

SMER RAZVOJA HIDROTEHNIČKE INFRASTRUKTURE U PROCESU TRANSFORMACIJE NASELJA U 'PAMETNE' GRADOVE

Branislav ĐORĐEVIĆ

Redovni član Akademije inženjerskih nauka Srbije

Efikasnost višenamenskih sistema se povećava tokom eksploatacije, postupnom upravljačkom kibernetizacijom. Proces kibernetizacije podrazumeva postupno poboljšavanje upravljačko-informacionog dela sistema, posebno Estimatora u kome se simulacioni modeli postepeno zamenjuju prognostičkim i optimizacionim modelima, čime se značajno poboljšava efektivnost upravljanja u realnom vremenu. Preduslov za to je da se ostvari jedinstvo: ciljeva, baza podataka, informacione i programske podrške.

(B. Đorđević, Cybernetics in Water Resources Management, WRP, CO, USA, 1993.)

REZIME

Jedna od aktivnosti Akademije inženjerskih nauka Srbije je istraživanje smera razvoja gradova, kako bi se upravljački postepeno transformisali u tzv. pametne gradove. Tim procesom se na visok nivo podižu funkcionalnost svih sistema u gradu i njihova pouzdanost, smanjuju se utrošci energije, omogućava se najefikasnije praćenje ponašanja, učinaka i održavanje svih sistema, smanjuje vreme otklanjanja kvarova, održavaju se na poželjnom nivou ekološki uslovi u gradu i njegovom okruženju. U gradovima jedan od bezbednosno najvažnijih, a funkcionalno najvitalnijih sistema je vodoprivredna infrastruktura, koju čine: vodovodi sa svim izvorima, kanalizacija, sistemi zaštite od plavljenja spoljnim i unutrašnjim vodama, sistemi za zaštitu kvaliteta voda sa uređajima za prečišćavanje otpadnih voda, uređene obale i priobalno vodno zemljište, prirodne i veštačke akvatorije za rekreaciju i sportove na vodi. U članku se razmatra smer razvoja hidrotehničke komunalne infrastrukture, koji se svodi na njihovu postepenu upravljačku kibernetizaciju, u cilju ostvarenja svih navedenih ciljeva 'pametnih gradova'. To podrazumeva razvoj i stalno osavremenjavanje merno-informacionih sistema koji omogućavaju pouzdano praćenje svih upravljačkih parametara koji su preduslov za optimalno i pouzdano upravljanje u realnom vremenu čitave komunalne

hidrotehničke infrastrukture. Time se uspostavljaju sve potrebne povratne sprege i omogućava razvoj Estimatora kibernetizovanog sistema, sa estimacionim i optimizacionim modelima za upravljanje u realnom vremenu. U višim fazama razvoja Estimator prerasta u ekspertni sistem za upravljanje hidrotehničkim sistemima, čime se ostvaruje najviša faza funkcionalnosti, pouzdanosti i vitalnosti tih sistema. U članku se razmatraju ključna polazišta i principi kibernetizacije hidrotehničkih sistema naselja koja teže da ostvare kvalitete efikasnosti 'pametnih gradova'.

Ključne reči: 'pametni' gradovi, hidrotehnička infrastruktura, kibernetizacija sistema, ekspertni sistemi.

1. UVOD

Sve stoziji kriterijumi sa kojima se vrednuje efikasnost zadovoljenja svekolikih potreba ljudi u gradovima, sa jedne strane, i sve ubrzaniji razvoj informaciono-komunikacionih tehnologija (ICT), sa druge strane, stvorili su osnovu da se mnogo sistematičnije i celovitije pristupi osavremenjavanju integralnog upravljanja sistemima i procesima u gradovima. Integralnost podrazumeva da se ljudske potrebe, svi sistemi na kojima počiva život u savremenom gradu, interakcije između sistema, svi geofizički procesi koji deluju na

grad – uz pomoć savremeni merno-informacionih i komunikacionih tehnologija povezuju u jedinstvenu upravljačku celinu, kako bi se optimizirala efikasnost svih usluga u gradu. Sa stanovišta Tehničke kibernetike, taj vid upravljačkog povezivanja podrazumeva da se brojni gradski sistemi postepeno organizuju i objedinjavaju u jedinstven nadsistem višeg reda, čime se ostvaruju znatno veće efektivnosti svih tih objedinjenih sistema. Time se na optimalan način ostvaruje operativna komponenta upravljanja gradom u realnom vremenu, ali je to i veoma značajna i planerska komponenta, koja tako objedinjen upravljački nadsistem koristi za predviđanje razvoja svih za grad bitnih procesa u budućnosti i za planiranje smerova razvoja gradskih sistema u skladu sa tim.

Taj proces postepene modernizacije upravljanja u gradovima traje već decenijama, ali se samo menjao akcent na razmatranja tih procesa, i u skladu sa tim i naziv tih aktivnosti. Čini se da se započelo sa kovanicom 'Know-How City' ('Grad Koji Zna Kako', koja se koristila još od 70-tih godina), a zatim su u prvi plan stavljani brojni drugi atributi za grad sa osavremenjenim upravljanjem, zavisno od akcenta i ugla razmatranja. Ukoliko je ključan tehnološki ugao razmatranja upravljanja gradom to se naglašava nazivima takvog grada: digitalizovan, informaciono uređen, inteligentan, U-grad (od: Ubiquitous city – 'Sveprisutan' grad, grad koji omogućava građanima najefikasnije pružanje svih usluga). Ako su u prednjem planu humani aspekti, onda se naglašeni atributi ističu kroz nazive: ljudski grad (semantički ne baš korektno), grad znanja, kreativan grad, grad učenja, zeleni grad (zeleni u širem smislu, a ne samo po zelenim površinama), itd. Koristi se i izraz 'ekološki grad', ali autor ovog teksta smatra da je to jedan od vidova preterivanja sa neprikladnom, pomodnom upotrebom pojma 'ekologija', na sličan način kao što je reč 'održiv' ušla u rečnik suvišnih, pomodnih, reklo bi se 'izlizanih' reči. U novije vreme se ustalio izraz 'pametan grad' (Smart City). Tim terminom se na izvestan način prevazilaze suženi parcijalni pristupi koji su se svodili, sa jedne strane, na tehnokratsko apostrofiranje primene informaciono-komunikacionih tehnologija, ili, sa druge strane, na izdvajanje humanih aspekata življenja u uređenim gradovima. Termin 'pametan grad' obuhvata integrisani, holistički pristup poboljšavanja funkcija svih gradskih službi, kvaliteta života građana, ali i stvaranje uslova za razvoj privrede i ekonomije usklađene sa uređenim okruženjem. Upravo na taj način ćemo i mi tretirati taj termin, kao prikladan okvir za razmatranje smerova razvoja hidrotehničke infrastrukture

od koje najvitalnije zavise svi gradovi, bilo obični ili 'pametni'.

Jedan od dodatnih podsticaja za razvoj 'pametnih gradova' (PG) su i sve izraženiji problemi koje sa sobom nose globalne klimatske promene, posebno u domenu sve izraženijeg pogoršavanja ekstremnih fenomena (temperature, padavine, hidrološki režimi velikih i malih voda, itd.). Ti klimatološki i hidrološki uticaji se posebno nepovoljno odražavaju na urbane sisteme, a jedan od najosetljivijih sistema je hidrotehnička infrastruktura, sa pet komponenti koje su najvitalnije sa gledišta potreba njenih građana: vodovod, kanalizacija, zaštita od poplava spoljnim i unutrašnjim vodama, zaštita kvaliteta voda, uređenje akvatorija i njihovo skladno uklapanje u urbanu matricu. Zbog toga je taj smer razvoja gradova deo napora da se osavremenjavanjem integralnog upravljanja svim sistemima u njima – od faze planiranja njihovog daljeg razvoja, do operativnog upravljanja u realnom vremenu, posebno u kriznim situacijama – smanji osetljivost i ranjivost gradova i merodavnog okruženja na te nepovoljne procese. Evropska unija brojnim projektima pod zajedničkim nazivom 'Evropska digitalna agenda' podstiče takav smer razvoja gradova.

Cilj najvišeg reda pametnog grada je: poboljšanje kvaliteta života u naseljima, racionalizacija (minimizacija) utroška svih korišćenih resursa, ekonomski rast i razvoj u uslovima očuvanja životne sredine. Parcijalni ciljevi postepene transformacije jednog naselja u 'pametan grad' su sledeći:

- Povećanje efikasnosti svake od pojedinačnih službi / sistema u gradu, po svim pokazateljima kojima se vrednuje njihova efikasnost. Ključni pokazatelji efektivnosti u slučaju hidrotehničke infrastrukture razmatraju se u glavi 5.
- Poboljšanje međusobnih interakcija između pojedinačnih službi u skladu sa holističkim efektom optimizacije sistema u okviru objedinjenog nadsistema.
- Povećanje pouzdanosti / bezbednosti svih sistema.
- Povećanje energetske efikasnosti svih sistema.
- Ostvarivanje dobre ocene građana u pogledu kvaliteta života koje im grad pruža.
- Rešavanje ekoloških problema i povećavanje ekološke raznovrsnosti u ekosistemima koji prate jedan grad (zelene površine i šume, akvatorije raznih vrsta, itd.).
- Stvaranje uslova za privredni i ekonomski razvoj grada, sa tehnologijama koje su primerene vrlo dobrom ekološkom statusu svih komponenti okruženja.

Sa stanovišta Teorije sistema 'pametni gradovi' su na najvišem nivou sistemskog razvoja. To podrazumeva sledeće.

- Svi sistemu u okviru nadsistema 'pametna grad' postepeno ostvaruju kompletan skup povratnih sprega koje su im neophodne za upravljanje. Sistemi te povratne sprege razvijaju najpre unutar sebe samih, ali i na nivou nadsistema, jer su te sprege neophodne za optimizaciju upravljačkih interakcija između pojedinih sistema. To se ostvaruju merno-informacionim sistemima (MIS) svakog pojedinačnog sistema, sa mernim punktovima na svim mestima koja su bitna za izradu upravljačkih matematičkih modela. To će se detaljnije pokazati za sisteme hidrotehničke infrastrukture. Svi pojedinačni MIS su funkcionalno povezani u jedinstven MIS nadsistema, što je poseban holistički kvalitet koji grad čini 'pametnim'.

- Tokom vremena takvi sistemi se dopunjavaju sa matematičkim modelima - estimatorima za predviđanje ulaza, kao bi se smanjila osetljivost i ranjivost sistema na spoljne poremećaje i povećala njegova efektivnost. Smisao estimatora za previđanje ulaza je: predvidi kriznu situaciju da se na vreme izvrše pripreme da se poremećaji i štete smanje na najmanju moguću meru.

- Svi sistemi u okviru nadsistema 'pametna grad' spadaju u klasu sistema sa samoobučavanjem ('*learning system*'), koji mogu da menjaju i modifikuju program i algoritam upravljanja, na osnovu iskustava stečenih tokom prethodnog rada.

- Nadsistem i sistemi unutar njega tokom razvoja prelaze u klasu sistema sa samoorganizacijom. Ta klasa sistema je na najvišem nivou razvoja sistema, a odlike je mogućnost da menja i strukturu sistema i njegovu organizaciju, ukoliko se time povećava efektivnost sistema i snižavaju oni vidovi entropije / neizvesnosti koji smanjuju efektivnost sistema po nekom od njegovih ključnih pokazatelja.

Sa gledišta dinamizma razvoja 'pametnog grada' bitne su sledeće zakonitosti:

(a) Postupnost razvoja. Hardverska opremljenost sistema i njegovog MIS, kao i razvoj upravljačkih softvera razvijaju se postupno, po fazama. Na taj način se postepeno poboljšavaju performanse PG, tako da se radi o aktivnosti koja vremenski nije omeđena. To znači da razvoj PG nije vremenski omeđen i – nikada se ne može smatrati konačnim, završenim.

(b) Mogućnost neravnomernosti razvoja pojedinih sistema i podsistema. Mada postoji tendencija da se svi važni sistemi grada razvijaju što usklađenije, nerealno je očekivati da će se tehnološki i upravljački prodori

odvijati sa istim intenzitetom i dinamizmom u svim gradskim sistemima.

(c) Prioriteti. Prioritet je otklanjanje 'uskih grla' u upravljanju pojedinačnim sistemima, ali i na planu interakcija između sistema. Smisao je da kašnjenje u razvoju jednog sistema ne sme da ometa razvoj i upravljačko osavremenjavanje drugih sistema. Imajući u vidu izuzetnu značajnost komunalne hidrotehničke infrastrukture za normalno funkcionisanje i bezbednost grada, sa pravom se očekuje da se ti sistemi svakako nađu u grupi onih sistema od kojih se očekuje da među prvima steknu upravljačku efikasnost i pouzdanost koja je na nivou 'pametnog grada'. Zbog toga je hidrotehnička infrastruktura u svim poznatim pametnim gradovima uvek imala prioritetnu i investicionu i organizacionu podršku.

(d) Usaglašenost dinamizma razvoja sistema koji koriste isti prostor. Sistemi koji koriste isti prostor moraju se razvijati po potpuno usaglašenju dinamici. Primer su gradske saobraćajnice, vodovodna i kanalizaciona mreža, podzemna elektroenergetska, toplovodna, telekomunikaciona i gasovodna mreža – koje se moraju razvijati vremenski i fazno potpuno usklađeno. Fizički deo tih sistema, kao i hardverski deo njihovih MIS (opremanje mesta mernih stanica za upravljanje u realnom vremenu) mora se graditi i obnavljati potpuno sinhronizovano, dok se upravljački softveri mogu realizovati u skladu sa potrebama i sa dinamikom pogodnom za svaki pojedinačni sistem.

2. USLOVI ZA RAZVOJ HIDROTEHNIČKE INFRASTRUKTURE GRADOVA U SRBIJI

Sa gledišta voda vrlo su složeni uslovi za razvoj gradova u Srbiji i za njihovo osavremenjavanje kako bi dostigli nivo razvoja koji je potreban za nivo 'pametnog grada'. Opšti problemi, oni koji utiču na sve podsistema u okviru sistema hidrotehničke infrastrukture su sledeći.

(a) Srbija je vodom siromašna čak i na nivou prosečnih količina voda. Po količini svih raspoloživih domicilnih / domaćih voda (vode koje se formiraju na teritoriji države) Srbija spada u vodom siromašnije zemlje Evrope. Srbija raspolaže sa manje od 1500 m³ per capita godišnje domaćih voda, dok se za normalni razvoj jedne zemlje, u uslovima samodovoljnosti u pogledu domaćih voda, bez posledica po ekosisteme, smatra da je potrebno ne manje od oko 2500 m³ per capita godišnje. Znači, Srbija je upućena i na korišćenje tranzitnih voda, sa svim neizvesnostima i mogućim opasnim posledicama takve strategije, jer se ne može kontrolisati ni količina ni kvalitet tih voda, pošto su to veličine koji

zavise od ponašanja u uzvodnim državama. I ne postoje pravni mehanizmi kojima se na to može uticati.

(b) Situacija je mnogo nepovoljnija kada se jasno razgraniče dva pojma: 'voda prisutna na slivu' (**V**) i voda koja ima atribut 'vodnog resursa' (**VR**), detaljnije u (Đorđević, 1999). Postoji velika razlika između te dve veličine: 'voda prisutna na slivu' je geofizička kategorija, jer je sačinjavaju sve površinske i podzemne vode na nekom području, dok je voda koja se može vrednovati kao 'vodni resurs' tehnička, ekološka, socijalna i ekonomska kategorija. Vodni resurs je samo onaj deo vode koja se može tehnički, ekološki i ekonomski prihvatljivo zahvatati i koristiti. Voda kao 'vodni resurs' mora da poseduje geotehničke, hidrograđevinske, ekonomske, ekološke uslove, kao i uslove interakcije sa socijalnim, urbanim, saobraćajnim, okruženjem – koji omogućavaju njeno korišćenje. Pošto ti uslovi vrlo često nisu ispunjeni, vode koja ima atribut 'vodnog resursa' (**VR**) u Srbiji ima mnogo manje od količine 'vode prisutne na slivu' (**V**), što se može označiti kao: $VR \ll V$. Neshvatanje te činjenice od strane najvećeg broja ljudi, pa i donosilaca odluka o sektoru voda i raspodeli investicija, dovodi do velikih problema, jer su, po pravilu, ocene o navodnom vodnom bogatstvu mnogo optimističnije od vrlo sumorne realnosti. U slučaju Srbije se procenjuje da odlike vodnog resursa ima manje od 40% vode prisutne na slivu, što jako umanjuje pokazatelje raspoloživosti vode po stanovniku i **Srbiju svrstava u vodom najsiromašnija područja Evrope**. Od navedenih uslova posebno je kritičan nedostatak pogodnih prostora za formiranje akumulacija, bez kojih se vode mnogih vodotoka ne mogu svrstati u kategoriju vodnih resursa zbog izuzetno nepovoljne vremenske neravnomernosti, sa odlikama bujičnih hidroloških režima.

(c) Prostorna neravnomernost. Navedene cifra od oko 1500 m³ per capita godišnje (bruto, od svih količina vode prisutnih na slivovima, znači, i onih koje nemaju atribut iskoristivog vodnog resursa) - prosečna je za celu zemlju. Problem je, međutim, u izuzetno nepovoljnom prostornom rasporedu voda, jer su te količine znatno manje u čitavim regijama u kojima se nalaze veliki

gradovi (u Vojvodini, Šumadiji, u slivovima Kolubare, Sitnice, u delovima gornjeg južnog Pomoravlja). U tim područjima je taj pokazatelj 'vlastitih količina voda' manji i od 500 m³ per capita godišnje, što naselja u tim zonama stavlja u veoma težak položaj sa gledišta razvoja svih vidova hidrotehničke infrastrukture, posebno u domenu snabdevanja vodom i zaštite kvaliteta voda. To je veoma nepovoljan '**resursni paradoks Srbije da vode nema upravo tamo gde je najpotrebnija**', jer se u tim malovodnim zonama nalaze ne samo veliki gradovi, već i najkvalitetniji zemljišni resursi koji zahtevaju navodnjavanje upravo u malovodnim periodima godine, kada se iz mnogih reka ne može zahvatati ni najmanja količina vode ukoliko nema akumulacija u uzvodnim delu sliva koje namenski ispuštaju vodu za te potrebe. Moduli prosečnih godišnjih oticaja su veoma neravnomerni: prosečni za državu iznosi oko 5,7 L/s·km², ali variraju od manje od 1 L/s·km² u nekim delovima Vojvodine, do oko 30 L/s·km² u najvodnijim planinskim područjima Zapadne Srbije. Ta prirodna nepogodnost zahteva veoma složene sisteme, sa akumulacijama i dugim tranzitnim sistemima za prenos vode u vodom deficitarna područja.

(d) Vremenska neravnomernost. Posebna prirodna nepogodnost je vrlo velika vremenska neravnomernost voda u Srbiji, jedna od najnepovoljnijih u Evropi. Reke Srbije odlikuju bujični režimi, tako da kod nekih reka čak oko 50÷60% godišnjeg bilansa voda protekne u kratkim bujičnim povodnjima, nakon kojih nastupe dugi malovodni periodi. Prosečni višegodišnji protok domaćih voda u Srbiji iznosi oko 508 m³/s, ali se u malovodnim periodima spušta čak na samo oko 50 m³/s, pa i manje od toga. Odnos između malih mesečnih voda obezbeđenosti 95% (koje su merodavne za planiranje mera zaštite kvaliteta voda) i velikih voda verovatnoće 1%, u odnosu na koje se planiraju mnogi sistemi zaštite od poplava na nizu vodotoka se penje na preko 1 : 2000, što je jedan od najnepovoljnijih odnosa u Evropi. Specifična oticanja pri bujičnim povodnjima se penju čak do oko 20 m³/s·km², a mogu biti još nepovoljniji na malim vodotocima u gradovima, ukoliko nisu predviđena rešenja kojima se usporava oticanje namenskim parkovskim retenzijama¹. Na žalost, tu meru

¹ U dolinskom delu vodotoka na pojedinim mestima se formira parkovska površina (trava i drveće, bez žbunja), koja se na nizvodnom delu saobraćajnicom rešenom u vidu nasipa osposobljava da može da bude povremena i bezbedna plavljena retenzija. Pri povodnjima čiji su protoci veći od kapaciteta propusta ispod puta, retenzija se puni i 'saseca' vrh poplavnog talasa. Saobraćajnica se namenski projektuje da na tom potezu deluje kao nasuta brana, sa obezbeđenom nizvodnom kosinom. Takvi objekti ne narušavaju urbanu matricu grada, a veoma su efikasne za aktivnu odbranu od plavljenja na poplave osetljivih sadržaja u nizvodnim delovima grada. Nakon prolaska poplavnog talasa taj prostor se očisti od plivajuće naplavine, staze se operu i za najkraće vreme taj prostor ponovo postaje parkovska površina.

koju predlažu hidrotehnički eksperti urbanisti najčešće potpuno ignorišu, i bezbednosno vrlo osetljive i skupe sadržaje smeštaju upravo u korita malih bujičnih vodotoka, kod kojih su koeficijenti oticanja (k_o) pri bujičnim povodnjima praktično $k_o \approx 1$, sa najbržim vremenom koncentracije povodnja. Slikovito: svaka kap kiše se sa krovova i saobraćajnih površina sliva u kišnu kanalizaciju, ili teče ulicama ka nekadašnjim malim vodotocima, kojih sada – praktično više nema. To je razlog što čak i pri kišama ne preterano velikih intenziteta ulicama teku bujice koje prave velike štete, pa čak ugrožavaju i ljudske živote.

(e) Klimatske promene će sve više pogoršavati upravo te ekstremne hidrološke fenomene, tako da je to jedan od najtežih problema koje treba rešavati pri uređivanju hidrotehničke infrastrukture pametnih gradova.

(f) Dešava se i jako nepovoljan fenomen uzastopnog nagomilavanja sušnih malovodnih godina, a posledica te činjenice je neophodnost da se realizuju i akumulacije sa velikim zapreminama, sa tzv. višegodišnjim regulisanjem protoka. Prostora za realizaciju takvih akumulacija praktično nema u Srbiji, a i oni koji postoje i koji su projektima predviđeni za godišnje regulisanje, i koje su stavljene pod zaštitu Prostornim planom Srbije, zbog nebrige vlasti ubrzano se nekontrolisano zaposedaju drugim sistemima, čime se čini tragična greška sa gledišta budućnosti Srbije. Posledice te nebrige vlasti su vrlo ozbiljne: Srbija će biti izuzetno ranjiva i u periodima povodanja, i u sve dužim periodima malovoda, i taj će problem sve više limitirati njen razvoj.

(g) Tranzitne vode, od kojih zavise brojni srpski gradovi na međunarodnim vodotocima, imaju sve nepovoljnije vodne režime: smanjivaće se male, a povećavati velike vode. To je samo delom posledica klimatskih promena, već nastaje zbog sve većih nepovratnih zahvatanja vode u uzvodnim državama (najviše zbog navodnjavanja), kao i zbog regulacionih radova kojima se isključuju rečne inundacije, nadvišavaju nasipi i na taj način ubrzava koncentracija talasa velikih voda. Primeri: protok Drine se kod Radlja spušta ispod $45 \text{ m}^3/\text{s}$, Tise kod Novog Bečeja ispod $120 \text{ m}^3/\text{s}$, Save kod Sremske Mitrovice ispod $200 \text{ m}^3/\text{s}$, a i protoci Dunava na ulasku u Srbiju spuštaju se na samo oko $800 \text{ m}^3/\text{s}$. Sa druge strane, postepeno se povećavaju maksimalni protoci većih aluvijalnih tranzitnih reka, tako da je neophodno da se stalno preispituje stepen zaštite od velikih voda u blizini gradova i drugih sistema koji su ranjivi na plavljenje.

(h) Podzemne vode su, takođe, vrlo oskudne i snose sudbinu površinskih voda, jer je najveći deo podzemnih voda iz aluvijalnih izdani koje se prihranjuju iz vodotoka, pa se u malovodnim periodima drastično smanjuje i to prihranjivanje. Od oko $23 \text{ m}^3/\text{s}$ koliko se iz podzemlja zahvata za vodovode naselja, oko $13 \text{ m}^3/\text{s}$ je iz aluvijalnih izdani, oko $3,9 \text{ m}^3/\text{s}$ iz osnovnog vodonosnog sloja (OVS), oko $4,2 \text{ m}^3/\text{s}$ iz karstnih izvoda, a oko $2 \text{ m}^3/\text{s}$ iz neogenih karstnih formacija. U Vojvodini, u kojoj se za snabdevanje naselja koriste vode iz OVS koji se izuzetno sporo obnavlja, zbog prekomerne eksploatacije došlo je do velikih obaranja nivoa, u nekim zonama i do 50 m, a to se odražava i na pogoršavanje kvaliteta vode. Zbog toga se mora menjati koncepcija dogoročnog snabdevanja brojnih naselja, najpre prekidom korišćenja podzemnih voda za tehnološke potrebe. Problemi sa raspoloživošću podzemnih voda sve više će se pogoršavati, jer se zbog dugogodišnjeg zastoja u izgradnji celovitih sistema za navodnjavanje, koji bi se oslanjali na mrežu kanala HS DTD, sada primenjuje mnoštvo parcijalnih sistema, koji svoje vodozahvate grade individualno, sa zahvatanjem podzemnih voda.

3. KIBERNETIZACIJOM HIDROTEHNIČKE INFRASTRUKTURE KA PAMETNOM GRADU

Po sistematizaciji iz Tehničke kibernetike, vodoprivredni sistemi su ranije građeni kao *tehnički sistemi*, kod kojih se upravljanjem (najčešće na bazi empirijskog iskustva) efektivnost sistema (EF) tokom nekog zahtevanog vremena (t_z) održava iznad nekog zahtevanog praga efektivnosti (EF_z), što se može definisati kao: $(EF \geq EF_z, \forall t: 0 \leq t \leq t_z)$. U tehničkim sistemima entropija generalno raste tokom vremena, ali se merama održavanja, čiji je jedan od ciljeva i očuvanja raspoloživosti sistema ($A(t)$) na visokom nivou - porast entropije može ograničiti u nekom intervalu vremena.

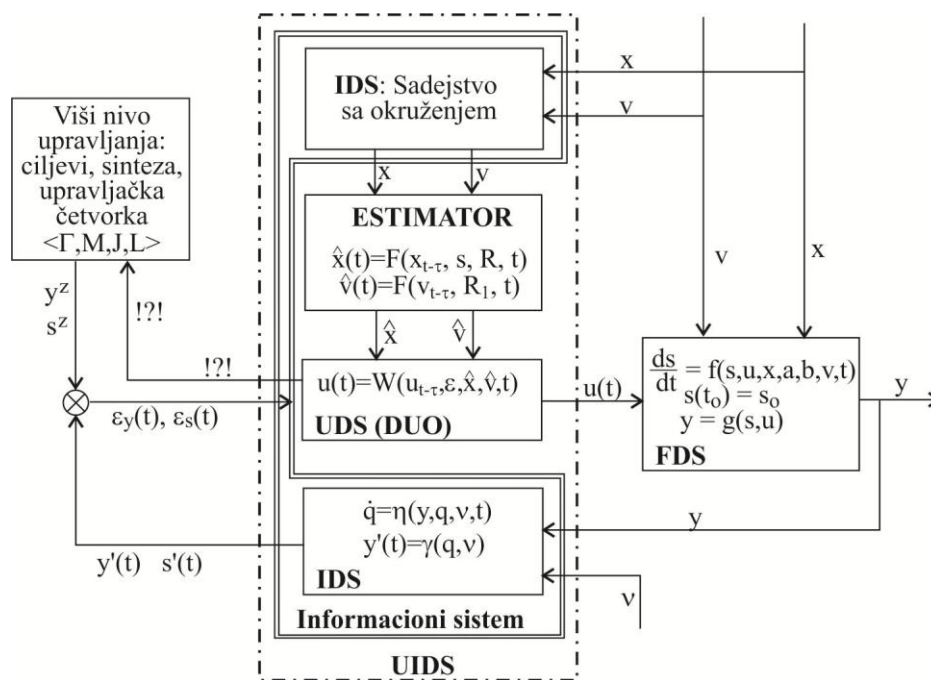
U zadnjim decenijama zbog razvoja ICT dolazi do značajnog preokreta u dva smera. Prvi: ranije čisto tehnički sistemi razvojem i primenom upravljačkih modela (estimacionih i optimizacionih), počinju da se postepeno hardverski i softverski dopunjavaju elementima *kibernetičkih sistema*. Drugi: svi novi sistemi sada se i planiraju i grade sa elementima (posebno u domenu povratnih sprega i upravljačkih softvera) na način koji im omogućavaju da već od samog početka rada imaju neke odlike kibernetičkih sistema. Generalno se može oceniti da je u oblasti vodoprivredne infrastrukture proces upravljačke kibernetizacije sistema već uveliko poodmakao.

Kibernetizacija, kojim se sistemi prevode na viši nivo efikasnosti i pouzdanosti, ostvaruje se razvojem upravljačkog dela sistema i jačanjem informatičke i softverske podrške, čime se ostvaruju sposobnosti samoobučavanja, adaptivnosti i samoorganizacije. Ciljevi: • povećati efektivnost kibernetizovanog sistema (EF_{ks}) tokom procesa njegovog hardverskog i softverskog dopunjavanja i poboljšavanja u odnosu na efektivnost tehničkih sistema (EF_{ts}), tako da važi relacija: $EF_{ks} > EF_{ts}$ (znak $>$ označava 'bolje') • tokom upravljačkog samoobučavanja (uvođenjem novih informacionih elemenata i upravljačkih matematičkih modela), snižava se entropija sistema ($dH/dt < 0$, $t_p \leq t \leq t_k$, gde su t_p - početak, a t_k - kraj perioda samoobučavanja)², • povećava se pouzdanost sistema, posebno na planu operativnosti i brzine delovanja u kriznim situacijama, jer se upravljačke odluke ne donose na bazi iskustva, kao u slučaju tehničkih sistema, što je nepouzdan način upravljanja, već na bazi simuliranja na matematičkom modelu i optimizacije svake naredne upravljačke odluke.

Kibernetizovani sistemi su u stalnom razvoju, jer se stalno dopunjavaju: povratne sprege (broj mernih mesta

na kojima se prate izlazi - ključni efekti sistema), baze podataka informacionog dela sistema, broj, vrsta i kvalitet upravljačkih softvera. Proces kibernetizacije najbolje se može pratiti na poznatoj kibernetičkoj šemi sistema (Đorđević, 1990), koja se, u nešto dopunjenom obliku prikazuje na slici 1. Najsžaetije podsećanje. Sistem je razložen na *fizički deo sistema (FDS)*, u koji ulaze: ▫ vektorski ulazi (\mathbf{x}) - protoci, padavine, nutrijenti, ▫ vektori slučajnih poremećaja (\mathbf{v}) - razni relevantni geofizički i drugi slučajni uticaji na sistem. Ostale oznake: \mathbf{y} - izlaz iz sistema, \mathbf{u} - upravljačka instrukcija, koja se dobijena iz upravljačkog dela sistema.

Drugi deo čini *upravljačko-informacioni deo sistema (UIDS)*, koji ima složenu strukturu (središnji deo slike 1). Veoma važan element kibernetičke šeme sistema je upravljačka četvorka sistema $\langle \Gamma, M, J, L \rangle$ koja se najčešće definiše na višem upravljačkom nivou. U njoj su: Γ - ciljevi sistema, M - skup modela, J - kriterijumi za vrednovanja upravljanja, L - skup svih ograničenja po stanju i upravljanju.



Slika 1. Kibernetička šema vodoprivrednog sistema

² Radi otklanjanja mogućih nesporazuma: snižavanje entropije kibernetizovanog sistema ne protivreči II zakonu Termodinamike (jedna od njegovih interpretacija je: 'Priroda teži da uveća entropiju'), jer se smanjenje entropije ostvaruje na račun unošenja nove energije iz sistemskog okruženja, tokom razvoja informacionog i upravljačkog sistema.

Ulaz (\mathbf{x}) su svi ulazi u sistem koji su relevantni za upravljanje. Ključni su količinska komponenta ulaza (x_q) - padavine i proticaji, a pri celovitom razmatranju sistema i kao ekosistema relevantan ulaz je i kvalitativna komponenta (x_k), koja obuhvata i parametre kvaliteta bitne za opstanak, rast i razvoj ekosistema. Na najvišem nivou uopštavanja, može napisati da vektor ulaza \mathbf{x} sačinjava dvojka (1):

$$\mathbf{x} = \{x_q, x_k\} \quad (1)$$

Centralni deo **UIDS** je upravljački deo sistema (**UDS**) – deo u kome se donose upravljačke odluke (**DUO**). U okviru UIDS je blok – Estimator (EST), koji je jedan od ključnih elemenata za kibernetizaciju upravljanja hidrotehničkom infrastrukturom na nivou neophodnom za 'pametna grad'. EST dobija informacije o realizacijama svih ulaza u sistem (\mathbf{x} i \mathbf{v}), obrađuje ih i u skladu sa simulacionim i/ili prognostičkim matematičkim modelima (MM) prognozira ulaze u narednim vremenskim koracima (\hat{x} i \hat{v}) i prenosi ih bloku donošenja odluka (DUO). To omogućava da se u svakom narednom upravljačkom koraku poboljša upravljanje $u(t)$. Razvoj Estimatora i uspostavljanje svih njemu neophodnih povratnih sprega predstavlja suštinu razvoja 'pametne hidrotehničke infrastrukture'.

Informacioni deo sistema (**IDS**) ima dva dela: IDS koji sakuplja informacije iz okruženja (ključne su informacije o relevantnim ulazima (\mathbf{x}) i slučajnim poremećajima (\mathbf{v}) (gornji deo IDS na slici 1) i informacioni deo povratnih sprega (donji deo IDS na slici 1), čiji je zadatak da sakuplja informacije monitoringa realizovanih izlaza (\mathbf{y}). Te informacije o realizovanim / izmerenim izlazima (\mathbf{y}') prenosi elementu \otimes čiji je zadatak da upoređuje da li su realizovani izlazi (\mathbf{y}') u saglasnosti sa izlazima koji se zahtevaju od sistema (\mathbf{y}^z). Odstupanje realizovanog i zahtevanog izlaza ($\epsilon_y = \mathbf{y}' - \mathbf{y}^z$) se 'on line' prenosi UDS da bi mogao da izvrši korekciju u narednom upravljačkom koraku. Pošto je u hidrotehničkim sistemima od velike važnosti i stanje sistema (\mathbf{s}), npr. pritisak u ključnim čvorovima vodovoda, eventualna odstupanja od zahtevane veličine (ϵ_s) se takođe pomoću merno-informacionog sistema prenose u UDS, da iz ima u vidu pri iznalaženju optimalnog narednog upravljačkog koraka. Na taj IDS deluje i slučajni vektor smetnji i grešaka \mathbf{v} , koji postoji u svim mernim sistemima. U sistemima sa akumulacijama sa godišnjim regulisanjem, važan element koji se preko povratne sprege analizira je i realizovano stanje s' , kako bi se uporedilo sa stanjima koja se zahtevaju (s^z), u skladu sa dugoročnim, godišnjim planom punjenja i praznjenja akumulacije.

U elementu \otimes za upoređivanje zahtevane tačnosti upravljanja konstatuju se odstupanja $\epsilon = \{\epsilon_y, \epsilon_s\}$ zahtevanih izlaza (ϵ_y) i zahtevanih stanja (ϵ_s) u odnosu na realizovane. Odstupanja se prosleđuju bloku DUO da ih ima u vidu pri određivanju narednog upravljačkog koraka. Povratna sprega, označena sa (!?) bitna je za 'pametno upravljanje'. Aktivira se ako se sa višeg nivoa upravljanja upravljačkom četvorkom $\langle \Gamma, M, J, L \rangle$ sistemu postavljaju nerealni zadaci, npr. preveliki zahtevani izlazi uz prestroga ograničenje. Tada je DUO u obavezi da preko nje od višeg nivoa upravljanja zatraži da zahtevane izlaze (\mathbf{y}^z) ili stanja (\mathbf{s}^z) primeri realnosti, ili da ublaži ograničenja.

Na slici 1 su prikazani opšti oblici vektorskih relacija sistema. Jednačina promene stanja sistema \mathbf{ds}/dt je vektorske, jer se odnosi na sva stanja u sistemu. Promena stanja \mathbf{ds}/dt je funkcija stanja \mathbf{s} u sistemu, vektora \mathbf{x} svih ulaza u sistem, upravljanja (\mathbf{u}), slučajnog vektora uticaja na sistem (\mathbf{v}), fizičkih parametara sistema (\mathbf{a}), i parametara upravljačkog dela sistema (\mathbf{b}). Relacija $\mathbf{y} = \mathbf{g}(\mathbf{s}, \mathbf{u})$ je vektorska jednačina izlaza iz sistema (\mathbf{y}), koji je uvek funkcija stanja (\mathbf{s}) i upravljanja (\mathbf{u}). Te dve relacije važe za sve procese u sistemima.

Sa gledišta procesa upravljačke modernizacije hidrotehničkih sistema da preraste u 'pametnu' infrastrukturu grada ključan je upravljački algoritam **W** u bloku DUO. On u opštem obliku zavisi od 'predistorije' upravljačkih koraka ($u_{t-\tau}$) u (τ) prethodnih upravljačkih koraka, od vektora odstupanja ϵ u odnosu na zahtevane veličine izlaza, i od estimacijom predviđenih ili simuliranih ulaza \hat{x} i slučajnih poremećaja \hat{v} :

$$\mathbf{u}(t) = \mathbf{W}(u_{t-\tau}, \epsilon, \hat{x}, \hat{v}, t) \quad (2)$$

U 'pametnom' gradu veoma je bitno da se ostvari dovoljan broj povratnih sprega. Na svim mestima koja su relevantna za ocenu kvaliteta ostvarenog upravljanja treba da postoje merni instrumenti koji bloku donošenja upravljačkih odluka (DUO) operativno dostavljaju informacije o odstupanju ϵ zahtevanog i realizovanog izlaza i stanja:

$$\epsilon = \{\epsilon_y, \epsilon_s\}, \text{ gde su: } \epsilon_y = (\mathbf{y}^z - \mathbf{y}'), \epsilon_s = (\mathbf{s}^z - \mathbf{s}') \quad (3)$$

Sušтина 'pameti' je u operativnosti i broju povratnih sprega: grad je 'pametna' samo ako su merenjima pokriveni svi relevantni punktovi (čvorovi) sistema, i ako se ti podaci povratnim spregama dostavljaju dovoljno brzo da ih DUO može da upotrebi za donošenje optimalne odluke za svaki naredni upravljački korak. Sadašnje ICT tehnologije to omogućavaju, sa sa razvojem 5G mreža taj proces kibernetizacije sistema biće u celosti zaokružen.

Estimator (EST) je drugi vrlo važan element upravljačkog sistema koji u nekoj fazi razvoja vodoprivrednu infrastrukturu grada učini 'pametnom'. Njih čini čitav skup simulacionih / estimacionih modela čiji je zadatak da na bazi prikupljenih informacija o ulazi (\mathbf{x}) i slučajnim poremećajima (\mathbf{v}), kao i na bazi 'predistorije' vektora ulaza u sistem ($\mathbf{x}_{t-\tau}$), odnosno, slučajnih uticaja na sistem ($\mathbf{v}_{t-\tau}$), prognoziraju dalji razvoj procesa tih veličina. Pošto su kod hidrotehničkih sistema ulazi (\mathbf{x}) i slučajni poremećaji (\mathbf{v}) slučajni geofizički procesi, model EST ima i operatore stohastičkog karaktera R i R_1 (videti na slici 1) u čiju se složenu strukturu ovde neće ulaziti. Bitno je istaći: što je tačnija estimacija, to je efikasnije upravljanje i u realnom vremenu i tokom planiranja razvoja, a time je i grad 'pametniji' po efektivnosti i pouzdanosti po pokazateljima tog podsistema hidrotehničke infrastrukture.

U procesu kibernetike modernizacije sistema da bi se dostigao upravljački nivo potreban za 'pametni' grad, narednu fazu osavremenjavanja kojom se povećava efektivnost sistema, a posebno njegova pouzdanost u kriznim situacijama, čini prerastanje upravljačko-informacionog dela sistema (UIDS) u Ekspertni sistem (ES).

4. EKSPERTI SISTEMI – ZAOKRUŽIVANJE UPRAVLJAČKE KIBERNETIZACIJE SISTEMA

U članku (Đorđević, 2015) razmatrane su mogućnosti primene Ekspertnih sistema (ES) za upravljanje u kriznim situacijama odbrane od poplava. Međutim, primena ES pruža znatno šire mogućnosti u procesu upravljačkog osavremenjavanja hidrotehničke infrastrukture do nivoa primerenog 'pametnom gradu'. Moglo bi se reći da je generalni cilj da se u najvišim fazama razvoja svih gradskih hidrotehničkih sistema njihova kibernetizovana upravljačka struktura zaokruži i sa odgovarajućim ekspertnim sistemima, posebno za upravljanje u vanrednim, kriznim situacijama.

Ekspertni sistem (ES), kao vid veštačke inteligencije, je softver koji u jednu celinu povezuje baze podataka, matematičke modele, empirijska znanja i iskustva, ocene eksperata, inženjersku intuiciju, heuristička

pravila i operativne informacije koje se sakupljaju 'on line' tokom upravljanja - kako bi, na osnovu odgovarajućeg *generatorskog zaključaka*, mogao da predloži donosiocu odluke najbolje upravljanje, po kriterijumima i ograničenjima koji su unapred definisani (Đorđević, 2015). Najvažniji zadaci ES: • ažurno praćenje stanja u sistemu, • predviđanje razvoja procesa merodavnih za upravljanje i pouzdanost sistema, • planiranje / optimizacija sistema, • održavanje sistema, • odlučivanje u havarijskim situacijama, • obučavanje za delovanje u kriznim stanjima i upravljanje tokom istih (odbrana od poplava, saniranje havarijskih zagađenja, itd.), • upravljanje sistemom – koje obuhvata sve prethodne zadatke kojim se obezbeđuje optimalno upravljanje u svim fazama planiranja i operativnog upravljanja. Rešavajući navedenih grupa zadataka, ES značajno povećava efikasnost vodoprivrednih sistema (VS) i omogućava da se u celosti iskoriste njegove potencijalne radne performanse. To je posebno izraženo u uslovima zaštitnog delovanja VS, kada je neophodno donošenje vrlo operativnih odluka, onda kada je nužno brzo korišćenje mnoštva informacija, koje prevazilaze mogućnosti ljudske spoznaje. Podrška ES je posebno korisna kada ljudi u komandnim centrima rade u uslovima psihičke napregnutosti i stresa zbog važnosti upravljačkih odluka koje moraju da donesu, a svesni su mogućih tragičnih posledica ukoliko ta njihova odluka nije bila dobro odabrana.

Bitne su sledeće osobenosti ES: (a) pogodni su za rešavanje *teško struktuiranih zadataka upravljanja*³, posebno onih za koje su neophodne i ekspertske procene; (b) u ES se sistematizuju i algoritimizuju znanja, uz uvođenje *semantičkih pravila* na nivou znanja najkompetentnijih eksperata; (v) odlika ES je 'dijalog' sa korisnikom, tokom koga se na zahtev ES u razmatranje uvode i dodatne informacije; (g) ES odlikuje evolucionim razvoj, zahvaljujući činjenici da je u njemu znanje posebno sistematizovano, nezavisno od operativnih informacija, što omogućava da se ES postupno osposobljava da rešava zadatke sve viših nivoa složenosti; (d) ES se radi uz aktivno učešće najkompetentnijih eksperata, koji svojim znanjima, empirijskim iskustvom i ocenama učestvuju i u kreiranju i u oformljenju baze znanja.

³ Teško struktuirani zadaci upravljanja odnose se na sisteme se veoma složenim konfiguracijama, sa brojnim vezama sa okruženjem, sa složenim ciljnim strukturama koje najčešće i nisu konačne, a i pojedinačni ciljevi podležu izmenama tokom procesa upravljanja. Kod takvih sistema ne postoji jedan, već više kriterijuma za vrednovanje upravljanja, tako da je neophodna višekriterijumska optimizacija u procesu odlučivanja. Fleksibilno su definisana i ograničenja po stanju i upravljanju, zavisno od intenziteta geotehničkih i drugih uticaja na sistem. Kod takvih sistema i sama priroda problema evoluirala tokom planiranja i upravljanja, a do rešenja nije moguće doći bez heurističkog odlučivanja planera. Sažetije: kod takvih sistema i sama struktura upravljačkog zadatka se menja i razjašnjava tokom rešavanja zadatka upravljanja.

iskustvom iz rada sistema, jer se radi o sistemu sa samoobučavanjem. Baza znanja se za potrebe ES formalizuje delom **Predstavljanje znanja**, u kome se informacije dovode u međusobnu vezu. To je novi kvalitet po kome se taj element ES bitno razlikuje od običnih informacionih sistema. Predstavljanje znanja se radi na više načina, ali su najčešći sledeći:

(a) Produkciona pravila. Ta pravila su izuzetno važna za proces zaključivanja, i definišu se na ovaj način: **Ako** se u sistemu desi ... **onda** uradi; **Ako** se desi ... **ili** ..., **onda** preduzmi ...'. To je najpogodniji način za predstavljanje znanja tipa: stanje → upravljačko delovanje, uzrok → posledica. Događanja u sistemu i/ili sistemskom okruženju se povezuju sa načinom upravljačkog regovanja, po principu: Situacija (događaj) → pravilo reagovanja → dejstvo → nova situacija (stanje) → novo pravilo → itd.

(b) Semantičke mreže. Sastoji se od čvorova, koji predstavljaju objekte i lukova između njih, koji definišu veze između njih. Pogodne su za objašnjavanje određenih pojmova, kao i postupnosti izvršenja nekih operacija.

(c) Meniji su pogodni za predstavljanje stereotipnih znanja. Primer su neke zakonitosti u vidu tabela, iz kojih će se tokom modeliranja i zaključivanja izvaditi odgovarajuće vrednosti.

Na deo **Predstavljanje znanja**, kojim se znanja sistematizuju i formalizuju za operativno korišćenje, naslanja se **Baza modela**, koja je, takođe, izdvojena 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. Bazu modela čine simulacioni, estimacioni / prognostički i optimizacioni modeli, a često i modeli za višekriterijumsko rangiranje razmatranih alternativa. Na bazu modela naslanja se **Baza algoritama za računanje**, koji su formalizovani univerzalno, za sve modele i sve numeričke procedure koje se koriste tokom rada ES.

Jedan od ključnih elemenata ES je **Generator zaključaka**, čiji je zadatak da na osnovu definisanih kriterijuma, ograničenja i heurističkih pravila iz skupa mogućih upravljačkih odluka izabere onu koja je najpogodnija za rešenje te faze upravljanja. Radi se o povezivanju lanaca zaključaka, koji se, zavisno od vrste zadataka koje rešava ES, može odvijati unapred i unazad. Primer zaključivanja unapred. Dobijena je informacija o procenjenim padavinama u narednim danima (u mm) na nekom slivu. Aktiviran ES modelira prognostičke hidrograme, računa hidrauliku propagacije

poplavnog talasa kroz vodotoke, sve to upoređuje sa podacima iz Baze podataka o plavnim zonama, propusnoj sposobnosti korita, o položaju i niveletama nasipa, i na osnovu svih tih analiza upozorava DUO da je kritična deonica ... na kojoj se može očekivati dostizanje kote nivoa ... koja ugrožava nasip na potezu od ... do... Iz Baze znanja i produkcionih pravila odmah daje jasna uputstva šta treba raditi, uz koje resurse, gde se ti resursi nalaze, uz koju organizaciju radova i sa tačnim podacima o ljudstvu koje treba angažovati, sa svim podacima o njihovim adresama, telefonima. Kako se odvija proces padavina, korišćenjem podataka o realizovanim padavinama na konkretnim KS sa automatskom dostavom podataka u realnom vremenu, ES radi nove varijante svih proračuna, primerene stvarnom razvoju procesa padavina, i koriguje svoja uputstva koja odmah dostavlja Donosiocu odluka.

Primer zaključivanja unazad je iznalaženje uzroka nekog nepovoljnog događaja koji se već desio, kako bi se što operativnije izvršila dijagnostika, utvrdila lokacija i pristupilo saniranju havarije i otklanjanju posledica po tačno definisanoj proceduri koju će predložiti ES. Primer zaključivanja unazad. Nakon dobijanja informacije da na reci A u zoni grada B plivaju uginule ribe, a da su pokazatelji kvaliteta rečne vode na monitoring stanicama sledeći ... , aktivira se ES. Time se ulazi u proces vrlo operativnog 'dijaloga' na relaciji 'korisnik – ES'. Prolazeći kroz proceduru / lanac zaključivanja ES otklanja neke neizvesnosti, preuzima iz informacionog sistema podatke o maksimalnim temperaturama vazduha i vode prethodnih dana, postavlja dodatna pitanja, npr. 'Ima li informacija o havariji neke cisterne na deonici puta ...', nakon čega donosi zaključak, koji bi mogao da bude u sledećem vidu: 'Sa verovatnoćom od 90% može se zaključiti da se u fabrici X došlo do havarije na rezervoaru za ..., te je došlo do isticanja hemikalije ... u kišni kolektor, odakle je dospela u vodotok Mogu vam predložiti proceduru protivhavarijskog delovanja. Da li je želite? Da, Ne?' U slučaju da se odabere opcija da se od ES traži da predloži proceduru protivhavarijskog delovanja, on bi na osnovu svojih unapred pripremljenih procedura za razne havarijske situacije generisao najpogodniju, sa planom angažovanja ljudstva, mehanizacije, sa režimima ispuštanja vode iz uzvodnih akumulacija radi što hitnijeg ublažavanja posledica havarijskog zagađenja. Na bazi operativnih podataka o temperaturama vode i vazduha, kao i na bazi modeliranja kvaliteta vode u akumulaciji, ES bi mogao da predloži čak i način ispuštanja vode iz akumulacije (sa kog nivoa selektivnog vodozahvata, po kojoj dinamici, uz kakav režim otvaranja koničnog zatvarača

kako bi se obavila što efikasnije aerisao mlaz i poboljšao kiseonični režim u reci.

Iz ovih primera se uočava da se tek nakon izrade ES, ali i tokom njegovog korišćenja, može kompletnije sagledati neophodan monitoring i skup informacija koji se unose u IS. Vidi se da je za zaključivanje u okviru ES o problemima zaštite voda neophodno da u IS unesu ne samo podaci o otpadnim vodama (mesto, količina, kvalitet, itd), već i o lokaciji i vrsti skladištenih opasnih materija u slivu, kao i o kolektorima, njihovim izlivima i dominantnim putevima tečenja kojima u slučaju havarije zagađenja mogu dospeti u hidrografsku mrežu.

Jedan od najvažnijih razloga za uvođenje ES u upravljanje hidrotehničkom infrastrukturom u 'pametnim' gradovima je neophodnost da se na taj način prevaziđe upravljačka nepouzdanost čoveka, posebno u kriznim situacijama. Autor se tim veoma bitnim aspektom pouzdanosti čoveka pri upravljanju sistemima bavio u svom radu (Đorđević, 2015). Nakon nekih velikih nesreća koje su izazvali ljudi svojim pogrešnim upravljačkim odlukama (posebno nakon havarije izazvane teško shvatljivim ljudskim greškama u NE Ostrvo Tri milje i SAD), izvršena su na velikom uzorku ispitanika veoma podrobna istraživanja [US AEC, 1984], koja su ukazala na iznenađujuću, onespokojavajuću nisku pouzdanost čoveka u procesu upravljanja. Ključni zaključci tih istraživanja se mogu uopštiti: • tokom donošenja i sprovođenja upravljačkih procesa čovek ima znatno suženiju percepciju od one sa kojom se računalo, kao i nedovoljnu sposobnost razdvajanja bitnih od nebitnih informacija, • kapacitet obrade analitički važnih informacija je manji no što se smatralo, • pošto ljudski mozak može da obradi samo manji deo informacija koje primaju čulni receptori, dolazi do 'informacionog zagušenja' koje unosi veliki poremećaj u upravljačko rezonovanje čoveka, • čovek je posebno nepouzdan ako treba da izvršava neke bezbednosno vrlo osetljive radnje po nekom tačno definisanom redosledu u kombinaciji sa operacijama koje obavlja automatsko upravljanje. Sažeto: u procesu upravljanja vitalno važnim sistemima čoveka treba zaštititi od njega samog dobro razrađenim ES, koji će ga sprečiti da napravi neke tragične greške.

Pokazalo su da se naglo smanjuje pouzdanost čoveka pri odlučivanju u uslovima stresa zbog saznanja o mogućim teškim posledicama njegove eventualne pogrešne upravljačke odluke, u uslovima vremenske iznudice za hitno donošenje odluke, zamora, pritisaka koje trpi iz okruženja. Istraživanja su pokazala da je brzina prerade analitičkih informacija čoveka u povoljnim radnim uslovima samo 5÷10 bit/s, a da se ta brzina u kraćim

intervalima, samo od po nekoliko minuta, može povećati do oko 12÷15 bit/s. Problem sa kojim se moramo suočiti je da se pri upravljanju u stresnim uslovima (period odbrane od poplava, hitna sanacija nekih opasnih havarijskih događaja u gradu i njegovom okruženju, itd.), 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 u nekim kritičnim uslovima nastupa potpuna 'panična blokada' suvislog upravljačkog odlučivanja. To je jedan od glavnih razloga za uvođenje Ekspertnih sistema. Tada je zadatak ES da bude podrška u procesu donošenja odluka. ES na osnovu svih pristiglih informacija korišćenjem Baza znanja i Baza modela obavlja sve neophodne analize, sagledava i vrednuje sve moguće upravljačke opcije, proverava ostvarena efekte, ali i posledice svake od njih, na bazi zadatih kriterijuma i ograničenja Donosiocu odluke predlaže upravljanje koje je najbolje u takvim okolnostima. Sa gledišta bezbednosti planete u najširim razmerama, bitan je zaključak da se čoveku, kao nepouzdanom elementu u upravljačkom sistemu, nikako ne sme da se poveri upravljanje bezbednosno osetljivim sistemima bez Ekspertnih sistema za podršku odlučivanju. Takav ES treba da ponudi najbolju, najpouzdaniju opciju, da upozori na greške ukoliko ih je načinio operater, ali, po potrebi, i da onemogući realizaciju pogrešne upravljačke odluke. Sada su sve nuklearne elektrane opremljene takvim sistemima, koji ne samo da ne bi dozvolili izvršenje pogrešnih i opasnih upravljačkih komandi, kao onih u Černobilu, već bi nakon svetlosnog i zvučnog upozorenja na grešku, ako se upozorenje ne poštuje - prešle na proceduru isključivanje reaktora i sve predviđene zaštitne radnje, ako bi rastrojeni operator i pored upozorenja insistirao na pogrešnim komandama. Samo par podataka iz tih istraživanja, koja ukazuju na veoma lošu pouzdanost čoveka. ▪ Prosečna učestalost greške je 0,5 (50%) da operator pri preuzimanju dužnosti neće zapaziti na komandnoj tabli da se neki vitalno važni prekidači nalaze u nedozvoljenom, opasnom položaju, ako ga na to ne upozore uporni zvučni i svetlosni signali, ili obavezujuća procedura provere i potvrđivanja ispravnosti. ▪ učestalost greške je 0,x, ako je x – broj potpuno istih prekidača kojima treba izvršiti neku operaciju, ako je $x \leq 6$; ▪ greška učestalosti 0,3 je da osoblje koje preuzima smenu neće proveriti opremu, iako je to izričito naloženo, osim ako nije predviđena neka procedura koja se kompjuterski verifikuje; ▪ greška učestalosti 0,9÷1(!): ako je operator postavio u pogrešan položaj preklopnik za upravljanje jednim uređajem (npr. dovođenje u neki položaj jednog zatvarača), to isto će

uraditi i sa drugim preklopnikom ukoliko se nalazi neposredno do njega; itd. Zapaža se da su učestalosti pogrešaka alarmantno visoke upravo u upravljačkim situacijama koje su vitalno važne po bezbednost objekata (rad sa zatvaračima, neuočavanje upozorenja o pogrešnim pozicijama bezbednosno vitalnih uređaja, itd.).

Pored Ekspertnih sistema, koji su najefikasniji odgovor na nepouzdanost čoveka pri upravljanju sistemima, koriste se i druge mere za povećanje pouzdanosti, tako da se formira posebna naučna oblast - Bezbednosno inženjerstvo, na spoju Teorije pouzdanosti, Ergonomije, Psihologije (detaljnije: *Đorđević, 2015*). Te mere se intenzivno razvijaju u dva pravca: (a) na planu Ergonomije, (b) propisivanjem obaveznih kontrolnih procedura, korak po korak, koje verifikuje sistem i dozvoljava dalji rad. Ergonomskim ispitivanjima na velikom broju ispitanika se određuje: • optimalan položaj položaj prekidača / dugmadi na komandnoj tabli (nisu dobra ni mala ni velika rastojanja između njih), • način njihovog grupisanja (prekidači se grupišu po upravljačkim procedurama, tako da se operator može da usredsredi samo na deo komandne table, pri čemu su bezbednosno osetljivi prekidači u centralnom, 'crvenom' delu komandne table), • načini zaštite komandnih uređaja od mogućeg slučajnog aktiviranja (ti komandni uređaji se osiguravaju posebnim poklopcima upozoravajućih boja, koji se mogu otvoriti samo sa ključem, često i sa dva, koja treba da istovremeno pokrenu dva čoveka), itd. Druga grupa mera se zasniva na propisivanju procedura kojima se proverava da li su operatori obavili neke mere koje su im naložene. Obe grupe mera, zajedno sa primenom ES mogu da obezbede da se pouzdanost sistema hidrotehničke infrastrukture podigne na nivo primeren 'pametnom' gradu.

5. DA LI JE OBLAST VODA KRITIČNA ZA RAZVOJ 'PAMETNIH' GRADOVA U SRBIJI?

U tački 2 razmatrani su prirodni uslovi u oblasti voda u Srbiji, koji su dosta nepovoljni za razvoj hidrotehničke infrastrukture naselja. Pre svega zbog dosta oskudnih izvorišta, po pravilu udaljenih od velikih naselja, sa veoma neravnomernim režimima voda, sa bujičnim povodnjima koji ugrožavaju naselja, i sa dugim malovodnim periodima kada su jako smanjeni kapaciteti i površinskih i podzemnih voda i jako otežani uslovi za zaštitu kvaliteta voda. U nastavku će se dati nešta konkretniji osvrt po oblastima i sistemima, kako bi se došlo do generalne ocene šta treba raditi kako oblast

voda ne bi bila 'slaba karika' u težnji naselja da se po kvalitetu života približe 'pametnim' gradovima.

Određivanje dostignutog nivoa razvoja hidrotehničke komunalne infrastrukture (HKI) kvantifikuje se preko četiri grupe pokazatelja efektivnosti sistema.

(a) *Kvantitativna efektivnost* se iskazuje merljivim količinskim pokazateljima, kao što su: količina vode isporučena potrošačima, specifični trošci vode u naseljima po stanovniku na dan (poželjno da opada i da se stabilizuje ispod 200 L/s-dan, poželjnije: oko 150 L/s-dan); merljivi pokazatelji kvaliteta vode u vodovodnom sistemu, ali i u rekama i jezerima u gradu i oko njega; itd.

(b) *Probabilistička efektivnost*, kojom se radne i zaštitne performanse HKI iskazuju preko verovatnoća: obezbeđenost isporuke vode naseljima bez redukcija i prekida u snabdevanju, stepen zaštite naselja od velikih voda (iskazuje se verovatnoćom poplavnog talasa od koga se naselje štiti), razni vidovi pouzdanosti važnih postrojenja HKI (pouzdanost raznih za funkcije vodovoda važnih pumpi i buster stanica u sistemima, pouzdanost distributivne mreže, itd.), operativna gotovost raznih vitalnih uređaja HKI, itd.

(c) *Ekonomska efektivnost* – razni ekonomski pokazatelji kojima se vrednuje ekonomičnost sistema, posebno pri upoređivanju varijantnih rešenja: specifična ekonomska cena isporučene vode (din/m^3), ekonomski pokazatelji dobiti (B) i troškova (C): B/C i (B-C), itd.

(d) *Vremenska efektivnost* – performanse HKI koje se iskazuju vremenskim kategorijama. Ta kategorija efektivnosti je često ključna u kriznim situacijama: prosečno vreme otklanjanja kvara na vodovodnoj mreži (različita po objektima i prečnicima cevi), vreme potrebno za aktiviranje nekih rezervnih sistema, vreme za izvršenje nekih hitnih operacija u periodima odbrane od velikih voda, itd.

Svi sistemi HKI imaju po neki od pokazatelja iz navedene četiri grupe efektivnosti, ali su oni različiti u sistemima i oblastima. U nastavku se razmatra po granama HKI stanje u nekim od naselja Srbije, sa stanovišta mogućnosti da se postepenim poboljšavanjem efektivnosti približe zahtevima pametnih gradova. Ili, da svoje radne učinke podignu na nivo koji u celosti zadovoljava potrebe građana.

5.1. Oblast vodosnabdevanja naselja Srbije

Regionalni sistemi. Kao projektni odgovor na nepovoljno stanje vodnih resursa Srbije, i po prosečnim vrednostima domaćih voda, i po njihovoj vremenskoj i

prostornoj neravnomernosti, Prostornim planom Republike Srbije (PPRS, 2010) je predviđeno 18 regionalnih sistema za snabdevanje vodom naselja. Radi celovitosti sagledavanja te jedino delotvorne strategije razvoja vodosnabdevanja Srbije, daje se prikaz tih

sistema. Deo PPRS koji se odnosi na vodu i hidrotehničku infrastrukturu uradio je B.Đorđević (2010), i u Tabeli 1 se prikazuje sažet i adaptiran prikaz dela PPRS koji se odnosi na regionalne sisteme za snabdevanje vodom naselja.

Tabela 1. Regionalni sistemi i podsistemi za snabdevanje vodom naselja

Sistem	Podsistemi (PS), izvorišta (I - PV: podzemne vode, ak: akumulacije), naselja (N)
Gornje-južnomoravski	PS: Vranjsko-pčinjski - I: Prvonek , Prohor - Pčinja, moravski aluvioni, N: Vranje, Bujanovac, Preševo, Trgovište. PS: Vlasinsko jezero - I: Vlasina, Lisina, N: Vladičin Han, Surdulica
Donje-južnomoravski	PS: Toplički - I: Selova ; N: Kuršumlja, Prokuplje, ka Nišu; PS: Nišavski - izvori + Selova; N: Niš, PS: Vlasinski, I: Svođe - Vlasina; PS: Jablanički - I: Barje, Brestovac , Ključ, N: Leskovac, Lebane, Medveđa, PS: Moravički - I: Bovan , N: Aleksinac
Zapadnomoravski-uvački	PS: Rzav - I: Svračkovo , Roge, Velika Orlovača; N: od Arilja do G. Milanovca; PS: Z.Morava - I: Vrutci , Seča reka - Skrapež, Nošnica, Grabovica; PS: Uvac - I: Uvac, Kokin Brod , veza sa Velikim Rzavom. N: naselja kraj Zapadne Morave i u delu Šumadije
Ibarsko-šumadijski	PS: Studenica-Lopatnica - I: akumulacije + alivioni, N: Kraljevo, Vrnjačka Banja, Šumadija do Rače i Arandelovca; PS: Raška - I: Raška (vrela), Vučinić, Bela Voda (Ljudska r.), N: Novi Pazar – Raška
Rasinsko-pomoravski	I: Čelije , aluvioni, Ravna r. i Zabrege; N: Kruševac, Aleksandrovac, Varvarin, Paraćin, Čuprija
Timočki	PS: Bor, Zaječar - I: Grlište , Bogovina, izvori, aluvion, N: Boljevac, Bor, Zaječar, Negotin; PS: Knjaževački - I: podzemne vode, akumulacije: Žukovac, Okolište, N: Knjaževac i doline Belog, Trgoviškog i Svrliškog Timoka
Moravsko-mlavski	PS: Morava-Mlava - aluvioni (Šalinac, Godomin), Vitman i Gradac; N: Petrovac, Malo Crniće, Požarevac, Žabari, naselja u doini Velike Morave, Velika Plana, Smederevska Palanka. PS: Kučevski - Bukovska reka, N: Kučevo i Majdanpek
Kolubarski	I: ak. Stubo-Rovni, vrela , Gradac, aluvioni, N: Valjevo, Ub, Mionica, Ljig, Lajkovac, Lazarevac. Prelazna rešenja tokom realizacije REIS Kolubara – drenažni sistemi
Savsko-beogradski	I: aluvion, Savsko jezero - PPV Makiš 1 i 2 , Beograd i vodom oskudna Šumadija do Mladenovca
Mačvanski	I: aluvioni Mačve, Podrinja i Posavine. N: Bogatić, Šabac, Loznica. Kasnije: deo vode se upućuje preme Sremu, preko Sremske Mitrovice do Rume.
Južnobanatski	I: lokalna izvorišta i aluvion Kovin - Dubovac, N: Pančevo, Kovin, Opovo, Kovačica, Alibunar, Vršac, Plandište, B. Crkva. Kasnije: prebacivanje vode sa desne obale Dunava.
Sremski	I: drinski i savski aluvioni (Jarak-Grabovac), N: Sremska Mitrovica, Ruma. Deo Srema iz Beograskog sistema. Kasnije: voda iz Mačve, preko Bogatića i S.Mitrovice do Rume.
Novosadski	I: podzemne vode, N: Novi Sad, Beočin, Bački Petrovac, Bačka Palanka, Temerin, Žabalj, Zrenjanin. Postoji potreba kasnijeg povezivanja sa Sremskim sistemom i Bačkim sistemom.
Bački	I: aluvioni i vode Dunava, N: Apatin, Sombor, Odžaci Bač, Kula, M.İdoš, B.Topola, Vrbas, Srbobran, Bečej. Aluvion Dunava, kasnije: korišćenje vode Dunava (PPV).
Sistem Gornje Potisje	I: podzemne vode iz OVS, N: Subotica, Kanjiža, Novi Kneževac, Senta, Čoka, Kikinda, Ada, Nova Crnja. OVS samo za naselja. Kasnije: prerada rečne vode i dovođenje voda sa juga.
Metohijski	PS: Peć-Istok-Klina - I: PV vode, ak. Mova-Klina, PS: Radonjić, I: PV, ak. Radonjić , N: Dečani, Đakovica, Orahovica; PS: Južna Metohija - I: PV, Prizren - Suva Reka. Prevođenje vode na Kosovo.
Prištinsko-mitrovački	I: ak. Gazivode, Gračanka, Batlava . Dovođenje vode iz sliva Belog Drima (ak. Mova i Dobroševac). N: Priština, Severno Kosovo sa Kosovskom Mitrovicom
Južnokosovski-binački	I: PV, ak. na Lepencu, ak. Kremenata, N: Uroševac, Štimlje, Vitina, Gnjilane, N.Brdo, Kosovska Kamenica

NAPOMENA: PS: podsistem, I – izvorište, N – naselja, **bold**: izgrađeni objekti ili u gradnji (Svračkovo, Selova)

Smisao, ali i nužnost takve regionalne organizacije snabdevanja vodom naselja je da se voda magistralnim cevovodima prenosi iz zona udaljenih izvorišta u zone naselja, i da se naslanjanjem jednog sistema na više izvorišta (izvorišta podzemnih i površinskih voda) ostvari visoka pouzdanost isporuke vode. Pouzdanost se ostvaruje upravljanjem akumulacijama sa godišnjim regulisanjem protoka. Najpre o kriterijumima koji se

moraju imati u vidu pri vrednovanju efektivnosti sistema za snabdevanje vodom naselja.

Kriterijumi obezbeđenosti isporuke vode sa izvorišta. Stanje vodovodnih sistema u gradovima ocenjuje se prema više kriterijuma i pokazatelja. Najstroži kriterijum, onaj koji se najteže ostvaruje, je *obezbeđenost isporuke vode* potrošačima. Pokazatelj mogućnosti isporuke vode (ISP) zavisi od kapaciteta

izvorišta, posmatrajući ih ne preko prosečnih vrednosti, kao što to često iznenađujuće neodgovorno čine čak i navodni 'eksperti', kada svoja rešenja pokušavaju da nametnu gradskim vlastima, već preko kapaciteta izvorišta i u kriznim malovodnim periodima koji u nekim okolnostima traju i po više meseci. Postoje dve kategorije obezbeđenosti: po vremenu normalne isporuke vode (P_v) i po zapremini isporučene vode (P_z) (Đorđević, 1990):

$$P_v = (T_{pp}/T_u) \times 100\% \quad P_z = (W_{isp}/W_{tr}) \times 100\% \quad (5)$$

gde su: T_{pp} - suma vremena potpunog podmirivanja količina vode koju naselje traži, T_u - ukupno vreme, W_{isp} - isporučena količina vode, W_{tr} - tražena količina vode. Pošto u dobro uređenim gradovima ne sme da dođe do potpune redukcije vode, uvodi se i ograničenje da i u kriznim periodima mora da bude isporučena neka smanjena količina, ne manja od npr. 70% od tražene količine (koeficijent redukcije $\omega = 0,7$). Zbog toga, kada se govori o isporuci vode (ISP) iz akumulacije ili kapacitetu izvorišta podzemnih voda moraju se spregnuti sledeće veličine: količina vode koja se isporučuje / zahvata (Q_{is}), obe obezbeđenosti (P_v i P_z), i koeficijent dopustive redukcije ω , tako da se ta važna performansa sistema definiše četvorkom:

$$ISP: \langle Q_{is}, P_v, P_z, \omega \rangle \quad (6)$$

Obezbeđenost normalnog snabdevanja po vremenu (P_v) je strožiji uslov, pa se sada samo on i koristi, čime se četvorka svodi na trojku: $ISP: \langle Q_{is}, P_v, \omega \rangle$. U jednom savremenom, uređenom gradu koji stremi da bude 'pametnan' taj pokazatelj efektivnosti treba da bude $P_v \geq 99\%$. To je vrlo strog kriterijum i u Srbiji ga ispunjavaju samo oni gradovi koji se naslanjaju na kombinovana izvorišta, od kojih je jedno obavezno akumulacija sa godišnjim regulisanjem protoka, ili neka količinski stabilna akvatorija u kojoj se količine vode obnavljaju (slučaj Beograda sa Savskim jezerom na koje se naslanjaju PPV Makiš 1 i 2).

U gradove sa visokom obezbeđenošću isporuke vode spadaju: ▪ Valjevo i naselja u Kolubarskom regionalnom sistemu, koja će se pored kaptiranih vrela i podzemnih voda naslanjati na akumulaciju sa višegodišnjim regulisanje Stuboravni; ▪ Kruševac i naselja u delu Rasinsko-pomoravskog sistemu koja se naslanjaju na akumulaciju Čelije na Rasini i PPV Majdevo, koje je rekonstruisano; ▪ Leskovac, koje se naslanja na akumulaciju Barje na Veternici; ▪ Aleksinac i deo Moravičkog podsistema (u okviru Donjeg Južnomoravskog sistema) koji se naslanja na akumulaciju Bovan na Moravici; ▪ Zaječar, podzemne vode i akumulacija Grlišće na Grliškoj reci; ▪ Užice, sa

akumulacijom Vrutci na Đetinji, pod uslovom da zaštiti akumulaciju i stavi pod kontrolu krajnje nelogično priključena MHE, štetna po osnovnu namenu akumulacije. ▪ Vranje je vrlo indikativan primer. Vodovod se oslanjao na izvorište u aluvionu kraj Južne Morave, sa velikim brojem bunara koji su u malovodnim periodima bili gotovo bez vode, tako da je grad bio u stalnoj krizi – i u malovođu, ali i pri velikim vodama, koje su nepovoljno delovale na bunare. Visoka obezbeđenost i kvalitet snabdevanja vodom Vranja su ostvarene tek nakon izgradnje akumulacije Prvonek na Banjskoj reci. ▪ Priboj je, takođe, sličan primer: imao je velike probleme sa snabdevanjem ih karsnih izvora (loše i u malovođu, ali i pri velikom vodama), a problem izvorišta je trajno rešen kada se grad priključio na vodostan HE Bistrica, te su sve tri akumulacije na Uvcu postale najpouzdanije izvorište, sa najvećom obezbeđenošću koja se može ostvariti. ▪ Slična je situacija i sa naseljima na Rzavskom vodovodnom sistemu: nakon izgradnje akumulacije Svračkovo na Velikom Rzavu (u gradnji) naselja koja se snabdevaju iz tog sistema (Arilje, Požega, Čačak, Gornji Milanovac) imaće vrlo pouzdano izvorište, te ostaje da se merama održavanja ostvari i visoka raspoloživost magistralnog cevovoda. ▪ Kragujevac je imao sličan razvoj kao drugi gradovi koji su tragali za izvorištima. Pokušavao je i sa izvorištem u aluvionu Velike Morave. Rešenje sa visokom obezbeđenošću u pogledu količine je ostvareno akumulacijom Gruža na Gruži, ali ostaje veliki problem – zaštita akumulacije od zagađivanja, što će se posebno razmatrati, jer je to problem svih izvorišta u Srbiji. ▪ Beograd je ostvario visoku obezbeđenost izvorišta tek kada se okrenuo i površinskim vodama. Dugo je koristio kao izvorište samo respektabilan aluvion Save, ali se pokazalo da se realizacijom sve većeg broja cevastih i reni bunara ne mogu obezbediti dovoljne količine vode, jer su se novim bunarima jedva nadoknađivali gubici koji su nastajali zbog kolmiranja i smanjenja kapaciteta postojećih bunara. Izgradnjom Savskog jezera, sa taložnicom, stvoreni su uslovi da se sa dva PPV 'Makiš' obezbedi stabilno kombinovano izvorište podzemnih i površinskih voda, koje omogućava da se formira Savsko-beogradski regionalni sistem, kojim će se pouzdano vodom obezbediti pored Beograda i sva naselja u malovodnim područjima na pravcu do Mladenovca, koji je na kraju tog sistema.

U svim navedenim gradovima i sistemima izvorišta zadovoljeni su kriterijume obezbeđenosti po količini, ali ostaju dva velika problema: (a) smanjenje vrlo velikih gubitaka u mreži, najpre na manje od 20%, a u kasnijim fazama razvoja i na ispod 10%, što sada izgleda kao teško dostižan cilj; (b) zaštita kvaliteta izvorišta.

Veliki gradove Niš i Požarevac su primeri naselja koji još nisu rešili probleme svojih izvorišta, uporno se držeći samo izvorišta podzemnih voda, čiji se kapaciteti u malovodnim periodima drastično smanjuju, tako da nastupaju veliki problemi zbog redukcija. Oba grada pokušavaju i sa prihranjivanjem izvorišta, ali je autor ovog razmatranja duboko uveren da su sve to palijativna i nesigurna rešenja, i da se problemi vodosnabdevanja tih gradova mogu rešiti tek sa prelaskom i na korišćenje akumulacija. Rešenje za Niš je povezivanje sa izvorištem akumulacije Selova na Toplici, kojom bi se rešili i svi problemi sa vodom u dolini Toplice (Kuršumlja, Prokuplje), što je i predviđeno PPRS. Požarevac pozdano trajno rešenja može da ostvari sa jednom od dve planirane akumulacije na Mlavi, koja bi trajno rešila i snabdevanje vodom Smedereva, čije će izvorište podzemnih voda Šalinac postati nedovoljno po količini, uz rizike i po parametrima kvaliteta zbog nedovoljno dosledne zaštite tog izvorišta. Zbog toga izaziva nevericu nepoštovanje Zakona o Prostornom planu Srbije i volontarizam u odlučivanju o vodama i prostoru u Srbiji: opština Žagubica je dala dozvolu da se profili na Mlavi, na kojima su planirane te dve za Srbiju vitalno važne akumulacije – izvorišta Mlavsko-moravskog regionalnog sistema - dodele privatnom investitoru za građenje MHE!?

Novi Pazar spada u gradove koji su u vrlo ozbiljnom položaju u pogledu izvorišta. Oslanja se na vrelo Raške i na rasute izvore iz te iste karstne formacije, koja je ozbiljno ugrožana u pogledu kvaliteta. Sa izgradnjom Delemečkog vodovoda, veoma korisnog sistema koji je obezbedio vodu seoskim naseljima na padinama Jaruta i Velike Ninaje, intenziviran je razvoj stočarstva i mlekarstva na tom području, ali se sve otpadne vode bez ikakvog prečišćavanja preko Delemečke reke slivaju u ponor u Koštan polju, iz koga se prihranjuje vrelo Raške. Postavlja se ozbiljno pitanje: šta će se desiti sa gradom Novim Pazarom ukoliko dođe do dugotrajnijeg zagađenja njegovog sada jedinog izvorišta? Više je nego očigledno da se grad mora da osloni i na planirane akumulacije Vučinić na Ljudskoj reci i/ili Bele Vode (ušle su u opštinski PP), ali se taj prostor mora brižljivo čuvati za tu svrhu, što sada nije slučaj. Vrlo razumna opcija je i gravitaciono dovođenje vode hidrografskim sistemom iz planirane akumulacije Ribarići na Ibru, uzvodno od akumulacije Gazivode. Međutim, i tu se isprečio isti problem neodgovornosti i nezakonitosti kao u slučaju akumulacija na Mlavi: mada je taj potez Ibra do granice sa Crnom Gorom u PPRS rezervisan za tu strategijski jednu od najvažnijih akumulacija Srbije, opština Tutin svojom odlukom menja tu namenu, u nameri da taj potez Ibra da privatnim investitorima za

izgradnju kaskade MHE. I u tome je podržava resor energetike, koji nije nadležan za strateški važne vodoprivredne objekte. Mogu li se naselja razvijati u smeru 'pametnih' gradove u zemlju u kojoj opštine svojim rešenjima derogira zakon najvišeg nivoa značajnosti?

U prethodnom izlaganju je načinjen osvrt na najteže ostvarljiv kriterijum za vrednovanje vodovodnih sistema – obezbeđenost isporuke vode sa izvorišta, i data je sažeta ocena stanja po tom pokazatelju u nekim naseljima. Sažet zaključak: poželjno je da naselja raspolažu sa više različitih izvorišta, jer se visoka obezbeđenost može ostvariti samo ako se kao izvorišta koriste i akumulacije, odnosno akvatorije čiji se kapaciteti mogu upravljački da kontrolišu (Savsko jezero u Beogradu). Sa gledišta razvoja 'ka pametnom gradu' bitni su i neki drugi pokazatelji efektivnosti vodovoda, od kojih se navode oni najznačajniji sa gledišta pouzdanosti funkcionisanja sistema.

Pouzdanost objekata sistema na otkaze. Sa razvojem vodovodnih sistema ka standardima 'pametnog' grada, raste potreba da se egzaktno analiziraju pouzdanost na otkaze svih vitalno važnih uređaja, ali i sistema kao celine. Analiza se odnosi na primarne otkaze do kojih dolazi u uslovima normalnog rada sistema. Smisao te analize je da se ustanovi da li su te pouzdanosti u prihvatljivim granicama, ili je potrebno, poznatim metodama za povećanje pouzdanosti (pre svega uvođenjem rezervnih uređaja u paralelnoj vezi) pouzdanost dovesti na prihvatljivu veličinu (Đorđević, 2016). Jedan dobro uređen vodovod trebalo bi da za najvitalnije elemente sistema definiše funkcije: pouzdanosti $R(t)$, intenziteta otkaza $\lambda(t)$, kao i srednje vreme rada bez otkaza T_o (o tim kategorijama detaljnije: Đorđević, 1990). Cilj tih analiza je da se apriorno sagledaju eventualne bezbednosno kritične karike u složenom sistemu, kako bi se izvršilo njihovo poboljšavanje sa gledišta pouzdanosti. U tom pogledu su najosetljiviji dugački magistralni cevovodi, čija se pouzdanost računa po zakonitostima serijske veze, što je nepovoljno, jer samo jedan otkaz dovodi do prekida funkcije cele serije. Pouzdanost takvih linijskih sistema i ubrzanje otklanjanja kvara na njima se može poboljšati ugradnjom usputnih rezervoara, kao i povećanjem broja zatvarača, kako bi se pri kvaru isključivao što kraći segment cevovoda. Kod složenih sistema poželjno je da se uradi 'stablo otkaza' (*fault tree*) (Đorđević, 1996), koje pokazuje realnu sliku problema mogućih otkaza nekog složenog sistema i omogućava da se još tokom planiranja izvrši alokacije pouzdanosti, kako bi se ista dovela na neki zahtevan visok nivo. Alokacija

pouzdanosti podrazumeva da se determinišu bezbednosno slabe karike (sklopova, podsklopova, uređaja) u složenom sistemu i da se njihovim ojačavanjem, najčešće uvođenjem elemenata u paralelnoj vezi, dovede na potrebnu visinu pouzdanost složenog sistema kao celine.

Pouzdanost mrežnih sistema. Taj deo pouzdanosti se posebno izdvaja, jer je veoma bitan za planiranje i realizaciju dovoljno pouzdanih vodovodnih mreža, koje, u slučaju 'pametnih' gradova treba da imaju visoke vrednosti, ne manje od 98%. Taj problem se detaljno razmatra u radu (Dašić, 2003), a ovde se samo ukazuje na značajnost te analize za što pouzdanije projektovanje ili kasnije poboljšavanje pouzdanosti vodovodnih mreža u naseljima. Problem pouzdanosti u slučaju mreža cevovoda pod pritiskom je znatno složeniji, jer treba da budu istovremeno zadovoljene dve kategorije pouzdanosti: (1) mehanička pouzdanost svakog pojedinačnog cevovoda, (2) hidraulička pouzdanost – pouzdanost zadovoljenja hidrauličkih parametara u svakom od čvorova mreže, koja predstavlja verovatnoću da će potrošači oslonjeni na taj čvor sistema biti uredno podmireni vodom ukoliko u izvorišnim čvorovima ima dovoljno vode. Slikovitije: da bi potrošač u nekom čvoru mreže bi uredno snabdevan vodom treba da budu istovremeno ispunjena dva uslova: da je fizički povezan sa sistemom i da je pritisak u čvoru veći od nekog minimalnog. Takve analize se rade i pri projektovanju novih sistema, ali i aposteriori, tokom eksploatacije sistema, da bi se proverila pouzdanost mreže kako bi se podigla na potreban nivo. Ta poboljšanja pouzdanosti mreže pod pritiskom ostvaruju se nekim dodatnim vezama (novi cevovodi, često kao popečne ili paralelne veze, radi povećavanja pouzdanosti nekog dela vodovodnog sistema). To se uspešno postiže i formiranjem prstenastih cevovodnih struktura, tako da je podmirivanje nekog čvorova moguće iz dva pravca.

Raspoloživost sistema. Jedan od važnih pokazatelja efektivnosti uređaja u savremenom vodovodnom sistemu je funkcija raspoloživosti $A(t)$ (detaljnije: Đorđević, 2016). Ona se iskazuje verovatnoćom da će neki uređaj (npr. pumpna stanica) biti spreman da izvrši svoju funkciju u trenutku t kada se to od njega zatraži. Uređaj se nalazi u stanju 'raspoloživ' sa funkcijom intenziteta otkaza λ , ili u stanju 'u popravci' sa intenzitetom popravke μ . Za slučaj $t \rightarrow \infty$ složen opšti izraz za funkciju raspoloživosti se transformiše u $A = \mu / (\lambda + \mu)$. Od više kategorija raspoloživosti (detaljnije: Đorđević, 2016) za realno sagledavanje efektivnosti vitalnih postrojenja vodovoda bitna je *operativna raspoloživost* (A_{op}) koja obuhvata sva vremena

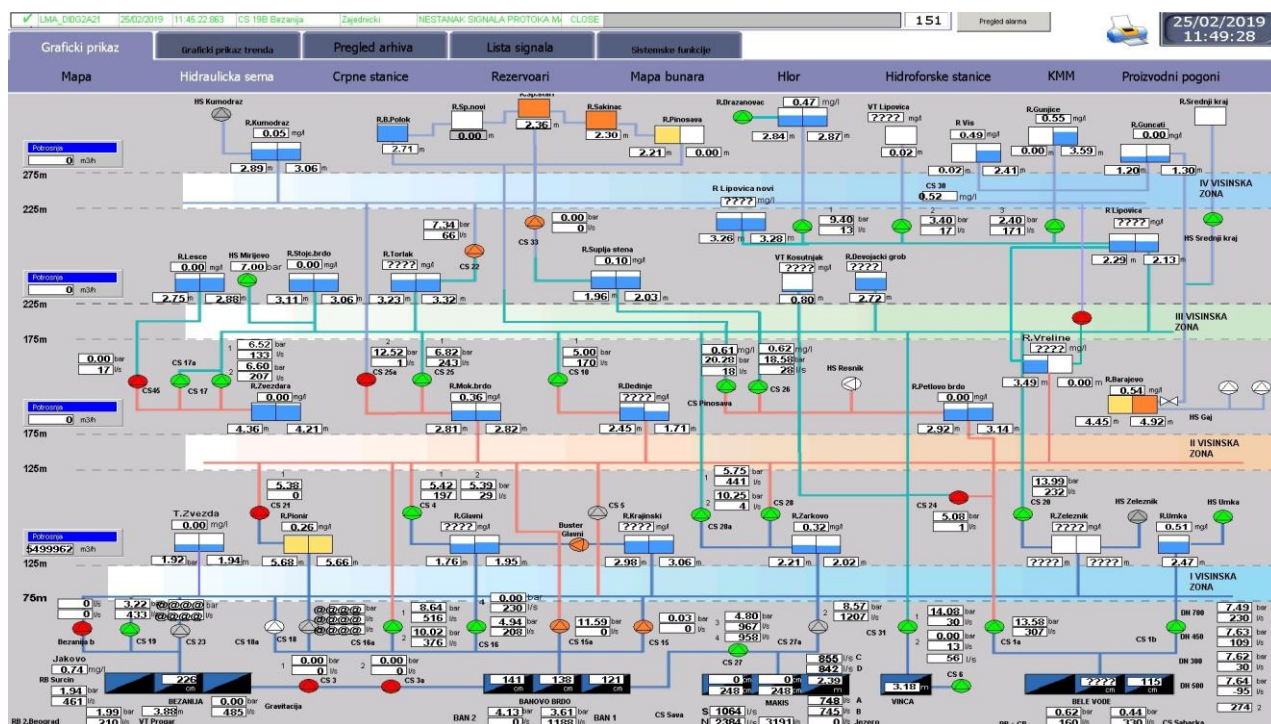
neraspoloživosti, jer pored popravke i provere uključuje i vremena detekcije, dolaska ekipe, administrativno vreme. Zapaža se koliko je značajno skraćivanje svih tih vremena, posebno detekcije kvara, čemu i služe merni uređaji sa 'on line' prenosom podataka u komandni centar. Ukoliko je informacioni sistem rešen kao deo ES, sva vremena od kojih zavisi raspoloživost smanjuju se na minimum, jer ES odmah predloži i najbrže procedure za sve korake popravke.

Pogodnost održavanja i obnavljanja vodovodnih sistema. U gradovima koji teže da budu 'pametni' veoma je važna i efektivnost vodovoda u pogledu pogodnosti održavanja i obnavljanja. Žalosna je istina da se ova vrsta efektivnost vrlo često uopšte ne razmatra pri izboru dispozicije sistema, pa se sistemi realizuju sa dispozicijama koje su nepočne za održavanje. U slučaju vodovoda koji se trude da dosegnu visok nivo efektivnosti taj pokazatelj je od velikog značaja, jer je neophodna i brzina u detekciji i otklanjanju kvarova. Pod održavanjem se podrazumevaju: (a) preventivno održavanje: stalni monitoring stanja u sistemu, kontrole i provere, tekuće održavanje, periodična ispitivanja; (b) korektivno održavanje: detekcija i lokalizacija kvara, dijagnostika uzroka, popravka, provera ispravnosti. Savremeni vodovodni sistem za sve vitalne elemente treba da definiše funkcije intenziteta otkaza $\lambda(t)$ i intenziteta popravke $\mu(t)$, srednje vreme popravke MTTR, na osnovu koji se određuju za upravljanje sistemima: srednje aktivna vremena preventivnog i korektivnog održavanja, maksimalna aktivna vremena preventivnog i korektivnog održavanja (kao pesimistička ocena tih intervencija), srednje vreme između održavanja MTBM, itd. To su za pouzdano upravljanje veoma bitni pokazatelji, koji omogućavaju da se i tokom obnova sistema poboljšava pogodnost održavanja i obnavljanja. To se ostvaruje poboljšavanjem pristupačnosti elementima koji se održavaju, ugrađuju dodatni remontni zatvarači, dodaju novi rezervoari, itd.

Pravci razvoja upravljačkog osavremenjavanja. Na sadašnjem nivou razvoja informaciono komunikacione tehnologije (ICT), korišćenjem SCADA uređaja (*Supervisory, Control and Data Acquisition*), već su stvoreni ključni preduslovi da se veoma operativno prati stanje u vodovodnom sistemu. Na slici 3 prikazan je pult u komandnom centru JP Beogradski vodovod i kanalizacija (dobijena dobrotom JP BVK) na kojoj se vidi da se u centralnoj komandi 'on line' prate svi relevantni pokazatelji stanja u sistemu: hidraulička šema tečenja u vodovodnom sistemu, rad svih crpih stanica, stanje u svim rezervoarima, angažovani cevasti i reni

bunari, položaj svih ključnih zatvarača u sistemu, itd. Mogu se aktivirati detaljnije i drugi podaci, tako da se pojedinačno prate svi bunari, crpne stanice, rezervoari,

hidroforske stanice, stanica hlorigiranja, itd. Jedan od takvih sistema je prikazan u radu (Stankov, 2018) za PPV Medijana 2 u Nišu.



Slika 3: SCADA informaciono-upravljački sistem u komandnom centru Beogradskog vodovoda.

Imajući u vidu te ohrabrujuće činjenice da je u savremenim vodovodima već uspostavljena bazna struktura upravljačko-informacionog sistema, postavlja se pitanje kako dalje poboljšavati upravljanje i pokazatelje održavanja i obnavljanja sistema. Od više aktivnosti koje će pratiti razvoj vodovodnih sistema tri smeru će svakako biti najvažnija:

(1) Povećanje gustine mernih mesta za merenje pritiska u ključnim čvorovima, u okviru redovnog monitoringa vodovodne mreže. Mernim uređajima treba pokriti sve hidraulički bitne čvorove, sa automatskom dostavom podataka u komandni centar. Time se postiže osmotrivost sistema koja je neophodna za pouzdano operativno upravljanje vodovodnim sistemom.

(2) Izrada matematičkog hidrauličkog modela funkcionisanja vodovodnog sistema, na kome se na najoperativniji način može da prate hidraulička dešavanja u sistemu - tokovi tečenja u granama mreže, pritisci u ključnim čvorovima. Aktivnosti ad. 1 i 2 treba

obavljati simultano, kako bi se sagledali čvorovi u mreži na kojima je zaista neophodno ugraditi merače pritiska.

Matematičkom simulacijom raznih hidrauličkih situacija u mreži, u regularnim uslovima rada, mogu se dobiti opsezi pritiska koji se mogu očekivati u pojedinim čvorovima. Ako se svi ovi podaci unesu u Bazu znanja ES (za to i nije neophodan ES), pri bilo kom vanrednom događaju u vodovodu, monitoring pritiska u čvorovima lokalizuje grane u mreži u kojima je došlo do izlaska iz opsega (naglog pada pritiska) koji je uobičajen u normalnom radu. I o tome odmah upozorava komandni centar. Na taj način se ubrzava detekcija i lokacija vanrednog događaja u mreži. Ukoliko je sve to ugrađeno u odgovarajući ES, može odmah da sledi kratak 'dijalog' na relaciji Operator – ES, nakon koga ES odmah predlaže proceduru intervencije koja je ranije dobro razrađena za takvu situaciju.

(3) Veliki značaj imaju i promena koncepcije registrovanja i naplate potrošnje vode u zgradama sa više stanova. Sadašnja praksa, sa jednim zajedničkim

vodomerom i podelom troškova po nekoj proporciji vezanoj za broj članova domaćinstva, jedan je od generatora rasipništva u potrošnji. U savremeno uređenom gradu neophodno je da se potrošnja meri za svako domaćinstvo, jer iskustvo iz sveta pokazuje da je nakon prelaska na taj princip merenja vrlo značajno smanjivana specifična potrošnja vode. Izgovori o tehničkoj složenosti sprovođenja takve prakse ne stoje, jer se umešnim projektovanjem instalacija to može ostvariti.

(4) Napokon, ključna stvar koju treba ostvariti je – ekonomska cena vode. Ona treba da obuhvati sve troškove proste reprodukcije sistema, troškove zaštite izvorišta, kao i deo troškova proširene reprodukcije (oko 30%) koji podrazumeva dalji razvoj sistema. Bez ispunjenja tih preduslova regionalni sistemi bi brzo doživeli ekonomski, tehnološki i fizički slom, jer bi se voda koristila na neprimeren, neracionalan način, i ne bi bilo sredstava za održavanje sistema.

Problemi zaštite izvorišta. Pametan grad podrazumeva pametno čuvanje i održavanje hidrotehničke infrastrukture, pre svega one najvitalnije, najvažnije – izvorišta i sistema odbrane od poplava. Po tom merilu ni jedan od naših gradova nema uslove da se svrsta u kategoriju iole razumnih gradova, a nekmoli – 'pametnih'. Gradovi kao da se takmiče ko će više da ugrozi svoje ili tuđe izvorište. Sa ilegalnim objektima se upada i u prvu, neposrednu zonu zaštite, kuće za odmor se grade u neposrednim zonama zaštite u pojasu od 10 m oko akumulacija, septičke jame se prazne u jezera, divlje deponije se formiraju, takođe, upravo u zonama neposredne zaštite. Drastičan primer je ugrožavanje dragocene akumulacija Čelije: u nju se slivaju otpadne vode iz Brusa, Blaca (u PPRS je dat najviši prioritet izgradnji PPOV upravo tih naselja), iz toaleta i kuhinja nelegalnih kuća sagrađenih duž obale u neposrednoj zoni zaštite. Povrh svega, duž obala Rasine nizvodno od Brusa formirana je ogromna divlja deponija, koju je povodanj 2014. godine odneo u jezero Čelije. Jezero koje je najvažnije regionalno izvorište! Međutim, ponovo se formira nova divlja deponija duž Rasine! Slično je i na svim drugim izvorištima, tako da je to jedna od najsramnijih, najopasnijih stvari koja se događa u sektoru voda pred očima vlasti nadležnih da to spreče. Moćnici koji su nelegalno sagradili kuće oko akumulacije Gruža u neposrednoj zoni zaštite čak su uspeli da onemoguće da Vlada donese Prostorni plan prostora posebne namene za tu akumulaciju - izvorište, što samo pokazuje koliko smo daleko od iole razumnog ponašanja, koje bi trebalo da prethodi naporima da se usmerimo ka 'pametnim gradovima'.

U zagađivanju i uništavanju nezamenljivih izvorišta prednjači – Beograd. Na vodnom zemljištu u inundaciji Save, koja je ujedno i zona zaštite izvorišta Beogradskog vodovoda, izniklo je više stotina nelegalnih kuća za odmor 'najuglednijih, nedodirljivih' ljudi. Kuće su najvećim delom u zonama neposredne zaštite izvorišta. Ti ljudi su toliko 'nedodirljivi' da se odgovorni u Gradu i Republici ne usuđuju da im uruče makar samo rešenje o odbijanju legalizacije gradnje. Neki drski moćnici potukli su sve rekorde u bestijalnosti, pa su kuće napravili neposredno kraj cevastih i reni bunara, neki čak i na drenovima reni bunara! U neposrednoj zoni zaštite su i mnogi senkrupi, često urađeni da deluju kao upojne jame – pravo u aluvion iz koga se voda pumpa bunarima. Otpadne vode se u Savu upuštaju bukvalno kraj bunara. Da bi zaštitili svoj status formirali su čak i udruženje 'Zeleni raj', koje agresivno brani njihovo divljanje u zaštićenoj zoni i njihovo pravo da zadrže taj status ilegalnih uljeza na vodnom zemljištu i zonu neposredne zaštite izvorišta. A o kakvom 'statusu' se radi vidi se na slikama 4 i 5.



Slika 4: Nelegalno sagrađene kuće u neposrednoj zoni zaštite neposredno kraj bunara (desno)



Slika 5: Senkrupi i upojne jame u izvorišnom aluvionu u zoni bunara Beogradskog vodovoda. Nečuveno!

5.2. Sistemi zaštite od velikih voda

Od gradskih hidrotehničkih sistema razmotriće se još samo pravci modernizacije sistema zaštite od poplava.

Imajući u vidu već obrazloženu činjenicu da je veoma sužena percepciji čoveka kao upravljačkog organa pri odlučivanju u uslovima stresa i velike nervne napetosti, potrebu i prvi prioritet da se modernizuju do nivoa Ekspertnog sistema (ES) imaju sistemi zaštite od poplava. Specifičnosti ES za zaštitu od poplava su sledeće.

- ES odbrane od poplave se mora raditi na nivou sliva, a ne samo za naselje koje se brani. To ga čini znatno složenijim, ali i - neophodnijim. Bazno polazište za izradu tog ES je sadržano u sloganu: 'Živeti sa poplavama'. Na nizu područja ne mogu se izbeći poplave bilo spoljnim ili unutrašnjim vodama (poplave unutrašnjim vodama, sa slivova unutar grada postaju sve razornije), pa je ES utoliko neophodniji da se u svim takvim situacijama upravlja na način da se taj događaj odvija bez neprijatnih iznenađenja, bez panike, da se sve mere odbrane obavljaju organizovano, na način koji će minimizirati materijalne štete i umanjiti socijalne traume. I da se iz takvog događaja uz pomoć ES izvuku iskustva u dva smera: (a) šta treba poboljšati u pripremi teritorije da bude što manje ranjiva u uslovima poplavnih događaja, (b) koja poboljšavanja treba uraditi na samom Ekspertnom sistemu, jer se radi o sistemu sa samoobučavanjem.

- U Bazi modela obavezno treba da bude i matematički model za estimaciju nastanka poplavnog talasa na slivu i njegovu propagaciju hidrografskom mrežom kroz područja koja se štite. Bitno je da se ne razmatra samo grad koji se štiti, već i sva uzvodna područja duž hidrografske mreže sliva, jer se sva događanja uzvodno najneposrednije odražavaju i na vodne režime u zoni grada i uslove za njegovu operativnu zaštitu.

- ES mora da obuhvati sve tri grupe mera zaštite: aktivnu – upravljanjem akumulacijama i retenzijama, pasivnu – zaštitu nasipima i drugim linijskim zaštitnim sistemima, neinvesticione mere zaštite - organizacione i planerske mere usmeravanja ponašanja i načina građenja u potencijalno ugroženom prostoru. Ta treća grupa mera je izuzetno važna, jer je njen cilj da spreči stalni rast potencijalnih šteta od poplava zbog građenja neprikladnih, na poplave osetljivih i skupih sadržaja u zonama koje se mogu plaviti.

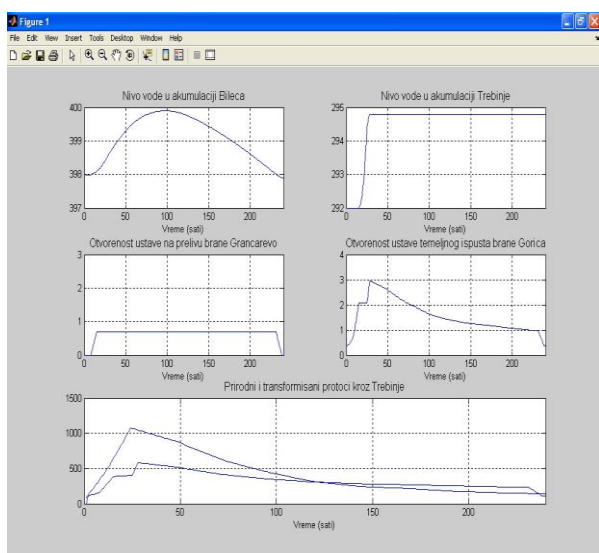
- U ES treba da bude inkorporiran Operativni plan odbrane od poplava, što detaljnije sistematizovan u Bazi znanja, Predstavi znanja i Informacionom sistemu ES. Tokom izrade i pri proverama rada ES u raznim hidrološkim situacijama, ES se stalno ažurira i proverava se njegova usklađenost sa planovima zaštite na područjima sa kojim je taj hidrografski sistem u interakciji, kao i sa planovima zaštite velikih tehnoloških sistema (površinskih kopova, energetskih objekata, itd.).

- U Bazu znanja se moraju uneti svi digitalizovani katrografski materijali koji su od značaja za odlučivanje: zone plavljenja, po kotama, visinski položaj svih za odlučivanje relevantnih objekata koji se nalaze u plavnoj zoni, položaj objekata čije bi plavljenje izazvalo teške ekološke i druge posledice (rezervoari hemikalija i goriva, trafoi i razvodna postojenja, itd.).

- Tokom uređenja teritorije da bude što manje ranjiva u uslovima povodanja, moraju da budu definisane i pripremljene za operativno aktiviranje rezervne linije odbrane od poplava. One su bitne za slučaj da se u nekim najtežim kriznim situacijama neka područja ne mogu više da brane, te je neophodno da se pređe na rezervne linije. ES treba da ima jasno definisane kriterijume kada se to mora da uradi, kao i detaljnu specifikaciju svih objekata koji će se naći u zoni koja se plavi i proceduru koje treba obaviti da bi se izbegle veće štete. Definisani su i tačni položaji tih novih zaštitnih linija, kao i čitava procedura napuštanje postojećih i prelazak na rezervne linije odbrane, kako bi se to ostvarilo na hidraulički najpovoljniji način. Analize pokazuju (Đorđević, 2016) da se čak i sa relativno malim akumulacijama dobrim upravljanjem i aktivnom odbranom - ublažavanjem talasa, mogu ostvariti značajna poboljšanja pouzdanosti objekata koji su veoma osetljivi na plavljenje.

- Gradovi na rekama na kojima već postoje ili se planiraju akumulacije sa godišnjim regulisanjem protoka mogu se vrlo uspešno štiti upravljanjem akumulacijama. Zbog toga ES treba obavezno da u Bazi modele ima i matematički model upravljanja akumulacijom ili akumulacijama, ako ih ima više koje utiču na vodne režime. Ovaj autor je sa saradnicima u više navrata pokazao da se primenom simulacionih i suboptimizacionih modela može vrlo uspešno da utiče na ublažavanju talasa velikih voda na rekama u zonu naselja, i da je vrlo često to i jedini uspešan način da se ostvari zahtevana bezbednost naselja od poplava. U radu (Đorđević, 2012) prikazane su vrlo uspešne mogućnosti primene jednog od takvih (sub)optimizacionih modela za zaštitu grada Trebinja upravljanjem akumulacijama - Bilečkom i Trebinjskom. Model radi sa sintetičkim hidrogramima, koji se biraju u skladu sa najavljenom padavinskom situacijom, proverava se sve moguće opcije upravljanja evakuacionim organima, a na osnovu toga predlaže upravljačkom organu koji je način upravljanja najbolji sa gledišta kriterijuma da se minimizira vrh talasa na potezu kroz Trebinje ($Q_{\max, \text{Treb}} \rightarrow \min$). Model veoma brzo proveri sve moguće opcije dinamizma otvaranja i zatvaranja evakuacionih organa, u cilju pripreme akumulacije da efikasno prihvati i ublaži poplavni talas, i odmah obavesti upravljački organ kakvim se upravljanjem može postići najveće

ublažavanje talasa. To se vidi na slici 6, na kojoj su u srednjem delu grafički prikazana najpovoljnija upravljanja evakuatorima na obe brane, a na donjem delu slike se vidi kako bi u tom slučaju izgledao ublažen talas kroz grad Trebinje. Zapaža se da je vrh talasa smanji gotovo duplo. U Srbiji se neki gradovi vrlo uspešno mogu da brane upravo na taj način. Najpouzdanije je zaštićen grad Valjevo, koji se uz umešno upravljanje akumulacijom sa višegodišnjim regulisanjem Stuborovni, može veoma uspešno da zaštiti i od voda verovatnoće 0,2%. Uspešno se aktivnim merama zaštite akumulacijom Barje štiti Leskovac iz pravca Veternice, dolina Rasine se štiti akumulacijom Čelije, naselja u dolini Aleksinačke Moravice akumulacijom Bovan, dolina Banjščice sa štiti akumulacijom Prvonek. Stavljanjem u funkciju akumulacije Selova na Toplici može se uspešno štiti dolina Toplice. Planirana višenamenska akumulacija Bogovina na Crnom Timoku planirana je i za zaštitu od velikih voda čitave nizvodne doline i Zaječara.



Slika 6: Vizuelizacija predloga (sub)optimalnog upravljanja akumulacijama na Trebišnjci u cilju zaštite grada Trebinja.

▪ Izuzetno važan segment tog ES je konkretan plan evakuacije stanovnika i materijalnih dobara iz ugroženih zona. Taj plan se povremeno ažurira i 'proigrava' tokom proveravanja ES i njegovog ažuriranja i informacionog dopunjavanja. Na osnovu digitalizovanih karata terena 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. U 'pametnom' gradu građani treba da su tačno upoznati koja su područja bezbedna i koji su putevi evakuacije do

njih (slično sa instrukcijama koje su obavezne u hotelima za slučaj požara). U ruralnim područjima to podrazumeva i obezbeđivanje bezbednih lokacija za evakuaciju stoke iz ugroženih zona. U ravničarskim predelima, u okviru pripreme teritorije za otpornost na takva događaja, formiraju se i veštački platoi izvan domašaja velikih voda da bi se na njih mogla da izmesti stoka, ukoliko se to područje ne može braniti.

▪ U ES za odbranu od poplava treba da budu inkorporirani i planovi delovanja svih komunalnih službi u takvim okolnostima, kako bi se proigravanjem raznih kriznih situacija utvrdilo da li su oni međusobno usaglašeni. Planom za Vodovod moraju da budu jasno definisana način zaštite izvorišta i postupanje u slučaju njihovog ugrožavanja. Treba da budu razrađeni sasvim konkretni scenariji za delovanje u uslovima ispada nekog od izvorišta ili nekog od magistralnih cevovoda. Za kanalizacioni sistem treba da bude razrađen konkretno personalizovan 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 postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda (PPOV) visinski položaj i dispozicija PPOV treba da budu odabrani tako da su od plavljenja bezbedni svi vitalni delovi postrojenja (skladišta hemikalija, pogonski uređaji, laboratorije, upravljački centar). Deo postrojenja na ulasku kanalizacije u PPOV se, po pravilu, zbog niskog položaja teže može braniti, 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 budu van domašaja vode verovatnoće 1%. U velikim gradovima taj uslov treba da bude strožiji, sa stepenom zaštite od velikih voda verovatnoće od 0,5% do 0,2%.

▪ Dobro razrađen ES za delovanje u uslovima odbrane od poplava ima i segmente koji se odnose na delovanje u zdravstvenim institucijama i za javnu higijenu bitnim službama. Vitalni sadržaji u zdravstvenim ustanovama se još pri planiranju moraju smeštati na mestima i na način da ih ne ugrožavaju poplavne vode. Takođe, treba predvideti organizaciju prihvata u slučaju pojave epidemija hidričnog porekla koje prate period poplava, a naročito period nakon njega. U ES se unose i planovi

delovanja u takvim situacijama službi gradske čistoće, veterinarske službe, sa jasnim planom delovanja u kriznim stanjima tokom i nakon odbrane, posebno oko uklanjanja stradalih životinja, održavanja komunalne higijene na branjenom području tokom odbrane, kao i sanitarna asanacije terena na čitavom prostoru nakon poplavnog događaja.

- Sadašnje meteorološke prognoze omogućavaju da se dosta uspešno i par dana ranije prognoziraju nailasci opasnih padavinskih ciklona i da se okvirno prognoziraju i potencijalno moguće visine padavina. Takva prognostička ažurnost omogućava da se odmah nakon dobijanja takve informacije aktivira ES i da se na osnovu tih preliminarnih prognoza o visinama padavina počne sa blagovremenim pripremanjima za taj događaj. Jedna od prvih aktivnosti je aktiviranje MM koje treba da prognozira moguće talase vode, a da MM za upravljanje akumulacijama predloži dinamiku priprema akumulacija da što uspešnije ublaže poplavne talase koji se formiraju na njihovim slivovima. To podrazumeva pretpražnjenje akumulacija. Sve analize pokazuju da veliku prednost imaju akumulacije koje su opremljene snažnim evakuacionim organima (dubinski i srednji ispusti) koji omogućavaju efikasno pražnjenje, jer one mogu znatno uspešnije i fleksibilnije da ublažavaju poplavne talase, a da se zatim, nakon prolaska opasnosti, vraćaju na kote koje su potrebna sa gledišta realizacija drugih ciljeva (hidroenergetika, snabdevanje vodom, navodnjavanje.).

Grad ne mora da bude 'pаметan', ali treba da bude iole razuman da održava i ne uništava svoje već postojeće objekte zaštite od poplava. Na žalost, daleko smo od toga, a u tome prednjači – Beograd. Ukazujemo samo na dve pojave koje su zastrašujuće, jer dovode u pitanje bezbenost Novog Beograda. Država i Grad su dopustili nelegalnu gradnju stotine kuća u inundaciji reke Save, na vodnom zemljištu na kome je zabranjena bilo kakva gradnja. Taj proces divljanja je eksplodirao nakon 2008. godine, i traje bez ikakvih intervencija nadležnih organa i JVP koje je zaduženo za održavanje sistema zaštite od poplava. Nasip koji je dimenzionisan samo kao zaštitni objekat sada se zloupotrebljava kao javna saobraćajnica. Nasip bukvalno razaraju teški transporteri natovareni građevinskim mašinama, mešalice za beton, veliki kamioni natovareni građevinskim materijalom (slika 7).

To nije sve. Pred očima nadležnog JVP odigrava se još jedna destruktivna aktivnost bez presedana u svetu (slika 8). Vlasnici nelegalnih objekata da bi obezbedili prolaz do svojih kuća, pred očima JVP Srbije grade 'svoje' poprečne nasipe kroz inundaciju, čime radikalno pogoršavaju propusnu sposobnost Save u periodima

velikih voda. Neki od tih objekata su pod takvim uglom da usmeravaju tok vode pravo na nasip, ugrožavajući ga dodatno. Već je sagrađeno desetak i više takvih poprečnih pregrada. Gradile su ih teške mašine - bageri, buldožeri, kiperi – i sve se to odigravalo desetak godina pred očima nadležnih kojima su povereni na održavanje i sistemi za zaštitu od velikih voda. A odigrava se i sada!



Slika 7: Težak saobraćaj razara savski nasip koji štiti Novi Beograd. Nasip nije dimenzionisan za saobraćaj.

Propali su svi pokušaji da se nadležni urazume i da spreče to opasno, bestijalno divljanje na dragocenom nasipu od koga zavisi sudbina Novog Beograda, čije su kote niže od kota nivoa Save tokom dosta dugih trajanja velikih voda.



Slika 8: Jedan od ilegalno sagrađenih poprečnih nasipa preko inundacije. Oslonjeni na savski zaštitni nasip oni radikalno pogoršavaju protok velikih voda Save, pa čak usmeravaju struju velike voda na zaštitni nasip.

ZAKLJUČAK

Razumljiva je težnja gradova da modernizacijom svih svojih sistema i primenom savremenih ICT tehnologija dostignu visok nivo funkcionalnosti, racionalnosti i pouzdanosti koji će ih približiti nivou tzv. pametnih gradova. Pošto je hidrotehnička infrastruktura gradova jedna od najvitalnijih, najosetljivijih za bezbedan i kvalitetan život građana, modernizacija svih tih sistema ima nesumljiv investicioni i organizacioni prioritet u tim stremljenjima ka 'pametnim' gradovima. Tu infrastrukturu čine vodovodi sa svim izvoristima i zonama zaštite, kanalizacija, sistemi zaštite od plavljenja spoljnim i unutrašnjim vodama, sistemi za zaštitu kvaliteta voda sa uređajima za prečišćavanje otpadnih voda, uređene obale i priobalno vodno zemljište, prirodne i veštačke akvatorije za rekreaciju i sportove na vodi. Upravljanje tim sistemima je sada već u procesu upravljačko-informacione modernizacije koja omogućava delimično 'on line' praćenje ponašanja sistema u procesu upravljanja. Nastavkom tih aktivnosti, uz dalje osavremenjavanje ICT tehnologije, treba težiti da se postepeno zaokružuje proces upravljačke kibernetizacije svih tih sistema, od faze planiranja – da bi sistemi po efikasnosti i pouzdanosti bili primereni ciljevima 'pametnih gradova', do faze operativnog upravljanja, posebno u uslovima kriznih situacija i događaja. Razvoj upravljačke kibernetizacije hidrotehničke infrastrukture gradova treba usmeriti ka postepenom formiranju Ekspertnih sistema (ES), čiji su ciljevi, efekti i bazni principi dati u članku. Ti ES hidrotehničkih sistema treba što pre da postanu nezaobilazna podrška za upravljanje svim komunalnim hidrotehničkim sistemima, jer se na taj način postižu najveća efektivnost sistema, uz najmanji utrošak energetskih i drugih resursa, uz najveću pouzdanost. ES su izuzetno važni kao podrška upravljanju sistemima u kriznim situacijama, kada je potrebno donositi brze i pouzdane odluke, jer čovek kao upravljački organ u takvim kritičnim situacijama ima znatno suženu percepciju i nije u stanju da bez takve podrške uspešno barata sa veoma velikim brojem važnih informacija.

Da bi grad bio 'pаметan' treba da pametno čuva svoja izvorišta. Na žalost, Srbija je u tom pogledu veoma daleko od iole razumnog ponašanja, tako da joj preči opasnost da se u bliskoj budućnosti suoči sa činjenicom da su joj izvorišta trajno devastirana, a da nema drugih, jer se i potencijalna nova izvorišta užurbano upropašćavaju nelegalnom gradnjom i nekontrolisanim zagađivanjem. Dešava se i neverovatna pojava, da opštine, svojim odlukama o davanju dozvola za građenje MHE privatnim investitorima, uništavaju

regionalna izvorišta najvie državne značajnosti (Mlava, Gornji Ibar), čime derogiraju Zakon o Protornom planu Republike Srbije, koji je ta izvorišta stavio pod zaštitu.

Čak i ako ne teži da bude 'pаметan' grad bi morao da bude iole razuman da održava i ne uništava svoje već postojeće objekte zaštite od poplava. Na žalost, često izostaje čak i elementarna razumnost nadležnih organa: nelegalno se grade kuće za odmor i drugi objekti na zakonom zaštićenom vodnom zemljištu, čime se radikalno pogoršavaju režimi velikih voda, a nasipi projektovani samo kao zaštitni objekti bukvalno se uništavaju zloupotrebom kao saobraćajnice. Dozvoljava se da privatna lica potpuno nelegalno grade poprečne nasipe po rečnoj inundaciji, kako bi napravili pristup do svojih kuća, čime radikalno pogoršavaju režime tešenja u periodima velikih voda. I u tome prednjači – Beograd.

Najsazetiji zaključak: poboljšavajući svoju hidrotehničku infrastrukturu gradovi treba da teže da dostignu nivo kvaliteta koji je potreban za nivo 'pametnog' grada. Ali, pre toga, mnogo je važnije da prestanu sa nerazumnom destrukcijom svojih sistema, pa da bar na taj način dostignu nivo – 'iole razumnog' grada.

LITERATURA

- [1] Blagojević, V., N.Sudar, M.Vukićević, B.Đorđević (2015): *Urbana regulacija i integralno uređenje dolinskog prostora na primeru reke Bosne u zoni Grada Doboja*, Vodoprivreda, Beograd, God.47, N^o 276-278, s. 301-310
- [2] Blagojević, V. i drugi (2018): *Mape opasnosti i mape rizika od poplava na slivu rijeke Vrbas u BiH kao podloga za izradu planova upravljanja poplavnim rizikom*. Vodoprivreda, Vol. 50, N^o 291-293, s. 87-97.
- [3] Dašić, T. & B.Đorđević (2003): Metod za određivanje pouzdanosti složenih vodoprivrednih sistema (NETREL). Vodoprivreda, Beograd, N^o 203-204.
- [4] Dasic T. i B. Djordjevic: *Incorporati of water storage reservoirs into the environment*, Scientific Journal of Civil Engineering, Vol. 2, Issue 2, Skopje, 2013 (pp. 7-16).
- [5] Dašić, T., B.Đorđević, P.Milanović, M.Stanić, N.Josimović i N.Sudar (2018): Razvoj metoda za upravljanje vodama i uređenje teritorije u zoni sistema osetljivih na poplava – Na primeru rudnika i termoelektrane Gacko, Vodoprivreda, N^o 282-284, Beograd, s. 137-146
- [6] Đorđević, B. (1990): *Vodoprivredni sistemi*, Naučna knjiga, Beograd, ISBN 86-23-41056-4

- [7] Djordjević, B. (1993): *Cybernetis in Water Resources Systems*, WRP, USA, pp. 620, ISBN 0-918334-82-9.
- [8] Đorđević, B. & T. Milanović (1995): Sigurnost složenih vodoprivrednih sistema i mogućnost njene alokacije u fazi planiranja, *Vodoprivreda*, Beograd, N^o 153-155.
- [9] Đorđević, B. & T. Milanović (1996): Stabla otkaza kao efikasna metoda za analizu pouzdanosti složenih sistema, *Vodoprivreda*, N^o 159-160.
- [10] Đorđević, B. (1999): *Integralni razvoj i upravljanje vodnim resursima*. - Uvodni referat na naučnom skupu sa međunarodnim učešćem "Voda za 21. vek", Beograd. Objavljeno u istoimenoj monografiji.
- [11] Đorđević, B., T. Dašić, N. Sudar (2012): *Povećanje efikasnosti upravljanja akumulacijama u periodu odbrane od poplava - na primeru hidroenergetskog sistema na Trebišnjici*, časopis "Vodoprivreda", 255-257, Beograd, 2012. s. 43-58.
- [12] Ђорђевић, Б. (2014): *Изградња водопривредне инфраструктуре је најважнији и континуирани државни развојни пројекат*. Поглавље у књизи: Могуће стратегије развоја Србије, Editor: Академик Часлав Оцић, САНУ, Београд, с. 309-322.
- [13] Đorđević, B. i T. Dašić (2015): *Ekspertni sistem za planiranje i operativno sprovođenje odbrane od poplava*, *Vodoprivreda*, Beograd, God.47, N^o 276-278, s. 187-202
- [14] Đorđević, B. i M. Dašić (2016): *Kategorije pouzdanosti koje se moraju proveravati tokom planiranja i korišćenja vodoprivrednih sistema*, *Vodoprivreda*, N^o 279-281, Beograd, s. 29-44
- [15] Đorđević, B. & T. Dašić (2019): *Ekologija vodoprivrednih sistema*. Građevinski fakultet u Beogradu, s. 450.
- [16] Hollnagel E. (1993): *Human reliability analysis*, Academic press
- [17] Plavšić, J. I R. Milutinović (2010): *O računskim novoima vode za zaštitu od poplava na Dunavu kod Novog Sada*, *Vodoprivreda*, 243-245, s. 69-78
- [18] Popovska, C. & B. Đorđević (2013): *Rehabilitacija reka – nužan odgovor na pogoršanje ekoloških i klimatskih uslova*, *Vodoprivreda*, Beograd, N^o 261-263, s. 3-20.
- [19] PPRS – *Prostorni plan Republike Srbije*, sa pratećim zakonom (2010). Službeni glasnik, Beograd.
- [20] Stankov, S (2018): *Sistem nadzora i upravljanja postrojenjem za prečišćavanje vode*, *Vodoprivreda*, N^o 284-296, s. 319-332.
- [21] Stojkov, B. (2012): *South-east european cities in transition*. Gradovi u XXI veku. Naučni skup, Beograd, s.17.
- [22] U.S. Atomic Energy Commission (1984): *Reactor Safety Study, An Assessment of Accident Risks in US Commercial Nuclear Power Plants*, Appendix II and III: Failure Data, WASH 1400, Washington.
- [23] *Vodoprivredna osnova Republike Srbije (2002): Institut za vodoprivredu 'Jaraospav Černi'*, Beograd
- [24] Waterman, D.A. (1989): *A Guide to Expert Systems*, Addison-Wesley Pub. Company, Reading, 1989.

DEVELOPMENT OF HYDRAULIC INFRASTRUCTURE FOR TRANSFORMATION OF SETTLEMENTS INTO 'SMART' CITIES

by

Branislav ĐORĐEVIĆ

Full Member of the Academy of Engineering Sciences of Serbia

Summary

One of the activities of the Academy of Engineering Sciences of Serbia is to research the direction of urban development to enable gradual transformation of settlements into smart cities. This process raises the functionality of all systems in the city and their reliability to the highest level, reduces energy consumption, enables the most efficient monitoring of the behaviour, performance and maintenance of all systems, reduces the troubleshooting time, and maintains environmental conditions at a desirable level in the city and its environment. Water management infrastructure in cities is one of the most important systems in terms of safety and the most vital system in terms of functionality. This consists of: water supply systems with all sources, sewerage systems, flood defence systems against overbank and inland water flooding, water quality systems with wastewater treatment plants, landscaped banks and riparian areas, natural and artificial waters for recreation and water sports. This article looks at the modern direction of the development of hydraulic infrastructures in cities. It is a

gradual transformation into cybernetic control system, which aims to raise the quality of these systems to the level of 'smart cities'. This means the development and continuous updating of instrumentation control systems that enable reliable monitoring of all control parameters, which are a prerequisite for optimum and reliable real-time management of the entire urban hydraulic infrastructure. This will establish all required feedback and enable the development of the estimator of the cybernetic system, with estimation and optimization models for real-time management. In the later stages of development, the estimator grows into an expert system for the management of hydraulic systems, thereby achieving the highest stage of functionality, reliability and vitality of these systems. The article discusses the key starting points and principles of cybernetic control of urban hydraulic systems that become 'smart cities'.

Keywords: 'smart' cities, hydraulic infrastructure, system cybernetic control, expert systems.

Redigovano 5.10. 2019.