izdvojen kao poseban element, pre svega zbog činjenice da se i taj blok stalno razvija i unapređuje, te mora da bude formiran kao adaptivan sistem, koji ne zavisi od postupaka računanja. **Algoritmi za računanje** formalizovani su univerzalno, za sve modele i sve numeričke procedure koje se koriste tokom rada ES.

Ključni, vitalni element ES je **Generator zaključaka (Inference engine)**, koji ES daje sasvim nov, integrativni kvalitet u smislu veštačke inteligencije. Njegov zadatak je da izabere i primeni odgovarajuća pravila, da ih dovede u međusobnu vezu, u vidu lanca zaključaka, i da na osnovu toga, postavlja zahteve za dopunskim informacijama, izvede konačan zaključak koga će predložiti korisniku. Generator zaključaka na osnovu definisanih kriterijuma, ograničenja i heurističkih pravila iskoristi sve podatke iz baza podataka, kao i rezultate simulacionih i optimizacionih modeliranja kojima su apriorno proverene posledice razmatranih upravljačkih odluka (ako bi se iste izvršile), pa se iz skupa mogućih upravljanja izabere ono koje je najbolje u toj fazi upravljanja, u skladu sa usvojenim kriterijumima i ograničenjima. U novije vreme se kao generatori zaključaka sve više koriste komercijalni softveri, koji se prilagođavaju da mogu da brzo komuniciraju sa bazama znanja i bazama modela. Oni mogu da obave zaključivanje i u uslovima neizvesnosti koje su iskazane verovatnoćama javljanja pojedinih fenomena.

U okviru šireg bloka **'ulaz - izlaz'** mogu se posebno izdvojiti podsystemi za prikupljanje znanja, za objašnjenje i obučavanje, kao i za vezu sa korisnikom. Već naglašenu osobinu postepenog, evolucionog i inkrementalnog razvoja ES simbolično zaokružuje blok **Razvoj**, u kome inženjeri znanja i eksperti za pojedine oblasti sagledavaju pravce daljeg razvoja ES,

interaktivno povezani sa korisnikom, koji definiše konačne ciljeve razvoja ES u narednim etapama.

Prikupljanje znanja i formiranje baze znanja je ključan, ali i najdelikatniji proces pri izradi ES. Iz obimnog fondusa *javnog znanja* (projekti, studije, digitalizovane karte plavnih zona, pravilnici, uputstva, itd) i *privatnih znanja* (iskustva eksperata, inženjerske ocene, itd) izdvajaju se ona znanja koja su bitna za rešavanje upravljačkih zadataka.

**Predstavljanje znanja** je finalni vid formalizacije znanja. Suština je u tome da znanja moraju da budu ne samo sistematizovana za lako korišćenje u okviru ES, već da treba definisati i odnose / relacije između pojedinih informacija. Npr. nije dovoljno definisati samo obim plavljenja za neku definisanu kotu nivoa, već je potrebno definisati zavisnosti tipa (c) sa slike 1: dijagram šteta  $D=D(H_{max})$  koji je, po pravilu, skokovit, jer se štete naglo uvećavaju nakon prekoračenja nekih nivoa  $H_{max}$  zbog prelivanje nasipa, ili izlaska vode na neke više rečne terase na kojima se nalaze važni objekti. U detaljnije razvijenim ES takve zavisnosti treba da budu urađene za sve branjene kasete, jer to može da bude od značaja u nekoj veoma kriznoj situaciji kada treba doneti tešku odluku da se namenski potopi neka kasete na kojoj su manje štete (namenske retenzije sa plantažnim šumama ili samo za poljoprivrednu proizvodnju), da bi se zaštitila veća naselja ili veoma važni kapitalni objekti, npr. termoelektrane). Postoje razne metode za predstavljanje znanja u okviru baza znanja ES, ali su najčešće sledeće.

(a) **Produkciona pravila**, koja se definišu u vidu 'Ako ... onda ...', koja su veoma pogodna za predstavljanje empirijskih / iskustvenih znanja. To se najčešće prikazuje u vidu lanca:

Situacija / događaj  $\Rightarrow$  uslov u pravilu  $\Rightarrow$  dejstvo / akcija  $\Rightarrow$  nova situacija  $\Rightarrow$  novo pravilo  $\Rightarrow$  ...

Produkciona pravila su veoma pogodna za predstavljanje znanja tipa: stanje  $\Rightarrow$  dejstvo, događaj  $\Rightarrow$  reagovanje, uslov  $\Rightarrow$  zaključak, uzrok  $\Rightarrow$  posledica, itd. Kao primer, jedno prosto pravilo moglo bi da bude: 'Ako je RHMZS prognozira o nailazak ciklona sa padavinama koje će biti veće od 100 mm i izdao crveni alarm, **onda** nizvodnim naseljima ... u roku od ... minuta izdati upozorenje  $N^0x$  da će doći do nagle promene protoka u reci i **onda** odmah preći na forsirano pretpražnjenje akumulacija, po planiranoj dinamici'. Dinamika ispuštanja podrazumeva da se ispuštanje iz akumulacija odvija po računski proverenoj i zadatoj

dinamici, da ne dođe do formiranja opasnog pozitivnog čeonog talasa.

(b) **Semantičke mreže** su način predstavljanja znanja putem grafova, u kojima čvorovi predstavljaju određene činjenice, a lukovi veze između njih. Njihova svrha je da u ES uvedu semantički način objašnjenja određenih pojmova, koji se koriste u dijalogu ES sa korisnikom tokom rešavanja problema

(c) **Meniji** su veoma pogodni za predstavljanje stereotipnih znanja i/ili definisanih ograničenja. Tipičan meni su tabele najviših nivoa (kota) vode koje su definisane kao kritične za pojedine zaštićene kasete, naselja, privredne objekte.

**Baze podataka i modeli koji su bitni za ES za zaštitu od poplava.** Za ES za zaštitu od poplava nekog područja / sliva posebnu važnost imaju baze podataka i matematički modeli.

**Baze podataka:** Njih čine brojne grupe datoteka (hidroloških, hidrauličkih, morfoloških o rečnim koritima, o položaju naselja i objekata u branjenom području). Pored njih za ES specifične baze podataka su:

- Digitalizovane karte branjenog područja, koje su neophodne za sve numeričke analize posledica mogućih događaja tokom perioda odbrane (posledice proboja nasipa).

- Karte ugroženosti od poplava koje prema FRMD (Flood Risk Management Directive, 2007/60/EC). Na potpunijim nivoima razrade karte se rade za tri moguća scenarija: • ekstremne poplave malih verovatnoća ( $>> 100$  godina), • 'računske' poplave za povratni period  $\approx 100$  godina, • učestalije poplave većih verovatnoća (povratnih perioda  $10 \div 50$  godina). U ES operativni planovi se postepeno razrađuju za sva tri moguća scenarija, ali je za njegovu polaznu varijantu potrebno da se uradi karta za povodnje verovatnoće  $\approx 100$  godina, koja je osnova i za sva druga urbanistička i prostorna planiranja u ugroženim zonama. U skladu sa zahtevima FRMD, ali i sa gledišta izrade realnih operativnih planova delovanja u uslovima povodanja, potrebni su kartografski prikazi: • granice plavnog područja na području za veliku vodu povratnog perioda  $\approx 100$  godina, • prikaz dubina plavljenja (kota nivoa) pri maksimalnom urezu vode.

- Projekat planiranog zaštitnog sistema nasipima, sa prikazom izvedenog i planiranog stanja. Do planiranog stanja treba doći optimizacijom, razmatranjem više varijanti položaja zaštitnih nasipa duž celog toka. Taj

projekat se mora raditi na nivou hidrografskih celina (npr. ceo tok Kolubare), jer parcijalna planiranja zaštite niti su moguća, niti su dozvoljena, pošto efekti mogu da budu suprotni od željenih kada se rešenja razmatraju na nivou hidrografske celine. U zoni naselja linijski zaštitni sistemi (nasipi, obaloutvrde) treba da budu na skladan način uklopljeni u urbanu matricu grada, tako da postani deo njegovog urbanog sadržaja (zona rekreacije). U ES treba da budu predviđeni položaji rezervnih linija odbrane i tehnička rešenja za njihovo uspostavljanje.

**Matematički modeli:** ▪ Okvirni matematički model (MM) geneze povodnja u slivu, na osnovu pretpostavljene izohijetske situacije i dinamizma padavina nad slivom, u skladu sa hidrološkim analizama geneze povodanja u prošlosti. ▪ Hidraulički MM stacionarnog tečenja na glavnim vodotocima u području odbrane. ▪ Hidraulički MM nestacionarnog tečenja – propagacije talasa. ▪ Hidraulički modeli proticajnih kapaciteta (u funkciji kote u jezeru) svih evakuacionih organa (preliva, ispusta) na svim branama akumulacija koje se nalaze u slivu. ▪ Modeli za proračun transformacije talasa velikih voda u akumulacija koje služe za aktivnu odbranu od poplava. ▪ Modeli – 1D, 2D i po mogućnosti u 3D (u razvijenijim ES), za analizu nestacionarnog tečenja u slučaju proboja nasipa i prodora vode u branjeno područje. Mada se radi o hidrauličkom fenomenu koji ima izraziti prostorni 3D karakter, treba biti realan u postupnom razvoju, pa krenuti od operativnijih i razrađenijih 1D MM, koji su pogodni tokom izbora najpovoljnijih varijanti sistema zaštite, a zatim tokom razvoja ES prelaziti na 2D i 3D modele za usvojenu konfiguraciju celovitog sistema zaštite.

Proces zaključivanja u ES može da se odvija unapred i unazad. Ta oba procesa su bitna za ES koji se koristi za upravljanje sistemima zaštite od poplava. Smer zaključivanja ‘unapred’ polazi od osnovnih ulaznih meteoroloških i hidroloških podataka i koristi se za predviđanje događaja, kako bi se blagovremeno preduzele mere zaštite. Primer: u ES se unose podaci o prognoziranom ili izmerenim padavinama na pluviografima i podaci sa limnigrafa u sistemu automatske dostave podataka, a zatim ES izvrši sva potrebna hidrološka, hidraulička i druga modeliranja, iskoristi bazu znanja, prođe kroz određena pravila i kao finalni zaključak nas upozori: ‘sa verovatnoćom od 85% može se očekivati da će kroz ... sati biti ugrožene ... deonice nasipa, čiji bi proboj potopio kasetu ... u kojoj se nalazi ta i ta naselja i industrije, čije bi plavljenje izazvalo sledeće posledice...’. ES bi, ujedno, predložio mere koje je potrebno realizovati, po odgovarajućoj

dinamici i organizaciji, uz angažovanje opreme i ljudstva prema definisanom operativnom planu. Taj sistem se vrlo uspešno može koristiti u fazi planiranja sistema zaštite za poboljšanje sistema odbrane, kao i za proveravanje predviđenih upravljačkih procedura.

Povezivanje lanca zaključaka unazad je inverzna procedura, jer se polazi od nekog utvrđenog stanja (događaja) u sistemu, koje ima karakter posledice, pa se idući unazad traže uzroci. To je vrlo važno sa gledišta razvoja ES, jer se na bazi takvih analiza povodanja u prošlosti dobijaju pouzdaniji i matematički modeli i pravila upravljanja.

Neki od vrlo bitnih zadataka koje treba da reši ES.

**Zadatak verifikacije stanja zaštitnih sistema.** Veoma važan zadatak ES je da se pomoću njih - na početku sezone povećanih opasnosti od pojave velikih voda - zvanično verifikuje stanje zaštitnih sistema i da se da ocena da li je zaštitni sistem u celosti spreman za predstojeći period mogućih nailazaka povodanja. Taj postupak podrazumeva da se u ES unesu potpuno ažurni podaci (sa unetim datumima ažuriranja) o stanju svih objekata aktivne i pasivne zaštite: • kote nivoa u akumulacijama, da bi se videlo da li se kote u jezerima nalaze u granicama onih koje su propisane dispečerskim planovima punjenja i pražnjenja akumulacija, kako bi bio obezbeđen prostor koji je neophodan za ublažavanje poplavnih talasa; • stanje nasipa, obaloutvrda i rečnih korita – verifikovan tokom obilaska, vizuelnom proverom, uz dokaznice koje se daju fotografijama (sa datumima na fotografijama) na zahtevanim mestima; • provera ažurnosti svih planova zaštite područja opština i objekata visokog nivoa značajnosti (elektrane, bazne industrije), koji imaju svoje planove, koji su inkorporirani u ES kao njegovi elementi detaljizacije. Ta aktivnost verifikacije spremnosti sistema zaštite je izuzetno važna, jer u slučaju da verifikacija ne da pozitivan zaključak – da je sistem zaštite spreman – ES bi uključio upozorenja koja bi se po principu obaveznosti (ako niži nivoi ne isprave uočene propuste) prenosila do najviših nivoa u lancu odlučivanja. Da je ES postojao za reku Kolubaru na vreme bi bila konstatovana dva veoma opasna propusta koja su sistem činila nespremnim za odbranu od poplava: (1) Akumulacija Paljuvi Viš bila je izbačena iz planirane funkcije i neupotrebljiva za ispunjenje svojih baznih ciljeva, jer su zatvarači ispusta namerno izbačeni iz funkcije (krivično delo!), pa je retenziona zapremina akumulacije bila potpuno ispunjena i nespremna za svoju funkciju prijema celog poplavnog talasa reke Kladnice (slika 6). Taj zaključak bi u generatoru

zaključivanja odmah doveo i do drugog upozorenja: da će svakako biti havarisana i retezija 'Kladnica – Stublenica', i da će to dovesti do potapanja PK Zapadno polje. (2) U reonu Skobalja prilikom rekonstrukcije nasipa za veliku vodu, kojim se brane površinski kopovi, nasip je namerno ostavljen 2 m niže od prvobitne kote, i to na udarnom pravcu tečenja velike vode (slika 7).



Slika 6. Akumulacija Paljuvi Viš na Kladnici, namerno onesposobljena za funkciju odbrane od poplava (foto nakon poplave)



Slika 7. Prodor vode na mestu oslabljenog nasipa

Da je ES postojao on bi alarmirao ta dva veoma opasna propusta - po redosledu hijerarhije, sve do najvišeg nivoa odlučivanja koji mu je zadat. U slučaju Zapadne Morave primer važnosti dijagnostike: ES bi na vreme alarmirao činjenicu da je korito reke Bjelice u zoni nizvodno od Lučana potpuno zasuto, da nije u stanju da propusti računski povodanj, i da ga treba očistiti, usmeravanjem na tu deonicu aktivnosti na vađenju peska i šljunka. U slučaju Mlave ES bi na vreme upozorio da su nasipi koji brane površinski kop Kostolac od povodanja Mlave nedovoljni (na nizu mesta jedva dovoljni za dvadesetogodišnju veliku vodu),

daleko ispod nivoa zaštite koji se traži za takve kapitalne objekte ( $Q_{vv0,2\%}$ ), a nasipi su se mogli ojačati do traženog stepena zaštite korišćenjem materijala iz otkrivke i vlastite mehanizacije KUB-a.

**Predviđanje procesa geneze povodnja i dešavanja u sistemu zaštite.** Izuzetan značaj ES je u tome da je u stanju da primenom baza podataka i matematičkih modela predvidi dešavanja u sistemu zaštite za razne moguće scenarije razvoja hidroloških situacija. To omogućava da se apriorno sagledaju sve slabe tačke u sistemu zaštite i da se predvide mere koje treba blagovremeno obaviti da bi se sprečile posledice po branjena područja.

**Obučavanje za delovanje u kriznim situacijama.** Veliki značaj ES je obučavanje za delovanje u kriznim situacijama, za razne pretpostavljene hidrološke situacije. To je najbolji način da se ažurno proveravaju ključne performanse zaštitnog sistema, za razne slučajeve koincidencije povodanja. Da su rađene na vreme analize koincidencija povodanja Kolubare i Save kao prijemnika blagovremeno bi se otkrila velika ranjivost Obrenovca. Takve provere kvantifikovano ukazuju na slabe tačke u sistemu zaštite, i pokazuju koji su prioritetni dodatni objekti koje treba graditi. Analize bi jasno pokazale da je akumulacija Stuborovni nezamenljiv objekat za zaštitu Valjeva. Taj objekat, mada još nije stavljen u funkciju delom se već isplatio, jer je maja 2015. - i ako je bio bez ustava temeljnog ispusta - spasio Valjevo od katastrofe koja je mogla da bude znatno teža od situacije u Obrenovcu. Takođe, takve analize bi vrlo plastično pokazale značaj i urgentnost realizacije planiranih retezionih objekata na reci Peštanu.

**Planovi delovanja koji se uključuju u Ekspertni sistem.** Planovi odbrane od poplava opština i objekata od posebne važnosti (elektrana, kopova) unose se u ES iz više važnih razloga: • ES kao celovit i najoperativniji sistem za podršku upravljanju na celom slivu / branjenom području treba da proveri ažurnost i međusobnu upravljačku usklađenost svih detaljnijih operativnih planova, i u fazi planiranja i tokom operativne odbrane; • tokom operativne odbrane, koja se sprovodi na nivou sliva, ES je dužan da uskladi operativne odluke i na nivoima opština i većih tehnoloških sistema, • ES proverava i jedini je kompetantan da odobri odluke u operativnim planovima opština i tehnoloških sistema o položajima rezervnih linija odbrane, o napuštanju jedne linije i prelazak na drugu.

Operativni plan odbrane od poplava opštine radi se za celu teritoriju opštine i u njegovoj izradi učestvuju sve

nadležne opštinske službe koje će biti angažovane tokom odbrane. Nakon unošenja i u ES takvi planovi se proveravaju sa gledišta međusobne usaglašenosti (da predviđena rešenja u jednoj opštini nisu štetna za drugu). U okviru Operativnog plana opštine treba svakako definisati sledeće aktivnosti i obaveze.

- Prikaz organizacije odbrane od poplava opštine, sa sasvim personalizovanjem odgovornosti u okviru Štaba za odbranu od poplava, koji je unapred definisan i čiji se sastav stalno aktuelizuje. Na čelu štaba je prema propisima Predsednik opštine, ali u opštini treba da bude jedno lice u čije dužnosti spada i staranje o stalnom ažuriranju Plana. U okviru tog prikaza treba da bude jasno navedena čitava hijerarhijska struktura Štaba i zaduženja u uslovima odbrane, kao i svi podaci za komuniciranje i prenos naređenja i informacija (svi telefoni, adrese, rezervne adrese i telefoni, itd.).

- Konkretna plan evakuacije stanovnika i materijalnih dobara iz ugroženih zona. Na osnovu digitalizovane karte opštine i karata plavnih zona treba da budu jasno definisane lokacije evakuacije za svako od ugroženih područja, kao i putevi i načini evakuacije i privremenog smeštaja. Veoma je poželjno da se na prikladan način građani tačno upoznaju koja su područja bezbedna i koji su pogodni putevi evakuacije. U ruralnim područjima to podrazumeva i bezbedne lokacije za evakuaciju stoke iz ugroženih zona.

- Policijska i komunalna policija treba da imaju razrađen i sasvim konkretizovan i personalizovan plan aktivnosti na održavanju reda i bezbednosti po prostoru i po vrsti aktivnosti.

- Svaka od komunalnih službi, a naročito vodovod i kanalizacija, gradska čistoća, inspekcijске službe, treba da imaju sasvim konkretne planove delovanja. Neke od najvažnijih planskih aktivnosti.

**Vodovod:** razmatranje načina zaštite izvorišta i postupanje ukoliko izvorišta i postrojenje za prečišćavanje vode (PPV) budu ugrožena. Primer: pošto je PPV Peštan dosta ranjivo u uslovima poplava, treba predvideti mere očuvanja vitalnih funkcija sistema forsiranim korišćenjem izvorišta Nepričava, koje je manje ugroženo i dovoda iz Kolubarskog regionalnog sistema, kada isti bude realizovan. Treba da budu razrađeni jasni scenariji za delovanje u uslovima ispada nekog od izvorišta ili nekog od magistralnih cevovoda.

**Kanalizacija:** konkretan i personalizovan (sa gledišta zaduženja) plan zaštite kanalizacije u uslovima plavljenja glavnih izlivnika i sprečavanja da

kanalizacione vode i vode koje prodiru kroz kanalizacione kolektore ugrožavaju naselja: obezbeđivanje šahtova, način lokalizacije eventualnih izlivanja iz delova kanalizacije, itd. Pri projektovanju PPOV (postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda) visinski položaj i dipozicija PPOV treba da budu odabrani tako da su bezbedni od plavljenja svih skupljih sadržaja PPOV (upravljajući deo sistema, pogonski uređaji, laboratorije, a posebno - skladišta hemikalija, itd.). Prihvatni basen na ulasku u PPOV sa pužnim pumpama se teško može braniti, jer visinski mora da bude nisko lociran, ali se mora predvideti takva dispozicija i visinski položaj pogonskih uređaja da bude omogućeno brzo čišćenje i ponovo stavljanje u funkciju. Sistem zatvarača i pumpi treba da omogući da se kanalizacija što uspešnije brani od prodora poplavnih voda i da se nakon poplava omogući brza sanacija i vraćanje u normalnu funkciju. Na PPOV svi pogonski uređaji i instalacije (trafoi, motori, laboratorija, komandni uređaji, itd. moraju biti tako visinski locirani da bude van domašaja vode verovatnoće 1%.

**Gradska čistoća, veterinarske službe, inspekcijске službe:** jasan plan delovanja u kriznim stanjima, posebno oko uklanjanja stradalih životinja, održavanja komunalne higijene na branjenom području tokom odbrane, kao i sanacije terena na čitavom prostoru nakon poplavnog događaja.

**Zdravstvene službe:** Sve zdravstvene institucije (domovi zdravlja, ambulante, apoteke, itd.) treba da imaju razrađene planove postupanja u uslovima nailaska povodnja i odbrane od poplava. To podrazumeva organizaciju službe u takvim okolnostima, izmeštanje materijala i uređaja iz zona koje bi mogle da budu ugrožene od poplavnih voda, po potrebi – izmeštanje na bezbednu lokaciju i organizacija prihvata u slučaju pojave epidemija hidričnog porekla koje prate period poplava, a naročito period nakon njega.

- Iole organizovani sektor voda podrazumeva da se raspolaže validnim (revidovanim) projektima celovitog zaštitnog sistema hidrografsko-hidrauličke celine. Neophodno je sistematski raditi na izgradnji tih objekata / sistema i dovođenju u stanje potpunih planiranih zaštitnih performansi. Trebalo bi sistematski raditi na realizaciji tog sistema, kao trajnih objekata. Apsurdno da tokom odbrane mobilizacijom ljudstva i mehanizacije uspevamo da za 2-3 dana napravimo visok nasip od džakova punjenih peskom (i to na dugačkim ugroženim potezima), a da nismo u stanju da na tim istim potezima u normalnim, vremenski najpovoljnijim okolnostima napravimo stalni pouzdani nasip. U opštini Lazarevac je

povoljna okolnost da zbog površinskih kopova i pogodnog materijala iz otkrivki, kao i mehanizacije REIS-a koji transportuje te materijale na deponije - postoji dovoljno i materijala i mehanizacije kojima se mogu realizovati stalni, pouzdani nasipi, koji bi se uklopili u sve ostale sisteme, uključujući i urbane. Zato princip treba da bude da za izgradnju već isprojektovanih zaštitnih sistema treba da budu odgovorne municipalne vlasti, jer je to njihov najvažniji bezbednosni zadatak. Stručne službe iz sektora voda treba da im pružaju stručnu pomoć (projekti, nadzor, prijem).

- U zoni naselja zaštitni sistemi se mogu i moraju skladno uklopiti u urbanu strukturu, što se najčešće postiže na taj način da se to u urbanističkim planovima reši kao zeleni pojas sa rekreacionim sadržajima. Da se nasipi mogu vrlo skladno uklopiti u urbanu matricu grada, tako je oplemenjuju grad, pokazuje se na primeru Novog Bečeja (Slika 8).



Slika 8. Zaštitni nasip kod Novog Bečeja, skladno uklopljen u urbano tkivo grada

- Treba jasno definisati dodatne linije odbrane od poplava i sve aktivnosti oko njihovog formiranja i održavanja. Pokazalo se tokom 2014. da je na tom planu vladala i velika konfuzija i nedozvoljena improvizacija. Na nekim važnim mestima su rezervne linije odbrane postavljane na pogrešnom mestu i sa pogrešnom koncepcijom.
- Važne su mere preventivnog karaktera, koje proističu i iz navedene Direktiva o poplavama EU (FRMD - Flood Risk Management Directive, 2007/60/EC). Iz ugroženih zona, onih koje se ne mogu braniti i nakon realizacije zaštitnog sistema, odnosno, iz vodnog zemljišta (prema

definiciji iz Zakona o vodama i Prostornog plana Srbije) moraju se izmestiti svi sadržaji koji su tamo izgrađeni, a koji će ne samo svakako pretrpeti veliku štetu tokom poplave, već koji svojim položajem ometaju normalno tečenje u uslovima prolaska povodanja. To se odnosi na sve stambene objekte, magacine, privredne objekte, objekte za smeštaj životinja, itd. U tim ugroženim zonama, kao i u vodnom zemljištu, ne menjaju se svojinski odnosi, ali je zabranjena izgradnja bilo kakvih stalnih objekata. Država treba da jasno definiše svoj stav da se neće plaćati bilo kakva obeštećenja za štete koje nastupe na objektima u takvim zonama za koje je planski jasno definisano da se nalaze u zonama za koje se ne predviđa bilo kakva zaštita. Takođe, osiguravajuća društva ne treba da osiguravaju objekte u tim zonama. Ta zemljišta se mogu uspešno koristiti za plantaže brzorastućih lišćara koji služe kao sirovina za celuloze, kao potpuno uređeno šumsko zemljište, kao i za livade i ispašišta.

## ZAKLJUČCI

Sistemi za zaštitu od poplava dostigli su takav stepen složenosti, da se njima više ne može upravljati, ni u fazi planiranja, ni u fazi operativne odbrane od poplava bez najsavremenije kibernetičke podrške – Ekspertnih sistema (ES). U članku je egzaktno ukazano na nepouzdanost čoveka u upravljačkom lancu, posebno kada odlučuje u vremenskoj iznudici, u stresnim uslovima. Sistematizovani su bazni principi razvoja Ekspertnih sistema za planiranje i upravljanje u oblasti zaštite od voda. Sektor voda je u obavezi da što pre pristupi razvoju ES za zaštitu od poplava, najpre na slivovima koji su najugroženiji i upravljački najosetljiviji. Ekspertni sistemi u oblasti zaštite od voda omogućavaju da se njima pouzdano rešava čitav spektar veoma važnih problema u oblasti zaštite od štetnog delovanja voda: dijagnostika stanja ugroženosti od povodanja, optimalno planiranje složenih sistema zaštite, estimacija / predviđanje razvoja hidroloških procesa, interpretacija rezultata osmatranja tokom ekstremnih hidroloških stanja, provera, održavanje i verifikacija pouzdanosti sistema zaštite, najpouzdanije odlučivanje u kriznim upravljačkim situacijama, obučavanje, optimalno operativno upravljanje tokom odbrane od poplava.

## LITERATURA

- [1] Blagojević, B. i druge (2014): Statistička analiza velikih voda na profilima hidroloških stanica: potreba za promenom pristupa, Vodoprivreda, Beograd, N<sup>o</sup> 267-272, s. 199-210

- [2] Directive of the European parliament and of the Council 2000/60/EC establishing a framework for community action in the field of water policy.
- [3] Directive 2007/60/EC of the European parliament and the council of 23 Oktober 2007 on the assessment and management of flood risks.
- [4] Đorđević, B. (1990): Vodoprivredni sistemi, Naučna knjiga, s.X+498, ISBN 86-41056-4
- [5] Djordjević, B. (1993): Cybernetics in Water Resources Management, WTP, USA, s. XII+619, ISBN 0-918334-82-9
- [6] Đorđević, B. (1996): Pouzdanost čoveka kao dela složenog sistema upravljanja, Vodoprivreda, Beograd, N<sup>o</sup> 161-162, s. 181-190
- [7] Đorđević, B. i drugi (2013): Strategija integralnog upravljanja vodama Republike Srpske, Vodoprivreda, Beograd, N<sup>o</sup> 261-263, s. 41-54
- [8] Haimes Y. (1998): Risk modelling, assessment and management, John Wiley & Sons, New York
- [9] Hollnagel E. (1993): *Human reliability analysis*, Academic press
- [10] Jackson, P.: Introduction to Expert Systems, Addison-Wesley Pub.Com., Inc. 1990.
- [11] Johnson, E.M. et.al. (1983): Models and Human Performance, IEEE Trans.Reliable., 1983.
- [12] Jovanović, M. (2006): Ocena rizika od erozije rečnog korita oko mostovskih stubova, Vodoprivreda, 222-224 (2006/4-6), s.167-180
- [13] Jovanović, M. (2007): Zaštita naseljenih područja od poplava pomoću retenzionih bazena, Vodoprivreda, 229-230 (2007/5-6), s.275-290
- [14] Jovanović, M. (2008): Regulacija reka – rečna hidraulika i morfologija, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet
- [15] Jovanović, M. (2009): Hidrauličko modeliranje u nepotpunoj sličnosti erozije rečnog korita oko mostovskih stubova, Vodoprivreda, 240-242 (2009/4-6), s.97-102
- [16] Jovanović, M. i drugi (2014): Problemi pri izradi karata ugroženosti od poplava, Vodoprivreda, Beograd, N<sup>o</sup> 267-272, s. 3-14
- [17] Miloradović, M. i Z. Matin (2007): Hidrološko-hidraulička analize u funkciji sprovođenja odbrane i upravljanja poplavnim vodama tokom poplave na Tamišu 2005., Vodoprivreda, Beograd, 225-227 (2007/1-3), s.119-132
- [18] Pavlović, D. i V.Vukmirović (2010): Statistička analiza maksimalnih ratkotrajnih kiša metodom godišnjih ekstrema, Vodoprivreda, 246-248 (2010/4-6), s.137-148
- [19] Plavšić, J. i R.Milutinović (2010): O računskim novoima vode za zaštitu od poplava na Dunavu kod Novog Sada, Vodoprivreda, 243-245, (2010/1-3), s.69-78
- [20] Popovska, C. i B.Đorđević (2013): Rehabilitacija reka – nužan odgovor na pogoršanje ekoloških i klimatskih uslova, Vodoprivreda, Beograd, YU ISSN 0350-0519, N<sup>o</sup> 261-263, s. 3-20
- [21] Prohaska, S. i A.Ilić (2010): Nova metoda za definisanje višestruke koincidencije poplavnih talasa na složenim rečnim sistemima, Vodoprivreda, 246-248 (2010/4-6), s.125-136
- [22] Prohaska, S. i V. Bartoš-Divac (2013): Regionalizacija kvantitativnih karakteristika kiša jakog intenziteta u Srbiji, Vodoprivreda, Beograd, YU ISSN 0350-0519, N<sup>o</sup> 264-266, s. 181-192
- [23] Prohaska, S. i drugi (2014): Karakteristike jakih kiša koje su prouzrokovale čestu pojavu poplava na teritoriji Srbije u periodu april – septembar 2014, Vodoprivreda, Beograd, YU ISSN 0350-0519, N<sup>o</sup> 267-272, s. 15-26
- [24] Prohaska, S. i drugi (2014): Statistička značajnost mesečnih i maksimalnih dvomesečnih i tromesečnih suma padavina iz perioda april – septembar 2014, Vodoprivreda, Beograd, YU ISSN 0350-0519, N<sup>o</sup> 267-272, s. 27-38
- [25] Rosić, N. i M.Jovanović (2008): Stohastički pristup u određivanju štata od poplava, Vodoprivreda, N<sup>o</sup> 234-236 (2008/4-6), s.183-190
- [26] U.S. Atomic Energy Commission, Reactor Safety Study, An Assessment of Accident Risks in US Commercial Nuclear Power Plants, Appendix II and III: Failure Data, WASH 1400, Washington, 1984
- [27] Regulinski, T.L. (1973): Human Performance Reliability Modeling in Time Continuous Domain, Symposium on Reliability, Liverpool
- [28] Waterman, D.A. (1989): A Guide to Expert Systems, Addison-Wesley Pub.Comp., Reading

EXPERT SYSTEM FOR OPERATIONAL PLANNING AND IMPLEMENTATION  
FLOOD CONTROL

by

Branislav DJORDJEVIĆ<sup>1)</sup> and Tina DAŠIĆ<sup>2)</sup><sup>1)</sup> Full member of the Academy of Engineering Sciences of Serbia<sup>2)</sup> University of Belgrade - Faculty of Civil Engineering

*Any system which depends on human reliability is  
- unreliable. (Gilbov law, Marphijevi laws)*

## Summary

In the Theory of reliability there is well known fact: in the control chain of decision-making and management the least reliable link is - man. It is particularly evident in emergency situations, when one need to make a quick decisions with security risks and consequences. In such circumstances, the cognitive function of human perception, the ability to use knowledge, memory, proper systematization of priority and importance of the problem, the ability to make quick decisions, perception of risk and consequence management operations is radically reduced. The consequence is that in emergency situations function  $\lambda_h(t)$  - 'intensity errors of man', which is analogous to the famous  $\lambda(t)$  function - 'failure-rate function' in technical systems rapidly increases. Therefore, in all the activities that are vitally important to the safety of human society, especially in those that have to be done in emergency situations with a large potential risks and dangers, Expert Systems (ES) are necessary management support.

Expert System (ES) is a software which unites information database, mathematical models, empirical knowledge and expert evaluation, engineering intuition, heuristic rules and necessary information as a support and useful advicer to the decision maker – to reach a correct, reliable and timely decision. Flood control is

one of the most sensitive security operations in water management, because of the risk that mismanagement can cause. Therefore it becomes very important to make ES for all basins, mainly for those who are most vulnerable, as soon as possible.

The article discusses two groups of methodological issues. First, it gives an overview of the human unreliability, then it summarise basic principles of development of Expert systems for planning and management in the field of flood control. Expert systems in the field of flood control allow reliable solving of a range of important issues: diagnostics of systems for flood protection, optimal planning for complex system of flood protection, estimation / forecasting the development of hydrological processes, interpretation of the results of observation during extreme hydrological conditions, maintenance and verification of the reliability of the flood protection system, the most reliable decision making in emergency management situations, training, optimal operational management during the flood defense.

Keywords: flood control, river training, expert systems, water resources management, human reliability, flood damages

Redigovano 18.11.2015.