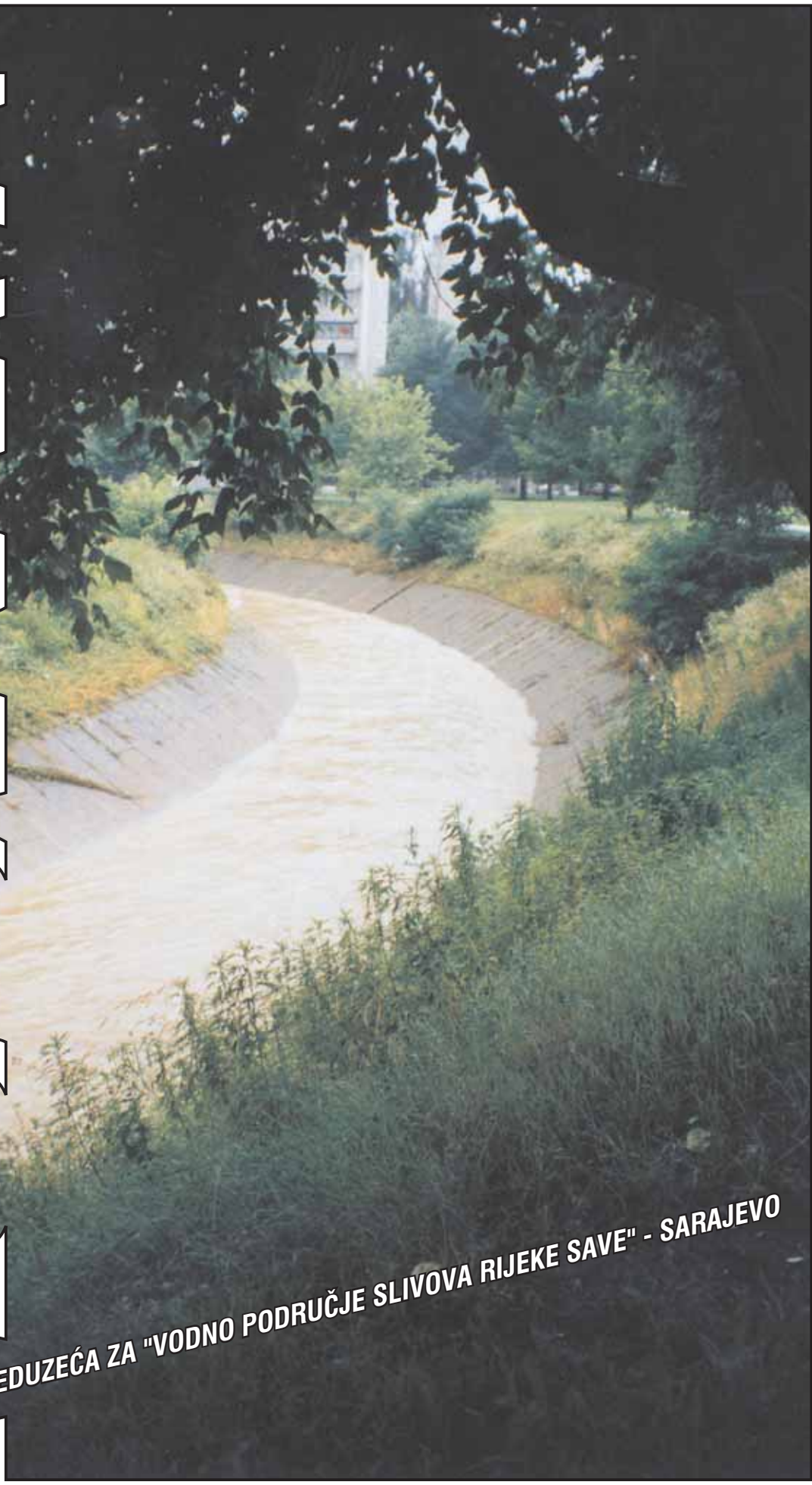


# VODNA



ČASOPIS JAVNOG PREDUZEĆA ZA "VODNO PODRUČJE SLIVOVA RIJEKE SAVE" - SARAJEVO

2005  
Godina IX  
**43**



**UVODNIK**

D. Hrkaš

**AKTUELNOSTI**

M. Lončarević, S. Uković

STRATEGIJA RJEŠAVANJA PROBLEMA U OBLASTI ZAŠTITE OD POPLAVA NA SLIVNOM PODRUČJU RIJEKE SAVE I PRIJEDLOG PLANA AKTIVNOSTI ZA VRIJEME VELIKIH VODA

**KORIŠTENJE VODA**

T. Kupusović, N. Lukovac, D. Nuhić

HIDROENERGIJA I ALTERNATIVE - PRILOG RAZMATRANJU OKOLIŠNIH ASPEKATA

V. Franjić

MOGUĆNOSTI UŠTEDE I SMANJENJA RAČUNA ZA UTROŠENU ELEKTRIČNU ENERGIJU U KOMUNALNIM PREDUZEĆIMA NA CRPNIM POSTROJENJIMA

**ZAŠTITA VODA**

P. Nena, Č. Violeta, M. Neven i dr.

RATNI OTPAD I ZAGAĐENJA TLA KRŠKIH PODRUČJA BOSNE I HERCEGOVINE POLIKLORIRANIM BIFENILIMA  
S. Trožić-Borovac

KVALITET VODE RIJEKE MILJACKE PRIJE ULASKA U GRAD SARAJEVO

M. Cikotić

MAKROINVERTEBRATI ZOOBENTOSA RIJEKE KRIVAJE KAO INDIKATORI KVALITETA VODE

**VIJESTI I ZANIMLJIVOSTI**

M. Jensen - Prevod M. Vlahinić

EVOLUCIJA PRAKTIČNIH METODA ZA PRORAČUN EVAPOTRANSPIRACIJE

Dž. Škamo

U VINKOVcima ODRŽAN STRUČNI SASTANAK LABORATORIJA OVLAŠTENIH ZA ISPITIVANJE VODE

IN MEMORIAM - Mirza Selimović; Dubravka Sočo; Ivica Tadić

*Autor kolor fotografija na koricama i srednjim stranama časopisa je Mirsad Lončarević*

**"VODA I MI"**

Časopis Javnog preduzeća za "Vodno područje slivova rijeke Save" Sarajevo

<http://www.voda.ba>

**Izdavač:**

JP za "Vodno područje slivova rijeke Save"  
Sarajevo, ul. Grbavička 4/III

Telefon: ++387 33 20 98 27

Fax: ++387 33 20 99 93

E-mail: [dilista@voda.ba](mailto:dilista@voda.ba)

**Glavna urednica:**

Dilista Hrkaš, dipl. žurn.

**Savjet časopisa:** Predsjednik Mehmed Buturović, direktor JP; Zamjenik predsjednika: Faruk Mekić, predsjednik Upravnog odbora JP; Članovi: Haša Bajraktarević-Dobran, Građevinski fakultet Sarajevo; Enes Sarač, direktor Meteorološkog zavoda; Enes Alagić; Božo Knežević; Faruk Šabeta.

**Redakcioni odbor časopisa:** Dilista Hrkaš, Mirsad Lončarević, Aida Bezdob, Elmedin Hadrović, Mirsad Nazifović, Salih Krnjić, Enes Alagić.

**Idejno rješenje korica:** DTP STUDIO Studentska štamparija Sarajevo

**Priprema za štampu i filmovanje:** Zoran Buletić

**Štampa:** S.Z.R. "Birograf" Sarajevo

Časopis "Voda i mi" registrovan je kod Ministarstva obrazovanja, nauke i informisanja Kantona Sarajevo pod rednim brojem: 11-06-40-41/01 od 12. 03. 2001. godine.

## POŠTOVANI ČITAOCI,

**I**zlaženje ovog broja će otprilike biti u vrijeme kada se navršava i devet godina otkako smo odlučili da naš ratni Informativni bilten preraste u jedan ozbiljan stručno-informativni časopis (ipak ne novine, to je nešto drugo u žurnalističkom značenju), čiji sadržaj treba da podstiče, prije svega, sve one koji su najdirektnije uključeni u procese upravljanja vodama u Bosni i Hercegovini da, svojim znanjima i iskustvima, maksimalno doprinesu ponovnom uspostavljanju vodoprivrede

na nivo koji joj i inače pripada u svakoj iole dobro organizovanoj društvenoj zajednici. Te 1996. godine ni sanjali nismo da ćemo 2005. biti još uvijek podobro daleko od tog cilja i da će izdavanje jedne ovakve publikacije (usput da napomenemo i **jedine** iz ove oblasti u Bosni i Hercegovini) postati vrlo teško, gotovo neizvjesno. Zamislite, razlog nije novac! Razlog je poražavajući: nema dovoljno materijala, tekstova, članaka, kako god hoćete. Nema!? U državi u kojoj se prikuplja i troši nekoliko desetina miliona konver-



*Ljeto u odsjaju rijeke Bosne*

*Snimio: M. Lončarević*

Autori su u cjelosti odgovorni za sadržaj i kvalitet članaka.

tibilnih maraka “domaćih” para i najmanje još toliko raznih donacija, pomoći ili povoljnih kredita za razvoj i unapredjenje sektora voda, (ovdje se naravno ne računaju novci koji su potrošeni ili se troše za reorganizaciju sektora voda; tu se radi o milionima eura!), u kojoj rade desetine, pa i stotine stručnjaka različitih obrazovnih profila i u različitim organizacijama i institucijama (od državnih, preko entitetskih do kantonalnih i općinskih nivoa, pa do mnogih fakulteta i instituta), nikome nije stalo do pisanja, osim časnik izuzetaka. Ali, nije riječ o pisanju, odnosno nepisanju, riječ o (ne)odgovornosti prema društvu i široj javnosti kao takvoj, koja, pogotovu za svoje pare, itekako ima pravo da zna šta se, kako i koliko radi u oblasti koja je od životne važnosti za svaku ljudsku zajednicu, pa tako i ovu našu. I tu smo na pragu pitanja koji je kod nas očigledno visok kao brijeg, pa ga je teško prijeći a zove se: UČEŠĆE JAVNOSTI. U čemu, pitaće se neki? U svemu, a naročito u sektoru voda koji je, čini se sve više na margini interesovanja, a kojem se u isto vrijeme dešavaju stvari sa dugoročno negativnim posljedicama. Dakle, neophodno je učešće javnosti u SVIM procesima predlaganja, razmatranja, odlučivanja, finansiranja i realizovanja projekata iz oblasti voda, bez obzira jesu li oni vrijedni deset hiljada ili milion maraka i bez obzira jesu li važni samo za neku užu lokalnu zajednicu (o široj da i ne govorimo).

Jedan od načina uključivanja te šire javnosti je i izlaženje ovog časopisa koji distribuiramo na preko 400 adresa, najvećim dijelom u Bosni i Hercegovini, ali i u susjedne zemlje i neke zemlje šire regije. Dakle, možemo reći da imamo prilično respektabilnu čitalačku populaciju koja bi mogla dati i svoj doprinos sadržaju i kvaliteti ovog časopisa, a samim tim i sektoru voda. To se posebno odnosi na domaću, bosanskohercegovačku populaciju koja je i najdirektnije zainteresirana (ili bi to trebala biti!) za pitanja iz sektora voda. Jer, kako objasniti činjenicu da smo u prošlom broju objavili četiri referata izlagana za ovogodišnji Svjetski dan voda čiji su autori izuzetno cijenjeni i poznati stručnjaci iz Bosne i Hercegovine, Slovenije i Srbije o četiri isto tako aktualne teme i pitanja iz vodoprivrede Bosne i Hercegovine sa prijedlozima mjera i vizijama kako ovoj oblasti dati poticaje u skladu sa, prije svega, razvojnim potrebama države, a svakako i sa savremenim svjetskim principima upravljanja, a da ama baš niko iz te naše respektabilne čitalačke populacije ne uputi na našu adresu niti jednu riječ pohvale, kritike, dopune, drugačijeg mišljenja, bilo čega što bi barem malo ukazalo na to da nam je stalo do našeg “vodnog bogatstva”. Skoro nevjerovatno! U isto vrijeme po dnevnoj i drugoj štampi se sve češće pojavljuju na primjer napisi o koncesijama na vodama. I o tome smo imali referat u prošlom broju. Pisao ga je uvaženi prof. dr Franci Steinman iz Slovenije, sa ljubljanskog univerziteta. To mu je jedna od specijalnosti u struci i naziv refera-

ta je bio: Koncesijsko finansiranje izgradnje, upravljanja i održavanja infrastrukture sektora voda. Ovo je jedno vrlo problematično pitanje u našoj zemlji i svjedoci smo nesnalaženja u ovoj, za nas, prilično nepoznatoj oblasti. To, međutim, ne predstavlja smetnju da se uveliko zaključuju raznorazni koncesioni ugovori za vode bez obzira na sve posljedice koje će ili mogu iz toga nastati, i to dugoročno. Slična je situacija i sa drugim segmentima sektora voda. Evo u ovom broju vam nudimo tekst – izvod iz elaborata o rješavanju problema u oblasti zaštite od poplava kao materijal za javnu raspravu. Aktuelno da ne može biti aktuelnije, jer smo poplavama okruženi skoro svake godine, a naročito u posljednjih nekoliko. Štete su ogromne, a ogromna su i ulaganja u izgradnju potrebnih objekata za zaštitu od poplava. Hoćemo li se okrenuti u tom smjeru ili prihvatiti da živimo sa poplavama? Poreski obveznici, dakle javnost, treba da kaže šta misli o tome. Tako ćemo vjerovatno raspravljati i o drugim strateškim dokumentima iz oblasti zaštite voda od zagadivanja, kao i oblasti dugoročnog obezbjeđivanja pitke vode i korištenja voda u procesu navodnjavanja i proizvodnje energije. Ako nastavimo ćutke prelaziti i dalje preko ovakvih tema, onda nas ne treba iznenaditi kada se u skorijoj budućnosti odjednom nadjemo u “vodnom siromaštvu”. A onaj ranije spomenuti “prag” neće više uopšte biti važan.

*Al Hasan*



# STRATEGIJA RJEŠAVANJA PROBLEMA U OBLASTI ZAŠTITE OD POPLAVA NA SLIVNOM PODRUČJU RIJEKE SAVE I PRIJEDLOG PLANA AKTIVNOSTI ZA VRIJEME VELIKIH VODA

(IZVOD IZ ELABORATA - PRIJEDLOG MATERIJALA  
ZA JAVNU RASPRAVU)

## 1) UVOD

**K**rajem 2000. godine, u cilju izrade osnovne strategije za rješavanje problema u oblasti zaštite od poplava, a kao prvi korak ka provođenju savremenih principa upravljanja vodnim resursima, izrađen je Elaborat pod naslovom "Strategija rješavanja problema u oblasti zaštite od poplava na slivnom području rijeke Save i prijedlog plana aktivnosti za vrijeme velikih voda" za teritorij Federacije Bosne i Hercegovine. Elaborat je obrađen od strane "Zavoda za vodoprivredu" d.d. Sarajevo, a finansiran od strane Javnog preduzeća "za vodno područje slivova rijeke Save" Sarajevo. Isti elaborat poslužio je kao podloga za izradu Studije "Procjena sadašnjeg stanja nivoa zaštite od poplava u Federacije Bosne i Hercegovine i izrada programa poboljšanja" (2002. godina), koji je finansirala Svjetska banka.

Elaborat "Strategija rješavanja problema u oblasti zaštite od poplava na slivnom području rijeke Save i prijedlog plana aktivnosti za vrijeme velikih voda" je prezentiran u ljeto 2001. godine u Odžaku. Prezentaciji su prisustvovali predstavnici: Federalnog ministarstva, kantonalnih ministarstava (koji su se odazvali pozivu), općine Odžak, Javnog preduzeća "za vodno područje slivova rijeke Save" Sarajevo, projektanta i drugi.

Napominje se, da je Elaborat ograničen samo na zaštitu od poplava, odnosno nisu obuhvaćeni os-

tali vodoprivredni problemi. U elaboratu je razmotrena cjelokupna problematika organizacije rada na zaštiti od poplava i aktivnosti za vrijeme trajanja ekstremno velikih voda, a zatim definirani glavni elementi strategije rješavanja problema u oblasti zaštite od poplava i dat prijedlog plana aktivnosti za vrijeme velikih voda. Izvršen je detaljan uvid u stanje i praksu rješavanja problematike zaštite od poplava u desetak zemalja, a zaključci i prijedlozi strategije, koncepti i faze rješavanja problema dati su na temelju ocjene stepena današnjeg rizika od poplava u slivu rijeke Save za teritorij Federacije BiH.

Također se napominje da je elaborat rađen, vodeći računa o tadašnjem prijedlogu organizacije vodoprivrede, te da će biti neophodno izvršiti određeno prilagođavanje shodno odredbama budućeg Zakona o vodama.

U nastavku se daje kraći prikaz izrađenog Elaborata, kako bi se dobio uvid u trenutnu problematiku i ukazalo na potrebu za usvajanjem strategije rješavanja problema u oblasti zaštite od poplava.

## 2) CILJ PROJEKTA

Cilj projekta je bio identificirati ugrožena područja i definirati opštu strategiju svih aktivnosti sektora voda u oblasti zaštite od poplava, te predložiti odgovarajući optimalni plan aktivnosti za svaki od osnovnih slivova, kako bi se omogućilo efikasno i ekonomski opravdano smanjenje stepena rizika od poplava.

### 3) POPLAVNA PODRUČJA ZA SLIV RIJEKE SAVE NA TERITORIJI FEDERACIJE BOSNE I HERCEGOVINE

Na temelju svih prikupljenih podataka, izvršena je identifikacija 15 područja, koja su ugrožena poplavama. To su (**prilog br.1**): Odžačka Posavina, Srednja Posavina, dolina Tinje, dolina Spreče, dolina Usore, dolina Lašve, dolina Sane, dolina Une, dolina Vrbasa, Lušci Palanačko polje, Sarajevsko polje, dolina Unca, dolina Bosne, područje Goražda, slivovi Gline i Korane.

### 4) HIDROLOŠKI REŽIM U SLIVU SAVE NA TERITORIJI FEDERACIJE BOSNE I HERCEGOVINE

Svi razmatrani slivovi imaju sniježno-kišni oborinski režim, ali se zbog nadmorske visine, oblika i položaja slivova oticanja razlikuju, te se može konstatirati da je režim oticanja izrazito neravnomjeran. Kod analize velikih voda za poplavna područja korišteni su svi raspoloživi i dostupni podaci sa vodomjernih stanica na razmatranim vodotocima. Podaci o karakterističnim velikim vodama su prihvaćeni samo orijentaciono, zbog neusklađenog perioda obrada vodomjernih stanica, različite metodologije obrada te niza drugih faktora koji su promjenjivi kroz kraći ili duži vremenski period, a koji nisu mogli biti obuhvaćeni ovim analizama.

Generalno posmatrano prirodni režim voda u BiH je takvog karaktera da količine voda u vodotocima osciliraju unutar godine ili utoku niza godina od izuzetno niskih voda, koje iznose tek oko 12% prosječne višegodišnje vrijednosti srednjeg proticaja (periodi nestašice vode), do izuzetno visokih voda koje su i 23 puta veće (kod manjih vodotoka i više) od tog prosjeka (period viška voda-poplave).

### 5) IZGRAĐENI SISTEMI I DANAŠNJI STEPEN UGROŽENOSTI OD POPLAVA

Oštećenja izazvana ratnim dejstvima i uopšte zastoj u bilo kakvoj izgradnji novih objekata zaštite od voda, te izostanak održavanja postojećih objekata znatno su smanjila i ugrozila funkcionalnost izgrađenih objekata.

Npr. savski nasipi su u toku rata korišteni kao prva borbena linija, što je za posledicu imalo oštećenje konstrukcije nasipa izradom fortifikacijskih objekata kao i veliki broj postavljenih mina. Kanali su zapušteni i obrasli vegetacijom usljed višegodišnjeg neodržavanja čime je u znatnoj mjeri smanjen njihov kapacitet. Vodotoci kao i prostor uz njih je "napadnut" velikim brojem divljih odlagališta različitih vrsta otpada (komunalni, građevinski, industrijski i dr.). Ovim su u znatnoj mjeri pogoršani sanitarno-higijenski uslovi uz vodotoke.

Poseban problem koji je uočen prilikom pojave velikih voda i plavljenja pojedinih područja, predstavlja divlja i neplanska gradnja stambenih i pomoćnih objekata u samim koritima vodotoka. U isto vrijeme intenzivnom gradnjom u dolinama vodotoka znatno je porasla vrijednost tih područja pa je shodno tome potrebno povećati i njihov rang zaštite od poplava.

U pogledu tretmana zaštite od poplava u Federaciji Bosne i Hercegovine karakteristična su slijedeća područja:

#### a) Ravničarsko područje uz rijeku Savu

Na teritoriji Federacije Bosne i Hercegovine u priobalju rijeke Save razlikujemo dvije posebne kazete (Odžačka i Srednja Posavina), koje se od poplava brane ranije izgrađenim zaštitnim vodoprivrednim objektima (nasipi, crpne stanice, kanalska mreža).

Nasipi uz rijeku Savu su rađeni sa različitim visinom nadvišenja, pretežno sa zaštitnim nadvišenjem od 50 cm, pri čemu je bitno istaći da zaštitna nadvišenja svih rekonstruisanih nasipa uz rijeku Savu treba da iznose 1,20 m (shodno sporazumu SR Hrvatske i SR BiH u periodu prije 1992. g.).

Kanalska mreža u kazetama (hidromelioracioni sistemi) je dimenzionirana na dvadesetogodišnje velike vode.



*Bujični potoci su prošle godine napravili velike štete u općini G. Vakuf*

*Snimio: M. Lončarević*

## b) Područja u dolinama većih rijeka- Une, Sane, Vrbasa, Bosne i Drine

Do sad je relativno malo rađeno na rješavanju problematike zaštite od poplava dolina većih rijeka u slivu Save u FBiH.

## c) Uske doline uz male vodotoke

U Federaciji BiH mnogi se veći gradovi, veoma značajna industrijska postrojenja i glavne prometnice nalaze u relativno uskim dolinama manjih vodotoka. Ukupna dužina takvih vodotoka je vrlo velika, tako da je i front za zaštitu od poplava veoma veliki. U dolinama ovog tipa, za zaštitu od poplava uglavnom su izvođeni radovi na reguliranju vodotoka. Posebno treba istaći da su ovi radovi izvođeni samo na dionicama vodotoka u gradskim sredinama, odnosno uz tada urbanizirane površine.

Regulisana korita vodotoka su uglavnom dimenzionirana na stogodišnje velike vode; na poljoprivrednim područjima kanali su dimenzionirani na dvadesetogodišnje velike vode, dok je samo u rijetkim slučajevima (Sarajevo - rijeka Miljacka) dimenzioniranje izvršeno na petstogodišnje velike vode.

## d) Lušci Palanačko polje

Do sada nisu izvršeni nikakvi radovi koji bi spriječili ili bar umanjili štete koje nastaju kao posljedica poplava.

## 6) OPŠTI KONCEPTI RJEŠAVANJA PROBLEMA U OBLASTI ZAŠTITE OD POPLAVA

Borba sa poplavama ima veoma dugu tradiciju u Bosni i Hercegovini. Neprestano prisustvo ovog problema doprinjelo je razvitku više tehničkih i institucionalnih koncepata borbe sa poplavama koji imaju različite karakteristike. Vrlo često izbor optimalnog koncepta zahtjeva detaljne tehničke i ekonomske analize, uz detaljno sagledavanje svih utjecajnih uvjeta na određenom području. Za eliminiranje ili ublažavanje poplava i negativnih posljedica koje izazivaju iste, primjenjuju se raznovrsne mjere koje se vrlo često dijele na fizičke (tehničke, konstruktivne, investicijske) i institucione (nefizičke, nekonstruktivne, neinvesticijske). Prema karakteristikama tih mjera, one se praktično mogu podijeliti na sljedeće grupe: prevencione, predikcione, pripremne, fizičke i institucione.

Uzimajući u obzir današnju problematiku borbe sa poplavama u cjelini, posebne sadašnje uvjete, lokalna iskustva i tradiciju, kao i suvremenu praksu u svijetu, može se procijeniti da je na teritoriji Federacije Bosne i Hercegovine moguća primjena slijedećih strateških koncepata zaštite od poplava:

## a) Zaštita od poplava reguliranjem korita vodotoka

Strategija zaštite od poplava priobalnih površina reguliranjem korita vodotoka podrazumijeva da se

tehničkim intervencijama izmjene jedan ili više parametara koji utječu na kapacitet korita vodotoka (dimenzije i pad korita, osiguranje obala ...).

## b) Zaštita od poplava formiranjem kazeta (poldera)

Kao česta mjera zaštite od poplava primjenjuje se formiranje "zaštitne linije" izgradnjom nasipa. Na taj način da bi se postigla potpuna zaštita od voda moraju se realizirati manje ili veće kazete (polderi), koji pored nasipa moraju imati i crpne stanice, obodne kanale i mrežu unutrašnjih odvodnih kanala. Sigurno je da svaki konkretan slučaj treba biti provjeren primjenom ekonometrijske analize.

## c) Zaštita od poplava reguliranjem protoka – hidrološkog režima

Problemi zaštite od poplava veoma efikasno i ekonomično mogu biti riješeni reguliranjem protoka, to jest smanjenjem maksimalnog mjerodavnog protoka za osiguranje zahtjevanog stupnja zaštite. To se postiže preduzimanjem različitih mjera u slivu, npr. – pošumljavanjem (spor i manje utjecajan način), ali se u praksi to radikalnije postiže izgradnjom akumulacionih bazena, ekspanzionih (rasteretnih) bazena i rasteretnim kanalima. Koncept rješavanja problema zaštite od poplava reguliranjem protoka ima veoma povoljnu karakteristiku što se problem radikalno rješava na veoma dugoj nizvodnoj dionici rijeke, a mjerljivi pozitivni utjecaji na hidrološki režim mogu se protezati i na vodotoke recipijenta. Sigurno je da ova strategija ima nesumnjive prednosti ako postoji interes za istovremeno rješavanje problema zaštite od poplava dužih dionica dolina vodotoka, a pogotovo ako postoji interes za višenamjensko korištenje akumulacija (energetika, turizam, vodosnabdijevanje, uzgoj ribe itd.).

## d) Zaštita od poplava zatvorenih kraških polja

Mogućnosti za iskorištavanje u privredne svrhe velikih površina na mnogim kraškim poljima je ograničena radi toga što se na njima formiraju prirodne sezonske retenzije. One nastaju u kišnom razdoblju godine kada ponori, koji imaju ograničene kapacitete, ne mogu primiti sve količine vode koje dotječu. Po pravilu voda se zadržava dosta dugo i zbog toga dolazi do drastičnog reduciranja ili potpunog prekida poljoprivredne proizvodnje, prometa pa i drugih privrednih aktivnosti.

Može se ocijeniti da su u proteklom periodu u rješavanju problematike prirodnih kraških retencija bile zastupane različite strategije. U prvo vrijeme glavni cilj je bio smanjenje prirodnih retencija što se sa više ili manje uspjeha pokušavalo postići pročišćavanjem ili proširivanjem grla ponora. Narednu etapu u radu na rješavanju te problematike predstavlja raz-

doblje u kome su građeni tuneli koji su trebali ubrzati evakuaciju vode sa polja. U tom razdoblju izgrađeno je više tunela i kanala za odvodnju. Treću etapu predstavlja razdoblje u kome se vodoprivredni problemi na krškim poljima rješavaju uz gradnju većih hidroelektrana, to jest u okviru višenamjenskih vodoprivrednih sistema. To je znatno bolja i suvremenija strategija, jer se izgrađuju i akumulacioni bazeni koji utiču na smanjenje prirodnih retencija koje su relativno plitke i gdje se u odnosu na poplavljenu površinu akumulira relativno mala količina vode.

#### e) Strategija života sa poplavama

U uslovima kada se ne mogu osigurati potrebna sredstva za cjelovito rješenje zaštite od poplava na većim područjima, posebno u slučajevima kada su za to potrebna veoma velika početna investicijska sredstva, da bi se spriječile ljudske žrtve i smanjile štete, primjenjuje se strategija života sa poplavama (life with floods). U nekim, čak i razvijenijim zemljama, na određenim područjima, primjena te strategije do detalja se planira i organizira.

Osnova ove strategije je u tome da se tamo gdje nije ekonomično, ne vrše obimni i skupi investicioni radovi na zaštiti od poplava, već da se prihvati rizik života sa poplavama – uz primjenu određenih mjera za smanjenje i ublaženje šteta. Strategiju čine setovi tehničkih i institucionalnih mjera koje se primjenjuju na branjenom području.



Detalj uređenja nasipa sa ispustom na r. Savi

Snimio: M. Lončarević

#### f) Osiguranje imovine

Osiguranje dobara na potencijalno plavljenim područjima, u svijetu predstavlja jedan od pristupa za rješavanje ove problematike na pojedinim područjima. Kada osiguratelj ponudi punu nadoknadu štete, uz plaćanje premije koja je niža od očekivanih ukupnih investicijskih i drugih troškova investicijskog podhvata, može se smatrati da je na tom području primjena koncepta osiguranja imovine prihvatljiva. Osiguranje imovine od šteta nastalih poplavama predstavlja jedan oblik borbe sa poplavama, koji u nekim slučajevima, kada se ne raspoložuje sa dovoljno početnih investicijskih sredstava, može ublažiti povremene velike udare poplava na stanje nekog područja. U načelu osiguranje ne smanjuje rizik od poplava. Ovo predstavlja način da se gubici zbog šteta od poplava, koje se povremeno javljaju i koje su veoma velike, raspodjele na više godina i na relativno veliki broj subjekata koji su izloženi riziku na sličan način.

Mjere u upravljanju vodoprivrednim sistemima (posebno složenim, višenamjenskim) sve više dobijaju na važnosti i podrazumjevaju osiguranje donošenja odluka na temelju veoma sofisticiranih računskih modela uz puno korištenje odgovarajuće opreme. Veliku važnost u okviru borbe sa poplavama ima regulativa za uređenje prostora. Dobro odabran raspored namjene prostora u dolinama nekih rijeka u odnosu na stupanj ugroženosti od poplava, može smanjiti potencijalne štete na snošljivu mjeru.

U većem broju slučajeva, na temelju detaljnih tehničkih i ekonomskih analiza, može se zaključiti da je najpovoljnije rješenje kombiniranje nekih od naprijed opisanih strategija. Vrlo često, kombiniranjem strategija stvaraju se i povoljniji uvjeti za realiziranje aktivnosti u više faza, što omogućuje bolje prilagođavanje aktivnosti narastanju potreba i raspoloživim sredstvima. U praksi je moguće kombiniranje svih prethodno opisanih strategija.

### 7) PRIJEDLOG STRATEGIJA ZA RJEŠAVANJE PROBLEMA ODBRANE OD POPLAVA ZA POJEDINA VEĆA PLAVLJENA PODRUČJA FBIH U SLIVU RIJEKE SAVE

Za izbor strategija rješavanja problema na pojedinim područjima ugroženim poplavama mjerodavni su slijedeći parametri:

- do sada primjenjivana strategija i iskustva primjenjena u praksi,
- današnji stepen izgrađenosti sistema za zaštitu od poplava,
- veličina problema - potencijalne štete i žrtve,
- savremeni trendovi u svijetu u oblasti rješavanja problematike zaštite od poplava,
- raspoloživa sredstva za investicijske poduhvate,



- mogućnosti za rješavanje problema u okviru višenamjenskih vodoprivrednih sistema,
- stepen organiziranosti za prihvat većih investicijskih poduhvata,
- dinamika-rokovi, u kojima se moraju rješavati problemi.

U odnosu na sve nabrojane, kao i druge utjecajne parametre mogu se predložiti slijedeći glavni elementi strategije aktivnosti na rješavanju veoma složene problematike zaštite od poplava u slivu Save za teritorij Federacije BiH:

- Sprečavanje velike destrukcije biljnog pokrivača posebno šuma.
- Organiziranje pravovremene prognoze pojava valova velikih voda-posebno kod većih rijeka, sistema za uzbunjivanje i planova za evakuaciju stanovništva i dobara.
- U okviru planova za odbranu od poplava izvršiti pripremu i organiziranje primjene improviziranih mjera zaštite za vrijeme trajanja redovne i vanredne odbrane od poplava.
- Izvršiti neophodne dopune i korekcije zakona i propisa u kojima se propisuju organizacioni i tehnički aspekti zaštite od poplava u cilju reguliranja primjene suvremenih tehničkih kriterija i koncepata.
- U okviru institucionalnih rješenja sektora voda dovoljno detaljno i precizno razraditi organiziranje rada u svim fazama zaštite od voda.
- Izrada hidrološko-hidrauličkih modela za definiranje poplavnih linija karakterističnih rangova vjerojatnosti pojave u dolinama svih vodotoka. Određivanje zona prema stupnju ugroženosti od poplava.
- Upoznavanje stanovništva na ugroženim područjima sa stupnjom ugroženosti, kritičnim zonama kao i ponašanju za vrijeme kritičnih situacija.
- Podrška aktivnostima na kontroli korištenja zemljišta (prostorni planovi, planovi korištenja poljoprivrednog zemljišta, planovi razvitka, šumarstvo i drugo).

Svih 8 aktivnosti treba obuhvatiti u sklopu rješavanja problema zaštite od poplava na svim poplavama ugroženim područjima u slivu rijeke Save.

Na prilogu 1. ovog sažetka označena su identificirana poplavna područja u slivu r. Save na području Federacije. Na prilogima br. 2. i 2.1. dat je uporedni prikaz do sada primjenjivane strategije na rješavanju problema zaštite od poplava primjenom fizičko-tehničkih mjera na pojedinim područjima. Pored toga, na temelju detaljne analize svih specifičnih uvjeta, predlažu se i strategije koje trebaju biti primjenjivane u narednom razdoblju od oko 25 godina. Na područjima Odžačke i Srednje Posavine treba zadržati koncept kazeta zato što je isti ranije realiziran u priobalju čitavog toka Save od Beograda do Jasenovca. Na navedenim područjima treba urgentno izvršiti neophodne opravke radi dovođenja u stanje kakvo

je bilo 1992. godine, a zatim rekonstruisati sistem da bi se uklonile slabe tačke i osigurao neophodan stupanj zaštite od velikih voda vjerojatnosti pojave 0,01. Kazete, se predviđaju formirati i uz rijeku Tinju na njenom najuzvodnijem dijelu.

Za sada, strategija rješavanja problema reguliranjem korita vodotoka u cilju povećanja proticajnih kapaciteta, ostaje i dalje najpovoljnije rješenje za veći broj područja, kao što su:

- Uzvodni dio toka Tinje (dionice kod Srebrenika i mjesta Tinja).
- Dolina Spreče nizvodno od akumulacije Modrac, kao i uzvodno na pojedinim dionicama.
- Dolina Usore od Kaloševića do ušća u rijeku Bosnu.
- Dolina Bosne na pojedinim dionicama u Sarajevu (Reljevo), u Visokom, u Zenici, u Zavidovićima i u Maglaju.
- Dolina Lašve u Travniku, nizvodno od Doca i na području Viteza.
- Priobalje Blihe i Zdene-pritoke Sane.
- Doline Vrbasa u D.Vakufu i G.Vakufu.
- Nastavak radova na reguliranju Miljacke, Željeznice i Zujevine na području Sarajeva.
- Reguliranje većeg broja vodotoka u slivovima Gline i Korane.

Povoljne izgleda da se problem zaštite od poplava u potpunosti riješe reguliranjem režima voda-izgradnjom vodnih akumulacija, imaju dolina Sane (akumulacija Vrhpolje), područje Goražda (akumulacija Buk Bijela i Bijeli Brijeg), dolina Željeznice u Sarajevskom Polju (akumulacije Crna Rijeka, Bijela Rijeka i Ilovica), dolina Unca (adaptacija akumulacije Župica i nova Mokronoge).

U dolini rijeke Une na cijeloj dionici FBiH veoma je veliki rizik od poplava. Budući da rješavanje zaštite od poplava reguliranjem korita-kanaliziranjem toka nije prihvatljivo, zato što bi se nepovoljno utjecalo na čvrstoću sedre i bitno izmjenile karakteristike ambijenta najpovoljnija je primjena strategije reguliranja pritoka-zadržavanja valova velikih voda uzvodnim akumulacijama. Međutim, to rješenje vladine i nevladine organizacije na području Unsko-Sanskog Kantona rezolutno odbijaju i ne prihvataju. Time se opredjeljuje za život sa poplavama. Taj stav, ukoliko dobije i formalnu potvrdu, zahtjeva urgentnu i plansku primjenu svih vidova strategije života sa poplavama.

Kod analiza rješenja problema poplava Lušci Palanačkog polja razmatrana su iskustva i mjere koje su već primjenjivane na drugim kraškim poljima u Jadranskom slivu. Radi se o tipičnom zatvorenom kraškom polju iz kojeg voda otiče jedino kroz nekoliko ponora. U kišnom periodu godine kapaciteti ponora nisu dovoljni te dolazi do formiranja privremene sezone retencije. Budući da nema povoljnih mjesta za izgradnju većih akumulacija ili koncentrisane retencije, kao rješenje se predlaže izgradnja evakuacionog tunela dužine cca 10 km. Tunnel bi bio reverzi-

bilnog karaktera. U kišnom peridu suvišna voda bi se iz polja evakuisala i tunelom upuštala u dolinu Dabra, pri čemu bi se nalazila pod uticajem akumulacije Čaplje. Za vrijeme ljetnih mjeseci voda iz Dabra bi se zahvatala i istim tunelom (pumpni sistem) vraćala na Lušci Palanačko polje te koristila za navodnjavanje i vodosnabdijevanje.

## 8) PRIJEDLOG OSNOVNIH ELEMENATA TEHNIČKIH KONCEPATA RJEŠENJA ZA POJEDINA PLAVNA PODRUČJA FBiH U SLIVU SAVE

Predmetnim elaboratom obuhvaćena su sva ranije navedena područja i dat je prijedlog mogućih tehničkih rješenja. Predhodno je izvršeno sagledavanje cjelokupne problematike, koja se odnosi na vodno područje sliva rijeke Save, koje pripada Federaciji BiH, uz generalan osvrt na do sada izvedene objekte za zaštitu od poplava, kao i izrađenu dokumentaciju. Na područjima na kojima postojeći sistemi odbrane od poplava zadovoljavaju zadržani su postojeći koncepti uz neke dopune koje doprinose poboljšanju zaštite od voda.

Generalno, može se zaključiti da iz predmetnog elaborata, kao rezultat proizilazi jasno definiranje nedostataka u ovoj oblasti, a koji se odnose na dosadašnji period, kao i jasne smjernice za buduće aktivnosti u cilju poboljšanja opšte situacije. Izbor optimalnog rješenja za svako od razmatranih područja izvršeno je poređenjem razmatranih alternativnih rješenja na bazi tehno-ekonomske analize uključujući i ekološki aspekt rješenja.



Savski odbrambeni nasip kod crpne stanice "Svilaj"

Snimio: M. Lončarević

## 9) PRIJEDLOG ORGANIZIRANJA AKTIVNOSTI

Organiziranje svih aktivnosti za vrijeme ekstremno velikih voda u svim zemljama ovisi od organizacije svih subjekata koji učestvuju u odbrani od poplava, među kojima se istče vodoprivreda, kao i od opće organizacije rada na zaštiti od voda. Veoma je važno dobro odabrati i optimalno dimenzionirati cjelokupnu strukturu neophodnu za odgovoran rad na rješavanju složenih problema u oblasti odbrane od poplava čije rješavanje zahtjeva i značajne finansijske napore. Zbog toga je dat prikaz stanja i način rješavanja problema zaštite od poplava u više evropskih zemalja (Mađarska, Češka, Bugarska, Rusija, Austrija, Švicarska, Makedonija, Njemačka i Hrvatska). U okviru spomenutog date su i preporuke za održivu prevenciju poplava koje su prihvaćene od strane članica Konvencije za zaštitu i upotrebu prekograničnih vodotoka i međunarodnih jezera na 2. sastanku održanom u Hagu 2000. godine.

Treba istaći da se na razmatranom području nalaze dijelovi više slivova (Une, Sane, Korane, Gline, Vrbasa, Bosne, Tinje, Spreče i neposrednog priobalja Save). Dijelovi navedenih slivova nalaze se i na području entiteta RS kao i susjednih država.

Ispresijecanost slivova administrativnim granicama otežava operativni rad na rješavanju problema odbrane od poplava za vrijeme trajanja poplavnih valova kada je neophodno veoma brzo donošenje važnih odluka. To je razlog više da sve aktivnosti moraju biti dobro planirane, organizirane, koordinirane i kontrolirane.

Da bi se mogla predložiti odgovarajuća šema organiziranja i izvršilo dimenzioniranje operative za rad na zaštiti od poplava na području sliva rijeke Save na teritoriji Federacije u elaboratu je izvršena analiza:

- Stanja kakvo je bilo prije 1992. godine,
- Današnjih općih uvjeta i stanja-nakon donošenja Zakona o vodama 1998. godine,
- Organizacije i operative u drugim državama (da bi se koristila i novija iskustva u stranim državama).

Polazeći od toga, da je u vrijeme izrade elaborata bio u toku proces implementacije prijedloga konzorcija konsultanata u elaboratu "Institucionalno jačanje sektora voda u Federaciji Bosne i Hercegovine" u kome je veoma važna i složena problematika zaštite od poplava (kontrola poplava) veoma potcjenjena predlaže se slijedeće:

- a) Da sve aktivnosti u oblasti zaštite od poplava ostanu u potpunosti u nadležnosti javnih vodoprivrednih preduzeća za slivna područja.
- b) Da javna vodoprivredna preduzeća za slivna područja, kako je to i predviđeno budu direktno vezana za Vlade Federacije i Kantona preko odgovarajućih ministarstava.
- c) Da se za poslove svih faza odbrane od poplava u Javnim vodoprivrednim preduzećima za slivna po-

dručja predvidi potreban broj uposlenika odgovarajućih specijalnosti.

- d) Da se u okviru javnih preduzeća za oba slivna područja formiraju suvremeni centri za nošenje operativnih odluka za vrijeme trajanja poplavnih voda.
- e) Formiranje stalnih radnih jedinica javnih preduzeća za kontrolu monitoringa i operativne zadatke na terenu.
- f) Da se da inicijativa za formiranje i potporu za razvoj, specijaliziranih preduzeća za izgradnju i održavanje objekata sistema za odbranu od poplava koja bi trebala biti osposobljena i za vršenje posebnih tehničkih zadataka i za vrijeme trajanja velikih voda – za vrijeme poplava. Ocjenjeno je da bi na teritoriji Federacije Bosne i Hercegovine u slivu rijeke Save bila neophodna najmanje četiri takva preduzeća ( u Posavini, Tuzli, Bihaću i u Sarajevu).

Prijedlog sjedišta regionalnih ureda (radnih jedinica) Javnog preduzeća za "Vodno područje slivova rijeke Save", kao i njihovog područja djelovanja prikazan je prilogom br. 3 za varijantu 1 i prilogom br. 4 za varijantu 2. Izbor je izvršen na temelju analize položaja "centara potencijalnih šteta od poplava" i veličine i karaktera očekivanih problema. Centri potencijalnih šteta od poplava prikazani su na prilogu br. 5.

Da bi Centar mogao uspješno raditi neophodno je da raspolaže sa podacima sa vodomjera na teritoriji Federacije koji su navedeni u prilogu br. 6., pri čemu u prvoj fazi razvitka centra treba osigurati direktno dobijanje podataka sa 6 lokaliteta koji su navedeni u priloženoj tabeli.

Također, analizom priloga br. 7 može se dobiti jasna slika o načinu prenosa informacija u Sistemu za zaštitu od poplava.

## 10) PROSTORNI ASPEKTI AKTIVNOSTI NA ZAŠTITI OD POPLAVA

Karakteristično je da, u uvjetima niskog stupnja privrednog razvoja i manje gustine naseljenosti prostora, povremene poplave ne stvaraju velike probleme, a i relativno se lako rješavaju problemi koji su vezani za lociranje vodoprivrednih građevina. Isto tako, u takvim uvjetima, kod izbora koncepta uređenja prostora vodoprivredni parametri najčešće ne predstavljaju ograničavajuće faktore. Očigledno je da se u tom slučaju može relativno neovisno raditi na vodoprivrednom i prostornom planiranju i da se eventualne kolizije mogu relativno lako riješiti. Međutim, u suvremenim uvjetima, koji su karakteristični i za današnji stupanj razvoja naše zemlje, sve je više neophodno izvršiti potpuno usklađivanje vodoprivrednih i prostornih planova.

U našim uvjetima, posebno je potenciran značaj usklađivanja vodoprivrednih i prostornih planova zbog slijedećih specifičnosti:

- veoma izražena tendencija intenzivnog zaposjedanja prostora u dolinama vodotoka, često i površina koje se povremeno plave,
- potrebe definiranja koridora za glavne vodove regionalnih sistema za vodoopskrbu kao i regionalne kolektore za odvođenje otpadnih voda,
- potrebe realiziranja vodnih akumulacija koje zauzimaju prostor i mogu značajno utjecati na uvjete korištenja šireg područja,
- neophodnosti osiguranja relativno velikih zaštitnih zona izvorišta pitke vode,
- potrebe definisanja koridora za autoputeve i magistralne puteve.

Treba istaći da zbog poznatih teškoća koje nastaju kod usklađivanja prostornih i vodoprivrednih planova, predmet posebne pažnje treba biti priprema svih neophodnih podloga koje će omogućiti da se postignu optimalna usklađivanja rješenja korištenja površina:

- koje su izložene plavljenju,
- koje se angažiraju za vodne akumulacije, riječna korita i izgradnju nasipa,



Rekonstrukcija crpne stanice Đurići na području Brčko Distrikta uz rijeku Savu je u fazi završavanja

Snimio: M. Lončarević

- koridora za regionalne vodove za transport čiste vode kao i regionalne kolektore za otpadne vode,
- zaštitnih zona izvorišta,
- koridora za autoputeve i magistralne puteve.

Sigurno je da se najveći efekat u pogledu smanjenja potencijalnih šteta koje mogu nastati od poplava mogu postići izradom odgovarajućih planova korištenja tih terena. Kod toga, prema važećoj zakonskoj regulativi u Federaciji ključnu ulogu imaju sve faze prostornih i urbanističkih planova. Dakle, postaje sve neophodnije da se u svim fazama rada na izradi prostornih i vodoprivrednih planova, posebno za zaštitu od poplava, vrši usklađivanje kako bi se dobila optimalna rješenja. Naknadni kompromisi ne garantuju postizanje najpovoljnijih rješenja.

## 11) PRIJEDLOG REDOSLIJEDA AKTIVNOSTI

Na temelju izvršenih analiza koje su obuhvatile razne aspekte aktivnosti na zaštiti od poplava, od proučavanja karakteristika hidrološkog režima, pravne regulative, institucionalnog uređenja sistema zaštite, tehničkih mjera koje se preduzimaju prije, za vrijeme i nakon poplava, vrjednovanja podhvata i drugog, može se zaključiti da je u narednom periodu neophodno izvršiti veoma obimne i vrlo složene poslove u oblasti zaštite od poplava na području sliva rijeke Save na teritoriji Federacije Bosne i Hercegovine.

U sklopu elaborata je izvršena klasifikacija i dat prijedlog slijedećih operativnih zadataka:

### A. Kratkoročni-neposredni, hitni zadaci:

- 1) Formiranje Centra za zaštitu od poplava područja slivova Save na teritoriji Federacije Bosne i Hercegovine,
- 2) Organiziranje terenskih operativnih jedinica,
- 3) Uspostava rada-obnova i kontrola neophodnih vodomjera (najmanji broj koji je predviđen ovim elaboratom),
- 4) Određivanje poplavnih linija za protoke karakterističnih vjerojatnosti pojava, radi klasifikiranja područja u pogledu stupnja ugroženosti poplavama, osiguranja neophodnih uvjeta za izbor prioriteta investicionih podhvata i izbora lokacija novih građevina ("zoniranje terena"),
- 5) Određivanje područja-površina, na kojima će se primjenjivati propisane odgovarajuće preventivne i druge mjere u okviru primjene strategije "život sa poplavama" kao što su: zabrana građenja, posebni uvjeti kod građenja, uzbuñivanje, organiziranje i drugo.

### B. Tehničke intervencije neophodne u razdoblju do najviše tri godine:

- 1) Obnova i dovođenje u punu funkcionalnost svih ranije izgrađenih sistema i objekata za zaštitu od poplava i to posebno:

- Nasipe uz rijeku Savu i Bosnu
  - Obodnih kanala na području Odžaka i Srednje Posavine,
  - Reguliranih korita vodotoka koji protječu kroz naselja,
- 2) U cilju spriječavanja velikog produbljavanja korita rijeke Plive, koje bi moglo izazvati katastrofalne posljedice, treba izvršiti sljedeće:
    - Sanirati-stabilizirati vodopad i klizište na desnom krilu vodopada u Jajcu,
    - Regulirati-stabilizirati, korito Plive u Jajcu na dužini oko 3 km, gdje su veoma intenzivni procesi erozije.

### C. Srednjoročni zadatci - rok izvršenja 10 do 15 godina:

- 1) Zaštita od poplava velikim vodama vjerojatnosti pojave 0,01 svih značajnijih naselja-sa više od 3000 stanovnika i privrednih objekata. Nove kompletne sisteme treba izgraditi u Kulen Vakufu, Bihaću, Bosanskoj Krupi, Bosanskoj Otoci, Sanskom Mostu, Srebreniku, Tinji, cijeloj dolini Usore nizvodno od Kaloševića, dolini Spreče nizvodno i uzvodno od akumulacije Modrac.
- 2) Zaštita svih urbaniziranih površina od poplava malih-bujičnih vodnih tokova, vjerojatnosti pojave 0,01 do 0,02 u ovisnosti od veličine očekivane potencijalne štete.

### D. Dugoročni zadaci - rok izvršenja 20 do 25 godina:

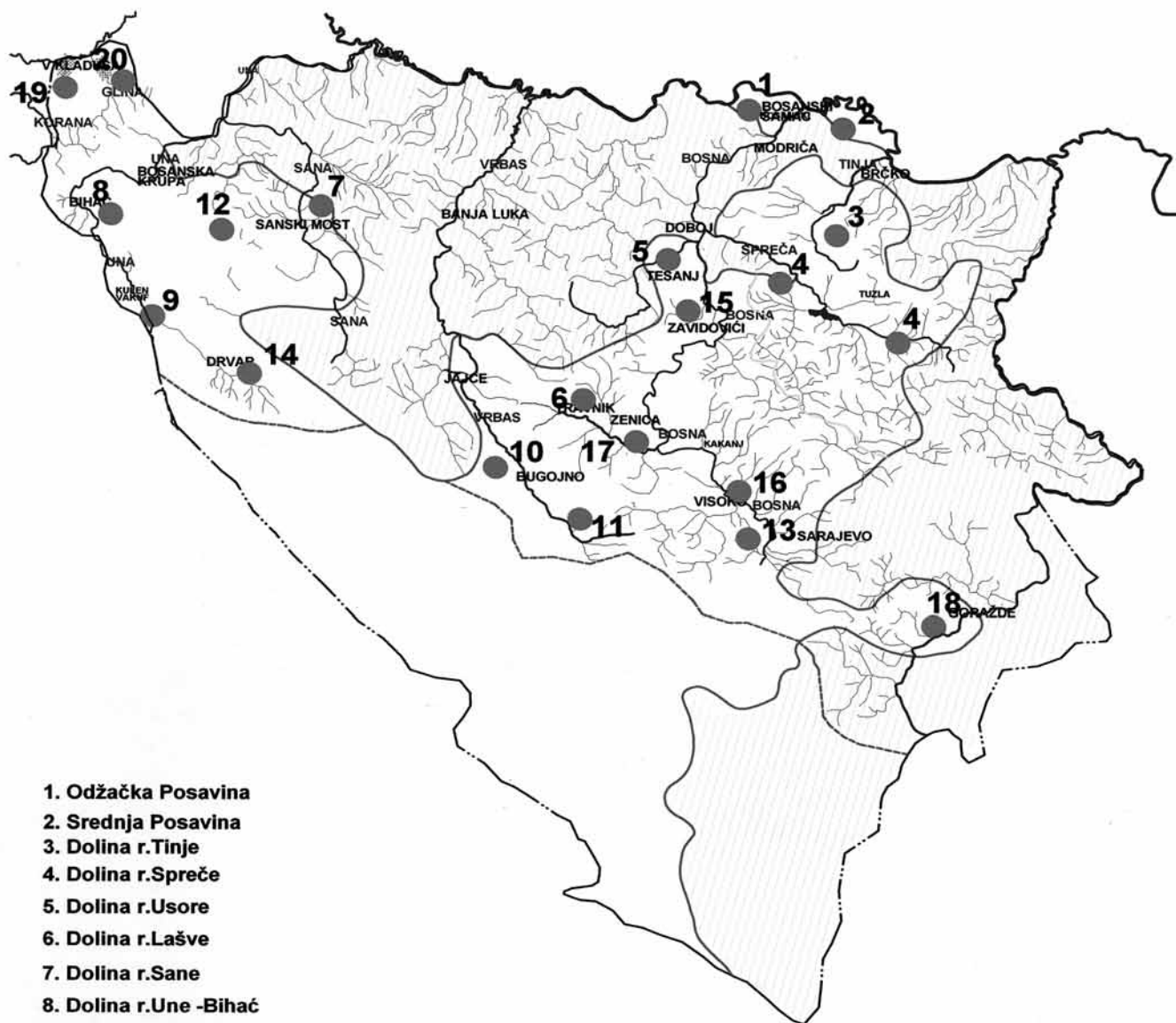
- 1) Osiguranje zaštite od poplava svih urbanih naselja velikim vodama vjerojatnosti pojave 0,01 do 0,02,
- 2) Osiguranje zaštite od poplava poljoprivrednih površina u dolinama svih većih vodotoka (vjerojatnosti pojave 0,02).

Sigurno je da za izvršenje ovih poslova mora biti angažiran veći broj specijaliziranih stručnjaka i da mora biti osigurana suvremena i efikasna organizacija institucija koje će kontinuirano donositi odgovarajuće odluke i operativno raditi na rješavanju obimnih specijalističkih i veoma često vrlo složenih problema.

## 12) IMAJUĆI U VIDU DA JE ELABORAT RAĐEN U TOKU 2000. god. DAJU SE SLIJEDEĆE NAPOMENE

- Analiza, izvršena u okviru ovog elaborata, jasno ukazuje da su problemi zaštite od poplava u Federaciji Bosne i Hercegovine veoma značajni, specifični i kompleksni, te se kao takvi moraju rješavati sistemski, postupno, studiozno i uz primjenu odgovarajućih strategija.

**STRATEGIJA ZAŠTITE OD POPLAVA NA  
VODNOM PODRUČJU RIJEKE SAVE  
Pregledna situacija**



1. Odžačka Posavina
2. Srednja Posavina
3. Dolina r.Tinje
4. Dolina r.Spreče
5. Dolina r.Usore
6. Dolina r.Lašve
7. Dolina r.Sane
8. Dolina r.Une -Bihać
9. Dolina r.Une -K.Vakuf
10. Dolina r.Vrbas -D.Vakuf
11. Dolina r.Vrbas -G.Vakuf
12. Lušci Palanačko polje
13. Sarajevsko polje
14. Dolina r.Bosne -Maglaj
15. Dolina r.Bosne -Visoko
16. Dolina r.Bosne -Zenica
17. Dolina r.Drine
18. Dolina r.Drine
19. Dolina r.Korane
20. Dolina r.Gline

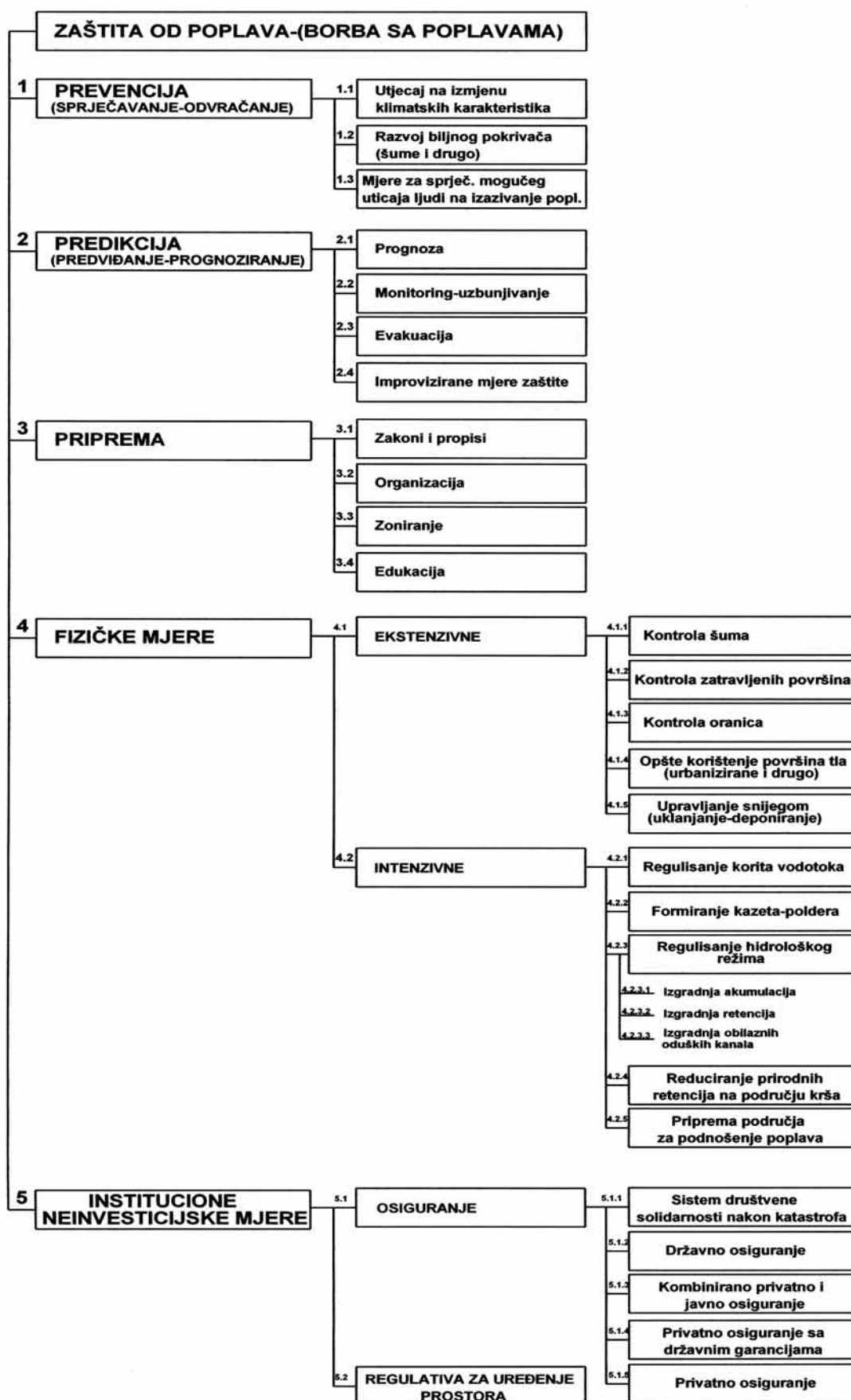
Prilog br.1

**PREGLED DO SADA PRIMJENJIVANIH I PREDLOŽENIH STRATEGIJA ZA ZAŠTITU  
OD POPLAVA U SLIVU RIJEKE SAVE**

PODRUČJE	Do sada primjenjivane strategije	Pregled strategija za zaštitu od poplava
Odžačka Posavina	4.2.2	4.2.2
Drednja Posavina	4.2.2	4.2.2
Dolina Tinje	4.2.1	4.2.1, 4.2.2, 4.2.3
Dolina Spreče	4.2.1, 4.2.3	4.2.1, 4.2.3
Doline Usore		4.2.1, 4.2.3
Dolina Lašve	4.2.1	4.2.1
Dolina Sane	4.2.1	4.2.1, 4.2.3
Dolina Une	4.2.1	4.2.3, 4.2.5
Dolina Vrbasa	4.2.1	4.2.1
Lušci Palanačko polje		4.2.4
Sarajevsko polje	4.2.1	4.2.1, 4.2.3
Dolina Unca	4.2.1	4.2.3
Dolina Bosne	4.2.1	4.2.1, 4.2.3
Područje Goražda	4.2.3	4.2.3
Slivovi Korane i Gline	4.2.1	4.2.1

Prilog br.2

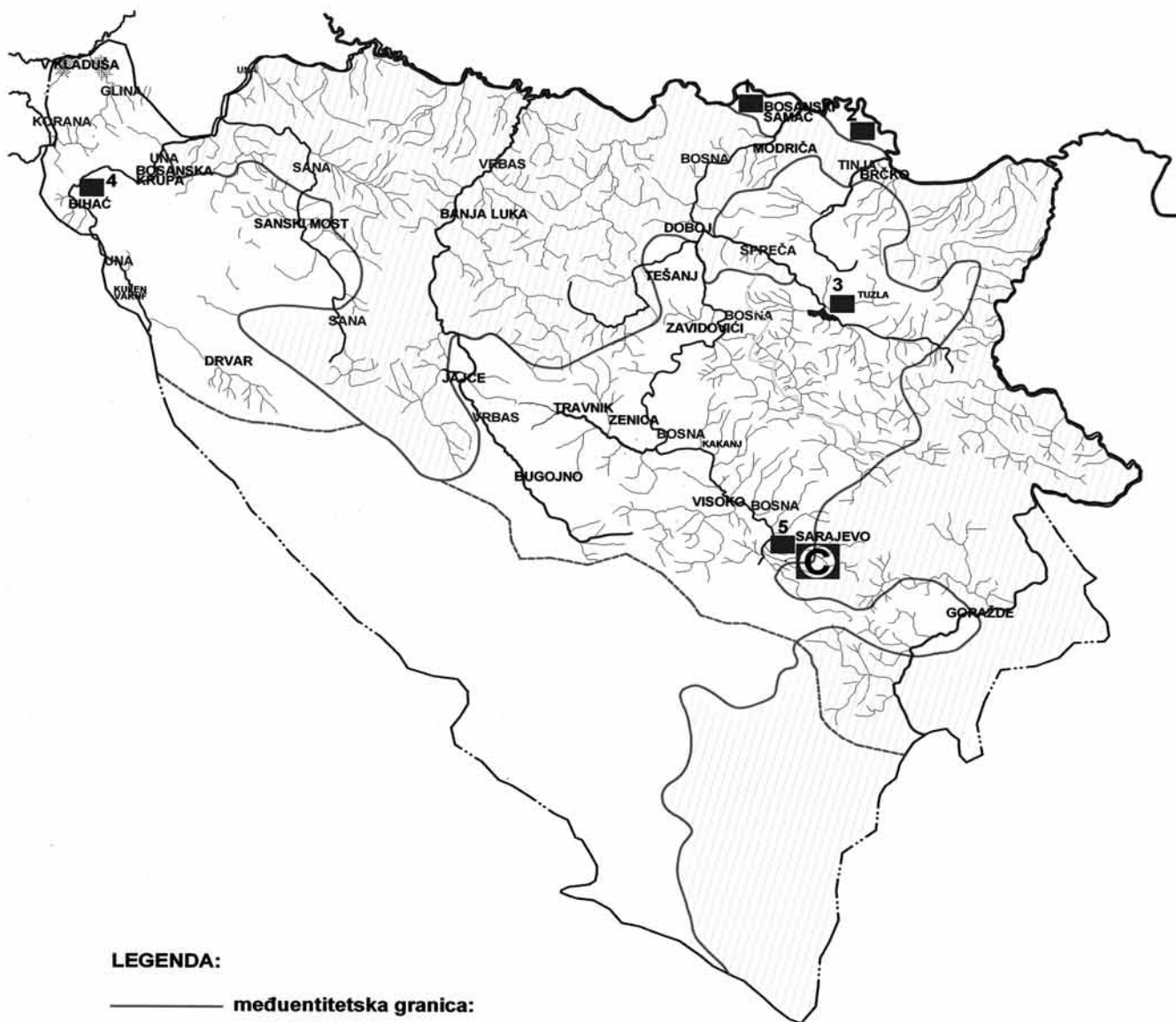
## BORBA SA POPLAVAMA - SHEMA MJERA



Prilog br.2.1.

**PRIJEDLOG ORGANIZIRANJA RADA NA ZAŠTITI  
OD POPLAVA U FEDERACIJI BiH (U SLIVU SAVE)**

**Varijanta 1**



**LEGENDA:**

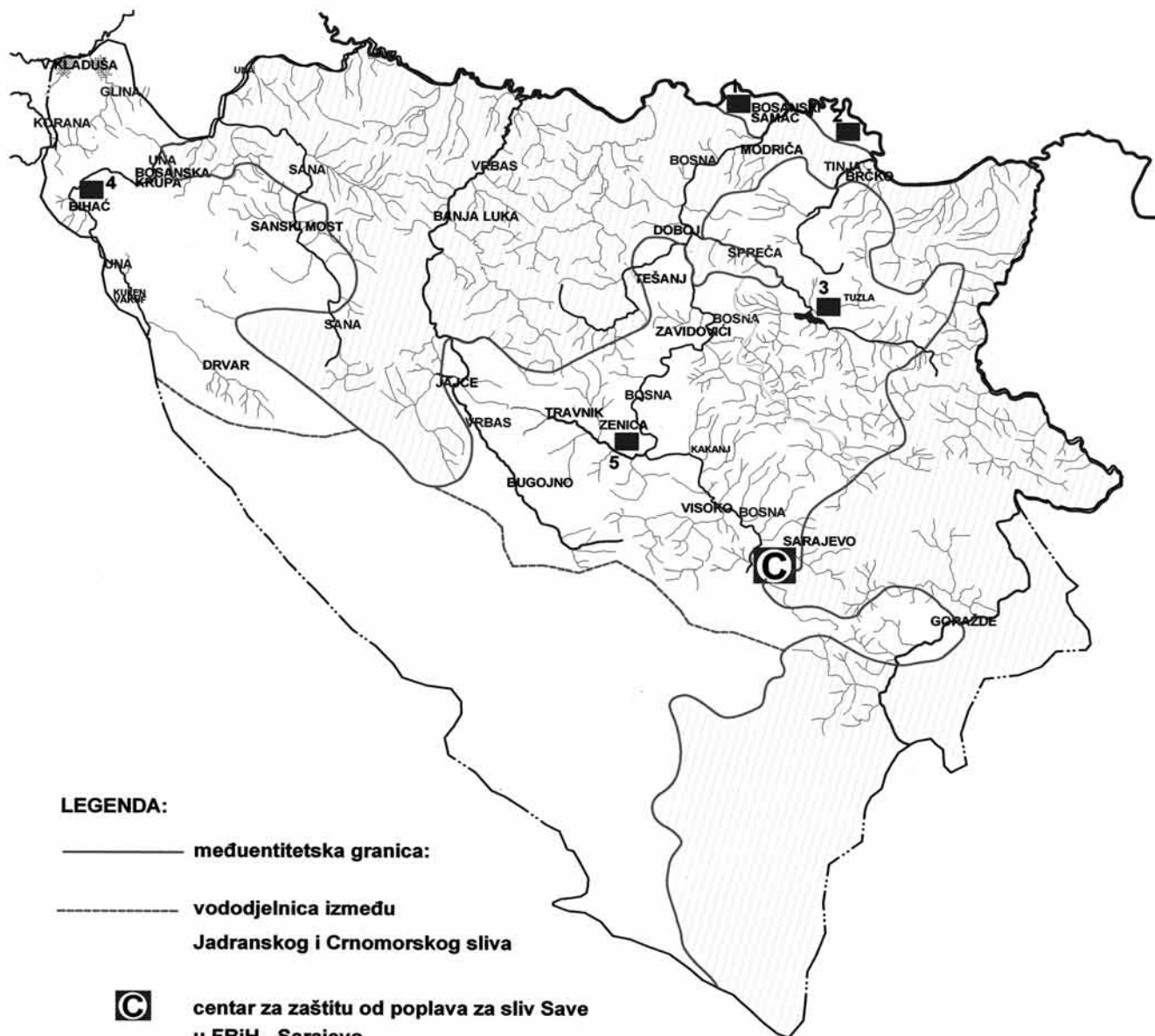
- međuentitetska granica:
- - - - - vododjelnica između  
Jadranskog i Crnomorskog sliva
- Ⓢ centar za zaštitu od poplava za sliv Save  
u FBiH - Sarajevo
- operativne vodoprivredne jedinice (sekcije)  
1. Odžak  
2. Orašje  
3. Tuzla  
4. Bihać  
5. Sarajevo
- granice područja operativnih  
vodoprivrednih jedinica (sekcija)

**Prilož. br. 3**



# PRIJEDLOG ORGANIZIRANJA RADA NA ZAŠTITI OD POPLAVA U FEDERACIJI BiH (U SLIVU SAVE)

## Varijanta 2

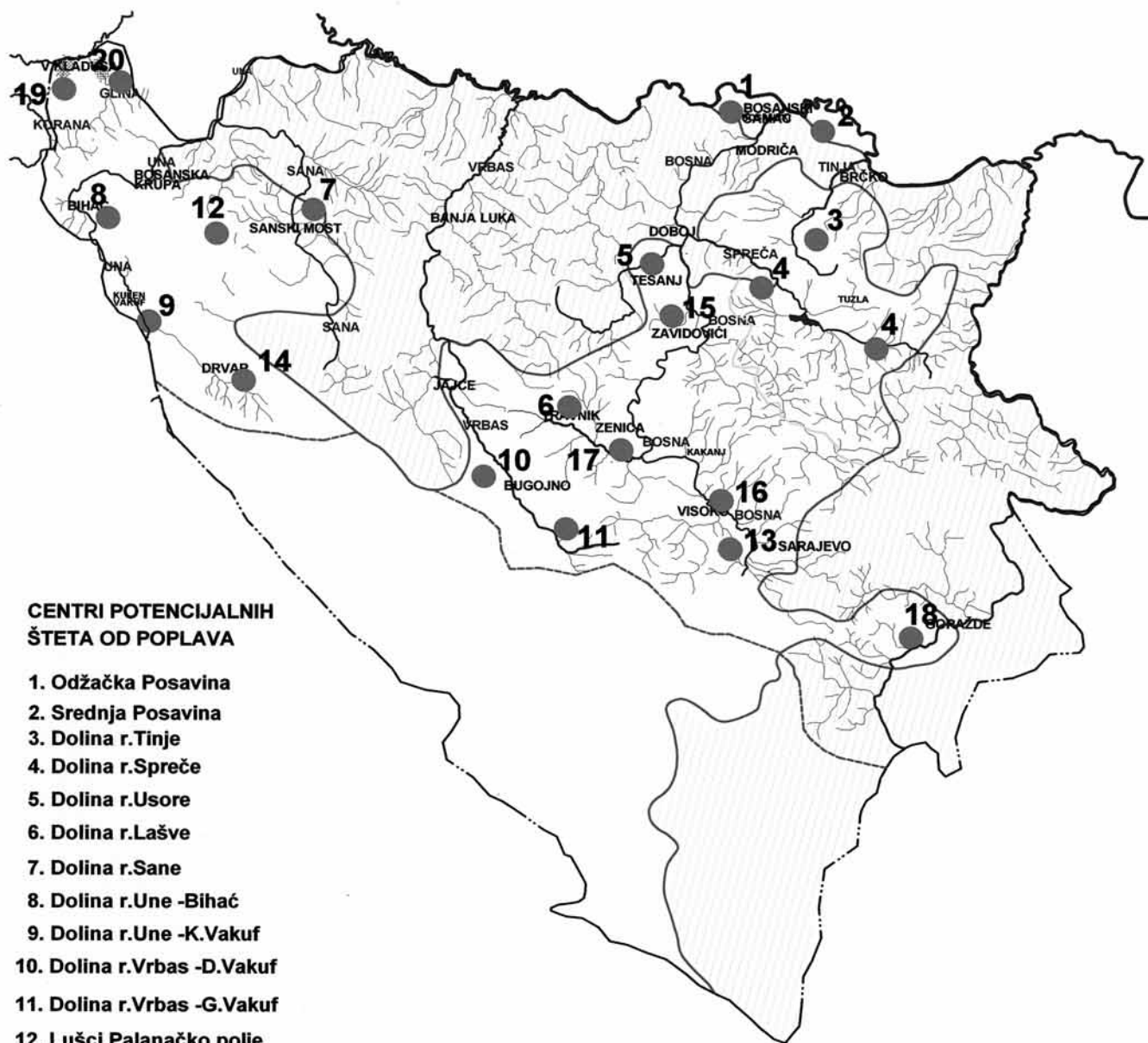


### LEGENDA:

- međuentitetska granica:
- - - - - vododjelnica između  
Jadranskog i Crnomorskog sliva
- Ⓢ centar za zaštitu od poplava za sliv Save  
u FBiH - Sarajevo
- operativne vodoprivredne jedinice (sekcije)  
1. Odžak  
2. Orašje  
3. Tuzla  
4. Bihać  
5. Zenica
- granice područja operativnih  
vodoprivrednih jedinica (sekcija)

Prilog br. 4

**CENTRI POTENCIJALNIH ŠTETA U SLIVU SAVE NA  
TERITORIJI FEDERACIJE BOSNE I HERCEGOVINE**

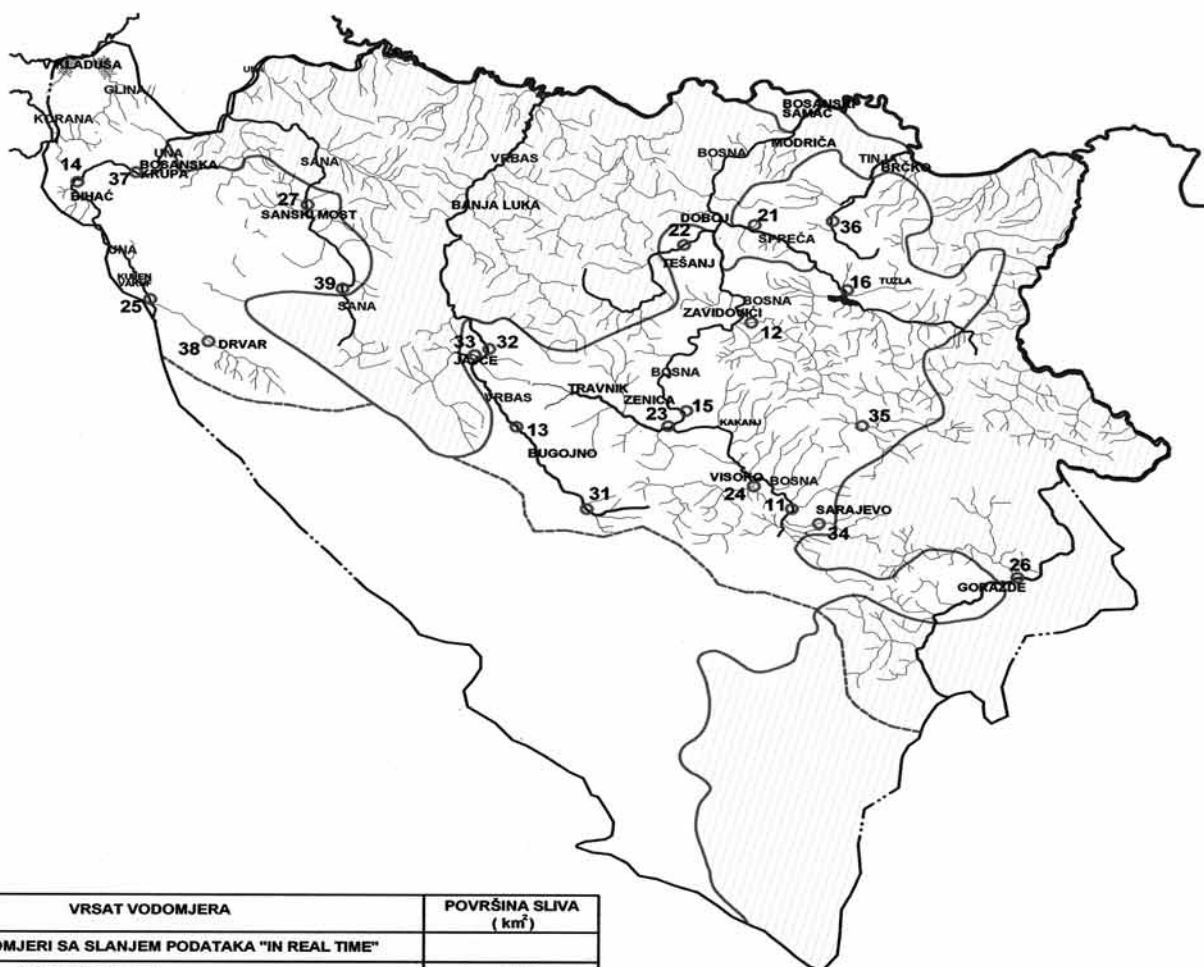


**CENTRI POTENCIJALNIH  
ŠTETA OD POPLAVA**

1. Odžačka Posavina
2. Srednja Posavina
3. Dolina r.Tinje
4. Dolina r.Spreče
5. Dolina r.Usore
6. Dolina r.Lašve
7. Dolina r.Sane
8. Dolina r.Une -Bihać
9. Dolina r.Une -K.Vakuf
10. Dolina r.Vrbas -D.Vakuf
11. Dolina r.Vrbas -G.Vakuf
12. Lušci Palanačko polje
13. Sarajevsko polje
14. Dolina r.Bosne -Maglaj
15. Dolina r.Bosne -Visoko
16. Dolina r.Bosne -Zenica
17. Dolina r.Drine
18. Dolina r.Drine
19. Dolina r.Korane
20. Dolina r.Gline

Prilog br. 5

## VODOMJERI SA PODACIMA OD POSEBNOG ZNAČAJA ZA RAD CENTAR ZA ZAŠTITU OD POPLAVA



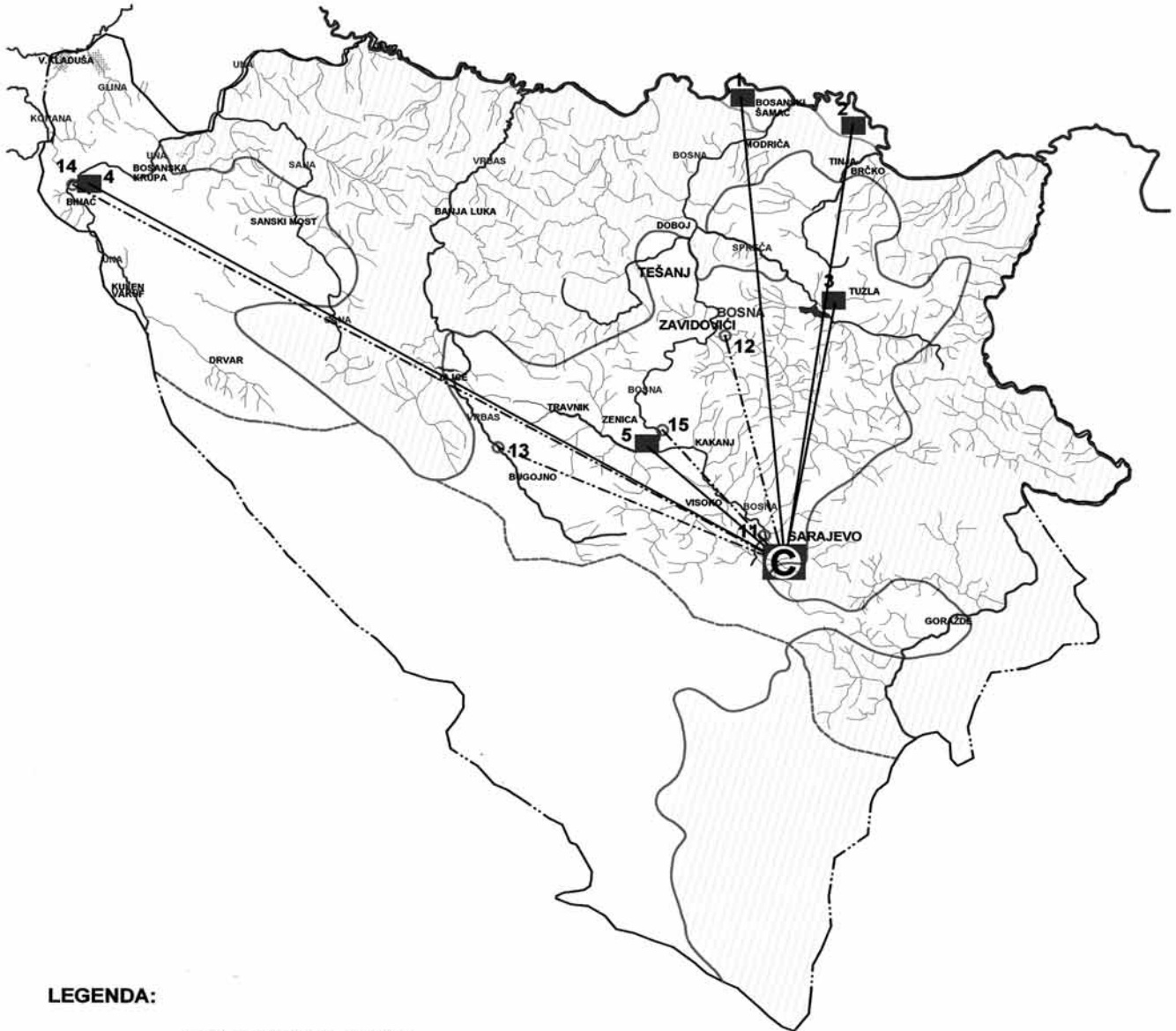
VRSAT VODOMJERA	POVRŠINA SLIVA (km <sup>2</sup> )
<b>1. VODOMJERI SA SLANJEM PODATAKA "IN REAL TIME"</b>	
11 Reljevo (Bosna)	1.104
12 Zavidovići (Krivaja)	5.033
13 Donji Vakuf (Vrbas)	1.034
14 Bihać-Kralje (Una)	3.429
15 Raspotočje (Bosna)	4.100
16 Modrac (Spreča)	1.176
<b>2. VODOMJERI SA LIMNIGRAFIMA (I VODOMJERNIM LETVAMA)</b>	
21 Stanića Rijeka (Spreča)	1.944
22 Kaloševići (Usora)	632
23 Merdani (Lašva)	949
24 Visoko (Fojnica)	721
25 Martin Brod-nizvodno (Una)	1.459
26 Gorazde (Drina)	6.083
27 Sanski Most (Sana)	2.008
<b>3. VODOMJERI SA LETVAMA (I ORGANIZIRANIM DOPUNSKIM OSMATRANJIMA ZA VRIJEME VELIKIH VODA)</b>	
31 Gornji Vakuf (Vrbas)	205
32 Kozluk (Vrbas)	3.161
33 Preljev HE "Jajce 1" (Pliva)	1.720
34 Sarajevo (Miljacka)	338
35 Olovo (Krivaja)	737
36 Srebrenik (Tinja)	163
37 Bosanska Krupa (Una)	3.200
38 Drvar (Unac)	420
39 Ključ (Sana)	1.276

### LEGENDA:

- međuentitetska granica
- vododjelnica između  
Jadranskog i Crnomorskog sliva
- lokacija vodomjera

Prilog br. 6

## SISTEM ZA ZAŠTITU OD POPLAVA ŠEMA PRENOSA INFORMACIJA



### LEGENDA:

- međuentitetska granica
- - - - - vododjelnica između  
Jadranskog i Crnomorskog sliva
- C** centar za zaštitu od poplava za sliv Save  
u FBiH - Sarajevo
- vodomjeri sa dojavom u realnom vremenu  
("in real time")
- operativne jedinice za odbranu od poplava  
(regionalni uređi-sekcije)
- veze sa operativnim jedinicama
- - - - - veze sa vodomjerima sa osiguranim  
prenosom informacija

Prilog br. 7

- Mnogi objekti i sistemi su značajno oštećeni i uglavnom ne zadovoljavaju osnovne kriterije konvencije zaštite od poplava pri pojavi velikih voda, čemu doprinosi gotovo potpuno zanemareno održavanje – čišćenje riječnih korita, u dolinama mnogih rijeka u Federaciji Bosne i Hercegovine, kao i to da je bitno poremećena organizacija aktivnosti prije, za vrijeme i nakon poplava. Da bi se što prije smanjio povećani rizik nastanka šteta od poplava uzrokovani ratnim oštećenjima i lošim stanjem objekata za zaštitu od voda, potrebno je još intenzivnije nastaviti započete aktivnosti na izradi dokumentacije i izvođenju radova na sanaciji izgrađenih zaštitnih vodoprivrednih objekata.
- Za rješavanje vrlo složenih problema nasumnjive prednosti ima primjena strategije reguliranja prirodno nepovoljnog hidrološkog režima – ublažavanje valova velikih voda u vodnim akumulacijama. Jedino na taj način se postiže zaštita od poplava radikalno, dugoročno i na duljim potezima riječnih dolina. Sve druge strategije u manjoj ili većoj mjeri izazivaju nepovoljne uticaje na hidrološki režim na drugim područjima, a samim tim i na stepen zaštite od velikih voda.
- Posebno treba istaći da planiranje pojedinih vodoprivrednih mjera postaje gotovo nemoguće bez usklađivanja sa planovima korištenja prostora i detaljnog sagledavanja svih uticajnih faktora na širim područjima. Zbog toga, neophodan je visoki stupanj koordinacije rada kako na izboru osnovnih koncepata uređenja prostora, tako i kod izrade urbanističkih planova posebnih područja.
- Kod donošenja odluka o izboru rješenja, pogotovo kada su u pitanju višenamjenski koncepti koji uključuju i izgradnju akumulacija, potrebno je blagovremeno u taj proces na adekvatan način uključiti i zainteresovanu javnost.
- Za svako područje ugroženo poplavama, nakon sprovedenih odgovarajućih tehničkih i ekonomskih analiza, treba odabrati opći koncept rješenja kao i potreban stepen zaštite uzimajući u obzir potencijalne štete koje se mogu očekivati u narednom periodu. Za takve analize neophodno je raspolagati sa:
- aktuelnom projektnom dokumentacijom bar na nivou idejnog rješenja za realiziranje izvođenja tehničkih investicijskih podhvata,
- planovima razvoja područja koja se povremeno plave ili bar prostornim planovima u kojima je definisana namjena prostora u narednom periodu.

Priprema navedenih podloga zahtjeva dosta vremena i novca i sigurno je da treba biti vršena u faza-

ma prema težini problematike koja treba biti riješavana na pojedinim poplavnim područjima.

- Za što efikasnije smanjenje rizika od poplava treba uspostaviti čvrstu i adekvatnu međunarodnu i međuentitetsku saradnju na razvoju integralnog sistema odbrane od poplava u slivu rijeke Save, što podrazumjeva izradu i korištenje jedinstvenih sistema prognoza velikih voda, uspostavljanje sistema monitoringa i uopšte informacionog sistema, izradu planova pogona hidroakumulacija i retenzija, uspostavljanje i jačanje adekvatnih vodoprivrednih i drugih struktura za operativno upravljanje odbranom od poplava i dr.
- Dobro organizovana odbrana od poplava mora da ima sveobuhvatnu i jasnu razrađenu zakonsku odnosno podzakonsku regulativu. Dakle potrebno je što prije uskladiti, pripremiti i donijeti sve propise i podzakonske akte iz oblasti zaštite od voda i to kako na međuentitetskom, tako i na kantonalnom, odnosno opštinskom nivou.
- Važno je istaći značaj ovog Elaborata za vodoprivredu, kao osnove za izradu baznog dokumenta (generalni preventivni plan odbrane od poplava), koji bi doprinjeo rehabilitaciji i unapređenju odbrane od poplava u Federaciji Bosne i Hercegovine, uz predhodno usvajanje opšte strategije. Pod ovom strategijom se podrazumijeva da će se na bazi odgovarajućih podloga i provedenih analiza moći:
  - odabrati program optimalnog unaprijeđenja zaštite od poplava na teritoriji cijele Federacije Bosne i Hercegovine;
  - izvršiti izbor lokacija za prioritetne intervencije i
  - utvrditi optimalne tehničke parametre za objekte i sisteme za zaštitu od poplava koje treba izgraditi u narednim razdobljima.
- Neravnomjeran režim voda na svim vodotocima u BiH kao i na onim koji dolaze iz drugih država ili čine granicu sa njima te nepovoljna konfiguracija terena sa stanovišta odbrane od poplava duž tih vodotoka su osnovni razlozi što je problem zaštite od voda bio i ostao vrlo značajan, specifičan i kompleksan zadatak vodoprivrede koji će to biti i ubuduće, zahtjevajući integralan, pažljiv i pravovremen pristup u rješavanju.
- U cilju dosljedne primjene strategije održivog razvoja veoma je važno i da se u procesu izbora strategija i koncepata rješavanja problematike zaštite od poplava vodi računa da negativni utjecaji na okoliš trebaju biti minimizirani, a pozitivni maksimizirani.

# HIDROENERGIJA I ALTERNATIVE - PRILOG RAZMATRANJU OKOLIŠNIH ASPEKATA

## Sažetak

**S**vi scenariji ekonomskog razvitka u Svijetu bazirani su na značajnom povećanju potreba za energijom. I pored ubrzanog trenda razvoja tzv. alternativnih izvora i dalje dominira odabir neodrživih tj. neobnovljivih fosilnih izvora energije. Za sad se još uvijek čini da je svaki izvor energije vezan sa nekim okolišnim "zlom" te da se izbor svodi na odabir najmanjeg zla. Hidroenergija kao konvencionalni i obnovljiv izvor trpi napade i kritike javnosti zbog nekih problema koji su, neadekvatnim gazdovanjem u prošlosti, isplivali na površi-

nu. Da li je vrijeme razvoja "velikih" hidroenergetskih postrojenja (u Bosni i Hercegovini) nepovratno prošlo? Čini se da odabir ostalih konvencionalnih izvora (fosilna goriva) predstavlja "veće zlo" dok alternativni izvori još nisu dostigli zadovoljavajući stupanj ekonomske isplativosti a da bi učinkovito potisnuli konvencionalne izvore. Doda li se ovome i činjenica da akumulacijske hidroelektrane imaju visok stupanj fleksibilnosti rada, čime na jedinstven način omogućuju "pokrivanje" varijabilnih dnevnih potreba za strujom, izgleda da njihovo vrijeme još nije prošlo. S druge strane, jasno je da se pristup planiranju, izgradnji i upravljanju hidroelektrana mora promijeniti u skladu sa načelima održivog razvoja.

**Ključne riječi:** energija, hidroenergija, akumulacije, okoliš, održivi razvoj, alternativni energetske izvori, energetske potrebe, porast populacije, obnovljivi izvori, neobnovljivi izvori.

## 1. Uvod

Unatoč konstantnom podizanju svijesti javnosti, kako u Svijetu tako i u BiH, o značaju okoliša i neophodnosti održivog razvoja<sup>1</sup>, svjedoci smo obeshrabrujućih trendova u pogledu razvoja i odabira tzv. neodrživih odnosno neobnovljivih izvora energije. Ovi trendovi su uzrokovani kako subjektivnim tako i objektivnim razlozima. Također smo svjedoci porasta opozicije razvijanju nekih obnovljivih izvora energije (u prvom redu hidroenergije) i preferiranja tzv. alternativnih izvora energije. Ovaj svjetski trend nije ostavio imunom ni Bosnu i Hercegovinu, tako da je doveo do situacije izrazite polariziranosti mišljenja gle-

<sup>1</sup> Održivi razvoj = "zadovoljenje potreba u sadašnjosti na način koji neće ugroziti zadovoljenje istih potreba budućih generacija".



Detalja šahtnog preliva na brani Rama  
Snimio: M. Lončarević

de trendova budućeg ekonomskog razvoja Zemlje. Na temeljima starih uvjerenja da je hidroenergija “obnovljiv, čist i besplatan” izvor energije, njeni pobornici skloni su idejama da se sav raspoloživi hidroenergetski potencijal u najkraćem roku iskoristi izgradnjom niza tzv. velikih hidroelektrana. S druge strane, protivnici ovih ideja, ohrabreni generalnim svjetskim trendom brojnih “zelenih” pokreta i propagande putem različitih medija, zagovaraju potpuno odustajanje od bilo kakvog daljnjeg razvoja hidroenergetike. Iz ovoga se donekle izuzimaju tzv. male elektrane (pri tome se misli na elektrane bez akumulacionih jezera i sa kapacitetima manjim od 1 MW, ovisno o klasifikaciji i lokalnim uvjetima ova granica može protegnuti i do 5 MW).

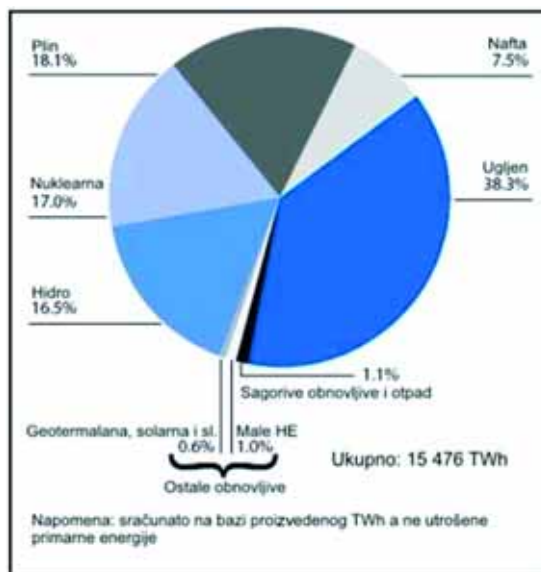
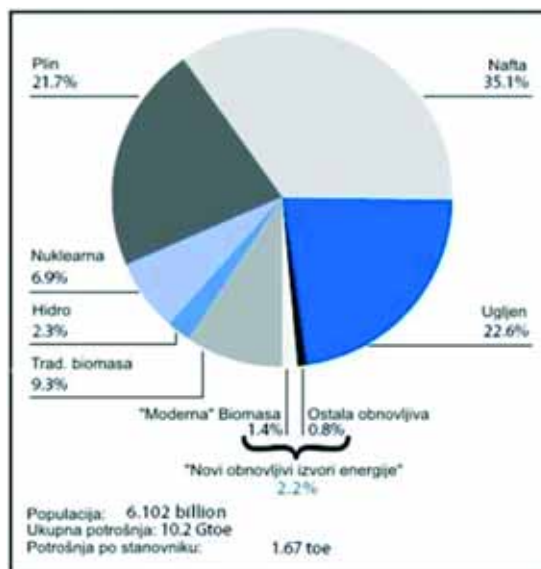
Danas znamo da hidroenergija uopće nije besplatna, nije baš ni potpuno čista, a nije čak ni 100% obnovljiva (u slučaju velikih jezera). Od međunarodno dobro poznatog slučaja Aswan-ske brane iz 1971. godine, brojni negativni utjecaji na okoliš postali su poznati kako stručnoj tako i široj javnosti. Neočekivani problemi izazvani izgradnjom ove brane bili su jedan od pokretača ideje o neophodnosti izrade studija “Procjene utjecaja na okoliš” (PUO) kod planiranja novih visokih brana u Svijetu.

Međutim, kao što ćemo uskoro vidjeti u nastavku, danas također znamo da su svi scenariji razvoja u Svijetu bez izuzetka bazirani na značajnom povećanju potreba za energijom. Na žalost tzv. komercijalni (konvencionalni) izvori energije su u ogromnoj većini vezani uz neodrživi razvoj, dok su tzv. alternativni izvori (male hidroelektrane, solarna energija, vjetar, geotermalna, biomasa, morska energija i sl.) još uvijek u povojima, odveć skupi, pa čak i nepouzdana, a da bi se mogli natjecati za ozbiljniju prevlast u doprinosu energetske bilancama u skorijoj budućnosti. Uz ovo valja napomenuti da ni ovi izvori nisu potpuno lišeni negativnih utjecaja na okoliš (o tome više u nastavku).

Jednostavna formula razvitka pretpostavlja da je sa porastom populacije i (ili) porastom standarda življenja, porast potrebe za energijom neizbježan. Za sada je svaki izvor energije vezan sa nekim okolišnim “zlom”. Izbor se sastoji u odabiru (naj)manjeg zla, barem tako dugo dokle imamo izbora! Cilj ovog članka nije da pokuša bilo koga uvjeriti u suprotnost njegovih stavova, već da ponudi neke osnovne elemente za razmišljanje, da potakne dijalog između “suprotstavljenih strana” i pokuša približiti stavove u cilju iznalaženja što povoljnijih rješenja za budućnost. Koliko je autorima poznato u ovom trenutku, zanemariv je broj pobornika očuvanja okoliša (autori i sebe ubrajaju u ovu kategoriju) koji su spremni odreći se automobila, struje, tople vode i sličnih pogodnosti suvremenog društva, tako da nam predstoji težak zadatak “izmirenja” oprečnih stajališta, čime bi se ponudio svima prihvatljiv kompromis.

## 2. Energija u Svijetu i trendovi razvoja

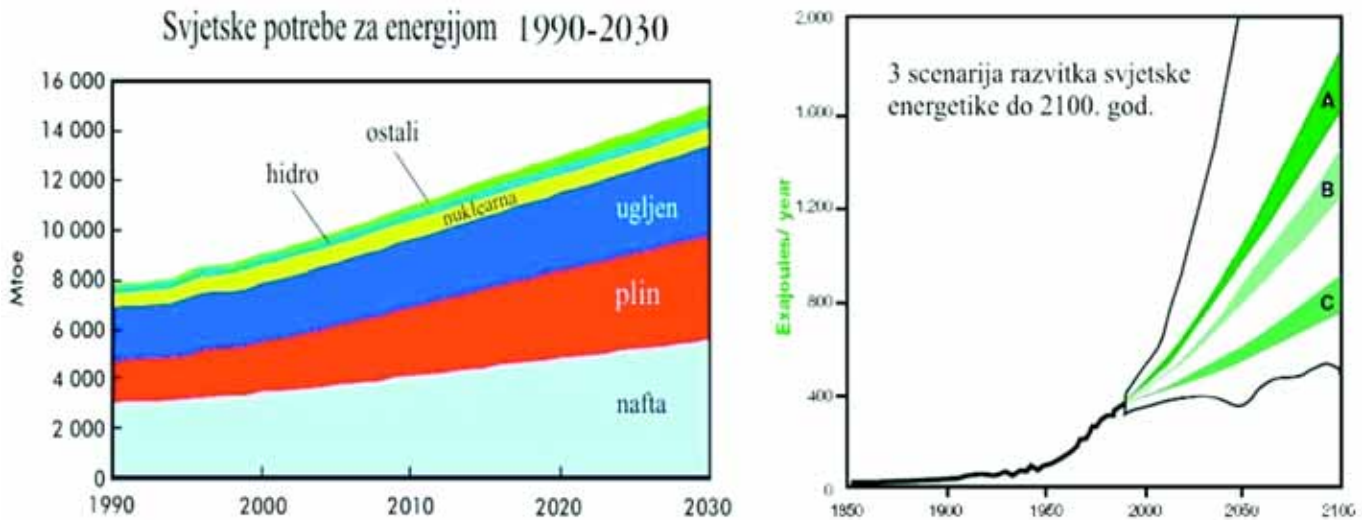
Današnja svjetska populacija od 6,1 milijardu stanovnika godišnje troši ukupnu primarnu energiju u iznosu od 10,2 Gtoe (Gtoe – ekvivalentna vrijednost milijardi tona nafte). Od toga na “struju” ili električnu energiju otpada svega 18% (oko 15500 TWh) sa trendom porasta udjela struje u ukupnoj energiji svijeta, tako da bi 2030. godine on iznosio 22%. Današnje potrebe za primarnom energijom podmiruju se, u ogromnoj većini slučajeva, fosilnim gorivima i drugim vidovima neobnovljivih energetske izvora, tako da je npr. udio hidroenergije svega 2,3%. Ovaj je procent nešto povoljniji kada se pogleda proizvodnja struje u svijetu. Međutim, čak i u ovom slučaju, udio svih tzv. obnovljivih izvora ne doseže ni 20% u proizvodnji današnje električne energije u svijetu! Slika 1 pokazuje udjele različitih izvora energije u pokrivanju potreba za primarnom (gore) i električnom energijom (dolje). [2]



Slika 1

Ako pažljivo pogledamo dijagrame na slici iznad, koji odražavaju današnje globalne energetske odnose u svijetu, vidjet ćemo pomalo zastrašujuću sliku svjetske energetike. Napredak tehnologije i znanosti podrazumijeva ubrzani prelazak na okolišno prijateljskije izvore kao i uštede zbog veće efikasnosti prilikom proizvodnje i distribucije kao i kod

krajnjih korisnika. Da li ovo znači da će se slika popraviti u budućnosti? Na žalost zvaničine srednjoročne projekcije (do 2030.) ne daju nam puno razloga za optimizam. Slika 2 pokazuje porast svjetskih potreba za energijom do 2030. i realnu procjenu udjela pojedinih energetske izvora u pokrivanju tih potreba. [1] i [2].



Slika 2

Svjetski trendovi porasta potrošnje i proizvodnje električne energije i udio glavnih izvora energije dati su u narednoj tabeli (1) i dijagramu (Slika 3), sa akcentom na obnovljive izvore. Unatoč projiciranom prosječnom godišnjem porastu ostalih obnovljivih

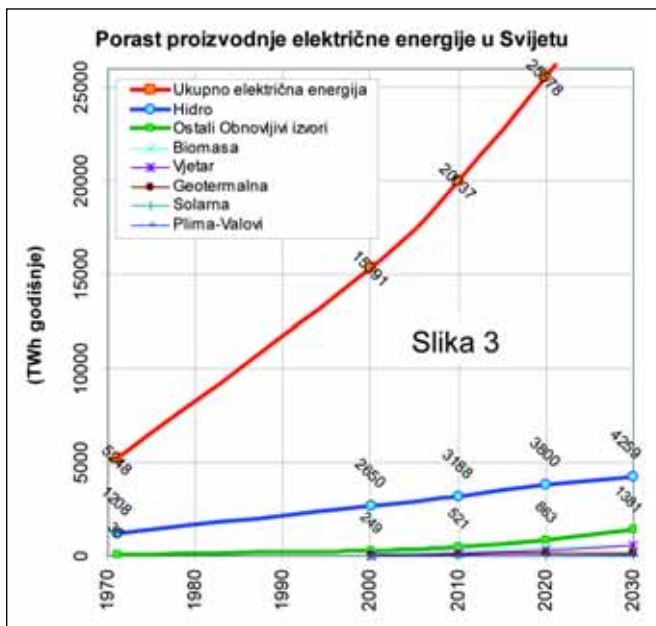
izvora (bez hidro) od 6%, ukupni udio obnovljivih izvora pada sa 24% iz 1971. na 18% 2030. godine. Iako proizvodnja hidroenergije raste za 60%, njezin udio opada sa 23% (1971.), preko 17% (danas) na 14% (2030.), [1] i [2].

Bilanca svjetske električne struje					Prosječan godišnji porast 2000-2030 (%)
	2000	2010	2020	2030	
<b>Bruto proizvodnja (TWh)</b>	<b>15,391</b>	<b>20,037</b>	<b>25,578</b>	<b>31,524</b>	<b>2.4</b>
Ugljen	5,989	7,143	9,075	11,590	2.2
Nafta	1,241	1,348	1,371	1,326	0.2
(Zemni) Plin	2,676	4,947	7,696	9,923	4.5
«Gorivne ćelije»	0	0	15	349	–
Nuklearna	2,586	2,889	2,758	2,697	0.1
<b>Hidro</b>	<b>2,650</b>	<b>3,188</b>	<b>3,800</b>	<b>4,259</b>	<b>1.6</b>
<b>Ostali obnovljivi izvori</b>	<b>249</b>	<b>521</b>	<b>863</b>	<b>1,381</b>	<b>5.9</b>
<b>Gubici i vl. potrošnja (Mtoe*)</b>	<b>235</b>	<b>304</b>	<b>388</b>	<b>476</b>	<b>2.4</b>
<b>Suma krajnje potrošnje (Mtoe)</b>	<b>1,088</b>	<b>1,419</b>	<b>1,812</b>	<b>2,235</b>	<b>2.4</b>
	*Mtoe = Milion tona naftnog ekvivalenta				
Industrija	458	581	729	879	2.2
Stanovanje	305	408	532	674	2.7
Usluge	256	341	440	548	2.6
Ostalo	68	89	111	133	2.3

Tabela 1



Kada ne bi bilo porasta potražnje i kad bi se danas potvrđene zalihe fosilnih goriva nastavile crpiti današnjim tempom, tada bi nafta trajala još 41 godinu, plin još 64 a ugljen još 250 godina. Kako se realno očekuje iznalaženje novih količina ali i povećanje potrošnje, konačno iscrpljivanje rezervi prema vrsti goriva bilo bi 125 godina za naftu, 210 za plin i 360 godina za ugljen. Ove posljednje cifre samo su orijentacione vrijednosti, jer su ovisne o scenariju razvoja, ali su ipak dovoljno ilustrativne.



Slika 3

Poskupljenjem energije omogućit će se pristup sve skrovitijim, nepovoljnijim dubljim izvorima npr. nafte, međutim, sa eksploatacijom će se morati preseliti onda kada energija potrebna za ekstrakciju premaši dobivenu količinu energije. Određene neupotrebljive količine nafte ostat će zarobljene duboko u utrobi zemlje. Ako se usporedi udio nafte u primarnoj, sa udjelom u električnoj energiji vidi se da je on znatno značajniji kod prve. Ovo je zbog svojstva nafte da posjeduje veću "gustoću" energije (od "konkurentnih" izvora), odnosno da se u razmjerno maloj masi čuva velika energija, što je naročito važno u transportu, te se za sada, u ovoj grani, nafta smatra neprikosnovenom, a tako će vjerojatno ostati i u dalekoj budućnosti.

U scenariju nastavka razvoja nuklearne energije u svijetu, ova bi energija uz upotrebu brzih "breeder" reaktora (oplodivih – koji proizvode više fisijskog materijala nego što troše) mogla potrajati i preko 10 000 godina. Također se radi na istraživanjima praktičnih mogućnosti nuklearne fuzije, ali kao i nafta, plin, ugljen i fisija, niti ovaj izvor sa današnjeg stajališta ne predstavlja velikog prijatelja okolišu.

Tako su, prirodno, sve nade čovječanstva uperene ka obnovljivim (nepresušivim) izvorima energije. Međutim, njihov današnji udio je gotovo simboličan, dok brzina razvoja tehnologija, kao i tempo smanje-

nja investicionih ulaganja, potencijalno omogućuje značajniju komercijalnu upotrebu ovih izvora tek u projekcijama od 50 do 100 godina, pa i kasnije. Uz to, valja dodati da nisu ni svi obnovljivi izvori okolišno čisti. Mada i neki od njih na ovaj ili onaj način zagađuju okoliš, njihova osnovna prednost je u činjenici što se ovi izvori vremenom ne iscrpljuju, već se uvijek mogu nanovo koristiti, te su time preduvjet "održivom" razvoju.

Većina specijalista na polju određene forme obnovljive energije uvjereni su da ona može igrati značajnu ulogu u zaštiti planeta od promjene klime. Za to vrijeme specijalisti za obnovljive izvore snažno napreduju u svijetu sa stupnjem izgradnje od preko 80 000 MW godišnje.

Do 2050. godine potrebna električna energija bit će oko 45 000 TWh godišnje. Vidjeli smo gore da će 2030. godine udio obnovljivih izvora pasti na 18%. Preostaje onda, u cilju održivog razvoja, upregnuti sve sile da se obnovljivi izvori maksimalno razviju. U takvom jednom optimističnom scenariju moglo bi se očekivati sljedeće:

- Uz potpunu izgrađenost svih svjetskih ekonomski iskoristivih hidropotencijala, hidroenergija bi pokrila 8 100 TWh u godini. Ako bi se pomjerila granica ekonomičnosti ka granici tehničke izvodljivosti moglo bi se računati i sa 10 000 TWh (do danas instalirane HE mogu proizvesti 2 600 TWh godišnje – dakle ovdje govorimo o učetverostručavanju današnjih instalacija).
- Pokrivanjem 80 000 km<sup>2</sup> teritorija foto-voltaičnim solarnim panelima (uz investicije od 10 000 milijardi američkih dolara) opskrbito bi se još toliko.
- Optimistički gledano na razvoj ostalih obnovljivih izvora, ukupni udio svih obnovljivih mogao bi doseći 25 000 TWh i premašiti 50% ukupnih potreba.
- Ali, još uvijek preostaje 20 000 TWh, što je 33% više od cjelokupne današnje proizvodnje, koji se moraju pokriti fosilnim termoelektranama ili nuklearkama.
- "Globalni razvoj energetike u ovome stoljeću, prema tome, biće neodrživ."** (R. Lafitte, predsjednik International Hydropower Association). [3]
- Ipak, ne treba gubiti nadu, jer razvoj novih tehnologija obećava veće efikasnosti korištenja npr. solarne energije, uz sve niže cijene. Međutim, potiskivanje konvencionalnih izvora iz reda "ključnih igrača" na tržištu opskrbe energijom teško je zamislivo u narednih 50 godina. S druge strane, svjedoci smo novih otkrića koja su bila nezamisliva svega 20-tak godina ranije, tako da je teško bilo šta sa sigurnošću tvrditi.

### 3. Obnovljivi i alternativni izvori energije

Ključni argumenti u opredjeljenju na razvoj tzv. alternativnih izvora energije su:

- U pravilu, ovi izvori su kompatibilniji sa okolišem i doprinose održivom razvoju smanjujući stupanj zagađenja i opasnost od “promjene klime” na zemlji.
- Solarna energija, mogla bi, teorijski, podmiriti preko 10 000 puta današnje svjetske potrebe za energijom.
- Ovi su izvori u pravilu neiscrpnjivi (otuda naziv obnovljivi).

Cjelokupni izvori energije na zemlji potječu na neki način ili od sunca ili od užarene zemljine jezgre. Npr. hidroenergija ne bi bila obnovljiva da nije isparavanje u koje je uložena sunčeva energija. Pod pojmom alternativni izvori danas se u svijetu uglavnom misli na slijedeće:

- Solarna energija (energija sunčevog zračenja u vidu svjetlosti i topline);
- “Male” hidroelektrane;
- Energija vjetra;
- Geotermalna;
- Biomasa<sup>2</sup>;
- Energija mora (plima-oseka, valovi, temperaturne razlike vode na površini i u dubini);
- Energija sagorijevanja selektiranog otpada;
- Gorivne ćelije vodika<sup>3</sup>;
- Nuklearna fuzija<sup>3</sup>;
- Ostali izvori, koji se mogu zamisliti, ali smo još pre-daleko od njihove praktične primjene (npr. energija groma, razlika električnog potencijala u zraku i zemlji – većina ovih ideja potječe od Nikole Tesle i istraživači širom svijeta tragaju za “izgubljenim” Teslinim rukopisima, kako bi dobili ideju o upotrebljivom načinu iskorištenja ovakvih izvora, kojima je navodno Tesla bio na tragu).

Pored ovih, u obnovljive (ali konvencionalne) izvore spada i hidroenergija. Danas se sve više čuju ideje da hidroenergija uz korištenje vodnih akumulacija nije obnovljiva. Istina, akumulacije imaju svoj vijek trajanja i u mnogim slučajevima u prošlosti ovaj je vijek bio precijenjen, ali njihovim se zatrpavanjem ne smanjuje prirodni hidroenergetski potencijal, već samo fleksibilnost rada hidroelektrana. Donekle se može očekivati i smanjenje kapaciteta, ali ovo je u usporedbi sa izgrađenim kapacitetom u koji je uložena energija kod izgradnje brana, ali u konačnici, prirodni potencijal se na smanjuje. I dalje ostaje ista ukupna masa vode koja na istom ukupnom padu na nekom vodotoku ima određeni kapacitet (snaga) i može izvršiti određeni rad (energija) – prema tome hidroenergija uistinu jeste obnovljiv izvor energije,

<sup>2</sup> Nije potpuno obnovljiva u svim vidovima, ali se ipak može smatrati obnovljivom u sagledivom vremenskom periodu.

<sup>3</sup> “Neobnovljiv izvor”

je, dok bi se o održivosti akumulacijskih hidroelektrana još dalo diskutirati.

U svijetu danas postoji obimna literatura koja tretira alternativne energetske izvore, sa tako brojnim izdanjima, da bi se mogle napuniti čitave biblioteke. Ovdje ćemo se zadržati samo na osnovnim crtama prednosti i mana pojedinih izvora u smislu njihovog određivanja kao alternative hidroenergiji u doglednoj budućnosti.

## a) Solarna energija

Radi se o praktično neiscrpnom izvoru energije (u vremenskom rasponu mjenom u milijardama godina). Teorijski, do zemlje u sekundi vremena dopre količina energije dovoljna da zadovolji današnje godišnje svjetske potrebe. Količina koja bi se teorijski mogla koristiti manja je nekoliko hiljada puta, ali još uvijek je oko 10 000 puta veća od današnjih potreba. Futurističke ideje predviđaju postavljanje solarnih panela na oko 0,1 % zemljine površine (u pustinjama) odakle bi se distribuirala po cijelom svijetu. Koliko god moguća, ova ideja ne doima se izvodljivom (u spomenutom obimu) u narednih 100 godina. Iz ovih podataka, prednosti solarne energije u pogledu raspoloživih količina su očigledne. Isto vrijedi i za prednosti u smislu zagađivanja okoliša, barem u mjeri u kojoj smo to danas u stanju procijeniti. Proces se u biti sastoji od udaranja fotona u specijalnu površnu od materijala sličnog onome koji se koristi u čipovima i izbijanja elektrona, čime se stvara napon (odatle naziv foto-voltaični paneli).

Nedostaci ove tehnologije su relativno *velike površine* potrebne za instaliranje, *skupi materijali*, *niska učinkovitost*, *nedostatak energije preko noći*, za oblačnih dana kao i zimi, kada je najpotrebnija. Ovo bi se moglo prebroditi efikasnim skladištenjem energije. Međutim, danas nema učinkovitog načina skladištenja energije, osim kao potencijalna energija u akumulacionim i “pumpnim” (pumpne i reverzibilne hidroelektrane) bazenima. Prve solarne ćelije imale su stupanj iskoristivosti od svega 2%. Danas je taj stupanj “skočio” na 6% pa kod nekih najnovijih tehnologija i do 15%. Nedavno su otkrivene i tzv. plastične ćelije na bazi “nano-tehnologije”, koje rabe infracrvene zrake (toplotu) sa stupnjem korisnog djelovanja od 30%. Ove se mogu prskanjem nanijeti na, recimo, fasade, krovove, odjeću i sl. i imaju efekta čak po oblačnom vremenu pa i noću (u znatno smanjenom obimu).

Radi se dakle o izvoru energije koji najviše obećava i na kome će se zacijelo zasnivati budućnost svjetskog opstanka. Na žalost, u narednom periodu od 50-tak godina, teško je očekivati udio u svjetskoj proizvodnji energije koji bi premašio nekih 20%, što znači da će barem u tom periodu konvencionalni (a naročito neobnovljivi) izvori i dalje igrati presudnu ulogu. Današnja cijena kWh kreće se od 25 do 50 US

što je još uvijek znatno više od "konkurencije". S razvojem tehnologije i poskupljenjem konvencionalnih izvora, ova će se razlika smanjivati i u konačnici prijeći na stranu solarne energije, ali taj će proces potrajati.

Udio svih obnovljivih izvora (isključujući hidro) u svjetskoj proizvodnji struje danas iznosi oko 1,6% ili 249 TWh godišnje. Od toga je udio solarne (u 3 danas dostupne tehnologije) svega oko 2.4%, ali sa tendencijom brzog porasta. Cijena instaliranja jednog kW kreće se od 4 000 do 18 000\$ [2].

### b) "Male" hidroelektrane

Danas su tzv. male hidroelektrane (MHE) opće prihvaćene kao obnovljiv i održiv izvor energije. Postoje razne klasifikacije malih elektrana (najčešće po snazi kao: male, mini i mikro). Kod nas je generalno prihvaćeno da se pod tim pojmom podrazumijevaju elektrane do 5 MW. U Brazilu npr., gdje je veliki dio sliva moćnog Amazona, na elektrane od 100 MW se često gleda kao na "male". Kao i velike elektrane i MHE mogu biti različitih tipova. Katkad se radi o pribranskim postrojenjima, naročito u slučaju izgradnje brane i jezera za vodoopskrbu ili navodnjavanje (npr. Modrac). Međutim, većinom se radi u derivacijskim protočnim elektranama, na malim vodotocima, koje koriste veliki pad sa relativno malim protokom.

Među prednosti ubrajaju se: obnovljivost izvora, izostanak bilo kakvih nepoželjnih emisija i drugih zagađenja, "besplatna" sirovina i u određenim slučajevima blizina korisnika.

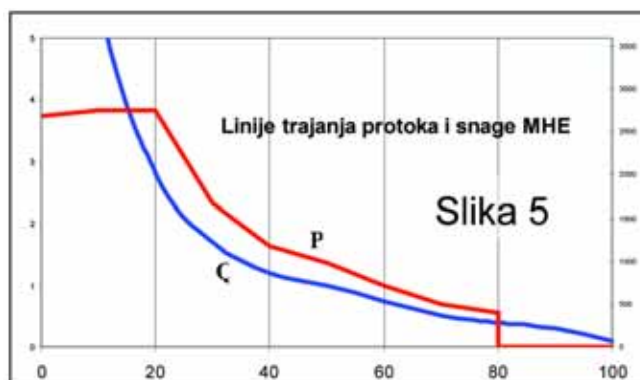
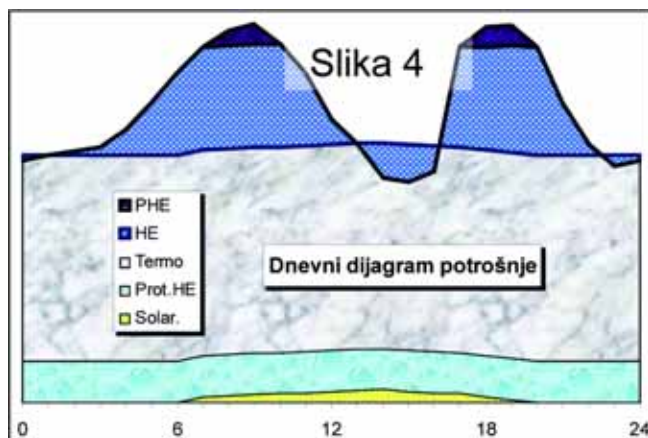
Nedostaci su: bez brane i jezera struja se proizvodi prema hidrološkom režimu koji jako varira i to u pravilu u obrnutoj razmjeri sa veličinom vodotoka (ako se uradi zbilja okolišno prihvatljiva MHE, tada se mora poštovati ispuštanje vodoprivrednog minimuma – garantirane količine vode koja će uvijek teći vodotokom između zahvata i strojarnice – onda se iskoristivi protok dodatno znatno smanjuje naročito u sušnijim periodima). Protočne elektrane na malim vodotocima proizvode "manje vrijednu" "baznu" energiju zbog nemogućnosti garantiranja isporuke

sustavu jer, tipično, MHE i druge protočne HE isporučuju struju u mjeri ovisnoj o količini raspoložive vode. S druge strane, akumulacione elektrane obično pokrivaju "vršni" dio potreba za strujom i zbog jedinstveno velike brzine stavljanja u pogon jedini su učinkovit način održavanja napona i frekvencije u mreži prilikom naglih promjena potrošnje. Cijena proizvedenog kWh iz MHE može biti garantirana zakonom. To je načelno slučaj i u BiH, zbog političkog opredjeljenja da se promovira ova vrsta proizvodnje. Ipak upotrebna vrijednost ovakvog kWh je manja od onoga iz termoelektrane, koja može garantirati isporuku, a ta je vrijednost još manja od vrijednosti kWh akumulacione ili pumpne hidroelektrane, koje mogu skladištiti energiju za periode nestašica.

Razuđenost većeg broja MHE po relativno nepristupačnim predjelima može biti strateška prednost u kriznim situacijama, ali i veliki nedostatak u uređenom Elektro-energetskom sustavu (EES), zbog troškova dalekovoda i transformacije napona, kao i pristupnih putova. Zbog ušteda u projektiranju, izvođenju i montaži, koeficijenti iskoristivosti su manji nego kod velikih HE (koriste se turbine "sa police" koje su blizu optimalnim, dok se kod velikih elektrana one optimiziraju za određeni projekt). Ukratko, iz razumljivih razloga, cijena po instaliranom kW još uvijek je u prosjeku oko duplo veća nego kod velikih HE i kreće se od 1 200 do 5 000 pa čak i do 8 000 \$ u svijetu. Kao i kod velikih HE, pa i većine obnovljivih izvora, nedostatak je veliko početno investiciono ulaganje, što znači čekanje od, tipično, 10-tak i više godina dok se elektrana ne otplati i postane rentabilna.

Da bi se zamijenila proizvodnja jedne srednje HE od recimo 100 MW, potrebno bi bilo izgraditi oko 100 MHE na isto toliko lokacija, sa svih tih lokacija dovesti struju u EES, održavati opremu (200 malih agregata) i čuvati objekte, te promijeniti režim tečenja na dužini od oko 200 km malih vodotoka. Pod pretpostavkom i jednake proizvodnje u GWh, stupanj udovoljavanja potrebama EES u pogledu pokrivanja dnevnih i sezonskih razlika u potražnji može biti i višestruko veći kod velikih HE.

Ipak, još su uvijek evidentne prednosti MHE nad većinom drugih alternativnih izvora i njihov će se razvoj nastaviti velikim intenzitetom, što će dovesti do



dotatnog pojeftinjenja po jedinici proizvodnje. Pozitivna uloga MHE u budućnosti jako je važna i zacijelo neupitna, ali one ne mogu učinkovito zamijeniti konvencionalne hidroelektrane sa akumulacionim bazenima.

### c) Energija vjetra

To je još jedan čist i "besplatan" izvor energije. Tipična turbina na vjetar ima nazivnu snagu od oko 250 kW. (raspon je od 1 kW do čak i preko 3 MW). Stvarna snaga ovisit će o jačini vjetra i najčešće se kreće oko 20-30% od nazivne. Trenutno je pravi hit u većem dijelu Europske zajednice (EZ), naročito u Njemačkoj. Cijeni se da je u Europi instalirana snaga premašila 10 000 MW. Treba reći da postoje i zemlje kao Nizozemska, koja je bila pionir u Europi, u kojima se bilježi pad interesa zbog otpora javnosti i problema sa održavanjem.

Nedostaci su opet *relativno visoka cijena* generatora i samih vjetrenjača, zatim, *veličina tornjeva* (tipično oko 50 m, ali ima ih i od preko 100 m), potreba za velikim prostorom i lokalnim uvjetima (vjetrovitost), *dostupnost vjetra* koja je nepoznata i nepredvidiva, tako da se nekad energija proizvodi kada nije potrebna i opet je njeno skladištenje problem. Od okolišnih zamjerki najčešće se spominje *vizualni efekti* koji se ne sviđaju svima, zatim *velike površine* koje "baterije" vjetrenjača zauzimaju (doduše prostor oko njih može se koristiti i u druge svrhe), kao i *negativni utjecaji na jata ptica* (navodno su zabilježeni veliki pomori ptica koje koriste zračne struje za svoje sezonske migracije, a te ih struje vode ravno na krila vjetrenjača).

Čini se da će se ovaj vid proizvodnje energije nastaviti razvijati i primjenjivati, njegov udio bi čak mogao i rasti, ali nije realno očekivati da se ovdje krije odgovor na pitanje dugoročnog opredjeljenja u smislu skorog potiskivanja konvencionalnih izvora. U BiH se trenutno planira izgradnja 14 vjetroelektrana po 2 MW nazivne snage na Svetoj gori kod Mostara (plan iz 2005. godine).

Udio vjetra u "alternativnoj" proizvodnji struje danas je oko 1,7% sa trendom rasta. Cijena po kW instalacije je 1 500-1 700 \$ sa trendom opadanja.

### d) Geotermalna energija

Geotermalna energija koristi se direktno za zagrijavanje kao i za pokretanje parnih turbina u cilju proizvodnje struje. Za sada je njena efikasnost kod direktnog zagrijavanja veća. Postoje 3 tipa turbina koje se u pogledu snage kreću od 2 do 9 MW, ali postoje postrojenja sa više turbina sa instaliranom snagom od 100 MW. Najveći problemi su u *ograničenosti prirodnih lokacija* na kojima je ovaj vid energije dostupan, kao i *problemi sa održavanjem* cjevovoda i samih turbina, zbog inkrustiranja i korozije. Udio

geotermalne energije u "alternativnoj" proizvodnji struje danas je oko 23,8%, sa trendom rasta proizvodnje ali opadanja udjela. Cijena po kW instalacije kreće se od 800 do 3 000\$.

### e) Biomasa

Udio biomase u "alternativnoj" proizvodnji struje danas je oko 68%, od čeka najveći dio otpada na tradicionalno korištenje biomase u nerazvijenim zemljama. Novi načini korištenjem goriva kao što je "bio-diesel" polako preuzimaju primat. Mada je današnji procent udjela veliki, ovaj vid proizvodnje nema potencijale gore spomenutih i *doprinosi zagađenosti zraka*. Predviđa se porast proizvodnje, naročito bazirane na novim netradicionalnim oblicima, ali pad udjela, tako da bi npr. energija vjetra za 30 godina izjednačila udio sa biomasom. (instalirani kW od 900 do 6 000\$)

### f) Energija mora

Ovdje se misli na postrojenja koja rabe potencijalnu energiju razlika nivoa vode (plima-oseka), kinetičku energiju valova, i toplotnu energiju termalnog potencijala uslijed temperaturne razlike vode na površini i u dubini. Današnji udio u alternativnoj proizvodnji je svega 0,03%. Elektrana "na plimu i oseku" specijalni je tip hidroelektrane. Postoji svega nekoliko postrojenja izgrađenih u svijetu od kojih je prva izgrađena elektrana La Rance (240MW) u Francuskoj (1966.). Koristi razliku plima-oseka od 12 m, što je gotovo svjetski rekord (rekordna razlika nivoa je u zaljevu Fundy u Kanadi i iznosi 17 m). U svijetu postoji svega par desetina lokacija na kojima bi se eventualno mogle izgraditi ovakve elektrane (trenutno je u fazi pripreme 21 postrojenje u 10 država) i mada se o njima može dosta pročitati čak i u energetskim udžbenicima, radi se zapravo više o zanimljivosti i eksperimentalnom značaju, nego o stvarnom potencijalu. Uz to, pregrađivanjem zaljeva stvaraju se značajniji ekološki poremećaji. Druga dva vida teorijski više obećavaju, ali problemi sa prijenosom struje kao i tehnički problemi izgradnje, upravljanja i kontrole, drže ove izvore "na dugu štapu". Praktično mali značaj ovog izvora energije, u BiH se, iz poznatih razloga, može dodatno umanjiti i potpuno zanemariti. (instalirani kW od 3 000 do 20 000\$)

### g) Energija sagorijevanja selektiranog otpada

Proces dobivanja električne energije sagorijevanjem selektiranog otpada dosta je *skup*, naročito kada se radi "na veliko", ali ovdje se "jednim udarcem ubijaju dvije muhe". Rješavamo se nepoželjnog otpada i proizvodimo struju, ali pri tome se *zagađuje okoliš*, naročito zrak. S druge strane, dobiva se na

prostoru i smanjuje zagađenje zemljišta i vode kroz zemljište. Očigledno se radi o procesu koji će se primjenjivati u skoroj budućnosti, ali njegova prednost više leži u eliminiranju tj. smanjenju količina čvrstog otpada nego u koristi od proizvodnje struje.

#### h) Gorivne ćelije

Radi se o elektrokemijskom uređaju sličnom bateriji, koji kao "gorivo" koristi vodik, a nekad i druge supstancije kao amonijak, alkohol i neke druge ugljikohidrate. Tihe su, nemaju pokretnih dijelova, ne troše se (troši se samo gorivo) i ne gube energiju na toplotu. Za sada su preskupe, razmjerno male i gotovo isključivo eksperimentalnog značaja (koriste npr. se u svemirskim postajama). Međutim, one nisu izvor energije, već samo način efikasnijeg korištenja goriva (od kojih se neka ne bi ni mogla koristiti na drugi način).

#### i) Nuklearna fuzija

To je daleko učinkovitiji način od fisije, koja se danas koristi na postojećim nuklearkama. *Neobnovljiv* je, ali dugotrajan izvor. Tehničke poteškoće još nisu prevaziđene, a postoji i niz problema etičke prirode (zbog mogućnosti korištenja u ratne svrhe, kao i otpora javnosti). Ne bi se moglo reći koliko je realna primjena fuzije u proizvodnji struje u budućnosti. Za sada se u zvaničnim izvještajima ne barata sa značajnijim udjelom ovoga vida proizvodnje u doglednoj budućnosti. U slučaju da se, iz nekih danas nepoznatih razloga, primjena solarne energije ne bude odvijala predviđenom brzinom, moglo bi se očekivati intenziviranje istraživanja u smislu stavljanja kontrolirane atomske fuzije u službu proizvodnje struje.

#### j) Ostali izvori

Ovdje bismo mogli ubrojiti izvore koji se mogu zamisliti, ali smo još predaleko od njihove praktične primjene. Korištenje energije groma i razlika električnog potencijala u zraku i zemlji bile su ideje Nikole Tesle, koji je navodno bio blizu otkrivanja načina iskorištenja ovakvih izvora. Smatra se da je u svome eksperimentalnom pokušaju da bežično pošalje radio valove iz Amerike u Europu Tesla (tajno) htio pokušati također bežično transportirati energiju. Eksperiment je financirala američka banka Morgan. Tesla je gradio veliki toranj za transmisiju i znatno kasnio sa realizacijom, navodno zbog tajnog plana da ga iskoristi i za prijenos energije, za što nije imao zvanična sredstva. Kako je u odašiljanju radiovalova prestignut, radovi na eksperimentu su obustavljeni, zbog prekida financiranja. Tesla je navodno htio uvjeriti Morgana kako će riješiti opskrbu strujom na daljinu i besplatno (naime svaki bi korisnik mogao – slično otvaranju slavine – doći do energije koja se već nala-

zi u okolišu). Morgan je pak, navodno zbog očevodne neprofitabilnosti takvog pothvata i nemogućnosti naplaćivanja usluga, obustavio svaku financijsku potporu. Tesla, koji je smatrao da ima rješenje "na dohvata ruke", nije ga uspio za života realizirati. Među pronađenim dokumentima u Teslinoj zaostavštini bilo je takvih naznaka, ali nedovoljno razrađenih da bi se mogle dalje razvijati bez doprinosa takvog genija kakav je on sam bio. Mogućnosti koje su dotaknute njegovim istraživanjima do danas nisu razrađene na način koji bi pokazao praktičnu primjenljivost, ali ideje i dalje raspaljuju maštu istraživača širom svijeta. Ipak, sve još uvijek spada u domen znanstvene fantastike.

### 4. Hidroenergija, okoliš i održivi razvoj

Razvoj kakav danas poznajemo i kakav će sigurno biti u narednih 50 godina nemoguće je zamisliti bez ogromnih količina energije. Štoviše, nastavit će se porast potreba za energijom (kako je opisano u 2. poglavlju) i utrošiti će se u tome periodu. Fosilna goriva i neobnovljivi izvori danas pokrivaju ogromnu većinu svjetskih potreba. Iako će se njihov udio u daljoj budućnosti smanjiti, to se smanjenje ne predviđa barem za narednih 30 godina. Prema tome, razvoj u tome periodu teško da se može nazvati održivim. To ne znači odustajanje od održivog razvoja, već naprotiv, potrebu za intenziviranjem akcija koje će nas brže dovesti tome cilju.

U svijetu i kod nas u modi je velika medijska i javna kampanja, gotovo hajka, na hidroelektrane sa akumulacionim jezerima, koja dostiže razmjere tvrdnje da su HE neprijatelj br.1 okolišu. Interesantno je uočiti da se ni izbliza tolika briga ne ispoljava prema recimo: nevjerovatnom broju automobila (u našem slučaju najčešće neispravnog sagorijevanja), nečuvanim razmjerima proizvodnje plastičnih kesa, boca i druge neuništive ambalaže za jednokratnu upotrebu, koja dobrim dijelom završava u rijekama; zatim prema termoelektranama pa i bilo čemu što je na naftni pogon. Često se kaže "Rijeke su naše najveće prirodno bogatstvo". Zašto su onda prepune smeća i svakojakih zagađenja?

Najčešći argument ljutih protivnika (novih) hidroelektrana jeste da je razvijeni "zapad" uvidio koliko su HE "loše" i da je danas tamo nemoguće izgraditi hidroelektranu. Za većinu visokorazvijenih zemalja zaista važi tvrdnja da neće biti novih hidroenergetskih projekata. Zašto? Zato što su u tim zemljama već davno izgrađene sve hidroelektrane koje su se mogle izgraditi. Pogledajmo preglednu tabelu (2) izgrađenosti hidroenergetskog potencijala u izabranim zemljama (izabrane su najrazvijenije europske zemlje, koje imaju ili značajan potencijal ili veliko učešće hidroenergije u EES, kao i nekoliko van-europskih razvijenih zemalja i onih u kojima je hidroenergija najvažniji izvor u EES) [3].

	Bruto potencijal (TWh/god)	Tehnički iskoristivo (TWh/god)	Ekonomski iskoristivo (TWh/god)	Instalirano (TWh/god)	Iskorištenost potencijala (%)	Učešće HE u EES (%)
<b>Njemačka</b>	120	25	20	24.8	<b>124.0%</b>	4.0%
<b>Latvija</b>	7.2	4	3.9	4.3	<b>110.3%</b>	75.3%
<b>Francuska</b>	200	72	71.5	72	<b>100.7%</b>	15.0%
<b>Švicarska</b>	144	41	35.5	34.5	<b>97.2%</b>	56.0%
<b>Belgija</b>	0.6	0.45	0.4	0.385	<b>96.3%</b>	0.5%
<b>Italija</b>	150	69	54	51.6	<b>95.6%</b>	19.5%
Ukrajina	45	23.5	19	15.9	83.7%	9.2%
Japan	717.6	135.5	114.3	95.6	83.6%	9.0%
Albanija	40	15	6.4	5.3	82.8%	<b>98.0%</b>
USA (SAD)	4485	528	376	309	82.2%	9.0%
Slovačka	10	6.6	6	4.75	79.2%	17.5%
Irska	1.4	1.18	0.95	0.725	76.3%	5.0%
Švedska	200	130	90	68.3	75.9%	47.7%
Paragvaj	111	85	68	51.3	75.4%	<b>99.5%</b>
Austrija	150	54	53.7	37.5	69.8%	65.0%
Kanada	1332	981	536	350	65.3%	61.3%
Norveška	560	200	180	116.5	64.7%	<b>99.4%</b>
Finska	46.5	20	19.7	12.2	61.9%	19.0%
Slovenija	12.5	8.8	6.1	3.7	60.7%	29.6%
Hrvatska	20	12	10.5	6.1	58.1%	46.0%
SCG	?	27	>27	12	44.4%	32.0%
<b>BiH</b>	<b>68.6</b>	<b>24</b>	<b>22</b>	<b>8.9</b>	<b>40.5%</b>	<b>48.0%</b>
<b>Europa</b>	<b>3220</b>	<b>1225</b>	<b>775</b>	<b>567</b>	<b>73.2%</b>	

Tabela 2

Zanimljivo je pogledati vrh tabele gdje se nalaze Francuska, Njemačka, Italija i Švicarska (Latvija i Belgija su ovdje manje zanimljive, zbog simboličnih hidro-resursa). Njemačka i Francuska izgradile su postrojenja kojima iskorišćuju gotovo sav tehnički iskoristiv potencijal, premašujući ono što je ocijenjeno kao ekonomski isplativo. Ove dvije "bivše velesile" ostale su "kratkih rukava" u raspodjeli kontrole nad svjetskim tokovima nafte, koja se odigravala krajem devetnaestog i početkom dvadesetog stoljeća [4]. U posljednjih 100 godina obje ove zemlje grčevito su se borile da minimiziraju svoju ovisnost od (anglo-američke kontrole) nafte, barem kada je proizvodnja struje u pitanju. Nije slučajno da su baš ove dvije države jedine u Europi odlučno bile protiv američke okupacije Iraka.

Struktura francuske proizvodnje struje 2000. godine bila je 395 TWh iz nuklearke, 72 TWh hidro i 50 TWh termo. Zbog veće kontrole SAD nad Njemačkom nego nad Francuskom, izraženijeg javnog otpora nuklearkama, i slabijeg hidro-potencijala, Njemačka je znatno više ovisna o nafti. Međutim, očigledno je da bi obje ove zemlje gradile nove hidroelektrane kada bi za to imale uvjeta.

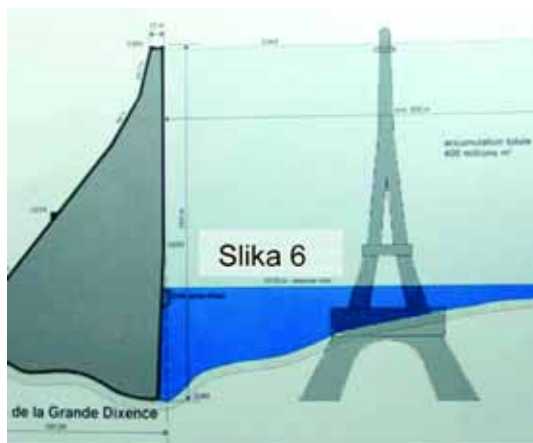
Ako analiziramo i druge razvijene zemlje, uočit ćemo korelaciju između stupnja razvijenosti ekonomije (standarda) i izgrađenosti hidropotencijala. BiH

je pri dnu europske ljestvice sa izgrađenošću od svega 55% od europskog prosjeka. Čak blago zaostaje za svim susjednim državama, iako ima značajno veći potencijal.

Zanimljivo je još da jedna tako velika zemlja kao što je Brazil podmiruje preko 95% svojih potreba za strujom iz hidroelektrana. Norveška praktično svu svoju struju proizvodi u HE. Opređeljenje obje ove države je da se, bez obzira na svjetske trendove, i ubuduće oslanjaju prvenstveno na hidroenergiju.

Još jedna zanimljivost je da su alpske, rekordno visoke, brane svojevrsna turistička atrakcija u Švicarskoj te da su Švicarci u velikoj većini ponosni na njih. Primjer su najviša betonska brana na svijetu (Slika 6) Grande Dixence (285 m) i lučna brana Mauvoisin (250 m) obje u blizini gradića Sion (kanton Wallis). Na lokacijama brana nalaze se hoteli, restorani, žičare i kino-sale, gdje se prikazuju filmovi o izgradnji, okolišu i sl., te dućani sa suvenirima i drugi turistički objekti, a posjećuju ih stotine turista svakog dana. Čak je i talijanska brana Vaiont (najviša svjetska lučna brana sjeverno od Venecije, koja je van funkcije, jer je bila uzrokom tragične nesreće 1963. godine) također velika turistička atrakcija.

U ekonomskom smislu, kod država koje imaju odgovarajuće prirodne resurse, hidroelektrane su odigrale odlučujuću razvojnu ulogu. Odgovor na na-



gle promjene potrošnje u nekom EES i pokrivanje vršnih opterećenja jedino se može pružiti akumulacijskim i pumpnim hidroelektranama, zbog njihove (jedinствене) sposobnosti stavljanja u puni pogon u vremenu reda veličine od jedne minute. Ako izuzmemo diesel-agregate koji su relativno mali, najbliže tome došle su termoelektrane sa pogonom na zemni plin (ali ovdje se radi o satima potrebnim da se dostigne nazivna snaga). Kao i kod drugih termoelektrana, pored zagađenja zraka, stavljanje van pogona kod pada opterećenja, spojeno je sa velikim gubicima (toplotne) energije. Npr. u Iranu gdje je, zbog velike raspoloživosti, nafta glavni izvor za proizvodnju struje, višesatni ispadi dijelova mreže svakodnevna su pojava. Ovo je prvenstveno zbog skromnog udjela hidroelektrana u proizvodnji struje. Ova zemlja, i pored velikog naftnog bogatstva, ima intenzivan program izgradnje hidroelektrana.

Ako tražimo alternative hidroenergiji, možemo vidjeti da, s jedne strane alternativni izvori barem narednih 30-tak godina neće biti spremni zamijeniti HE, dok se ostali konvencionalni izvori, bazirani na fosilnim gorivima, doimaju većim zlom. Uz to je teško danas naći izvor tako fleksibilan kod pokrivanja promjenljivih opterećenja u potrošnji struje. U EZ zemlje koje (gotovo da) nemaju hidroenergije (kao Nizozemska) prinuđene su svoju vršnu potrošnju pokrivati izuzetno skupom vršnom energijom iz uvoza. Čini se dakle da će učešće konvencionalnih "velikih" akumulacijskih elektrana u bilo kom EES i nadalje ostati značajno. Međutim, pristup njihovom planiranju, izgradnji i upravljanu morat će se drastično promijeniti, kao što se u ostalom već i mijenja, ali nešto sporije nego što bi moralo.

Naime, danas smo svjesni mnogih okolišnih nedostataka velikih hidroelektrana, o kojima smo naučili iz brojnih primjera iz prošlosti (Aswan kao drastičan primjer u svijetu ili Jablanica kao naš domaći primjer). Akumulacijske hidroelektrane povezuju se sa visokim branama i akumulacijskim jezerima koja se formiraju izgradnjom tih brana.

Visoke brane nisu same sebi svrha, već predstavljaju način postizanja optimalnog korištenja vo-

dnih resursa (obrana od poplava, akumuliranje voda za sušne periode, vodoopskrba, navodnjavanje, plovidba, ribogojstvo, rekreacija i naravno proizvodnja struje). Akumulacijska jezera predstavljaju osnovicu rješenja vodoprivrednih problema u svakom slivu. Pri tome je važno da ona zaista imaju višenamjenski karakter za sve gore pobrojane namjene, koje su primjenljive u danim uvjetima.

Sa stanovišta većine vodoprivrednih korisnika do nedavno se smatralo da je povoljnije što je akumulacija veća, odnosno što je veći tzv. stupanj izravnjanja protoka. Međutim, jako velike akumulacije, zbog dugotrajnog zadržavanja vode, sklone su procesu eutrofikacije, pa negativno utječu na kvalitetu vode, temperature vode, režim nanosa i povećane emisije CO<sub>2</sub>. Koliko je akumulacija "velika" i efikasna u reguliranju protoka ovisi o ukupnoj zapremini vode koja protekne kroz nju u toku godine, i unutar-godišnjoj raspodjeli protoka. Umjesto pojma "stupanj izravnjanja" koji ima vodoprivredni karakter, danas se sve češće koristi "vrijeme zadržavanja" što je više okolišni termin. Dok je za vodoprivredu (pa i hidroenergetiku) što veći stupanj izravnjanja povoljniji, za okoliš se obično smatra da je što kraće vrijeme zadržavanja vode povoljnije. Generalno uzevši, danas se u svijetu smatra da su okolišno prihvatljiva vještačka jezera u kojima se voda ne zadržava duže od 3-4 mjeseca. Kada se ovo prevede na vodoprivredni jezik, to znači stupanj izravnjanja od 25-33% (u našim uvjetima to pada u kategoriju između sezonskog i godišnjeg izravnjanja – ovisno o karakteru vodotoka). Akumulacije sa tzv. višegodišnjim izravnjanjem (>70% na BiH vodotocima), smatraju se nepovoljnim po okoliš i morale bi se kod planiranja izbjegavati (odnosno zamijeniti manjim) i ukoliko je ikako moguće bez njih riješiti vodoprivredne probleme.

U svijetu je danas registrirano gotovo 40 000 tzv. visokih brana, od čega je polovica u Kini. Većina ovih brana uspješno je implementirana, ali zabilježeni su i problemi koji se mogu svrstati u kategorije od "okolišnih problema" do "promašaja" (gubitka funkcije) pa i "katastrofa".

Od 40 000 brana, do 1990. godine u svijetu su registrirana 142 slučaja koji su svrstani u kategoriju "promašaja" [11] i [12]. Među njima je i naša brana Idbar nizvodno od Konjica, koja nije srušena, ali nikad nije stavljena u funkciju zbog nestabilnosti desnog boka (kako nije bio predviđen valjan temeljni ispušt, prilikom probnog punjenja jezera, voda se morala ispustiti kroz eksplozivom napravljen otvor). Treba napomenuti da zbog zatvorenosti režima u Kini i bivšem SSSR nema podataka o promašajima u ovim velikim zemljama pa je stvarni broj promašenih projekata barem dvostruko veći, ali još uvijek ispod 1%.

Kada su promašaji u pitanju, najčešća zabrinutost vezana je za rušenje brana. Najveći neprijatelj brana je voda i najčešći razlog rušenja je neadekvatno dimenzioniranje preljevnih organa i operacioni

problemi sa preljevima (34%), problemi sa fundiranjem ili stabilnošću kosina (30%) te neadekvatan tretman procjeđivanja vode kroz temelje (20%). Jedan od ova tri razloga odgovoran je za 84% havarija dok preostalih 16% otpada na druge probleme [12]. Zanimljivo je da su značajniji problemi uslijed seizmičnosti, odnosno zemljotresa, zabilježeni samo kod dvije brane u svijetu, ali da ni jedna od njih nije doživjela havariju. Pa ipak, najčešća zabrinutost javnosti, kada su brane u pitanju, vezana je upravo za opasnost od zemljotresa.

Okolišni utjecaji hidroelektrana sa visokim brana, prvenstveno njihovih jezera, mogu se podijeliti u 3 osnovne grupe faktora:

▪ **Fizički faktori:**

- Količina vode i kvaliteta površinskih voda;
- Podzemne vode;
- Klimatski faktori i kvaliteta zraka (mikroklima, CO<sub>2</sub> emisije);
- Geologija i seizmologija;
- Erozija, zasipanje i zamućivanje (režim nanosa u slivu uzvodno i u koritu nizvodno); te
- Pejzaž.

▪ **Biološki faktori** (promjena bio-vrsta):

- Riblji fond;
- Vodni eko-sistemi; te
- Biljni i životinjski svijet (kopneni).

▪ **Socio-ekonomski faktori:**

- Ljudske aktivnosti - vrijednosti (vodoopskrba, poljoprivreda, plovidba, kontrola poplava, eksploatacija minerala, agro-industrija, transport – putovi i željeznice, korištenje zemljišta);
- Vrijednosti kvalitete života (**raseljavanje**, zdravlje, rekreacija i estetika te arheološki i historijski resursi - naslijeđe); te
- Gubitak zemljišta potapanjem.

U oba BiH entiteta doneseni su okolišni zakoni, usklađeni sa europskim standardima, kojima se propisuje obaveza izrade studije utjecaja na okoliš (PUO), među ostalim i za sve hidroelektrane (uključujući i postojeće). Ovakvim studijama moraju se identificirati problemi, uspostaviti mjere upravljanja okolišem i osmatranje, kao i mjere ublažavanja i kompenzacije negativnih utjecaja.

Npr., odštete kod eksproprijacija bi morale biti prihvatljive za stanovništvo koje se mora raseliti. To ne znači samo finansijski prihvatljive nego i socijalno, nadoknađivanjem izgubljenog zemljišta, zaposlenja i sl. Pored ovoga, uobičajeni "vodoprivredni minimumi" (količina vode koja se mora ispuštati u vodotok za održavanje flore i faune i obezbjeđivanje količina drugim korisnicima) morat će se redefiniirati u "obavezni garantirani protok", koji će bez sumnje biti veći od dosadašnje prakse, a čije ispuštanje utječe na smanjenje proizvodnje. U cilju očuvanja prihvatljive kvalitete vode, planirane enormno velike

akumulacije zamijenit će po 2-3 manje, čime će opasti "vršnost" proizvedene struje pa time i njena rentabilnost. Nadalje, objekti kao što su vještačka mrjestilišta, riblje staze, selektivni zahvati-ulazne građevine, kompenzacijski bazeni i sl. postat će uobičajeni objekti novijih hidroelektrana. Pored ovakvih, težimo li zaista održivom razvoju, biće potreban niz drugih mjera, koje potpuno opravdavaju negativna iskustva iz prošlosti.

Ovo praktično znači dodatne troškove i smanjenje dobiti u cilju poboljšanja uvjeta u okolišu, što se ranije u velikoj mjeri zanemarivalo. Kao rezultat, u cilju okolišne održivosti, troškovi izgradnje će znatno porasti i utjecaj na ekonomičnost ovakvih projekata će rezultirati odgodom realizacije nekih od njih za vremena kada će, poskupljenjem drugih izvora, ponovo postati prihvatljivi.

Razvijene zemlje napravile su sve svoje hidroelektrane u vremenima u kojima se nisu morali poštovati čak ni znatno blaži okolišni uvjeti. Zemljama u razvoju predstoji izgradnja uz puno strože uvjete. Gotovo da možemo vizualizirati utrku na 100 m između izgadnjenle djece u teškoj odjeći, vezanih ruku i nogu (zemlje u razvoju) sa profesionalnim trkačima, u najmodernijoj atletskoj odjeći (razvijene industrijske zemlje), gdje ovi potonji imaju startnu prednost od 80 m. "Važno je učestvovati"!?

## 5. Situacija u Bosni i Hercegovini

Prosječne godišnje padavine na teritoriji BiH su oko 64 km<sup>3</sup> od čega vodotocima otekne oko 59% ili 38 km<sup>3</sup>. Iza 26 brana (5 nasutih, 20 betonskih i 1 zidana), formirana su jezera ukupne zapremine od 3,85 km<sup>3</sup> ili oko 10% zapremine ukupnog oticanja. Do rata su u pogonu bile 22 hidroelektrane ukupne snage 2 374 MW i teorijske godišnje proizvodnje od oko 8 900 GWh. Od ovoga broja, 15 je konvencionalnih "velikih" hidroelektrana, 2 pumpno-reverzibilne i 5 "malih". Ukupno je pet elektrana (885 MW), koje su zajedničke sa susjednim državama.

BiH se po svom hidro-energetskom potencijalu nalazi na jedanaestom mjestu u Evropi (ne računajući evropski dio Rusije) iza Norveške, Švedske, Francuske, Italije, Austrije, Islanda, Španjolske, Švicarske, Rumunjske i SCG a ispred Njemačke, Portugala, Finske i Ukrajine, koje su joj vrlo blizu. Većina drugih evropskih zemalja znatno zaostaje za BiH.

Godišnja potrošnja struje u BiH je pala sa 13,8 TWh (1991. godine, proizvodnja sa HE bila je 5250 GWh) na oko 11 TWh (2000. god.). Očekivani godišnji porast potrošnje je 8%. Proizvodnja iz hidro i termo izvora danas je približno 50%-50%, dok je u predratnim godinama udio hidroenergije varirao od 25 do 40%. Oko 10% proizvedene struje izvozi se susjednim državama, čije su potrebe za uvozom oko 4 puta veće od toga.

Ukupna snaga pumpno-reverzibilnih elektrana je 660 MW. Ukupna snaga hidroelektrana u BiH sa pu-



nom izgrađenošću mogla bi iznositi između 5 600 i 6 800 MW (6 125 MW prema Okvirnoj vodoprivrednoj osnovi BiH iz 1994. godine). Iskoristivi hidropotencijal cijeni se na 22 TWh godišnje a današnja izgrađenost je oko 40%.

Hidroelektrane koje su bile u pogonu do 1991. godine su:

Slapovi na Uni (*sliv. Une*); Jajce I, Jajce II i Bočac (*sliv Vrbasa*); Bogatići i Hrid (*sliv Bosne*); Višegrad<sup>4</sup>, Bajina bašta<sup>4,5</sup>, Zvornik<sup>4</sup>, Mesići, Vlasevica i Tišća (*sliv Drine*); Orlovac<sup>4</sup> (*sliv Cetine*); Jablanica, Grabovica, Salakovac, Mostar i Rama (*sliv Neretve*); Trebinje I, Trebinje II, Dubrovnik I<sup>4</sup> i Čapljina<sup>5</sup> (*sliv Trebišnjice*). [10]

U međuvremenu je izgrađeno i pušteno u pogon 10-15 novih MHE, tako da je ukupna instalirana snaga povećana za dodatnih oko 30 MW i proizvodnja za oko 150 GWh godišnje.

Neizgrađeni potencijal malih hidroelektrana je oko 2 500 GWh godišnje. Studijama iz perioda 2000-2002. identificirano je oko 140 malih elektrana od 1 do 5 MW. Zakonom iz jula 2002. godine, država garantira cijenu kWh iz malih hidroelektrana (snage do 5 MW) od 7,74 feninga, čime su stvoreni uvjeti za ostvarenje planova o instalaciji od po 10-tak novih MHE (prosječne snage od oko 1,5 MW) svake godine.

Pored Elektroprivreda nove projekte planira i vodi još nekoliko privatnih poduzeća iz oba entiteta, kao i inozemni koncesionari. Iz nekog razloga, većina njih nije voljna dati niti osnovne podatke o elektranama u pogonu, tako da autori nisu uspjeli, za krat-

ko vrijeme istraživanja, napraviti ažuriranu sliku stanja. Čini se da je sada u BiH u operaciji ili pred puštanjem u pogon oko 15-20 MHE ukupne snage od oko 40-50 MW. U zadnjih 5 godina, samo u Federaciji BiH, u pogon su puštene ili će to biti u narednih nekoliko mjeseci (nove ili rekonstruirane): Peć-Mlini, Una-Kostela, Slapovi na Uni (ustvari velika HE snage podignute sa 6 na 8,5 MW), Krušnica, Modrac, Snježnica, Ljuta, Fojnica, Osenica, Plava rijeka, Jezernica, Botun, Mujakovići, Majdan i druge, a ima ih dosta u po-odmakloj fazi završenih projekata i ugovaranja radova kao npr.: Moščani, Prisać1, Vitez1 i popriličan broj drugih.

Korisno bi bilo imati ažuriranu sliku presjeka stanja za cijelu BiH i ne vidimo razlog zašto bi ti podaci trebali biti (tretirani kao) tajni. Ovakva praksa podsjeća na uobičajenu (nepotrebnu) "tajnovitost", koja je pratila velike projekte do rata i koja je dijelom dovela do averzije velikog dijela javnosti prema hidroelektranama. Ukoliko se ovakva praksa nastavi kod MHE, mogao bi se ubrzo očekivati sličan odnos javnosti i prema njima jer, kao što smo vidjeli, ni one nisu potpuno neškodljive za okoliš. Prirodno će se postaviti pitanje da, ako se podaci kriju, možda nešto nije u redu s njima!

Naime, značajnim razlogom "neprijateljstva" javnosti prema hidroelektranama može se smatrati osjećaj te javnosti da se radi o nečem tuđem, od čega drugi (manjina) imaju korist, a većina štetu. Nije se radilo ama baš ništa na podizanju svijesti javnosti i promociji. Pristup tim objektima bivao je (i još je uvijek) zabranjen, kao i slikanje, tako da ljudi to doživljavaju kao nepoželjno i nametnuto strano tijelo. Ove zabrane važe čak i za projektante tih istih objekata nakon njihovog puštanja u pogon. U svim državama EU, gdje su autori posjećivali brojne hidroelek-

<sup>4</sup> Dijele se sa susjednim državama

<sup>5</sup> Pumpno-reverzibilna HE

	Broj postrojenja		Snaga (MW)			Proizvodnja (GWh)		
	Predviđeni	Izgrađeni	Predviđeni	Izgrađeni	%	Predviđeni	Izgrađeni	%
<b>Crnomorski sliv</b>								
Sava	2	0	55.5		0.0%	283		0.0%
Una	19	1	392.1	6 (8.5)	1.5%	1567	27.4	1.7%
Vrbas	60	3	616.9	189	30.6%	2428	694	28.6%
Bosna	42	2	365.8	8.3	2.3%	1594	47.2	3.0%
Drina	97	6	1838.6	609.1	33.1%	7108	2635.3	37.1%
<b>Ukupno</b>	<b>220</b>	<b>12</b>	<b>3268.9</b>	<b>812.4</b>	<b>24.9%</b>	<b>12980</b>	<b>3403.9</b>	<b>26.2%</b>
<b>Jadranski sliv</b>								
Neretva	26	5	1548	697.4	45.1%	5048	2768	54.8%
Trebišnjica	8	4	1112.4	747	67.2%	3430	2303	67.1%
Cetina	4	1	197	117	59.4%	594	425	71.5%
<b>Ukupno</b>	<b>38</b>	<b>10</b>	<b>2857.4</b>	<b>1561.4</b>	<b>54.6%</b>	<b>9072</b>	<b>5496</b>	<b>60.6%</b>
<b>Sveukupno</b>	<b>258</b>	<b>22</b>	<b>6126.3</b>	<b>2373.8</b>	<b>38.7%</b>	<b>22052</b>	<b>8899.9</b>	<b>40.4%</b>

Tabela 3: Pregled izgrađenosti hidroelektrana po slivovima, koje su bile u pogonu do 1991. godine [10]

trane, praksa je upravo suprotna. One su otvorene za javnost, domaće i strane turiste, učenike itd. Izloženi su panoji koji daju sve važnije podatke i zanimljivosti, mogu se kupiti brošure i suveniri, može se fotografirati do mile volje. Uz to se prezentiranjem validnih činjenica podiže svijest, da bi struja bez njih bila skuplja a prekidi opskrbe strujom češći. Na taj način ljudi se oslobađaju straha od nepoznatog, shvaćaju koja je njihova osobna korist i doživljavaju ove objekte kao "svoje".

Jedan od važnijih argumenata protivnika izgradnje novih hidroenergetskih objekata je da BiH ima "višak" energije jer "izvozi" struju te joj "nove HE nisu potrebne". Valja odmah naglasiti da BiH ima "manjak" energije jer uvozi naftu i plin (koje nečim treba platiti), a da je "višak" struje (čiji se dio izvozi) većim dijelom zbog desetkovane industrijske proizvodnje što je posljedica rata i poratne ekonomske i političke preobrazbe. Ovakvo stanje ne može trajati dugo i potrebe za strujom u BiH će neminovno rasti jer, ako ne bude tako, onda BiH nije na dobrom putu ka eko-

nomskom oporavku. Pored ovoga treba imati u vidu da BiH ima deficite u vanjskoj trgovini u gotovo svim oblastima te da "višak" u jednoj (u ovom slučaju - struja) nikako ne može biti smatran "nepotrebnim" nedostatkom! U trgovinsko-gospodarskoj jednadžbi negdje mora biti "viška" kojim bi se pokrili brojni "manjkovi".

Kako je ranije rečeno, glavni problem kod prihvaćanja hidroelektrana su visoke brane i vještačka jezera koja one tvore. Sa stajališta očuvanja okoliša, tu je najvažnija činjenica da, koliko god bile dugotrajne, brane nisu vječne, pa se nameće pitanje održivosti. Pored ovoga, spomenutim zadržavanjem, voda u pravilu gubi na kvaliteti. S druge strane, u očima javnosti najveći problemi su u gubitku zemljišta (za stanovanje, poljoprivredu i sl.) i pejzaža (za rekreaciju). Pojednostavimo li sve glavne negativne utjecaje akumulacija (odnosno hidroelektrana) oni se svode na veličinu vještačkih jezera tj. zauzetu površinu i zapreminu prostora. U tabeli 4 dat je pregled vještačkih jezera u BiH [7]:

R. br.	Naziv	Vodotok	Sliv	Zapremina 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Površina (ha)	Namjena
Crnomorski sliv (sliv rijeke Save)						
1.	Jajce II	Vrbas	Vrbas	3.5	47	E
2.	Bočac	Vrbas	Vrbas	52.7	233	E
3.	Modrac	Spreča	Bosna	88.0	1675	V.K.O
4.	Sniježnica	Rastošnica	Bosna	20.6	103	V
5.	Bajina bašta	Drina	Drina	335.0	1030	E.K.V.O.
6.	Zvornik	Drina	Drina	89.0	1380	E.
7.	Višegrad	Drina	Drina	161.0	890	E
8.	Hazna	Hazna	N.S.Save	0.7	*12	K.R.
9.	Vidara	Vidara	N.S.Save	2.9	46	K.V.
10.	Drenova	Vijaka	N.S.Save	9.5	132	K.V.O
<b>Sliv Save</b>				<b>762.90</b>	<b>5548</b>	
Jadranski sliv						
1.	Jablanica	Neretva	Neretva	318.0	1440	E.K.N.O
2.	Grabovica	Neretva	Neretva	21.10	134	E
3.	Salakovac	Neretva	Neretva	68.1	370	E
4.	Mostar	Neretva	Neretva	10.90	161	E
5.	Rama	Rama	Neretva	487.0	1550	E.K.N.O
6.	Svitava	Krupa	Trebišnjica	44.0	1000	E.K
7.	Tribistovo	Ružički potok	Trebišnjica	5.0	70	V
8.	Klinje	Musnica	Trebišnjica	1.7	26	N.V
9.	Alagovac	Alagovac	Neretva	3.6	*70	V
10.	Vrba	Vrba	Trebišnjica	14.6	77	V
11.	Bilečko jezero	Trebišnjica	Trebišnjica	1280.0	2764	E.K.N.O
12.	Gorica	Trebišnjica	Trebišnjica	15.0	171	E
13.	Popovo polje	Trebišnjica	Trebišnjica	5.4	86	E.V.N
14.	Mandak	Mandak	Cetina	1.8	35	K.V.N
15.	Lipa	kanal Brda-Lipa	Cetina	2.3	230	E.V.N
16.	Buško Blato	Ričina	Cetina	800.0	5670	E.K.N
<b>Sliv Jadranskog mora SVEGA (oba sliva)</b>				<b>3078.5</b>	<b>13854</b>	
				<b>3841.4</b>	<b>19402</b>	

kazalo:

K = kontrola poplava  
E = energetika

N = navodnjavanje  
V = vodoopskrba

O = povećanje malih voda  
R = rekreacija

Tabela 4

Pored gore pobrojanih postojećih akumulacijskih jezera, raznim vodoprivrednim osnovama, planirano je još 35 akumulacija ukupne zapremine od  $3\,473 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  i površine od 14 340 ha. Od toga je u crnomorskom slivu 24 jezera ( $\Sigma V = 2\,352 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ,  $\Sigma P = 10\,070 \text{ ha}$ ), a u jadranskom 11 ( $\Sigma V = 1\,120 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ,  $\Sigma P = 4\,267 \text{ ha}$ ) [7].

Većina ovih planiranih akumulacija koristit će se, između ostalog, za proizvodnju struje. U nekim slučajevima došlo bi do potapanja zemljišta i dijelova vodotoka koji imaju posebne stambene, poljoprivredne, pejzažne, ekološke i druge vrijednosti. Gotovo sva planska dokumentacija, na osnovu koje su zacrtane ove akumulacije, starija je od 15 godina. U međuvremenu su se mnogi kriteriji i poimanja značajno promijenili, pa se čini uputnim najprije napraviti nove vodoprivredne osnove (bolje reći Planove upravljanja riječnim bazenima, prema Okvirnoj direktivi o vodama EU), nove studije iskoristivosti neiskorištenih dijelova vodotoka, nove prostorne planove i sl., kako bi se, uzimajući u obzir sve dostupne podatke, standarde i kriterije, na osnovu današnjih činjenica valjano moglo opredijeliti za najpovoljnija održiva rješenja.

Kao što više nije prihvatljivo graditi prevelike akumulacije (u relativnom smislu, u odnosu na protok), tako je i teško prihvatljivo čitave vodotoke potopiti i pretvoriti u jezerske stepenice. Iako turistička aktivnost kao što je npr. rafting nema nikakve ekonomske šanse u usporedbi sa proizvodnjom struje na istom potezu rijeke, to ne znači da kompletnu rijeku treba potopiti i uskratiti mogućnost prakticanja raftinga. S druge strane, to ne bi smjelo značiti da se ništa ne bi trebalo graditi, jer kao što smo vidjeli, struje će nedostajati, a alternative hidroelektranama su uglavnom skuplje, "prljavije" i manje fleksibilne.

Ako imamo jedinstveno lijep kanjon, hajdemo ga pokušati sačuvati, jer ako danas korisnike te ljepote (posjetioce) brojimo stotinama, možda će to sutra biti desetine tisuća. Ali isto tako, nemojmo neselektivno napadati svaki novi projekt, jer će se prije ili poslije (bolje prije nego poslije) veći dio preostalih hidropotencijala morati izgraditi. Izradom nove planske dokumentacije, uvažavajući sve interese (ne graditi ništa ne može biti ničiji ozbiljan interes), mogla bi se naći i rješenja prihvatljiva većini. Bude li se u nedogled otežalo sa realizacijom projekata, ostat ćemo bez potrebnih znanja i operative koje još uvijek posjedujemo u BiH. Kada konačno dođe vrijeme izgradnje nekih od planiranih postrojenja, morat ćemo tražiti (pre)skupu inozemnu pomoć.

Iz siromaštva nas ne mogu izvući neiskorišteni (mrtvi) prirodni resursi, samo unapređenim i racionalnim upravljanjem, prirodni resursi BiH dobivaju vrijednost, koja nam je jedina šansa za put ka održivom razvoju.

## 6. Zaključci i preporuke

### Zaključci

- Potrebe za energijom u svijetu i kod nas biće u velikom porastu u narednih 50 godina;
- U doglednoj budućnosti realno se može očekivati stalno poskupljivanje a potom konačno iscrpljivanje resursa fosilnih goriva, koja su i najveći zagađivači okoliša;
- Alternativni izvori energije, kojima moramo težiti neće moći, u periodu od 50 godina, u potpunosti zamijeniti konvencionalne izvore;
- Male hidroelektrane, kao opće prihvaćen održiv i obnovljiv izvor energije igrat će veoma važnu ulogu u EES i to naročito u udaljenijim predjelima blizu izoliranih korisnika. Unatoč tome, nije realno očekivati da bi, čak i svojom potpunom izgrađenošću, one mogle potisnuti ili zamijeniti svoje velike rođake;
- Razvijene zemlje o čijem standardu često govorimo kao uzoru (poglavito: USA, Japan, Švicarska, Austrija, Italija, Njemačka, Francuska, Norveška i Švedska) izgradile su sve ili gotovo sve svoje raspoložive hidro-potencijale a Norveška i Japan ubrzano dograđuju preostali (manji) neiskorišteni dio;
- Izgrađenost hidropotencijala u BiH pri dnu je europske ljestvice uključujući i susjedne zemlje koje, zbog deficitarnosti svojih raspoloživih resursa i razvojnih planova, predstavljaju potencijalno tržište eventualnog viška proizvedene B-H struje. Proizvodnja struje jedna je od rijetkih ekonomskih oblasti u kojoj BiH (još neko vrijeme) može proizvoditi "višak";
- Hidroenergija, iako nije tako "idealna" kakvom se smatrala do prije 20-30 godina, i dalje će ostati jedan od najvažnijih izvora za proizvodnju struje i to ne toliko zbog količina koliko zbog kvalitete koja leži u jedinstvenoj fleksibilnosti kod pokrivanja vršnih potreba;
- Nove hidroelektrane morat će se graditi na okolišno prihvatljiv način, za što postoji kako znanje tako i zakonska regulativa. Postojeće hidroelektrane morat će se također, koliko je više moguće, postupno približiti zadovoljavanju novopostavljenih okolišnih kriterija;
- Postoji jasna korelacija između razvijenosti, tj. bogatstva, neke zemlje i izgrađenosti njenog hidropotencijala i drugih resursa pa nas prema tome iz siromaštva jedino može izvući unapređenje upravljanja svim prirodnim resursima.

### Preporuke

- Promocija značaja hidroelektrana, njihovo otvaranje javnosti, te pošteno obznanjivanje kako koristi tako i štetnosti, ne samo da je poželjno već je ne-



Brana Modrac kod Tuzle

Snimio: M. Lončarević

ophodno za razvoj novih hidroenergetskih objekata. Bez toga razvoja svi bismo izgubili važnu komponentu suvremenog života i morali se početi privikavati na česte nestašice struje i još češće nesetanke zbog ispada dijelova mreže;

- Potrebno je izvršiti reviziju idejnih rješenja dijelova slivova oko čije se realizacije podiže veliki otpor javnosti (npr. "Gornja Neretva", "Gornji horizonti" Trebišnjice, gornja Drina, Banja Luka i drugi). Ovo bi podrazumijevalo izrade novih studija u skladu sa okolišno održivim načelima, vodeći računa o svim zainteresiranim stranama. Na ovaj način, mogla bi se naći rješenja koja bi, iako nemaju optimalan stupanj energetske iskorištenosti, mogla zadovoljiti sve zainteresirane, čime bi se prekinula pat pozicija i stvorili preduvjeti za istinski okolišno održiv razvoj.

## 7. Literatura

1. UNDP, "World Energy Assessment – 2004 Update", New York & London, 2004.
2. International Energy Agency, "World Energy Outlook 2002", Paris, 2002.
3. Hydropower and Dams, "2001 World Atlas and Industry Guide", Sutton, Surrey, 2000.
4. F.W. Engdahl, "Stoljeće rata", Zagreb, 2000.
5. International Hydropower Association, "Hydropower into the Next Century - Proceedings", Gmunden, 1999.
6. B. Petry, P.Boeriu, IHE-Delft, "Environmental Impact Assessment – lecture notes", Delft, 1999.
7. T. Kupusović, D. Nuhić, "Vodne akumulacije u BiH - da ili ne?", Simpozij "Korištenje zemljišta/tla i vode u funkciji održivog razvoja i zaštite okoliša", Sarajevo 1998.; Posebna izdanja, Knjiga 16, ANU BiH 1999.; časopis "Vodoprivreda", Sarajevo 1998.
8. CIGB ICOLD, Committee on Public relation, "Benefits and Concerns about Dams", 1997.
9. H. Hrelja, "Vodoprivredni sistemi", knjiga, "Svjetlost" – Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Sarajevo, Institut za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Sarajevu i Građevinski fakultet Univerzitea u Sarajevu, Sarajevo, 1996.
10. JVP Vodoprivreda BiH, Zavod za vodoprivredu, Sarajevo, "Okvirna vodoprivredna osnova BiH", Sarajevo, 1994.
11. J.L. Serafim, J.M.C. Rodrigues, "Statistics of dam failures", Water Power and Dam Construction, London, 1989.
12. R.B. Jansen at al, "Advanced Dam Engineering", New York, 1988.
13. Z. Barbalić, "Uslovi za razvoj navodnjavanja u S.R. Bosni i Hercegovini", Drugi kongres o vodama Jugoslavije, Ljubljana, 1986.
14. Z. Barbalić, V. Bubica, B. Kurpjel, "Stanje vodoprivrede Bosne i Hercegovine i osnovni strateški stavovi i prijedlozi za njeno unaprijeđenje i razvoj – Izvod iz Studije", Sarajevo, 1985.
15. D. Ristić, P. Ramljak, E. Miljković, "Značaj i problemi izgradnje vodnih akumulacija u Bosni i Hercegovini", Savjetovanje o aktuelnim vodoprivrednim problemima Bosne i Hercegovine", Sarajevo, 1977.

# MOGUĆNOSTI UŠTEDE I SMANJENJA RAČUNA ZA UTROŠENU ELEKTRIČNU ENERGIJU U KOMUNALNIM PREDUZEĆIMA NA CRPNIM POSTROJENJIMA

**S**vjedoci smo da su u medijima posljednje vrijeme sve učestalije informacije o potrebi izmjene aktuelnog tarifnog sistema JP Elektroprivreda BiH kao i povećanju cijena isporučene električne energije kako za privredu tako i za obične građane.

I do sada su mnoga preduzeća koja se bave zahvatanjem, prečišćavanjem i distribucijom vode, imala problema u pogledu plaćanja visokih iznosa računa za utrošenu električnu energiju. U zavisnosti od uvjeta eksploatacije prirodnog resursa kao što je izvorska ili bunarska voda i usvojenih tehničkih rješenja u vodovodnom sistemu, problem je utoliko izraženiji što je pumpanje ili prepumpavanje vode prisutnije. Kod nekih javnih komunalnih preduzeća učešće troškova električne energije u ukupnim troškovima poslovanja dostiže iznos od 20 % i više te predstavlja značajnu stavku ali i prepreku za normalno funkcioniranje i poslovanje.

Obzirom da su rijetki vodovodni sistemi koji vode korisnicima isporučuju u cjelini gravitacijskim načinom, onda je i potreba za odgovarajućim pumpama i pogonskim elektromotorima izraženija ali nažalost i potpuno neizbježna.

Kao rezultat ovoga nameće se menadžmentu mnogih JKP-a logično i uvijek prisutno pitanje:

## **Kako smanjiti račune za utrošenu električnu energiju?**

Tekst koji slijedi ne tretira hidrauličko – tehnički aspekt ove problematike koja je svakako vrlo važna za funkcioniranje svakog vodovodnog sistema, već

na primjeru iz prakse, želi pokazati kako se vrši obračun utroška električne energije, koji su sastavni elementi računa, što se nudi od strane JP Elektroprivrede kroz važeći tarifni sistem te u što je neophodno investirati ako se želi unaprijediti poslovanje i smanjiti troškovi u ovom segmentu.

## **OBLIK I SADRŽAJ RAČUNA ZA ELEKTRIČNU ENERGIJU**

### **- varijanta 1**

Isporučena i preuzeta električna energija (snaga) mjeri se na mjestu preuzimanja odgovarajućim mjernim slogom koji pored ostalog čine:

- brojila aktivne i reaktivne energije,
- sumarno brojilo,
- registrator snage (maksigraf),
- mjerni transformatori

Kao pokazni primjer kako se može vršiti obračun utroška električne energije

(u dvije varijante) poslužit će jedna od prepumpnih stanica na kojoj su instalirane četiri pumpe sa odgovarajućim pogonskim elektro motorima snage 2 x 132 KW i 2 x 55 KW. Voda se distribuira u dva smjera u dva rezervoara na različitim visinskim kotama. Režim rada je 14 sati dnevno od toga 10 u višoj a četiri sata u nižoj tarifi.

Podaci navedeni u tabeli T-1 odnose se na potrošnju za period mjesec dana u zimskoj sezoni za prvu skuplju varijantu obračuna.

## T-1 (tarifna grupa M1)

Vrsta potrošnje	Očitavanje mjernog instrumenta	Jedinična cijena (KM)	Vrijednost (KM)
Aktivna energija (KWh)	VT 99.200	0,162	16.070
	MT 39.680	0,081	3.214
Angažirana snaga (KW)	320	20,25	6.480
Ukupno:			25.764
Reaktivna energija (KVar)	VT 50.843	cos φ = 0,89 K = 2,724%	702
	MT 20.266		
Sveukupno			26.466

Navedeni ukupni financijski iznos koji se plaća Elektrodistribuciji od 26.466 KM u stvari predstavlja zbir tri segmenta obračuna. Svakog od njih potrebno je zasebno analizirati, jer se može uz odgovarajuće mjere i aktivnosti, u značajnoj mjeri uticati na smanjenje istih.

U tekstu koji slijedi, na pomenutom primjeru, detaljnije je pojašnjen svaki od sastavnih elemenata obračuna, njihova međusobna zavisnost kao i kratko pojašnjenje tehničkih pojmova koji imaju vrlo značajnu ulogu u cijeloj ovoj problematici.

### OBRAČUN AKTIVNE (RADNE) ENERGIJE

Prvu i najveću stavku na računu za električnu energiju predstavlja aktivna energija koja se u potpunosti troši na koristan rad elektromotora u skladu sa njegovim karakteristikama i stanjem sistema.

Ako privremeno zanemarimo tehnički aspekt ove problematike onda nam ostaje za razmatranje i analizu najvažnija financijska komponenta a to je cijena KWh energije u važećem tarifnom sistemu.

Na kraju svake godine kod značajnijih potrošača, kao što su javna komunalna preduzeća, potrebno je obnoviti ugovor sa Elektroprivredom o isporuci električne energije za naredni period. Uvjeti za isporuku propisani su u članu 57 dokumenta pod nazivom "Opšti uvjeti za isporuku električne energije".

Pored ostalog, na ovaj način definira se i tarifna grupa u koju ulazi potrošač, što je prikazano u tabeli.

Iz tabele je vidljivo da su na niskom naponu (0,4 KV) prisutne dvije grupe pod stavkom ostale potrošnje i to **M1** i **M2**. Obično se kupac u ovakvoj situaciji odlučuje za nešto nižu cijenu KWh u grupi M1 ne razmatrajući ostale mogućnosti. To se prije svega odnosi na varijantu isporuke električne energije na visokom naponu od 1,0 KV i više. Ovu varijantu treba ozbiljno razmotriti jer razlika u cijeni između najčešće korištene grupe M1 i VN iznosi 60% u korist ove druge.

Svakako da je neophodno poduzeti određene aktivnosti u pogledu ispunjenja uvjeta iz čl.5 pomenutog dokumenta Elektroprivrede što se odnosi na slijedeće:

- Ugradnja vlastite trafostanice ili
- Suvlasništvo u trafostanici najmanje u dijelu učešća svojih potreba u ukupnom kapacitetu TS, s tim da za suvlasnički dio snosi troškove održavanja i eksploatacije postrojenja.

Ovo za sobom povlači uvijek prisutni problem obezbjeđenja potrebnih financijskih sredstava zbog investicija u novu opremu odgovarajućih karakteristika kao i preuzimanje obaveze troškova održavanja u periodu korištenja zbog vlasništva nad novom TS.

## T-2 TARIFNI STAVOVI ISKAZANI U PFENINZIMA

Obračunski elementi	Tarifni Stavovi		Visoki Napon			N I S K I N A P O N						
	Sezonski	Dnevni	KV 110	KV 35	KV 10	D O M A Ć I N S T V A					Ostala Potrošnja	
						I Tar. Grupa	II Tar. Grupa	III Tar. Grupa	IV Tar. Grupa	V Tar. Grupa	II Tar. Grup	II Tar. Grupa
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Obračun. Snaga kW	Viši		17,01	18,90	22,68	450	4,50	4,50	5,40	5,40	20,25	20,25
	Niži		11,34	12,60	15,12	300	3,00	3,00	3,60	3,60	13,50	13,50
Aktivna Energija kWh	Viši	Veći	6,50	7,80	9,68	12,00	15,00	15,00	12,00	15,00	16,20	26,76
		Manji	3,25	3,90	4,84	-	7,50	5,00	-	7,50	8,10	13,38
		Vršni	-	-	-	-	-	-	-	24,00	24,00	-
	Niži	Veći	4,34	5,20	6,46	8,00	10,00	10,00	8,00	10,00	10,80	17,84
		Manji	2,17	2,60	3,23	-	5,00	5,00	-	5,00	5,40	8,92
		Vršni	-	-	-	-	-	-	-	16,00	16,00	-

Kada se ugradi vlastita TS na postrojenju te sklopi ugovor sa Elektroprivredom za isporuku električne energije na visokom naponu, stižu se uvjeti za promjenu statusa predmetnog potrošača.

Na ovaj način može se realizirati **prva** od mogućnosti za uštedu električne energije u slučaju naše PPS-e. Ako bi režim rada elektromotora ostao isti, onda bi za isti utrošak aktivne energije, koja je sada preuzeta na visokom naponu, dobili pripadajuću cijenu KWh iz tabele T-2. To bi imalo za rezultat različite financijske iznose prema tarifnim grupama i to:

(u KM)

Grupa M1	Grupa M2	Grupa VN
19.284	31.855	11.524

Razlika konačne obračunate vrijednosti između ranije tarifne grupe M1 i nove VN je 7.760 KM.

**Druga** mogućnost uštede po ovom osnovu je naravno organizacija rada postrojenja samo u nižoj dnevnoj tarifi obračuna koja traje ukupno 12 sati. U tom slučaju imamo najveću razliku u obračunatoj vrijednosti utroška aktivne energije u odnosu na ranije stanje i to 13.568 KM što je i prikazano u varijanti 2 računa.

Nakon ovakvih podataka postaje očigledno da razmišljanja o vlastitoj trafostanici zaslužuju dužnu pažnju svakog potrošača pa i JKP-a jer se ovakva investicija u velikom broju slučajeva vrlo brzo isplati a troškovi održavanja nove TS svakako nemogu predstavljati ozbiljniju stavku.

## OBRAČUN ANGAŽIRANE SNAGE

Za razliku od klasičnih vodovodnih sistema koji raspolažu rezervoarima za izravnavanje satne i dnevne neravnomjernosti potrošnje, JP Elektroprivreda mora trenutno ali i kontinuirano obezbjediti tražene količine električne energije jer nije u mogućnosti da u trenucima vršne potrošnje dodatno uključuje neophodne rezerve.

S druge pak strane, potrošači imaju svoje potrebe i uzimaju električnu energiju kada to njima odgovara. Iz ovih razloga javljaju se tkz. špicevi potrošnje u toku 24 sata kao i period kada ta potrošnja pada na minimum.

U cilju što efikasnijeg izravnavanja ovakvih neravnomjernosti i optimizacije korištenja kapaciteta elektroenergetskog sistema, JP Elektroprivreda je razradila složeni tarifni sistem te isto tako nastoji raspolagati sa što više preciznih podataka o potrebama potrošača sa područja koje pokriva.

U tu svrhu se sa svakim značajnijim potrošačem električne energije potpisuju dokumenti kao što su:

- Elektroenergetska saglasnost
- Ugovor o isporuci električne energije

Na taj način određuje se i ukupna instalirana snaga potrošača koja se kasnije, u periodu korištenja, mjeri i očitava na regulatoru snage tkz. maksigrafu.

To praktično znači, da za svaki izmjereni KW na tome mjernom mjestu, potrošač mora platiti ugovorenu cijenu a instrument se na kraju mjeseca vraća na nulu.

Prema čl. 5 tarifnog sistema važi slijedeće:

**“Vršno opterećenje je najveće opterećenje koje potrošač postigne u vremenu 15 minuta u toku obračunskog perioda.”**

Prema tome, dovoljno je samo jedan put u toku mjeseca 15 minuta uključiti nepotrebnog ili neplaniranog potrošača kao što je npr. elektromotor i maksigraf će registrirati tu vrijednost za cijeli mjesec. To se u praksi često naziva “probijanje maksigrafa” ali to nije probijanje ugovorenih vršnih opterećenja već često puta nepotrebno stvorena obaveza plaćanja takse na angažiranu snagu.

U našem primjeru imamo očitavanu vrijednost od 320 KW što na računu rezultira značajnim finansijskim iznosom od 6.480 KM (varijanta 1).

Međutim, ako je moguće reorganizirati rad pumpe na ukupno 12 sati dnevno na način da se uključuju samo u nižoj tarifi, onda se situacija drastično mijenja.

Tada u potpunosti izostaje obračun angažirane snage jer se maksigraf neće ni uključivati. Razlog za ovo leži opet u tarifnom sistemu u članu 26 koji kaže:

**“Obračunska snaga je vršno opterećenje postignuto u doba primjene većih dnevnih stavova.”**

U našem slučaju ostvarena je maksimalna moguća ušteda na računu po ovom osnovu kako je i prikazano u varijanti 2 obračuna.

## OBRAČUN REAKTIVNE (JALOVE) ENERGIJE

U T-1 pod stavkom obračuna reaktivne energije imamo navedene brojčane vrijednosti faktora snage (**cos φ**) i korektivnog faktora (**K**) koji ima značajnu ulogu i predstavlja procentualno uvećanje zbira potrošene aktivne energije i angažirane snage.

Način na koji se računaju ove dvije veličine je slijedeći:

$$K = \frac{18}{(\cos \varphi)^2} - 20 \quad (\%)$$

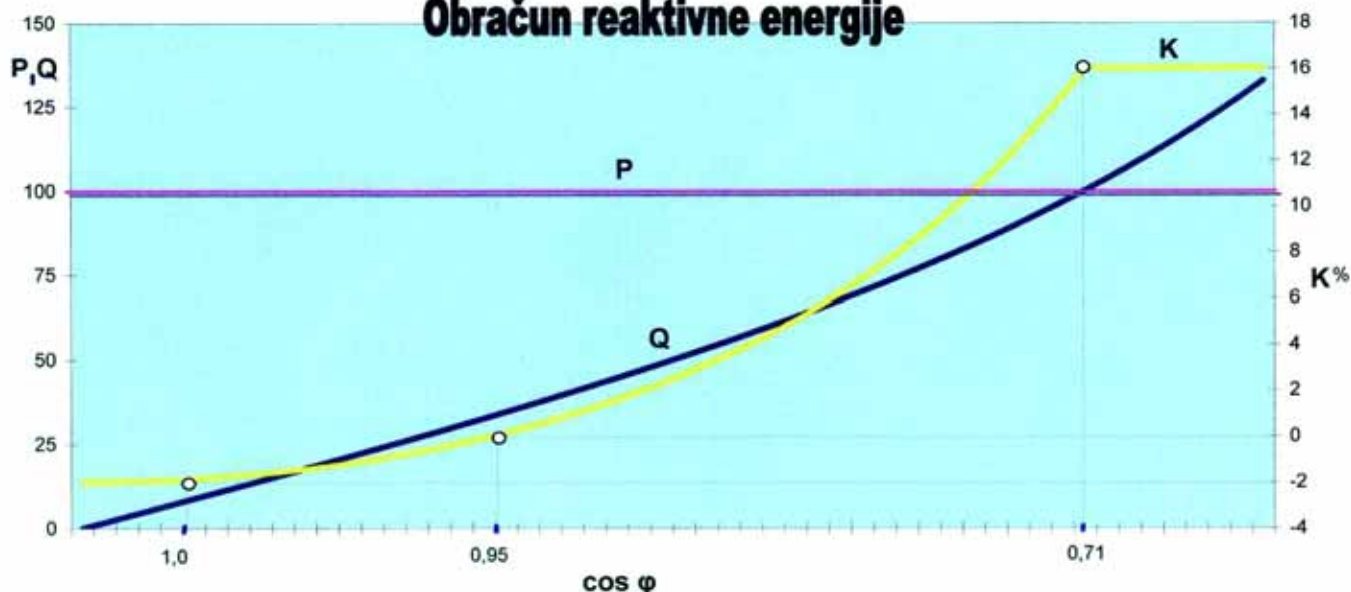
$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{Q^2 + P^2}}$$

Pri čemu je :

P – aktivna (korisna) energija .....(KWh)  
 Q – jalova (reaktivna) energija..... (KVAr)  
 S – prividna energija ..... (KVA)

Međusobna zavisnost ovih veličina može se prikazati i grafički:

## Obračun reaktivne energije



Kao što je vidljivo na dijagramu, procentualni iznos faktora K direktno ovisi o veličini faktora snage ( $\cos \varphi$ ) te praktično može imati ove vrijednosti:

- $\cos \varphi = 0,71 - 0,95 \Rightarrow K = (16 \text{ do } 0) \%$
- $\cos \varphi = 0,95 \Rightarrow K = 0$
- $\cos \varphi = 0,95 - 1,0 \Rightarrow K = (0 \text{ do } -2) \%$

Ako se žele postići vrijednosti  $K=0$  ili manje, mora se pristupiti ugradnji odgovarajuće dodatne elektroopreme što znači da je potrebno obezbjediti kompenzaciju reaktivne energije (snage) i povećati vrijednost  $\cos \varphi$ .

U tom slučaju, imamo mogućnost stimulativnog obračuna utrošene energije jer koeficijent K prelazi u negativno područje i procenat se smanjuje čak do  $-2\%$ .

U konkretnom primjeru našeg računa (iz T-1) ovo bi imalo za rezultat slijedeće:

$\cos \varphi = 0,89$	$\cos \varphi = 0,95$	$\cos \varphi = 0,98$	$\cos \varphi = 0,99$	$\cos \varphi = 1^*$
$K = 2,724 \%$	$K = 0$	$K = -1,257\%$	$K = -1,63\%$	$K = -2 \%$
702 KM	-	- 324 KM	- 420 KM	- 515 KM

\* vrijednost  $\cos \varphi = 1$  također je tehnički ostvariva ali je Elektrodistribucija nerado prihvata iz dobro poznatih razloga.

Umjesto plaćanja reaktivne energije u iznosu od 702 KM račun bi dakle, po ovom osnovu, mogao biti umanjen čak za 515 KM ako povećamo  $\cos \varphi$  sa ranijih 0,89 na novih 1,0.

To konkretno znači, da bi ukupna ušteda u odnosu na ranije stanje i varijantu 1 obračuna mogla iznositi oko 1.200 KM na mjesec.

U cilju lakšeg razumjevanja ove problematike neophodno je, u kratkim crtama, pojasniti tehničke pojmove koji figurišu u ranijem tekstu kao i njihove međusobne zakonitosti.

### FAKTOR SNAGE IZMJENIČNE STRUJE

Kod izmjenične struje snaga je direktno proporcionalna naponu i jakosti struje ali to vrijedi samo za trenutne vrijednosti. Budući da se oba ova faktora mijenjaju po sinusoidnom obliku onda je i trenutna sna-

ga harmonički promjenjiva veličina te ima dva puta veću frekvenciju nego struja i napon. Ako se pri vremenskoj promjenjivosti uzme u obzir aritmetička sredina a zatim snaga rastavi na dvije komponente, onda dobijemo slijedeće izraze:

$$\text{➤ } P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3} \quad (W)$$

**AKTIVNA** (korisna) snaga koja se predaje potrošaču i

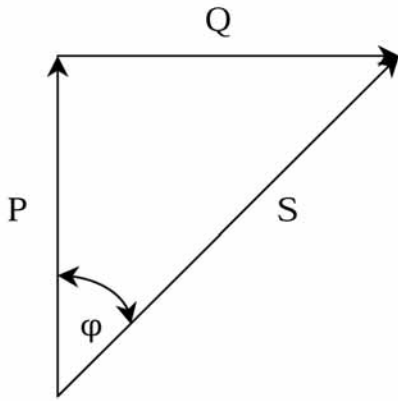
$$\text{➤ } Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi \cdot \sqrt{3} \quad (VAr)$$

**REAKTIVNA (JALOVA)** snaga koja oscilira između izvora i potrošača te ne obavlja koristan rad.

Objе veličine mogu se smatrati umnoškom efektivnih vrijednosti napona i struje te uz treću komponentu pod nazivom **PRIVIDNA** snaga ( $S = U \cdot I \cdot \sqrt{3}$ ) čine tkz.

**TROKUT** snaga prikazan na sl.2.





sl. br. 2

Ugao  $\varphi$  u stvari predstavlja fazni pomak između napona i struje te može imati dvije vrijednosti:

- $\varphi > 0$  ; kada struja zaostaje za naponom tj. kada je u strujni krug uključen neki induktivni otpor ( $x_L = \omega L$ )
- $\varphi < 0$  ; kada struja predhodi naponu tj. kada je u krug uvršten neki kapacitivni otpor ( $x_C = 1/\omega C$ )

Iz trokuta snaga možemo jasno definirati slijedeće veličine i odnose:

- $\cos \varphi = \frac{P}{S}$  ; što predstavlja **FAKTOR SNAGE (UČINKA)** za kojeg smo ranije vidjeli da može imati vrijednosti od 0 do 1,
- $\sin \varphi = \frac{Q}{S}$  ; **FAKTOR REAKTIVNOSTI**
- $S = \sqrt{Q^2 + P^2}$  (VA) ; **PRIVIDNA SNAGA**

Općenito se može reći, što je faktor snage manji to se uz određenu aktivnu snagu prenosi više reaktivne (jalove) snage.

Veliki potrošači reaktivne snage (energije) su elektromotori koji, u našem slučaju služe za pogon različitih pumpi na vodocrpilištima i prepumpnim stanicama.

### KOMPENZACIJA REAKTIVNE SNAGE (ENERGIJE)

Elektroenergetski sistem isporučuje potrošačima i radnu i reaktivnu energiju (snagu). Kod potrošača kao što su: peći sa otpornicima, grijalice i drugi termički aparati, potrebna je samo radna snaga. Kod većine drugih potrošača pojavljuje se magnetno polje i u tom slučaju potrebna je i radna i reaktivna snaga. Ova druga je potrebna za stvaranje magnetnog polja i uzima se iz mreže a prilikom razgradnje magnetnog polja, vraća se u istu. Ali takvi tokovi reaktivne snage prouzrokuju u mreži padove napona i po-

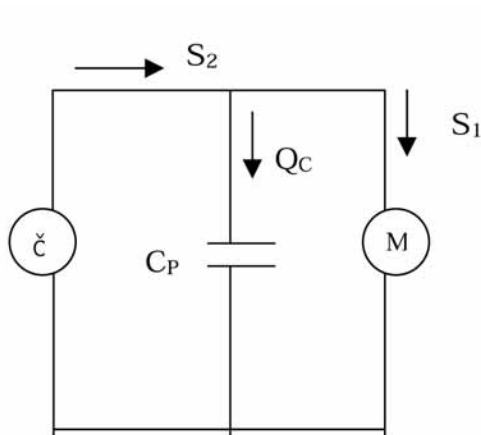
većanje Džulovih gubitaka ( $I^2R$ ) što ima za posljedicu smanjenje propusne moći vodova.

Svi elementi mreže koji su dimenzionirani za nazivnu prividnu snagu (**S**) mogu propustiti umanjenu aktivnu snagu (**P**) u skladu sa relacijom:  $P = \sqrt{S^2 - Q^2}$ .

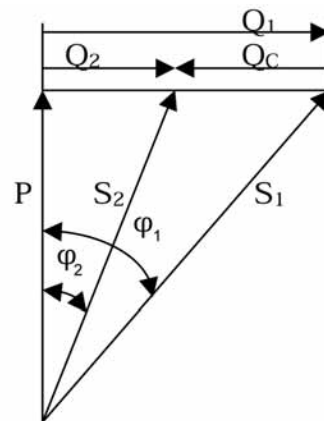
Pored ostalog i zbog ovoga isporučilac električne energije prodaje potrošačima energiju pod znatno povoljnijim uvjetima u koliko im je faktor snage  $\cos \varphi$  veći.

Potrošači u elektroenergetskom sistemu troše praktično uvijek indukovanu reaktivnu snagu pa prema tome, moraju u sistemu postojati izvori koji je dobavljaju i time vrše kompenzaciju.

U našem primjeru imamo slučaj da se pogonskom asinhronom motoru koji uzima iz mreže aktivnu snagu **P** i reaktivnu indukovanu snagu **Q<sub>1</sub>**, paralelno priključi kondenzator koji proizvodi indukovanu reaktivnu snagu **Q<sub>c</sub>**. Tada će ova kombinacija uzimati iz mreže razliku snaga i to:  $Q_2 = Q_1 - Q_c$



a)



b)

sl. br. 2

Prividna snaga se isto tako smanjuje sa  $S_1$  na  $S_2$ . Aktivna (radna) snaga ostaje pri tome nepromijenjena  $P$ .

Sa trokuta snage na sl. 2 b, također je vidljivo da je priključenje kondenzatora uzrokovalo i smanjenje ugla  $\varphi_1$  na  $\varphi_2$  što znači da se povećao i faktor snage sa  $\cos\varphi_1$  na  $\cos\varphi_2$ .

Kondenzator se u ovakvom strujnom kolu za vrijeme jedne poluperiode puni a za vrijeme druge prazni i struja teče stalno.

Ovdje treba ipak imati na umu, da ni u kolu izmjenične struje ne teče struja kroz kondenzator (u njemu se vrši samo polarizacija dielektrika), nego samo kroz ostali dio kola. To znači da se ovaj kondenzator ponaša kao otpor koji se onda i naziva kapacitivni otpor. Na ovaj način provodi se tkz. paralelna kompenzacija motora.

U zavisnosti od broja i vrste elektromotora i drugih potrošača u pogonu kompenzacija može biti:

- Individualna (fiksna); zasebno za svakog potrošača što je i jeftino rješenje ako se radi o jednom ili dva motora.
- Grupna (zajednička); za sve motore u pumpnoj stanici uključujući i klorne pumpe pod uvjetom da se potrošači uključuju pojedinačno a ne grupno jer može doći do prekompenzacije.
- Centralna; za sve potrošače u pogonu na jednom mjestu uz obaveznu primjenu automatike jer mora postojati mogućnost regulacije kapaciteta.

Upraksi se najčešće primjenjuju kondenzatorske baterije koje sadrže, prema potrebi, veći broj serijski ili paralelno složenih manjih kondenzatora.



Detalj sa Une

Snimio: M. Lončarević

## KONAČNI OBLIK I SADRŽAJ RAČUNA ZA ELEKTRIČNU ENERGIJU

### - varijanta 2

Nakon provedenih aktivnosti i potrebnih investicija na oglednoj PPS-i koje su spomenute u tekstu a odnose se na ugradnju vlastite trafo stanice, reprogramiranje rada pumpi te kompenziranje reaktivne energije, postignuti su maksimalni efekti u smanjenju računa za električnu energiju u odnosu na ranija stanje kao što je vidljivo u tabeli 3.

#### T-3 (tarifna grupa VN)

Vrsta potrošnje	Očitanje mjernog instrumenta	Jedinična cijena (KM)	Vrijednost (KM)
Aktivna energija (KWh)	VT -	0,0968	-
	MT 119.040	0,0484	5.716
Angažirana snaga (KW)	-	22,68	-
Ukupno:			5.716
Reaktivna energija(KVAr)	VT -	cos $\varphi$ = 1,0 K = -2 %	-115
	MT -		
Sveukupno			5.646

Prema tome, ukupni financijski efekti su vrlo značajni i mogu u kratkom vremenskom roku (6-12 mjeseci) otplatiti sva sredstva uložena kako u novu elektroopremu tako i bolju organizaciju rada na postrojenjima ovoga tipa kao i edukaciju kadrova.

U mnogo drugih situacija na primjerima iz prakse moguće je ostvariti samo neke od navedenih načina uštede ali niti jedan od pomenutih nije beznačajan.

Npr. primjena kompenzacije reaktivne energije na ansinhronim motorima crpnih postrojenja sigurno predstavlja osjetan napredak i znatnu uštedu na računima za električnu energiju.

### ZAKLJUČAK I PREPORUKE

Smanjenje troškova za električnu energiju za svako javno komunalno preduzeće predstavlja ozbiljan izazov koji se mora posmatrati i analizirati sa nekoliko različitih aspekata.

Jedan od važnijih predstavlja odnos zahvaćene, distribuirane i očitane količine vode tj. prisustvo gubitaka koji se u različitim procentima javljaju u svakom vodovodnom sistemu. Isto tako neophodno je postići i optimalno rješenje hidrauličkih problema kao što su kapacitet rezervoara, propusna moć cjevovoda pravilan izbor pumpi i pogonskih agregata i slično.

Zbog značajnih razlika u financijskim iznosima u varijantama obračuna utrošene električne energije, kako je navedeno u ovome tekstu, nemože se zane-mariti ni tehno-ekonomska analiza načina korištenja mogućnosti koje su aplikativne iz važećeg tarifnog sistema.

Poznato je da često puta JP "Elektroprivreda" BiH, posebno na lokalnom nivou, nije lak sagovornik niti prijedlozi za unapređenje koji su spomenuti nailaze na dobar prijem i brzu primjenu. Međutim, uzimajući sve u obzir jasno je da angažman tehničkih lica u svakom preduzeću koje se bavi zahvatanjem i distribucijom vode mora biti veći, kako bi se poduzele sve neophodne aktivnosti u ovome pravcu jer su konačni rezultati očigledni te značajno mogu doprinijeti poboljšanju poslovanja i povećanju efikasnosti.

#### Literatura:

1. JP Elektroprivreda BiH – Sarajevo
  - Tarifni sistem za prodaju električne energije
  - Opšti uvjeti za isporuku električne energije
2. Osnovi elektrotehnike – B. Krmpotić – Zagreb, 1980.
3. Tehnička enciklopedija – knjiga br.5 – Zagreb, 1976.

# RATNI OTPAD I ZAGAĐENJE TLA KRŠKIH PODRUČJA BOSNE I HERCE- GOVINE POLIKLORIRANIM BIFENILIMA

## Sažetak

**P**oznato je da postoji velika vjerojatnost da je za vrijeme nedavnog rata u Bosni i Hercegovini krško područje moglo biti ugroženo opasnim otpadom. To nas je navelo na temeljitija istraživanja s obzirom na očekivanu ekološku opasnost. Unutar projekta APOPSBAL, suradnici iz Geloškog Instituta, Sarajevo, obavili su intenzivna istraživanja potencijalnih izvora zagađivanja u krškom području Bosne i Hercegovine i to osobito na posebnu vjerojatnost zagađenja polikloriranim bifenilima (PCB). Identificirano je nekoliko lokacija, gdje postoji mogućnost da je došlo do kontaminacije tla tim opasnim ekotoksičnim zagađivalima. Uzorkovanje tla vršeno je sa suradnicima iz Sarajeva i Zagreba dok su analize PCB vršene na Institutu Ruđer Bošković u Zagrebu, te u Zavodu za zdravstveno varstvo, Maribor. Posebno visoke razine PCB nađene su u uzorcima tla na području Tuzle (96178 mgkg<sup>-1</sup>) i Tešnja (178954 mgkg<sup>-1</sup>). Visoke razine PCB u tlu iz rudnika ugljena oko Tuzle, E.T.S. Šikulje – Lukavac i E.T.S. Jelah, posljedica su nesreća, i demontiranja kondenzatora. Osim toga opažene su značajnije razine PCB u uzorcima tla sakupljenim na ulazu u tunel bivšeg vojnog aerodroma Željava, blizu Bihaća. (164 i 106 mgkg<sup>-1</sup>). U većini ostalih uzoraka tla iz Bosne i Hercegovine nađene su razine PCB niže od 10 mgkg<sup>-1</sup>.

## UVOD

Za vrijeme nedavnog rata (1991-1995) krška područja Hrvatske i Bosne i Hercegovine bila su ugrožena bezobzirnim razaranjem prirodnih resursa, infrastrukture, domova i djelatnosti. Kao posljedica tih razaranja postoji vrlo velika vjerojatnost da su različita organska zagađivala unijeta u okoliš Bosne i Hercegovine, kao što je nađeno za poliklorirane bifenile na području Hrvatske. (Picer M. i Picer N. 1998)

Na temelju rezultata ovih istraživanja u Hrvatskoj, a na poziv Europske Komisije za "Peti Okvirni Program", tijekom 2001. godine uz velike napore natjecali smo se pri Europskoj Komisiji za sufinansiranje nastavka tih istraživanja. S obzirom na vrlo visoke zahtjeve EU, s ponosom ističemo da smo u rujnu 2002. godine uspjeli zaključiti ugovor s Europskom Komisijom o istraživanju posljedica ratnog otpada na ugroženost akvatičkih ekosustava ne samo u Hrvatskoj već i na području BiH, Kosova i SiCG (Projekt APOPSBAL). Znanstvenici iz ugroženih zemalja (Hrvatske, Bosne i Hercegovine, Srbije i Crne Gore) uz pomoć znanstvenika iz drugih prijateljskih zemalja (Republike Češke, Austrije, Slovenije i Grčke) radili su zajedno da ustanove stvarne probleme zagađenja okoliša s obzirom na PCB i druge POPsove. (Picer, 2003; Picer i Hodak Kobasić, 2004).

Ciljevi APOPSBAL Projekta u Bosni i Hercegovini su slijedeći:

- 1) Sakupljanje podataka o opasnim uređajima s uljnim sadržajem PCB-a i drugih još opasnijih POPsova u Bosni i Hercegovini.
- 2) Da se ustanovi tehničko stanje električnih transformatora i kondenzatora sa sadržajem piralena, te da se posebna pozornost posveti prolijevanju tog ulja u okoliš.
- 3) Uzorkovanje zemlje i sedimenta na području zagađenom PCB-ima i njihova analiza.

<sup>1</sup> Institut "Ruđer Bošković", Bijenička cesta 54, 10000 Zagreb, Hrvatska

<sup>2</sup> Geološki Institut – Sarajevo, Ustanička 11, 71210 Ilidža, Bosna i Hercegovina

<sup>3</sup> Zavod za zdravstveno varstvo Maribor, Prvomajska ul. 1, 2000 Maribor, Slovenija

- 4) Mnogo bolje otkrivanje hidrogeološke sudbine spojeva PCB-a i drugih POPs-ova u ugroženim područjima Bosne i Hercegovine. Specijalni naglasak će se postaviti na temelju osjetljivosti krškog područja.
- 5) Odabrati nekoliko mjesta za atmosferski monitoring POPs-ova iznad kontaminirane zemlje POPs-ovima u Bosni i Hercegovini.

U ovom radu, rezultati istraživanja bit će prikazani ponajprije obzirom na prva četiri cilja.



**Slika 1.** Izvor Klokot, Bihać – kod zgrade crpilišta – uzorkovanje kompozitnog uzorka tla



**Slika 2.** Izvor Klokot –Bihać

## METODOLOGIJA

### *Prikupljanje podataka o izvorima zagađenja*

Zahtjev za dobivanje podataka o sadržaju ulja s PCB prolivenom u okoliš u Bosni i Hercegovini bilo je adresirano na različite državne i kantonalne institucije: na ministarstva, uprave, inspektorijate, zdravstvene institucije, institute, fakultete, odvjetničke urede, urede i javne ustanove, "Elektroprivreda BiH" - Sarajevo – Sarajevo (EP BiH), "Elektroprivreda HZHB" – Mostar (EP HZHB) i "Elektroprivreda RS – Trebinje

(EP RS) kao vrlo odgovorne ustanove za taj problem, te na niz drugih industrija, javnih kompanija, tvornica i drugih institucija.

Dobiveni podaci usmjereni su na uljnu kontaminaciju PCB i izlivanje u okoliš.

Naša istraživanja bila su usmjerena na slijedeće:

- 1) Elektrotransformatorske stanice s kondenzatorima u EP BiH.
- 2) Elektrotransformatorske stanice u drugim industrijskim djelatnostima
- 3) Kondenzatore u rudnicima ugljena
- 4) Bivša vojna i industrijska postrojenja
- 5) Bivše vojne relejske stanice smještene na vrhovima bosanskih planina

### *Izbor lokacija za sakupljanje uzoraka tla*

Uzorci tla sakupljeni su oko Bihaća, Sarajeva, Tuzle i Tešnja od rujna do prosinca 2003. (31 uzorak). Uzorci su uzimani s mjesta pojačanog izlivanja ulja iz transformatora i kondenzatora kako bi se otkrilo gdje je u ulju bio prisutan piralen ili drugo ulje s PCB. U lipnju 2004., nakon dobivenih i analiziranih prvih rezultata razina PCBa u uzorcima zemlje, koji su uzorkovani 2003., dobiveni su noviji podaci o opasnim elektrotransformatorima, različitim predmetima i opremi s PCB na raznim područjima. Stoga su se sakupljali preostali uzorci tla na 18 lokacija u okolini Sarajeva, zatim Tuzle, Tešnja i Bihaća (16 uzoraka).

### *Analize PCB u uzorcima tla*

Uzorci tla sušeni su na sobnoj temperaturi, te sijani kroz sito pora 2 mm. Ekstrakcija PCB iz uzoraka tla vršena je organskim otapalima, sa smjesom otapala heksan – aceton (1:1) pomoću ASE 200 ekstraktora, kod tlaka od 2000 psi (14 MPa) i temperature 100<sup>0</sup> C. Ekstrakti su reekstrahirani n-heksanom, zatim sušeni propuštanjem kroz kolonu bezvodnog Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, te čišćeni propuštanjem kroz kolonu deaktiviranog Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Separacija PCB od organoklorinih insekticida, vršila se na minijaturnoj silikagelskoj koloni. Za detekciju i karakterizaciju kloriranih ugljikovodika, korištena je metoda plinske kromatografije, uz primjenu detektora zahvata elektrona (GC-ECD) (Picer i Ahel, 1978; Picer, 2000; Hodak Kobasić i dr., 2004).

## REZULTATI I DISKUSIJA

U tablici 1 prikazani su minimumi i maksimumi razina PCB izraženi u ekvivalentima Aroklora 1248 + Aroklor 1254, te sume 7 ključnih PCB (IUPAC No. PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153 i PCB 180), kao i geometrijske sredine u uzorcima tla Bosne i Hercegovine uzorkovanih tijekom 2003. i 2004. godine.

PODRUČJE	LOKACIJA UZORKOVANJ A	Suma PCB kao Aroclor 1248 + 1254 (mg kg <sup>-1</sup> )			Suma 7 ključnih PCB (mg kg <sup>-1</sup> )		
		Min	Max	Geom. sred.	Min	Max	Geom. sred.
BIHAĆ	Željava tunel, Klokot	0,01	164	4,6	0,004	73,4	1,07
TEŠANJ	E.T.S. Jelah	0,05	178954	1,3	0,005	43092	0,2
TUZLA I OKOLICA	Tuzla, Dubrave, Lukavac, Šikulje, Brezje	0,02	96178	5,0	0,007	22890	1,2
SARAJEVO I OKOLICA	Sarajevo, Bjelašnica, Jahorina, Trebević, Visoko, Blažuj, Hadžići	0,03	6	0,2	0,007	3,5	0,1

**Tablica 1.** Razine ukupnog PCB izražene u ekvivalentima sume Aroclor 1248 + Aroclor 1254 i sume 7 ključnih PCB (IUPAC No. PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153 i PCB 180) u uzorcima tla Bosne i Hercegovine, sakupljenih 2003./2004. godine

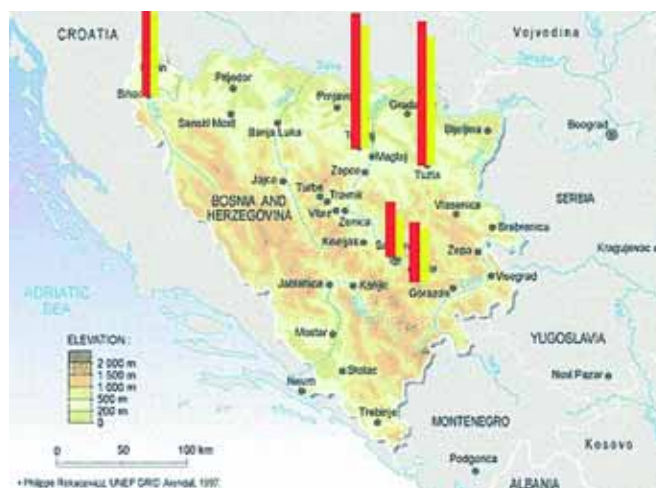
Prema dobivenim rezultatima analiza PCB u uzorcima tla, opažen je izvanredno veliki raspon razina ukupnog PCB od manje 0,05 pa do preko 100000 mgkg<sup>-1</sup>. Na slici 3 grafički su prikazane na karti Bosne i Hercegovine maksimalne opažene razine ukupnih polikloriranih bifenila i sume 7 ključnih PCB kongenera prema istraživanim područjima.

Za bolji uvid u realnu situaciju prema područjima, na slijedećim slikama prikazane su razine PCB s tri različita područja.

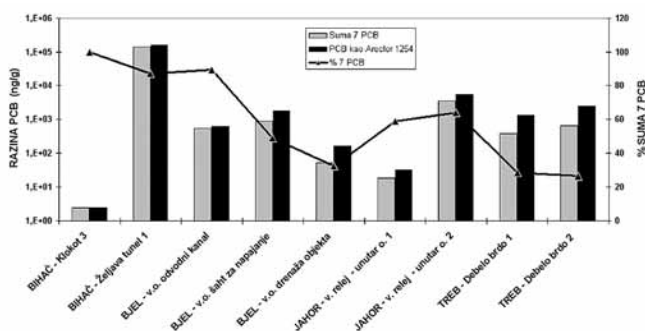
Na slici 4, razine ukupnog PCB izražene su u ekvivalentima sume Aroclor 1248 + 1254 i sume sedam ključnih PCB u uzorcima tla s područja Bihaća te planina u okolini Sarajeva. Razine ukupnog PCB su prikazane kao tamne kolone, a suma 7 ključnih kongenera kao svijetle kolone. Na desnoj ordinati prikazan je u postocima udio 7 ključnih PCB kongenera u ukupnim PCB. Viši sadržaj PCB je nađen u bivšem vojnom tunelu kod Željave blizu Bihaća, 164 i 106 mgkg<sup>-1</sup> (slika 8). To ukazuje da je razliveno ulje s piralnom bilo od oštećenih uređaja unutar tunela, a ne izvana. Tako se piralen mogao infiltrirati kroz kraške stijene i pojaviti u snažnim jakim krškim izvorima oko Bihaća, a zatim dospjeti u rijeku Unu.

Razine PCB u uzorcima sakupljenim 2004. godine su niže nego izvan tunela 2003. godine. Možemo zaključiti da je potrebno učiniti slijedeće uzorkovanje tla u dubini tunela i u prostorijama u tom podzemnom postrojenju. Visoke vrijednosti PCB na avionskom uzletištu pokazuje raspršenje PCB iznad velike površine tog kraškog masiva i mogućnost zagađenja vodopskrbnih izvora. U uzorcima tla pokraj izvora Klokot nađeno je da koncentracije PCB nisu porasle i bile su manje od 0,01 mgkg<sup>-1</sup>. Interesantno je, da razlika između postotka sume 7 karakterističnih PCB

u ukupnoj razini PCB kod jednog uzorka iznosi 1%, a kod drugog 35-70%.



**Slika 3.** Maksimalne opažene razine ukupnih polikloriranih bifenila (crvene kolone) i sume 7 ključnih PCB kongenera (žute kolone) prema istraživanim područjima



**Slika 4.** Razine ukupnog PCB izražene u ekvivalentima sume Aroclor 1248+1254 i sume 7 ključnih PCB (IUPAC No. PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153 i PCB 180) u uzorcima tla iz Bihaća i planina oko grada Sarajeva

Na području planina oko Sarajeva kao i u samom gradu Sarajevu nisu opažene izrazito visoke razine PCB. Najviša vrijednost PCB ( $6 \text{ mgkg}^{-1}$ ) nađena je u uzorcima tla sakupljenim unutar vojnih objekata na Jahorini. Ostali uzorci tla nisu pokazali značajnije razine PCB, iako neki od njih imaju razine veće od  $1 \text{ mgkg}^{-1}$  (Bjelašnica, uređaj za opskrbu strujom vojnih objekata  $1,82 \text{ mgkg}^{-1}$ , Trebević, Debelo Brdo tunel  $2,2$  i  $2,4 \text{ mgkg}^{-1}$ ). Niska razina PCB u parkovima (Sarajevo, Ilidža) potječu od meteoroloških padalina (Slika 9). Kao što vidimo, udio 7 ključnih kongenera je promjenjiv od 90% u uzorcima tla sakupljenim na Bjelašnici iz otpadnog kanala u vojnim objektima do samo 11% u uzorcima sakupljenim od E.T.S. Nedžarići, gdje je zapažena niska razina PCB. Očito je, da je nemoguće izračunati sumu 7 ključnih PCB iz razina vrijednosti Aroclora 1254 upotrebom jednadžbe  $A_{1254} = 3,17$  (suma 7 kong)  $+1,43$  kao što je opisano u radu za uzorke biote (Porte i dr., 1988).

Na slikama 5, 6, 7 i 8 prikazana su područja uzorkovanja kao i ekipa koja je omogućila uzorkovanje tla na vojnim objektima Bjelašnice i Jahorine.



Slika 5. Uzorkovanje tla ispred tunela Željava – Bihać



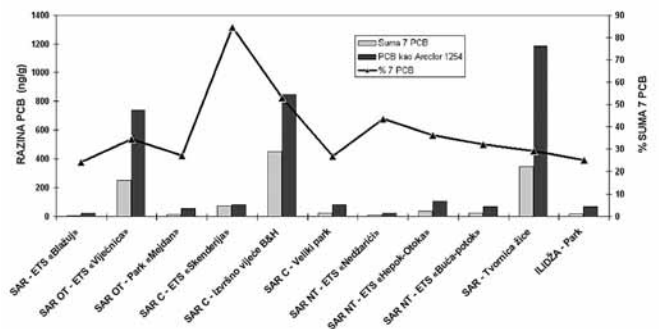
Slika 6. Ekipa prije odlaska na vojne objekte Bjelašnice i Jahorine



Slika 7. Razoreni vojni objekti na Bjelašnici



Slika 8. Prostorija u kojima su se nalazili transformatori u vojnom objektu na Jahorini



Slika 9. Razine ukupnog PCB izražene u ekvivalentima sume Aroclora 1248+1254 i sume 7 ključnih PCB (IUPAC No. PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153 i PCB 180) u uzorcima tla iz područja Sarajeva i okolice

Na slikama 10 i 11 prikazano je mjesto uzorkovanja tla na Debelom brdu i kod ETS Blažuj, Sarajevo.



Slika 10. Uzorkovanje na području Debelog brda, Trebević



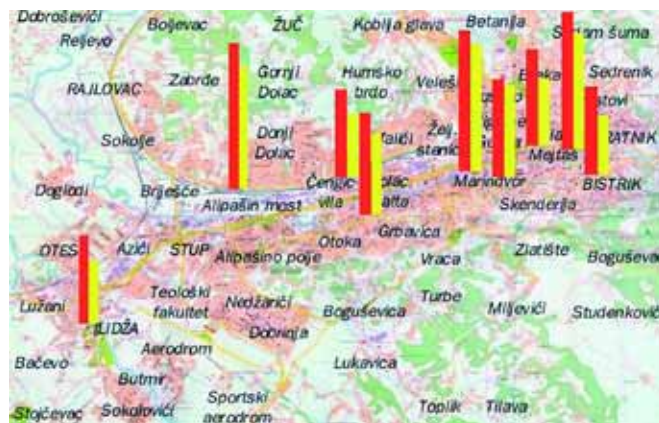
Slika 11. Uzorkovanje tla na području E.T.S. Blažuj kod Sarajeva

Na slici 12 prikazane su na karti maksimalne razine ukupnih PCB (crvene kolone) i sume 7 ključnih PCB kongenera (žute kolone) na području Sarajeva i njegove okolice.

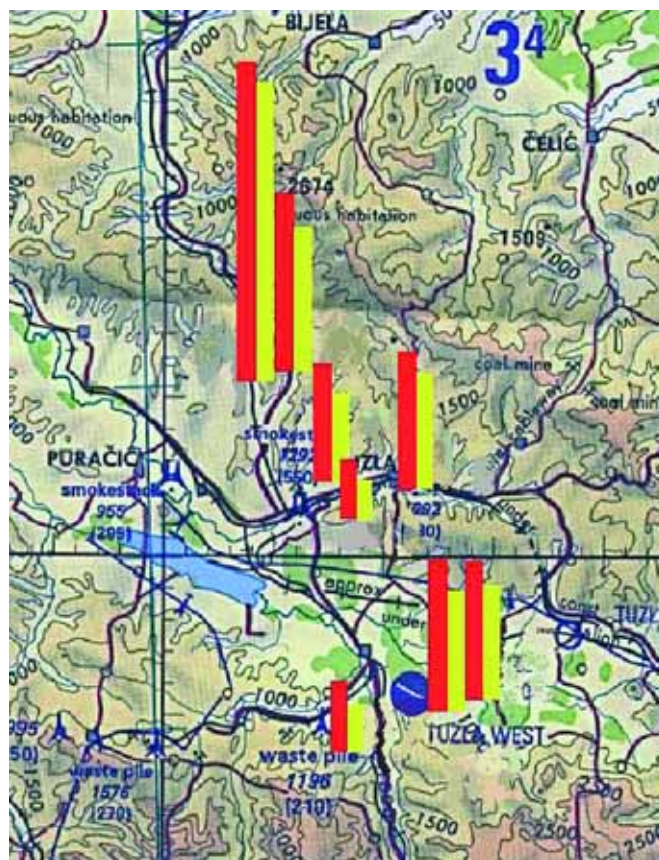
Na slici 13 prikazane su razine ukupnog PCB (crvene kolone) i sume 7 ključnih PCB kongenera (žute kolone) na karti područja okolice Tuzle, dok su na slici 14 uspoređene razine PCB u tlu sakupljenom s područja Tuzle, Visokog i Tešnja.

Razine PCB prikazane su u logaritamskoj skali, jer su na tom području nađene velike oscilacije razina PCB. Na primjer, u uzorku tla iz rudnika uglja Lukavac – E.T.S. Šikulje I., nađene su razine iznad  $96000 \text{ mgkg}^{-1}$ , dok su samo  $0,02 \text{ mgkg}^{-1}$  nađene u T.R.P.P. Tuzla – sjever. Te enormno visoke razine PCB nađene su na mjestu, gdje su smješteni uništeni kondenzatori. Ta činjenica ukazuje da je ulje iscurilo u zemljište i ostalo u njemu do sada, te da se nije cje-

dilo i ispiralo dalje od kondenzatora. Na tom mjestu istjecanje piralena je lokalnog značaja, jer je smješteno na terenu koji sadrži neogeni nepropusni sediment. U uzorcima zemlje iz E.T.S. Lukavac – Šikulje II i E.T.S. Požarnica izmjerene su razine od 20 i  $22 \text{ mgkg}^{-1}$ . To može biti zbog razorenog kondenzatora s preostalim piralenom. Postotak sume 7 ključnih PCB u ukupnom PCB također znatno odstupa u uzorcima s područja Sarajeva, od 65% u uzorcima tla iz E.T.S. Požarnica do 15% ključnih 7 PCB u uzorcima tla iz E.T.S. Šikulje.

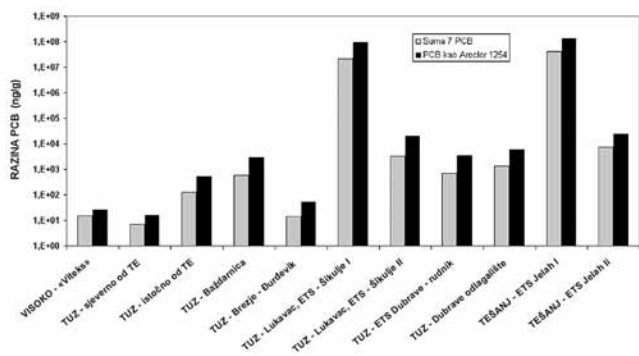


Slika 12. Usporedba razina ukupnih PCB (crvene kolone) i sume 7 ključnih PCB kongenera (žute kolone) na karti Sarajeva i njegove okolice



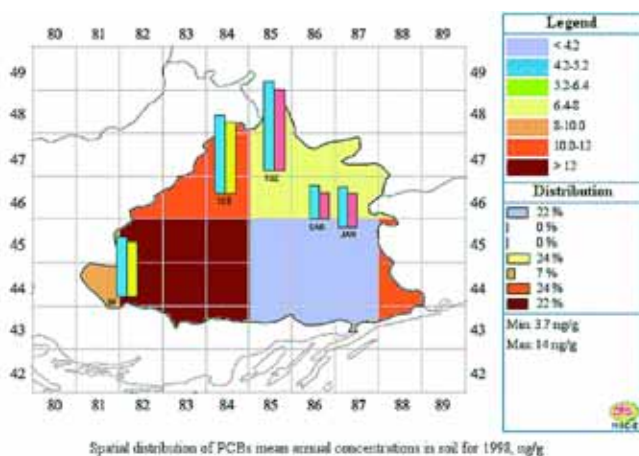
Slika 13. Usporedba razina ukupnih PCB (crvene kolone) i sume 7 ključnih PCB kongenera (žute kolone) na karti Tuzle i njezine okolice





**Slika 14.** Razine ukupnog PCB izražene u ekvivalentima sume Aroclor 1248+1254 i sume 7 ključnih PCB (IUPAC No. PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153 i PCB 180) u uzorcima zemlje iz područja Visokog, Tuzle i Tešnja

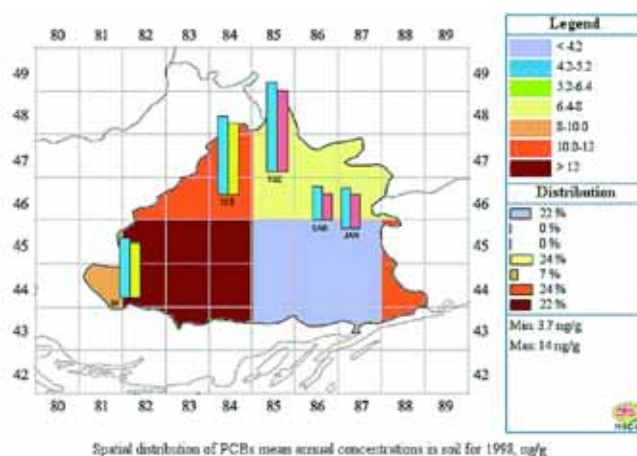
Uzorkovanje uzoraka tla izvršeno je na mogućoj stazi avionskog uzletišta E.T.S. Jelah, u svrhu otkrivanja veličine zagađenja PCB od kondenzatora elektrotransformatorske stanice Jelah. Razine PCB u uzorcima tla sakupljenim 2003. godine očito su značajnije nego u drugim uzorcima tla iz okolice E.T.S. Jelah. Jedan uzorak pokazuje značajne razine PCB (iznad  $20 \text{ mgkg}^{-1}$ ), dok ostali pokazuju ekstremno visoke razine PCB – veće  $100000 \text{ mgkg}^{-1}$ . Visoke vrijednosti PCB ograničene su na zapadnu stranu E.T.S., gdje je bio smješten oštećeni kondenzator, te nije bilo širenja iz mjesta uzorkovanja u 2004. godini. Ta činjenica ukazuje da je ulje curilo iz kondenzatora u tlo i ostalo tamo do sada, te da nije dospjelo daleko od kondenzatora. Kondenzator je bi uklonjen 1986. godine. Količina izlivenog ulja nije poznata. Teren je izgrađen od naplavljenog sedimenta, tako da je ulje moglo proći kroz nanoseni sloj i dospjeti u rijeku Usoru, a od tamo u nanosen aluvijalni vodeni bazen te na lijevu stranu rijeke Usore. Tamo se nalazi ljekovito vrelo s opskrbom vode za većinu stanovništva Teš-



**Slika 15.** Usporedba procjenjenih srednjih vrijednosti razina PCB u uzorcima tla Bosne i Hercegovine za 1998. godinu (izvor podataka - i srednje vrijednosti razina PCB dobivenih za vrijeme naših istraživanja uzoraka sakupljenih 2003./2004. godine

nja, a nizvodno rijeka Usora utječe u rijeku Bosnu, gdje se na nekoliko mjesta nalaze crpilišta vode.

Za usporedbu slika 15. pokazuje razine nekih PCB u uzorcima tla Bosne i Hercegovine dobivene na osnovu izračuna „Meteorological Synthesizing Centers – East Moscow Russia”. Izračunata vrijednost sredina koncentracija PCB diljem zemlje bila je  $0,089 \text{ mgkg}^{-1}$ , minimum  $0,004$  i maksimum  $0,014 \text{ mgkg}^{-1}$  za procjenu izvršenu za 1998. godine. Plave kolone predstavljaju geometrijsku sredinu vrijednosti ukupnog PCB dobivenog kroz APOPSBAL istraživanja u Bosni i Hercegovini (2003./2004.), dok žute i smeđe prikazuju razine suma ključnih PCB kongenera.



**Slika 16.** Prekrasna i napaćena zemlja Bosna i Hercegovina

## ZAKLJUČCI

Na osnovu prvih sistematskih istraživanja uzoraka tla zagađenih PCBom u Bosni i Hercegovini možemo donjeti slijedeće zaključke.

- 1) Ekstremno visoke razine PCB nađene su u uzorcima tla sakupljenim u transformatorskoj stanici Jelah blizu Tešnja,  $178954 \text{ mgkg}^{-1}$  i u uzorcima iz Lukavca blizu E.T.S. Šikulje I,  $96179 \text{ mgkg}^{-1}$ .
- 2) Značajne razine PCB također su nađene u nekoliko drugih uzoraka tla: Bihać – Željava Tunel,  $164$  i  $106 \text{ mgkg}^{-1}$ , Tuzla – Lukavac E.T.S. Šikulje II,  $20 \text{ mgkg}^{-1}$  i E.T.S. Požarnica  $22 \text{ mgkg}^{-1}$ , Tešanj – E.T.S. Jelah  $25 \text{ mgkg}^{-1}$ .
- 3) Visoke vrijednosti PCB nađene su u gradu Sarajevu i njegovoj okolini u uzorcima tla sakupljenim na Jahorini unutar vojnih objekata,  $6 \text{ mgkg}^{-1}$ . Ostali uzorci tla na drugim pozicijama nemaju značajnije razine PCB.
- 4) Postotak sume 7 ključnih PCB kreće se od 90% u uzorcima tla sakupljenim na Bjelašnici do 1% kod sume 7 ključnih PCB u uzorku tla iz tunela Željava. Suma 7 ključnih PCB je samo 24% od ukupnog PCB u tlu sakupljenom iz E.T.S. Šikulje I i E.T.S. Jelah. To su uzorci s najvišim razinama PCB.

## ZAHVALA

Autori izražavaju zahvalnost Ministarstvu znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske i Europskoj komisiji za financijsku potporu. Prikazan rad izveden je kao dio ugovora ICA2-CT-2002-10007 (AOP-SBAL projekt) između Europske komisije i Instituta "Ruđer Bošković", Zagreb, Geološkog Instituta- Sarajevo i Zavoda za zdravstveno varstvo, Maribor.

## LITERATURA

1. Hodak Kobasić, V., Picer, M., Picer, N. and Kovač, T., 2004. Application of ASE 200 extractor for extraction of PCBs from soil samples, *Organohalogen compounds* 66, 31-37
2. Picer, M., 2000. DDTs and PCBs in the Adriatic Sea, *Croatia Chemica Acta* 73, 123-186.
3. Picer, M., 2003. Assessment of the selected POPs (PCBs, PCDDs/Fs, OCPs) in the atmosphere and water ecosystems from the waste materials generated by warfare in former Yugoslavia (AOPSBAL ICA2 -CT2002-2007). "Persistent Toxic Substances Contamination of the European Region", Brno, November 10-12, 2003, Book of abstracts, 42. ([http://www.recetox.muni.cz/sources/workshop\\_1\\_rba\\_pts/II03-Picer.pdf](http://www.recetox.muni.cz/sources/workshop_1_rba_pts/II03-Picer.pdf))
4. Picer, M. and Ahel, M., 1978. Separation of polychlorinated biphenyls from DDT and its analogues on a miniature silica gel column, *J. Chromatogr.* 150, 119-127.
5. Picer, M. i Hodak Kobasić, V., 2005. Projekt Europske Unije: Istraživanja posljedica rata na zagađenje okoliša stabilnim organskim zagađivačima (POPS) na području bivše Jugoslavije, *Hrvatska vodoprivreda* 144, 22-27.
6. Picer, M. and Picer, N., 1993. Levels of some high molecular chlorinated hydrocarbons in sediment samples from the eastern Adriatic coastal waters, *Water, Air and Soil Pollut.* 68, 435-447.
7. Picer, M. i Picer, N., 1998. Ratna razaranja i ugrožavanje vode na krškom području Hrvatske I. Istraživanje razina polikloriranim bifenilima na tlu i u otpadnom ulju ratom oštećenih trafostanica krškog područja Hrvatske, *Hrvatska vodoprivreda*, 73, 10-15.
8. Picer, M. i Picer, N., 1998. Ratna razaranja i ugrožavanje vode na krškom području Hrvatske II. Studija višegodišnjih rezultata analize polikloriranih bifenila u sedimentu i u mekušcima priobalnog područja Zadra, Vranskog jezera, Bilica kod Šibenika i Komolca u Rijeci dubrovačkoj s obzirom na onečišćenja zemljišta trafostanica na tim područjima, *Hrvatska vodoprivreda* 74, 19-27.
9. Picer, M. i Picer, N., 1998. Ratna razaranja i ugrožavanje vode na krškom području Hrvatske: III. Studija višegodišnjih rezultata analize polikloriranih bifenila u ribama priobalnog područja Zadra, Vranskog jezera, Bilica kod Šibenika i Komolca u Rijeci dubrovačkoj s obzirom na onečišćenja zemljišta trafostanica na tim područjima, *Hrvatska vodoprivreda* 75, 55-63.
10. Porte, C., Barceló, D. and Albaigés, J., 1988. Quantitation of total versus selected polychlorinated biphenyl congeners in marine biota samples, *J. Chromatogr.* 442, 386-393.



Nevjerovatne količine otpada su "posijane" svuda, a najviše na obalama naših rijeka - detalja sa rijeke Bosne kod Nemile  
Snimio: M. Lončarević

# KVALITET VODE RIJEKE MILJACKE PRIJE ULASKA U GRAD SARAJEVO

## Sažetak

**K**valitativno-kvantitativna analiza sastava makroinvertebrata sa tri loklita rijeke Miljacke prije ulaska u grad Sarajevo izvršena je na uzorcima bentosa u periodu augusta i septembra 2004. godine. Metodologija uzorkovanja prilagođena je istraživanom dijelu vodotoka, a primjenjena je „kick sampling“ metoda. Rezultati analize kvalitativno-kvantitativnog sastava makroinvertebrata aplicirani su na kvalitet vode u dijelu vodotoka od Kozje Čuprije do Bentbaše. Pri ocjeni kvaliteta vode primjenjen je saprobni indeks (SI) i Extended Biotic Index – EBI (Ghetti, 1986). Vrijednosti ova saprobnog indeksa ukazuju na vodu I/II stupanj kvaliteta (oligo/betamesosaprobna) koja nizvodno primajući veći dio alohtone organske materije prelazi u II stupanj (betamesosaprobni). Vrijednosti raširenog biotičkog indeksa (EBI) ukazuju na vodu II stupnja sa bogatom faunom ali prisutnim eneečišćenjem (8-9).

**Ključne riječi:** makroinvertebrata, kvalitet vode, Miljacka, organsko onečišćenje

## UVOD

Rijeka Miljacka je desna pritoka matičnog vodotoka rijeke Bosne, a formiraju je Paljanska i Mokranjska Miljacka na Palama. Paljanska Miljacka izvire na 1.050 m nadmorske visine, a Mokranjska Miljacka na 1.100. Obje rijeke izviru u pojasu četinarskih šuma. Osnovnu masu gornjeg i srednjeg toka (Kozija čuprija - Alipašin most) čine krečnjaci gornjeg i srednjeg trijasa. Izlazeći iz paljansko-mokranjske visoravni obje Miljacke naglo padaju prema sarajevskoj kotlini, usjecajući duboke i strme kanjone koji se pružaju do ulaska u grad Sarajevo. U Sarajevskom polju Miljacka presjeca slojeve gornjeg oligocena praveći takođe široku aluvijalnu ravan kroz koju danas teče sve

do mjesta Butile gdje je utok u rijeku Bosnu (Mučibačić i sur., 1967).

U gornjim dijelovima je brza tekućica, a ulaskom u grad Sarajevo poprima karakter tipične zagađene tekućice koja u svoje korito prima svu otpadnu vodu grada. Istraživanja usmjerena na kvalitet vode u vodotocima Bosne i Hercegovine u periodu od 1965 – 1981. godine uglavnom su se odvijala u okviru Hidrometerološkog republičkog zavoda u Sarajevu (Blagojević, Dizdarević, Pavlović, 1984). Ova istraživanja bazirana su na analizi fizičko-hemijskih i bioloških parametara, a primjenjivan je zastarjeli saprobni sistem Kolwitz-Marson Liebman. U današnje vrijeme ne postoji biološki monitoring već se kroz nadležne institucije vrše hidrološka mjerenja koja uvrstavaju pored fizičkih i hemijske parametre.

U nekim hidrobiološkim studijama u više navrata je analiziran kvalitet vode u tekućicama sliva rijeke Bosne (Jerković i sur., 1975, Kaćanski, 1980, Trožić-Borovac, Škrijelj, 2000, Trožić-Borovac, 2002) koja su prije svega usmjerena na sagledavanje utjecaja različitih industrijskih otpadnih voda na akvatični živi svijet. U savremenom svijetu uslijed degradacije sveopćeg stanja životne sredine, vodni ekosistemi predstavljaju najsenzitivniji i najznačajniji dio monitoringa i zaštite.

Shodno naznačenom problemu metodologija istraživanja i saprobni sistemi pretrpjeli su modifikacije, a njihova primjenjivost je određena prije svega abiotičkim karakteristikama istraživanog vodotoka (prevenstveno geografskim položajem). U evropskim zemljama najveću primjenjivost ima saprobni indeks u kombinaciji sa odgovarajućim biotičkim indeksom (Trožić-Borovac, 1999). Veoma pouzdana ocjena kvaliteta vode u tekućicama dobivena je na osnovu praćenja stanja populacija makroinvertebrata u bentosu. Svojim brzim djelovanjem na promjene abiotičkih uslova, lahkim uzorkovanjem, velikim diverzitetom na analizi populacija makroinvertebrata u

bentosu tekućica, temelji se preko 50 biotičkih indeksa u ocjeni kvaliteta vode koje su priznate od Evropske Unije i sadržane u direktivama o vodama. Makroinvertebrate bentosa uključuju grupe vodenih insekata koji su veoma osjetljivi na zagađenje (Plecoptere, Ephemeroptere, Trichoptere, Diptere) kao i druge beskičmenjake koje čitav svoj život provode u vodi (Coleoptera, Heteroptera, Megaloptera, Hydrozoa, Gastropoda, Bivalvia, Turbellaria, Oligochaeta, Crustacea, Hirudinea). Podaci o kvalitetu vode zasnovanom na analizi fizičko-hemijskih parametara i makroinvertebrata u vodotoku rijeke Miljacke uglavnom se odnose na gornje tokove i ušće Miljacke (Mučibabić i sur., 1967, Vagner, Meštrović, 1998, Trožić-Borovac, 2002, Trožić-Borovac, Hafner, 2004, Trožić-Borovac, Škrijelj, 2005), dok je srednji dio toka rijeke Miljacke djelomično istraživan (Sofradžija i sur., 2003).

Usljed velike opterećenosti vodotoka rijeke Miljacke otpadnim vodama gradskog stanovništva kao i kolektorima koji sakupljaju industrijske vode (Pivara, Bosnalijek), kao i otpadne vode sve većeg broja ugostiteljskih objekata, značajno je utvrditi stanje ovog vodotoka prije ulaska u grad Sarajevo.

Shodno navedenim razlozima postavljeni su slijedeći ciljevi rada:

- ⇒ analiza nekih fizičko-hemijskih parametara vode na lokalitetima rijeke Miljacke prije ulaska u grad Sarajevo;
- ⇒ sagledavanje kvalitativno-kvantitativnog sastava makroinvertebrata bentosa;
- ⇒ ocjena kvaliteta vode primjenom saprobnog indeksa (SI)
- ⇒ ocjena kvaliteta vode primjenom Extended biotic indexa (Ghetti, 1986);
- ⇒ utvrđivanje kvaliteta vode sa mjerama zaštite istraživanog dijela vodotoka rijeke Miljacke;
- ⇒ antropogeni utjecaj na istraživani dio toka rijeke Miljacke.

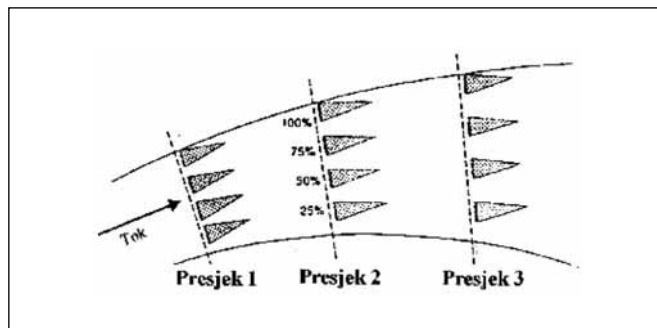
## 1. MATERIJAL I METODE RADA

Uzorkovanje makroinvertebrata bentosa izvršeno je na rijeci Miljacki, na tri lokaliteta: Lokalitet Kozija ćuprija (L1), rijeka Miljacka na lokalitetu Dariva (L2) i Miljacka na lokalitetu iznad restorana Bazeni (L3), u periodu 08.07. do 20.09.2004. godine.

Od fizičko-hemijskih parametara analizirana je temperatura vode i vazduha (termometrom) koje je izvršeno na terenu. Pored toga u okviru prvog izlaska na teren analizirana je pH vrijednost, koncentracija nitrata, fosfata i provodljivost vode u Laboratoriju za biosistematičku i ekologiju na prirodno-matematičkom fakultetu u Sarajevu. Za mjerenje pH i provodljivosti EC (mS/cm) korišten je aparat PET KOMBI 2000, a za nitrata i fosfate primjenjen je Dr. Lange test kitovima i dr. Lange LASA 20 fotometrom.

Uzorkovanje makroinvertebrata izvršeno je "kick sampling" metodom koja je zasnovana na transek-

tnom uzorkovanju, a sadrži tri zbirna uzorka koja su rezultat poduzoraka sa obje strane korita (shema 1). Primjenjena je adekvatna mreža za dublje vode sa držkom od 2 m. Adekvatnost ove metode već je pokazala svoju primjenjivost u ranijim istraživanjima na sličnim vodotocima u Bosni i Hercegovini.



Shema 1. Presjek korita i transekata pri uzorkovanju "kick sampling" metodom

Materijal bentosa sa istraživanih lokaliteta rijeke Miljacke je fiksiran na terenu 4% formaldehidom, a u laboratoriju je izvršena separacija i jedinki u 70 % etilalkoholu. Jedinke su determinisane uglavnom do nivoa vrste, a kod nekih grupa do nivoa familije uz korištenje adekvatne literature (Studemann i sur. 1992, Waringer, Graf, 1997, Dall i sur., 1990, Bauernfeind, 1994). Podaci o kvalitativno-kvantitativnom sastavu makroinvertebrata prikazani su tabelarno i grafički.

Ocjena kvaliteta vode na osnovu sastava zoobentosa izračunata je modificiranim saprobnim indeksom prema formuli:

$$S = \frac{\sum h \cdot s \cdot G}{\sum h \cdot G}$$

- S – saprobni indeks,
- h – relativna abundanca taksona,
- s – saprobna vrijednost (Wegli, 1983) i
- G – indikatorska vrijednost taksona.

Pored saprobnog indeksa primjenjen je rašireni biotički indeks (EBI) koji je zasnovan na činjenici da porast organskog onečišćenja dovodi do iščezavanja makroinvertebrata ustaljenim poretkom: Plecoptera, Ephemeroptera, Trichoptera, *Gammarus*, Diptera.

Vrijednosti modificiranog raširenog biotičkog indeksa izražene u smislu ocjene kvaliteta vodotoka sa pet klasa (Ghetti, 1986):

I klasa kvaliteta: nezagađen vodotok, EBI vrijednost > 10

II klasa kvaliteta: malo zagađen vodotok, fauna razvijena, EBI vrijednost 8-9

III klasa kvaliteta: zagađen vodotok, EBI vrijednost 6-7

IV klasa kvaliteta: moćno zagađen vodotok, EBI vrijednost, 4-5

V klasa kvaliteta: jako zagađen vodotok, EBI vrijednost < 4

### 3. REZULTATI RADA I DISKUSIJA

#### 3. 1. Opis lokaliteta

##### Lokalitet 1 – Miljacka (Kozija ćuprija)

Prvo uzorkovanje vršeno je na lokalitetu Kozija ćuprija (slika 1). Desna obala je strma nagiba 85-90°, stjenovita bez vegetacije, visine 2 m. Lijeva obala je šljunkovita, nagiba 3-5°, na početku bez vegetacije a niže s rijetkim zeljastim zajednicama i jednom drvenastom vrstom, vrbom (*Salix alba*). Voda je bistra, bez mirisa, na mjestu prvog uzorkovanja nešto brža u odnosu na srednji i donji dio prvog lokaliteta. Dno je kamenito a količina nataloženog mulja je upravo proporcionalna udaljavanju od početne tačke istraživanja u smjeru toka. U donjem dijelu ovog lokaliteta dno je pjeskovito. Dubina vode u prosjeku je 30 cm u sredini, a bliže obalama 15-20 cm. Širina korita je oko 5m.



Slika 1. Miljacka na lokalitetu Kozija ćuprija

##### Lokalitet 2 – Miljacka (Dariva)

Dariva (slika 2), se nalazi 500 m nizvodno od Kozije ćuprije. Širina korita u ovom dijelu toka je oko 10 m. Desna obala obrasla je šumskom vegetacijom, gdje dominira joha (*Alnus*), a lijevu obalu pored dominirajućeg šljunka, karakterizira zeljasto bilje klase *Artemisietaea*. Voda je bila jako mutna uslijed eksploatacije šljunka iznad mjesta uzorkovanja. Dno je pjeskovito s rijetkim kamenjem prosječnog dijametra



Slika 2. Lokalitet Dariva

3 cm, čija je obraslost vegetacijom veoma slaba. Dubina vode je u prosjeku 25 cm u sredini, a bliže obalama 10 cm. Budući da je desna obala na sjevernoj strani, osunčanost vode na cijelom lokalitetu je ravnomjerna.

##### Lokalitet 3 - Miljacka (iznad bazena Bentbaša)

Treći lokalitet uzorkovanja nalazi se na mjestu ulaza Miljacke u urbani dio grada Sarajevo (slika 3). Desna obala visine 100 m, obrasla je jasenom (*Fraxinus*) i johom (*Alnus*). Lijeva obala je kamenita do šljunkovita sa izrazito rijetkom biljnom pokrovnošću. Širina korita iznosi 10 m. Dubina bliže lijevoj obali, iznosi oko 15cm, bliže desnoj oko 30 cm i u sredini oko 25 cm. Što je posljedica skretanja toka rijeke na desno za 15-tak stepeni pa je došlo do potkopavanja. Sediment dna je predstavljen kamenjem različitih dijametara 3-5 cm, obraslim algama.

Poslije ovog lokaliteta obale rijeke su antropogenizirane, istovjetne, ograničene kameno-betonskim zidovima sa takođe antropogenim "ž'pritokama" kanalizacionih cijevi bez prečišćivača.



Slika 3. Lokalitet iznad bazena Bentbaša

#### 3.2. Vrijednosti nekih fizičko-hemijskih parametara

Fizičko-hemijska svojstva su veoma značajna za rast i egzistenciju populacija kako biljnih tako i životinjskih organizama bilo da se radi o kopnenim ili vodenim ekosistemima. Prilikom uzimanja uzoraka vršeno je i mjerenje nekih osnovnih fizičko-hemijskih parametara kao što su pH, provodljivost i temperatura vode i zraka.

##### Temperatura

Temperatura vode i zraka mjerena je na svim lokalitetima tokom uzorkovanja. Vrijednosti izmjerenih temperatura na istraživanim lokalitetima prikazane su u tabeli 1.

Tabela 1. Vrijednosti temperature vode i zraka na istraživanim lokalitetima rijeke Miljacke u periodu 08.07.-06.09.2004.godine

Lokalitet	Datum			
	08.07.2004.		06.09.2004.	
	Temperatura ° C			
	Voda	Zrak (0,5 m iznad vode)	Voda	Zrak (0,5 m iznad vode)
L1- Kozija ćuprija	17	29	20	25
L2 –Dariva	17	29	21	24
L3 - Iznad bazena Bentbaša	18	31	23	24
Prosječna temp.	17,7	29,7	21,3	24,3

Iz tabele 1. jasno se uočava da je vrijednost temperature vode najveća u septembru, na lokalitetu L3 (iznad bazena Bentbaša) i iznosi 23 °C, dok je najniža vrijednost temperature vode zabilježena na lokalitetu L1 (Dariva) i to 17°C. Dakle, manje vrijednosti temperature vode zabilježene su u gornjem toku, dok su veće zabilježene na donjim lokalitetima, što se u principu, i očekivalo jer se voda uslijed duže izloženosti suncu zagrijava pa je voda toplija nizvodno. Takođe se može vidjeti da je najveća vrijednost temperature zraka izmjerena u julu i iznosi 31 °C, dok je najniža izmjerena u septembru, a iznosi 24 °C.

#### pH, provodljivost, nitrati i fosfati

Prikazane vrijednosti električne provodljivosti vode u rijeci Miljacki izražene su u mS/l. Mjerenje koncentracije nitrata i fosfata izvršeno je jednom u toku istraživanja, a vrijednosti su izražene u mg/l.

Nema značajnijih variranja mjerenih parametara i njihove vrijednosti su u granici dozvoljenih za nezađane tekućice. U toku istraživanja izmjerena je samo povećana koncentracija fosfata u vodi Miljacke na lokalitetu Dariva. Budući da su maksimalno dozvoljene koncentracije nitrata 10 mg/l, fosfata 0,460 mg/l zaključujemo da je koncentracija nitrata ispod vrijednosti dozvoljene u čistoj vodi. Prosječna vrijednost pH, ukazuje da se radi o slabo bazičnoj vodi (pH=7,9) koja obezbjeđuje povoljnu egzistenciju svih akvatičnih životinja.

#### 3.3. Kvalitativno-kvantitativni sastav populacija makroinvertebrata u uzorcima bentosa rijeke Miljacke

Analizom kvalitativno-kvantitativnog sastava populacije makroinvertebrata u Miljacki na lokaciji Kozija ćuprija do iznad bazena Bentbaša, u periodu 08.07.-06.09.2004. godine konstatovano je 30 taksona sa ukupnim brojem jedinki 684 (tabela 3 i 4). Najveći broj taksona evidentiran je na lokalitetu Kozija ćuprija (25), a najmanji broj taksona konstatovan je na lokalitetu iznad bazena (17). Najveći broj jedinki u uzorcima bentosa evidentiran je također na lokalitetu Kozija ćuprija (227).

Sezona istraživanja je imala uticaj na raznovrsnost i broj jedinki makroinvertebrata na pojedinim lokalitetima Miljacke. U toku jula mjeseca uzorci sa lokaliteta Dariva imaju najveću raznovrsnost (15) kao i broj jedinki (tabela 1). Najveće učešće jedinki je iz grupe vodenih cvijetova (Ephemeroptera). Nešto manja raznovrsnost makroinvertebrata registrovana je u uzorcima bentosa Miljacke na lokalitetu Kozija ćuprija (13) i iznad bazena (11). Globalno posmatrano u uzorcima bentosa na sva tri lokaliteta zastupljeni su preimaginalni stadiji senzitivnih vodenih insekata, a od ostalih grupa javljaju se maločekinjaši i pojedinačno pijavice i puževi.

Tabela 2. Vrijednosti nekih fizičko-hemijskih parametara vode prije ulaska rijeke Miljacke u grad Sarajevo

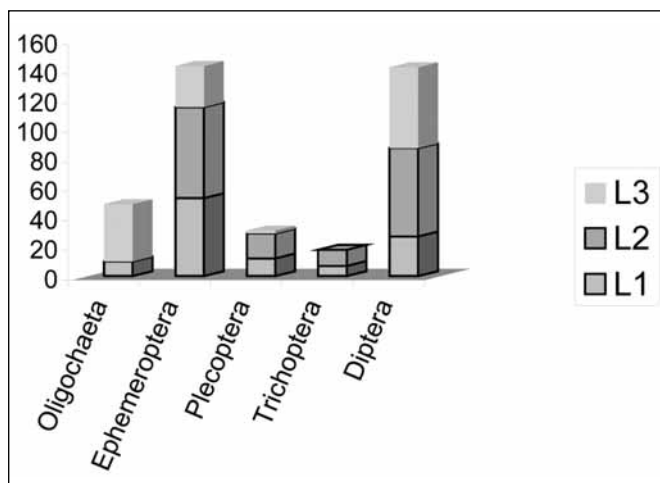
Parametar	08.07.2004. godine		
	L1-M.Kozija ćuprija	L2 – M. Dariva	L3 – M. iznad bazena
pH	8,60	7,54	7,64
Provodljivost (mS/l)	0,38	0,49	0,41
Nitrati (mg/l)	0,99	0,86	0,88
Fosfati (mg/l)	0,17	2,09	0,34

Tabela 3. Kvalitativno-kvantitativni sastav makroinvertebrata u uzorcima bentosa rijeke Miljacke na prostoru od Kozije Čuprije do Bentbaše, 08.07.2004. godine

MAKROINVERTEBRATA	08.07.2004.						s	G
	L1		L2		L3			
	Br.jed	%	Br.jed.	%	Br.jed	%		
<b>OLIGOCHAETA</b>								
<i>Lumbriculidae</i>	10	9,2			30	24,2	3,0	3
<i>Naididae</i>								
<i>Chaetogaster sp.</i>					5	4	2,1	2
<i>Slavina apendiculata</i>					4	3,2		
<b>INSECTA</b>								
<b>Ephemeroptera</b>								
<i>Baetis sp.</i>	15	13,8	5	3,3	2	1,6	1,7	3
<i>Baetis rhodani</i>	5	4,6	23	15,3	4	3,2	1,6	3
<i>Ecdyonurus alpicola</i>			2	1,3			1,6	2
<i>Ecdyonurus sp.</i>	5	4,6					1,6	2
<i>Ephemerella ignita</i>	17	15,6	16	10,7	20	16,1	2,1	2
<i>Ephemerella ikonovski</i>	8	7,3	13	8,7				
<i>Ephemera danica</i>					2	1,6	1,6	3
<i>Epeorus sylvicola</i>	2	1,8	1	0,7			1,1	3
<i>Epeorus sp.</i>	1	0,9	2	1,3			1,1	3
<b>Plecoptera</b>								
<i>Leuctra sp.</i>	12	11	17	11,3	2	1,6	1,3	4
<b>Trichoptera</b>								
<i>Hydropsyche angustipennis</i>			2	1,3			2,5	2
<i>Potamophilax latipennis</i>			2	1,3			1,3	4
<i>Rhyacophila nubile</i>	1	0,9	4	2,7			1,7	3
<i>Rhyacophila sp.</i>	6	5,5	3	2			1,7	3
<b>Diptera</b>								
<b>Chironomidae</b>								
<i>Orthocladinae</i>					15	12,1	2,1	2
<i>Tanytarsinae</i>	15	13,8	30	20	30	24,2	1,9	3
<i>Tanypodinae</i>			15	10	10	8,1	2,9	1
<b>Simuliidae</b>	12	11	15	10			2,0	1
∑ broj jedinki	<b>109</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>100</b>	<b>124</b>	<b>100</b>		
∑ broj taksona	<b>13</b>		<b>15</b>		<b>11</b>			

U uzorcima bentosa rijeke Miljacke na istraživa-  
nim lokalitetima vidljiva je heterogenost u broju jedin-  
ki i grupama makroinvertebrata (graf. 1) koja je direk-  
tno uslovljena ekološkim uvjetima. Najveću brojnost  
jedinke vodenih cvjetova imaju u uzorcima Miljacke

na lokalitetu Dariva, a taj broj se smanjuje nizvodno.  
Vodeni tulari (Trichoptera) nisu konstatovani u uzor-  
cima bentosa Miljacke na lokalitetu iznad bazena,  
dok je broj dvokrilnih insekata (larveni stadiji) velik u  
uzorcima bentosa sva tri lokaliteta.



Graf. 1. Učešće makroinvertebrata u uzorcima bentosa rijeke Miljacke na lokalitetu Kozija čuprija (L1), Dariva (L2) i iznad bazena Bentbaša (L3), 08.07.2004. godine

U toku mjeseca septembra prema rezultatima kvalitativno-kvantitativne analize uzoraka na istraženim lokalitetima (tabela 4) najveća raznovrsnost kao i broj jedinki makroinvertebrata konstatovana je na lokalitetu Kozije Čuprije (L1), a na lokalitetu Dariva došlo je do pada, kako raznovrsnosti tako i brojnosti jedinki.

U uzorcima globalno, dominiraju jedinke klase *Insecta* sa redovima *Ephemeroptera*, *Plecoptera*, *Trichoptera* i *Diptera*. Značajna je pojava dvokrilnih insekata iz podfamilije *Chironominae* u uzorcima bentosa rijeke Miljacke na području iznad bazena (Bentbaša).

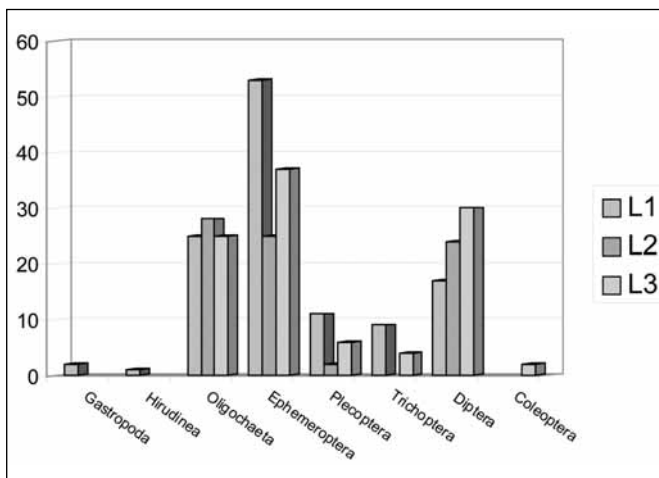
Iz grafičkog prikaza (graf. 2) vidljivo je da u uzorcima bentosa na tri lokaliteta rijeke Miljacke u septembru se povećava raznovrsnost makroinvertebrata. U sastavu zoobentosa javljaju se predstavnici pijavica, gastropoda i tvrdokrilaca koji nisu konstatova-

Tabela 4. Kvalitativno-kvantitativni sastav makroinvertebrata bentosa rijeke Miljacke u periodu 06.09.2004. godine

MAKROINVERTEBRATA	08.07.2004.						s	G
	L1		L2		L3			
	Br.jed	%	Br.jed.	%	Br.jed	%		
<b>GASTROPODA</b>								
<i>Ancylus fluviatilis</i>	2	1,7					1,7 1	
<b>HIRUDINEA</b>								
<i>Dina lineata</i>	1	0,8					2,7 4	
<b>OLIGOCHAETA</b>								
<i>Lumbriculidae</i>	25	21,2	28	35,4	25	24	3,0 3	
<b>INSECTA</b>								
<b>Ephemeroptera</b>								
<i>Baetis sp.</i>	15	12,7	12	15,2	20	19,2	1,7 3	
<i>Baetis rhodani</i>	15	12,7					1,6 3	
<i>Ecdyonurus alpicola</i>	2	1,7					1,6 2	
<i>Ecdyonurus sp.</i>	10	8,5	10	12,7	5	4,8	1,6 2	
<i>Paraleptophlebia submarginata</i>	8	6,8	3	3,8	10	9,6	1,6 3	
<i>Epeorus sp.</i>	3	2,5			2	1,9	1,1 3	
<b>Plecoptera</b>								
<i>Leuctra sp.</i>	9	7,6	2	2,5	6	5,8	1,3 4	
<i>Amphinemura sp.</i>	2	1,7					1,2 2	
<b>Trichoptera</b>								
<i>Hydropsyche angustipennis</i>	2	1,7					2,5 2	
<i>Hydropsyche sp.</i>	5	4,2					1,9 2	
<i>Rhyacophila nubile</i>					1	0,9	1,7 3	
<i>Rhyacophila sp.</i>					3	2,9	1,7 3	
<i>Silo pallipes</i>	1	0,8					1,2 4	
<i>Glossosoma conformis</i>	1	0,8					1,2 4	
<b>Diptera</b>								
<b>Chironomidae</b>								
<i>Chironominae</i>					7	6,7	2,1 2	
<i>Orthocladinae</i>			9	11,4	10	9,6	2,1 2	
<i>Tanytarsinae</i>	16	13,6	15	18,9	10	9,6	1,9 3	
<i>Tanypodinae</i>							2,9 1	
<b>Simuliidae</b>					3	2,9	2,0 1	
<b>Athericidae</b>	1	0,8					1,6 2	
<b>Coleoptera</b>								
<i>Elmis maugei</i>					2	1,9	1,5 2	
<b>Σ broj jedinki</b>	<b>118</b>	<b>100</b>	<b>79</b>	<b>100</b>	<b>104</b>	<b>100</b>		
<b>Σ broj taksona</b>	<b>17</b>		<b>7</b>		<b>13</b>			



ni u ranijem uzorkovanju. Izražena je dominacija senzibilnih oblika kamenjarki (Plecoptera) u uzorcima bentosa rijeke Miljacke na lokalitetu Kozija ćuprija gdje je konstatovano 11 jedinki.



Graf. 2. Učešće makroinvertebrata u uzorcima bentosa rijeke Miljacke na lokalitetu Kozija ćuprija (L1), Dariva (L2) i iznad bazena Bentbaša (L3), 06.09.2004. godine

### 3.4. Ocjena kvaliteta vode rijeke Miljacke prije ulaska u grad Sarajevo SAPROBNI INDEKS (SI) I EXTENDED BIOTIC INDEX (EBI)

Modificirani rašireni biotički indeks predstavlja modifikaciju Trent biotičkog indeksa (Woodiwis, 1964). Vrijednosti indeksa kreću se od 0 do 14. Ovaj indeks prvi put je primjenjen u sjevernoj Italiji, Ghetti, 1986 (Trožić-Borovac, 2002). Prije svega, indeks ukazuje na bioindikatore makroinvertebrata na višem taksonomskom nivou, a bazira se na dvjema činjenicama: organsko zagađenje reducira diverzitet vrsta i povećanjem zagađenosti dolazi do iščezavanja makroinvertebrata. Pored raširenog biotičkog indeksa u ocjeni kvaliteta vode primjenjen je i saprobni indeks koji uvrštava saprobne vrijednosti taksona makroinvertebrata po Weglu, 1983. Dobivene vrijednosti, (tabela 5) oba primjenjena indeksa pokazuje da je voda umjereno zagađena tj. oligo/betamesosaprobna ili I/II kategorije boniteta. Primjećuje se znatan utjecaj sezone, gdje je povećana količina alohtonog materijala rezultirala porast biodiverziteta vrsta sa širokom ekološkom valencom.

Tabela 5. Vrijednosti saprobnog indeksa (SI) i Extended biotic indexa – EBI (Ghetti, 1986) za lokalitete na rijeci Miljacki prije ulaska u grad Sarajevo, juli-septembar, 2004.

Lokalitet	Saprobnii index				Extended biotic index-EBI			
	08.07.		06.09.		08.07.		06.09.	
Kozija ćuprija	1,78	I/II	2,06	II	9	II	9	II
Dariva	1,71	I/II	1,77	I/II	9	II	8	II
Iznad bazena Bentbaša	2,29	II	2,05	II	9	II	9	II

Metoda uzorkovanja "kick sampling" se do sada pokazala kao veoma prihvatljiva za biomonitoring tekućica u Bosni i Hercegovini (Trožić-Borovac, S. 2002, 2004, 2005).

Temperatura vode kao abiotički faktor veoma je značajna za rast, razvoj i distribuciju organizama, zbog čega je ovaj parametar i evidentiran tokom uzorkovanja. Variranje vrijednosti izmjerene temperature zraka po pojedinim lokalitetima rezultat je sezonskog kolebanja temperature.

Električna provodljivost određuje prije svega, količinu rastvorenih jona u vodi. Pored navedenog, na vrijednosti provodljivosti u vodi utiče i temperatura, pH vrijednost, a djelomično i rastvoreni ugljendioksid (Trožić-Borovac, 2002).

pH vrijednost vode gornjeg toka rijeke Miljacke neznatno varira od 7,54 do 8,60 dakle, neutralno do blago bazično.

Komparirajući koncentraciju nitrata u vodi istraživanih lokaliteta sa maksimalno dozvoljenim koncentracijama u vodi ne zapaža se značajno odstupanje. Vrijednosti koncentracije nitrata kreću se od 0,86 do 0,99 mg/l. Koncentracija nitrata karakteristična za nezagađene riječne ekosisteme iznosi 10mg/l. Fosfati pokazuju izvjesno odstupanje, a najveće koncentracije zabilježene su na lokalitetu Dariva 2,09. U vrijeme uzorkovanja registrovan je velik broj riječnih rakova koji su veoma osjetljivi na povećanu koncentraciju fosfata u vodi. Riječni rakovi su migrirali iz gornjih tokova rijeke Miljacke (gdje je vjerovatno unešena veća količina otpadnih voda bogatim fosfatima) i u veoma teškom stanju našli utočište u srednjim tokovima rijeke.

Na jednom od ispitivanih lokaliteta i to na lokalitetu L1, Dariva u septembru, od *Hirudinea*, pronađena je vrsta prugasta pijavica - *Dina lineate* OF. Muller, 1744. iz porodice *Erpobdellidae* s relativnim učešćem od 0,8%.

Iz skupine *Oligochaeta* - maločekinjaša, registrovani su predstavnici dvije porodice *Lumbriculidae* i *Naididae*, s tim da su jedinke porodice *Lumbriculidae* znatnije zastupljene na skoro svim lokalitetima, dok su jedinke iz porodice *Naididae* pronađene samo na lokalitetu L3 iznad bazena Bentbaša i to vrste *Chaetogaster sp.* 4 % i *Slavina apendiculata* 3,2 %. *Naididae* imaju široku ekološku valencu za većinu ekoloških faktora, ali su slabi indikatori kvaliteta vode (Wegl, 1983.). *Lumbriculidae*, takođe, posjeduju široku valencu za većinu ekoloških faktora.

Ephemeroptera su predstavljene sa deset vrsta, od kojih su četiri vrste sa uskom ekološkom valencijom naseljavaju isključivo čiste vodotoke (Stuedeman, 1992). Posebno je značajna konstatacija prisustva vrste *Ephemerella ikonovici* Puthz, 1971. koja je do sad evidentirana u slivovima Neretve, Drine i u rijeci Bosni (Tanasijević, 1979, 1980) ali nikad u Miljacki.

Značajne u ekologiji voda i samom biomonitoringu su kamenjarke, *Plecoptera*. Preimaginalni stadiji kamenjarki uglavnom, naseljavaju izvorišne dijelove vodotoka kao najsenzibilnija grupa unutar bentosa slatkovodnih ekosistema (Woodiwiss, 1964). U ovim istraživanjima konstatovana je vrsta *Leuctra sp.* iz familije *Leuctridae* koje naseljavaju vode u kojima je prisutna organska materija, a hrane se detritusom. Istraživani lokaliteti obiluju detritusom što je rezultiralo pojavom vrsta iz ove familije na sva tri lokaliteta. Iz porodice *Nemouridae* evidentirano je prisustvo samo jedne vrste *Amphinemura sp.* i to dvije jedinke na lokalitetu Kozija ćuprija u septembru.

Od vodenih moljaca ističe se prisustvo vrsta roda *Rhyacophila* koje naseljavaju vode bogate kisikom. Iako su dobri indikatori čiste vode javljaju se i u zagađenim vodama s manjim brojem jedinki (Wegl, 1983). Iz skupine *Trichoptera* konstatovani su i rod *Hydropsyche* predstavljen trima vrstama koje se javljaju pojedinačno. Prema načinu ishrane spadaju u grupu filtratora (Moog, 1995). Porodica *Goeridae* zastupljena samo jednom vrstom *Silo pallipes* (Fabricius, 1781) i to u septembru na lokalitetu Kozija ćuprija jednom jedinkom. Takođe, jednom vrstom i jednom jedinkom na istom lokalitetu u septembru predstavljena je i porodica *Glossosomatidae*, vrsta *Glossoma conformis* Neboiss, 1963.

*Diptera*, dvokrilni insekti su konstatovani u svim uzorcima na svim istraživanim lokalitetima i može se reći da je po brojnosti najzastupljenija skupina makroinvertebrata na istraživanim lokalitetima. Spadaju u grupu eurivalentnih organizama. Neki od predstavnika ove skupine organizama žive u zagađenim tekućicama i saprofagi su, a neki naseljavaju isključivo oligotrofne vode te se hrane biljkama i algama. Neki su čak i predatori, te u ishrani koriste druge organizme, a ima i predstavnika parazita koji žive u tijelu drugih organizama. Zbog njihove velike međusobne različitosti koja otežava njihovu identifikaciju, determinacija ovih jedinki izvršena je samo do nivoa porodica i potporodica. Najzastupljenija je porodica *Chironomidae* u okviru koje je potporodica *Tanytarsinae* najbrojnija i javlja se na sva tri lokaliteta. Druga uočena porodica, s manjim brojem jedinki, je porodica *Simuliidae* s vrstom *Simulium ornatum* u julskom aspektu na L1 i L2 lokalitetima. Predstavnici ove familije su stanovnici kamenitog sedimenta obraslog makrofitama (Lindegaard, 1994), javljaju se u uzorcima čistih voda, a i u izrazito zagađenim, pa su slabi indikatori kvaliteta vode. Treća porodica evidentirana iz klase *Diptera* je *Athericidae*, vrsta *Atherix sp.*, pronađe-

na je na lokalitetu Kozija ćuprija u septembru i to jedna jedinka. Larve ove vrste žive u truhlom lišću i karakteristične su za oligosaprobne do betamesosaprobne vode.

Tvrdokrilci, *Coleoptera* su predstavljeni familijom *Elminthidae*, u okviru koje se javljaju i imaga i larve. Na sva tri istraživana lokaliteta pronađena je samo jedna vrsta *Elmis maugei* i to dvije jedinke, u septembru na lokalitetu iznad bazena Bentbaša (L3).

Primjenom saprobnog indeksa u ocjeni kvaliteta vode srednjeg toka rijeke Miljacke (Kozija ćuprija – Bentbaša), dobivene su vrijednosti od 1,73 na lokalitetu Kozija ćuprija (I/II stupanj) do 2,19 na lokalitetu iznad bazena – Bentbaša (II stupanj kvaliteta). Ovakve vrijednosti ukazuju na manje prisustvo organske materije u vodi Miljacke na lokalitetu Kozija ćuprija, a nizvodno količina organskog onečišćenja se povećava što rezultira djelomičnim padom kvaliteta vode.

Vrijednosti Extended biotic indexa su ujednačene, te ukazuju na vodu blago zagađenu sa dobro razvijenom faunom (8-9). Ovaj indeks se odnosi na biotop, a ne samo na uzorke, te je s toga veoma pouzdan u ocjeni uslova u vodenom ekosistemu.

Veoma različita zastupljenost indikatora čiste i indikatora zagađene vode, te različita brojnost populacija, rezultat je veoma aktivnog antropogenog uticaja na istraživanom dijelu rijeke. Za vrijeme uzorkovanja voda je bila jako mutna zbog čišćenja korita teškim mašinama, što je uzrokovalo uništenje populacija pojedinih vrsta makroinvertebrata i dovelo do izmjene sedimenta.

#### 4. ZAKLJUČCI

Na osnovu rezultata provedenog istraživanja populacija makroinvertebrata zoobentosa rijeke Miljacke od Kozije ćuprije do bazena Bentbaša uopćeno, mogu se izvesti slijedeći zaključci:

- Mjerenjem nekih fizičko-hemijskih parametara vode utvrđeno je povećanje količine fosfata na lokalitetu Dariva, što je rezultat negativnih djelovanja u gornjim tokovima istraživane tekućice.
- vrijednosti ostalih fizičko-hemijskih parametara su u granicama za čiste vode.
- Analizom kvalitativno-kvantitativnog sastava makroinvertebrata u uzorcima bentosa na lokalitetima srednjeg toka rijeke Miljacke, od Kozije ćuprije do Bentbaše utvrđeno je 30 taksona sa 684 jedinke u periodu od 8.07. do 7.09.2004. godine.
- U ljetnjem aspektu registrovan je 21 takson makroinvertebrata sa 383 jedinke, a u jesenjem periodu 24 taksona sa nešto manjim brojem jedinki, 301.
- Veliki značaj u faunističkim istraživanjima vodenih cvjetova u bentosu istraživanog dijela rijeke Miljacke, predstavlja pronalazak endemične vrste *Ephemerelle ikonovici*. Ova vrsta je po prvi put konstatovana u istraživanom vodotoku, čime se areal ove vrste proširio.

- Zajednica zoobentosa je sa karakterističnim kvalitativnim sastavom za srednji tok tekućice (izrazita dominacija vodenih insekata gdje se ističu vodeni cvjetovi).
- Vrijednosti saprobnog indeksa u ocjeni kvaliteta vode ukazuju da je voda rijeke Miljacke na lokalitetu Kozije ćuprije oligo-betamesosaprobna (1,73 -) ili I/II stupanj kvaliteta, na lokalitetu Dariva betamesosaprobna (1,91) ili II stupnja kvaliteta i najveća vrijednost na lokalitetu iznad bazena Bentbaša (2,19) betamesosaprobna ili II stupnja kvaliteta, ali na gornjoj granici prema zagađenoj tekućici.
- Modificirani rašireni biotički indeks ima relativno ujednačene vrijednosti za sva tri istraživana lokaliteta rijeke Miljacke i kreće se u dijapazonu 8 -9 što ukazuje na vodu sa prisutnom organskom materijom i bogatom akvatičnom faunom u bentosu (II stupanj kvaliteta).
- Primjenjeni indeksi (biotički) u ocjeni kvaliteta vode pokazali su svoju opravdanost i ukazali na promjene u istraživanom dijelu vodenog ekosistema rijeke Miljacke koji je direktno pod uticajem negativnih djelovanja u gornjim tokovima i prisutnim utjecajima čovjeka na istraživanim lokalitetima.

## 5. LITERATURA:

1. Bauernfeind, E. (1994): Bestimmungsschlüssel für die Österreichischen Eintagsliegen (Insecta:Ephemeroptera), 1. Teil. Wien, Bundesanstalt für Wassergüte des Bundesministeriums für Land und Forstwirtschaft, 92s.
2. Blagojević, S., Dizdarević, M., Pavlović, B. (1984): Odnos između nekih bioloških i fizičko-hemijskih parametara kvaliteta vode u tekućicama Bosne i Hercegovine: Elaborat. Prirodno-matematički fakultet, Sarajevo
3. Dall, C.P., Iversen, T.M., Kirkegard, J., Lindegaard, C. Et Thourp, J. (1990): En oversigt over danske ferskvandsinvertebrater til brug ved bedømmelse af forureningen i Søer og vandløb. Ferskvandsbiologisk Laboratorium, Universitet og Miljøkontoret, Storstrøms amt. København.
4. Ghetti, P.F. (1986): I macroinvertebrati nell'analisi di qualità dei corsi d'acqua. Università di Parma. Cattedra di Idrobiologia, Trento, 11.
5. Jerković, L., Kosorić, Đ., Petrović, G., Stilinović, B., Pavlečić, Z., Kačanski, D., Krek., S., Tanasijević, M. (1975): Biološki parametric kvaliteta vode u oblasti narušenoj eksploatacijom uglja I industrijom. Elaborat: Biološki institute Univerziteta u Sarajevu, 187 pp.
6. Kačanski, D. (1980): *Biološki aspect degradacije kvaliteta vode ekosistema rijeke Bosne*. Elaborat. Biološki institute Univerziteta u Sarajevu.
7. Lindegaard, C. (1994): The faunas response on human impacts in running waters with special, reference to lowland conditions. In Biological Assessment of Stream Water Quality, University of Ljubljana, Ljubljana, 11-48.
8. Moog, O. (Ed.) (1995): Flora and fauna european running waters. Strasbourg, Council of Europe, European committee for the conservation of nature and natural resources, Strasbourg.
9. Mučibabić, S., (1967): Kompleksna limnološka ispitivanja sliva rijeke Bosne. Biološki institute Univerziteta u Sarajevu, 66 pp
10. Studemann, D., Landolt, P., Sartori, M., Hefti, D., Tomka, I., (1992): Ephemeroptera, Insecta Helvetica, Fauna (9). Societe entomologique Suisse, 174.
11. Tanasijević, M. (1979): prilog poznavanja vrste Ephemera ikonovici Puthz (Insecta, Ephemeroptera). Godišnjak Biološkog instituta Univerziteta u Sarajevu, XXXII, 163-169.
12. Tanasijević, M. (1981): Ephemeroptera. Elaborat: Endemični vodeni insekti BiH. Biološki institut Univerziteta u Sarajevu, 5-15.
13. Trožić-Borovac, S. (1999): Savremene biološke metode evaluacije vodotoka. Zbornik radova sa savjetovanja Zaštita voda I održivi razvoj, Neum, 22-24. Preduteće za "Vodno područje slivova rijeke Save", Javno preduzeće za "Vodna područja slivova Jadranskog mora", Sarajevo, Mostar, 377-380. savjetovanje
14. Trožić-Borovac, S., Škrijelj, R. (2000): Makroinvertebrata u ocjeni kvaliteta vode gornjeg toka rijeke Une. Veterinaria, 49, 3-4: 321-332.
15. Trožić-Borovac, S. (2002): *Makroinvertebrata bentosa rijeke Bosne i pritoka u ocjeni kvaliteta vode*. Doktorska disertacija. Prirodno-matematički fakultet Univerzitet u Sarajevu.
16. Trožić-Borovac, Hafner, D. (2004): Fitobentos I zoobentos hidroekosistema šireg područja Vrela Bosne u ocjeni kvaliteta vode. Voda I mi. Javno preduzeće za "Vodno područje slivova rijeke Save", Sarajevo; 37: 18-26
17. Trožić-Borovac, Škrijelj, R. (2005): Makroinvertebrata bentosa ušća Željeznice I Miljacke. Voda I mi. Javno preduzeće za "Vodno područje slivova rijeke Save", Sarajevo; 38-39: 65-71.
18. Vagner, D., Meštrov, M. (1998): Učinak onečišćenja na zajednice bentoskih beskralježnika u ušćima pritoka rijeke Bosne. Vodoprivreda, Sarajevo, 2: 124-131.
19. Waringer, J., Graf, W. (1997): *Atlas der Österreichischen köcherfliegenlarven: unter Einschluß der angrenzenden Gebiete*. Facultas Universitätsverlag, Wien.
20. Woodiwiss, F.S. (1980): The Biological System of Stream Classification used by the Trent River Board. Chemistry and Industry, 1: 443-447.
21. Wegl, R. (1983): Index für die Limnosaprobiat. Wasser und Abwasser, 26:1-175
22. Willham, J.L., Dorris, T.C. (1968): Biological parameters for water quality criteria. Bioscience, 18: 477: 81.

# MAKROINVERTEBRATI ZOOBENTOSA RIJEKE KRIVAJE KAO INDIKATORI KVALITETA VODE

## SAŽETAK

**K**opnene vode su od ogromnog značaja za čovječanstvo. Stepenn njihovog zagađenja je veliki a najveći procent je antropogenog uticaja. Iz tog razloga je potrebna stalna kontrola kvaliteta vode, tj. uvesti niz savremenih metoda biomonitoringa voda. U ovom radu izvršena su jednogodišnja istraživanja makroinvertebrata zoobentosa rijeke Krivaje od njenog postanka u naselju Olovo, od sastavnica: Bioštica i Stupčanice, do ušća u rijeku Bosnu u naselju Zavidovići. U toku istraživanja izvršena su mjerenja i analize određenih fizičko-hemijskih parametara vode. Prikupljeno je 90 uzoraka makroinvertebrata sa šest odabranih lokaliteta rijeke. Uzorkovanja su izvršena metodom "kick sampling". Izvršena je analiza kvalitativno-kvantitativnog sastava zajednice makroinvertebrata, njihova determinacija i utvrđena njihova distribucija u rijeci. Raznovrsnost sastava makroinvertebrata Krivaje prikazana je izračunavanjem Shannon-Weaverova indeksa diverziteta. Kvalitet vode je određen izračunavanjem modificiranog raširenog biotičkog indeksa i modificiranog saprobnog indeksa po Weglu.

**Ključne riječi:** Makroinvertebrati zoobentosa, biomonitoring voda, biotički i saprobnii indeksi.

## UVOD

Zbog negativnog antropogenog uticaja na površinske vode potrebno je uvesti odgovarajuću legislativu u biomonitoringu voda. U dosadašnjim naučnoistraživačkim radovima istražene su različite populacije vodenih, organizama među kojima i makroinvertebrati zoobentosa tekućica. Makroinvertebrati zoobentosa su beskičmenjaci različitih taksonomskih skupina koji žive na različitom supstratu tekućica a čija je veličina tijela preko 0,5 mm. U Bosni i Hercegovini istraživani su redovi insekata: *Plecoptera* (Ka-

ćanski, 1972, 1978), *Trichoptera* (Marinković, 1969), *Ephemeroptera* (Tanasijević, 1981), *Simuliidae* (Kaćanski, 1970), *Psychodidae* (Krek, 1999) i drugi radovi. Vagner i Meštrović su dali doprinos u istraživanju zoobentosa i podacima o kvalitetu vode tekućica (Vagner, 1982; Vagner, Meštrović, 1988). Posljednjih godina vršene su primjene biotičkih indeksa u ocjeni kvaliteta voda Bosne i Hercegovine (Trožić-Borovac, Škrijelj, 2000; Trožić-Borovac, 2001; Čičić, 2003; Cikotić, 2004). U ovom radu vršena su istraživanja biodiverziteta makroinvertebrata zoobentosa rijeke Krivaje, te primijenjeni odgovarajući saprobnii i biotički indeksi u određivanju kvaliteta vode. Rijeka Krivaja je jedna od najvažnijih desnih pritoka rijeke Bosne u njenom središnjem toku. Krivaja nastaje od dvije sastavnice – Bioštica i Stupčanice u gradu Olovo. Uliva se u rijeku Bosnu u gradu Zavidovići, njena ukupna dužina toka je 56,6 km. Reljef istraživane tekućice najvećim dijelom karakterišu uske doline i klisure probojnice. Cilj istraživanja rijeke Krivaje u ovom radu bio je utvrđivanje biodiverziteta makroinvertebrata zoobentosa uz primjenu odgovarajućih biotičkih indeksa u ocjeni kvaliteta vode. Postavljeni cilj istraživanja treba da obezbijedi uvid u kvalitet vode rijeke Krivaje i mogućnost daljeg monitoringa i očuvanja ove tekućice.

## MATERIJAL I METODE RADA

Istraživanje makroinvertebrata zoobentosa rijeke Krivaje izvršeno je na šest lokaliteta, na koji je prikupljeno 90 uzoraka. Odabrani lokaliteti su: lokalitet A (LA) - na rijeci Bioštica; lokalitet B (LB) - na rijeci Stupčanici; na rijeci Krivaji - lokalitet 1 (L1) - na području Boganovića; lokalitet 2 (L2) - ispod Stipin Hana; lokalitet 3 (L3) - u Vozuđoj i lokalitet 4 (L4) - u naselju Kovači. Uzorkovanja su izvršena pet puta u jednogodišnjem periodu: 10.11.2001, godine; 10.03.2002. godine, 08.06.2002. godine, 11.07.2002. godine i

26.10.2002. godine. Izvršena je analiza nitrata i fosfata i biološka potrošnja kiseonika za pet dana (BPK<sub>5</sub>) u uzorcima vode Krivaje u komunalnom preduzeću "Rad" u Tešnju. Temperatura zraka (°C) mjerena je termometrom, temperatura vode (°C), količina kiseonika (mg/l) i zasićenost vode kiseonikom (%) mjereni su oksimetrom (mikroprocesor OXI III). Protok vode mjereno je lopticom stiropora uz primjenu štoperice. Izmjerena je širina korita rijeke (m) dugom trakom, dubina vode (cm) drvenim metrom, zabilježeni podaci o boji, mirisu vode, osobinama sedimenta, visini obala, obraslost sedimenta podvodnim biljem i prisustvo priobalne vegetacije. Uzorkovanje makroinvertebrata vršeno je metodom "kick sampling" (Dall i sar., 1995). Na svakom lokalitetu urađena su po tri transekta, na rastojanju od po 10 m. Na svakom od transekata su uzeta po četiri poduzorka u zbirni uzorak a materijal fiksiran 4% formaldehidom. U laboratoriji PMF u Sarajevu ispirani su uzorci u sitima čija su okca 0,5 mm. Uz primjenu binokularne lupe izvršena je separacija makroinvertebrata i materijal fiksiran u 70% alkoholu. Determinacija makroinvertebrata izvršena je do različitih taksonomskih kategorija uz korištenje odgovarajućih ključeva za determinaciju (Waringer i Graf, 1997; Bole, 1969; Macan i sar., 1970; Nagel, 1989). Biološke karakteristike lokaliteta prikazane su vrstama odgovarajućih taksona, brojem jedinki pojedinačnog taksona i relativnim prisustvom (Petz, 1985). Raznovrsnost zajednica makroinvertebrata prikazana je Shannon-Weaverovim indeksom diverziteta (Shannon-Weaver, 1949). Kvalitet vode je određen metodama: modificiranim raširenim biotičkim indeksom (Ghetti, 1986) i izračunavanjem modificiranog saprobnog indeksa (Wegl, 1983) gdje se koriste vrste, rodovi i familije koje imaju svoje saprobne i indikatorske vrijednosti. Za saprobnu kategorizaciju poslužila je tabela koju su dali Dall i sar., 1995. Stepem heterogenosti bentosa Krivaje prikazan je izračunavanjem indeksa raznolikosti (d) makroinvertebrata, kao i na osnovu dobijenih vrijednosti koeficijenta sličnosti - QS (Kerovec, 1988).

## REZULTATI I DISKU SIJA

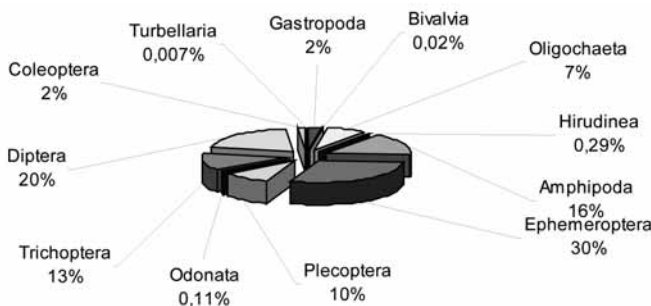
Prosječna temperatura vode rijeke Krivaje u toku jednogodišnjeg istraživanja bila je 11,3 °C, te se ova rijeka može smatrati gorskom tekućicom (Mol, 1979). Mjerenjem protoka vode Krivaja pokazuje osobine bujičnih voda planinskog predjela. U julu 2002. godine dobivena je najmanja prosječna vrijednost protoka vode: 8,63 m<sup>3</sup>/s, dok je najveća prosječna vrijednost protoka bila u martu 2002. godine: 16,07 m<sup>3</sup>/s. Vrijednosti pH vode Krivaje pokazuju variranja od 6,7 na lokalitetu Boganovići do 8,9 na lokalitetu Stipin Han. Veće bazne vrijednosti posljedica su ulivanja organskog zagađenja, stajskog đubriva iz staja blizu rijeke, kao i visokih ljetnjih temperatura i razvoja perifitona. Količina kisika u vodi zavisi od toplote zraka, temperature vode i odnosa između produ-

kcije i respiracije. Male vrijednosti saturacije kiseonika u vodi: 68%, jula 2002. godine na lokalitetu Vozuće vjerovatno su rezultat visokih temperatura, dobro razvijene priobalne vegetacije, a i pijesak "kum" kao sediment ne pogoduje dobrom razvoju fitobiocenoze. Velike vrijednosti saturacije kiseonika u vodi: 112% dobivene u oktobru 2002. godine na lokalitetu Kovači rezultat su velike širine korita rijeke, bolje osunčanosti vode i dobrog razvoja perifitona. Dobivena prosječna vrijednost BPK<sub>5</sub> u julu 2002. godine u uzorcima vode Krivaje: 1,68 mg/l ukazuje da je voda I-II klase kvaliteta, dok su uzorci u oktobru 2002. godine imali visoke vrijednosti na lokalitetu Vozuće: 3,03 mg/l i na lokalitetu Kovači: 7,72 mg/l. Te vrijednosti bile su posljedica naglih padavina kiše u toku uzorkovanja vode, što je dovelo do nabujalosti rijeke, njenog замуćenja, a i pokazale bujičavi karakter Krivaje. Vrijednosti analiziranih nitrata i fosfata nisu prelazile granice dozvoljenih vrijednosti. U periodu od novembra 2001. godine do oktobra 2002. godine prikupljeno je 90 uzoraka makroinvertebrata zoobentosa rijeke Krivaje. U tim uzorcima je nađeno 133 taksona sa 12.766 jedinki. Najveći broj taksona nađen je u uzorcima bentosa Krivaje na lokalitetu Bogano-



Automatska hidrološka stanica na rijeci Krivaji  
Snimio: H. Mičivoda

vići: 102, dok je najmanji broj nađen na lokalitetu Vozuće: 50 taksona. To pokazuje veći diverzitet makroinvertebrata u gornjem toku Krivaje, kao i na nepovoljni sediment na lokalitetu Vozuće. Najveći broj jedinki nađen je u bentosu Bioštice: 5.489, dok je najmanji broj jedinki makroinvertebrata nađen u uzorcima bentosa Krivaje, također na lokalitetu Vozuće: 569, što potvrđuje prethodnu konstataciju. Veliki broj jedinki makroinvertebrata u bentosu Bioštice rezultat je velike brojnosti pojedinih populacija – *Gammarus balcanicus*: 1.929 jedinki, *Diptera*: 1.010 jedinki. Od skupina makroinvertebrata zoobentosa istraživane tekućice sa najvećim brojem jedinki ističu se: *Ephemeroptera* – 24 taksona sa 3.719 jedinki, *Diptera* – 14 porodica sa 2.561 jedinkom, *Trichoptera* – 37 taksona sa 1.683 jedinke, *Plecoptera* – 22 taksona sa 1.238 jedinki. Sa malim brojem jedinki pored ostalih u uzorcima konstatovane su: *Turbellaria* – jedna vrsta sa jednom jedinkom, *Bivalvia* – dvije vrste sa tri jedinke, *Odonata* – tri vrste sa 15 jedinki i *Hirudinea* – dvije vrste sa 38 jedinki. Pored pomenutih skupina makroinvertebrata u uzorcima su nađene: *Gastropoda*, *Oligochaeta* i *Coleoptera* (graf. 1)



Graf. 1. Konstatovane skupine makroinvertebrata i njihov procentualni odnos zastupljenosti u uzorcima bentosa makroinvertebrata rijeke Krivaje u periodu od novembra 2001. godine do oktobra 2002. godine

Na diverzitet makroinvertebrata zoobentosa Krivaje utiče i sezonska ritmika razvoja organizama. Važno je pomenuti veću brojnost senzibilne skupine *Plecoptera* u uzorcima, posebno porodice *Leuctriidae* sa ukupno 403 nađene jedinke, *Nemouridae* – sa 248 jedinki, što ukazuje na dobar kvalitet vode. Od vodenih cvjetova (*Ephemeroptera*) u uzorcima bentosa brojne su porodice: *Baëtidae* – sa 1.239, *Ephemerillidae* – sa 979 i *Heptagenidae* – sa 828 jedinki. Od *Trichoptera* u uzorcima bentosa istraživane tekućice sa većim brojem jedinki ističu se porodice: *Hydropsichyidae* – sa 519, *Sericostomatidae* – sa 320, *Goeridae* – sa 274 jedinke. Od dvokrilaca (*Diptera*) najbrojnija je prordica *Chironomidae* – sa 1.570 jedinki, što ukazuje na organsko opterećenje vode na pojedinim lokalitetima u naseljenim područjima. Primjenom Shannon-Weaverova indeksa diverziteta

dolazimo do zaključka da diverzitet organizama opada pod uticajem zagađenja. Upotrebom ovog indeksa vrši se ocjena kvaliteta vode (Willhm, 1967). Ovaj indeks prvi put je primijenjen na području Bosne i Hercegovine u istraživanju rijeke Bosne (Trožić-Borovac, 2001), kasnije u istraživanju rijeke Fojnice (Čičić, 2003). Srednja vrijednost Shannon-Weaverova indeksa diverziteta za uzorke bentosa Krivaje: 3,35 ukazuju na čistu vodu. Naročito visoke vrijednosti su dobivene za uzorke Krivaje na lokalitetu Stipin Han: 3,63 i Kovača: 3,41. Modificirani rašireni biotički indeks (EBI) predstavlja modifikaciju Trent biotičkog indeksa (Woodiwis, 1964). On pokazuje da organsko opterećenje tekućice reducira diverzitet vrsta organizama zbog čega dolazi do iščezavanja vrsta makroinvertebrata od najosjetljivijih (*Plecoptera*) do sve manje osjetljivijih određenim redom, do *Tubificidae* (Ghetti, 1986). Srednja vrijednost za uzorke bentosa Krivaje je bila: 11,6, što ukazuje na čistu vodu, tj. vodu I klase kvaliteta. Izračunavanjem saprobnog indeksa po Veglu, 1983 za uzorke bentosa Krivaje dobijena je srednja vrijednost: 1,7. Ta vrijednost ukazuje na malo do umjereno zagađenu vodu, tj oligo-beta mezosaprobnu vodu. Vrijednost saprobnog indeksa za uzorke bentosa Krivaje na lokalitetu Kovači od 1,9 ukazuje da se Krivaja postepeno longitudinalno opterećuje organskim otpadom od gornjeg prema donjem toku. Vrijednosti indeksa raznolikosti (d) za uzorke Bioštice i Stupčanice: 0,01 ukazuju da su te tekućice pod jačim organskim opterećenjem iz grada Olovo. Vrijednosti koeficijenta sličnosti (QS) ukazuju na ujednačen i relativno visok procent sličnosti između istraživanih lokaliteta (gornji – srednji tok: 76,6%; gornji – donji tok: 75,1; srednji – donji tok: 74,6%). Ukupni rezultati kao i primjena različitih metoda monitoringa: diverzitetni, saprobni i biotički pristup treba da posluže u iznalaženju efikasne kontrole i stalnog biomonitoringa rijeke Krivaje.

## ZAKLJUČCI

Na osnovu jednogodišnjeg istraživanja makroinvertebrata zoobentosa rijeke Krivaje mogu se izvesti sljedeći zaključci:

1. Na osnovu mjerenih i analiziranih fizičko-hemijski parametara može se zaključiti da rijeka Krivaja pripada planinskim tekućicama, bujičavog karaktera toka, sa mjestimičnim organskim opterećenjem u naseljenim područjima, povoljnim sedimentom u većem dijelu njenog toka, povoljnim količinama kiseonika u vodi, što sve omogućava dobar razvoj istraživane zajednice organizama.
2. Analiza kvalitativno-kvantitativnog sastava makroinvertebrata u prikupljenih 90 uzoraka ukazuje nam na veliki diverzitet makroinvertebrata zoobentosa Krivaje, na sezonsku ritmiku njihovog razvoja, na organska opterećenja pojedinih lokaliteta, na nepovoljni sediment – pijesak "kum" na lokalitetu Vozuće za razvoj makroinvertebrata i na opadanje

- brojnosti senzibilnih populacija u donjem toku rijeke.
- Analizom uzoraka bentosa Krivaje dobijena je relativno visoka srednja vrijednost indeksa diverzitet koja ukazuje da vladaju povoljni uvjeti za razvoj makroinvertebrata.
  - Dobivene vrijednosti indeksa raznolikosti ukazuju na organsko opterećenje satavnica Krivaje – Bištica i Stupčanice u gradu Olovo, dok vrijednosti koeficijenta sličnosti ukazuju na ujednačen i relativno visok procent sličnosti između istraživanih lokaliteta.
  - Dobijena srednja vrijednost EBI indeksa za uzorke bentosa Krivaje ukazuju na čistu vodu.
  - Srednja vrijednost saprobnog indeksa: 1,7 za uzorke istraživane tekućice ukazuje nam na malo do umjereno zagađenu vodu, tj. oligo-beta mezosaprobnu vodu rijeke Krivaje.
  - Upotrijebljena metoda "kick sampling" je odgovarajuća za istraživanja sličnih tipova tekućica.
  - Ukupni rezultati ovog istraživanja i primjena odgovarajućih metoda monitoringa mogu poslužiti u uspostavi stalnog biomonitoringa rijeke Krivaje.

## LITERATURA

- Bole, J. (1969.): Ključići za določevanje živali: mekušci (Mollusca). Inštitut za biologijo, Univerze v Ljubljani in Društvo biologov Slovenija, Ljubljana.
- Cikotić, M. (2004.): Makroinvertebrati zoobentosa rijeke Krivaje kao indikatori kvaliteta vode: magistarski rad. Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo.
- Čičić, A (2003.): Biodiverzitet makroinvertebrata zoobentosa rijeke Fojnice: magistarski rad. Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo.
- Dall P.C., Friberg, N., Lindegaard, C., Toman, M.J. (1995.): A practical guide of biological assesment of stream water quality. Biological Assesment of Aream Water Quality. University of Ljubljana, 97-117.
- Ghetti, P. F. (1986.): I macroinvertebrati nell' analisi di qualita dei corsi d'acqua. Universita di Parma, Catedra di Idrobiologia, Trento.
- Kaćanski, D. (1970.): Fauna Simulidae (Diptera) u tekućicama na području planina Maglič, Volujak i Zelengora. Glasnik Zemaljskog muzeja Bosne i Hercegovine u Sarajevu, IX: 79-92, Sarajevo.
- Kaćanski, D. (1972.): Plecoptera sliva gornjeg toka rijeke Bosne, Glasnik Zemaljskog muzeja Bosne i Hercegovine, X: 104-117, Sarajevo.
- Kaćanski, D (1978.) Plecoptere sliva Neretve. Godišnjak Biološkog instituta Univerziteta u Sarajevu, 31: 57-69, Sarajevo.
- Kerovec, M. (1988.): Ekologija kopnenih voda. Hrvatsko ekološko društvo i dr Ante Pelivan, Mala ekološka biblioteka, Zagreb.
- Krek, S. (1999.): Psychodidae (Diptera, Insekta) Balkanskog poluotoka. Studentska štamparija Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo.
- Macan, T.T., M.A. (1970.): A key to the Nymphes of the British species of Ephemeroptera. Freshwater Biological Asociation, Scientific Publication No. 20.
- Marinković, M. (1969.): Trichoptere Bosne i Hercegovine. Biološki institut Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo.
- Mol, A. (1979.): Flora and fauna of European running waters. Council of Europe, European Committee for the Conservation of Nature and Natural Resources, Strasbourg.
- Nagel, V.P (198.): Bildbestimmungs – schlüssel der Saprobien: Macrozoobenthon. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York.
- Petz, B. (1985.): Osnovne statističke metode. SNL, Zagreb.
- Shannon, C.E et Weaver, W. (1949.): The mathematical Theory of Commucation. The University of Illinois Press, urbana, IL.
- Tanasijević, M. (1981.): Endemični vodeni insekti u Bosni i Hercegovini: Ephemeroptera. Biološki institut Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo.
- Trožić-Borovac, S., Škrijelj, R. (2000.): Makroinvertebrata u ocjeni kvaliteta vode gornjeg toka rijeke Une, 3-4/00, Vol. 49: 3-4, 321-333.
- Trožić-Borovac, S.(2001.): Istraživanje makroinvertebrata bentosa rijeke Bosne i pritoka u ocjeni kvaliteta vode: doktorska disertacija. Prirodno-matematički fakultet Sarajevo, Sarajevo.
- Vagner, D. (1982.): Vrste roda Potamothrix Vajdovsky et Mrazek, 1902. (Oligochaeta, Tubificidae) u vodama Bosne i Hercegovine. Godišnjak Zemaljskog muzeja Bosne i Hercegovine u Sarajevu, 21: 91-101, Sarajevo.
- Vagner, D., Meštrov, M. (1988.): Prilog poznavanju maločetinaša (Annelida, Clitellata) rijeke Trebišnjice. Godišnjak Biološkog instituta Univerziteta u Sarajevu, 41: 97-107.
- Waringer, J., Graf, W. (1997.): Atlas der Österreichischen köcherfliegenlarven: unter Einschlu der angrenzenden Geibiete. Facultas Universitätsverlag Wien.
- Wegl, R. (1983.): Indeks für die Limnosaprobität. Wasser und Abwasser, 26: 1-175.
- Willhm, J.L. (1967.): Comparasion of some diversity indices applied to populations of benthic macroinvertebrates in a stream receiving organic watsters. J. Watt. Pollut. Control Fed., 39: 1673-1683.
- Woodiwis, F. (1964.): The biological System of Stream Classification used by the Trent River Bord. Chemistry and Industry, 1: 443-447.

MARVIN E. JENSEN, RICHARD G. ALLEN  
Prevod: Prof. dr. MIHOVIL VLAHINIĆ

# EVOLUCIJA PRAKTIČNIH METODA ZA PRORAČUN EVAPOTRANSPIRACIJE

## Uvodna napomena prevodioca:

Rad je objavljen na Godišnjem Međunarodnom skupu Američkog društva za poljoprivredno inženjstvo (International Meeting of American Society of Agricultural Engineering – ASAE) koji je održan u Las Vegasu, Nevada, Srpnja 2003.) Sa dozvolom ASAE rad je preveo Mihovil Vlahinić.

Obzirom na aktuelnost teme, temeljitost kritičke analize evolucije primjene različitih metoda proračuna evapotranspiracije (ET), te kompetentnost autora, smatram ga korisnim za širu znanstvenu i inženjersku javnost.

## SAŽETAK

Inženjeri i znanstvenici u SAD već skoro cijelo jedno stoljeće razvijaju i usuglašavaju standardnu jednadžbu za proračun evapotranspiracije (ET). Dug razvojni period je ovisio od upotrebljivog znanja, tehnologije i komunikacija između inženjera i znanstvenih istraživača. U SAD je interes za određivanje potrebnih količina vode za navodnjavanje počeo u 1890-tim. U početku su inženjeri uglavnom mjerili isporučenu vodu na farmskom vodozahvatu, a znanstvenici su počeli proučavati transpiraciju biljaka uzgajanih van farme u kontejnerima (lizimetrima). Briggs i Schantz su 1910. počeli sa klasičnim proučavanjem potrebe biljaka u vodi u Akronu (Colorado), a 1916. su prezentirali empirijsku jednadžbu za satnu transpiraciju na bazi solarne radijacije i deficita vodene pare.

Njihovi detaljni podaci nisu bili kritički revidirani sve do 1950-ih.

Fizičar Bowen je 1926. objavio svoj rad o odnosu vodene pare prema latentnom transferu toplote preko vodne površine (Bowen Ratio, BR). Cumming i Richardson su 1927. potvrdili BR koncept, a McEwen je 1930. pokazao da bi se jezerska evaporacija mo-

gla proračunati korištenjem teorije energetskog bilansa po BR metodologiji. Poljoprivredni znanstvenici su 1950-ih počeli primjenjivati aerodinamske principe za procjenu transfera ugljičnog dioksida i vodene pare između biljke i atmosfere.

Inženjeri u SAD su primjenjivali nezavisan, uglavnom empirijski pristup proračunu evaporacije i evapotranspiracije. Rohwer je od 1922. do 1928. obavio evaporacijska istraživanja u Fort Collinsu (Colorado). US Bureau of Reclamation je 1920. počeo sa istraživanjem odnosa između "consumptive use" (CU - "potrošne potrebe") i temperature što je kasnije dovelo do Lowry Johnson (1942.) jednadžbe. Blaney i Morin su 1942. razvili postupak za proračun CU baziran na srednjoj mjesečnoj temperaturi zraka, procentu godišnjeg trajanja obdanice u satima i relativnoj vlažnosti. Thornthwaite je 1948. razvio jednadžbu baziranu na srednjoj temperaturi zraka. Europski inženjeri su također razvili brojne empirijske jednadžbe. U kontrastu sa široko primjenjivanim empirijskim razvojem u SAD, Penman (1948.) je razvio temeljni pristup i vezao evapotranspiraciju za energetski bilans i ritam toplote i vodnog transfera. Penmanov rad, baziran na fizici procesa, doveo je do zasnivanja sadašnje metodologije proračuna evapotranspiracije.

**Ključne riječi:** Evapotranspiracija, Jednadžbe, Historija, Penman, Penman-Monteith.

## UVOD

Obzirom da je irigaciona poljoprivreda u SAD ekspandirala krajem 19. stoljeća, irigacionim inženjerima je bila potrebna informacija o zapremini irigacione vode koju je trebalo osigurati na farmskom vodozahvatu. Ovi rani projekti nisu zahtijevali detaljnije odredbe ekonomske povoljnosti, pa precizni proračuni potreba u vodi nisu ni bili bitni. Oko 1,5 milijun



hektara poljoprivrednih površina je oko 1889. bilo uvedeno u irigacije u 17 zapadnih država, uz otplatne troškove manje od 25 dolara po jednom hektaru (Golze, 1961.). 1902. je donesen Reclamation Act (Zakon o melioracijama). Sa krupnim projektima, vodnim akumulacijama i kompleksnijim sustavima distribucije vode, troškovi irigacija su znatno porasli. Cijene irigacijskih projekata oko 1950. bili su oko 500 dolara/ha. Kompleksniji i skuplji projekti zahtijevali su preciznije proračune CU ili evapotranspiracije. Bili su potrebni ne samo sezonski proračuni, nego i ritam potrošnje vode tijekom vegetacijske sezone da bi se procijenila ekonomska opravdanost, osigurala prava alokacija vodnih resursa i uspješna operativnost projekata. U 1940-im pouzdani proračuni ET bili su potrebni za projektiranje kišnih irigacijskih sustava jer su se njihovi maksimalni kapaciteti utvrđivali u vrijeme nabavke opreme. Danas, automatski irigacijski sustavi, transfer prava na potrošnju vode i potreba za precizno definiranim utjecajima irigacija na prirodne sustave zahtijevaju precizne proračune evapotranspiracije. Zbog toga, pogonska snaga za razvoj preciznijeg proračuna evapotranspiracije (ET) mijenjana je tijekom proteklog stoljeća.

Zajednica američkih inženjera nije počela sa rigoroznim teorijama razvoja proračunskih metoda ET. Agrometeorološka teorija i metodologija nisu bile razvijene. Najranije metode proračuna bile su bazirane na srednjoj temperaturi zraka kao indeksu evaporacijskih potreba, ili kao indikatoru solarne radijacije. Samo neke ranije metode su uključivale vlažnost zraka, a nijedna nije izravno uključivala brzinu vjetra.

Ovaj kratki rad sumira evoluciju metoda proračuna ET u SAD, koje su bile odraz mijenjanih potreba. Evolucija je bila ubrzana rapidnim promjenama u razumijevanju procesa koji su involvirani u sustav biljka-tlo-atmosfera, kao i rasta sposobnosti da se urade precizna mjerenja kontroliranih varijabli. Ulazimo u trag ključnih promjena u praktičnoj tehnologiji proračuna CU ili ET, koji su postali standardom u SAD i u internacionalnoj zajednici. Počnimo sa sumiranjem ranih istraživanja, navodimo neke od dobro poznatih metoda proračuna ET, opisujemo novo razvijene standardizirane ET referentne jednadžbe i zaključujemo sa kratkim rezimeom sadašnjeg pristupa proračunu ET biljaka.

## **RANA ISTRAŽIVANJA U SAD**

### **PRAVO NA VODU**

U vrijeme druge polovine 19. stoljeća, problemi su počeli rasti kad je trebalo alocirati vode u zapadnim rijekama. Mnogi su kanali bili izgrađeni sa kapacitetima većim od upotrebljive protoke u vodotoci. Vodna prava su uspostavljena bez čvrste baze. Buffum (1892.) navodi da je hiperirigacija (prekomjerno navodnjavanje) bila prva i najozbiljnija greška

ranih naseljenika. Pravo na vodu se odnosilo na vodu isporučenu kanalima, a neto pravo na vodu isporučenu na farmskom vodozahvatu. Od 1890. do 1910. termin "duty of water" se široko koristio za opis korištenja irigacijske vode. Od 1846. do 1888. napisano je mnogo knjiga o irigacijama u Engleskoj, Francuskoj i Italiji, a izvještaji o irigacijama pisani su o irigacijama u Kaliforniji 1880. i 1886. (Carpenter, 1890.). Mead (1887.) je bio jedan od prvih koji je mjerio vodu izravno isporučenu biljkama. Carpenter (1890.) je proračunao pravo na vodu (duty of water) za područje Cache La Poudre Valley u Koloradu bazirano na vodnim mjerenjima. U lipnju 1893., Fortier (1893.) je počeo skupljati podatke u Loganu, Utah. Mills (1895.) je dao preporuke o količinama vode potrebne za različite kulture na bazi irigacijskih eksperimenata započetih 1890. Fortier (1897.) je reportirao o pravu na vodu za Cache Valley u Utah. Buffum (1900.) je dobio podatke o vodi za navodnjavanje biljaka bazirano na mjerenjima blizu Wheatlanda u 1893., te na mjerenjima 1895.-1898. u Laramie, Wyoming.

## **ISTRAŽIVAČKE INSTITUCIJE**

Hatch-ov Zakon u 1887. i Ured za Eksperimentalne Stanice su uspostavljeni da administriraju sredstva za državne eksperimentalne stanice (Teale, 1904.). Počela su zajednička irigacijska istraživanja USDA (United States Department of Agriculture – Ministarstvo poljoprivrede SAD) sa Eksperimentalnim Stanicama koja su dovela do intenzivnih istraživanja irigacijskih potreba u vodi tijekom sljedećih 55 godina (Knoblauch et al., 1962.).

12-13 srpnja 1897. službenici i inženjeri eksperimentalnih stanica susreli su se u Denveru, Colorado, da utvrde generalne pravce daljeg rada. Jedan od ciljeva je bio publiciranje upotrebljivih informacija o korištenju irigacijske vode bazirano na aktualnom iskustvu farmera i eksperimentalnih istraživanja. Opsežna mjerenja vodnih prava su počela 1899. u državama New Mexico, Arizona, California, Nebraska, Colorado, Wyoming, Montana, Utah i Idaho, koja su kasnije proširena na druge države Zapada (Teale, 1908.). Ovo je bio početak razvoja potrebnih informacija za proračun potreba biljaka u irigacijskoj vodi.

Tijekom perioda 1896.-1939. mnoga irigacijska istraživanja su vođena uključujući eksperimentalne parcele i poljska istraživanja kako bi se odredio utjecaj količine upotrebljene vode na prinos biljaka. Liziometri i poljska istraživanja su korišteni da bi se odredio gubitak vode na evaporaciju i perkolaciju iz tla (Widstoe, 1902.; Fortier, 1907.; Teale, 1908.; i Fortier i Beckett, 1912.). Rad Ureda za Eksperimentalne stanice rezultirao je brojnim publikacijama o vodnom korištenju od 1925. do 1933. kao što su radovi Fortiera i Young-a (1930.).

## EVAPORACIJA SA VODNE POVRŠINE

Sleight (1917.) je istraživao evaporaciju u okolini Denvera 1916. On je revidirao rane radove i počeo sa Daltonom iz 1802., a citirao je Livingston-ovu bibliografiju o evaporaciji ističući da evaporacijsko istraživanje nije bilo u pionirskoj državi (Livingston, 1908.). Proračun evaporacije sa vodnih akumulacija bio je glavna motivacija. Houk (1926.) je u detaljnom radu sumirao istraživanja evaporacije što ih je obavljao Bureau of Reclamation, koja su uključila diskusije 13 inženjera i specijalista. Rohwer (1931.) je izveo sveobuhvatno istraživanje evaporacije pomoću posuda različite veličine u suradnji sa Colorado Eksperimentalnom Poljoprivrednom Stanicom. Rohwer-ov rad kao klasičan je citirao Penman (1948.) uspoređujući svoju vlastitu empirijski deriviranu aerodinamičnu jednadžbu sa onom koju je dobio Rohwer. Kasnija istraživanja i izvještaji uključili su mjerenja što su izvršena na Lake Hefner (USGS, 1954.), na posudama i jezerima (Kohler et al., 1955.), kao i na jezeru Mead (Harbeck et al., 1958.).

## SEZONSKA "CONSUMPTIVE USE" (CU - "POTROŠNA POTREBA")

Važnost informacija o sezonskoj CU postala je evidentna nakon mjerenja koja su izvršena od 1890. do 1925. i rezultirala velikim brojem publikacija od 1912. do 1925. (Widstoe, 1912.; Crandal, 1918.; Lewis, 1919.; Hammatt, 1920.; Harris, 1920.; Hemphill, 1922.; Israelsen and Windsor, 1922., i Fortier, 1926.). Rezime sezonske CU može se naći u progres izvještaju "Duty of Water" Komiteta Irigacijskog Odjeljenja ASCE što ga je prezentirao O.W. Israelsen 1927. i kasnije publicirao (Duty of Water Committee, 1930.).

## TRANSPIRACIJA – KLIMATSKA ISTRAŽIVANJA

Interes za razumijevanjem dnevnog ritma transpiracije (T) počeo je krajem 19. stoljeća i uključio istraživanja transpiracije biljaka u lizimetrima pod utjecajem klimatskih uvjeta. Bureau of Plant Industry u USDA zasnovan je 1902. i vodio brojna istraživanja transpiracije. L.J. Briggs je obišao ravničarske države u jesen 1905. i aranžirao kooperativni rad na šest stanica u tom području. Briggs i Shantz su 1910. počeli istraživanja potrebe biljaka u vodi u Akron-u, Colorado (Briggs i Shantz, 1913., 1914.). To su bila lizimetrijska istraživanja sa 44 biljne vrste i sorte u 1912., a 55 u 1913. Briggs i Shantz (1916.a) rezimirajući svoj rad 1912.-1914., shvatili su da je solarna radijacija primarni uzrok cikličkih promjena okolišnih faktora.

U kasnijoj publikaciji (Briggs i Shantz, 1916.b) korigirali su solarnu radijaciju za dio biljke izložen direktnom osunčavanju i bili su prvi koji su shvatili i

mjerili signifikantnost advektivne energije u bilansu transpiracije. Oni su tvrdili: *čak za vrijeme žarkih dana, drugi izvori energije kao indirektna nebeska radijacija i radijacija sa okolnih objekata, te toplotna energija primljena direktno iz zraka, stvarno doprinose energiji koja se troši na transpiraciju.* Njihova istraživanja su nastavljena 1916. i 1917. Briggs i Shantz (1917.) su također evaluirali satnu evaporaciju sa atmometara i evaporaciju iz posuda i upoređivali to sa satnom transpiracijom. Shantz i Piemeisel (1927.) su kasnije publicirali sveobuhvatni rezime istraživanja od 1910.-1917.

## METODE PRORAČUNA EVAPOTRAN- SPIRACIJE (ET)

Briggs i Shantz (1916.a) su razvili prognostičke jednadžbe za satnu transpiraciju koristeći vertikalnu komponentu solarne radijacije i porasta temperature, te solarnu radijaciju i deficit saturacije vodenom parom. Ovaj važan odnos položio je temelj koji je ostao vakantan tijekom 30 godina sve dok Penman (1948.) nije razvio kombiniranu jednadžbu. Tijekom sljedeće dvije decenije od 1920. do 1940. glavni naglasak je bio stavljen na proračun sezonske evapotranspiracije. Inženjeri su bili suočeni sa projektiranjem kanalskih sustava i evaluiranja zapremine vodnih akumulacija za osiguranje irigacijske vode, pa su počeli proučavati CU irigacijske vode vezano za opće klimatske uvjete. Iz ovih ranih istraživanja, razvijeno je nekoliko empirijskih jednadžbi od kojih su mnoge korištene za različite inženjerske i vodno-pravne svrhe sve do pod kraj 20. stoljeća. Srednja temperatura zraka bila je primarni klimatski parametar u ovim jednadžbama.

## AMERIČKE EMPIRIJSKE JEDNADŽBE

Američki Bureau of Reclamation (USBR) počeo je proučavati odnose temperature zraka i CU tokom 1920. (Lowry i Johnson, 1942.). Hedke (1924.) je podnio predloženi postupak Američkom Društvu Građevinskih Inženjera (ASCE)- Duty of Water Committee 1924. Njegov metod je bio baziran na pretpostavci da je toplota potrošena na ET determinirana upotrebljivom toplotom i da svaka biljka zahtjeva određenu količinu toplote iznad temperature klijanja da bi dospjela do sazrijevanja. On je pretpostavljao da su utjecaji vjetra, vlažnosti zraka i tlaka pare na CU minorni u usporedbi sa utjecajem toplote (Lowry i Johnson, 1942.).

Generalna teorija je bila zdrava izuzev što radijacijska toplotna energija nije uzeta u obzir.

ASCE-Duty of Water Committee je shvatio da pri-nosi biljaka mogu biti reducirani uslijed biljnih bolesti i insekata bez utjecaja CU. Teškoće sa okolišnim održavanjem prostora oko eksperimentalnih parcela

ili lizimetara u odnosu na uvjete koji postoje na otvorenim terenima pod poljoprivrednim kulturama također su shvaćene. Drenaža koja slijedi nakon rijetkih prekomjernih irigacija ili često nedovoljnih irigacija je shvaćena kao problem kad se metode uzorkovanja tla koriste za određivanje CU.

Blaney je 1920-ih mjerio evapotranspiraciju luncerne u Kaliforniji koristeći metode uzorkovanja tla. On je istraživao CU biljaka u dolini rijeke Pecos za Odjeljenje Irigacija i Vodne Konzervacije pod Službom za Konzervaciju tla (SCS), USDA, koja je bila uspostavljena 27.04.1935. Razvijeni su postupci za proračun CU sa korištenjem srednje temperature zraka, procenta godišnjeg trajanja obdanice u satima i srednje vlažnosti zraka (Blaney i Morin, 1942.). Ovaj pristup su kasnije modificirali Blaney i Criddle (B-C) (1945., 1950., 1952., 1962.). Po prilici u isto vrijeme, Lowry i Johnson su u USBR razvili postupak za proračun sezonske CU koristeći maksimalne temperature zraka iznad 32 Farenheita (iznad 0° C) za vrijeme vegetacijske sezone bazirano na in-flow-outflow podacima sa irigacijskih projekata (Lowry i Johnson, 1942.). Obadva ova metoda involvirali su razvoj empirijskih odnosa između mjerene ET i klimatskih parametara koji se uobičajeno registriju kao što je temperatura zraka ili one koji se mogu dobiti iz standardnih tabela kao što je potencijalno trajanje insolacije u satima.

Thornthwaite i Holzman (1939., 1942.) su 1939. primijenili aerodinamičnu i transportnu teoriju proračuna ET. Oni su predložili metod koji je zahtijevao mjerenje brzine vjetera i vlažnosti zraka na dvije visine iznad površine tla. Premda je teorijski korektna ova metoda je bila teško primjenljiva zbog teškoća i troškova preciznih mjerenja. Thornthwaite je kasnije korelirao srednju temperaturu zraka sa ET koju je odredio vodnim bilansom u dolinama sa adekvatnom vodom rezervom tla koja ne limitira ET (Thornthwaite, 1948.; Thornthwaite i Mather, 1955.). Thornthwaite je ovo definirao kao empirijski metod i široko primjenjivao jednadžbu za proračun potencijalne evapotranspiracije. Ovo je vjerojatno bila prva upotreba termina potencijalne evapotranspiracije. Houk (1951.) je prezentirao liniju trenda sezonske CU sa srednjom temperaturom zraka. Criddle (1952.) je razvio tabelu za proračun vršnog dnevnog ritma projektirane irigacije što bi se moglo izraziti kao funkcija neto irigacije i vršne mjesečne CU. Hargreaves (1956.) je razvio postupak sličan metodu Blaney-Criddle-a za transfer podataka CU na druga područja globusa. Halkias et al. (1955.) su razvili formulu baziranu na evaporaciji sa crnog i bijelog atmometra. Goodrich (1957.) je izvršio reviziju brojnih metoda za proračun ET. Hamon (1961.) je predložio jednostavni postupak za proračun potencijalne ET koristeći mjesečnu neto radijaciju, temperaturu zraka i pretpostavku koja se odnosi na Bowen Ratio. Pelton et al. (1960.) su uradili temeljitu evaluaciju postupaka za proračun po-

tencijalne ET baziranih na temperaturi. Tanner i Pelton (1960.) su razvili proračun potencijalne ET baziran na metodu Penman-ovog energetskog bilansa. SCS (Služba za konzervaciju tla) je razvila postupke za prilagođavanje mjesečnih "k" vrijednosti u formuli Blaney-Criddle kao funkcije srednjih mjesečnih temperatura zraka (Quackenbush i Phelan, 1965.). Osam referata o metodama proračuna ET je bilo prezentirano na konferenciji ASCE (Američkog Društva Građevinskih Inženjera) u Las Vegasu 1966. (ASCE, 1966.).

Jensen i Haise (1963.) su razvili jednostavnu jednadžbu za proračun ET baziranu na solarnoj radijaciji i srednjoj temperaturi zraka za biljke dobro opskrbljene vodom sa punom pokrivenošću (zasjenjenjem) tla. Njihova namjera je bila upoznati inženjere sa konceptom primjene energetskog bilansa da bi se dobio proračun evapotranspiracije. Generalno govoreći, mislilo se da je Penmanova jednadžba suviše komplicirana za upotrebu, imajući u vidu stanje proračunske opreme i uobičajenih klimatskih podataka sabiranih u to doba.

Christiansen i Hargreaves su razvili dugoročne na regresiji zasnovane jednadžbe za prognozu mjesečne ET trave na bazi evaporacije iz posuda, temperature i vlažnosti zraka. (Christiansen, 1968., Christiansen i Hargreaves, 1969.). Oni su pokrenuli napore da reduciraju potrebne klimatske podatke samo na temperaturu zraka uključujući računatu ekstrastričnu radijaciju za prognozu potencijalno raspoložive energije, te razliku između maksimalne i minimalne temperature zraka za prognozu utjecaja relativne vlažnosti i oblačnosti. Kulminacija ovih napora bila je široko prihvaćena Hargreaves-ova jednadžba iz 1985. kao referentna ET za travu (Hargreaves et al., 1985.; Hargreaves i Samani, 1985.).

Mnogi od ranijih pokušaja razvoja bili su sputani i opterećeni predrasudama substancijalnih grešaka ili predrasudama elektronskih i mehaničkih mjerenja klimatskih parametara ili poljskih mjerenja ET koja su bili bazirana na lizimetrima, a oni opet često optuživani zbog "non-one-dimensionality". U mnogim aplikacijama gdje su mjerenja vršena u lizimetrima nije se energetski bilans ponašao kao što bi to bilo u okolišu velikih poljoprivrednih poljskih površina. Ovo se javljalo zbog razlike u porastu vegetacije, razlike u gustoći sklopa i visini, praktičnoj obradi, vodom režimu, unutarnjim i vanjskim pukotinama uz rub lizimetra i razrijeđenosti vegetacije oko lizimetra (Allen et al., 1991.a). Saznanje o korištenju lizimetara za mjerenje ET bilo je dobro dokumentirano serijom referata publiciranih putem "ASCE-proceedings-a" (Allen et al. 1991.b). Mnoge od ovih istih predrasuda o lizimetrima se nastavljaju i danas iako su upozorenja davana putem brojnih istraživača, počevši od Makinka (1957.). Čak moderni sustavi mjerenja ET kao Bowen Ratio i "eddy kovariance" su još uvijek opterećeni instrumentiranjem predrasuda i lošeg funkcioniranja.

## EUROPSKE EMPIRIJSKE JEDNADŽBE

Inženjeri i znanstvenici iz Evrope su također razvili empirijske jednadžbe proračuna ET. Vitkevich (1958) je opisao nekoliko jednadžbi iz Rusije. One uključuju David-ovu (1936.) formulu za ET baziranu na deficitu tlaka vodene pare, zatim Shashko-vu formulu za jaru pšenicu baziranu na prinosu i deficitu tlaka vodene pare. Vitkevich je kritizirao ove formule zbog nedostatka znanstvene osnove u njima. Kozhanoc je 1938. razvio formulu baziranu na prinosu, oborinama i vodi iskorištenoj od podzemne vode (Ledbedevich, 1956.). Makkink je 1957. objavio formulu za proračun potencijalne ET baziranu na solarnoj radijaciji i temperaturi zraka (Rijtema, 1958.), koja je još danas popularna u Zapadnoj Europi. Turc (1961.) je razvio formulu za proračun potencijalne ET baziranu na temperaturi zraka i solarnoj radijaciji. Olivier (1961.) je razvio postupak baziran na vlažnoj kugli i numeričkim faktorima zasnovanim na solarnoj radijaciji vedrog neba za geografske širine od 5 do 55 stupnjeva. Od ovih jednadžbi samo je Makkink-ova koristila energetske komponente Penman-ove jednadžbe, solarne radijacije i malu negativnu konstantu. Makkink-ova jednadžba stvorila je bazu za narednu "FAO Radiation" jednadžbu, koju su Dorenbos i Pruitt (1977) uključili u FAO Irrigation and Drainage paper No24. Makkink-ov (1957.) referat je također pružio rano upozorenje o utjecaju razlike između vegetacije u lizimetrima i one izvan lizimetara na mjerenje ET (to je takozvani "oazni efekat" - primjedba prevodioca). On je također upozorio na utjecaj visine trave na proračune bazirane na Penman-ovoj jednadžbi

## TEORIJSKE JEDNADŽBE

Postoje brojne jednadžbe za mjerenje i prognozu ET koje su bazirane na fizici i teorijskom procesu. Metode se kreću od "eddy correlation" do energetske bilansa koristeći Bowen Ratio koncept ili od osjetljivog fluksa toplote baziranog na temperaturi površine do radiosondnih mjerenja kompletnih granično slojnih profila temperature i vlažnosti. Međutim, za proračun ET na bazi standardnih klimatskih mjerenja temperature zraka, vlažnosti, vjetra i solarne radijacije, Penman-ova jednadžba (Penman 1948., 1956.b, 1963.) stoji kao najšire prihvaćena "na fizici zasnovana" jednadžba. Howard Penman je svoju jednadžbu razvio za vrijeme II Svjetskog rata da bi pomogao ratnim naporima. Njegov cilj je bio prognozirati površinsku vlažnost tla u Zapadnoj Europi da bi odredio mogu li Saveznički tenkovi i kamioni napredovati, a da ne upadnu u močvarno blato (Penman i Schofield, 1941.).

Penman, kao fizičar, je odstupio od tradicionalnog američkog i inženjerskog pristupa proračunu ET, gdje su svi uobičajeni i korisni klimatski podaci sku-

pljani zajedno sa evaporacijskim i ET mjerenjima, pa je najbolje prilagođeni empirijski odnos izabran na bazi nečije sposobnosti ili talenta u selekciji najboljih kombinacija. Penman je, naprotiv, počeo sa fizikom i teorijskom kombinacijom klimatskih parametara u formi jednadžbe energetske bilansa gdje su komponente evaporacije, osjetljivi toplotni fluks i zemljišni toplotni fluks sumirani sa upotrebljivom neto radijacijskom energijom. Penman je također formulirao evaporaciju kao empirijski aerodinamični izraz, što je podržavano u ranijim američkim mjerenjima (Rohwer, 1931.). On je zatim iskoristio svoj intelekt da kombinira energetske bilans i aerodinamičke izraze koristeći Bowen Ratio koncept tako da bi mogao eliminirati sve stavke koje se odnose na mjerenja na evaporantnoj površini. Rezultat je bio Penmanova "kombinirana jednadžba" za koju su potrebna samo mjerenja temperature zraka, vlažnosti i brzine vjetra na nekoj visini iznad površine tla, zajedno sa solaranom radijacijom, koja se je inicijalno računala iz opservacija oblačnosti.

Penman-ovo sveobuhvatno razumjevanje fizičkih procesa involviranih u ET je sasvim evidentno iz njegovog uvodnog referata što ga je prezentirao na neformalnom skupu o fizici koji je održan u Nizozemskoj rujna 1955. (Penman, 1956.a). On je svoj referat zaključio riječima "Iako fizičar ima još nekih problema što ih je u stanju sam riješiti, budući doprinos fizičara boljem razumjevanju evaporacije u poljoprivredi mora biti u suradnji sa biologima i pedolozima". Tanner i Pelton (1960.) su uradili sveobuhvatnu dubinsku reviziju Penman-ova metoda za aproksimaciju Bowen Ratio formule i testirali njegovu jednadžbu na irigaciji smjese lucerna-trave koristeći kompletna mjerenja energetske bilansa, Oni su našli da je Penman-ova aproksimacija energetske bilansa bila prikladna za proračun potencijalne ET sa hrapave vegetacijske površine za kratke dnevne intervale.

Penman je bazirao svoj metod na teoriji i fizici, sa adekvatnim redukcijama i simplifikacijama, u nadi da će biti osigurani podaci potrebnih klimatskih mjerenja. Za ratne napore, mjerenja temperature, vlažnosti, brzine vjetra i oblačnosti na glavnim točkama bila su prividno urađena ili prognozirana. Međutim, široka aplikacija Penman-ove jednadžbe za rutinske prognoze ET nije se raširila u SAD sve do 1970ih i 1980ih kad su se pojavile dvije evolucije. Jedna je bila u razvoju modela kompjuteriziranog programiranja irigacija (Jensen et al. 1970.), koja je zahtjevala preciznije proračune ET na bazi dnevnih potreba u vodi. Druga je bila u razvoju silikonskih i minijaturiziranih kompjutera na baterijski pogon sa elektronskim "data logger-om" uz relativno jeftine troškove. Ovi "data logger-i" su omogućili skupljanje klimatskih podataka potrebnih za Penman-ovu jednadžbu uz mnogo manje troškove i automatsku primjenu.

Penman je koristio konstante vjetra u njegovoj jednadžbi kojim je prognozirao evaporaciju sa vodne

površine i ET sa košene trave. Businger (1956.) je derivirao funkciju koja je uzela u obzir hrapavost površine i stabilnost atmosfere. Primjena Penman-ove jednadžbe u SAD za referentnu biljku lucerne zahtijevala je modifikaciju konstanti vjetra. Široko korištene formule na lucerni bazirane Penman-ove jednadžbe bile su korištene 1972. i 1982. kao "Kimberly Penman" jednadžbe što ih je lansirao Wright i Jensen (1972.) i Wright (1982., 1988.). Funkcija vjetra po Wright-u (1988) varirala je sa vremenom u tijeku godine ovisno o utjecaju dužine dana, sezonskoj advekciji i, u manjoj mjeri, od variranja visine punog pokriva lucerne za vrijeme vegetacijske sezone.

Prateći razvoj Penman-ove formule, drugi britanski istraživač, John Monteith, je 1965. reformulirao kombiniranu jednadžbu koristeći više teorijsku jednadžbu za aerodinamski transport. Ova nova kombinirana jednadžba uobičajeno nazvana Penman-Monteith (PM) jednadžba uključila je nove parametre aerodinamičnog otpora i otpora površine. Parametri otpora osigurali su fleksibilnost PM jednadžbe za primjenu na širokoj skali raznih površina i vegetacijskih tipova. Monteith-ovi naponi u Velikoj Britaniji (1965.) našli su odraza u razvoju sličnih na otporu baziranih kombiniranih jednadžbi u Nizozemskoj kod Rijteme (1965). MORECS sustav koji je primjenio PM jednadžbu na sva britanska otočja (Thompson et al., 1981.) bio je prvi značajan napor operativno široko primjenjene PM metode. Dvoznačnost u prognozi hrapavosti i stomatskih parametara spriječila je širu aplikaciju ovog metoda. Progres u razvoju standardiziranog postupka za prognozu aerodinamičkih parametara i otpora površine je napravljen 1989. za referentne biljke trave i lucerne (Allen et al., 1989.). Ovaj napor bio je dio revizijskog izvještaja "Consumptive Use and Irrigation Requirements" od strane ASCE 1974. (Jensen, 1974.), koji je publiciran 1990. kao ASCE priručnik 70 (Jensen et al., 1990.). Obavijest ove publikacije su plod napora što ih je podnio Technical Committee on Irrigation Water Requirements of ASCE.

Allen et al. (1989.) su sugerirali "reduciranu formu" PM jednadžbe koja je u jednoj jednadžbi inkorporirala algoritme otpora primijenjene na standardizirane površine za lucernu od 0,5 m visine, a za travu 0,2 m visine. Reducirane forme jednadžbe ličile su originalnoj Penman-ovoj jednadžbi izuzev što se je brzina vjetra pojavila u brojniku kao i u nazivniku. Travnata forma reducirane Penman-ove formule je korištena kao osnova FAO Penman-Monteith-ove jednadžbe (Smith et al., 1991.). "ASCE PM" jednadžba iz ASCE Manual 70 je široko prihvaćena za standardizirane proračune, uključujući i Natural Resources Conservation Service (Martin i Gilley, 1993.) i United Nations Food and Agriculture Organization in FAO-56 (Allen et al., 1998.)

Krajem 20 stoljeća naponi su bili usmjereni na primjenu Penman-ove jednadžbe u situacijama os-

kudnih podataka radijacije, vlažnosti zraka i brzine vjetra kako bi se oni dobili iz podataka o temperaturi zraka. Značajan napor uložio je Linacre (1967.) i reformulirao Penman-ovu jednadžbu na način da je ona sadržavala samo parametre srednje temperature zraka. Ovaj metod je doživio ograničenu primjenu. Kasniji pristup aplikaciji PM jednadžbe u područjima oskudnih podataka bio je prezentiran u publikaciji FAO No 56 o evapotranspiraciji biljaka (Allen et al., 1998.) u kojoj je prognoza solarne radijacije i vlažnosti bazirana na maksimalnoj i minimalnoj dnevnoj temperaturi zraka, a brzina vjetra je prognozirana na osnovu regionalnih parametara. Sve prognoze su urađene izvan PM kombinirane jednadžbe. Ovi razvoji su omogućili aplikaciju PM jednadžbe u situacijama kad su na raspolaganju samo podaci maksimalne i minimalne temperature zraka, koje je bolje koristiti nego empirijske metode proračuna ET bazirane na temperaturi zraka. Involvirana filozofija je u tome da je možda pouzdanije zadržati fizički zasnovanu formu ET jednadžbe i radije zamijeniti prognozirane klimatske podatke nego se "povlačiti" prema jednostavnijoj, empirijskoj jednadžbi, koja zahtijeva samo upotrebljive, mjerene podatke, ali koja ne može imati istu vrijednost kao PM jednadžba.

## PRORAČUN EVAPORACIJE SA VODNE POVRŠINE

Koncept proračuna evaporacije na bazi energetskog bilansa je razvijen u 1920-tim. Bowen (1926.) je pokazao da je vodena para i sensibilna toplota transferirana istim aerodinamičnim mehanizmom, a drugi su kasnije pokazali da je pravac transfera bio određen gradijentom vodene pare i temperature. Odnos gradijenta vodene pare i gradijenta temperature postao je poznat kao Bowen Ratio (BR) koncept. Cummings i Richardson (1927.) pokazali su da su Bowen-ovi zaključci o BR konceptu bili konzistentni sa opservacijama. McEwen (1930.) i Cummings (1940., 1946.) pokazali su da bi se jezerska evaporacija mogla precizno proračunati korištenjem teorije energetskog bilansa i primjenom metodologije Bowen Ratio energetskog bilansa. Međutim, nisu sva evaporacijska istraživanja bila na ovim pravcima. Meyer (1942.) je revidirao različite metode proračuna evaporacije i prezentirao detaljne mape evaporacije za SAD bazirane uglavnom na 50-godišnjim podacima Weather Bureau (Klimatskog Biroa). On je koristio uglavnom tlak vodene pare u zraku, brzinu vjetra i oborine. Meyer-a je citirao Holzman u svom radu objavljenom 1941., gdje je navedeno:

*Poznato je da je metod toplotnog bilansa za određivanje evaporacije sa vodne površine teoretski precizan. Međutim, teškoće nastaju kod preciznog mjerenja većine esencijalnih parametara u jednadžbi toplotnog bilansa koji poništavaju praktičnu upotrebljivost ove tehnike.*

Kohler et al. (1955.) je primijenio Penman-ovu jednadžbu za prognozu evaporacije sa vodne površine. Ova jednadžba je naišla na široku primjenu u komunalnoj hidrologiji.

## USVAJANJE JEDINSTVENE JEDNADŽBE ZA REFERENTNU EVAPOTRANSPIRACIJU

2000-ta godina predstavlja prekretnicu u razvoju metoda za proračun ET. Komitet ASCE Irrigation Water Requirements Committee sada reimenovan kao Committee on Evapotranspiration in Irrigation and Hydrology, a sastoji se od inženjera i znanstvenika iz cijele SAD suglasio se o jedinstvenoj jednadžbi za proračun referentne biljne ET. Ta jednadžba je simplifikacija ASCE PM jednadžbe. Ovaj napor je djelomično urađen na zahtjev Irrigation Association and Landscape Industry da bi se preporučio jedinstveni postupak za proračun referentne ET za primjenu u SAD. Zahtjev je podnesen da bi se pomoglo standardizaciji baze za bezbroj landscape koeficijenata (tj. kultura) koji su razvijeni poslije kasnih 1980-ih. ASCE ET Komitet sugerirao je primjenu PM jednadžbe za visoke referentne biljke kao lucerna i niske referentne biljke kao košena trava na način da se podrži ta primjena u poljoprivrednoj i landscape industriji. Usvojena je reducirana forma PM jednadžbe za oba dva referentna tipa sa travnom formom koja je ista kao u FAO-56 PM jednadžbi. Ovo je urađeno da bi se promovirala suglasnost primjene između SAD i drugih zemalja. Setovi koeficijenata su prezentirani u tabelama za proračun dnevne i satne referentne ET za niske i visoke kulture. Detalji jednadžbe i njen razvoj su prezentirani u separatnim referatima na ovoj konferenciji. Različite forme i aplikacije PM i Penman jednadžbe, kao i uobičajeno korištene empirijske jednadžbe su implementirane u REF-ET software (Allen, 2000.) koji se besplatno može dobiti na web-site-u: [www.kimberly.uidaho.edu/ref-et/](http://www.kimberly.uidaho.edu/ref-et/).

## SUVREMENI PRISTUPI ZA BILJNU EVAPOTRANSPIRACIJU

Dva glavna pristupa se danas koriste za prognozu biljne evapotranspiracije (ETc). To je "elegantni" metod sa intenzivnijim podacima koji primjenjuje "jednoslojnu" Penman-Monteith jednadžbu ili metod višeslojne modifikacije (Shuttleworth i Wallace, 1985.; Shuttleworth i Gurney, 1990.), gdje je biljna fiziologija, morfologija i fizička geometrija implicitno uključena. Prednost ovog pristupa je da jedinstvene i vremenski zasnovane karakteristike vegetacije mogu biti direktno opisane i implementirane. Nepovoljnosti su u dodatno potrebnim podacima i kompliciranijim proračunima. Izazovi operativne aplikacije "direktnih" metoda kao što su PM i višeslojnih modela su rutinska klimatska mjerenja tipično uzeta iznad tra-

vnih površina tako da temperatura zraka, vlažnost i profili vjetra nisu u skladu sa specifičnom površinom za koju se ETc (ET kulture) računa. Drugi izazovi se odnose na modeliranje površinskog otpora sasušenih zemljišta i utjecaja zasjenjivanja. Zbog izazova direktne primjene PM metoda, daleko najuobičajeniji metod za proračun ETc (ET kulture) je primjena korekcijskih koeficijenata kulture (Kc), gdje je  $ET_c = K_c ET_r$ , a  $ET_r$  referentna biljna ET. "Krivulja" Kc je konstruirana za cijeli vegetacijski period sa vrijednostima koje se mijenjaju prema razvoju vegetacije i pokrivenosti zemljišta. Robb (1966.) je razvio seriju od devet biljnih krivulja za primjenu Jensen-Haise jednadžbe. Kc informacije su prvi put prezentirane za primjenu Blaney-Cridle metoda u USDA-SCS (1970.). Kc informacije su prezentirali Doorenbos i Pruitt (1977) za travnu referentnu ET u FAO 24 publikaciji, a za lucernu Wright (1981.). "Osnovni" pristup za prognozu evaporacije sa vlažnog tla, uz dodatak za prognozu ET sa površine suhog tla, prezentirao je Wright (1982.) za referentnu lucernu. Osnovni pristup je primijenjen za referentnu travu koristeći novi na tlu zasnovani postupak evaporacije u FAO-56 publikaciji (Allen et al., 1998.). Osnovni pristup omogućuje proračun specifičnih efekata izazvanih irigacijskom ili kišnom frekvencijom na ukupni ET fluks.

Kc pristup je jednostavan za primjenu i općenito je robustan u aplikaciji otkad Kc vrijednosti inkorporiraju sve razlike između specifične biljke i referentne biljke uključujući pokrivenost površine, stomatski otpor, aerodinamičku hrapavost i albedo. Temeljna pretpostavka sa Kc pristupom je da su Kc vrijednosti relativno transferibilne na razne lokacije i klime. Ovo je izgleda vrlo realna pretpostavka i funkcionirala je relativno dobro. U izvjesnom trenutku u budućnosti praksa će možda krenuti prema direktnoj aplikaciji višeslojnih jednadžbi. Ovo će vjerojatno biti moguće ostvariti koristeći posebni tip "black box" software-a, gdje će komplicirani postupak modeliranja primijeniti tehnike prevođenja klimatskih podataka sa klimatoloških stanica na specifične tipove biljnih površina kao i na upotrebu cijelog set-a temeljnih informacija o parametrima specifičnim za biljni razvoj i fiziologiju. Software će funkcionirati kao tipski ET "ekspert" i bit će mnogo kompliciraniji nego današnji biljni modeli.

Tijekom posljednje tri decenije odvijala se inflacija simulacionih modela za proračun biljnog rasta i ET. Rani rad Ritchie-a (1972.) bio je široko korišten. Ovi modeli inkorporiraju teoriju i procese koji su bili razvijeni u posljednjem polustoljeću. Neke od ovih modela su sumirali Hanks i Ritchie (1991.) i Muchow i Bellamy (1990.). Jedan od najdetaljnijih modela je novelirana verzija zemljišno-vodnog fluksa, model kojeg je razvio R.A. Feddes sa suradnicima kasnih 1970-ih (van Dam et al., 1998., Kroes et al., 1998.). Modeli kao što su ovi sada se koriste za "remote sensing" za proračun ET u širokoj skali.

## REZIME I ZAKLJUČCI

Evolucija metoda proračuna ET tijekom prve polovine prošlog stoljeća je sumirana 1930. u izvještaju ASCE Duty of Water Committee i u "Proceedings-ASCE" simpozija (1952.). Glavne promjene što su ih inženjeri i znanstvenici proizveli nastale su u drugoj polovini prošlog stoljeća i sumirane su u brojnim publikacijama kao: u prosidingsima skupa fizičara 1955. (Penman,1956.a), na različitim konferencijama o ET (Jensen, 1966., ASAE 1985., Camp et al.1996.) , i u novijim publikacijama kao što je ASCE manual 70 (Jensen et al.,1990.) i FAO-56 (Allen et al., 1998.).

Trebalo je skoro cijelo jedno stoljeće da bi se razvila zdrava, na fizici bazirana jednadžba za proračun referentne biljne ET. Dug razvojni period je uslijedio zbog prostorne i vremenske varijabilnosti ET izazvane klimom i lokacijom, zbog potrebe za preciznošću, zbog pristupačnosti tehnologiji i ograničenosti komunikacija između inženjera i poljoprivrednih i fizičkih znanstvenika. Razvoj je bio sprečavan substancijalnim greškama i predrasudama koje su se odnosile na elektronska i mehanička mjerenja klimatskih podataka i poljska mjerenja ET u lizimetrima često napadana zbog "non-one-dimensionality". U 1999 i 2000, postojanje zdrave temeljne jednadžbe, brojnih set-ova pouzdanih klimatskih podataka sakupljenih sa automatskih klimatskih stanica, personalnih kompjutera i elektronske pošte omogućili su Ciljnom Komitetu da ostvari konsensus o jedinstvenoj temeljnoj jednadžbi u vremenu od šest mjeseci - to je podvig kojeg nije bilo moguće ostvariti prije pola stoljeća.

## BIBLIOGRAFIJA

1. Allen, R.G. 2000. REF-ET: Reference evapotranspiration calculation software for FAO and ASCE standardized equations, version 2.0 for Windows, users manual. University of Idaho, Kimberly, Idaho 83341.75 p. .
2. Allen, R.G., M.E. Jensen, J.L. Wright, and R.D. Burman. 1989. Operational estimates of evapotranspiration. *Agron. J.*, 81:650-662.
3. Allen, R.G., W.O. Pruitt, and M.E. Jensen. 1991 a. Environmental requirements of lysimeters. p. 170-181.3, In: R.G. Allen et al. (eds) *Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurements*, Am. Soc. Civ. Engr., New York, ISBN 0-87262-813-2,
4. Allen, R.G., T.A. Howell, W.O. Pruitt, I.A. Walter, and M.E. Jensen (eds). 1991b. *Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurements*, Proc. Am. Soc. Civ. Engr. Int'l. Symp. on Lysimetry, Honolulu, HI, July 23-25, ISBN 0-87262-813-2, 444 p.
5. Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. United Nations Food and Agriculture. Organization, Irrig. and Drain. Paper No. 56,. Rome, Italy. 300 pages.
6. ASAE. 1985. *Advances in Evapotranspiration*, Am. Soc. of Agr. Engr., Chicago, Dec. 16-17, 66 p.
7. ASCE. 1966. *Methods for Estimating Evapotranspiration*. Proc. Am. Soc. Civ. Engr., Irrig. & Drain. Div., Las Vegas, Nov. 2-4, 239 p.
8. Camp, C.R., E.J. Sadler, R.E. Yoder (eds). 1996. *Evapotranspiration and Irrigation Scheduling*, Am. Soc. of Agr. Engr., San Antonio, Nov. 3-6, 1184 p.
9. Blaney, H.F. 1952. Definitions, methods, and research data – consumptive use of water, a symposium. *Trans. Am. Soc. Civ. Engr.*, 117:849-973.
10. Blaney, H.F., and W.D. Criddle. 1945. Determining water requirements in irrigated areas from climatological data. *Processed*, 17 p.
11. Blaney, H.F., and W.D. Criddle. 1950. *Determining Water Requirements in Irrigated Areas from Climatological and Irrigation Data*. USDA, SCS-TP-96, 50 p.
12. Blaney, H.F., L.R. Rich, W.D. Criddle, and others. 1952: *Consumptive use of water*. *Trans. Am. Soc. Civ. Engr.*, 117:948-1023.
13. Blaney, H.F., and W.D. Criddle. 1962. *Determining consumptive use and irrigation requirements*. USDA Tech. Bull., 1275, 59 p.
14. Blaney, H.F., and K.V. Morin. 1942. *Evaporation and consumptive use of water formulas*. *Am. Geophys. Union Trans.*, pt.1:76-82.
15. Bowen, I.S. 1926. *The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface*. *Physics Review*, 27:779-787.
16. Briggs, L.J., and H.L. Shantz. 1913. *The water requirements of plants: I. Investigations in the Great Plains in 1910 and 1911*. USDA Bur. Plant Indr. Bull., 284, 49 p.
17. Briggs, L.J., and H.L. Shantz. 1914. *Relative water requirements of plants*. *J. Agr. Res.*, III(1):11-64.
18. Briggs, L.J., and H.L. Shantz. 1916a. *Hourly transpiration rate on clear days as determined by cyclic environmental factors*. *J. Agr. Res.*, V(14):583-648.
19. Briggs, L.J., and H.L. Shantz. 1916b. *Daily transpiration during the normal growth period and its correlation with the weather*. *J. Agr. Res.*, VII(4):155-212.
20. Briggs, L.J., and H.L. Shantz. 1917. *A comparison of the hourly transpiration rate of atmometers and free water surfaces with the transpiration rate of Medicago sativa*. *J. Agr. Res.*, IX(9):279-292, plates 4-6.
21. Buffum, B.C. 1892. *Irrigation and duty of water*. *Wyo. Agr. Exp. Bull.*, 8.
22. Buffum, B.C. 1900. *The use of water in irrigation in Wyoming and its relation to the ownership and distribution of the natural supply*. USDA OES Bull., 81.
23. Businger, J.A. 1956. *Some remarks on Penman's equation for evapotranspiration*. *Neth. J. Agr. Sci.*, 4:77-80.
24. Carpenter, L.G. 1890. *Section of meteorology and irrigation engineering*. 3<sup>rd</sup> Ann. Rept. of Colo. Exp. Stn., Fort Collins.
25. Carpenter, L.G. 1893. *Duty of water*. *Colo. Agr. Exp. Stn. Bull.*, 22.
26. Christiansen, J.E. 1968. *Pan evaporation and evapotranspiration from climatic data*. *J. Irrig. and Drain, Div., Am. Soc. Civ. Engr.*, 94:243-265.
27. Christiansen, J.E., and G.H. Hargreaves. 1969. *Irrigation requirements from evaporation*. *Trans. Int'l. Comm. on Irrig. and Drain.*, Vol. III, 23.569-23.596.

28. Criddle, W.D. 1952. Irrigated crops-consumptive use of water, a symposium. *Trans. Am. Soc. Civ.*, 117:991-1003.
29. Cummings, N.W. 1940. The evaporation-energy equations and their practical application. *Am. Geophys. Union Trans.*, 21:512-522.
30. Cummings, N.W. 1946. The reliability and usefulness of energy equations for evaporation. *Am. Geophys. Union Trans.*, 27(1):8194.
31. Cummings, N.W., and B.Richardson. 1927. Evaporation from lakes. *Physics. Rev.*, 30(4):527-534.
32. Doorenbos, J, and W.O. Pruitt. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. *FAO Irrig. and Drain. Paper No. 24*, FAO, Rome, 179 p.
33. Duty of Water Committee. 1930. Consumptive use of water in irrigation. *Progr. Rept., Duty of Water Committee of the Irrig. Div., Trans. Am. Soc. Civ. Engr.*, 94:1349-1399.
34. Fortier, S. 1893. Water for irrigation. *Utah Agr. Exp. Stn. Bull.*, 26.
35. Fortier, S. 1897. Water supply for the Cache Valley. *Utah Agr. Exp. Stn. Bull.*, 50.
36. Fortier, S. 1907. Evaporation losses in irrigation and water requirements of crops. *USDA-OES Bull.*, 177,64 p.
37. Fortier, S. 1926. *Use of Water in Irrigation*, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 3<sup>rd</sup> ed.
38. Fortier, S., and S.H. Beckett. 1912. Evaporation from irrigated soils. *USDA Bull.*, 248, 77 p.
39. Fortier, S., and A.A. Young. 1930. Irrigation requirements of the arid and semiarid lands of the Missouri and Arkansas River Basins. *USDA Tech. Bull.*, 185.
40. Golzé, A.R. 1961. *Reclamation in the United States*. Caxton Printers, Caldwell, ID.
41. Goodrich, R.D. 1957. Methods of determining consumptive use of water in irrigation. *Trans. Am. Soc. Civ. Engr.*, 122:806-882.
42. Halkias, N.A., F.J. Veihmeyer, and A.H. Hendricson. 1955. Determining water needs for crops from climatic data. *Hilgardia*, 24(9).
43. Hammatt, W.C. 1920. Determination of the duty of water by analytical experiment. *Trans. Am. Soc. Civ. Engr.*, 83:200-276.
44. Hamon, W.R. 1961. Estimating potential evapotranspiration. *Proc. Am. Soc. Civ. Engr.*, HY(3):107-120.
45. Hanks, R.J., and J.T. Richie (eds). 1991. *Modeling Plant and Soil Systems*, Agron. Series No. 31, Am. Soc. Agron., Madison, 585 p.
46. Harbeck, G.E., M.A. Kohler, G.E. Kober, and others. 1958. Water-loss investigations: Lake Mead studies. *USGS Prof. Paper*, 298, 109 p.
47. Hargreaves, G.H. 1956. Irrigation requirements based on climatic data. *Proc. Am. Soc. Civ. Engr., Irrig. & Drain. Div.*, 82(IR3):Paper 1105, 1-10.
48. Hargreaves, G.H. and Z.A. Samani. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engrg. in Agr.*, Am. Soc. Agr. Engr, 1(2):96-99.
49. Hargreaves, G.L., G.H. Hargreaves, and J.P. Riley. 1985. Agricultural benefits for Senegal River Basin, *J.Irrig. and Drain. Engr., Am. Soc. Civ. Engr.*, 111(2):113-124.
50. Harris, F.S. 1920. The duty of water in the Cache Valley Utah. *Utah Agr. Exp. Stn. Bull.*, 173.
51. Hedke, C.R. 1924. Consumptive use of water by crops. *New Mexico State Engr. Office*, July.
52. Hemphill, R.G. 1922. *Irrigation in Northern Colorado*. USDA Bull., 1026.
53. Houk, I.E. 1926. Evaporation on United States Reclamation Projects. *Trans. Am. Soc. Civil Engr.*, 90:266-378.
54. Houk, I.E. 1951. *Irrigation Engineering, Vol. 1, Agricultural and Hydrological Phases*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
55. Israelsen, O.W., and L.M. Windsor. 1922. The net duty of water in the Sevier Valley, Utah. *Utah Agr. Exp. Stn. Bull.* 182.
56. Jensen, M.E. (ed). 1966. *Evapotranspiration and its Role in Water Resources Management*. Conf. Proc., Am. Soc. Agr. Engr., Chicago, Dec. 5-6, 66 p.
57. Jensen, M.E. (ed). 1974. *Consumptive use of Water and Irrigation Water Requirements*. Rept. Tech. Com. on Irrig. Water Req., Irrig. and Drain. Div., Am. Soc. Civ. Engr, 229 p.
58. Jensen, M.E., and H.R. Haise. 1963. Estimating evapotranspiration from solar radiation. *J. Irrig. & Drain. Div., Am. Soc. Civ. Engr.*, 89:15-41.
59. Jensen, M.E., D.C.N. Robb, and C.E. Franzoy. 1970. Scheduling irrigations using climate-crop-soil data. *J.Irrig. and Drain. Div., Am. Soc. Civ. Engr.*, 96:25-28.
60. Jensen, M.E., R.D. Burman and R.G. Allen (eds). 1990. *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements*, Am. Soc. Civ. Engr. Manuals and Repts. on Eng. Practice No. 70, ISBN 0-87262-763-2, 360 p.
61. Knoblauch, H.C., E.N. Law, W.P. Mayer, and others. 1962. *State Experiment Stations*. USDA Misc. Publ. 904.
62. Kroes, J.G., J.C. van Dam, J.Huygen, and R.W. Vervort. 1998. *Users Guide of SWAP version 2.0: Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment*. Tech. Doc. 48, DLO-Staring Centre, Wageningen, Rept. 81, Dept. of Water Resources, Wageningen Agr. Univ., 119 p.
63. Kohler, M.A., T.J. Nordenson, and W.E. Fox. 1955. *Evaporation from pans and lakes*. U.S. Weather Bur. Res. Paper., 38,21 p.
64. Ledbedevich, N.F. 1956. Water regime in peat and swamp soils in the Belo Russian and crop yields. *Belo Russian SSR*, 6 (translated from Russian), USDC PST Cat. 489, 1961.
65. Lewis, M.R. 1919. Experiments on the proper time and amount of irrigation. *Twin Falls Exp. Stn.*, 1914, 1915, and 1916.
66. Linacre, E.T. 1967. Climate and evaporation from crops. *J. Irrig. Drain. Div., Am. Soc. Civ. Engr.*, 93:61-79.
67. Livingston, G.J. 1908-9. An annotated bibliography of evaporation. *Mo. Weather Rev.*, Vol. 36:181-186, 301-306, 375-371-375; 37:68-72, 103-109, 157-160, 193-199, 248-242.
68. Lowry, R.L., Jr. and A.F. Johnson. 1942. Consumptive use of water for agriculture. *Trans. Am. Soc. Civ. Engr.*, 107:1243-1302.



69. Makkink, G.F. 1957. Testing the Penman formula by means of lysimeters. *J. Inst. Water Eng.*, 11(3):277-278.
70. Martin, D.I., and J. Gilley. (1993). *Irrigation Water Requirements*, Chapter 2, Part 623, National Engineering Handbook, USDA, Soil Conservation Service. 184 p.
71. McEwen, G.F. 1930. Results of evaporation studies. *Scripts Inst. of Oceanography Tech Series*, 2(11):401-415.
72. Mead, E. 1887. Report of experiments in irrigation and meteorology. *Colo. Agr. Exp. Stn. Bull.*, 1.
73. Meyer, A.F. 1942. Evaporation from Lakes and Reservoirs: A study based on Fifty Years' Weather Bureau Records, Minn. Resources Comm., 56 p. + 38 maps.
74. Mills, A.A. 1895. Farm irrigation. *Utah Agr. Exp. Stn. Bull.*, 39.
75. Monteith, J.L. 1965. Evaporation and the environment. p. 205-234, In: *The State and Movement of Water in Living Organisms*, XIXth Symposium. Soc. for Exp. Biol., Swansea, Cambridge Univ. Press.
76. Muchow, R.C., and J.A. Bellamy. 1990. *Climatic Risk in Crop Production: Models and Management for the Semiarid Tropics and Subtropics*, CAB Int'l., Wallingford, 558 p.
77. Olivier, H. 1961. *Irrigation and Climate*. Edward Arnold Publ., LTD., London.
78. Pelton, W.L., K.M. King, and C.B. Tanner. 1960. An evaluation of the Thornthwaite and mean temperature methods for determining potential evapotranspiration. *Agron. J.*, 52:387-395.
79. Penman, H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Roy. Soc. London, Series A*, 193:120-146
80. Penman, H.L. 1956a. Evaporation: An introductory survey. *Neth. J. Agr. Res.*, 4(1):9-29.
81. Penman, H.L. 1956b. Estimating evaporation. *Am. Geophys. Union Trans.*, 37:43-50.
82. Penman, H.L. 1963. *Vegetation and Hydrology*. Tech. Common. 53, Commonwealth Bureau of Soils, Harpenden, England.
83. Penman, J.L. and R.K. Schofield. 1941. Drainage and evaporation from fallow soil at Rothamsted. *J. Agr. Sci. (London)*, 31(1):74-109.
84. Quackenbush, T.H., and J.T. Phelan. 1965. Irrigation water requirements of lawns. *J. Irrig. and Drain. Div., Am. Soc. Civ. Engr.*, 91:11-19.
85. Rijtema, P.E. 1958. Calculation methods of potential evapotranspiration. Rept. on the Conf. on Supplemental Irrigation, Comm. VI Int'l. Soc. Soil Sci., Copenhagen, June 30-July 4.
86. Rijtema, P.E. 1965. Analysis of actual evapotranspiration. *Agr. Res. Rep. No. 69*. Centre for Agr. Publ. and Doc., Wageningen, the Netherlands, 111 p.
87. Ritchie, J.T. 1972. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resources Res.*, 8(3):1204-1213.
88. Robb, D.C.N. 1966. Consumptive use estimates from solar radiation and temperature. p. 169-191, *Methods for Estimating Evapotranspiration*. Proc. Am. Soc. Civ. Engr., Irrig. & Drain. Div., Las Vegas, Nov. 2-4, 239 p.
89. Rohwer, C. 1931. Evaporation from free water surfaces. *USDA Tech Bull.*, 271, 96 p.
90. Shantz, H.L., and L.N. Piemeisel. 1927. The water requirement of plants at Akron, Colorado. *J. Agr. Res.*, 34(12):1093-1190.
91. Shuttleworth, W.J. and R.J. Glurney. 1990. The theoretical relationship between foliage temperature and canopy resistance in sparse crops. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 116:497-519.
92. Shuttleworth, W.J. and J.S. Wallace. 1985. Evaporation from sparse crops – an energy combination theory. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* 111:839-853.
93. Sleight, R.B. 1917. Evaporation from the surface of water and river-bed materials. *J. Agr. Res.*, X(5), July.
94. Smith, M., Allen, R., Monteith, J., Perrier, A., Pereira, L. and Segeren, A. (1991). Report of the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements. UN-FAO, Rome, Italy, 54 p.
95. Tanner, C.B. 1960. Energy balance approach to evapotranspiration from crops. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 24(1):1-9.
96. Tanner, C.B., and W.L. Pelton. 1960. Potential evapotranspiration estimates by the approximate energy balance method of Penman. *J. Geophys. Res.*, 65(10):3391-3413.
97. Teele, R.P. 1904. *Irrigation and drainage investigations of the Office of the Experiment Stations*, USDA.
98. Teele, R.P. 1908. Review of 10 years of irrigation investigations. *Ann. Rept. of OES for year ending June 30*.
99. Thompson, N., I.A. Barrie, and M. Ayles. 1981. *The Meteorological Office rainfall and evaporation calculation system: MORECS*. Hydrological Memorandum 45, Hydrometeorological Services, London, 66 p.
100. Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38:55-94.
101. Thornthwaite, C.W., and B. Holzman. 1939. The determination of evaporation from land and water surfaces. *Monthly Weather Rev.*, January, 4-11.
102. Thornthwaite, C.W. and B. Holzman. 1942. Measurement of evaporation from land and water surfaces. *USDA Tech. Bull.*, 817, 143 p.
103. Thornthwaite, C.W., and J.R. Mather, 1955. *The Water Balance*. Publications in Climatology, Vol. 8(1).
104. Turc, L. 1961. Evaluation des besoins en eau d'irrigation, evapotranspiration potentielle, formule climatique simplifiée et mise a jour. (English: Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: A simple climatic formula evolved up to date). *Ann. Agron.*, 12:13-49.
105. U.S. Geological Survey. 1954. *Water loss investigations: Lake Hefner studies*, technical report, U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 169, 158 p.
106. U.S. Dept. of Agr. Soil Conserv. Service. 1970. *Irrigation Water Requirements*. Tech. Release No. 21, (rev.), 92 p.
107. Van Dam, J.C., J. Huygen, J.G. Wesseling, R.A. Feddes, P. Kabat, P.E.V. van Walsum, P. Groenendijk, and

- C.A. van Diepen. 1998. Theory of SWAP version 2.0: Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment. Rept. 71, Dept. of Water Resources, Wageningen Agr. Univ., 167 p.
108. Vitkevich, 1958. Determining evaporation from the soil surface. USDC PST Cat. 310, (trans. from Russian).
109. Widstoe, J.A. 1909. Irrigation investigations: Factors influencing evaporation and transpiration. Utah Agr. Exp. Bull., 105, 64 p.
110. Widstoe, J.A. 1912. The production of dry matter with different quantities of water. Utah Agr. Exp. Stn. Bull., 116, 64 p.
111. Widstoe, J.A., G.L. Swendsen, L.A. Merrill, W.W. McLaughlin, W.D. Beers, and O. Widstoe. 1902. Irrigation investigations in 1901. Utah Agr. Exp. Stn. Bull., 80, p. 67-155.
112. Wright, J.L. 1981. Crop coefficients for estimates of daily crop evapotranspiration. Irrig. Sched. for Water and Energy Conserv. in the 80's, Am. Soc. of Agr. Engr., Dec. 18-26.
113. Wright, J.L. 1982. New evapotranspiration crop coefficients. J. Irrig. and Drain. Div., Am. Soc. Civ. Engr., 108(2):57-74.
114. Wright, J.L. 1988. Daily and seasonal evapotranspiration and yield of irrigated alfalfa in southern Idaho. Agron. J., 80:662-669.
115. Wright, J.L., and M.E. Jensen. 1972. Peak water requirements of crops in southern Idaho. J. Irrig. and Drain. Div., Am. Soc. Civ. Engr., 96:193-201.

### Acknowledgment:

The bulk of early studies summarized in this paper was extracted from an unpublished manuscript by M.E. Jensen and H.R. Haise. 1962. Estimating Weekly, Monthly, and Seasonal Evapotranspiration from Solar Radiation.



*Voda rijeke Bosne bistra je samo u gornjrm toku - lokalitet kod Semizovca u blizini Sarajeva*

*Snimio: M. Lončarević*

# U VINKOVcima ODRŽAN STRUČNI SASTANAK LABORATORIJA OVLAŠTENIH ZA ISPITIVANJE VODA

**U** Vinkovcima je u periodu od 6.-9. juna 2005. godine, održan trodnevni stručni sastanak laboratorija ovlaštenih za ispitivanje voda, a glavni pokrovitelj bilo je Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede-Uprava vodnog gospodarstva Republike Hrvatske. Na ovom, izuzetno posjećenom skupu, uz prisustvo velikog broja stručnih osoba iz oblasti: hemije, tehnologije, biologije, poljoprivrede, hidrotehnike i stručnjaka iz oblasti vodnog prava, izlagani su brojni referati, koji su svojom tematikom u potpunosti opravdali ovaj stručni skup, što je i konstatovano u zaključcima sastanka.

Za malobrojne učesnike drugih država iz našeg okruženja, a posebno za nas iz Bosne i Hercegovine, iznenađujuće je bilo saznanje, koliko je Republika Hrvatska, otišla daleko u području upravljanja vodama - posebno u organiziranosti kontrole kvaliteta voda, te pokušajima usklađivanja svog vodnog zakonodavstva potrebama pristupanja EU. Obzirom da i naša država ima želju i potrebu da se priključi EU, iskustvo naših susjeda treba da bude od velike pomoći za sve one koji participiraju i odlučuju u donošenju državnog zakonodavstva u području upravljanja vodama, njegovom provođenju i usklađivanju potrebama pristupanja EU.

Za ovu priliku odabrane su tri referatske teme sa pomenutog skupa. Uloga i značaj glavne ovlaštene vodoprivredne laboratorije, referentne i drugih ovlaštenih laboratorija, Uzorkovanje i analize kod iznenadnih zagađenja i Postupak ocjene usklađivanja zakonodavstva RH za potrebe pristupanja EU-rezultati "prescreeninga" u području upravljanja vodama.

## 1. ULOGA I ZNAČAJ GLAVNE OVLAŠTENE VODOPRIVREDNE LABORATORIJE, REFERENTNE I DRUGIH OVLAŠTENIH LABORATORIJA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Po Zakona o vodama i Pravilnika o uslovima koje moraju ispunjavati ovlaštene laboratorije, MPVIŠ-

Uprava vodnog gospodarstva izdala je imenovanja za **glavni ovlaštenu vodoprivrednu laboratoriju, za referentnu laboratoriju, te ovlaštenja za ovlaštene naučne laboratorije i ovlaštene laboratorije**. Po Zakonu o vodama i Pravilniku o uslovima koje moraju ispunjavati ovlaštene laboratorije, kontinuirano se provodi kontrola kvalitete rada ovlaštenih laboratorija putem međulaboratorijskih uporednih ispitivanja (nacionalnih i međunarodnih), na pokazatelje za koje su pojedini ovlaštene laboratorije i dobili ovlaštenja, mjeriteljski nadzor, te kroz praćenje drugih poslova koji su obuhvaćeni Pravilnikom, a odnose se na specifičnosti mikrobioloških i ekotoksikoloških ispitivanja.

### 1.1. Glavni ovlaštene vodoprivredni laboratorij

Vodoprivredna preduzeća (Republike Hrvatske i Srbije i Crne Gore) posjeduju vlastite vodoprivredne laboratorije. Ti glavni ovlaštene laboratorije shodno vodoprivrednim planovima i zadacima vrše mjerenje i nadzor fizičko-hemijskih, mikrobioloških i ekotoksikoloških karakteristika na vodama, čiji su rezultati neophodni u integralnom upravljanju vodama (aspekt kvalitete) i imaju poseban značaj u sektoru - zaštita voda. Tehnička opremljenost i kadrovska struktura uposlenika glavnog vodoprivrednog laboratorija, garancija su osiguranja kvalitetnih analiza i rezultata. Postojanje glavnog vodoprivrednog laboratorija, ima poseban značaj u monitoringu vodotoka koji se sa naše državne teritorije disponiraju u međunarodne vode (Sava i Dunav), čiji su rezultati, jedino meritorni u davanju podataka o stanju kvaliteta naših vodotoka. Prije rata postojala je vodoprivredna laboratorija koja je bila jedna od najkvalitetnijih u bivšoj državi, a danas raduje činjenica da će uskoro ponovo početi sa radom vodoprivredna laboratorija.

### 1.2. Referentni laboratorij

Referentna laboratorija je ona ovlaštena laboratorija (imenuje se iz već postojećih ovlaštenih laboratorija) koja je prvenstveno tehnički i stručno najkva-

litetnija u davanju rezultata po svim vrstama parametara koje iziskuju brojne metodologije o utvrđivanju kvalitativno-kuantitativnih karakteristika voda. Referentna laboratorija ima zadatak da vrši permanentno praćenje razvoja naučnih i metodoloških dostignuća, vrši njihovo usklađivanje sa međunarodnim validnim metodama, vrši permanentnu edukaciju osoblja iz ovlaštenih laboratorija kao i provjeru rada ovlaštenih laboratorija. Na osnovu rezultata iz međulaboratorijskih uporednih kontrolnih ispitivanja, sugeriše komisiji za davanje ovlaštenja davanje istog ili samo za ispitivanje pojedinih parametara. Dosadašnji rad naših sedam ovlaštenih laboratorija koje se bave kontrolom kvaliteta voda nije na zadovoljavajućem nivou i ne vrši se nikakva kontrola nad njima.

### 1.3. Naučni ovlašteni laboratorij

Naučne laboratorije moraju imati ovlaštenja i posebno su važni u postupku educiranja budućih stručnjaka. Ove laboratorije su veoma bitne sa aspekta utvrđivanja pojedinih važnih parametara kvaliteta voda. U našim uslovima, primjetno je da postojeće ovlaštene laboratorije veoma malo rade iz oblasti biomonitoringa (radi se samo test toksičnosti kod utvrđivanja EBS-a) a vrlo su upitna i hidrološka mjerenja. Neophodno je pokrenuti inicijativu da se PMF-u, katedri za biologiju i mikrobiologiju, izda ovlaštenje za ispitivanje mikrobioloških i bioloških pokazatelja (biomonitoring) kvalitete prirodnih i otpadnih voda, radi osiguranja kvalitete i upravljanja kvalitetom voda u tom segmentu. Također bi trebalo uspostaviti neophodnu saradnju sa GF – Institut za hidrotehniku, s ciljem educiranja i osposobljavanja lica koja vrše hidrološka mjerenja za potrebe utvrđivanja EBS-a, a posebno za ona zahtjevnija mjerenja npr. hidrološka mjerenja na vodotocima.

### 1.4. Ovlašteni laboratoriji

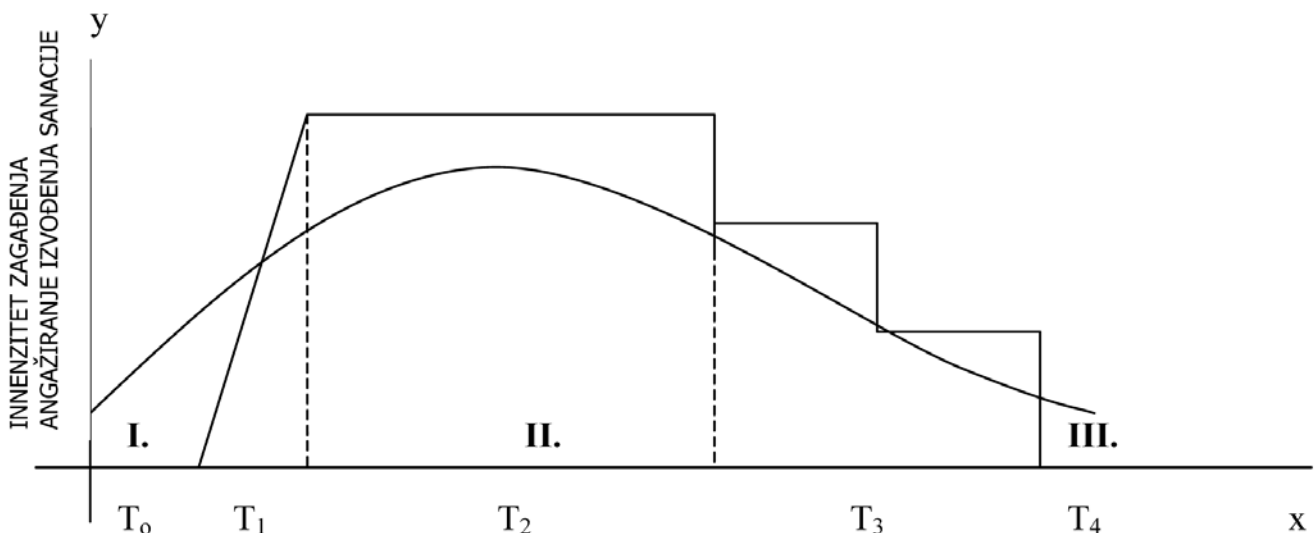
Ovlaštene laboratorije, su one institucije koje se bave ispitivanjem kvaliteta voda. Ovlaštenja mogu imati za cjelokupno ili pojedinačno utvrđivanje pojedinih parametara koje zahtjeva određeni monitoring. Kod nas postoji sedam ovlaštenih laboratorija, koje se uglavnom bave ispitivanjem otpadnih voda s ciljem utvrđivanja EBS-a, na osnovu čije se utvrđene vrijednosti pravi obračun za plaćanje posebne vodoprivredne naknade za zaštitu voda. Te iste laboratorije, po potrebi, vrše interventna ispitivanja kada dođe do iznenadnih zagađenja, te povremeno vrše kontrolna utvrđivanja EBS-a, kod onih zagađivača, gdje se smatra da je prethodno utvrđena vrijednost EBS-a, nekorektna. Nad njima se ne vrši nikakva kontrola u smislu provjere kvalitete rada što se može primjetiti kod rezultata ispitivanja kod pojedinih industrijskih zagađivača. U dva različita ciklusa ispitivanja a najčešće pod istim uslovima sa aspekta kapaciteta proizvodnje, varijacije u visini utvrđenog stepena zagađenja su tolike da je teško utvrditi validnu vrijednost kako za obračun pos.vodop.naknada tako i za druge potrebe vodoprivrede a posebno za sektor - zaštita voda.

## 2. UZORKOVANJE I ANALIZE KOD IZNENADNIH ZAGAĐENJA

Kod iznenadnog zagađenja veoma važnu ulogu ima brzo i pravovremeno utvrđivanje o kojoj se zagađujućoj materiji radi. Zato je uzimanje uzoraka, te njihovo analiziranje od presudnog značaja za svako iznenadno zagađenje.

Dosadašnja iskustva o iznenadnim zagađenjima, govore da je jedna od najvažnijih radnji – postupak uzimanja uzoraka zagađene vode, zagađenog mate-

Tok iznenadnog zagađenja može se prikazati u obliku sljedećeg grafikona.



rijala, praćenja stanja vode tokom sanacije te po potrebi uspostava i obavljanje monitoringa nakon obavljene sanacije.

Da bi se lakše razumilo koji je to obim posla, potrebno je razjasniti šta je to uopšte iznenadno zagađenje. Iznenadno zagađenje je ono zagađenje koje se pojavljuje iznenada, tj. pojavi se neočekivano, neočekivana vrsta zagaditelja i javlja se na neočekivanom mjestu. Upravo zbog velikog broja nepoznanica, pojavu iznenadnih zagađenja potrebno je analizirati i iz toga izvući neka pravila. Obradom dosad obrađenih iznenadnih zagađenja, utvrđeno je da postoje neke zakonitosti koje treba poštovati. Najvažnije je pravovremeno otkrivanje o kakvoj se zagađujućoj materiji radi jer će to saznanje imati presudnu ulogu u daljnjem toku sanacijskih radova a i na kvalitet vode u prirodi.

Na prikazanom grafikonu stavljeno je u odnos vrijeme (prikazano na osi x) i intenzitet zagađenja odnosno angažiranu snagu na zaustavljanju širenja zagađenja i sanacija (prikazano na osi y).

Da bi se u potpunosti i pravilno iskoristilo minimalno raspoloživo vrijeme vrlo je bitno iskoristiti najkraće putne komunikacije, utvrditi minimalne uslove i pravila postupanja.

Uzimanje uzorka zagađenja i zagađenih voda, te njihova analiza jedna je od prvih aktivnosti u postupku kod iznenadnog zagađenja, a što je potrebno obaviti u intervalu  $T_0$ . U prvom redu ovdje dolazi do izražaja obučenost i stručnost osobe koja vodi aktivnosti kod iznenadnog zagađenja (to u RH, rade osobe iz glavnog ovlaštenog vodoprivrednog laboratorija), jer te osobe imaju iskustva u identifikaciji vrste zagađenja. U intervalu  $T_1$  očekuje se procjena stanja na terenu, utvrđivanje uzorka i vrste zagađenja, popis ugroženih vodnih objekata te poduzimanje mjera na zaustavljanju širenja zagađenja.

Na bazi pretpostavke određuju se metode za zaustavljanje širenja zagađenja. Do dobivanja laboratorijskih nalaza o kakvom se zagađenju radi a poželjno je da to bude u vremenu  $T_1$ , uz metode za zaustavljanje širenja zagađenja poduzimaju se metode sanacije zagađenog područja (uklanjanja zagađujuće materije s površine vode i okoline). Treba uvijek imati na umu da dospjelo zagađenje u vodi ne miruje stoga se uočava uzlazna linija zagađenja.

U intervalima  $T_2$  i  $T_3$ , kada je zagađenje stavljeno pod nadzor, monitoringom zagađenih voda, dokazuju se rezultati sanacije zagađenog područja. Odabrana metoda sanacije tokom intervencije se može i mijenjati ovisno o raspoloživom vremenu, o pristupačnosti terena, te metodama sanacija. Ovdje treba voditi računa da se izvrši optimalan odabir svih elemenata koji će dati najmanje troškove sanacije, a ujedno zadovoljiti sve tehničke kvalitativne norme.

Interval  $T_4$  je vrijeme nakon sanacije u kojem se obavlja monitoring kvalitete zagađene vode radi utvrđivanja efikasnosti sanacije zagađenog prostora.

Ono nastupa kad je tokom sanacije kvalitet vode vrijednosti opasnih parametara ispod granice dopuštenih za dotični vodotok ili je jednaka ili niža višegodišnjem prosjeku na dotičnoj lokaciji vodotoka. Kakav i koliko dugo će se provoditi monitoring ovisi o specifičnosti područja a u pravilu se utvrđuje za svaki slučaj posebno.

Uzorak vode sem što ima tehničku vrijednost on je vrlo važan element u postupku otkrivanja izvora i počinitelja zagađenja.

- Prvo: taj uzorak mora jasno dokazati da je nastupilo zagađenje vode (u prirodi vodotoka, akumulacije, podzemne vode) ili prijeto neposredno zagađenje voda usljed zagađenja okoline. Vrijednosti ispitivanih parametara višestruko su više od višegodišnjeg prosjeka (ukoliko postoji monitoring) ili dopuštenog propisano zakonskim odredbama.
- Drugo: analiza uzoraka mora dati odgovor o kakvom se zagađivaču radi (vrsta i tip).
- Treće: uzorak mora upućivati na potencijalnog zagađivača.
- Četvrto: Uzorak je materijalni dokaz koji dokazuje da je nastalo zagađenje, određenom materijom od određenog počinitelja i nenadoknadiv je argument u slučaju sudskih sporova.

Dosadašnja iskustva pokazala su potpunu neorganizovanost u pogledu pristupa uzorkovanju i analizama kod iznenadnog zagađenja. Ne postoje razrađene metodologije postupanja kao niti interne upute za tipična, već poznata iznenadna zagađenja, kako bi se pojedinim iznenadnim zagađenjima pristupilo rutinski. Generalno je prisutna fluktacija kadrova unutar ovlaštenih laboratorija. U najboljem slučaju, kad imamo dobro osmišljenu organizaciju presudnu ulogu ima obučenost, stručnost a posebno terensko iskustvo osobe iz ovlaštene laboratorije.

Znači, za cijelo vrijeme sanacije, potreban je monitoring stanja zagađene vode kao i okolnih voda. To je potrebno kako bi se dokazalo da su poduzete metode za zaustavljanje širenja zagađenja i sama sanacija ispravne. U trenutku kada koncentracija zagađujuće materije (ili neki njen specifični sastojak) u vodi dođe u granice dozvoljenih koncentracija, zagađujuće materije, za tu vrstu vodotoka, može se reći da je sanacija uspješno obavljena. I na kraju iz svega prethodno opisanog vidljiva je važna uloga uzorkovanja i analize zagađene vode od samog početka do završetka sanacije zagađenog područja. Kako se još uvijek ne raspolaže pouzdanim i provjerenim metodama sanacije, nakon svakog obavljenog posla preporučljivo je da se utvrdi i provede pojačani monitoring voda u području sanacije.

Tema ovog referata, interesantna je i za naše uslove jer veoma često dolazi do iznenadnih zagađenja. Ovim se želi potaknuti razmišljanje, kako bi se utvrdio postupak, počev od saznanja da je došlo do nastanka iznenadnog zagađenja pa sve do konačne sanacije kontaminiranog područja. Bilo bi potrebno

da se izradi funkcionalna šema postupanja sa utroškom minimalnog vremena, da se izvrši svojevrsna sistematizacija i normiranje postupaka i trebalo bi usvojiti jedinstveni obrazac počev od evidencije uzimanja uzorka pa sve do izvještaja o izvršenom analiziranju uzorka.

### 3. POSTUPAK OCJENE USKLAĐENOSTI ZAKONODAVSTVA REPUBLIKE HRVATSKE ZA POTREBE PRISTUPANJA EU-REZULTATI "PRESCREENINGA" U PODRUČJU UPRAVLJANJA VODAMA

Putem ministarstva

1. Komunalne otpadne vode – Urban Waste Water (91/271/EEC),
2. Kvalitet vode namjenjen za ljudsku potrošnju – Drinking Water (98/83 EC),
3. Nitratna direktiva – Nitrates Directive (76/160/EEC),
4. Kvaliteta vode za kupanje – Bathing Water Directive (76/160/EEC),
5. Metode mjerenja i učestalosti uzorkovanja i analize površinske vode namjenjene dobivanju pitke vode – Measurement of drinking water (76/869/EEC),
6. Zaštita podzemnih voda od zagađenja nekim opasnim materijama – Groundwater (80/68/EEC),
7. Zagađenje uzrokovano određenim opasnim materijama ispuštenim u vode – Dangerous Substances to Water (76/464/EEC),
8. Supstance sa liste I – List One Substances (86/280/EEC),
9. Ispuštanje žive iz industrije elektrolize hlor-alkalija – Mercury from Chlor-Alkali Industries (82/176/EEC),
10. Ostala ispuštanja žive – Other Mercury Discharges (84/156/EEC),
11. Ispuštanja kadmija – Cadmium Discharges (83/513/EEC),
12. Ipuštanja heksahlorocikloheksana – HCH Discharges (83/491/EEC),
13. Površinska voda namjenjena dobivanju pitke vode – Surface Water for Abstraction (75/440/EEC),
14. Kvaliteta vode za školjke – Shellfish Water (79/923/EEC),
15. Kvaliteta slatke vode za život riba - Fish Water (78/659/EEC),
16. Okvirna direktiva za vode – Water Policy Framework (2000/60 EC),

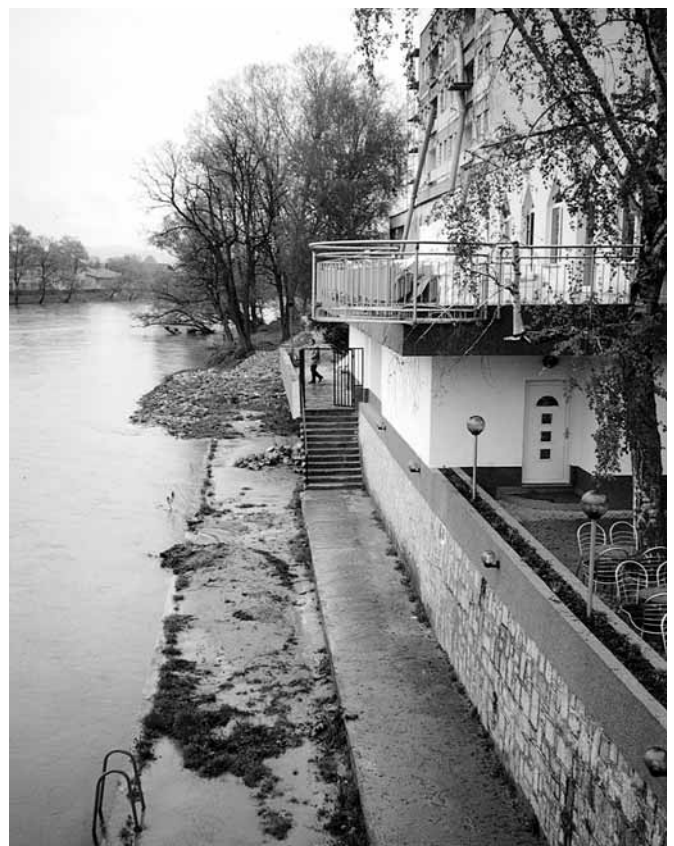
Upoređivanje dolje navedenih direktiva sa relevantnim našim propisima napraviće se popunjavanjem Implementacijskog upitnika – Implementation Questionnaires (IQ) iz Tablica usklađenosti – Tables of Concordance (ToC), gdje će se vršiti bodovanje. Potpuna usklađenost iznosi 2454 boda. Primjera radi, MPŠVG Republike Hrvatske, vršilo je popunjavanje upitnika - upoređujući gore navedene direktive sa hrvatskim propisima i trenutno ima 474 boda. Nave-

deno ministarstvo učestvovalo je u popunjavanju tablica i za sljedeće direktive:

- Kontrola opasnosti velikih nesreća koje uključuju opasne materija – Control of major accident hazards involving dangerous substances (96/82/EC)
- Integralno sprečavanje i nadzor zagađenja – Integrated pollution prevention control (96/61/EC)
- Odgovornost za okoliš vezano za sprečavanje i sanaciju štete u okolišu – Environmental liability with regard to the prevention and remedying of environment
  - Direktiva o muljnom otpadu – Sewage sludge Directive (86/278/EEC/ i
- Direktiva o spaljivanju otpada – Waste incineration Directive (2000/76/EEC)

**Obzirom da BiH, teži ka evropskim integracijama to će se i postupak ocjene usklađenosti zakonodavstva BiH u sektoru voda morati uskladiti sa direktivama i propisima EU iz područja kvalitete voda, za što će biti nadležna entitetska MPVIŠ ili neko drugo drugo koordinaciono tijelo iz vodoprivredne oblasti.**

**Napomena:** Najveći dio ovog teksta je dat kao prikaz autorskih referata: Mladena Borše, Mojce Lukšić, Stjepana Kambara, Siniše Širca, Đušanke Čuzela, sa stručnog sastanka laboratorija ovlaštenih za ispitivanje voda, koji je upriličen u Vinkovcima.



Objekat na obali rijeke Sane  
Snimio: M. Lončarević

# IN MEMORIAM

## Mirza Selimović, (1934.-2005.)



S

elimović Mirza rođen je 30. 07. 1934. godine u Ključu. Srednju građevinsko tehničku školu završio je u Zagrebu, a građevinski fakultet u Sarajevu.

Godine 1962. zapošljava se u Vodoprivrednom preduzeću "Posavina" u Odžaku, gdje ostaje raditi sve do 1971. godine obavljajući dužnost direktora.

1971. godine Izvršno vijeće Bosne i Hercegovine imenuje ga i postavlja na dužnost direktora Republičke uprave za vodoprivredu Bosne i Hercegovine. Na toj dužnosti ostaje sve do 1980. godine.

1980. godine imenovan je za člana Komisije za privredu Vlade Bosne i Hercegovine i tu ostaje sve do 1983. godine kada ga Vlada Bosne i Hercegovine imenuje za direktora Zajednice za vodoprivredu.

Sve do 1992. godine obavljao je dužnost direktora Zajednice za vodoprivredu, odnosno direktora Republičkog Fonda voda Sarajevo.

1996. godine radi kao savjetnik u Javnom preduzeću, a od 1998. godine pa sve do odlaska u penziju 30. 06. 2003. godine bio je direktor Zavoda za vodoprivredu Sarajevo.

U svom dugogodišnjem radnom vijeku bio je član Međunarodne Komisije za rijeku Muru, Komisije za sliv rijeke Save, Komisije za izgradnju brane na slivu rijeke Drine, Član i predsjednik Društva za odvodnjavanje i navodnjavanje i još mnogih drugih.

Svojim radom, autoritetom, intelektualnošću i jasnim vizijama budućnosti, on je otvarao liniju progresa, umnožavao poslovne uspjehe u cijeloj vodoprivredi.

Znao je da prepozna trenutak za poslovni potez i uspjevao da od usputnih šansi napravi veliki poslovni trijumf.

Jedan od njih je i Zgrada vodoprivrede koja je prije rata bila pokazatelj mjesta koje je vodoprivreda zauzimala, u ekonomskom razvoju našeg društva.

U vrijeme rata je uništena i devastirana, ipak Mirza Selimović je ponovo svojim ličnim radom i angažmanom uspio da joj vrati stari sjaj i ponovo je obnovi.

Mirza je radio i gradio uspjehe sa lakoćom, kako je sam imao običaj da kaže na pitanje saradnika "Kako ste?" odgovarao je uživam "Uživam!"

Zbog važnih poslovnih odluka koje je on donosio u svom životu uvijek se činilo da mu emocije nisu jača strana, međutim, njegovi bliski saradnici i prijatelji znaju da to nije bila istina.

Samo ljudi velikog srca mogu donositi velike odluke.

Svi koji su poznavali gospodina Selimović Mirzu, osjećaju duboko poštovanje prema njegovom radu i doprinosu koji je dao razvoju vodoprivrede.

# IN MEMORIAM

Dubravka Sočo, dipl. inž. građ., (1943.-2005.)



Iz redova vodoprivrede Bosne i Hercegovine otišla je još jedna osoba, iz reda onih koji su sve do 1992. godine činili izuzetno jaku kadrovsku bazu ove djelatnosti. Umrla je Dubravka Sočo, pobjednica među koševima i "pobjednica" u projektovanju mnogih sistema vodosnabdijevanja u Bosni i Hercegovini, ne mo-

gavši pobijediti opaku bolest koja ju je napala prije nekoliko godina. Relativno kratak životni vijek bio je ispunjen u svakom danu, minuti i satu.

Rodjena je i odrasla u Sarajevu gdje je završila osnovnu i srednju školu. Diplomirala je na Građevinskom fakultetu u Sarajevu, smjer hidrotehnički.

Prvo zaposlenje dobila je u Higrabirou vvelikog sistema "Energoinvesta", odakle je poslije nekoliko godina prešla u Zavod za izgradnju Grada Sarajeva. Tu je radila na izradi i implementaciji dokumenata urbanističko planskog karaktera.

Nakon toga prelazi u drugi tadašnji privredni gigant- "Unioninvest" i to u Hidroterma projekt. U tom periodu preduzeće je šalje u Alžir gdje vodi jednu projektantsku grupu i vrši projektantski nadzor na međunarodnom projektu Vodovoda grada Alžira. Ovaj projekat je imao posebnu stručnu težinu jer se istovremeno radilo na projektovanju i izvodjenju radova.

Po povratku u Sarajevo prelazi na rad u Zavod za vodoprivredu odakle je, zbog načetog zdravlja, otišla i u prijevremenu penziju. U Zavodu je do rata 1992. godine radila u grupi za investicije, a zatim na izradi projektne dokumentacije i na izradi strateške dokumentacije iz oblasti vodoprivrede. U ovom trenutku bilo bi predugo nabrojati sve poslove i projekte na kojima je radila ili saradivala, jer ih je bilo mnogo, posebno kada je u

pitanju komunalna hidrotehnika i strateško planiranje, tako da bi bilo lakše nabrojati gdje nije bila uključena.

Tokom radnog vijeka radila je na poslovima projektovanja, investicija, izrade planske dokumentacije, te na poslovima projektantskog nadzora. Ono što je za nju bilo karakteristično je to da je obavljajući svoj posao uvijek nastojala obučavati i mladje kolege, a i sama je sebi postavljala obavezu stalnog učenja, praćenja i primjene novih znanja i novih tehnologija.

Ljubitelji sporta pamte je prije svega kao vrsnu košarkašicu. Dugo godina aktivno se bavila sportom. Kao đak Treće gimnazije počela je aktivno (danas bi to zvali "igrala profesionalno", ali se onda nije plaćalo tako kao danas) igrati za Košarkaški klub Omladinac koji je prerastao u KK Mlada Bosna, a zatim u KK Željezničar koji je u to doba bio klub i na međunarodnoj sportskoj sceni. Aktivno je igrala gotovo deset godina. Kroz sportske aktivnosti imala je priliku obići veliki dio Europe, upoznati mnoge ljude i krajeve. Aktivno bavljenje sportom nije je spriječilo da završi fakultet.

Do kraja života održavala je svoja školska, sportska i poslovna prijateljstva i bila snaga i koheziona sila koja je ta prijateljstva poticala i održavala. Cijeli svoj životni vijek nastojala je u poslu i druženju davati maksimum. Sa bolešću koje je zadesila nosila se velikom snagom, ne opterećujući one oko sebe. Bila je aktivni član Udruženja građanki Renesansa gdje je svojim radom i upornošću pomogla da udruženje dobije odgovarajući status, tj. da Udruženje izradi svoj Statut, da se registruje kao nevladina organizacija, i da kreira razne kandidacione programe za Udruženje kako bi ono ostvarilo pomoć kod lokalnih i inostranih humanitarnih organizacija. kao i da se kroz zakonodavstvo dodatno regulišu prava pacijentica oboljelih od karcinoma dojke. Osim toga, inicirala je i nekoliko akcija na širenju znanja o karcinomu dojke (izrada propagandno-edukacionog materijala i njegova distribucija; aukcije slika i drugog koje su Udruženju namjenski za aukciju donirali umjetnici i "simpatizeri").



# IN MEMORIAM

**Ivica A. Tadić, dipl. inž. građ., (1924.-2004.)**



**K**rajem jula mjeseca ove godine navršila se godina dana od smrti inženjera Ivica Tadića, dugogodišnjeg rukovodioca i zaposlenika tuzlanskog vodovoda. Kako se sticajem nekih okolnosti desilo da tada nismo u našem časopisu odali posljednju poštu dugogodišnjem i zaslužnom stručnjaku u oblasti komunalne vodoprivrede u tuzlanskoj regiji a time i u Bosni i Hercegovini, to činimo uz prvu godišnjicu smrti. Stoga smo smatrali primjerenim da ovom prilikom ne pišemo uobičajene i prigodne tekstove, nego da se poslužimo riječima pokojnog inženjera Tadića koje je sam napisao u svojoj neobjavljenoj knjizi sjećanja "SJEĆANJA NA VODOVOD", tuzlanski, naravno. Za početak ćemo prijeti nekoliko rečenica iz autorovog predgovora knjige, a zatim i jedan dio koji se odnosi na saradnju tuzlanskog vodovoda sa UNDP i Svjetskom zdravstvenom organizacijom. Smatramo da će ta dva inserta oživjeti sjećanja na inž. Tadića onima koji su radili s njim, saradivali ili poznavali ga, a onima koji to nisu barem dati jedan kroki profil čovjeka i stručnjaka koji je bio jedan od brojnih i dugogodišnjih visokokvalitetnih kadrova u vodoprivredi Bosne i Hercegovine u posljednjim desetljećima prošlog stoljeća. Iz predgovora:

... Kao dugogodišnji radnik u Vodovodu na rukovodnim mjestima, baveći se tehničkim problemima, smatrao sam da treba da iznesem i opišem mnogobrojne probleme i događaje koji nisu nigdje zapisani, a koji bi jednog dana, pa i danas (2000. godine, op.a.), mogli biti zanimljiv dokaz šta se u tom kolektivu radilo i događalo. Tim prije što, nažalost, tih sudionika u jednom kontinuiranom periodu više nema.

Povod ovom pisanju je i 90. godina postojanja ovog kolektiva, sa čime se malo kolektiva u gradu može pohvaliti. U čitavom tom periodu, bez obzira na bezvodnost područja i mnogobrojne objektivne teškoće s kojim se ovaj grad susretao (Tuzla, op.a.), snabdijevanje vodom je, sa manje ili više uspjeha, ipak obavljano. Ni u najtežim prilikama, za vrijeme ratova, grad nije ostajao bez vode."

## Dio iz knjige:

"... U periodu 1980. i nadalje obavljena je velika aktivnost rješavanja vodosnabdjevanja, odvodnje i prečišćavanja otpadnih voda kao ekoloških problema uopšte, pa su preko tehničke pomoći od Ujedinjenih naroda – Programa za razvoj (UNDP) i Svjetske zdravstvene organizacije dobivena dolarska sredstva za projekat snabdjevanja vodom i smanjenje zagađenja voda u slivu rijeke Spreče, uz konzultantsku firmu DHW – Amersfort iz Holandije.

Pored navedenih organizacija, nosilac ovog Projekta je bio Institut za hemijsko inženjerstvo iz Tuzle, a korisnici i sufinansijeri Osnovna zajednica vodoprivrede "Spreča" Tuzla, RO "Kompred" Tuzla i SIZ za nauku iz Sarajeva.

Realizatori Projekta, pored Instituta za hemijsko inženjerstvo (IHI) iz Tuzle bili su "Energoinvest" Sarajevo, "Vodoprivreda BiH" Sarajevo, "Zavod za vodoprivredu" iz Sarajeva i mnogi drugi naučni instituti iz Sarajeva, Beograda i Ljubljane.

Programom Projekta razmatrana je problematika voda kao jedan od najznačajnijih uslova za razvoj ove regije i obuhvatao je:

- Razmatranje i istraživanje mogućnosti snabdjevanja vodom, procjene potrebnih količina mogućih izvorišta, načina dopreme, distribucije i potrebnih ulaganja za cijeli region (sedam opština: Tuzla, Živinice, Lukavac, Banovići, Kalesija, Srebrenik i Lopare).

- Definisanje problema zagađenosti vodotoka, smanjenje zagađenja za industrijske kapacitete i naselja, plan zaštite vodotoka u slivu rijeke Spreče.
- Razmatranje metoda i načina prečišćavanja otpadnih voda industrije i naselja i potrebnih ulaganja.

Istraživanja po Projektu su realizirana uz međunarodnu saradnju iz sredstava tehničke pomoći (UNDP), ostvarene su konzultacije sa ekspertima iz pojedinih oblasti istraživanja i angažiranje specijalizirane firme (DHW) za zajedničko prečišćavanje otpadnih voda industrije i grada Tuzle, obavljene su specijalizacije domaćih kadrova u inostranstvu, studijsko putovanje stručnih kadrova za uvid u rješenja slične problematike u svijetu (SAD, Engleska, Holandija, Njemačka i dr.), i nabavkom istraživačke opreme i stručne literature za uspješnu realizaciju navedenih aktivnosti.

U sklopu ovog angažmana, u "Energoinvest"-u Sarajevo (vodeći projektant Ing. Savo Radović) izrađen je idejni projekat dovoda vode iz akumulacije Buk na rijeci Krivaji, iznad naselja Maoča.

Za stvaranje akumulacije je isprojektovana gravitaciona betonska brana visine 40 m, a zapremina je omogućavala protok vode od 3 m<sup>3</sup>/sek, što je obezbjeđivalo snabdjevanje vodom Zajednice opština Tuzla do 2020. godine. Akumulacija je zahvatala dio doline rijeke Krivaje i pritoke Maoče, ne potopivši niti jedan objekat, što je bilo vrlo povoljno. Iz akumulacije bi voda odlazila tunelom ispod Konjuha dužine 11 km, a zatim preko uređaja za prečišćavanje u Mačkovcu (Zlaća) i cjevovoda, do Tuzle. Kooperanti firme "Energoinvest" OOUR Hidroinženjering iz Sarajeva bili su Vodoprivredno preduzeće "Spreča" iz Tuzle (glavni projektant Ing. Subhija Hukić) i Zavod za vodoprivredu iz Sarajeva. Idejno rješenje uređaja za prečišćavanje vode iz Krivaje je izrađeno u Zavodu za hidrotehniku iz Sarajeva (glavni projektant Ing. Duško Pavlović), kao i Stidiju kvaliteta vode. Također je urađeno i Osnovno rješenje dovoda vode do opštinskih centara od strane Vodoprivrednog preduzeća "Spreča" Tuzla (glavni projektant Ing. Subhija Hukić).

Idejni projekat uređaja za prečišćavanje gradskih i industrijskih otpadnih voda uradila je firma DHW (tehnoški dio), a građevinski dio Institut za saobraćaj iz Sarajeva.

Od bližih nezahvaćenih izvorišta ostalo je Sprečko polje, sa 4 (četiri) ispitana i izgrađena bunara koji su imali izdašnost 150 l/sek. Kako je ta voda imala nedozvoljene količine željeza morala se prečišćavati na poseban način, jer je klasični način (rasprskavanje i taloženje) zahtijevao dosta skupe objekte. Postojao je i drugi, tehnološki jednostavniji način deferizacije hemijskim - zatvorenim putem, a koji je zahtijevao mnogo manje građevinske objekte, ali je oprema bila uvozna, a za nju je trebalo tražiti devizna sredstva.

Došlo je do saznanja da firma Culligen iz Italije proizvodi takvu opremu, koja je bila u pogonu i na prostorima bivše Jugoslavije (Vodovod Našice).

Idejni projekat za to tehnološko rješenje izradila je zagrebačka projektna kuća "Invest- projekt", koja je već imala reference za takve objekte u Sloveniji.

Nažalost, radi nedostatka deviznih sredstava, realizacija dovoda vode iz Sprečkog polja nije ostvarena.

### Kredit Svjetske banke (World Bank)

Osamdesetih godina preko opštine Tuzla (predsjednik Hasan Dervišbegović, predsjednik Izvršnog odbora Juraj Ljupče) se pojavila mogućnost dobivanja kredita Svjetske banke iz Washingtona za dovod većih količina vode iz Krivaje za vodosnabdjevanje Zajednice opština Tuzla. Obezbjeđeni iznos kredita iznosio je 30 miliona USA dolara. Kreditom je također obuhvaćeno rješavanje prečišćavanje otpadnih voda grada Tuzle i daljinskog zagrijavanja iz Termoelektrane Tuzla. Nosilac kredita bila bi RO "Kompred" Tuzla jer je obavljala navedene djelatnosti (OOUR "Vodovod i kanalizacija" Tuzla i "Centralno grijanje" Tuzla), a vraćanje kredita bilo bi preko cijene usluga, odnosno kroz cijenu m<sup>3</sup> potrošene vode i otpadne vode i m<sup>2</sup> grijanja, kako se to u gradu prakticiralo.

Najveći dio kredita utrošio bi se na snabdjevanje vodom. Postojao je već dio tehničke dokumentacija na nivou idejnih projekata za dovod vode sa rijeke Krivaje, ali iznos tih investicija je bio iznad spomenutog kredita, pa se od toga, iako optimalnog rješenja, moralo odustati.

### Realizacija Sprečkog polja

U zamjenu za to, kao privremeno rješenje, prihvaćeno je zahvatanje podzemnih voda iz Sprečkog polja, jer su postojala već četiri izbušena i ispitana bunara, sa Pleuger crpkama.

Za deferizaciju je usvojena Culligenova tehnologija. Ovo rješenje hemijskom oksidacijom u zatvorenom sistemu zahtjeva najmanje građevinskih radova, a i minimum održavanja.

Tehnologija je podrazumjevala ubrizgavanje u dovod vode kalijevog hipermangana (KMnO<sub>4</sub>) i hlor (Cl) koji su prolazili kroz zatvorene filtere sa posebnom ispunom (zaštićena patentom).

Iz bunara je voda pod pritiskom prolazila kroz taj proces i odlazila u već ranije izgrađeni rezervoarski prostor (1700 m<sup>3</sup>) pri crpnoj stanici u Živinicama. Proces je automatiziran, a ručno se obavljalo jedino pranje filtera. Talog se ispuštao u izgrađeni taložnik da se ne bi voda direktno ispuštala u rijeku Spreču."



*Ovogodišnje poplave u ZE-DO kantonu načinile su višemilionske štete - Rijeka Trstionica je uništila most u Kraljevoj Sutjesci*

# WODANA



ISSN 1512-5327



9 771512 532006