



# ANALIZA KVALITETA VODE REZERVOARA BOVAN

2010-2014

Institut za multidisciplinarnе studije Beograd

## **SARADNICI:**

Dr Predrag Jovanić Univerzitet u Beogradu, Institut za multidisciplinarne studije

Dejan Stanisavljević      Opština Soko Banja

Snežana Radovanović Opština Soko Banja

Zoran Vojinović      Opština Soko Banja

Vesna Radivojević      Opština Aleksinac

Slobodana Zlatković

Jelena Živić

Predrag Živić

Dr Antonije Onjia NI Vinča

Cveta Savić Anahem

## **Kompanije**

Technicom

Mogra

Uno lux

Soko Rec

Eurofins

# **SADRŽAJ**

|  | Strana |
|--|--------|
| <b>UVOD</b>                              | 1      |
| <b>1 LOKALITET</b>                       | 10     |
| <b>2 METODOLOGIJA</b>                    | 15     |
| <b>3 UZORKOVANJE</b>                     | 28     |
| <b>4 METODOLOGIJA ANALIZE REZULTATA</b>  | 40     |
| <b>5 RAZLOZI ZA SPROVOĐENje PROJEKTA</b> | 52     |
| <b>6 REZULTATI I ANALIZA</b>             | 83     |
| <b>7 ISPITIVANJA 2014</b>                | 116    |
| <b>8 OTKLJUČAK</b>                       | 136    |
| <b>9 KORIŠĆENA LITERATURA</b>            | 143    |

## UVOD

Nedostatak adekvatne vode za piće i neadekvatni sanitarni uslovi predstavljaju osnovu mnogih bolesti u svetu i godišnje izazovu dva miliona smrtnih slučajeva. Svetska Banka daje pomoć

državama koje imaju rastuće potrebe za vodom za poljoprivrednu, energetski sektor, stanovništvo i prirodu. Proširenje partnerstva sa SAD omogući će nam da to radimo još efikasnije“. Iza ovih lepih rečenica, nažalost, kriju se sasvim drugi ciljevi. Analitičari smatraju da je ovo nova etapa u borbi za monopol nad vodom (kao što se vodi i borba za



monopol nad energentima i hranom), kako bi se efikasnije kontrolisalo ponašanje stanovništva na planeti. Jer ko ima monopol nad hranom, vodom i energijom može da manipuliše stanovništvom efikasnije nego bilo kojim drugim sredstvom.

Sve veće potrebe za vodom i rast stanovništva govore da će pitka voda u XXI veku biti najdeficitarniji strateški resurs. Trenutno sve razvijenije države preduzimaju mere za predupređenje nestanka pitke vode. Svi proračuni govore da pitka voda brzo nestaje. Na primer, trenutno na svakog stanovnika Zemlje dolazi  $750 \text{ m}^3$  pitke vode, a 2050. godine ova cifra će biti umanjena na  $450 \text{ m}^3$ . To znači da će oko 80 posto država u svetu biti u zoni, po klasifikaciji Ujedinjenih nacija, ispod crte normalnih rezervi vode.

Deficit čiste vode postaće problem već ovih decenija, pa treba preduzeti sve da se to ne dogodi. Opasnost raste sa globalnom promene klime, koja dovodi do rasta opasnih hidrometeoroloških pojava: poplava, suše, jakih vetrova i svih drugih prirodnih nepogoda. Vodni resursi mogu postati jednim od najtraženijih u XXI veku, jer je to resurs koji je ograničen. Svi lako dostupni izvori vode su već iskorišćeni. Slana voda iz okeana i mora može postati pitka, ali je proces jako skup. Takođe je i tretman podzemnih voda jako skup. Tehnologija prerade vode je veoma unapređena i sa njom nema problema, ali da bi se voda dovela do ispravnosti za piće potrebno je uložiti znatna sredstva, što svake godine poskupljuje njenu eksploataciju.

Države trećeg sveta već odavno osećaju nedostatak pitke vode i primorane su svakim danom da ovaj resurs plaćaju sve skuplje.

Prema prognozama eksperata u narednim godinama cena vode u SAD će porasti za dva do tri puta i ova država je prinudena da traži nove izvore vode, kako u svom dvorištu, tako i u svetu. To znači da će biznis sa vodom postati jedan od najisplativijih, jer je u SAD, ali i u svetu pod diktatom ove države, Svetske banke i MMF-a, započeo proces privatizacije izvora pitke vode.

Pažnja celog sveta u najvećoj meri prikovana je za konflikte oko izvora naftne. Novosti iz država gde se nalaze naftni izvori su na prvim stranama svetskih medija, dok ratovi za druge resurse ostaju van pažnje javnosti. Ali rat za prirodne resurse, koji su u geopolitici, ali i realnom životu, posmatrani kao izvor života, se zahuktava. Stručnjaci smatraju da je rat za vodu rat budućnosti. Jer, bez naftne je nemoguće održati savremenu civilizaciju, ali bez vode nije moguća nikakva civilizacija. Nije, dakle, nikakvo iznenadenje što je pitanje vode sve aktuelnije u međunarodnim odnosima. Za poslednjih pola veka, zbog vode dogodilo se oko 500 konflikata.

Godine 2002. godine akademik Leonid Abalkin je u jednoj od svojih knjiga otvoreno napisao da u svetu postoji oko 2.000 mesta u kojima će vremenom početi ratovi zbog čiste pijače vode. Te prognoze ni na koga nisu ostavile utisak, iako se zna da je vode sve manje. Na primer, Afrika čini 12 odsto stanovnika Zemlje, a pijače vode u njoj ima samo jedan odsto. Bivše srednjoazijske republike praktično vode tihi rat zbog vode jer države koje zauzimaju uzvišenja mogu sebi da dozvole da grade hidrocentrale i da zadržavaju vodu, koja ne dolazi do ravnica. Vodeći francuski proizvođači vode udruženi u „Entreprises pour l’Environnement“, upozorili su da će se 2025. godine čovečanstvo suočiti sa velikim nedostatkom vode, što može dovesti do međunarodnih konflikata. Baseni više od 260 svetskih reka su podeljeni između dve ili nekoliko država i pri odsustvu jasnih ugovora ili institucija koje bi regulisale probleme, svaka promena u korišćenju ovih resursa može dovesti do međudržavnih sukoba.

No, da rat za vodu nije samo stvar budućnosti. Nema li vode – nema hrane, nema li hrane – nema se šta jesti, a glad je glavni uzrok masovnih migracija.

Većina, tačnije 97 posto vode na zemlji je slana morska voda. Od ostalih tri procenta, dve trećine otpada na Grenland i Antarktik. Samo jedan procenat vode je raspoređen na ostali svet, a od tog jednog procenta pola je vlasnik Ruska Federacija. Tokom XX veka potrošnja vode se uvećala za sedam puta, dok je stanovništvo poraslo za tri puta. Ko troši svu tu vodu? Troše tzv. „civilizovane države“. Na primer, stanovnik Nemačke na dan potroši 127 litara vode, SAD 296, Rusije 278. Na proizvodnju tone pšenice odlazi 1.000 tona vode. Za tonu kupusa potrebno je potrošiti od 500 do 1000 tona vode... Istovremeno, kultura ishrane ljudi se menja, kao i obrasci života. Tako je prosečni Kinez 1985. godine trošio godišnje 20 kg mesa, a 2009. godine 50 kg mesa. To znači da Kina ima potrebe za dodatnih 390 kubnih metara vode. Radi poređenja vredi navesti da je prosečni stanovnik Švedske 2002. godine trošio 76 kg mesa, a stanovnik SAD 125 kg.

Nedostatak vode doveo je do piratstva (krađe) u ovoj oblasti. Naime, države koje nemaju vodu kradu od onih koje imaju, najčešće od susednih država. Na primer, kopanjem (podzemnih) kanala do korita reka i jezera čime se omogućuje krađa vode. Ovo se već dešavalo, a i sada se dešava na Bliskom istoku (Jordan, Turska). Turska je i glavni kradljivac vode tokom prošlog veka na Bliskom istoku. Naime, vode Tigra i Eufrata su jedinstveni izvor života u arapskim pustinjama, a koje imaju pravo na tu vodu. Turska je u okviru jednostranog projekta modernizacije jugoistočne Anadolije izgradila 22 jezera i 19 velikih hidrocentrala na rekama Tigar i Eufrat, čime je povećala navodnjavanje zemlje na 1,7 miliona hektara. To je dovelo do

umanjenja vode u tim rekama za arapske zemlje.

I Ujedinjene nacije daju svoj doprinos rešavanju problema pitke vode. Naime, UN su napravile istraživanje o ovom problemu „Voda za život 2005-2015“. UN svake tri godine objavljuju ocene po pitanju vodenih resursa, a projektom rukovodi Kancelarija UNESK-a iz Pariza. U materijalu se konstatiše da je potreba za vodom visoka i da, kao nikada do sada, raste. Razlozi su: rast i migracija stanovništva, promene u korišćenju i potrošnji, kao i potrebe za (električnom) energijom. Istovremeno, u istraživanju se konstatiše da bez vode nema razvoja i ekonomskog rasta, pa ni borbe sa siromaštvom. Na horizontu su i borbe za vodu između država, između gradova i sela i među različitim klasama. Sve ovo nagoveštava da će nedostatak vode brzo postati politički problem – ističe UNESKO.

Danas postoje političke odluke koje bi trebalo da dovedu do smanjenja gubitaka u eksploataciji vode, kao i do poboljšanja upravljanja vodnim resursima, bez umanjenja količine vode za potrebe stanovništva. U mnogim državama su već doneseni zakoni sa ciljem očuvanja i racionalnog korišćenja voda, međutim, kako se navodi u dokumentu Ujedinjenih nacija ove reforme još nisu dovele do poželjnih rezultata. Autori dokumenta UN navode ako se stanje u sferi korišćenja voda brzo ne promeni, to će dovesti do toga da 2030. godine oko pet milijardi ljudi (ili oko 67% stanovništva planete) neće imati pristup čistoj vodi, te će se pridružiti stanovništvu Afrike i Južne Sahare, gde trenutno oko 340 miliona ljudi nema redovan pristup vodi.

Ovakva situacija se radikalno loše iskazuje na zdravlje ljudi. Čak 80 posto obolelih u državama u razvoju, od kojih svake godine umire oko tri miliona ljudi, povezano je sa nedostatkom zdrave vode. Svake godine od dijareje umre oko 5.000 dece, tj. svake sekunde umire jedno dete. U celini posmatrano deset posto bolesti u svetu moguće je izbeći uz pomoć obezbeđenja zdrave vode za piće, poboljšanja higijenskih uslova i racionalnog upravljanja vodnim resursima.

Dok deo naše planete ima ograničen pristup vodi, drugi deo sveta je ovo pitanje aktuelizovao i započeo borbu za kontrolu nad vodom. Potrebe za pitkom vodom za poslednjih 50 godina su se utrostručile, a površine koje se navodnjavaju su se udvostručile. Ovo je povezano, prvo, sa demografskim rastom. Prema statističkim podacima na planeti ima oko 6,6 milijardi ljudi, a godišnji rast je 80 miliona. To znači i godišnji rast potrošnje vode za 64 miliona kubnih metara, a interesantno je da se rast stanovništva odvija baš u onim regionima gde ima manjka vode. Rast stanovništva na Zemlji zahteva i povećanje proizvodnje hrane, a da bi se to ostvarilo potrebna je voda. Poljoprivreda je jedna od grana koja mnogo troši vode, čak 70 posto od opšte potrošnje, 20 posto industrija i 10 posto za ličnu higijenu ljudi.

Proizvodnja bioenergije poslednjih godina raste, a povezana je sa velikom potrošnjom vode. Ova proizvodnja 2008. godine trošila je 77 miliona litara vode, a pretpostavlja se da će 2017. godine dostići nivo potrošnje vode od 127 miliona litara. Glavni proizvođači bioenergije su Brazil i SAD, obezbeđuju 77 posto svetskog tržišta ovom energijom. Godine 2007. SAD su na proizvodnju etanola potrošile 23 posto proizvedenog kukuruza, a Brazil 54 posto od roda šećerne trske. Iako korišćenje bioenergije raste, njen udio u opštoj energetskoj produkciji je skoro beznačajan. Glavni problem je što ova proizvodnja zahteva velike količine vode i odobrenje za korišćenje žitarica za ovu svrhu. Da bi se proizveo jedan litar etanola potrebno je od 1.000 do 4.000 litara vode.

Istovremeno rastu i potrebe za električnom energijom, a time, opet, za vodom. Očekuje se da će do 2030. godine potrebe za ovom energijom porasti za 55 posto. Samo u Kini i Indiji rast je 45 posto. Ovo znači velike ekološke probleme i potrebe da se veće grupe ljudi presele, što ima

raznovrsne posledice.

Naučnici su saglasni da će globalno otopljavanje dovesti do isparavanja mnogih voda, ali još nije jasno kakve će to posledice ostaviti po vodne resurse u celini. To celoj priči daje kako političku, tako i ekonomsku i socijalnu notu. Naime, prema trenutnoj računici Ujedinjenih nacija ulaganje u vodu donosi veliku dobit. Na jedan dolar uloga dobija se od tri do 34 dolara dobiti, a one države koje izostave iz svojih planova takve investicije mogu umanjiti bruto društveni proizvod za 10 posto.

Drugim rečima, suština problema je u tome što će se rastuće stanovništvo u vrlo bliskoj budućnosti suočiti sa nedostatkom čiste pitke vode, a onaj ko bude imao kontrolu (monopol) nad vodnim resursom vladaće svetom. Međutim, ostaje otvoreno pitanje kako se mogu usaglasiti privatizacija vodnih resursa i pravo čovečanstva na pitku vodu, proglašeno od strane Generalne skupštine UN?

Prognoza demografskog razvoja Srbije od 2010. do 2020. godine ukazuje da će dolaziti do značajnih promena, kako u veličini tako i strukturi naselja. Za većinu lokalnih centara biće karakterističan znatan porast broja stanovnika. U svim naseljima predviđeno je povećanje potrošnje prirodnih resursa, kao i veća potrošnja vode u domaćinstvima, pa samim tim i porast količina otpadnih voda. Međutim, ne bi trebalo očekivati porast specifičnog organskog opterećenja. Jedno je sigurno: mora se prihvatići činjenica da je dovođenje kvaliteta površinskih voda na željeni nivo i zaštita podzemnih izvora u Republici Srbiji, jedan od osnovnih uslova razvoja kvaliteta životnog standarda stanovništva. Program mera zaštite voda, za sva naselja veća od 5.000 ES, pored ostalih aktivnosti, moraju da do 2021.godine izgrade adekvatna postrojenja za precišćavanje otpadnih voda, uključujući opštinske i regionalne centre. Sprovedena ispitivanja i razvoj sistema za praćenje kvaliteta voda akumulacija u periodu 2010.-2014. se potpuno uklapaju u pomenutu koncepciju.

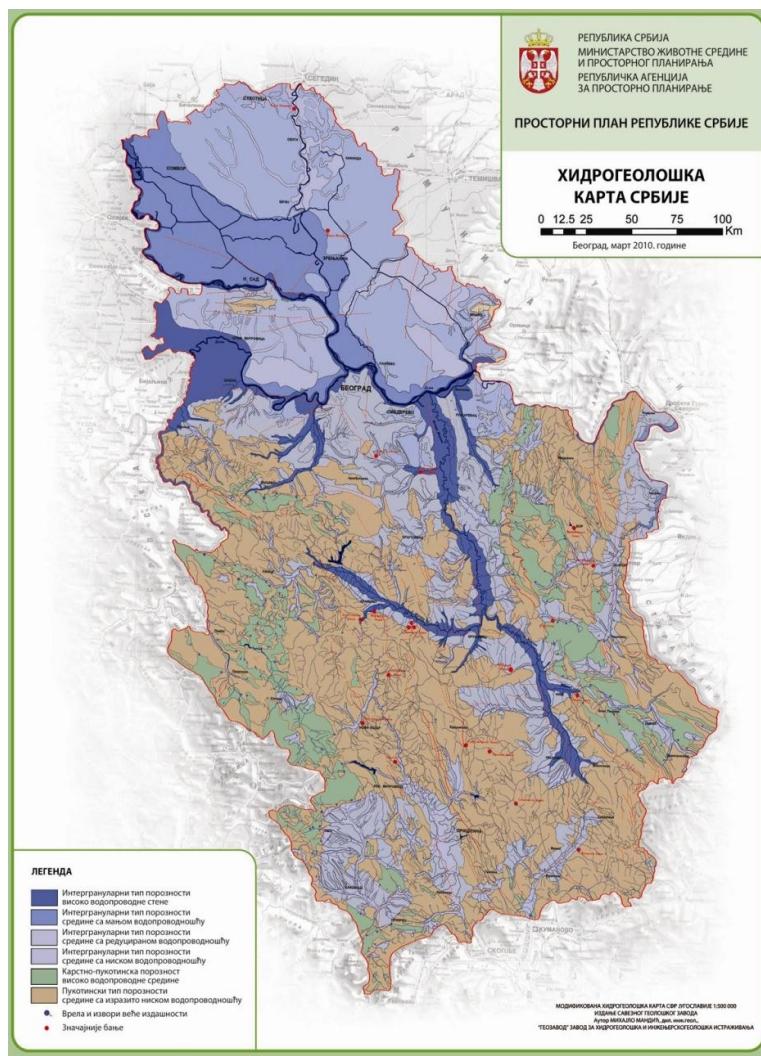
Monitoring površinskih voda, predstavlja veoma bitan faktor u kontroli kvaliteta voda, a samim tim i zdravlja živih bića. Kvalitet površinskih voda u velikoj meri određen je prirodnim i antropogenim procesima. Dobijeni rezultati monitoringa površinskih voda, zbog prostornih i vremenskih varijacija kvaliteta, su suviše obimni za njihovo pojedinačno tumačenje. Primenom multivarijalne statističke analize može se postići znatna redukcija obimnosti raspoloživih podataka i omoguciti interpretaciju dobijenih rezultata o kvalitetu i ekološkom statusu/potencijalu voda. Ove tehnike omogućavaju interpretaciju rezultata monitoring programa kvaliteta površinskih vodnih tela i istovremenu identifikaciju uticaja registrovanih i potencijalnih izvora zagađivanja na kvalitet datih vodnih tela.

U toku godišnjeg hidrološkog ciklusa, kvalitet površinskih voda zavisi od atmosferskih padavina, nanosa, odnosno erozije tla u slivu, naseljenosti i razvoja industrije u slivnom području. Pored toga, izmena temperature u toku godišnjih doba, kao i mešanje različitih vrsta voda takođe su činiovi koji utiču na promenu hemijskog sastava površinskih voda. Da bi bio postignut zadovoljavajući kvalitet površinskih voda, neophodan je monitoring koji je izrazito bitan segment u upravljanju vodama. Monitoring programi površinskih voda uključuju analize vode, sedimenta i biote [2]. Krajnja informacija koja se dobija monitoringom površinskih voda ključna je za donošenje odluka u upravljanju vodama i zahteva odgovarajući način obrade podataka dobijenih merenjima u toku samog monitoringa.

Kada su u pitanju monitoring programi koji se sprovode na godišnjem nivou, za obradu tako velikog skupa podataka najčešće se koriste statističke metode. Jedne od tih metoda su multivarijalne statističke metode, kao što su faktor analiza, klaster analiza i analiza glavnih komponenti. Ove metode omogućavaju redukciju velikog broj podataka monitoringa i markiraju merne stanice sličnog kvaliteta, kao i problematične pokazatelje kvaliteta.

Analiza uticaja eksploatacije i korišćenja vodnih resursa na životnu sredinu je vrlo složena i obuhvata sve sektore koji koriste vodu i sve segmente životne sredine, kao i njihove međusobne uticaje koji mogu biti: posredni i direktni, privremeni i trajni. Jednostavnije rečeno, ispitivanje svih aspekata kvaliteta konkretnog vodnog tela, svodi se na proučavanje ponašanja biodiverziteta na izabranoj lokaciji.

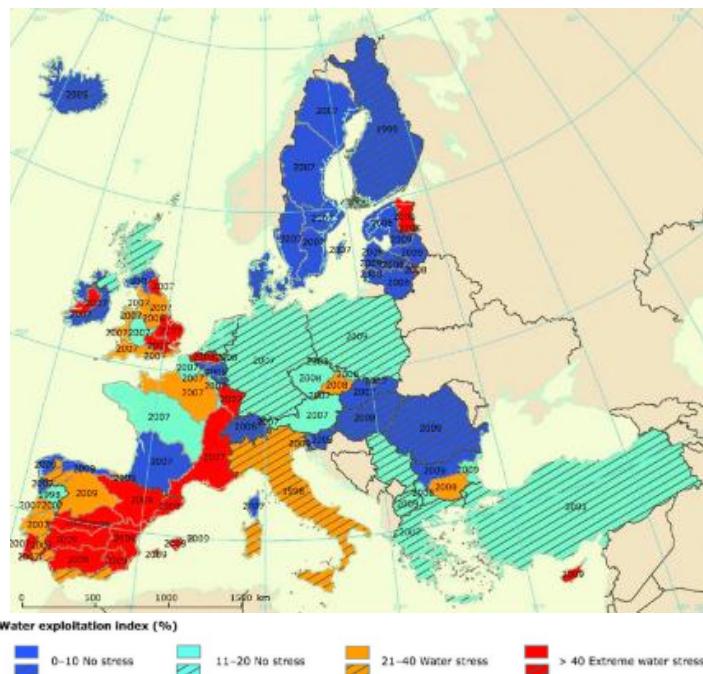
Postojeći podaci iz studija različitog nivoa za Srbiju ukazuju da raspoloživost vodnih resursa i potrebe nisu vremenski i prostorno usklađeni, pri čemu potrebe rastu, a postojeći kvalitet vode, nažalost, ne zadovoljava. Zato je sa aspekta potencijalnog zagađenja, najvažnije determinisati pritiske na vodna tela, jer su to direktne posledice pokretačkih sila.



Slika 1. Raspored vodenih bazena u Srbiji

Odnos ukupne godišnje količine zahvaćenih vodnih resursa i obnovljivih vodnih resursa predstavlja indikator pritiska na održivo korišćenje obnovljivih vodnih resursa i naziva se **indeks eksploatacije vode (Water Exploatation Index, WEI)**.

WEI svojom vrednošću ukazuje da mogu nastupiti ozbiljni problemi (*vodni stres*) ako indeks prelazi 20 %, a smatra se da je granica iznad 40 % zona sa ekstremnim vodnim stresom. Evropske agencije za životnu sredinu prikazuju raspodelu WEI za zemlje članice, Slika 1, pri čemu se vizuelno dobija slika *korišćenja* ovog obnovljivog prirodnog resursa.



**Slika 2.** Indeks eksploatacije vode - Water Exploatation Index (WEI) za zemlje članice Evropske Unije

Na evropskoj karti „*vodnog stresa*” Srbija je predstavljena u „bezbednoj zoni” sa vrednošću WEI na nacionalnom nivou (*šrafurom*) između 11-20 %. Pojedine evropske zemlje WEI indikator izračunale su i na nivou manjih vodnih područja (*bezšrafure-River Basin District*) što jasno pokazuje kako na nacionalnom nivou postoje i oblasti sa izraženim „*vodnim stresom*”, kao na primeru u Velikoj Britaniji, Irskoj, Francuskoj, Španiji i Portugaliji (slika 2).

Interesantna činjenica da je o vodi napisano mnogo naučnih, književnih i polemičkih radova koji su pokrili gotovo sve aspekte korišćenja vode. Bez obzira na činjenicu da je voda izvor života i uslov opstanka, niko se nije bavio jednostavnom činjenicom, da je sve to u jeziku nauke napisano sa dva slova i jednim brojem ( $H_2O$ ). Ako malo zađemo u istoriju, voda bi mogla da napiše sa svog aspekta mnogo značajnije stvari nego one o kojima se mi bavimo. To je medijum koji je omogućio nastanak života. Voda je medijum u kome je uklonjen elemenat koji je sprečavao nastanak života ( $Cl_2$ -hlor). Vodu koristimo u svim mogućim tehnološkim procesima i gde god je to moguće.

Savremena istraživanja voda analiziraju antropogeni negativan odnos prema vodi poznat pod

nazivom zagađenje. Zagađenje kao termin, bez obzira na šta se odnosi i gde se dešava, uslovilo je sada već evidentnu globalnu promenu koja se definiše kao promena klime. Upravo ta promena najviše utiče na vodu bez obzira gde se nalazi. Za nas je najvažnije da su već ugrožene rezerve pijaće vode. Ne treba olako shvatiti predviđanja da će do 2025. godine veliki deo čovečanstva imati problem sa ozbiljnim nedostatkom pijaće vode.

Razvoj civilizacije uslovio je sve veće korišćenje vodenih resursa, ali i njihovo sve veće zagađivanje preko ispuštanja neprečišćenih ili nedovoljno prečišćenih otpadnih voda nastalih u industrijskim proizvodnim procesima, kao i gradskih otpadnih voda. Zagađenje voda predstavlja svaka fizička, hemijska ili biološka promena u kvalitetu vode koja ima negativan uticaj na organizme koji tu vodu konzumiraju ili žive u njoj.

Ako posmatramo na globalnom planu položaj Srbije, ona se nalazi u gornjem delu država rangiranih po količini raspoloživih vodnih resursa (47 mesto od 180 država). Sa Evropskog aspekta spadamo među vodeće zemlje po izvorima mineralne vode. Međutim, iskorišćenost vodnih resursa je minimalna. Većina domaćinstava koristi bunarsku vodu i lokalne izvore koji nisu kontrolisani. Prema podacima Zavoda za statistiku, od analiziranog broja vodovodnih sistema u Srbiji (155) samo je 48 % ispravno. Pored problema vodovoda evidentno je i povećano zagađenje površinskih i podzemnih voda. Isto tako, poznata je činjenica da Srbija ne koristi veliki potencijal podzemnih voda.

Zagađenja voda se analiziraju sa različitih gledišta, ali dovoljna pažnja nije data sinergiji zagađenja vodnih sistema sa deponija. Ono što je značajno i što treba napomenuti je da osnova analize nekog vodnog tela treba da bude interakcija između kapaciteta samoodrživosti vodosistema i potencijalnog zagađivača. Postavljanje zakonskih okvira kvaliteta vode je potreban, ali ne i dovoljan uslov za očuvanje kvaliteta vode. Neophodno je imati i razvijen i primenljiv sistem monitoringa i upravljanja vodnim resursima. Činjenica je da je Okvirna direktiva o zaštiti voda (ODV) Evropske unije integrisala pravilnike, modele monitoringa i upravljanje vodnih resursa u jednu celinu (EU WFD, 2000).

Ako sistematizujemo načine zagađivanja voda oni mogu biti: prirodni, hemijski, biološki i fizički. Prirodno zagađivanje voda, u izvornom smislu, predstavljaju prirodne katastrofe. Interesantno je napomenuti da se vodni sistemi u odgovarajućem vremenskom intervalu „oporave“ od takvih katastrofa, odnosno zagađenja.

Noviji aspekti prirodnog zagađivanja vode uključuju antropogeno delovanje, odnosno, zagađenje otpadnim vodama urbanih sredina, zagađenje izazvano korišćenjem veštačkih đubriva i pesticida u poljoprivredi, kao i zagađenje izazvano otpadnim vodama iz industrijskih procesa. Uticaj pomenutih antropogenih delatnosti vidi se na svim prirodnim vodama, od atmosferskih, tekućih, do mora i jezera.

Hemijsko zagađivanje voda može biti neorgansko i organsko. Osnovni neorganski zagađujući materijali su: rastvorljive soli iz razgradenih stena i kiseli ostaci (najčešće iz metalurgije ili usled kiselih kiša). Osnovni izvori organskog zagađivanja su otpadne materije iz ljudskih naselja, industrije, koncentracija minerala, metalurgije, poljoprivrede i stočarstva. Industrijske otpadne vode sadrže razne hemijske toksične supstance. Njegove količine i vrste zavise od niza faktora, pre svega, od prirode industrijskih procesa.

Biološko zagađivanje voda podrazumeva prisustvo raznih patogenih organizama (bakterija, virusa, gljiva, glista), koji predstavljaju uzročnike ili prenosioce mnogih zaraznih bolesti, ali istovremeno su to i „čistači prirode“. Većina ovih organizama, iz raznih otpadnih voda, dospievaju u vodu za piće ili u vodu koja se koristi u domaćinstvu. Ovi organizmi, u povoljnijim

условима и у довољном броју, могу узроковати веома опасне епидемије.

Физичко загадњавање вода односи се на промене основних физичких својстава (температура, проводност, радиоактивност) која могу бити најштетнији за живот вodenih организама и за човека који ih користи u свакодневном животу. Oblici физичког загадњавања вода су термална, а naročito радиоактивна загадњавања. Велике количине загадјујућих отпадних вода снаžно утичу на temperaturni režim vodenih tokova i akumulaciju, povećavaju njihovu temperaturu i za desetak stepeni (izlivi iz termoelektrana, nuklearnih centrala, жељезара).

U prethodnom tekstu su razmatrani opšti pogledi na загадњавања вода i vodnih tela, koji u poslednje vreme представљају највећи број анализа u области заштите животне средине. Suština takvih analiza je u jasno definisanju vodnog tela i ekosistema koji se analizira (ispituje) u cilju definisanja нивоа и начина загадњавања. Sva ta istraživanja имају за циљ да поставе могући i održivi scenario за побољшање квалитета вода i sprečавање загадњавања, a što se u savremenoj istraživačkoj terminologiji назива modelovanje издрžljivosti ekosistema.

Ciljevi su neminovno uslovljavali i analizu метода i методологија које se mogu efikasno koristiti za dostizanje predloženih ciljeva. Методе које су izabrane i korišćenje за analizu izmerenih parametara kvaliteta воде базирane су, pre svega, на sofisticiranim statističkim analizama i procenama. Njihovi rezultati su bili osnov за postavljanje sceneria korišćenih u višekriterijumsкоj analizi. Prednosti korišćenja ovako definisane kombinacije метода ogledaju se u новом начину postavljanja структура problema, која je базирана на количини података које je trebalo obraditi, kao i omogućivanju kvantifikovanja i određenih kvalitativnih величин.

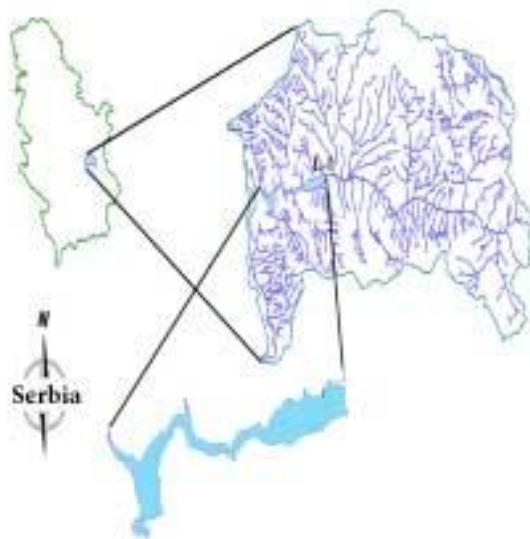
Zагадњавања sa različitih izvora i sa različitih lokacija usled antropogenih aktivnosti su потенцијални uzrok velikih varijabilnosti kvaliteta животне средине na испитиваном ekosistemu, što je sa svoje strane заhtevalo dobru kvantitativnu procenu i sofisticirano tumačenje dobijenih rezultata. To je i основни razlog за generisanje tzv. stabla загадњавача. Sa gledišta uticaja na realizaciju ekološki održivog i prihvatljivog kvaliteta животне средине vodnog sistema Bovan, upravo korelisanje kvaliteta воде i загадњавача definisanih pomenutim stablom, представљају основ за postavljanje система очuvanje i unapređenje kvalитета воде.

Doprinos urađenih analiza i dobijenih rezultata može se posmatrati sa dva spekta. Prvi koji je чисто научни i методолошки je definisanje skupa procedura za analizu постојећих података rasporedjenih u prostorno vremenskim dimenzijama na konkretnom sistemu. Polazna osnova planiranja metodologije analiza je činjenica da su u analizama korišćeni specifični ulazni параметри, koji su bili raspoređeni i prostorno i vremenski (pet mernih stanica u periodu od шест godina).

Na osnovу indeksnih вредности rezultata класификације kvalитета воде, sada je могуће предлозити i konkretizovati procedure заштите ovog vodnog resursa. Time, dat doprinos општоj kategorizaciji kvaliteta rečnih vodnih sistema Srbije. Применом višekriterijumske analize, ocenjen je kvalitet воде i definisana realna ekološka situacija. Урадена istraživanja имају praktични значај, jer precizna valorizacija kvaliteta воде, daje odgovor на ključно ekološko pitanje procene stanja животне средине.

## 1. LOKALITET

Bovansko jezero je veštačka akumulacija, nastala pregrađivanjem reke Moravice. Udaljeno je oko 10 km od Sokobanje. Postoji nekoliko uređenih plaža i na sokobanjskoj i aleksinačkoj strani. Dugacko je oko 8 km, a najveća dubina je kod brane i iznosi oko 50 m. Broj ribljih vrsta je izuzetno veliki počev od plemenitih vrsta : som, smuđ, šaran, pa zatim amur, tolstolobik, klen, grgeč (bandar), linjak, mnoštvo bele ribe: srebrni karaš (babuška), deverika, bodorka (žutoooka), beovica. Na njemu je razvijen kupališni, ribolovni i izletnički turizam, a na plažama u blizini sela Bovan mogu se iznajmiti pedaline i čamci za pravo uživanje na vodi. Od nedavno se na jezeru održavaju i jedriličarske regate uglavnom u prolećnim i jesenjim mesecima. Vodni resurs područja čine podzemne i površinske vode (deo sliva reke Moravice) i akumulacija "Bovan". Prostor akumulacije "Bovan" pripada srednjem toku Moravice. Akumulacija do kote preliva 258,50 m.n.v., prima devet desnih i pet levih direktnih pritoka i padina. Sliv akumulacije "Bovan" prostire se na površini od 547 km<sup>2</sup>. Površina užeg slivnog područja akumulacije, od brane pa do vrha akumulacije, iznosi 88,10 km<sup>2</sup>. Akumulacija "Bovan" je formirana izgradnjom nasute brane. Bruto zapremina akumulacije, na koti maksimalnog uspora od 261,50 m.n.v. iznosi  $58,75 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, a dužina jezera 8 km.

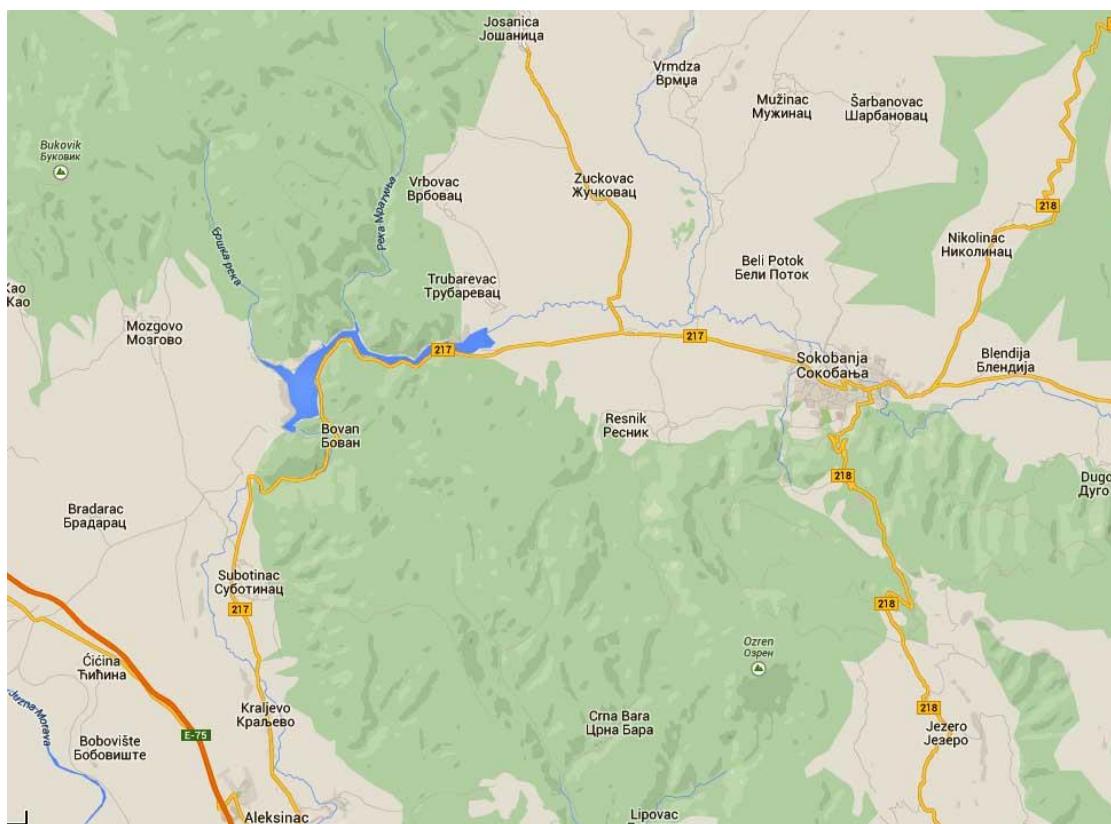


Slika 1.1. Položaj akumulacije Bovan

Na planskom području zemljište je različite geološke građe i osobina. Levu stranu gornjeg toka sliva Moravice karakterišu slojevi koji su jako ispucali i veoma vodopropusni. Površinski delovi su bezvodni. Desnu stranu gornjeg toka karakteriše poroznost i vodopropustljivost. Doline karakteriše vodopropustljivost. Srednji i donji tok čine ispucali i vodonepropusni slojevi, zbog čega je površinsko raspadanje znatno i duboko. Skloni su klizenju i intenzivnoj eroziji. U ovoj zoni izgrađena je brana "Bovan".

Izrazita je potreba za zaštitom od erozije i bujica: najbrojniji su vodotokovi III kategorije razornosti sa osrednjom jačinom erozionih procesa - 35 pritoka, zatim II kategorije sa jakom erozijom - 18 pritoka, a samo jedna pritoka je I kategorije sa ekscesivnom erozijom.

Prvobitna uloga akumulacionog prostora bila je namenjena smanjenju poplavnog talasa, sprečavanju pronosa i produkcije nanosa, navodnjavanju polja nizvodno od brane i energetici. Akumulacija je naknadno proglašena izvorištem drugog ranga, namenjenim za vodosnabdevanje Aleksinca, naselja u opštini Aleksinac, Ražnja i naselja u opštini Ražanj, Sokobanje i naselja u opštini Sokobanja. Vodni sistem je dimenzionisan da obezbedi potrebne količine vode i za još sedam naselja u opštini Aleksinac, četiri u opštini Ražanj, dva u opštini Paraćin i jedno naselje u opštini Kruševac. Osim vodosnabdevanja, akumulacija "Bovan" se trenutno koristi i za ublažavanje poplavnog talasa, oplemenjivanje malih voda, zadržavanje nanosa, navodnjavanje i energetiku.



Прилоги

Zaštitni, antierozijski radovi izvedeni su u toku izgradnje brane "Bovan" na užem slivnom

području akumulacije do kote uspora, na reci Mratinji i na Brškoj reci i delimično iznad kote uspora, na ostalom delu sliva Moravice. Bujičarsko-građevinski radovi izvedeni su jedino na užem gravitacionom području akumulacije, u koritima reke Mratinje i Brške reke. Najznačajnije 54 bujične pritoke iznad kote uspora proizvode i usled velike energije reljefa i regresivne erozije rečnih korita ubrzano transportuju najveće količine nanosa, što je prikazano u tabeli:

|               | Broj pritoka i padina | Površina sliva F/km <sup>2</sup> | Godišnja proizvodnja nanosa NJgod/m <sup>3</sup> | Količina nanosa koja dospeva na profil brane Ggod/m <sup>3</sup> |
|---------------|-----------------------|----------------------------------|--|--|
| <b>Ukupno</b> | <b>54</b>             | <b>545,6</b>                     | <b>945590</b>                                    | <b>528070</b>  |

Ribolov se odvija neplanski, bez kontrole i organizacije stručnih službi. Ocena stanja akumulacije je: latentna ugroženost kvaliteta voda za piće nekontrolisanim upuštanjem otpadnih voda, i ugrožavanje drugih osobina voda i korisne zapremine jezera znatnom količinom deponovanog nanosa, koji se sukcesivno uvećava.



**Slik1.3** Suton na rezervoaru Bovan

U kontekstu zaštite životne sredine (a na osnovu: Srednjoročnog plana unapređenja ribarstva za period 2003.-2007. godine, posebne šumsko-privredne osnove, Lovne osnove, Uredbe o stavljanju pod kontrolu korišćenja divlje flore i faune i Konkursa za kontigente divljih biljnih i životinjskih vrsta koje se mogu sakupljati u tekućoj godini, kao i nalaza Rudarsko-geološkog fakulteta o zalihamama rudnika Soko), ocenjuje se da je korišćenje raspoloživih prirodnih resursa u granicama održivosti. Način dosadašnjeg korišćenja resursa je rizičan kad su u pitanju vode (antropogeni faktor -zagađivanje i prirodni - povremeno presušivanje). Stvoreni resursi (infrastruktura i suprastruktura) služe održavanju akumulacije i razvoju turizma. Tehnički infrastrukturni sistemi su kompletirani samo kod Soko banje. Infrastrukturne mreže ostalih naselja nisu zadovoljavajućeg kvaliteta ni kapaciteta. Najakutniji problem je nepostojanje

канализације. Негативне утицаје на животну средину имају неадекватно изабране и санитарно неопремљене локације за комуналне намене (несанитарна депонија комуналног отпада Соко баве у близини Моравице – деградирено подручје антропогеног порекла, и нека сеоска гробља). Оцена стања створених ресурса је да прећко нису а морају бити усаглашавани са потребама очувања животне средине по обиму, квалитету или начину коришћења. Проглашењем и уписом у регистар, заштићена су следећа природна добра:

- Клисура реке Моравице (око 180 ha) - природно добро од великог значаја II категорије (Уредба о заштити предела изузетних одлика "Лептерија – Соко град", 1969. године: предео изузетних одлика и изванредне пејзажне разноликости са атрактивним геоморфолошким обличима и појавама, богатом и разноврсном флором и фауном и средњевековним утврђењем Соко град које је културно добро од великог значаја).
- Водопад Велика Рипалјка на реци Градашници у Соко бани и водопад Мала Рипалјка, неколико стотина метара узводно од Велике Рипалјке (Решење Завода за заштиту и научно прoučavanje природних реткости НР Србије, број 224/49 од априла 1949. године: заштита геоморфолошких, хидролошких и укупних амбијенталних вредности).
- Део природног подручја планине Озрен (око 828 ha) на месту званом "Озренске ливаде" КО Соко бана - предео нарочите природне лепоте (Решење о стављању под заштиту државе, Секретаријата управе Скупштине општине Соко бана из 1973. године а по предлогу Републиčког завода за заштиту природе из Београда: заштита ливада и шума, видиковача, пеćина, понора и врела).

Van подручја просторног плана, ali neposredno uz granicu (pa stoga od uticaja), rezervat "Rtanj" (15 ha) - prostor sa režimom strogog rezervata u kome se ne može vršiti nikakvo iskorišćavanje šume niti ma kojih drugih prirodnih izvora, a stavljena je pod zaštitu države mešovita sastojina jele i bukve sa nešto gorskog javora mleča (Решење Завода за заштиту природе и научно прoučavanje природних реткости НР Србије, број 01-468 од 16. Septembra 1959. године).

Zaštićena dobra se ocenjuju очуваним, osim водопада који у суšним периодима остaju без воде а тада се njihov простор неадекватно користи. На подручју "Озренске ливаде" су монтажни викенд објекти и приколице, чије су привремене дозволе истекле.

Planirano je da akumulacija Bovan буде вишенаменска и да задовољи:

- snabdevanje električnom energijom,
- vodosnabdevanje,
- zaštita od poplava,
- zadržavanje nanosa i
- opremanjivanje malih voda.

Danas se nameće prioritet vodosnabdevanja i u tom smislu se razmatra квалитет воде који мора да задовољи високе критеријуме воде за пиће. Задовољење високих критеријума се може, на економски оправдан начин, постићи само уз добру познавање осnovних процесаeutrofikacije

koji su karakteristični za jezerske sisteme i pravilnim upravljanjem akumulacijom. Upravljanje između ostalog podrazumeva sprovođenje neophodnih mera zaštite i adekvatan monitoring, sve u cilju očuvanja dobrog kvaliteta vode u akumulaciji.

### 3. UZORKOVANJE

Uzorkovanje je ključni, i često površno obraden deo metodologije praćenja kvaliteta bilo kog sistema, uključujući i vodni. Šta je cilj uzorkovanja? Dobijanje reprezentativnog uzorka koji će imati svojstva celog sistema. Na osnovu toga postaviti model ponašanja ispitivanog sistema i objasniti detektovane i postojeće anomalije, nedoslednosti u funkcionisanju samog sistema. Problem je definisanje reprezentativnog uzorka za neki sistem. Evaluacija kvaliteta vode je važna u pružanju pouzdanog snabdevanja vodom za piće. Empirijski dokazi pokazuju da parametri kvaliteta vode, kao što su rastvoren kiseonik (DO),  $\text{NH}_3$ , N, ukupan fosfor (TP), i ukupni azot (TN), predstavljaju osetljive pokazatelje zagađivađenja vodnih tela. Promene parametara kvaliteta vode, koje potencijalno ukazuju na kontaminaciju, mogu da se detektuju i kvantifikuju korišćenjem različitih senzora. Mreže senzora danas se uveliko primenjuju za monitoring i evaluaciju kvaliteta vode. Multisenzorska fuzija podataka je tehnologija koja omogućava kombinovanje podataka iz nekoliko izvora u cilju formiranja jedinstvene slike o statusu vodnog tela. To je važno sredstvo za poboljšanje performansi sistema monitoringa vodnih sistema. Podaci sa multi-senzor sistema kombinuju podatke koji omogućavaju efikasnije i preciznije zaključke nego podaci sa mono-senzora. Glavni problem je što podaci dobijeni senzorima imaju različiti stepen neizvesnosti, tačnosti. To nastaje iz više razloga. Povećanje mjerne nesigurnosti se povećava sa starošću senzora. Kvalitet bežične veze je još jedan ograničavajući faktor. Osim toga, merna neizvesnost može dovesti do suprotstavljenih zaključaka. Pošto podaci dobijeni senzorima su inherentno nepotpuni, neizvesni, i neprecizni, imperativ je da metodologija mora biti koncipirana tako da minimizira takvu nesigurnost. Osnovna strategija proističe iz prepostavke: ako su prethodne verovatnoće unapred određene, onda se posteriori verovatnoće mogu procenjivati.

Tradicionalno kontrola kvaliteta vode se obavlja putem uzorkovanja, transporta i analiza u laboratoriji. Metodologija sadrži neke prednosti, ali takođe pokazuje i niz nedostataka. Osnovni je dug vremenski interval zmeđu uzimanja uzorka i analize. Podaci se prikupljaju samo na malom broju fiksnih lokacija uzorkovanja. Postoji potreba za razvojem kompaktnog multiparametrijskog fleksibilnog i integrisanog sistema sposobnog za veću frekvenciju merenja parametara kvaliteta vode u cilju kontrole kvaliteta. Takvi sistemi obično mere i prate in situ sledeće parametre: pH, temperaturu, rastvoren kiseonik, provodljivost i zamućenost.

Pasivni uzorkivači su se pojavili 1990. godine i odmah našli široku upotrebu u SAD. Ipak marginalno su se koristili u Evropi. Glavni argument za korišćenje pasivnih uzorkivača je neprekidno uzorkovanje u definisanom vremenu, a ne diskontinualno.

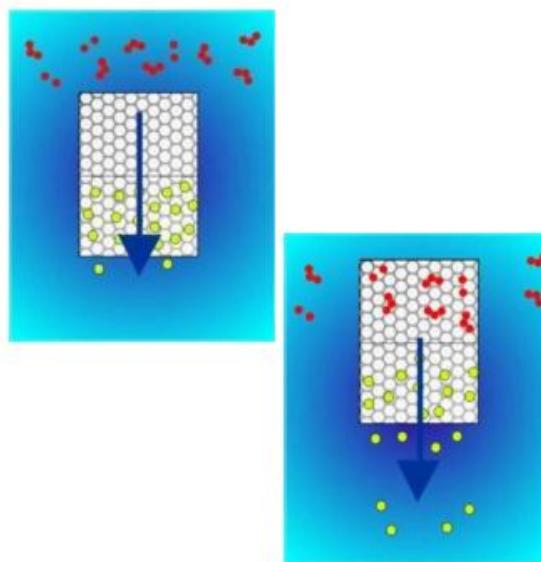
Uzorak vode se dobija korišćenjem gradijenta pritiska u sondi i koji omogućava protok kroz uzorkivač. Čvrsta faza, polimer, apsorbuje jedinjenja čiji se udeo određuje. Postojeći tracer je

jedinjenje, koje se degradira proporcionalno protekloj količini vode. Analiza sakupljenih uzoraka vrši se u laboratoriji, korišćenjem metodologija baziranim na gasnoj, tečnoj masenoj ili tankoslojnoj masenoj hromatografiji (GC-MS, LCMS, itd). Koncentracija uzorkovanog jedinjenja C izvedena je iz:

$$C = M * K_s / (M_0 \cdot m_t)$$

Zagađenje površinskih voda i podzemnih voda je ozbiljan problem u područjima sa intenzivnim korišćenjem zemljišta u blizini vodnih tela. Kreatori politike Evropske unije i na drugim mestima u svetu imaju za cilj poboljšanje kvaliteta vode. Za procenu akcionalnih programa i pilot studije, kao i za praćenje kvaliteta podzemnih i površinskih voda ulaze se velika sredstva. Međutim, tumačenje podataka uzorkovanja monitoringa je često problematično. Tradicionalno uzorkovanje obezbeđuje "snimke" stanja kvaliteta vode u trenucima uzorkovanja, a frekvencije uzorkovanja uglavnom nisu dovoljne da detektuju dinamičko ponašanje vodnog tela. To dovodi do velikih neizvesnosti u procenama opterećenja vodnih tela. Mnogo metoda je razvijeno za poboljšanje metoda za procenu opterećenja korišćenjem tradicionalnog uzorkovanja. Međutim, nijedna od metoda nije bitno poboljšala kvalitet analiza i procena koje se ispostavilo da uglavnom zavise od frekvencija uzorkovanja.

Povećanje frekvencije uzorkovanja i laboratorijske analize u regionalnim programima za monitoring je izuzetno kompleksno i skupo. Jedna od opcija za povećanje frekvencije merenja je upotreba automatskih sistema. Nedostatak korišćenja ovih uzorkivača je skupo održavanje, i postavljanje na mestima uzorkovanja koja traže posebnu pripremu (napajanje, mehaničku zaštitu). Pasivno uzorkovanje se generalno smatra kao obećavajuća tehnika za praćenje kvaliteta vode. Postojeće pasivne tehnike uzorkovanja su zasnovane na ravnoteži i kinetičkoj difuziji. Osnovni nedostatak pasivnih uzorkivača je njihova smanjena efikasnost pod dinamičnim hidrološkim, i biohemiskim uslovima.



Slika3.1. Princip rada pasivnih senzora

Pored toga, kinetički pasivni sempleri zahtevaju kontinuiran dotok vode. Nova pasivna tehnika uzorkovanja meri prosečnu koncentraciju različitih supstanci, tokom dužeg vremenskog perioda (dani-meseci). Sa različitim montažnim sistemima, uzorkivači se mogu primeniti za uzorkovanje u bunarima podzemnim vodama, kanalima za odvodnjavanje i ili stajaćim površinskim vodama. Iako su pasivni uzorkivači detaljno testirani i optimizovani u laboratorijskim uslovima, nedostaju testiranja u praksi. Neophodno je proveriti primenljivost pasivnih uzorkivača za praćenje kvaliteta vode. Ovo je prvo različitih metoda uzorkovanja koje se primenjuju u praksi. Ciljevi ove studije su da se testiraju i optimizuju pasivni senzori na vodnim telima; (2) Poređenje efikasnosti merenja sa klasičnim uzorkovanjem i kontinualnim uzorkovanjima; i (3) Procena primenljivosti pasivnih uzorkivača kao alternative primene monitoring programima određivanja kvaliteta vode.

## TRADICIONALNO, KLASIČNO UZORKOVANJE

Najčešće korišćena metoda za analizu parametara životne sredine, u zemljištu, sedimentu ili vodi, je diskretno kratkotrajno uzorkovanje. Ovaj režim uzorkovanja je još uvek u širokoj upotrebi i neće biti zamenjen još dugi niz godina.

Frekvencija uzorkovanja teži ka mesečnom, dvonedeljnou ili ponekad nedeljnou nivou. Tehnika nema ograničenja za proces uzorkovanja. Takođe, u nauci široko je priznato da tradicionalno uzorkovanje prikazuje samo "pucanj" od preovlađujućih ekoloških uslova u trenutku uzimanja uzoraka. Ovo je posebno problematično prilikom praćenja dinamične komponenete vodnog tela, gde se nivoi hranljivih materija mogu promeniti u veoma kratkom vremenskom periodu.

Po svojoj prirodi, tradicionalno uzorkovanje u rekama je grubo i vremenski diskretno. To je neefikasna metodologija u praćenju dinamike hranljivih transfera tokom visokog i niskog protoka, i teško je precizno proceniti opterećenja i prosečne koncentracije iz podataka prikupljenih pomoću ove metodologije. U nastojanju da se poboljša rezolucija ove metodologije uzorkovanja, neophodno je da se poveća frekvencija uzorkovanja.

Međutim, ovo nije uvek moguće u mnogim monitoring režimima zbog povećanja troškova povećanog broja laboratorijskih analiza. Implicitna pretpostavka da je zbog male pokrivenosti događaja, mnogo vremena potrebno da se omogući procena transfer obrazaca materija u vodnom sistemu.



**Slika 3.2.** Klasično uzorkovanje vode

## AUTOMATSKO UZORKOVANJE

Neophodnost povećanja učestalosti uzorkovanja i poboljšanje rezolucije podataka dovelo je do razvoja portabl automatskih uzorkivača. Automatski sempleri se koriste u slatkovodnim sistemima za prikupljanje kompozitnih i vreme-integrисаниh uzoraka. Kompozitno uzorkovanje se sastoji od integrisanja nekoliko tradicionalnih uzoraka uzetih u relativno kratkom vremenu poznatog perioda uzorkovanja.

Kompozitni uzorci stoga imaju za cilj da definišu srednje koncentracije za ceo period uzorkovanja, zbog kumulativne prirode tehnike. U kombinaciji sa adekvatnim kontrolnim sistemom uzorci se mogu uzimati proporcionalno protoku, čime tako dobijeni uzorci mogu da se koriste za određivanje fluksa zagađujućih materija.

Automatski uzorkivači su dizajnirani za uzimanje većeg broja uzoraka vode, uz prethodno

definisani vremenski period ili režim uzorkovanja. Broj i obim uzoraka koji se prikupljaju zavise od veličine korišćenih automatskih uzorkivača kao i broja mesta uzorkovanja. Učestalost uzimanja uzorka može biti unapred programirana.



**Slika3.3.** Automatski uzorkivači

Vremenski-proporcionalna uzorkovanja vrše se na osnovu vremenski integrisanih postavki, dok sa protok-proporcionalnalo uzimanje uzorka realizuje prolaskom unapred programirane količine vode. Upotreba na licu mesta automatskih uzorkivača olakšava sakupljanje višestrukih uzoraka vode, koji može onda biti zamena za primenu tradicionalnog uzorkovanja. Međutim, postoje ograničenja pri korišćenju na više lokacija, a to je održavanje, instalacija, kapacitet, kontrolisanje i trajanje uzorkovanja.

## KONTINUIRANO UZORKOVANJE

Ograničenja tehnika uzorkovanja niske rezolucije, uslovile su veliki broj projekta i istraživačkih aktivnosti sa ciljem razvoja sistema za praćenje vodnih sistema visoke rezolucije. Utvrđeno je

da se nedovoljna procena opterećenja vodnih sistema javlja kao posledica uzorkovanja niske frekvencije i velikog vremenskog intervala između. Upotreba banke podataka pri korišćenju automatskih analizatora i dalje je pre stanje umetnosti, in situ opreme za prikupljanje kontinuiranog visoko frekventnih podataka nego standardizovan i primenljiv postupak. Kolekcija setova podataka visoke frekvencije je stoga poboljšanje trenutne procene periodičnih opterećenja. Automatski sempleri omogućavaju poboljšanje rezolucije uzorkovanja bez povećanja troškova stoga poboljšana potencijala ekološkog modelovanja i olakšanu detekciju vanrednih događaja na vodnom telu. Jedan od glavnih ograničenja korišćenja automatskih analizatora je visoka kapitalna investicije i troškovi postavljanja i održavanja takve opreme.

U svetu raste potreba za visokorezolutivnim uzimanjem uzoraka vode koja vodi ka smanjenju vremena analize i troškova, što čini ovakav način monitoringa ekonomski isplativim procesom. Upotreba pasivnih tehnologija ne samo da olakšava smanjenje terenskih i laboratorijskih aktivnosti, već i poboljšava rezoluciju uzorkovanja. Pasivni senzori su raspoređeni u situ za prethodno definisani vremenski period, a zatim se sakupljaju za analizu. Još jedna posredna korist korišćenja pasivnih uzorkivača je smanjenje broja uzoraka. Pasivno uzorkovanje se definiše kao merenje analiza tokom ponderisane funkcije vremena uzorkovanja, koji definiše prosečne koncentracije u vremenu u odnosu na trajanje uzorkovanja. To je podiglo potencijal pasivnih uzorkivača za merenje različitih zagađivača in situ, čime se eliminišu mnogi problemi vezani sa klasično ili automatsko uzorkovanje.

Tehnologija stoga pojednostavljuje proceduru za uzorkovanje i uklanja potrebu za eksternim napajanjem. Vremenski-integrисano pasivno uzorkovanje, je ostvarena korišćenjem procesa difuzije u tankom sloju. Pasivni uzorkivači, je tehnologija koja je počela da se primenjuje na vodnim sistemima krajem prošlog veka.

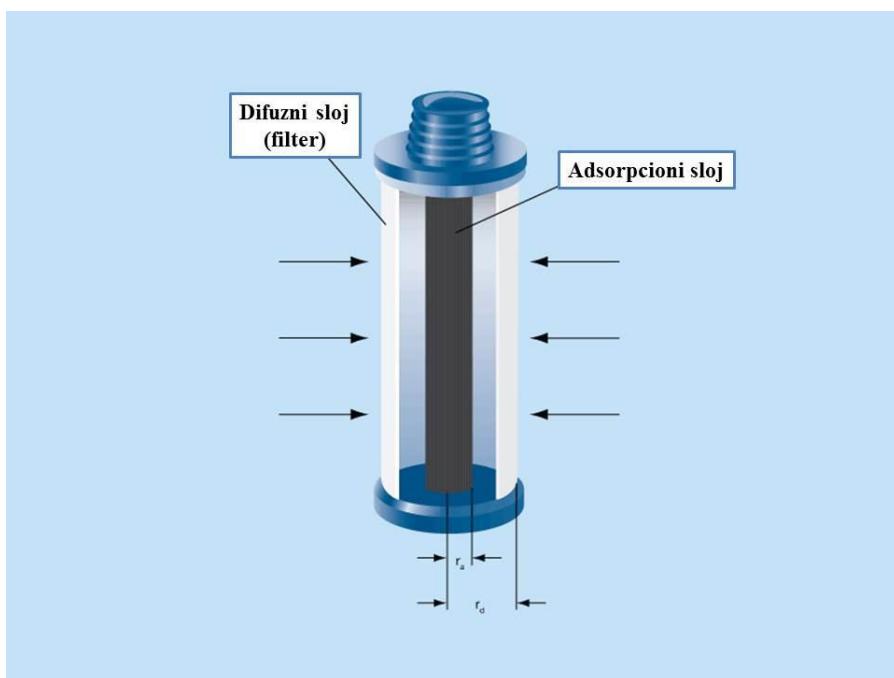
Pasivne metodologije uzorkovanja su se razvile korišćenjem procesa difuzije na tankom filmu (DGT), kao i difuzne ravnoteže u tankim-filmovima. Podaci koje tehnologija pasivnog uzorkovanja omogućava je lakše određivanje koncentracija materija u vodnom telu na mestu uzorkovanja, postavljanja senzora u vremenu uzorkovanja. Istraživanje je do sada dokumentovano korišćenjem pasivnih senzora sa gelom postavljenih u prirodnim vodama.

DGT koristi difuzni poliakrilamidni gel i sekundarni sloj impregniran bilo šelakom ili gvožđe oksidom. (Šelak je katjon-izmenjivačka smola i koristi se za apsorpciju metala). Gvožđe oksid se koristi kao vezivano sredstvo za određivanje fosfora.



**Slika 3.4.** Pasivni uzorkivači

Adsorpcija je zasnovana na teoriji transporta mase, gde rastvorene supstance prolaze kroz filter (difuzni gel), a zatim se vežu za adsorpcioni sloj (smola). Generisanje konstantnog koncentracionog gradijenta omogućuje transport rastvorenih supstanci na adsorpcioni sloj. Koncentracije apsorbovanih materija na adsorpcionom sloju je moguće odrediti korišćenjem klasičnih instrumentalnih analitičkih tehnika, kao što su za određivanje udela metala atomski adsorpcioni spektrometar (AAS) ili induktivno spojena plazma (ICP), a za ostale materije koriste se gasni i maseni hromatografi i tankoslojna hromatografija.



**Slika3.5.** Šema pasivnog uzorkivača

Da bi se efikasno kvantifikovale varijacije, pasivni senzori moraju imati konstantan nepromenljiv mehanizam hemijske adsorbanse, da bi se ostvarilo precizno određivanje opsega prisutnih materija u odnosu na protok. Materijal adsorbensa mora biti sposoban da poveća i smanjeni nivo hemijske adsorbanse u odnosu na brzine reke. Pasivni senzori, za upotrebu u rečnim sistemima, treba da budu protok-proporcionalni ili protok-integrисani. Pasivnim senzorima u u sadašnjem dizajnu nedostaju dinamične mogućnosti za povećanje ili smanjenje brzine adsorpcije ili regeneracije.

Vremenske serije se izračunavaju korišćenjem Fick-ovog prvog zakona difuzije. Upotreba različitih tipova adsorpcionih materijala omogućava merenje različitih organskih i neorganskih supstanci u vodnom telu. DET uzorkivač koristi sličnu tehnologiju kao i DGT, ali omogućava postizanje ravnoteže adsorbensa sa susednim medijumom. DET sonda takođe sadrži poliakrilamid gel koji se uravnatežava sa okolinom tokom vremena uzorkovanja.

Primena Det gel sondi za merenje fosfora (SRP) uspešno je testirana 2008. godine. Ograničenje primene i korišćenja gel tehnologije je moguća akumulacija čestica na površini filtera. Ovo se dešava kada su sonde raspoređene u sredinama sa visokim koncentracijama suspendovanih materija i čestica. Razvoj biofilmova na površini gela je takođe problematičan. Kada se koriste DGT sonde važno je da je ograničen uticaj nekvalitetnih filmova i izbegavati pristrasnost. Trenutna primena DGT i Det pasivnih uzorkivača odvijase u vodenim sistemima gde fluks zagađujućih supstanci nije zavistan od promena u protoku, kao u jezerima ili interfejsima sedimenat-voda. U takvom okruženju površina adsorbenta je konstantno izlagana okolnom sistemu. U rekama, gde protok ima visoku varijaciju, površina izloženosti adsorbenasa postaje

dinamična kategorija u odnosu na protok. Takođe, opseg fluksa nutrijenata u rekama je zavisna od vremenskih uslova i kao rezultat, nivoi prisutnih materija se mogu brzo promeniti i značajno variraju u hidrološki aktivnim sistemima.

## KONTINUALNI MONITORING PARAMETARA KVALITETA VODE

Operacije koje su uključene pri oceni kvaliteta vode su mnogobrojne i složene. One mogu da se uporede sa lancem sa više karika i neuspeh ili otkazivanje bilo koje karike u lancu može oslabiti celu procenu. Imperativ strategije praćenja kvaliteta vodnih sistema je da projektovanje tih operacija, mora imati jasne i precizne ciljeve procene kvaliteta vode. Tokom 1950-ih, u ranim danima modernih tehnika, praćenje kvaliteta vode, aktivnosti su se retko bavile posebnim i usko specijalizovanim pitanjima. Metodologije procene kvaliteta vode su danas evoluirale u niz sofisticiranih procesa i metoda monitoringa. Ekonomski ograničenja često znače da se promenljive, koje treba pratiti, kao i metode koje će se koristiti, moraju izabrati pažljivo kako bi se osiguralo efikasnije ostvarivanje postavljenih ciljevi.

Procena kvaliteta vode je interaktivni proces evaluacije fizičke, hemijske i biološke prirode vode, dok se kvalitet vode kvantifikuje praćenjem i sakupljanjem potrebnih relevantnih informacija. Kao glavni razlog za praćenje, istraživanje i nadzor kvaliteta vodnih sistema, je potreba da se proveri da li je kvalitet vodnog sistema pogodan za namenjenu upotrebu. Praćenje, odnosno, monitoring je takođe evoluirao u alat koji omogućava definisanje i kvantifikaciju trendova u kvalitetu vodenih sistema koji može da obezbedi pouzdane informacije o načinu uticaja na kvalitet oslobađanja zagađivača, i drugih antropogenih aktivnosti, što se u istraživačkoj literaturi naziva praćenje uticaja. U novije vreme monitoring se koristi za procenu flukseva nutrijenata ili zagađivača koji se ispuštaju u reke ili jezera. Monitoring se takođe koristi i za utvrđivanje kvaliteta akvatičkog okruženja, jer pruža modalitet za poređenje sa rezultatima praćenja uticaja zagađivača. Takođe se koristi za proveru da li je bilo neočekivanih promena u ispitivanom sistemu. Opšte definicije za razne vrste programa posmatranja životne sredine su bili predloženi koja takođe mogu biti modifikovani i tumačiti za vodenu sredinu i to:

| Termin                           | Definicija   |
|----------------------------------|--|
| <b>PRAĆENJE<br/>(MONITORING)</b> | Dugoročna , standardizovana merenja i posmatranja vodenog sistema u cilju definisanja statusa i trendova                           |
| <b>PREGLED</b>                   | Intenzivan program za merenje i posmatranje kvaliteta vodene sredine za određenu namenu  |
| <b>NADZOR</b>                    | Kontinualna, specifična merenja i posmatranja radi upravljanja kvalitetom i definisanja operativnih aktivnosti na vodnim sistemima |

Ove različite definicije često se ne razlikuju jedna od druge, i sve tri mogu da se nazivaju monitoring, jer uključuju prikupljanje informacija na određenim lokacijama i u definisanim

intervalima. One se ipak razlikuju u odnosu na njihovu primenu u procesu procene kvaliteta vode. Monitoring, pregled i nadzor se baziraju na prikupljanju podataka. Podaci se prikupljaju na izabranoj lokaciji određenog vodnog sistema. Mereni parametri kvaliteta se vezuju za lokacije i dubinu. Podaci su vremenske promenljive i moraju biti definisani vremenom uzorkovanja t ili frekvencijom uzorkovanja in situ. Svaka fizička, hemijska ili biološka promenljiva se meri kao koncentracija C, koja je funkcija navedenih parametara:

$C = f(x, y, z, t)$ . U rekama, određivanje fluksa i tumačenje podataka takođe zahteva poznavanje protoka vode Q pa je:  $c = f(x,y,z,t,Q)$ . Monitoring podaci moraju, da daju jasnu definiciju ovih parametara u cilju pravilnog tumačenja i procene kvaliteta vode.

Ni jedan program procene ne treba započeti bez objektivnog i kritičkog proučavanja stvarne potrebe za kvalitetnim informacijama o kvalitetu vode. Treba imati u vidu razliku između "treba da znamo" i "bilo bi lepo da znamo". Pošto vodni resursi obično imaju nekoliko kompatibilnih načina korišćenja, metodologija praćenja koja se koristi za dobijanje potrebnih informacija i treba da odražava potrebe za podacima različitih planiranih načina korišćenja vodnog sistema. Shodno tome, postoje dve vrste programa monitoringa, u zavisnosti od toga koliko planirani ciljevi moraju biti ispunjeni:

**Praćenje sa jednim-ciljem** koji se mogu koristiti za rešavanje jednog problema. takav prilaz uključuje jednostavan skup varijabli, kao što su: pH, mutnoća i analiza katjona i anjona; hranljive materije i hlorofil, jedinjenja azota ili natrijuma, kalcijuma, hloridi i slično.

**Višenamensko praćenje** -cilj koji najčešće pokriva različite upotrebe vodnog tela, daju podatke za više od jednog programa procene, kao što su snabdevanje vodom za piće, industrijska proizvodnja, ribarstva ili vodenim svetim, čime uključuju veliki skup varijabli. Komisija Evropskih zajednica ima listu od 100 mikro-zagađivača koje treba analizirati u vodi za piće. Implementacija programa procene ciljeva može se fokusirati na prostornoj distribuciji merenja (odgovarajući broj mernih stanica), na trendove (visoke frekvencije uzorkovanja) ili na zagađivače. Primena sva tri principa istovremeno je praktično nemoguća, ili pak vrlo skupa. Shodno tome, preliminarna istraživanja su neophodna kako bi se utvrdila potreba i adekvatan fokus primjenjenog operativnog programa monitoringa. Proces određivanja ciljeva treba početi sa detaljnom analizom svih faktora i aktivnosti koje imaju uticaj, direktni ili indirektni, na kvalitet vode. Treba analizirati:

- geografske karakteristike područja, uključujući: topografiju, reljef, lithologiju, pedologiju, klimu, korišćenje zemljišta, hidrogeologiju, hidrologiju itd,
- korišćenje voda, uključujući: brane, kanale, napajanje vodom gradova i industrije, poljoprivredne aktivnosti, rekreativne aktivnosti, ribarstvo, itd, i
- izvore zagađenja (postojeće i očekivane), uključujući: domaćinstva, industrijske i poljoprivredne komplekse, kao i njihov nivo zagađenja i postrojenja za tretman otpadnih voda.

Postoji veliki broj vrsta programa za ocenjivanje kvaliteta vode. Oni bi trebalo da budu

projektovani ili usvojeni potpuno u skladu sa ciljevima postavljenim na osnovu analize životne sredine, nivoa korišćenja voda (sadašnjih i planiranih), zakonodavstva u ovoj oblasti, itd. Kada su ciljevi postavljeni, pregled postojećih podataka kvaliteta vode, često i uz podršku preliminarnih istraživanja, određuje dizajn i sadržaj monitoringa. Tokom sprovodenja aktivnosti procene važan korak, koji je često potcenjen, ako ne i izostavljen, je način interpretacije i analize podataka. To bi trebalo da bude definisano preporukama nadležnih organa za upravljanje vodama i kontrolu zagađenja vodnih sistema. Posle toga tek treba izvršiti prilagođavanje ili modifikaciju odabrane aktivnosti praćenja. Postoje određeni standardni elementi koji su zajednički za sve programe ocenjivanja kvaliteta vode. Oni su, više ili manje, razvijeni u zavisnosti od tipa procene i potrebna. Ključni elementi jednog programa procene su:

- Ciljevi - Aktivnost bi trebalo da uzme u obzir hidrološke faktore, korišćenje voda , ekonomski razvoj, zakonodavnu politiku itd. Naglasak treba staviti na opterećenjima vodnog tela, bilo prostornim bilo vremenskim distribucijama, i predložiti na osnovu toga najprikladniju metodologiju monitoringa.
- Preliminarne ankete - To su kratkoročne, ograničene aktivnosti za utvrđivanje kvaliteta vode, varijabilnost, tip praćenja medija i zagađivača koje treba razmotriti,i tehnička i finansijska izvodljivost kompletног monitoring programa.
- Dizajn metodologije praćenja - Uključuje izbor vrsta zagađivača koji se prate, merne stanice, njihove lokacije, frekvencije uzorkovanja, izbor opreme uzorkovanja, itd.
- Realizacije praćenja. - Operacije uključuju in situ merenja, uzorkovanje odgovarajućeg medija (voda, živi svet, čestice), uzorak predretmana, identifikacije.
- Hidrološko praćenje. - Uključuje merenja proticaja, vodostaja, termalne profile, itd,
- Laboratorijske aktivnosti. - Uključuje merenja uzoraka.
- Kontrola kvaliteta podataka mora biti ostvarena osiguranjem kvaliteta merenja i analiza u svakoj laboratoriji, koja učestvuje u istom programu i proverom operacija na terenu i hidroloških podataka.
- Skladištenje, arhiviranje podataka, tretman i izveštavanje je sada široko kompjuterizovan i automatizovan proces koji podrazumeva upotrebu baza podataka, statističke analize, trend opredeljenja, multi-faktorske korelacije itd, i prezentaciju rezultata u odgovarajućim oblicima.
- Tumačenje podataka uključuje poređenje podataka o kvalitetu vode između stanica, analizu trendova kvaliteta vode, utvrđivanje uzročno posledičnih veza između podataka o kvalitetu vode i ekoloških podataka, i procena adekvatnosti primene vode za različite namene. Za specifične probleme, kao i procenu uticaja na životnu sredinu, značaj posmatranih promena, može biti potrebna i dodatna ekspertiza.
- Preporuke za upravljanje vodnim sistemima. - Odluke treba da se donose na različitim nivoima u saglasnosti sa postojećom zakonskom regulativom.

Za svrhe nadzora, podaci merenja, analize, procene i izveštavanje treba da budu dostupni prema operativnim zahtevima. U slučaju da je procena kvaliteta vode hitna, čitav lanac treba da se skratičak i manje. Procena trendova često ne može se obezbediti za manje od pet godina, u zavisnosti od nivoa varijabilnosti kvaliteta. Važna odluka je i redizajn procesa praćenja radi poboljšanja programa monitoring, kako bi bio i ekonomski prihvatljiv.

U okviru akcije monitoringa kvaliteta voda u Srbiji, a u okviru projekta III 43009, razvijen je, pored visokofrekventnih merača fizičko hemijskih parametara i sistem pasivnih senzora za dinamičko praćenje kvaliteta površinskih voda. Višenamensko korišćenje akumulacija nameće pitanje obezbeđenja i upravljanja kvalitetom vode kao prioritetno. Ovo zahteva dobro poznavanje svih relevantnih procesa u akumulaciji koji utiču na kvalitet vode, a pre svega proces eutrofikacije. Tek nakon sagledavanja ovih procesa, moguće je projekovati pravilno upravljanje akumulacijom koje podrazumeva sve neophodne mere zaštite, kao i odgovarajući monitoring.

Povećanje broja uzoraka, uz skraćivanje vremenskog intervala između analiza, doprineće boljem praćenju varijacija kvaliteta vodnog tela. Povećanje broja merenja vodi ka tačnijim podacima, povećanjem statističke značajnosti merenja i razvijanju kvalitetnijih modela ponašanja vodnih tela. Kvalitetniji modeli vode ka boljim simulacijama ponašanja vodnih opterećenja u različitim situacijama. Samim tim otvara se mogućnost za brže reakcije na vodnim telima u slučaju akcidentnih situacija ili sprečavanje zagađenja izazванog različitim aktivnostima u okolini samog vodnog tela. Na taj način došlo se do saznanja da treba primeniti drugačije uzorkivače, tkz pasivne senzore.

Poseban aspekt primene pasivnih uzorkivača je sama analiza adsorbovanog materijala na uzorkivačima. Radi se o primeni standardne analitičke opreme, gasnih i tečnih hromatografa (GS MS,HPLC), uz primenu standardnih tehnika primene uzoraka za analizu. Poslednji, ali ne i manje važan razlog primene ovih uzorkivača je svakako ušteda, odnosno ekonomski aspekt primene pasivnih uzorkivača i efikasniji rad sa njima.

Ovakvim pristupom biće omogućeno dobijanje neophodnih dodatnih podataka o kvalitetu vode u ispitivanom vodenom sistemu prema zahtevima EU ODV direktive. Kombinovanjem ovih ispitivanja sa VFM (visoko frekventnim) merenjima fizičko hemijskih parametara vode, zadovoljavaju se svi zahtevi OVD prema lokalnim samoupravama do 2015 godine. Sa druge strane, realizacijom planiranih aktivnosti u okviru ovog projekta dobiće se jasna slika o efikasnosti i kvalitetu korišćenja pasivnih uzorkivača za određivanje kvaliteta vode, bilo u vodnim telima bilo pri analizi otpadnih voda. Poređenjem sa rezultatima dobijenih klasičnim uzorkovanjem voda dobiće se i preporuka za modalitet primene ovih sistema, (kao dopuna ili kao osnovni merni sistem) u vodenim telima.

## 4. METODOLOGIJA ANALIZE REZULTATA

Posle izbora metodologije uzorkovanja drugi korak koji treba definisati je izbor načina analize sakupljenih podataka. Kada su u pitanju kompleksni sistemi, kao što je vodni sistem Bovan, uvek se polazi od postojećih podataka koji najbolje opisuju karakteristike ispitivanog sistema. Osnovni ciljevi analize vremenskih serija su pronalaženje modela kojim će se opisati zakonitosti u ponašanju posmatranog dinamičkog sistema, te predviđanje njegovog budućeg stanja na osnovu poznatih stanja u prošlosti i sadašnjosti. Danas postoje različiti teorijski pristupi analizi vremenskih serija koji u manjoj ili većoj meri daju tražene rezultate.

Vremenska serija je niz merenja u vremenu, uglavnom prikupljena u jednakim, diskretnim vremenskim intervalima. Osnovna prepostavka prilikom analize, odnosno modelovanja vremenske serije je da će određeni aspekti prošlih uzoraka nastaviti da postoje i u budućnosti.

Primenu vremenskih serija u oblasti statističkih prognoziranja nije potrebno posebno isticati. Nedostatak odgovarajućih prognoza, posebno kratkoročnih, često je predstavljao glavni nedostatak projektantima. Nekoliko statističkih pristupa, kao što su regresija, vremenske serije i stohastički pristupi, korišćeni su za potrebe prognoziranja. Svaki od pristupa ima sopstvene vrednosti i ograničenja. Modeli vremenskih serija imaju prednosti u određenim situacijama i mogu se koristiti za potrebe prognoziranja, zato što su nizovi podataka posmatrane promenljive, prikupljeni u prošlosti, već dostupni. Ova sukcesivna merenja su statistički zavisna, pri čemu je modelovanje vremenskih serija u direktnoj vezi sa primenjenim tehnikama za analizu te zavisnosti. Prema tome, prilikom modelovanja vremenskih serija, predviđanje vrednosti posmatrane promenljive u budućim periodima zasnovana je na vrednostima iste promenljive iz uzorka prikupljenog u prošlosti, a ne na vrednostima promenljive koje mogu da utiču na sistem. Postoje dva glavna razloga primene modela vremenskih serija. Prvi sistem možda nije moguće razumeti i čak ako je moguće razumeti ga, može biti izuzetno teško odrediti vezu između uzorka i posledice. Drugo, glavni interes može biti da se samo predviđi šta će se desiti, ali ne i da se odredi zašto se to dešava.

Od brojnih pristupa u analizi vremenskih serija, metode dekompozicije spadaju među najstarije uprkos brojnim teoretskim slabostima, sa statisitčke tačke gledišta. Nakon ovih metoda, pojavio se najgrublji oblik metoda za prognoziranje, poznat kao metoda pokretnih sredina. Kao poboljšanje ove metode, kod koje su primenjene jednake težine, razvijene su metode eksponencijalnog poravnjanja, kod kojih noviji podaci imaju veće težine. Metode eksponencijalnog poravnjanja su predložene u početku samo kao rekurzivne metode, bez bilo kakvih prepostavki o rasporedu grešaka.

U ljudskom okruženju postoje mnoge pojave i procesi čije promene tokom vremena utiču na svakodnevni ljudski život. Veliku primenu u proučavanju tih promena imaju i vremenske serije, pa se razne metode njihove analize primenjuju u raznim oblastima. Analiza nastalih i predviđanje budućih deformacija raznih objekata, pomeranje tektonskih ploča, brojne analize tržišta i mnoge druge pojave se mogu pratiti tokom vremena primenom brojnih metoda analize vremenskih serija. Kvalitetniji modeli vode ka boljim simulacijama ponašanja vodnih opterećenja u različitim situacijama. Samim tim otvara se mogućnost za brže reakcije na vodnim telima u slučaju akcidentnih situacija ili sprečavanje zagađenja izazванog različitim aktivnostima u okolini samog vodnog tela.

U toku godišnjeg hidrološkog ciklusa, kvalitet površinskih voda zavisi od atmosferskih padavina, nanosa, odnosno erozije tla u sливу, naseljenosti i razvoja industrije u slivnom području. Pored toga, varijacija temperature u toku godišnjih doba, kao i mešanje različitih vrsta voda takođe su činiovi koji utiču na promenu hemijskog sastava površinskih voda [1]. Multivarijalne statističke metode omogućavaju identifikaciju mogućih faktora/izvora koji su odgovorni za varijabilnost kvaliteta vode. Takođe, omogućavaju identifikaciju rasporeda izvora zagađenja i predstavljaju koristan alat za razvoj odgovarajuće i primenljive strategije za efikasno upravljanje vodnim resursima.

Klaster analiza se koristi za redukciju obimnih podataka, gde se kombinuju rezultati u grupe relativno homogenih sastava. Ona pomaže u grupisanju parametra (slučajeva) u klasterne na osnovu sličnosti ili razlike između njih. Izazov mnogih istraživanja u kojima se koristi veliki broj podataka upravo je grupisanje elemenata u manje grupe na osnovu neke povezanosti.

Analiza glavnih komponenti (*Principal Component Analysis*, PCA) ima sposobnost da prepozna i eliminiše suvišne podatke iz eksperimentalnih rezultata. Primenom analize glavnih komponenti redukuje se broj raspoloživih podataka, a kao rezultat se dobija različiti broj novih promenljivih tzv. glavne komponente (principal components, PC). Glavna komponenta, PC, je u stvari linearna kombinacija originalnih promenljivih. Koeficijent inverzne relacije (odnosa) od linearne kombinacije se zove komponenta opterećenja i predstavlja koeficijent korelacije između originalne promenljive i glavne komponente. U toku analize dobija se veći broj glavnih komponenti. Na istom principu se formiraju i ostale glavne komponente, sve dok se ukupna varijansa ne izračuna. U praktičnom radu obično je dovoljno zadržati samo nekoliko glavnih komponenti, čiji zbir obuhvata veliki procenat ukupne promenljive. Navedene statističke metode pružaju mogućnost lakšeg, bržeg i jasnijeg definisanja promenljivih koji imaju najveći uticaj na kvalitet površinskih voda. U ovom radu su primenom klaster analize i analize glavnih komponenti analizirani i interpretirani rezultati kvaliteta površinskih vodnih tela.

Analiza i tumačenje podataka može da bude jednostavno, ako se porede podaci dobijeni merenjem ili standardne vrednosti, ali i veoma kompleksno ako su uključeni napredna statistika i temeljno razumevanje dinamike vodnih tela. Sledeći odeljak opisuje neke jednostavne, neposredne pristupe sakupljenim podacima i čak pravljenju početne odluke o tome šta bi sve to moglo da znači. Prvi korak u prikupljanju i izveštavanju o podacima je pravljenje zbirne tabele koja prikazuje prosek i opseg za svaki mereni parametar. To će olakšati poređenje podataka sa standardima o kvalitetu vode, ili sa podacima dobijenih na drugim vodnim telima.

Polazna osnova za analizu je statistika, čiji koncept se bazira na raspodelama izmerenih promenljivih i njihovih vremenskih ili prostornih raspodela. Najčešće se zanemaruje testiranje normalnosti raspodele, što je i osnova za izbor statističke metodologije. Drugi važan aspekt su tzv. nedostajući podaci koji se mogu analizirati na dva načina: prvi je interpolacija, a drugi primena metodologije nejednako raspoređenih podataka. U konkretnom slučaju primenjena je metoda nejednako raspoređenih podataka, jer zbog prirode sistema koji se ispituje nije moguće pronaći interpolacioni model.

U ranijem tekstu već je napomenuto, da je izmerene podatke moguće analizirati kao vremenske serije, što je i urađeno. Obe statističke analize omogućile su modelovanje ponašanja vodnog sistema, kao i predviđanje ponašanja samog vodotoka. Ovakav način obrade tradicionalan koristi samo jedan unapred definisani kriterijum za odlučivanje ili klasifikaciju, čime se umanjuje realnost problema koji treba rešavati. U ovom slučaju trebalo je koristiti veći broj kriterijuma koji su i međusobno konfliktni. Takav način odlučivanja se naziva **višekriterijumsko odlučivanje**, a pristup podrazumeva postojanje problema sa određenim svojstvima:

- veći broj kriterijuma koje kreira donosilac odluke,
- konfliktnost kriterijuma,
- neuporedive i/ili nesamerljive jedinice mere svakog pojedinačnog kriterijuma,
- Projektovanje ili izbor - rešenja višekriterijumskog problema predstavljaju ili projektovanje najbolje alternative (akcije) ili izbor najbolje alternative iz skupa prethodno definisanih.

Upravo se na osnovu poslednje karakteristike problemi višekriterijumskog odlučivanja (VKO) mogu svrstati u grupu višeatributivnog odlučivanja, odnosno sve ustaljenijeg naziva višekriterijumske analize (VKA), i u grupu problema višeciljnog odlučivanja (VCO). Razlike osobina dve navedene grupe predstavljene su tabelarno (tabela 4.1).

**Tabela 4.1** Osobine višekriterijumske analize nasuprot višeciljnog odlučivanja

| Kriterijum (definisan)                  | VKA                               | VCO                          |
|---|-----------------------------------|------------------------------|
|   | Atributima                        | Ciljevima                    |
| <b>Cilj</b>                             | Implicitan (loše definisan)       | Eksplicitan                  |
| <b>Atribut</b>                          | Eksplicitan                       | Implicitan                   |
| <b>Ograničenja</b>                      | Neaktivna (uključena u attribute) | Aktivna                      |
| <b>Alternative</b>                      | Konačan broj, diskretne           | Beskonačan broj, kontinualne |
| <b>Interakcija sa donosiocem odluka</b> | Nije izrazita                     | Izrazita                     |
| <b>Primena</b>                          | Izbor/evalucija                   | Projektovanje                |

## KONTROLA ZAGAĐENJA POVRŠINSKIH VODA

Koncentrisane zagađivače je lako identifikovati i odrediti njihov ukupan doprinos zagađenju. U skladu sa vežećim zakonskim propisima sprovodi se sistematska kontrola koncentrisanih zagađivača, a dobijeni podaci se čuvaju u katastru zagađivača. Opšti pristup u kontroli tačkastih

izvora zagađenja je primena standarda za effluent tj. postavljanje graničnih vrednosti emisije (GVE). Difuzne izvore zagađenja je mnogo teže kontrolisati i odrediti njihov ukupan doprinos opštem zagađenju voda. Stoga, samim tim je teško primeniti određene standarde.

Upravljanje vodama koje su pod uticajem difuznih zagađivača zahteva postavljanje standarda za recipijent i obezbeđivanja dostizanja ovih standarda. Prilikom postavljanja standarda treba uzeti u obzir hidrološke i ekološke uslove na slivu, korišćenje zemljišta, potencijalnu korist od vodnog tela i mogućnost institucija da utvrdi i sproveđe standarde kvalitete voda (Loucks et al., 2005; Stojanović, 2011).

Kontrola zagađenja površinskih voda u EU bazirana je na integralnom pristupu. Na sličan način ista problematika regulisana je Zakonom o čistim vodama SAD (eng. *Clean Water Act*), koji je implementiran od strane US EPA (*US Environmental Protection Agency*). Osnovni ciljevi ovog zakona su: obnavljanje i održavanje hemijskog, fizičkog i biološkog integriteta svih voda, obezbeđivanje kvaliteta vode u cilju zaštite i održanja biodiverziteta i moguće korišćenje vode za rekreativnu i kontrolu ispuštanja zagađujućih materija (eng. *zero discharge*).

Maksimalno dnevno opterećenje, TMDL (eng. *Total Maximum Daily Loads*), je vodeći princip kod obnavljanja oštećenih akvatičnih ekosistema u SAD. Princip je primenljiv kako za tačkaste tako i za difuzne zagađivače (Park, 2009). Kako je upravljanje vodama zasnovano na rečnom slivu, zakonodavstvo EU i zakonodavstvo SAD u oblasti zaštite voda dele isti pristup u rešavanju problematike zaštite voda, kako od tačkastih tako i od difuznih izvora zagađenja. EU zakonodavstvo i zakonodavstvo SAD u oblasti voda može da ima značajan uticaj na zemlje u razvoju na reformu vodne politike i nadležnih institucija (Chuco, 2004).

Osnovu upravljanja kvalitetom voda u svetskoj praksi čine dva pristupa (Ragas, 2000):

- 1) *Tehnološki pristup* i
- 2) Pristup zasnovan na ciljevima kvaliteta životne sredine EQS (eng. *Environmental Quality Objective*).

**Tehnološki pristup** se fokusira na prevenciju i smanjenje emisije na izvoru koristeći najbolja raspoloživa tehnička sredstva. Granične vrednosti emisije (GVE) se definišu za otpadnu vodu i mogu se odrediti na osnovu „najbolje dostupne tehnologije prečišćavanja“ – BAT (eng. *Best available technology*). Prednosti ovako utvrđenih graničnih vrednosti su njihova jednostavnost, lako se mogu kontrolisati i na osnovu njih se lako mogu utvrditi mere za poboljšanje stanja.

Prema *Zakonu o integriranom sprečavanju i kontroli zagađivanja životne sredine*, (Službeni glasnik RS, 135/04), „najbolje dostupna tehnika - BAT“ podrazumeva najdelotvornije i najmodernije faze u razvoju aktivnosti i načinu njihovog obavljanja koje omogućavaju pogodniju primenu određenih tehnika za zadovoljavanje graničnih vrednosti emisije propisanih u cilju sprečavanja ili ako to nije izvodljivo u cilju smanjenja emisija i uticaja na životnu sredinu. Pojedini elementi izraza „najbolje dostupna tehnika“ imaju sledeće značenje:

*Tehnika* – način na koji je postrojenje projektovano, izgrađeno, održavano, na koji funkcioniše i stavlja se van pogona ili održava, uključujući i tehnologiju koja se koristi;

*Dostupna* – tehnika razvijena do stepena koji omogućava primenu u određenom sektoru industrije pod ekonomski i tehnički prihvatljivim uslovima, uključujući troškove i koristi, ako je pod uobičajenim uslovima dostupna operatoru;

*Najbolja* – podrazumeva najefikasniji učinak i postizanje visokog opšteg nivoa zaštite.

**Pristup zasnovan na standardu kvaliteta životne sredine - EQS** (eng. *Environmental Quality Standard*) odnosi se na uticaj ispuštanja zagađenja na kvalitet vode recipijenta. U vodoprijemnik se može ispušтati otpadna voda, bez ograničenja količine i kvaliteta, sve dok se ne prekorače propisane granične vrednosti.

Postavljanje ciljeva kvaliteta životne sredine – EQOs (eng. *Environmental Quality Objectives*) je povezano sa upotreбom određenog dela vodotoka (npr. izvorište vode za piće, voda za rekretaciju itd.). Na osnovu definisanih EQOs postavljaju se standardi kvaliteta životne sredine. EQS predstavlja maksimalne granične vrednosti zagađujućih materija koje u vodnom telu ne smeju da se prekorače. Ciljevi kvaliteta životne sredine se mogu koristiti za izvođenje graničnih vrednosti emisije (GVE).

Kod imisionog postupka model kvaliteta vode može poslužiti kao veoma koristan alat u proceni prihvatljivosti definisanih GVE. Primenom modela predviđeni kvalitet vode se poređi sa dostupnim standardima kvaliteta životne sredine i ako se ustanovi da su ovi standardi prekoračeni budući kvalitet vode se smatra neprihvatljivim i neophodno je postaviti dodatne GVE. U tom slučaju, model koristi reversan proračun, tj. definiše se šta bi trebalo da bude maksimalno dopušteno ispuštanje da bi se dostigao željeni kvalitet vode (Konterman et al., 2003; Ragas et al., 1997).

Postavljanje GVE proizišle iz pristupa zasnovanog na kvalitetu vode recipijenta zavisiće od karakteristika polutanata koji se ispuštaju u vodotok. Razlika treba da postoji između konvencionalnih polutanata (npr: BPK, azot i fosfor) i ispuštanja toksičnih polutanata (npr. metali i perzistentni organski polutanti – POPs).

**Glavne stavke u regulaciji konvencionalnih polutanata su raspodela opterećenja ukupnog zagađenja kod više ispuštanja, i suočavanje sa vremenskim varijacijama karakteristika efluenta i karakteristika akvatičnog ekosistema.**

Razmena supstanci između delova sistema, toksičnost mešavine i akutni toksični efekti u zoni mešanja je bitno razmotriti kao ispuštanja toksičnih polutanta.

Kada je prisutan veći broj ispuštanja, nepohodna je primena modela kvaliteta voda i formiranje šeme za raspodelu opterećenja po zagađivačima (npr. primenjuje se sledeće: jednak procenat uklanjanja, jednak koncentracije u efluentu, jednak mase ispuštanja po danu, jednak smanjenje sirovog opterećenja, jednak troškovi po kg uklonjenog zagađenja, itd.). Primena modela kvaliteta voda i šeme za raspodelu opterećenja zahteva znanje eksperata i dostupnost podataka za recipijent i podataka za različita ispuštanja. Jednostavnija, ali manje precizna, alternativa je da se ograniči broj ispuštanja u vodotok (npr. maksimalno 10 ispuštanja) u

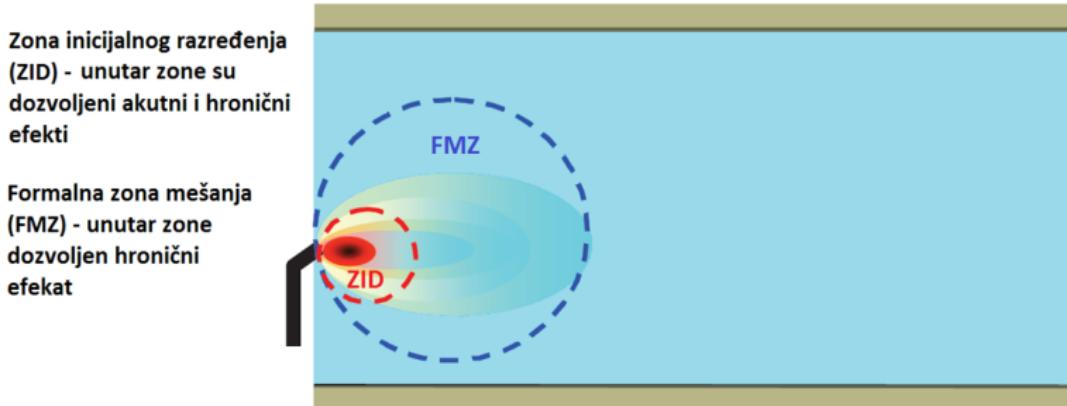
kombinaciji sa odredbom koja dozvoljava da individualna ispuštanja mogu da dovedu do zagađenja samo deo od standarda kvaliteta voda (npr. 10% po jednom ispuštanju). Mana ovog sistema je da se ne mogu dozvoliti nova ispuštanja istih supstanci ako je dostignut maksimalan broj ispuštanja. Jedno od mogućih rešenja jeste raspodela fiksног procenta dostupnog kapaciteta vodotoka za zagađenje za nova ispuštanja, ali tada za svako novo ispuštanje dozvoljeno manje opterećenje.

Za akvatične ekosisteme karakteristično je da je tokom godine prisutno variranje kvaliteta vode, a takođe i kod kvaliteta efluenta otpadne vode se mogu javiti izvesna variranja u sastavu tokom vremena. Variranje kvaliteta vode vodotoka i efluenta tokom vremena se može uzeti u proračun standarda kvaliteta životne sredine. U praksi je vremensko određivanje standarda često zasnovano na normativnim prepostavkama. Na primer, moglo bi se prepostaviti da je živi svet vodotoka dovoljno zaštićen ukoliko se standard kvaliteta za hroničnu toksičnost održava najmanje tokom 90 % vremena.

Prema *Uredbi o graničnim vrednostima prioritetnih i prioritetnih hazardnih supstanci koje zagađuju površinske vode i rokovima za njihovo dostizanje* (Službeni glasnik RS, br. 35/2011) zona mešanja je definisana kao zona površinske vode koja se nalazi nizvodno u blizini mesta ispuštanja, odnosno emisije pojedinačnih prioritetnih supstanci. Prema članu 4 WFD zone mešanja se mogu odrediti u okolini mesta ispuštanja. Između zona mešanja koncentracija jedne ili više prioritetnih supstanci sa liste A Aneksa I može biti iznad relevantnih vrednosti EQS, ali ostali deo vodnog tela treba da ispunjava EQS i ne sme da bude pod uticajem zona mešanja. U SAD, primena zona mešanja ima dugu tradiciju, dok za većinu zemalja EU predstavlja novi koncept (Ceka, 2011). Efluenti otpadnih voda koji ne dostignu standard kvaliteta životne sredine na mestu gde dospevaju u recipijent, će neminovno dovesti do toga da je i u zoni mešanja standard kaliteta životne sredine prekoračen. Važna normativna pitanja koja se odnose na zonu mešanja su: maksimalno dozvoljena veličina zone(a) mešanja i maksimalno dozvoljene koncentracije u zoni mešanja (Ragas et al., 2005).

U zemljama EU zone mešanja se mogu odrediti na osnovu srednjeg godišnjeg kriterijuma AA-EQS (eng. *Annual average criteria*) i na osnovu maksimalno dozvoljenih koncentracija MAC-EQS (eng. *Maximum allowable concentration*). AA-EQS se odnosi na hroničan efekat po akvatični ekosistem i zdravlje čoveka uzrokovan hazardnim supstancama, dok se MAC odnosi na akutne efekte uzrokovane njihovim kratkoročnim delovanjem (Ceka, 2011).

Razlikuju se dva kriterijuma koja se odnose na koncentracije toksičnih supstanci, ali se razlikuju i dve zone mešanja. Prva zona je *akutna zona ili zona inicijalnog* koja predstavlja oblast neposredno oko ispusta. U ovoj zoni se primenjuje kriterijum maksimalne koncentracije CMC (eng. *Criteria Maximum Concentration*) za akutnu toksičnost koji može biti prekoračen, ali treba biti ispunjen na granici zone. Druga zona je *hronična zona ili formalna zona mešanja FMZ* (eng. *Formal mixing zone*) u kojoj treba biti ispunjen kriterijum kontinualne koncentracije CCC (eng. *Criteria Continues Concentration*) u kojoj mora biti ispunjen kriterijum za akutnu toksičnost, dok kriterijum za hroničnu toksičnost može biti prekoračen unutar zone, ali treba biti ispunjen na granici zone. CMC je skoro ekvivalentan sa MAC kriterijumom koji se primenjuje u EU (Jirka et al., 1996). Slika 4.1. ilustruje zone mešanja.



**Slika 4.1.** Zone mešanja ( *Technical Background Document on Identification of Mixing Zones, 2010* )

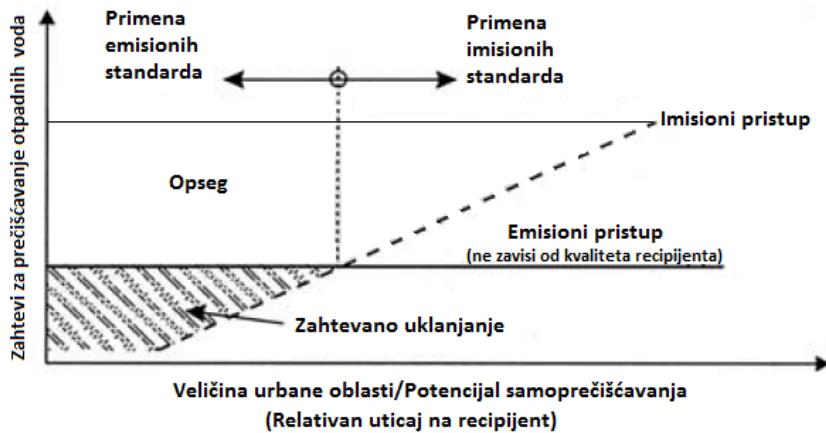
Regulisanje nivoa zagađenja u različitim zonama mešanja može zahtevati poseban set propisa. Teorijski, maksimalna dimenzija zone mešanja bi trebalo da bude bazirana na naučnim studijama u kojima postoji veza između dimenzije zone mešanja, do pojave negativnog uticaja. Međutim, naučni podaci o dimenzijama zone mešanja su veoma retki. Stoga je regulacija zona mešanja često zasnovana na normativnim pretpostavkama, na osnovu pojave negativnih uticaja (Ragas, 2000). Ispuštanjem otpadnih materija narušava se kvalitet vode i sedimenta akvatičnog ekosistema. Sediment predstavlja esencijalnu dinamičku komponentu akvatičnog ekosistema koja ima snažno izraženu tendenciju vezivanja i predstavlja rezervoar akumuliranih toksičnih i perzistentnih jedinjenja (Rončević i sar., 2008). Zbog značajne uloge sedimenta na kvalitet akvatičnih ekosistema danas su u primeni mnogobrojni modeli koji u procesu predviđanja kvaliteta vode uzimaju u obzir i podatke o kvalitetu sedimenta.

## KOMBINOVANI PRISTUP

Sa novim okvirom za upravljanje vodama, postavljenim u *Okvornoj direktivi o vodama* 2000/60/EC i *Direktivi integrисаном спречавању и контроли загадивања животне средине* 2008/1/EC – IPPC (eng. *The Integrated Pollution Prevention and Control Directive*) prihvacen je kombinovan pristup u kontroli zagađenja. Direktiva 2008/105/EC (EQS Direktiva) postavlja EQS za 33 prioritetne supstance WFD kao i za 8 ostalih polutanata koji su već regulisani na nivou EU. U osnovi kombinovanog pristupa je grupa standarda zasnovanih na tehnologiji i grupa standarda kvaliteta recipijenta. SAD, Australija, Kanada i Velika Britanija imaju dugu tradiciju primene pristupa zasnovanog na kvalitetu vode. Sa druge strane, većina evropskih zemalja, kao što su Nemačka, Holandija, Belgija, Australija, Španija i Portugalija su pretežno koristile pristup zasnovan na tehnologiji, koji je zasnovan samo na GVE. Ako uzmemo u obzir EQS vrednosti koje su propisane u EQS Direktivi i GVE za nekoliko supstanci postavljenih u ostalim Direktivama, može se zaključiti da je za EQS potrebno razblaženje od nekoliko stotina ili nekoliko hiljada. Odnos GVE/EQS opisuje uticaj polutanata na ekosistem. Smatra se da GVE imaju za cilj da štite od akutnih (letalnih) efekata na organizme, dok je uloga EQS spričavanje dugogodišnjeg hroničnog efekta (Bárcena et al., 2009).

Definisanje zahteva za prečišćavanje otpadnih voda zavisiće od relativnog uticaja zagađenja na

recipijent, koji se opisuje kao odnos veličine urbane površine i potencijala samoprečišćavanja recipijenta. Kod emisionog pristupa se ne uzima u obzir potencijal samoprečišćavanja recipijenta. Suprotno, imisioni pristup uzima u obzir veličinu recipijenta kao i potencijal samoprečišćavanja. Stoga, zahtevi za prečišćavanje otpadnih voda se povećavaju sa smanjenjem samoprečišćavajućeg potencijala recipijenta (Achleitner et al., 2005). Slika 27. ilustruje definisanje zahteva za prečišćavanje otpadnih voda u zavisnosti od relativnog uticaja zagađenja na recipijent.



**Slika 4.2.** Zahtevi za prečišćavanje otpadnih voda u zavisnosti od relativnog uticaja zagađenja na recipijent (Achleitner et al., 2005)

Postavljanje ograničenja na izvoru zagađenja kod "kombinovanog pristupa" se postiže proglašenjem graničnih vrednosti emisije kao i uspostavljanje standarda kvaliteta životne sredine. Većina zemalja u razvoju u kontroli zagađenja primenjuje standarde za efluent. U većini slučajeva ti standardi su preuzeti (kopirani) od razvijenih zemalja. Imajući u vidu nepovoljne ekonomski uslove zemalja u razvoju, troškovi primene tako strogih standarda za efluent često prevazilaze njihove mogućnosti. U drugim slučajevima, standardi se postavljaju suviše „labavo“ što ne garantuje zadovoljavajući kvalitet vodotoka. Takođe, institucionalni kapaciteti za implementaciju i kontrolu efluenta su često neadekvatni, što rezultuje standardima za efluent koji su neprimenljivi. Sa ekološke tačke gledišta poželjnije da se u kontroli zagađenja koristi kombinovani pristup koji obezbeđuje realizaciju standarda kvaliteta okoline, ali tehnički i institucionalni zahtevi ovog pristupa mogu biti suviše veliki za zemlje u razvoju. Kombinovan pristup za zemlje u razvoju nije neophodan da bude identičan pristupu koji je prihvaćen u većini zapadnih zemalja. GVE za pristup koji je zasnovan na EQOs su uvek dodatne za GVE strožijeg pristupa zasnovanog na tehnologiji. U većini zemalja u razvoju takav sistem može biti previše skup i samim tim neizvodljiv. Može biti neizvodljiv za zagađivače da zadovolje stroge GVE bazirane na BAT. Stoga je preporučljivo da se u ovakvim situacijama ublaže stroge GVE, na primer, na osnovu primene najbolje dostupnih tehnologija koje ne zahtevaju velike troškove tzv. BATNEEC (eng. Best Available Technology Not Entailing Excessive Costs).

Na osnovu teorijskog proučavanja, tehničkih, ekonomskih i institucionalnih aspekata, kao i iskustva u studijama slučaja napravljen je pregled mogućnosti i ograničenja oba pristupa, kao i kom. Kriterijumi koji se koriste za poređenje su: zaštita životne sredine, tehnička izvodljivost,

ekonomska opravdanost i zahtevi institucionalnih kapaciteta (Ragas et al., 1997). U tabelama (4.2 – 4.4) prikazan je pregled navedenih pristupa.

**Tabela 4.2. Tehnološki pristup (Ragas et al., 1997)**

| Aspekt                           | Mogućnosti  | Ograničenja  |
|----------------------------------|---|--|
| <b>Zaštita životne sredine</b>   | Uniformne GVE jasno ukazuju koje industrije su manje ili više ozbiljni zagađivači. Lako je postaviti stroge GVE za prioritetne supstance. | Ne garantuje da će biti ispunjeni specifični standardi kvaliteta životne sredine.  |
| <b>Tehnička izvodljivost</b>     | Relativno nizak tehnički kapacitet i niski zahtevi za unos podataka.  | Može imati tendenciju najgoreg pristupa i dovesti do nepotrebno visokih zahteva za tehnologijom.                                 |
| <b>Ekonomска opravdanost</b>     | Troškovi za razvoj programa za sprovođenje postupka mogu biti relativno niski.  | GVE mogu biti postavljene suviše strogo, što može dovesti do nepotrebnih troškova kod preduzimanja mera za kontrolu zagađenja.   |
| <b>Institucionalni kapacitet</b> | Omogućava način regulisanja tehničkih procesa koji su veoma jednostavnii za upravljanje. Zagađivači se nalaze u ravnopravnom položaju.    | Obezbeđuje nekoliko argumenta za prihvatljivost: zašto su potrebne stroge GVE i kako to dovodi do poboljšanja kvaliteta okoline. |

**Tabela 4.3. Pristup zasnovan na ciljevima kvaliteta životne sredine (Ragas et al., 1997)**

| Aspekt                         | Mogućnosti  | Ograničenja   |
|--------------------------------|---|---|
| <b>Zaštita životne sredine</b> | Reflektuje zahteve i osjetljivost okoline, uzimajući u obzir javno zdravlje i ekološke faktore.<br>Na indirektni način reguliše rast industrije u ekološki osjetljivim oblastima.                               | Sprečavanje zagađenja može biti ometano naučnom neizvesnosti i nedostatkom koncenzusa o kriterijumu kvaliteta ambijentalnih voda i štete zagađenja za čoveka i okolinu.   |
| <b>Tehnička izvodljivost</b>   | Smanjuje potreban nivo tehničke sofisticiranosti u odnosu na mere za kontrolu zagađenja, u slučajevima gde su GVE bazirane na standardima kvaliteta okoline manje stroge od GVE baziranih na primeni BAT (NEEC) | Potrebna je relativno velika količina podataka, (osnovni hemijski i ekotoksikološki podaci; fizičke, hemijske i biološke karakteristike recipijenta i sudsbita hemikalija koje su dospele ispuštanjem). Mnogo komplikovanija procena /modelovanje i monitoring, i procena efekata ispuštanja. |
| <b>Ekonomska opravdanost</b>   | Neće biti strožije nego što je potrebno u realizaciji standarda kvaliteta okoline, tako da finansijsko  | Troškovi razvoja sistema (kontrole) mera i dodeljivanje zagađenja na pravi izvor mogu biti relativno  |

|                                  |  |  |
|----------------------------------|--|--|
|                                  | opterećenje mera kontrole zagađenja u slučajevima može biti manje. Nudi više fleksibilnost u pogledu opcija i rešenja za održavanje kvaliteta vode i time uzima u obzir mogućnost plaćanja određenih zagađivača. | visoki.  |
| <b>Institucionalni kapacitet</b> | Poboljšava prihvatljivost mera kontrole pružajući argumente za potrebe za smanjenjem zagađenja.  | Određivanje GVE se zahteva od slučaja do slučaja razmatranjem uticaja na vodno telo, što je komplikovanje za upravljanje. Zagađivači se ne nalaze u ravnopravnom položaju. |

**Tabela 4.4. Kombinovan pristup (Ragas et al., 1997)**

| Aspekt                           | Mogućnosti  | Ograničenja  |
|----------------------------------|---|--|
| <b>Zaštita životne sredine</b>   | Reflektuje zahteve i osetljivost okoline, uzimajući u obzir javno zdravlje i ekološke faktore. Obezbeđuje indirektne mere za regulaciju rasta industrije u ekološki ostljivim oblastima.  | Za deo od standarda kvaliteta okoline od kombinovanog pristupa, sprečavanje zagađenja može imati problema zbog naučne neizvesnosti i nedostatka koncenzusa o kriterijumu kvaliteta ambijentalnih voda i štete zagađenja za čoveka i okolinu. |
| <b>Tehnička izvodljivost</b>     | Kombinuje prednosti relativno niskih tehničkih kapaciteta i zahteva za podacima u pristupu baziranom na tehnologiji sa prednostima tehnički mnogo zahtevnijeg pristupa baziranog na ciljevima kvaliteta okoline, da u određenim slučajevima dozvoli niži zahtevani nivo tehničke sofisticiranosti u odnosu na mere za kontrole zagađenja. | Za deo od standarda kvaliteta okoline od kombinovanog pristupa, još je potrebna relativno velika količina podataka. Takođe je relativno komplikovana procena i monitoring, i procena efekata ispuštanja.                                     |
| <b>Ekonomска opravdanost</b>     | Nudi više fleksibilnosti u pogledu opcija i rešenja za održavanje kvaliteta vode uzimajući u obzir pristupačnost  | Troškovi kombinovanog pristupa u pogledu razvoja programa mera i dodeljivanja zagađenja za pravi izvor mogu biti veći od troškova pristupa baziranog na tehnologiji.   |
| <b>Institucionalni kapacitet</b> | Pristup obezbeđuje način regulisanja tehničkog procesa koji je relativno jednostavan za administraciju. Poboljšava prihvatljivost mera kontrole zagađenja pružajući argumente za potrebe smanjenja zagađenja  | Određivanje GVE se zahteva od slučaja do slučaja razmatranjem uticaja na vodno telo, što je komplikovanje za upravljanje. Može dovesti do male nejednakosti pred zakonom (kada su dodatne GVE bazirane na standardima kvaliteta okoline).    |

Kod pristupa baziranog na tehnologiji, kao glavne prednosti se izdvajaju niži zahtevi u pogledu tehničkih i institucionalnih kapaciteta, što bi moglo da čini sistem manje komplikovanim za implementaciju i rad, a samim tim i jeftinije sa institucionalnog stanovišta. Glavna mana ovog pristupa je da ne garantuje da će specifični ciljevi okoline biti ispunjeni. U drugim slučajevima potreban nivo za kontrolu zagađenja može biti visok, što može da dovede do visokih troškova za zagađivače i niske pristupačnosti između ispuštanja.

Glavne prednosti pristupa baziranog na EQOs su da je direktno povezan sa zahtevima životne sredine i osetljivosti, i da mere za kontrolu zagađenja neće biti strožije nego što je potrebno. Pored toga, finansijsko opterećenje mera može biti manje dok je u isto vreme prisutna fleksibilnost kod mogućnosti za plaćanje.

U Republici Srbiji se kontrola zagađenja voda ranije zasnivala na imisionim standardima. Na osnovu novih zakonskih propisa kontrola zagađenja se sprovodi na osnovu graničnih vrednosti emisije (emisioni standard). *Uredba o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje* (Službeni glasnik RS, br. 67/2011 i 48/2012) se odnosi na emisije za određene grupe ili kategorije zagađujućih supstanci u tehnološkim otpadnim vodama pre njihovog ispuštanja u kanalizaciju, tehnološkim i drugim otpadnim vodama koje se neposredno ispuštaju u recipijent, vodama koje se posle prečišćavanja ispuštaju iz sistema javne kanalizacije u recipijent i otpadnim vodama koje se iz septičkih i sabirnih jama ispuštaju u recipijent, odnosno na regulisanje ispuštanja komunalnih i industrijskih otpadnih voda u prijemnike. U uredbi su date granične vrednosti emisije (GVE) za 49 navedenih sektora, koje su zasnovane na primeni najboljih dostupnih tehnika. Rok za dostizanje GVE je 31. decembar 2030. godine, dok nova postrojenja moraju odmah zadovoljiti GVE. Neophodno je da svi obveznici uredbe u svoje akcione planove uvrste rokove za postepeno dostizanje GVE, a inspekcija će svake treće godine kontrolisati ispunjenost ciljeva.

U toku godišnjeg hidrološkog ciklusa, kvalitet površinskih voda zavisi od atmosferskih padavina, nanosa, odnosno erozije tla u slivu, naseljenosti i razvoja industrije u slivnom području. Pored toga, izmena temperature u toku godišnjih doba, kao i mešanje različitih vrsta voda takođe su činiovi koji utiču na promenu hemijskog sastava površinskih voda [1]. Da bi bio postignut zadovoljavajući kvalitet površinskih voda, neophodan je monitoring koji je izrazito bitan segment u upravljanju vodama. Monitoring programi površinskih voda uključuju analize vode, sedimenta i biote [2]. Krajnja informacija koja se dobija monitoringom površinskih voda ključna je za donošenje odluka u upravljanju vodama i zahteva odgovarajući način obrade podataka dobijenih merenjima u toku samog monitoringa.

Kada su u pitanju monitoring programi koji se sprovode na godišnjem nivou, za obradu tako velikog skupa podataka najčešće se koriste statističke metode. Jedne od tih metoda su multivarijalne statističke metode kao što su faktor analiza, klaster analiza i analiza glavnih komponenti. Ove metode omogućavaju redukciju velikog broj podataka monitoringa i markiraju merne stanice sličnog kvaliteta, kao i problematične pokazatelje kvaliteta.

Multivarijalne statističke metode omogućavaju identifikaciju mogućih faktora/izvora koji su odgovorni za varijabilnost kvaliteta vode. Takođe, omogućavaju identifikaciju rasporeda izvora

zagadenja i na taj način predstavljaju koristan alat za razvoj odgovarajuće strategije, kako bi se ostvarilo efikasno upravljanje vodnim resursima [3-8].

Klaster analiza se koristi za redukciju obimnih podataka, kombinuju se objekti u grupe relativno homogenih sastava. Ona pomaže u grupisanju parametra (slučajeva) u klasterne na osnovu sličnosti ili razlike između njih. Izazov mnogih istraživanja u kojima se radi sa velikim brojem podataka, upravo je identifikovanje i grupisanje elemenata u manje grupe, na osnovu neke povezanosti.

Analiza glavnih komponenti (*Principal Component Analysis*, PCA) ima sposobnost da prepoznaže i eliminiše suvišne podatke iz eksperimentalnih rezultata. Primenom analize glavnih komponenti redukuje se broj raspoloživih podataka, a kao rezultat se dobija različiti broj novih promenljivih tzv. glavne komponente (principal components, PC). Glavna komponenta, PC, je u stvari linearna kombinacija originalnih promenljivih. Koeficijent inverzne relacije od linearne kombinacije se zove komponenta opterećenja i predstavlja koeficijent korelacije između originalne promenljive i glavne komponente. U toku analize dobija se veći broj glavnih komponenti. Prva glavna komponenta, PC1, predstavlja maksimalni udeo ukupnih promenljivih. Druga glavna komponenta, PC2, ne korelira se sa PC1 a predstavlja maksimalni udeo od rezidualne promenljive. Na istom principu se formiraju i ostale glavne komponente, sve dok se ukupna varijansa ne izračuna. U praktičnom radu obično je dovoljno zadržati samo nekoliko glavnih komponenti, čiji zbir obuhvata veliki procenat ukupne promenljive.

Navedene statisticke metode pružaju mogućnost lakšeg, bržeg i jasnijeg definisanja promenljivih koji imaju najveći uticaj na kvalitet površinskih voda. U ovom radu su primenom klaster analize i analize glavnih komponenti analizirani i interpretirani rezultati kvaliteta površinskih vodnih tela u cilju identifikacije mogućih izvora zagađenja.

## 5. RAZLOZI ZA SPROVOĐENJE PROJEKTA

Kontrola svakog sistema je problem za sebe. Pitanje kako kontrolisati sistem i na osnovu čega, su pitanja koja u većini slučajeva imaju samo polovične odgovore. Pitanje povratne sprege, ili bolje rečeno reakcije na poremećaje sistema, je teško definisati i sprovesti u praksi. Ako se sve to primeni na vodne sisteme sve se komplikuje i postaje kompleksno. Problemi nastaju još od definisanja vodnog tela, recimo, kod nas se većina akumulacija nazivaju jezerima. Drugi problem je vlasništvo ili jurisdikcija na tom vodnom sistemu. Ko će da sprovodi praćenje kvaliteta vode, određuje potrebne mere i akcije u cilju očuvanja kvaliteta vode? Šta je primarni cilj očuvanja ispitivanog vodnog sistema i još mnogo ostalih pitanja koje treba rešavati na različitom nivou. Postoje različiti pristupi analizi vodnog tela i njegovom očuvanju. Analiza svih bi oduzela mnogo vremena i prevazilazi obim ovog izveštaja. Posmatrajući sa praktičnog aspekta, održavanje održivosti jednog vodnog sistema može se grupisati u četiri celine, prikazane na sledećoj slici, gde su za svaku aktivnost prikazani i relevantni činioci upravljanja vodenim resursima.



Slika 5.1. Relevantni faktori u upravljanju vodenim resursima

Kontrola kvaliteta vode u akumulacijama se može, na ekonomski opravdan način, postići samo uz dobro poznavanje osnovnih procesa eutrofikacije vodnog tela, koji su karakteristični za

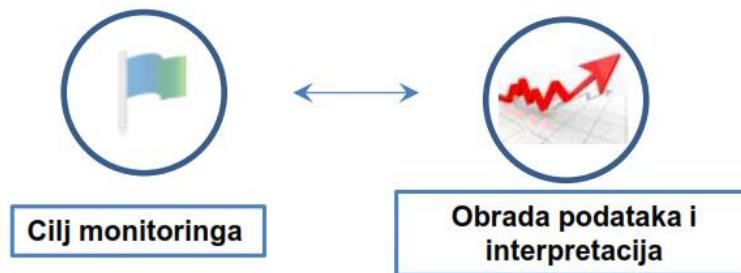
površinske vodne sisteme i pravilnim upravljanjem akumulacijom. Upravljanje vodenim resursima, između ostalog, podrazumeva sprovođenje neophodnih mera zaštite i adekvatan monitoring, sve u cilju očuvanja dobrog kvaliteta vode. Praćenje ponašanja vodnih tela, zahteva modelovanje i simulaciju baziranu na merenjima velikog broja parametara.

Pitanje koje se uvek postavlja je praktičan cilj ovih istraživanja i predloženih i razvijenih sistema za monitoring kvaliteta jezera. Svakako da je sa aspekta korisnika i lokalnih samouprava, relacija između kvaliteta vode u rezervoaru i cena koštanja korišćenja i snabdevanja vodom, jedan od prioritetnih ciljeva. Pitanje je da li se to može odrediti unapred za nedelju ili mesec dana? Povezivanje svih činilaca koji utiču na ponašanje vodnog sistema je osnova za definisanje održivog i kvalitetnog sistema upravljanja vodenim resursima. Uloga različitih učesnika u sistemu praćenja kvaliteta vode, šematski je prikazana na Slici 5.1.

Predviđanje i održavanje kvaliteta vode podrazumeva poznavanje ekološkog funkcionisanja celog sistema i njegovih interakcija sa upravljačkim aktivnostima. Povezivanje *in-situ* merenja sa modelima je samo trenutni napredak. Kapacitet samoprečišćavanja vodnih tela je odgovor ekosistema na poremećaje, koji se može znatno unaprediti adekvatnim upravljanjem vodenim resursima. Sa tim u vezi postavlja se pitanje koje sve parametre treba pratiti, analizirati i modelovati u cilju definisanja najbolje strategije upravljanja vodnim resursima?

Ako su ciljevi monitoringa jasni i baziraju se na malom broju parametara (npr. sistem za rano upozoravanje) primena merenih podataka je jednoznačna, Slika 5.2. Ako je cilj maglovit (npr. "praćenje kvaliteta vode"), a pri tome se meri i analizira veliki broj parametara, postoji verovatnoća da će doći neefikasnog korišćenja sakupljenih podataka, poznatijeg kao "Gigabajt" sindrom.

Ključ je prava veza između ciljeva monitoringa i pravilna interpretacija sakupljenih podataka. Neophodno je ostvariti sinergiju između inžinjerstva i upravljanja vodnim resursima. Ukoliko ignorišemo primenu istraživanja, što je kod nas čest slučaj, ujedno se ignorišu i bogati izvori modela i razvijenih postojećih metodologija monitoringa. Istraživanja mogu ostvariti primenljive alate, kao i savremen praktičan pogled na sakupljene podatke, a samim tim dobiti uvid u osnovne pokretačke moduse koji utiču na kvalitet vode.



Slika 5.2. Korelacija postavljenih ciljeva i obrade podataka

Razumevanje mehanizama aktivnosti u vodnom biodiverzitetu je primarni cilj naučne discipline poznate kao **limnologija**, koja ponovo dobija na značaju zbog važnosti kvaliteta vode.

Limnologija je proučavanje vodnih sistema: jezera (slatkovodnih i slanih), rezervoara, reke, potoka, močvara i podzemnih voda, kao ekološkog sistema u interakciji sa svojim slivovima i atmosferom. Limnološke discipline analiziraju i integrišu funkcionalne veze rasta, adaptacije, ciklusa hranljive i biološke produktivnosti u odnosu na distribuciju vrsta, i procenjuju kako fizički, hemijski, biološki parametri, kao i svojstvima okruženja utiču na ponašanje biodiverziteta nastalog oko vodnog tela. Reč limnologija je izvedena iz grčke reči limne-ribnjak i latinske reči limnaea-stvar koja se odnosi na močvare. Limnologija je proučavanje strukturnih i funkcionalnih veza organizama koji žive u vodama, kao njihovog dinamičnog fizičkog, hemijskog i biotičkog okruženja koji utiču na njih. Jezerski ekosistem je intimno spojen sa svojim slivnim područjem i atmosferskim uticajima, kao i sa postojećim podzemnim vodama, i njihovim metabolizmom, zatim sedimenata koji se transportuju kroz ili do vodnog sistema.

Tačno predviđanje obrazaca događaja u okviru vodenih ekosistema, kao odgovor na antropogena delovanja i poremećaje je osnovni cilj kombinacije analitičkih tehnika koje se mogu koristi za analizu i modelovanje kvaliteta vodnih sistema, i mogu biti:

1. Kvalitativna, opisna posmatranja obrazaca bioloških procesa i zajednica u odnosu na dinamično modelovanje osobina i svojstava životne sredine. Takve opisne, empirijske analize omogućavaju stvaranje hipoteza, odnosno, konceptualna predviđanja koja se "oblikuju" iz odnosa među posmatranim uzorcima.
2. Eksperimentalna ispitivanja i ocenjivanjivanje kvantitativnih odgovora i varijacije merenih parametara usled reakcije vodnog tela na poremećaje, koriste se za definisanje akcije u ispitivanom sistemu. Simulacijom, odnosno, postavljanjem kvantitativno poznate smetnje na određenim delovima biodiverziteta ili ekosistema, dobija se uvid u mehanizme kontrole faktora koji regulišu funkcionisanje vodnog sistema.
3. Primena kvantitativnih modela baziranih na eksperimentu i rezultatima istih, je pouzdanija nego korišćenje slučajnih vrednosti ključnih promenljivih. Modeli omogućavaju širenje kvantitativnih odnosa, odnosno, hipotetički podaci se mogu ubaciti u teoretsku procenu sistema (simulacija) i dobiti proverljiv odgovor na ponašanje ovih varijabli.

Tačno predviđanje obrazaca događaja u okviru vodenih ekosistema, kao odgovor na antropogena delovanja i poremećaje je osnovni cilj kombinacije analitičkih tehnika koje se mogu koristi za analizu i modelovanje kvaliteta vodnih sistema, i mogu biti:

1. Kvalitativna, opisna posmatranja obrazaca bioloških procesa i zajednica u odnosu na dinamično modelovanje osobina i svojstava životne sredine. Takve opisne, empirijske analize omogućavaju stvaranje hipoteza, odnosno, konceptualna predviđanja koja se "oblikuju" iz odnosa među posmatranim uzorcima.
2. Eksperimentalna ispitivanja i ocenjivanjivanje kvantitativnih odgovora i varijacije merenih parametara usled reakcije vodnog tela na poremećaje, koriste se za definisanje

akcije u ispitivanom sistemu. Simulacijom, odnosno, postavljanjem kvantitativno poznate smetnje na određenim delovima biodiverziteta ili ekosistema, dobija se uvid u mehanizme kontrole faktora koji regulišu funkcionisanje vodnog sistema.

3. Primena kvantitativnih modela baziranih na eksperimentu i rezultatima istih, je pouzdanija nego korišćenje slučajnih vrednosti ključnih promenljivih. Modeli omogućavaju širenje kvantitativnih odnosa, odnosno, hipotetički podaci se mogu ubaciti u teoretsku procenu sistema (simulacija) i dobiti proverljiv odgovor na ponašanje ovih varijabli.



**Slika 5.3.** Metodologija praćenja kvaliteta vodnog tela

U osnovi se postavlja tehnološki izazov realizacije sistema upravljanja vodnim telima, Slika 5.3. Osnovna dilema je kako u sistemu zapremine  $20 \times 10^6 \text{ m}^3$  vode uzeti, odabratи, pravi reprezentativan uzorak. Upravljanje vodnim telima postavlja uslov da na osnovu uzorka dobijemo sve potrebne podatke neophodne za upravljanje vodnim telom. Tu se postavlja dilema da li uzorkovanje treba fiksirati za mesto uzorkovanja i vreme, ili meriti na jednom mestu u različitim vremenskim intervalima. Izbor dubine merenja je značajan kao i broj mernih tačaka na izabranom vodenom stubu. Da li je dovoljno meriti na većem broju lokacija vodnog sistema i gde? Onda ključno pitanje je šta meriti? U nastavku teksta je mali spisak mernih parametara koji se koriste pri različitim analizama na vodnim sistemima, u cilju boljeg upoznavanja sa samim sistemom. Izbor mernih parametara je problem za sebe. Izbor parametara zavisi od načina kvantifikacije parametara koji se koriste na vodnom sistemu.

**Tabela 5.1** Parametri kvalitea vode i njihove jedinice mere

| <b>Parametri</b>                                 | <b>Jedinice</b>             |
|--|-----------------------------|
| Temperatura vazduha                              | °C                          |
| Atmosferski ugljen dioksid                       | mg l <sup>-1</sup>          |
| Barometarski pritisak                            | hPa                         |
| Frekvencija merenja                              | s <sup>-1</sup>             |
| Udeo hlorida                                     | mg l <sup>-1</sup>          |
| Hlorofil fluoroscencija                          | mV                          |
| Hlorofil fluoroscencija                          | FTU                         |
| Hlorofil fluoroscencija                          | μg l <sup>-1</sup>          |
| Boja rastvotene organske materije Absorpcija     | mV                          |
| Boja rastvotene organske materije Absorpcija     | m <sup>-1</sup>             |
| Boja rastvotene organske materije Absorpcija     | mg l <sup>-1</sup>          |
| Boja rastvotene organske materije Fluoroscencija | mV                          |
| Boja rastvotene organske materije Fluoroscencija | QSU                         |
| Boja rastvotene organske materije Fluoroscencija | mg l <sup>-1</sup>          |
| Provodljivost                                    | μS cm <sup>-1</sup> @ 20 °C |
| Napon baterije uredjaja za sakupljanje podataka  | V                           |
| Temperatura uredjaja za sakupljanje podataka     | °C                          |
| Dubina   | m                           |
| Temperatura kondenzacije                         | °C                          |
| Rastvoreni ugljen dioksid                        | mg l <sup>-1</sup>          |
| Koncentracija rastvorenog kiseonika              | mg l <sup>-1</sup>          |
| Zasićenost rastvorenog kiseonika                 | %                           |

|   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| Toplotni fluks isparavanja                | $\text{W m}^{-2}$                     |
| Koeficijent slabljenja osvetljenja        | $\text{m}^{-1}$                       |
| Svetlosna propustljivost                  | %                                     |
| Nitrati                                   | $\text{mg l}^{-1}$                    |
| pH  | unitless                              |
| Površinski aktivna radijacija fotosinteze | $\mu\text{mole m}^{-2} \text{s}^{-1}$ |
| Podvodna aktivna radijacija fotosinteze   | $\mu\text{mole m}^{-2} \text{s}^{-1}$ |
| Fluoroscenca fitocinanina                 | mV                                    |
| Fluoroscenca fitocinanina                 | FTU                                   |
| Fluoroscenca fitocinanina                 | $\mu\text{g l}^{-1}$                  |
| Padavine                                  | $\text{mm d}^{-1}$                    |
| Padavine                                  | $\text{cm d}^{-1}$                    |
| Eh  | unitless                              |
| Redukcioni oksidacioni potencijal         | unitless                              |
| Referentna temperatura                    | $^{\circ}\text{C}$                    |
| Relativna vlažnost                        | %                                     |
| Zasićeni pritisak pare                    | kPa                                   |
| Napon baterija senzora                    | V                                     |
| Temperatura zemljišta                     | $^{\circ}\text{C}$                    |
| Napon solarnih ploča                      | V                                     |
| Zamućenost                                | NTU                                   |
| Zamućenost                                | FTU                                   |
| Zamućenost                                | mV                                    |
| Prozračnost                               | mV                                    |

|                          |                                      |
|--------------------------|--------------------------------------|
| Prozračnost              | %                                    |
| Ultravioletna radijacija | W m <sup>-2</sup>                    |
| Ultravioletna radijacija | Kcal m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> |
| Napon pare               | kPa                                  |
| Zasićenost napona pare   | %                                    |
| Nivo vode                | m                                    |
| Nivo vode                | mamsl                                |
| Temperatura vode         | °C                                   |
| Brzina vode horizontalna | cm s <sup>-1</sup>                   |
| Brzina vode vertikalna   | cm s <sup>-1</sup>                   |
| Visina talasa            | m                                    |
| Talasni period           | h                                    |
| Pravac vetra             | degrees 0-360                        |
| Brzina vetra             | m s <sup>-1</sup>                    |
| Brzina vetra             | km h <sup>-1</sup>                   |
| Brzina vetra             | knots                                |
| Salinitet                | ‰                                    |
| Specifična provodljivost | µS cm <sup>-1</sup>                  |

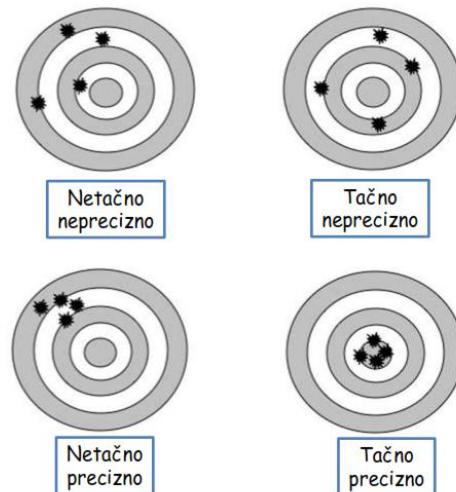
Kada se sve analizira, ne postoji pravilo izbora mernog sistema, parametara, načina merenja i na kraju analize. U tom slučaju najbolje je držati se, u tom trenutku, zakonski propisanih normi i na taj način vršiti merenja i analize stanja sistema koji se analizira. Ne treba tajiti činjenicu da se realizacija monitoringa bira prema raspoloživim sredstvima, a ne prema raspoloživim tehničkim rešenjima.

Pri klasičnom pristupu merenjima parametara kvaliteta vode, tačnost i preciznost se postižu razvijanjem metodologije merenja, standarda i analitičkih uređaja. Mana ovakvom pristupu još uvek je definisanje i uzimanje reprezentativnog uzorka.

| Parametri  | Godina |
|--|--------|
| Fizicki parametri vode (temperatura vode, provodljivost, svetlosna propustljivost) | 1980   |

|  |      |
|--|------|
| Hemijski parametri vode (rastvoren i kiseonik, pH, suspendovane cestice) | 1990 |
| Parametri bioloških procesa (nivo hlorofila, nutrienti, cianotoksi)      | 2000 |

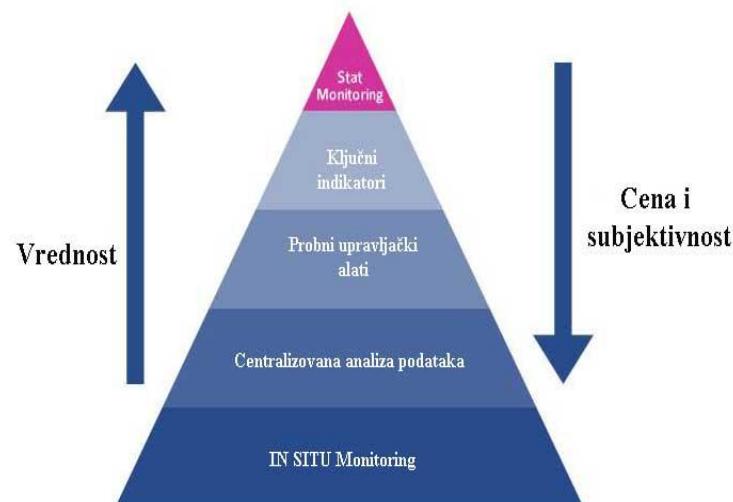
Osnov stalnog razvoja novih načina monitoringa je večita igra između tačnosti i preciznosti, šematski prikazana na slici 5.4.



Slika 5.4. Šematski prikaz odnosa tačnosti i preciznosti

Kod automatskih stanica, tačnost i preciznost se postiže velikim brojem merenja u vremenu i statistikom. Problem je i dalje odabir mernog mesta, odnosno vodenog stuba za postavljanje mernog sistema.

Višenamensko korišćenje akumulacija nameće pitanje obezbeđenja i upravljanja kvalitetom vode kao prioritetno. Ovo zahteva dobro poznavanje svih relevantnih procesa u akumulaciji koji utiču na kvalitet vode, a pre svega proces eutrofikacije. Tek nakon sagledavanja ovih procesa, moguće je projekovati pravilno upravljanje akumulacijom koje podrazumeava sve neophodne mere zaštite, kao i odgovarajući monitoring.



Slika 5.5. Nivoi i odnosi vrednosti, cene i subjektivnosti u oceni kvaliteta vodnog tela

## STRATEGIJA MONITORINGA VODNIH TELA

Monitoring omogućava korisnicima svakodnevno obaveštenje o statusu sistema koji se posmatra. Svakodnevni izveštaj sadrži sve promene koje se dešavaju u sistemu. Automatski monitoring pomaže i pri smanjenju operativnih troškova i povećanju efikasnosti, jer je prilagođen za rad sa velikim brojem podataka. Monitoring treba da garantuje ažurno informisanje, a princip kreiranja usluge je kompleksan proces koji u osnovi omogućava pouzdan rad.

### Obrazovni monitoring

U ovom slučaju, svrha monitoringa nije da se otkriju i procene problemi vezani za kvalitet vode, već da se nauči kako jezero funkcioniše. Proces monitoringa je osmišljen tako da se naglase promene ili razlike između stanica tokom godine. DO, temperatura, pH, i Secchi dubina su dobri parametri za početak. Najbolji izbor bi bio, ako ima novca, i merenje nutrienata, TP i SRT.



Slika 5.6. Svetski dan zaštita voda 2015

Svi ovi parametri se primetno menjaju sa promenom godišnjeg doba, dubine, a verovatno i stanice. Ako se radi na dubokom jezeru, može da bude postavljeno i više od jedne stanice, uzorkovanje na dve različite dubine će biti korisnije, nego uzorkovanje na dva različita mesta. Dodatne stanice, mogu biti postavljene da bi se pokazali uticaji plitkih zaliva, ulivnih potoka ili drugih karakteristika. Uzorkovanje treba da se u osnovi dešava jednom, ili više puta tokom leta i možda jednom zimi, mada je to naravno zavisno od vremena koje je na raspolaganju.

### Uopštena karakterizacija jezera

Ovde je zadatak prikupljanje informacija iz svih slojeva jezera, kao neka vrsta osnovne studije za bolje razumevanje jezera. Trebalo bi mnogo stanica odabratи za karakterizaciju svakog pojedinačnog dela jezera. Uliv, odliv, mali zaliv, korov koji pokriva jezero, postavljanje stanica duž srednje linija presecanja jezera i na dve ili više dubina su neke od ideja kakav može biti odabir stanica.

Svi opisani parametri su potrebni za sveobuhvatnu karakterizaciju. Uzorkovanje tokom jednog godišnjeg doba verovatno će obezbediti dovoljno informacija za generalnu karakterizaciju kako različiti delovi jezera funkcionišu. Zbog opšte prirode ovog zadatka, ne bi bilo svrhe u nastavljanju programa uzorkovanja tokom dužeg vremenskog perioda. Verovatno bi posle prve sezone, nekoliko mesta uzorkovanja, bilo isključeno, a mereni parametri doterani tako da se stvori jeftiniji i usredsređeniji program, pogodan za duži vremenski period.

## Procena kvaliteta vode

U ovom slučaju zadatak je da se odredi ili oceni kvalitet vode jezera. DO, pH, temperatura i Secchi dubina bi naravno bili određivani, jer su laki i jeftini za uzorkovanje. TP, SRP i verovatno hlorofil a bili bi dovoljni za ocenu kvaliteta vode, u mnogim slučajevima. Za naučne svrhe podaci o TN, NO<sub>3</sub>-NO<sub>2</sub> i NH<sub>4</sub> bili bi velika prednost. Merenje na jednoj stanici, na dve dubine, bi dalo adekvatnu uopštenu ocenu. Ako je krajnji cilj korišćenje podataka za monitoring trendova vode, program uzorkovanja će trajati godinama i biće ponavljan svakih nekoliko godina, da bi se nastavio trend monitoringa.

Većina programa monitoringa koji nisu samo obrazovni, u principu se odvijaju negde između generalnog karakterizacionog pristupa i pristupa procene kvaliteta vode. U principu se monitoring vrši na najmanje dve stanice (što je jezero veće, to ih je više) i svi nabrojani parametri se nadziru, za najmanje dve značajne stanice ili dubine. Na manje važnim stanicama, na terenu se najčešće mere DO, pH, temperatura i Secchi dubina. Opštne definicije za razne vrste programa posmatranja životne sredine su bili predloženi koja takođe mogu biti modifikovani i tumačiti za vodenu sredinu i to:



**Slika 5.7.** Šest Faza Evaluacije problema vodnih tela

U osnovi planiranja ovog projekta svakako leže problemi uzorkovanja i čuvanja uzoraka do same analize uzoraka vode na vodnim telima, kao i mali broj uzorkovanja (četiri godišnje). Takvim načinom praćenja kvaliteta vodnih tela nije moguće utvrditi dinamiku promena samih vodnih tela, što se najbolje video 2013. godine na akumulaciji Vrutci kod Užica.

Ljudi su se razvili od psihološko relativno beznačajnih potrošača do domišljatih, intelektualnih bića i geoхemijaških korisnika spoljnih izvora energije i materijala za građenje svoje civilizacije i povećanje dominacije. Ljudi troše 10 do 20 puta (na severnoj hemisferi 50 do 100 puta) više energije nego što je potrebno za njihov metabolizam. Poremećaj vodenog okruženja indirektno

uzrokovano energetskom potrošnjom, može da nadmaši onu koja uzrokuje izbacivanje izlučevina (Slika 5.9). Većina energije koju industrijsko društvo koristi kao svoju prednost (pravljenje topote, upravljanje pejzažom, gradskom strukturu, poljoprivredom, šumarstvom, geološkim istraživanjima, građenjem brana) na kraju utiče i narušava ekosistem. Ljudi - kao kopnena bića - direktno utiču prvenstveno na kopnenu okolinu; ali, pošto su kopno i voden ekosistem povezani i zbog osetljivosti ovog drugog, naglašen uticaj civilizacije na ekologiju se prvo odražava na voden ekosistem. Mnoge posledice rasipanja energije su primetne i u atmosferi, koja se ponaša kao efikasana pokretna traka za mnoge zagađivače. Ljudska moć da remeti okolinu, teži da ide ispred tehnoloških mogućnosti za odgovor na uticaj na okolinu.

*Ekosistem* može da se definiše kao jedinica okoline u kojoj se, kao rezultat ulaza sunčeve energije, biološka zajednica (primarni proizvođači, potrošači i razlagači) održava; protok energije se koristi da se organizuje sistem i praćen je ciklusima vode, nutrienata i drugih elemenata i životnim ciklusom kroz različite korisnike hrane na različitim nivoima. Članovi ekosistema su povezani različitim povratnim spregama (homeostaza) i kao takvi prilagođeni koegzistenciji u svrhu zajedničkog napredovanja. Mreža kontrola i ravnoteža uključuje mnoštvo prenosa organskih i neorganskih supstanci - mrežu hrane, nutrienata, alelohemikalija- i stvara od ekosistema funkcionalnu jedinicu.

Drugi zakon termodinamike kaže da će svaki spontani proces biti praćen porastom entropije:

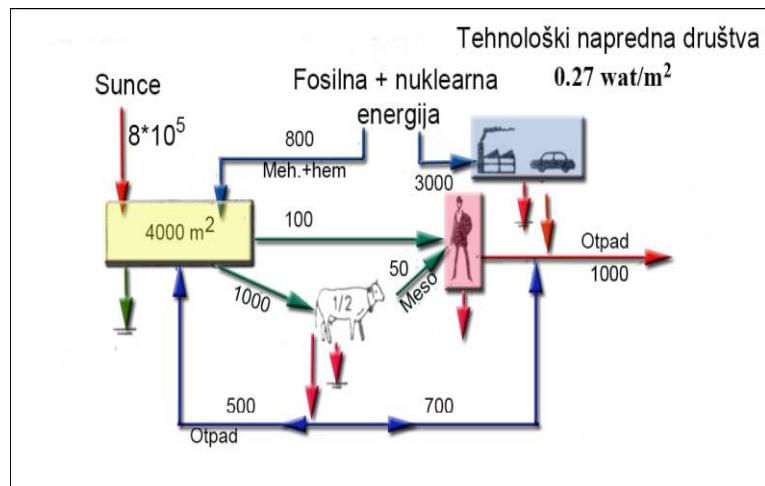
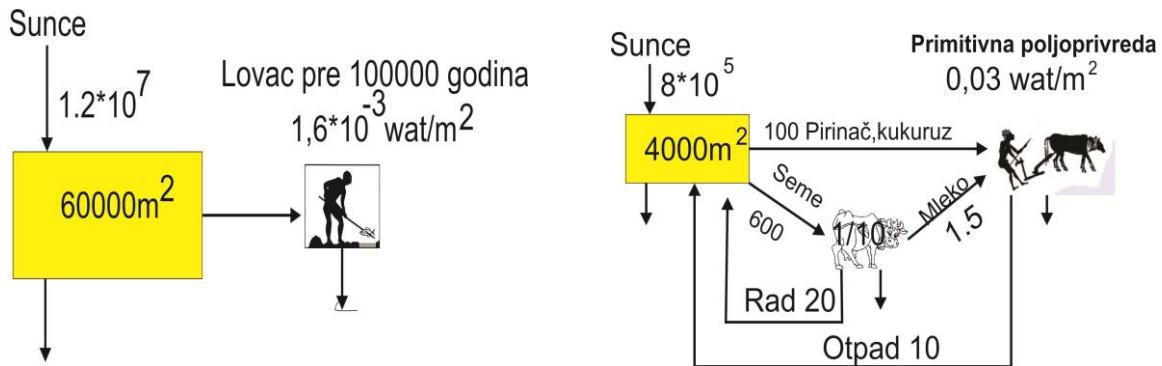
$$dS(\text{izvor, odvod}) + dS(\text{ekosistem}) \geq 0.$$

Zbog uslova  $dS(\text{izvor,odvod}) > 0$ , entropija ekosistema može da opada da bude:

$$-dS(\text{ekosistem}) \leq dS(\text{izvor,odvod}).$$

Opadanje se ogleda sređivanjem ekosistema i prisustva neverovatno visokog sjedinjavanja energije kao živih bića. Njihova organizacija je uređena na račun povećanja entropije u okolini. Do sada smo nastojali da različitim subjektima priđemo na kvantitativan i rigorozan način. U ovom poglavlju, naprotiv, često ćemo morati da se oslonimo na kvalitativne, a često i spekulativne argumente, jer je naše poimanje elastičnosti vodenog ekosistema ozbiljno ometeno nedostatkom teorijskih i dovoljnih empirijskih informacija o efektima fizičkih i hemijskih poremećaja vodenih ekosistema.

U nova vremena, ljudima treba mnogo više energije za upravljanje okolinom i ekološku dominaciju, nego za metaboličke procese. Pre oko  $10^5$  godina, lovcu je bilo potrebno oko 60000 m<sup>2</sup> zemlje, da bi obezbedio svoje potrebe. Od primitivne poljoprivrede, produktivnost zemlje je porasla do faktora 15. Stoka (1/10 govečeta po osobi) obezbeđuje minimum proteina (mleka). Intenzivna poljoprivreda, koja sada preovladava u zapadnom svetu, dovela je do enormnog povećanja produktivnosti. Ali, uporedo sa produktivnošću raste i kvalitet hrane (biljni proizvodi bivaju zamjenjeni životinjskim- 1/2 govečeta po osobi), ljudima i dalje treba približno 4000 m<sup>2</sup> zemlje za obezbeđivanje hrane. Sistem nije više zatvoren. Posledice trošenja energije imaju na okolinu mnogo veći uticaj od izbacivanja izlučevina.



**Slika 5.8.** Potrebe za energijom i zemljom kod primitivnog i modernog čoveka.

U nova vremena, ljudima treba mnogo više energije za upravljanje okolinom i ekološku dominaciju, nego za metaboličke procese. Pre oko  $10^5$  godina, lovcu je bilo potrebno oko  $60000 \text{ m}^2$  zemlje, da bi obezbedio svoje potrebe. Od primitivne poljoprivrede, produktivnost zemlje je porasla do faktora 15. Stoka (1/10 govečeta po osobi) obezbeđuje minimum proteina (mleka). Intenzivna poljoprivreda, koja sada preovladava u zapadnom svetu, dovila je do enormnog povećanja produktivnosti. Ali, uporedo sa produktivnošću raste i kvalitet hrane (biljni proizvodi bivaju zamjenjeni životinjskim- 1/2 govečeta po osobi), ljudima i dalje treba približno  $4000 \text{ m}^2$  zemlje za obezbeđivanje hrane. Sistem nije više zatvoren. Posledice trošenja energije imaju na okolini mnogo veći uticaj od izbacivanja izlučevina.

Za održavanje naše kulture i civilizacije i poboljšanje kvaliteta života, a posebno za proizvodnju hrane za sve veću svetsku populaciju, potrebno je da nastavimo da zavisimo od upotrebe tehnologije i energije. Društveni kriterijumi i rastući pritisak za socijalnom jednakosću moraju uporedno utvrditi naučni i tehnološki razvoj, naučni i tehnološki razvoj.

## ZAGAĐENJE I KVALITET VODE

U opštem smislu, zagađenje se opisuje kao menjanje životnog okruženja, tako da ono postaje nepovoljno za nas i naš život u njemu. Ovakav opis podrazumeava da zagađenje nije isto što i dodavanje kontaminenata ili zagađivača u okolinu, već da može da rezultira i iz drugih direktnih ili indirektnih aktivnosti čoveka.

**Zavisnost kopnenog i vodenog ekosistema.** Ljudi sve više utiču na cikluse koji povezuju kopno, vodu i atmosferu. Na primer, tehnološki ulaz energije u kopneni ekosistem (npr. sečenje šuma, pretvaranje livada u njive, intenziviranje poljoprivredne proizvodnje, melioracija zemlje) smanjuje količinu biomase (smanjenje vegetacije); ovo, zauzvrat, utiče na mikroklimu i smanjuje evapotranspiraciju, tako da povećava oticanje i stopu erozije i saltacije. Ubrzani ciklusi nutrienata i brži transport čvrstih materija povećava stopu sedimentacije i vodi ka obogaćivanju vodenih površina nutrientima zajedno sa hemijskim i biološkim promenama vodenih staništa. Očigledno, svaki vodeni ekosistem ima fizičke, hemijske, biološke i geološke ulaze i izlaze. Odnos fluksa zagađivača i prirodnog fluksa, povećava se sa povećanjem aktivnosti društva. Kvalitet vodene mase tako generalno odražava opseg ljudskih aktivnosti u oblasti sliva. Uopšteno rečeno, potencijalno narušavanje jezera, reka, estuara i priobalnih oblasti, može da bude povezan sa gustom naseljenosti i rasipanjem energije u drenažnim oblastima ove vodene mase. Ovi podaci mogu biti povezani sa biotičkim energetskim fluksom (energija oblikovana fotosintezom) i ulazom sunčeve energije do površine zemlje. U većini zemalja severne hemisfere energetski fluks stanovništva upadljivo prelazi biotički energetski fluks.

## PARAMETRI UKUPNOG OPTEREĆENJA

Opterećenje zagađenjem može da bude povezano sa gustom naseljenosti i sa stvaranjem otpada po glavi stanovnika u drenažnim oblastima. Potencijal opterećenja  $J$  različitih reka i estuara može da bude izračunat na sledeći način:

$$J = \frac{\text{inhibitori}}{\text{drenažna oblast}} \times \frac{\text{drenažna oblast}}{\text{oticaj}} \times \frac{\text{ili bruto društveni proizvod}}{\text{glava stanovnika}} \times \frac{\text{stvaranje otpada, ili potrošnja energije,}}{(1 - \eta)} \quad (1a)$$

gde je  $\eta$  efikasnost primenjenih zaštitnih mera, na okolinu (reciklaža, zadržavanje i obrada otpada).

Slično, poređenja radi, za opterećenje u jezera može da se koristi  $J^3$ :

$$J^3 = \frac{\text{inhibitori}}{\text{drenažna oblast}} \times \frac{\text{drenažna oblast}}{\text{oblast jezera}} \times \frac{1}{\text{dubina jezera}} \times \frac{\text{stvaranje otpada, ili potrošnja energije}}{\text{glava stanovnika}} \times (1 - \eta)$$

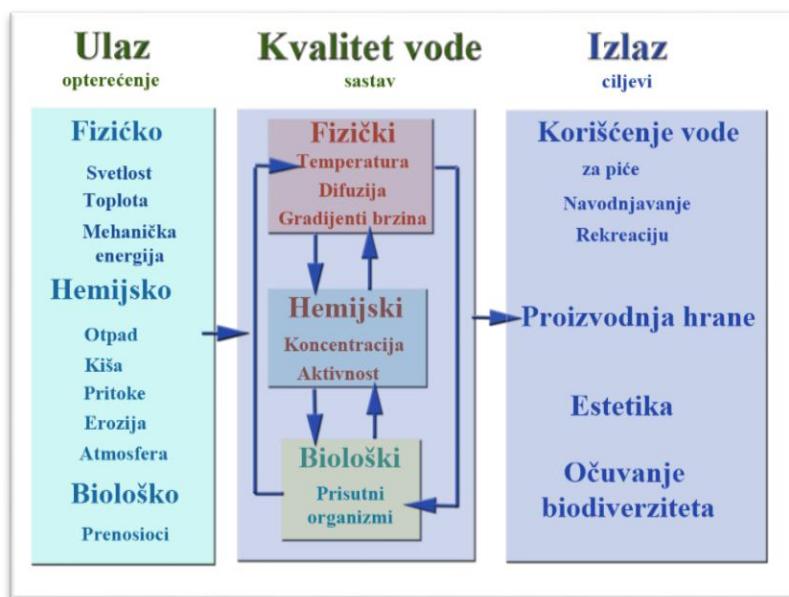
Bruto nacionalni proizvod po jedinici vremena, u drenažnim oblastima, može da se koristi za procenu obima potencijala za stvaranje otpada, jer on predstavlja ekonomsku produkciju, koja je vrednost materijalnih dobara i usluga za privatnu ili javnu potrošnju. U Tabeli 1, dato je poređenje parametara opterećenja za neke reke. Očigledno površina vode drenažnih oblasti koje su gusto naseljene i razvijene industrializacije, pripadaju gušće punjenim vodenim sistemima.

## HEMIJSKA DINAMIKA ZAGAĐENIH SLIVOVA

Na slivove uticaj imaju: padavine, raspadanje stena, poljoprivredni oticaji i komunalni i industrijski otpad. Hemijska masa fluksa konstituenata utiče na obim zagađenja i na mnoge druge procese koji se odigravaju u drenažnim oblastima. Koristeći podatke iz geologije, sastav kišnice, način upotrebe zemlje i gustinu naseljenosti ljudi i domaćih životinja i razmatrajući zavisnost koncentracije protoka, mogu biti uočeni različiti procesi povezani sa masenim fluksom.

**Izbacivanje otpada i sastav ulivnih tokova:** Slika 5.9, predstavlja šematski prikaz odnosa između punjenja (ulaz), kvaliteta vode i ciljeva korišćenja vode (izlaz). Zagađenje vode se sastoji od materija koje plove i zavisi od gustine populacije, životnog stila i kulturnih aktivnosti. Različiti emiteri se izražavaju kao protoci (faktori kapaciteta, npr. kg/vreme, vat). Rezultujući vodeni sastav se, u suštini, određuje interakcijom hemijskih, fizičkih i bioloških faktora, koji su svi faktori intenziteta (aktivnost, koncentracija, redoks potencijal, temperatura, gradijent brzine). Ove promenljive intenzitete pored svih aktivnosti hemijskih sastojaka, određuju pre svega tip zajednice organizama koji će u vodi biti prisutni.

**Kriterijumi kvaliteta vode:** naučno ustanovljeni zahtevi vezani za faktore intenziteta. Ovi faktori čine osnovu za ocenu, poštujući usaglašenost vodenog sastava sa ekološkim ciljevima ili naznačenom svrhom vode. **Standardi** su nivo tolerancije koji je vlada ustanovila kao program za smanjenje zagađenja vode.



**Slika 5.9.** Prenosne funkcije između punjenja (imisije\*) i vodenog sastava (koncentracije vodenih vrsta)

Imisija i vodi sastav zavise od mnoštva procesa (apsorpcije, bioakumulacije, sedimentacije, samo-prečišćavanja, itd). Samo sa rastvorljivim umerenim imisijama, jednostavan model

razređivanja daje koncentraciju rastvorka. Za potok sa stopom protoka  $Q$ , hemijski maseni fluks  $L$  je često sastavljen od  $Q$ -nezavisnog masenog fluksa,  $A$  (na primer kod relativno konstantnog pražnjenja otpadaka) i  $Q$ -zavisnog dela  $bQ$  (kao pozadina flukseva, kao što su uravnotežavanje sa stenama i elucija soli). Bitno je napraviti razliku između imisije (ulaza) i emisije (izlaza).

$$L = CQ = A + bQ \quad (2)$$

Ova jednačina ne sme biti prihvaćena nekritički: njena valjanost će zavisiti između ostalog i od vremena tokom kog je  $Q$  prosečna vrednost.

## KRITERIJUMI KVALITETA VODE

Ciljevi osnovne upotrebe vode su navedeni kao izlaz na Slici 5.9.. Očuvanje slatke vode kao snabdevača piјačom vodom i održavanje prirodnih voda kao sistema za očuvanje života (proizvodnja hrane iz vode, skladišta za genetsku raznovrsnost), su među najvažnijim ciljevima kontrole zagađenosti vode. Teško je objektivno oceniti i sistematizovati kvalitet vode jer:

1. Efekat sastava vode na razne ekološke posledice je slabo shvaćen i veoma težak za merenje;
2. Veoma je teško definisati referentno stanje, tj. hipotetički, pređašnji oblik vode.

Sledeća dva kriterijuma za kvalitet vode su najčešće korišćena u prošloj deceniji:

1. Niska koncentracija rastvorenog kiseonika, ili deficit saturacije kiseonika, kao indeks zagađenja i biohemijska potreba za kiseonikom, kao parametar opterećenja;
2. "Organizmi indikatori" koji ukazuju na postojanje izvesnih zagađenja. Na kraju veka, u Nemačkoj osmišljen je saprobic indeks za klasifikaciju organizama u odnosu na uslove okoline, koji su im optimalni.

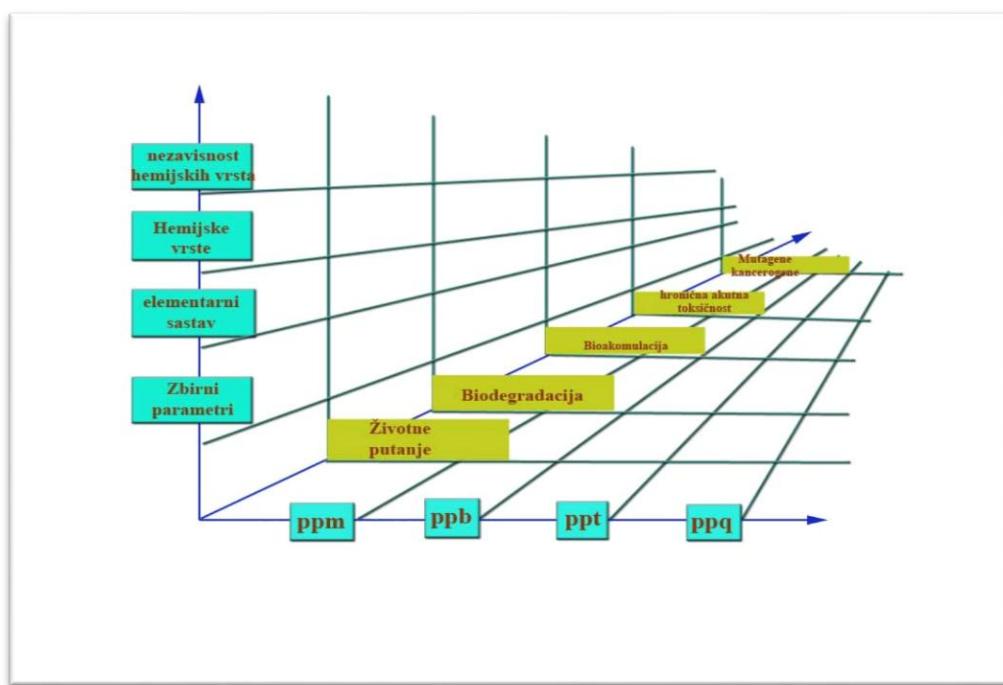
Koncept je ilustrovan na Slici 5.11.. Međutim, kao takav on sam ne može više da bude dovoljan za procenu i standardizaciju kvaliteta vode iz sledećih razloga:

1. Priroda zagađenja, kao što ćemo videti, se promenila tokom poslednjih decenija, posebno u industrijalizovanim i visoko naseljenim regionima. Koncentracija rastvorenog kiseonika i tipični organizmi indikatori prvenstveno se odnose samo na jednu vrstu vrstu zagađenja (truležne materije koje uzrokuju heterotrofnu reakciju organizama). Aktivnost kiseonika je očigledno ekološki važan parametar, ali mnoge supstance mogu da naruše ekologiju ulivnih tokova ili negativno utiču na pitkost vode ili nemaju uticaja na DO.
2. U tumačenju prisustva organizama indikatora, često nismo svesni uzročno-posledičnih veza. Hemijska aktivnost (zajedno sa fizičkim faktorima) uzročno određuje osobine vode. Organizmi indikatori su značajno sredstvo za kvalitet vode samo kod voda gde su u početku bili indikatori. Danas, moderna analitička hemija može da odredi brojne parametre koji utiču na kvalitet vode i biocenozu direktnije od bioogleda koji se oslanjaju na prisustvo određenog organizma.
- 3.

Pošto se priroda zagađenja promenila tokom poslednjih decenija, ovi parametri kvaliteta takođe više ne zadovoljavaju procenu kvaliteta vode.

## HEMIJSKI KONTEKST KVALITETA VODE

Bezuslovan kriterijum kvaliteta vode je hemijski model pomoću koga nivoe tolerancije uskladjujemo sa označenom namenom vode i on može biti racionalizovan i kvantifikovan. U merenju i kvantifikaciji različitih hemijskih promenljivih (uključujući i zagađivače), prvo se rešavaju analitički problem osetljivosti i specifičnosti. Analitička hemija je ostvarila izvanredan napredak u povećanju osetljivosti otkrivanja. Sa novim gasnim hromatografom i elektrohemijskim senzorima, ili koristeći atomske absorpcije bez plamena ili aktivacije neutrona, neke komponente mogu biti rutinski otkrivene u koncentraciji nižoj od  $10^{-3}$  µg/litr.



**Slika 5.10.** Tumačenje okoline zavisi još i od znanja o putevima i biogeohemijskim jednakostima (stehiometrijski odnosi u stenama, sedimentima, bioti, itd).

Poznavanje fizioloških i toksikoloških odgovornosti pojedinih organizama za faktore u okolini je uslov za razumevanje rasprostranjenosti i obilja vodenog sveta.

Uticaj supstance (biološka dostupnost, fiziološki i toksični efekti, hemijska i geohemijska reaktivnost) na okruženje zavisi od njene strukture; na primer  $\text{CuCO}_3$  (aq) utiče na rast algi, na drugačiji način od  $\text{Cu}^{2+}$  (aq); organski izomeri se uglavnom razlikuju po svom toksikološkom efektu. Dok je gasni hromatograf visoke rezolucije sposoban da otkrije veliki broj supstanci visoke osetljivosti (Slika 4), često ni jedna pojedinačna trenutno dostupna metoda ne dozvoljava sigurnu identifikaciju mnogih neorganskih grupa i zato se uglavnom oslanjamamo na hemijske modele za otkrivanje tih vrsta i za određivanje njihove međusobne zavisnosti.

Max Blumer je zaključio: "Važno je težiti za analizama koje obezbeđuju najveću moguću razgradnju i najkompletniji uvid u komponente prirodnih mešavina. Moramo da ostanemo obazrivi prilikom usvajanja nivoa tolerancije, sve dok analize ne budu u potpunosti urađene,

treba da predlažemo i zahtevamo faktore sigurnosti koji su adekvatna zaštita od nepredviđenih efekata još nesumnjivo biološki aktivnih jedinjenja u okruženju”.

## TRENOVI U OPTEREĆENJU ZAGAĐENJA

Ukupno opterećenje zagađenja je poraslo, i njegova svopjstva su se promenile. Pre nekoliko decenija veliki deo našeg otpada je bio pretežno katabolički (izlučevine ljudi i životinja i druge biogene komponante), sad je sve više i više sastavljeno od materija što odbacuje moderno industrijsko društvo (sintetičke hemikalije, proizvodi rudarstva (fosfati, metali), nus proizvodi sagorevanja fosilnih goriva i proizvodnje energije (metali, oksidi S, N i H, toplosta, radioaktivni izotopi)). Promena sastava otpada je očigledna kada poredimo kako se rast odražava na stanovništvo sa industrijskim aktivnostima:

Mnoge industrijske hemikalije dolaze do ulivnih tokova indirektno (preko domaćinstava, poljoprivredne drenaže, atmosfere). Promene karaktera i vrste unosa zagađenja su posebno uočljive u gusto naseljenim i visoko industrijalizovanim oblastima. Uobičajena primarna i sekundarna obrada komunalnog i industrijskog otpada u oblasti slivova ne može da spreči progresivno nagomilavanje supstanci otpornih na biorazgradnju u vodi, jer samoprečišćavanje i biološka obrada otpada nisu efikasni kod ovih relativno otpornih hemikalija. Ove supstance značajno ometaju biocenuzu vode, u određenim delovima toka broj vrsta se drastično smanjio.

## FIZIČKE KARAKTERISTIKE JEZERA

Ne postoje dva identična vodna tela. Ona se međusobno mogu razlikovati po veličini, dubini, broju i veličini ulaznih i izlaznih tokova i konfiguraciji obala. Svaki od ovih fizičkih faktora na smenu utiču na karakteristike jezera. Neke od karakteristika utiču na vrstu riba u jezeru, verovatnoću da će obale jezera biti prekrivene korovom, da li će alge da utiču na zelenu boju jezera tokom leta, ili da li je voda tokom leta dovoljno topla za kupanje ili je pogodna kao izvor piće vode. Fizički faktori, takođe, utiču na odluku o lokaciji uzorkovanja, parametrima monitoringa kvaliteta vode i predstavljanju prikupljenih podataka.

### Dubina jezera

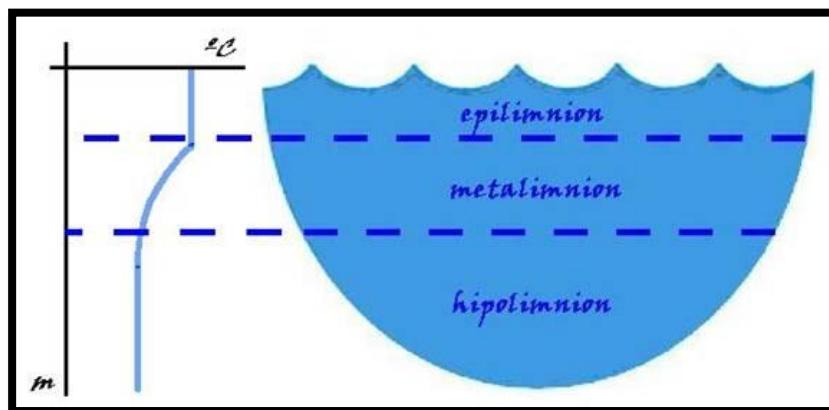
U dubokim jezerima, voda na površini može u mnogome da se razlikuje po fizičkim, hemijskim i biološkim karakteristikama u odnosu na vodu na dnu. Sloj pri vrhu meša vetar i zagreva sunce. Zbog prisustva svetla i viših temperatura tu žive mnogi organizmi. Što ima više organizama koji vrše fotosintezu, dišu, jedu i rastu, veća je stopa rasta i produktivnosti. Sloj pri dnu, dubokog jezera, prima veoma malo ili nimalo svetla. Voda je hladnija, vetar je ne meša i raspadanje organske materije, takozvano truljenje, je osnovna fizička, biološka i hemijska aktivnost.

Plitko jezero je homogenije-istog sastava od površine do dna. Vetar dobro meša vodu, a fizičke karakteristike, kao što su, na primer, temperatura i koncentracija kiseonika, malo variraju sa promenom dubine. S obzirom na to da sunčeva svetlost dopire do samog dna, fotosinteza i rast odigravaju se celom dužinom jezera. Kao što je to slučaj u dubokom jezeru, i u plitkom jezeru je truljenje izraženije pri dnu, iz prostog razloga što biljke i životinje koje uginu, tonu. Takođe je verovatnije da je u plitkom jezeru veći deo vode obasjan suncem, pa su, samim tim, fotosinteza i rast proporcionalno veći.

## Karakteristike jezera

**Epilimnion** - (grč. epi - na, iznad i grč. limnion - jezerce) Gornji sloj jezerske vode, sastavljen od uniformno zagrejene vode, koju vetar može dobro da izmeša. Iznad termokline voda je manje ili više ravnomerno zagrejana, cirkuliše, te je značajno turbulentna, odnosno postoji mešanje. On obuhvata prostor od nekoliko santimetara do nekoliko metara od površine jezera. U njemu je temperatura viša, a voda je pod direktnim uticajem sunca i zagrevanja.

Pad temperature je pravilan i dopire do sloja ispod, koji se naziva metalimnion. Epilimnion je bogat fitoplanktonom. Jezara malih dubina najčešće imaju samo ovaj sloj vode, dok ostala dva izostaju.



Slika 5.11 Slojevi u jezeru

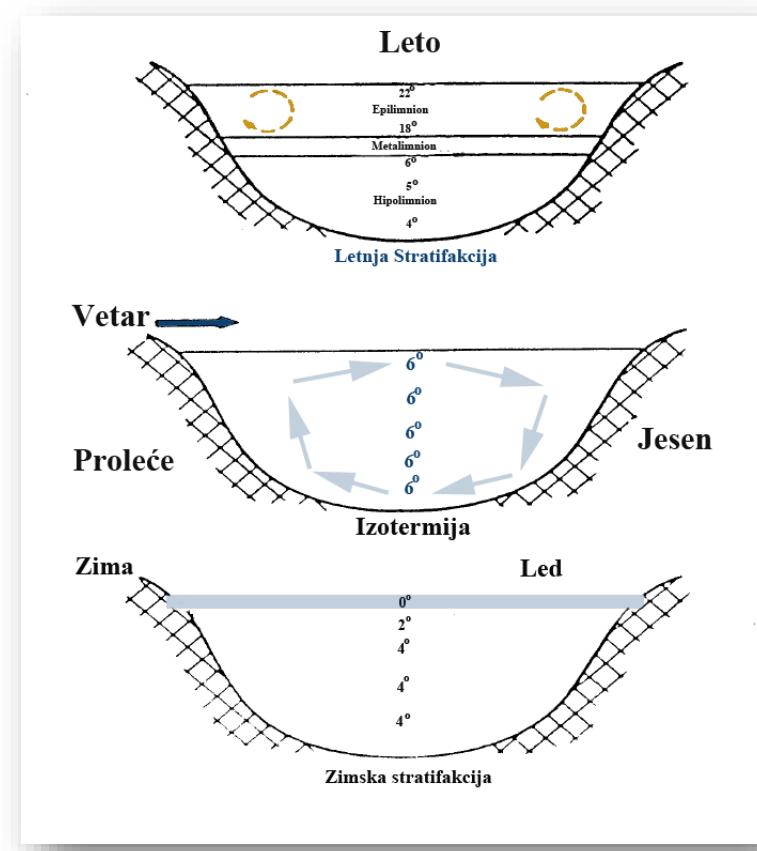
**Metalimnion** - Srednji sloj jezerske vode, koji označava prelaz između površinskog i sloja pri dnu, gde se temperatura rapidno menja sa promenom dubine. Sloj u temperaturno stratifikovanim jezerima između epilimniona i hipolimniona, karakteriše se naglim temperaturnim padom. U metalimnionu se nalazi ravan temperaturnog skoka, koja se označava kao termoklina. Zbog nagle promene u gustini vode, metalimnion se ponaša kao fizička barijera, koja ometa i sprečava cirkulaciju suspendovanih čestica i organizama iz epilimniona u hipolimnion, i obratno.

U jezerima u metalimnionu je temperatura niža (za  $\sim 10^{\circ}\text{C}/\text{m}$ ), a gustina vode raste. Razlog nastanka ovakvih promena u metalimnionu, objašnjava se činjenicom da u epilimnionu, dolazi do mešanja vode usled vetrova, kao i uticaja sunca, što ovde izostaje. Metalimnion nije uvek na istoj dubini, pa tako varira od 10-30 metara, u zavisnosti od doba godine, temperature vazduha, talasa i dr.

**Hipolimnion** (grč. hypo - ispod, dole i grč. limnion - jezerce) je sloj vode u basenu jezera koji se nalazi ispod metalimniona. On obuhvata prostor od temperaturnog gradijenta do dna jezera i u njemu se ne zapaža značajna promena temperature. Ovaj pojas vodnog tela je po pravilu najhladniji tokom leta, a najtoplji tokom zime. Temperatura je konstantna i kreće se oko  $4^{\circ}\text{C}$ , svetlost ne dopire i odsutno je mešanje vode.

Usled jedinstvenih fizičkih karakteristika i velike specifične toplove u vodi, u procesu apsorpcije dolazi do transformisanja svetlosne energije u toploputnu, i njenog akumuliranja. Termalna provodljivost vode je vrlo mala, tako da je razmena toplove između slojeva vode uslovljena njenim mešanjem, koje zavisi od razlike u gustini vode, energije vetra i vodenih struja.

U toku proleća, u umerenom regionu, u vodenim biotopima dovoljne dubine, površinsko zagrevanje vode je brže nego što je distribucija toplove usled mešanja vode. Stoga dolazi do razlike u gustini vode površinskog (toplja i ređa voda) i dubljih slojeva (hladnija i gušća voda) i uspostavljanja tri zone različitih temperatura, koje se zbog toga opiru mešanju: epilimniona, metalimniona epolimniona.



Slika 5.12 Stratifikacija jezera

U srednjoj zoni - metalimnionu, uspostavlja se zona naglog temperaturnog pada - termoklina. Takvo stanje, koje obično traje tokom leta, označava se kao direktna temperaturna stratifikacija. Do obrnutog procesa dolazi tokom zime. Nakon obrazovanja ledenog pokrivača sloj vode ispod njega je obično hladniji od 4°C i zbog toga i ređi od dubljih slojeva čija je temperatura 4°C ili više. Takvo stanje se označava kao indirektna temperaturna stratifikacija.

Između ovih perioda, tokom proleća i jeseni, u umerenoj zoni dolazi do procesa mešanja vode - cirkulacije. U zavisnosti od tipa (tipova) temperaturne stratifikacije koja se uspostavlja, razlikujemo nekoliko tipova jezera:

- amiktička jezera ,
- hladna monomiktička jezera,
- topla monomiktička jezera,
- dimiktička jezera,
- oligomiktička jezera,
- polimiktička jezera,
- holomiktička jezera i
- meromiktička jezera.

Tip temperaturne stratifikacije zavisi od veličine (zapremine) jezera, geografske širine, nadmorske visine, a u specijalnim slučajevima i hemijskog sastava vode (naročito salaniteta).

## Veličina jezera

Jezera se po veličini razlikuju od jezeraca, nešto većih od bara, do akumulacija koje su preko 50 milja dugačka. Kao što se i prepostavlja, jezerce i akumulacija su sasvim različiti sistemi. Mada postoji samo nekoliko jasnih pravila kojima se upravljamo kada poredimo jezera po veličini, veličina utiče na mnoge značajne odnose. Neki od primera su: odnos površine jezera i dužine obale, procenat ukupne zapremine vode obasan sunčevom svetlošću i odnos veličine sliva i jezera. Svi ovi odnosi utiču na funkcionisanje jezera. Mala jezera sa većom površinom obale u odnosu na količinu vode, mogu biti podložnija uništenju sa obale ili aktivnošću sliva.

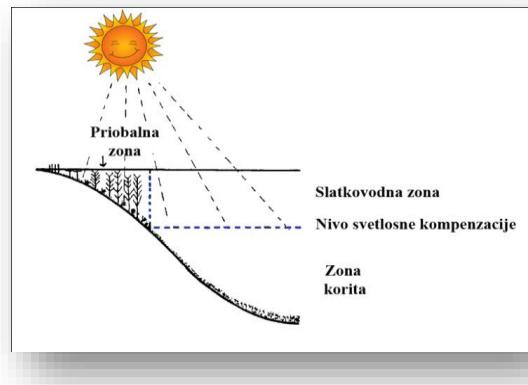
## Ulivanje i izlivanje

Veličina i broj slivova koji utiču i ističu iz jezera određuju koliko vremena prođe od ulaska kapljice u jezero, do njenog izlaska. Taj proces se naziva proticanje. Voda u nekim jezerima istekne za nekoliko dana, dok u drugim treba i nekoliko godina. Postoje jezera koja su samo proširenja reka, gde ulazni tokovi formiraju najveći deo ukupne zapremine jezera. Ovakvo jezero relativno brzo protiče. U drugim jezerima, ulive je nemoguće videti; oni su rezultat podzemnih voda i padavina.

U prvom slučaju, kvalitet vode koja utiče je najvažniji faktor koji određuje i kvalitet jezerske vode. U drugom slučaju, procesi u samom jezeru i podzemne vode određuju kvalitet vode u jezeru. Gledano u funkciji zagađenja, bolje je da jezero što brže protiče, jer zagađivači ne stignu da nanesu preveliku štetu. Takođe, kod jezera koja brže protiču, ranije se uočavaju i mere zaštite od zagađenja.

## Konfiguracija obale

Još jedna važna karakteristika jezera je oblik obale. Plitki zalivi i ulazi su topliji i produktivniji od ostalih delova jezera.



Slika 5.13 Konfiguracija obale

Jezero sa mnogo ovakvih struktura biće različito od onog koje nije razuđeno, a ima oble, glatke obale. Ova razlika je posebno važna pri pravljenju plana za monitoring. U drugom slučaju, stacioniranje stanice za uzorkovanje na sredini jezera, daće odgovarajuće rezultate za čitavo jezero. Kod jezera na koja veliki uticaj imaju plitki zalivi, kvalitet vode će zavisiti od lokacije na kojoj se uzorkuje i verovatno će biti neophodno pozicioniranje više mernih stanica.

## PARAMETRI KVALITETA JEZERSKE VODE

U ovom odeljku će se govoriti o parametrima na koje se najčešće testira jezerska voda. To su temperatura, rastvoreni kiseonik, pH, dubina Secchi diskom, nutrienti, ukupne suspendovane materije i zamućenost, hlorofil a i fekalne koliformne bakterije.

### Temperatura

Temperatura ima najvažniji uticaj na biološku aktivnost i rast. U suštini, što je viša temperatura, povećana je i biološka aktivnost. Temperatura takođe utiče i na vrstu organizama koji će živeti u jezeru. Ribe, insekti, zooplankton, fitoplankton i ostale vodene vrste imaju određeni temperturni optimum. Ako temperatura poraste mnogo iznad ovog opsega, ili padne ispod donje granice, broj individua pojedine vrste će se smanjivati do konačnog izumiranja.

Temperatura je veoma značajna i zbog uticaja na hemijske procese u vodi. Brzina hemijskih reakcija u principu se povećava sa porastom temperature, što dalje ubrzava i biološku aktivnost. Važan primer uticaja temperature na hemijske reakcije u vodi je njen uticaj na koncentraciju kiseonika. Koncentracija kiseonika u hladnoj vodi je niža nego u toploj, pa čak iako je ona zasićena kiseonikom neće ga biti dovoljno za opstanak vodenog života. Neka jedinjenja su toksičnija za vodeni svet na višim temperaturama.

Najočigledniji razlog zbog kog dolazi do promene temperature jezerske vode je promena temperature vazduha, u različitim godišnjim dobima. Takođe, može doći i do dnevnih varijacija, posebno u površinskom sloju, koji se tokom dana zagreva, a tokom noći hlađi.

U dubokim jezerima, tokom leta, dolazi do raslojavanja vode sa jasno izraženom razlikom u temperaturama. Ovaj proces se naziva *temperaturna stratifikacija*. Sloj vode na površini je zagrejan pod dejstvom sunca, ali sloj pri dnu ostaje hladan. Ova razlika može da se oseti kada ronite u jezeru. Kada nastupi stratifikacija, ovaj proces se nastavlja do jeseni, kada temperatura vazduha, ponovo opada. Pošto se slojevi međusobno ne mešaju, oni imaju različite fizičke i hemijske karakteristike. Na primer, koncentracija rastvorenog kiseonika, pH, koncentracija nutrienata i vrste vodenog sveta mogu da budu veoma različiti u gornjim i donjim slojevima jezerske vode. Kao da postoje dva različita jezera.

Kada se u jesen, temperatura gornjeg sloja ponovo snizi i približi vrednosti sloja pri dnu, proces stratifikacije je završen i slojevi se ponovo mešaju. Ovaj proces se naziva jesenja *fluktuacija*. Sličan proces se odvija i u proleće, kada se hladniji površinski sloj zagreva do temperature sloja pri dnu. Tada ponovo dolazi do mešanja ovih slojeva. Ovaj proces sa naziva prolećna fluktuacija. Mešanje slojeva koje je u vezi sa fluktuacijom, obično je praćeno povećanjem mutnoće jezera. Ovu promenu možete uočiti tokom jeseni.

U plitkim jezerima sunce obasjava veću površinu jezera, nego u dubokim, pa se plitka jezera brže i intezivnije zagrevaju. Na temperaturu jezera takođe utiče i veličina i temperatura priliva (npr. hladni izvori nastali u proleće ili ravničarski potok) i koliko brzo utiču u jezero. Čak i plitko jezero ostaje srazmerno hladno, ako u njega utiče veliki, ledeni potok.

Toplotno zagađenje (veštački izazvano visokim temperaturama) skoro uvek je rezultat ispuštanja komunalnih ili industrijskih otpadnih voda. Osim u baš velikim jezerima, retko je ispuštanje otpadnih voda. U gradskim sredinama, proticanje vode preko vrelog asfalta i betonskog pločnika, pre uticanja u jezero, usloviće njeni veštačko zagrevanje i može da dovede do porasta temperature jezera. Mada, u većini slučajeva ovaj uticaj je toliko mali, da se čak i ne meri. Zbog toga, direktno, merenje termalnog zagađenja nije jednostavno. Međutim, pošto potoci i reke sačinjavaju najveći deo uliva u neko jezero, onda oni i imaju najveći indirektni uticaj na topotno zagađenje.

## Rastvoreni kiseonik

Kako kopnenim životinjama, tako je i ribama i ostalim vodenim organizmima kiseonik neophodan za život. Kada voda prolazi mimo njihovih škriga (ili bilo kog drugog sistema za disanje), mikroskopski mehurići kiseonika, u obliku gasa, takozvani rastvoreni kiseonik (DO), prenosi se iz vode u njihovu krv. Kao i bilo koji drugi gasni difuzioni proces, prenos će biti efikasan samo kada je koncentracija dovoljno visoka. Drugim rečima, kiseonik može biti prisutan u vodi, ali u toliko maloj koncentraciji, da voden svet ne može da preživi. Kiseonik je, takođe, veoma bitan i za hemijske reakcije koje su neophodne za funkcionisanje jezera.

Kiseonik se stvara tokom fotosinteze, a troši u procesima disanja i truljenja. Pošto je neophodno prisustvo svetlosti, proces fotosinteze se odigrava samo tokom dana. Disanje i truljenje, s druge strane, odigravaju se tokom 24 časa. Samo ova razlika dovoljna je za objašnjenje dnevne varijacije u koncentraciji DO. Tokom noći, kada fotosinteza ne može da nadoknadi koncentraciju kiseonika koja se troši disanjem i

truljenjem, koncentracija DO u stalnom je opadanju. Najniža je pred svanuće, kada se fotosinteza ponovo nastavlja. Ostali izvori kiseonika su vazduh i potoci koji se ulivaju u jezero. Koncentracija kiseonika je mnogo viša u vazduhu, oko 21%, nego u vodi, gde je samo oko 1%. Na mestu dodira vazduha i vode, ova ogromna razlika u koncentracijama uzrokuje rastvaranje molekula kiseonika, iz vazduha, u vodi. Kada duva vetar, talasi povećavaju površinu vode, difuzioni proces se lakše odvija, pa se i koncentracija rastvorenog kiseonika povećava. Sličan proces se odvija i kada dodamo šećer u šoljicu kafe, šećer se rastvara. Brže će se rastvarati kada se kafa meša. Reke i potoci, takođe, donose kiseonik u jezero, posebno ako su turbulentni i dobro aerisani kada se ulivaju u jezero. Shodno svemu navedenom, jasno je da je prirodna varijacija koncentracije DO uzrokovana vетром i različitim ulivnim tokovima (npr. višim i turbulentnijim tokom zimskih meseci).

Jos jedan fizički proces koji utiče na koncentraciju DO je odnos između temperature vode i zasićenosti gasom. Hladna voda sadrži veću koncentraciju gasa, a to je DO, nego topla voda. Topla voda lako postaje „zasićena“ kiseonikom. Kako voda postaje toplija, sadrži sve manje DO. Tako, tokom letnjih meseci ili u toplijem, gornjem sloju jezerske vode, ukupna koncentracija kiseonika može da bude limitirana temperaturom. Koncentracija DO može drastično da se menja sa promenom dubine. Proizvodnja kiseonika se odigrava u površinskom sloju jezera, gde sunčevi zraci pokreću proces fotosinteze. Potrošnja kiseonika je najveća na dnu, gde dolazi do truljenja potonulih organskih materija. U dubokim jezerima, podložnim stratifikaciji, ova razlika može biti ogromna - obilje kiseonika na vrhu, a na dnu praktično ni malo. Ako se radi o plitkom jezeru koje vetar lako meša, koncentracija DO može biti potpuno ujednačena po celoj zapremini jezera. Sezonske promene, takođe, utiču na koncentraciju DO. Više temperature tokom letnjih meseci ubrzavaju fotosintezu i truljenje. Kada sve biljke uvenu, na kraju perioda vegetacije, njihovo raspadanje rezultuje potrošnjom velike koncentracije kiseonika i uslovljava ostale sezonske događanja, kao što su promena vodostaja jezera, zapremine uliva i odliva, i prisustva ledenog pokrivača. Sve ovo je uzrok prirodne varijacije koncentracije DO.

Zagađenje uzrokuje smanjenje prosečne koncentracije DO, do nivoa u kom ono utiče na razlaganje organskih materija (otpadnih voda ili otkosa travnjaka) ili na nutriente koji stimulišu njihov rast. Kada dođe do nagomilavanja organske materije u jezeru, na primer zbog rasta algi, deo kiseonika koji je proizveden tokom rasta ublažiće eventualni gubitak do kog dolazi tokom procesa truljenja. Međutim, u jezerima gde velika količina organske materije potiče od izvora van jezera, ne postoji ravnoteža između proizvodnje i potrošnje kiseonika i niska koncentracija DO postaje još veći problem.

## pH

pH uzorkovane vode je mera koncentracije hidrogen jona. Termin pH je izведен iz načina na koji je izračunata koncentracija hidrogen jona. To je negativni logaritam koncentracije hidrogen jona ( $H^+$ ). Nama koji nismo matematičari, ovo znači da što je viši pH, to je manje slobodnih hidrogen jona, i da se promena pH vrednosti za jedan stepen odražava na desetostruku promenu koncentracije vodoničnih jona. Na primer, u rastvoru ima 10 puta više slobodnih hidrogen jona pri pH 7, nego kada je pH 8. pH skala se kreće u opsegu od 0 do 14. pH 7 se odnosi na neutralan

rastvor. Supstance kod koji je pH manji od 7 su kisele, a sa pH većim od 7 su bazne. pH vrednost vode određuje rastvorljivost (količinu neke supstance koja može biti u njoj rastvorena) i biološku raspoloživost (količinu koju može da iskoristi voden svet) hemijskih sastojaka, kao što su nutrienti (fosfor, azot, ugljenik) i teški metali (olovo, bakar, kadmijum, itd.). Na primer, u zavisnosti od toga koliko i u kom obliku je voda bogata fosforom, pH će određivati da li će on biti upotrebljiv za voden svet. Što se tiče teških metala, od stepena rastvorenosti zavisiće i njihova toksičnost. Metali su toksičniji pri nižim pH, jer su bolje rastvoreni.

Tokom fotosinteze koriste se molekuli vodonika, što uslovljava smanjenje koncentracije hidrogen jona, pa samim tim i povećanje vrednosti pH. Baš iz ovog razloga, pH može da bude viši tokom dana i u sezoni vegetacije, kada je fotosinteza najizraženija. Procesi disanja i truljenja snižavaju pH vrednost. Kao i koncentracija DO, i pH može da se menja, sa promenom dubine, ponovo zbog različitog intenziteta procesa fotosinteze i drugih hemijskih reakcija.

Srećom, jezerska voda je kompleksan sistem; pun hemijskih „šok absorbera“ koji sprečavaju preveliku razliku u pH vrednostima. Niske ili lokalizovane promene pH brzo bivaju modifikovane različitim hemijskim reakcijama, tako da se ove male ili ni male promene mogu meriti. Ova sposobnost da pH odoleva promenama naziva se *puferski kapacitet*. Određivanjem puferskog kapaciteta ne samo da mogu da se kontrolisu lokalizovane promene vrednosti pH, već i ukupan opseg pH promena u prirodnim uslovima. pH skala je određena vrednostima od 0 do 14, mada se pH vrednost vode kreće između 6.5 i 8.5.

Kada zagađenje rezultira povećanjem produktivnosti (npr. od povišene temperature ili prekomerne količine nutrienata), pH vrednost raste u meri koju to dozvoljava puferski kapacitet jezera. Iako manje promene pH vrednosti, u principu, nemaju direktni uticaj na voden svet, one blago utiču na raspoloživost i rastvorljivost hemijskih struktura i mogu povećati probleme vezane za nutiente. Na primer, promena pH vrednosti može da dovede do povišene koncentracije fosfora, čineći ga pristupačnjim za rast biljaka i kao rezultat toga, povećava se potrošnja DO, na duži vremenski period. Vrednosti pH se izražavaju standardnim pH jedinicama, obično sa jednim ili dva decimalna broja, zavisno od preciznosti korišćene opreme. Pošto pH predstavlja negativan logaritam broja, nije matematički korektno računati jednostavne prosečne vrednosti ili raditi drugu zbirnu statistiku. Umesto toga, pH treba da bude dat kao srednja vrednost ili opseg vrednosti. Ne postoji numerički State water quality standard za pH vrednost jezera. Standardno očitavanje je „nema merljive razlike od prirodnih uslova“. (pH 5-6 ili niže je toksično za ribe, po podacima EPA).

U principu, tokom letnjih meseci u gornjim slojevima produktivnijeg ili eutrofnog jezera, pH će biti između 7.5 i 8.5. Pri dnu, ili u jezeru sa manjom produktivnošću, pH će biti niže, najverovatnije između 6.5 i 7.5. Ovo je opšti zaključak da bi se uočile razlike dobijene tokom merenja.

## Prozračnost -dubina Secchi disk

Secchi disk je okrugla ploča, podeljena na četvrte obojene naizmenično crnom i belom bojom. Disk je privezan na kanap i spušta se u vodu sve dok je vidljiv. Dubina određena Secchi diskom je mera prozračnosti vode. Viša očitana vrednost znači da je više kanapa potopljeno, pre nego što je postao nevidljiv i tada se radi o čistoj vodi. Niža očitana vrednost je kod mutne i neprozračne

vode. U čistoj vodi svetlost se propušta do veće dubine jezera, nego u mutnoj vodi. Svetlo omogućava odvijanje procesa fotosinteze i stvaranje kiseonika. **Pravilo palca** glasi da svetlost biva propuštena do dubine od 1.7 puta veće od one koja je izmerena Secchi diskom. Prozračnost je određena količinom algi, česticama tla i ostalim materijama rastvorenim u vodi. Međutim, Secchi disk je prvobitno korišćen kao indikator količine algi i ukupne produktivnosti jezera. Iako je samo indikator, dubina određena Secchi diskom je jedna od najjednostavnijih i najefektivnijih metoda za procenu produktivnosti jezera.

Očitavanja Secchi diskova se razlikuju sezonski, sa promenom procesa fotosinteze i, samim tim, i rastom algi. U većini jezera, očitavanja Secchi diskova počinju da opadaju u proleće, sa porastom temperature i pojačanim rastom, i nastavljaju da opada do najintenzivnijeg rasta algi, u letu. Kako vreme postaje hladnije i rast prestaje, očitavanja Secchi diskova ponovo rastu. (Međutim, hladnije vreme često znači više vetra. U plitkim jezerima, povećanje prozračnosti, od smanjenog rasta algi, može biti delimično uzrokovano povećanjem koncentracije sedimenata koji se mešaju pod uticajem vetra). U jezerima u kojima dolazi do temperaturne stratifikacije, očitavanja Sechhi diskova mogu da budu ponovo smanjena sa jesenjom fluktuacijom. Kako se površina jezera hlađi, temperaturna stratifikacija nastala tokom leta, slabiji i dolazi do mešanja jezera. Nutrienti oslobođeni sa dna mogu da uzrokuju jesenje cvetanje algi i rezultat je smanjeno očitavanje Sechhi diskova. Oluje takođe mogu da utiču na očitavanja. Spiranja nastala usled jakih kiša, oticanja i potoci velikih snaga mogu da povećaju koncentraciju suspendovanih čestica u ulivima i samim tim smanje vrednosti očitavanja Sechhi diskova. S druge strane, temperatura i zapremina vode koja se uliva u jezero mogu da budu dovoljne da jezersku vodu razrede hladnjom i čistijom vodom i uspore rast algi. Oba, i čistija voda i usporaniji rast algi, kao rezultat imaju povećanje očitavanja Secchi diskom.

Prirodna boja vode, takođe, utiče na vrednosti merenja. U većini jezera, uticaj boje je beznačajan. Mada, neka jezera mogu biti jako obojena. Jezera koja su pod snažnim uticajem tresetišta, često su tamno braon i očitavanja Secchi diskova su kod njih niska, čak iako u sebi imaju malu količinu algi. Zagadenje smanjuje prozračnost vode. Bogat vodenim sliv i posna zemlja prouzrokuju pojačano spiranje, više organskih materija i nutrienata, i zbog ovoga dolazi do povećanja broja suspendovanih čestica i rasta algi. Dubina određena Seki (Sechhi) diskom se obično izražava u metrima kao desetina metra. Očitavanja Seki (Sechhi) diskom mogu da se koriste za određivanje trofičnosti jezera. Status trofičnosti nije u vezi ni sa jednim standardom kvaliteta vode, to je samo mehanizam za ocenu produktivnosti jezera.

### Koncentracija nutrienata

Nutrienti u jezeru imaju istu funkciju kao i nutrienti u bašti. Oni su fundamentalni za rast. U bašti se, rast i produktivnost smatraju korisnim, ali to, uglavnom, nije tako i u jezeru. Dodatni rast algi i drugih biljaka koji je uslovjen prisustvom nutrienata, može biti koristan do neke granice, ali lako može da postane i štetan. Osnovni nutrienti koji nas zanimaju su fosfor i azot. Oba elementa se mere na nekoliko načina. Fosfor može da se izražava kao ukupni fosfor (TP), ili rastvoren aktivni fosfor (SRP). SRP se takođe nekad definiše i kao fosfati ( $\text{PO}_4$ ) ili ortofosfati (orto-P). SRP predstavlja frakciju TP koja je organizmima dostupna za rast.

Azot može da bude izražen kao ukupni azot (TN), kao ukupni Kjeldahl azot (TKN), nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ). Najčešće se azot izražava kao nitrat-nitrit ( $\text{NO}_3^-$ - $\text{NO}_2^-$ ) ili amonijak ( $\text{NH}_4^+$ ). TN, kao i TP, se koristi da se izrazi ukupna količina azota u uzorku. TKN predstavlja frakciju TN koji nije na raspolaganju za rast u organskim strukturama; on takođe obuhvata i  $\text{NH}_4^+$ . Preostala frakcija  $\text{NO}_3^-$ - $\text{NO}_2^-$  i  $\text{NH}_4^+$  pretstavlja biodostupni oblik azota. Ako se one sabiju, mogu biti poređene sa SRP frakcijom fosfora.



**Slika 5.14.** "Sechhi" disk i školski merni kit

Jedan hemijski oblik elementa može da se konvertuje u drugi. Uslovi pod kojima se dešava konverzija su pod uticajem faktora kao što su pH, temperatura, koncentracija kiseonika i biološka aktivnost.

Ukupna koncentracija nutrienata (npr. TP ili TN) nije nužno i najkorisnija mera. Na primer, ako je uzorak analiziran na TP, svi oblici ovog elementa su uključeni u merenje, uključujući i fosfor koji je „zaključan“ u biološkom tkivu ili neke rastvorljive mineralne čestice. Mnogo bi bilo korisnije znati koncentraciju fosfora koji je zaista dostupan za rast. SRP bolje odražava biodostupnost.

Iako postoji mnogo različitih oblika nutrienata koji se mogu meriti, postoje tri najčešće korišćene kombinacije. To su (1) merenje svih oblika oba elementa – TP, SRP, TN,  $\text{NO}_3^-$ - $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ; (2) merenje samo ukupne količine nutrienata TP ili TN; (3) merenje samo dostupnih nutrienata-SRP i  $\text{NO}_3^-$ - $\text{NO}_2^-$  i  $\text{NH}_4^+$ . (U prvom primeru, umesto TN može da se meri TNK. U zavisnosti od toga koji oblik je meren, drugi može biti procenjen razlikom).

Koncentracija nutrienata i oblici u kojima se oni pronalaze menjaju se konstantno. Kako i zašto se menjaju je veoma kompleksno polje za istraživanje. Ukupni ulaz nutrienata varira, u zavisnosti od načina korišćenja zemlje, oko jezera, i od drugih faktora. Tokom leta, ulaz nutrienata može da poraste zbog đubrenja njive, travnjaka i bašti. Zimi, jake kiše uzrokuju povećano spiranje organskih materija, kao što su lišće, grančice, trava i drugi. Pošto truljenjem

organских materija nastaju nutrienti, ono predstavlja značajan izvor punjenja nutrientima. Da li će povećanje ukupne koncentracije nutrienata rezultirati povećanjem koncentracije ukupnih raspoloživih nutrienata, pa samim tim i povećanjem rasta i produktivnosti, zavisiće od izvornih oblika nutrienata i fizičkih uslova. Ako nutrient ulazi kao organska materija koja prvo treba da istruli, pre nego što bude iskorišćena, temperatura postaje bitan faktor, jer utiče na stopu truljenja. (Tokom letnjih meseci, nutrienti koji ulaze u sistem kao netaknuta organska materija, istruliće relativno brže nego tokom hladnih, kišnih meseci, kada je truljenje sporije.)

Ova dinamika je dalje otežana činjenicom da ubrzani rast vodi povećanju broja organizama, kojima je potrebno još više nutrienata. Pa, iako su nutrienti dostupniji, trenutno bivaju potrošeni. U ovom slučaju, povećanje ukupne količine nutrienata neće se odraziti nikakvim merljivim porastom dostupnih nutrienata.

Ukratko, prost i jasan odnos između porasta količine organske materije i drugih izvora nutrienata, i krajnjeg povećanja, bilo ukupne, bilo dostupne koncentracije nutrienata, ostaje nepoznat.

Koncentracija nutrienata može da varira i sa promenom dubine jezera. Pri površini jezera, gde svetlost stimuliše rast algi, ukupna koncentracija nutrienata može da bude viša nego dublje u jezeru. Ove visoke ukupne koncentracije nutrienata odražavaju se povećanjem koncentracije organske materije. Mada, pošto organizmi troše većinu proizvedenih nutrienata, dostupna koncentracija nutrienata može da bude niska. Zbog truljenja organskih materija formiranje dostupnih nutrienata od ukupne koncentracije nutrienata javlja se blizu dna jezera u širokom opsegu, dostupna koncentracija nutrienata biće viša pri dnu.

Većina izvora zagađenja doprinosi količini nutrienata u jednom ili drugom obliku. Ovi izvori su kišnica, koja nosi đubrivo sa njiva i travnjaka, kao i organske materije, kao što su lišće, trava i insekti, đubrivo sa životinjskih farmi ili od domaćih životinja, septičke Jame koje se ulivaju u jezero ili ulivi industrijskih i komunalnih otpadnih voda. Kako broj i veličina izvora zagađenja raste, raste i prosečna koncentracija nutrienata.

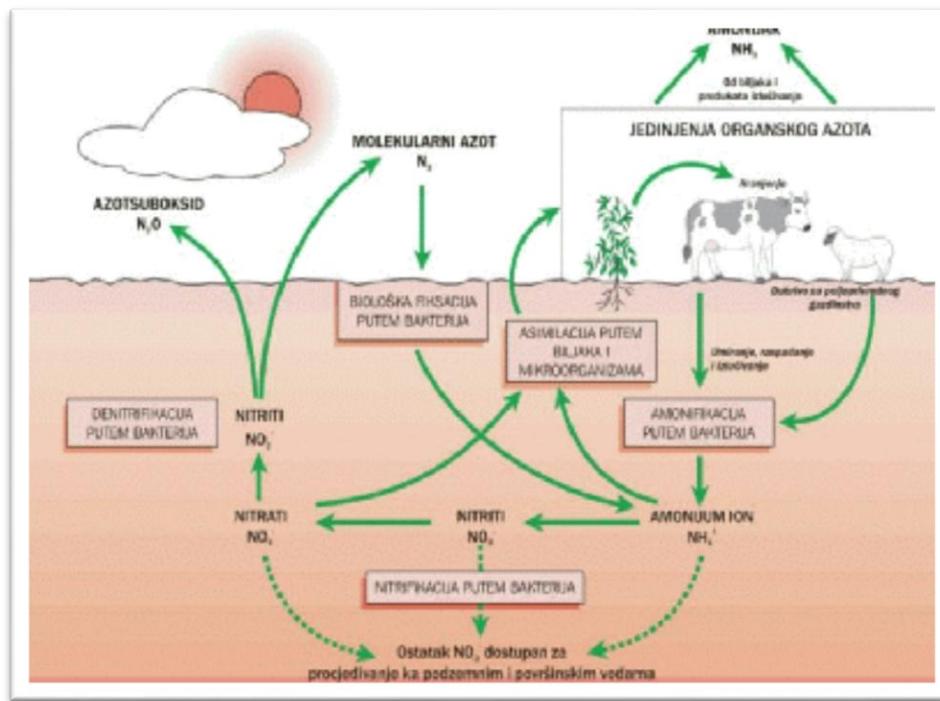
Koncentracija nutrienata se izražava u miligramima nutrienta po litru vode-mg/L, ili u mikrogramima po litru vode- $\mu$ g/L. Miligami po litru su isto što i ppm (eng. parts per million); mikrogram po litru je ppb (eng. parts per billion). Ne postoji standard kvaliteta vode koji uzima u obzir koncentraciju nutrienata. Koncentracija nutrienata za tri jezera Srbije su prikazana kao primer izmerenog opsega, koji možemo očekivati. Ukupna koncentracija fosfora može da se iskoristi radi određivanja statusa trofičnosti jezera.

Iako status trofičnosti nije povezan sa standardom kvaliteta vode, to je mehanizam za ocenu statusa produktivnosti jezera. Podaci o izračunavanju statusa trofičnosti su sadržani u poglavljju o tumačenju rezultata.

## ***Ukupne rastvorene čvrste materije i zamućenost***

Koncentracija ukupnih rastvorenih čvrstih materija (TSS) i zamućenost, su indikatori ukupne

količine čvrste materije koje su rastvorene u vodi, bilo da se radi o mineralima (npr. česticama tla) ili o organskim materijama (npr. alge). Međutim, TSS test meri stvarnu težinu materija u zapremini vode, dok se zamućenošću izražava količina rasejane svetlosti, u uzorku vode (više rastvorenih čestica uzrokuje veće rasejavanje). Ovo neslaganje se uočava kada pokušamo da izračunamo ukupnu količinu materija koja ulaze u jezero ili su već u njemu prisutne. Ovakvi proračuni su mogući sa TSS, ali ne i sa očitanom zamućenošću.



Slika 5.15 Kruženje nutrijenata u vodenom sistemu

Visoka koncentracija materije utiče na propuštanje svetlosti i produktivnost, rekreacione vrednosti, kvalitet staništa i uzrokuje brže punjenje jezra. Čestice, takođe, obezbeđuju pogodno mesto dodira sa zagađivačima, posebno metalima i bakterijama.

TSS i zamućenost variraju iz dva osnovna razloga, fizičkog i biološkog. Jake kiše i brze vode su erozivne. One mogu da nanesu prljavštinu i otpatke, tako da čak i nezagadjen ulivni potok izgleda mutno. Zato, jake padavine mogu da budu uzrok višim koncentracijama TSS ili povećanoj zamućenosti, posebno na mestu ulivanja potoka u jezero. U jezerima, najvažniji razlog za varijaciju ovih parametara predstavljaju sezonske promene u rastu algi. Visoka temperatura, dugo trajanje dana i oslobođenih nutrienata tokom procesa truljenja mogu da uzrokuju cvetanje algi.

Zagađenje ili osnovne ljudske aktivnosti najčešće za rezultat imaju povećanje koncentracije TSS. Iako većina ovih čestica može da padne na dno, dodatak nutrienata će na kraju uzrokovati rast algi.

Koncentracija TSS se izražava u miligramima suspendovane čvrste materije po litru vode- mg/L. Zamućenost se izražava kao nefelometrijska (NTU) ili Džeksonova zamućenost (JTU), zavisno od instrumenta kojim se vrši merenje. The state quality water koristi nefelometar za merenje zamućenosti. The standard state je da „zamućenost ne treba da prelazi za više od 5 NTU uslove podloge“. Zamućenost merena za tri jezera Zapadnog Vašingtona data je, da bismo ih uporedili. Merenje TSS nije moguće.

## **Hlorofil a**

Hlorofil je zeleni pigment biljaka koji im omogućava da pomoću svetla stvaraju energiju u procesu fotosinteze. Merenjem količine hlorofila, indirektno određujemo količinu biljaka koje vrše fotosintezu, u uzorku. U uzorku jezerske vode ove biljke su ili alge ili fitoplankton. Hlorofil je mera prisustva svih zelenih pigmenata, bilo da se radi o aktivnim (živim) ili neaktivnim (uginulim). Hlorofil a je mera dela pigmenta koji je još uvek aktivan. U stvari, to je deo koji je u trenutku uzorkovanja još vršio proces fotosinteze i disanja.

Kao što je do sada već bilo objašnjeno na DO, pH, nutrientima i dubini određenoj Secchi diskom, količina algi u jezeru u velikoj meri utiče na fizički, hemijski i biološki sastav. Alge stvaraju kiseonik tokom dnevne svetlosti, ali ga troše tokom noći i kada uginu tokom raspadanja. Truljenje algi uzrokuje i oslobađanje nutrienata koji omogućavaju dalji rast algi. Procesi fotosinteze i disanja menjaju pH vrednost jezera, a prisustvo algi u vodi je glavni faktor koji utiče na očitavanje Secchi diska. Alge svakako uzrokuju i estetske probleme jezera; zelena pena, svrab kod plivača i miris truljenja su problemi vezani za visoku koncentraciju algi.

Sunčeva svetlost, temperatura, nutrienti i vetar su ti koji utiču na količinu algi, pa samim tim i na koncentraciju hlorofila a. U proleće, kada vetar postaje topliji, dani sunčaniji, a nutrienata ima u izobilju, odigrava se izbjivanje ili procvat algi. Kako dani postaju topliji i sunčaniji, alge će nastaviti da rastu; međutim, ako se ova tendencija nastavi, one mogu da prerastu dostupnu količinu nutrienata. Kao posledica toga, ukupna količina izraslih algi, može biti ograničena. Vetar, takođe, može da utiče na populaciju algi.

Jak vetar meša jezero uzrokujući trenutno sniženje koncentracije algi, čim jezero biva pomešano. S druge strane, vetar takođe može da dovede do oslobađanja nutrienata u jezero, podsticanjem razdvajanja nutrienata od sedimenata na dnu. Kasnije, kako vetar jenjava, broj algi i koncentracija hlorofila mogu da porastu.

## ***Toksičnost algi***

Neke alge stvaraju otrove. U principu, količina stvorenog otrova je isuviše mala, da bi imala neki ozbiljan uticaj. Međutim ako populacija ovih algi postane isuviše brojna, koncentracija otrova može da postane problematično visoka. Dešavalo se da psi i životinje sa farmi uginu, jer su pili vodu u kojoj je bilo mnogo algi i njihovog otrova. Alge zbog kojih treba da budemo zabrinuti su iz grupe „modro-zelenih“- ime su dobile po boji pigmenta koji sadrže. Nekada možemo da ih identifikujemo kroz „modro-zeleno“ „cvetanje“ jezera, ili ako na površini jezera uočimo uljani, plavkasto-zeleni sjaj koji one stvaraju.

Kako leto prelazi u jesen, dan se skraćuje, temperatura opada, pa se i koncentracija algi smanjuje. Često, u dubljim jezerima gde dolazi do temperaturne stratifikacije, dolazi i do jesenjeg cvetanja algi, kada se jezero ponovo meša, a nutrienti se oslobođaju po celoj zapremini. Ukupan broj algi, pa samim tim i koncentracija hlorofila  $\alpha$ , veoma varira sa promenom dubine jezera. Alge moraju da budu u sloju pri površini da bi imale dovoljno svetla za vršenje procesa fotosinteze, da bi uopšte mogle da opstanu. Ako potonu u mračni sloj jezera, one će uginuti. Mada je određena količina živih algi (izmerena koncentracijom hlorofila  $\alpha$ ) nađena i u većim dubinama. Neke alge, kao što su modro-zelene, imaju interne „izvore plutanja“ koji im omogućavaju da regulišu dubinu na kojoj će se nalaziti, i tako ostanu u površinskom sloju da bi vršile fotosintezu i reprodukciju.

Kao što je već opisano, najveći problem vezan za zagađenje razvijenog sliva je povećana koncentracija nutrienata. Pošto je nedostatak nutrienata najčešći razlog za ograničen broj algi, povećanje koncentracije nutrienata, uzrokovano zagađenjem, često rezultira viškom algi. Populacija će nastaviti da raste, stvarajući već navedene estetske probleme jezera.

Hlorofil  $\alpha$  se izražava u  $\mu\text{g/L}$ . Ne postoji State water quality standard za hlorofil  $\alpha$ . Koncentracije hlorofila  $\alpha$  za tri jezera Zapadnog Vašingtona su prikazane kao primer opsega koji može da bude izmeren.

Koncentracija hlorofila  $\alpha$  se može koristiti i za određivanje trofičnosti jezera. Iako trofičnost nije u vezi sa standardom za kvalitet vode, on se koristi kao mehanizam za ocenu produktivnosti jezera. Način računanja trofičnosti se nalazi u delu o tumačenju dobijenih rezultata, na kraju poglavљa.

## ***Koncentracija fekalnih koliformnih bakterija***

Fekalne koliformne bakterije su mikroskopske životinje koje žive u digestivnom traktu toplokrvnih životinja. One se takođe nalaze i u otpadnom materijalu ili izmetu izlučenom iz crevnog trakta. Kada je u uzorku vode prisutan veliki broj fekalnih koliformnih bakterija, to znači da su u vodu dospele fekalne materija na ovaj ili onaj način. Iako nisu nužno agensi zaraze, fekalne koliformne bakterije su pokazatelji potencijalnog prisustva organizama koji prenose zarazu, koji žive u istoj sredini kao i fekalne koliformne bakterije.

Za razliku od ostalih parametara kvaliteta vode, fekalne koliformne bakterije su živi organizmi. One se brzo umnožavaju kada su uslovi povoljni i veliki broj njih izumire kada nisu povoljni. Pošto koncentracija bakterija zavisi od specifičnih uslova za rast, a ovi uslovi se brzo menjaju, nije lako predvideti broj fekalnih koliformnih bakterija. Na primer, iako zimske padavine spiraju više fekalnih materija iz gradskih sredina u jezero, hladna voda uzrokuje izumiranje velikog broja organizama. Direktno izlaganje sunčevoj svetlosti je takođe pogubno za bakterije, pa izumiranje može da bude visokog stepena, čak iako je voda leti topla.

Jezera visoko zagađena nutrientima mogu da sadrže nisku koncentraciju fekalnih koliformnih bakterija. Sve zavisi od izvora zagađenja. Urbanizacija slivova može da stvori novi izvor fekalnih koliformnih bakterija, pri čemu „stari“ izvori nestaju - na primer, kada se obradiva

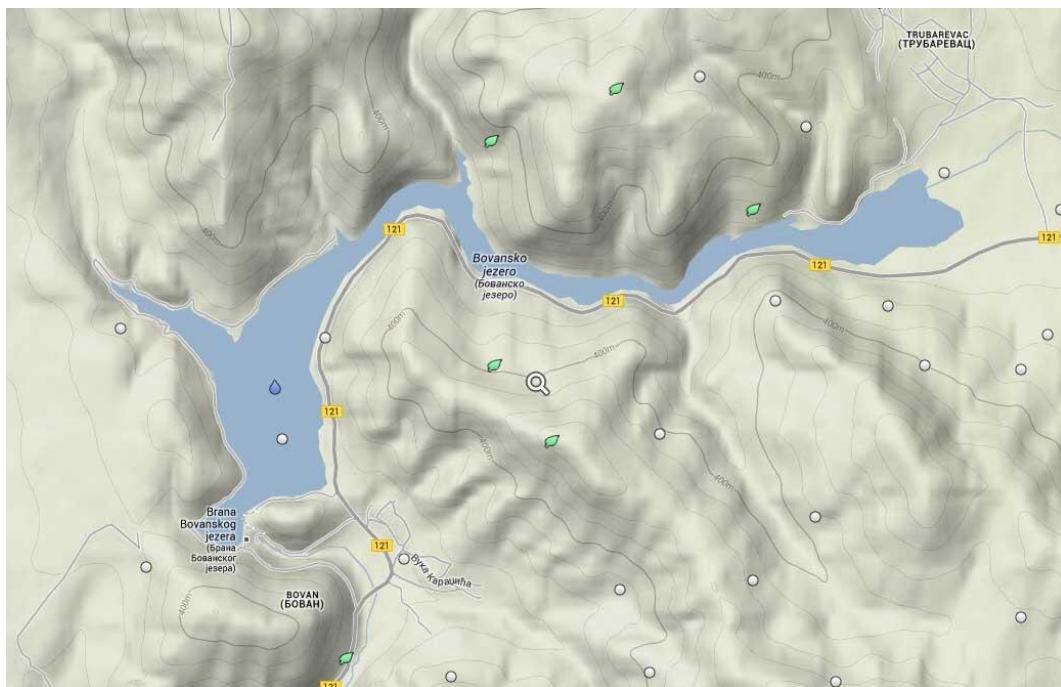
zemlja koja se đubri stajskim đubrivotom, pretvara u stambeno naselje. U ovom slučaju, otpad kućnih ljubimaca, koji ne ulazi u septički sistem, dolazi u dodir sa kišnom kanalizacijom i prenosi đubrivo koje je izvor fekalnih koliforma. Oticanje padavina ima u gradskim sredinama začuđujuće visoku koncentraciju fekalnih koliformnih bakterija. Nepovezana kišna i fekalna kanalizacija, nepovezane kanalizacione cevi i dobri uslovi za razvoj su razlog visokih izmerenih vrednosti.

Većina država ima stroge standarde vezane za koncentraciju fekalnih koliformnih bakterija, prvenstveno zbog uticaja na ljudsko zdravlje. Rasprostranjenost fekalnih koliformnih bakterija se izražava kao broj „kolonija“ u 100 mL vode- #/100 mL. The Washington State standard za jezera glasi „fekalni koliformni organizmi ne treba da prelaze geometrijsku sredinu vrednosti od 50 organizama/100 mL, za manje od 10%, od uzorka koji prelazi 100 organizama/100mL.“ Ako se voda iz jezera koristi kao izvor pijaće vode, koriste se još stroži standardi. Standardi se razlikuju po metodi koja se koristi ili po broju uzetih uzoraka. Za pijaću vodu je zadovoljavajuće da broj koliforma bude  $\leq 1$ .

Koncentracija fekalnih koliforma za tri jezera Zapadnog Vašingtona su primer očekivanih opsega. Ova grupa jezera pokazuje prilično uzan opseg izmerene koncentracije bakterija. Velike varijacije (desetostrukte i više) u istom jezeru nisu neobične, imajući u vidu stopu umnožavanja i umiranja bakterija.

## 6. REZULTATI I ANALIZA

Radi adekvatnog modelovanja vodnih tela, neophodno je imati minimum višegodišnjeg praćenja kvaliteta vodnog sistema. Prvi deo je postavljanje radnih modela za analizu temperature i količine rastvorenog kiseonika, radi analize eutrofikacije vodenog tela na osnovu kojih bi se napravio realni model za predviđanje ponašanja vodenog tela u različitim godišnjim periodama.



Slika 6.1 Lokacija akomulacije Bovan

Svo vreme realizacije projekta za izbor mernih lokacija je korišćen VSP. Kod klasičnog načina merenja parametara kvaliteta vode, ključni problem je uzimanje reprezentativnih uzoraka. VSP je alat koji pomaže da se osigura pravi tip, kvalitet i količina podataka koji se sakupljaju kako bi se omogućila njihova ocena. Razvijen je uz podršku DOE, EPA, DoD. VSP omogućava dizajn uzorkovanja i module statističke analize usmerene ka površinskim vodama. Veliki broj statističkih modela uzorkovanja su na raspolaganju, uključujući: slučajne, adaptivne klastere, slojevite, multi namenske, i "rang set uzorkovanja". VSP se preporučuje kao održiv dizajn uzorkovanja i statističke analize. Osnovna metodologija je korišćenje statističkih pristupa, a sam program postavlja visoke ciljeve kvaliteta podataka.

On omogućava, u realnom vremenu, da proceni i načini kompromis između povećanja poverenja u donete odluke i troškove ili broja potrebnih uzoraka. VSP odgovara na pitanja o tome koliko uzorka je potrebno i gde ih uzimati na određenoj lokaciji. Pre izrade plana za prikupljanje podataka, korisnik mora da odredi šta je cilj uzimanja uzorka i njihove analize, podacima da podrže njihov proces donošenja odluka. Opisan program je sredstvo za planiranje modela i aktivnosti prikupljanja podataka, kojim se definišu plan i način analize sakupljenih podataka.

Neophodno je na početku definisati:

- U čemu je problem
- Koje odluke treba doneti
- Koji kvalitet podatka je neophodan za donošenje planiranih aktivnosti
- Koliko uzorka uzeti

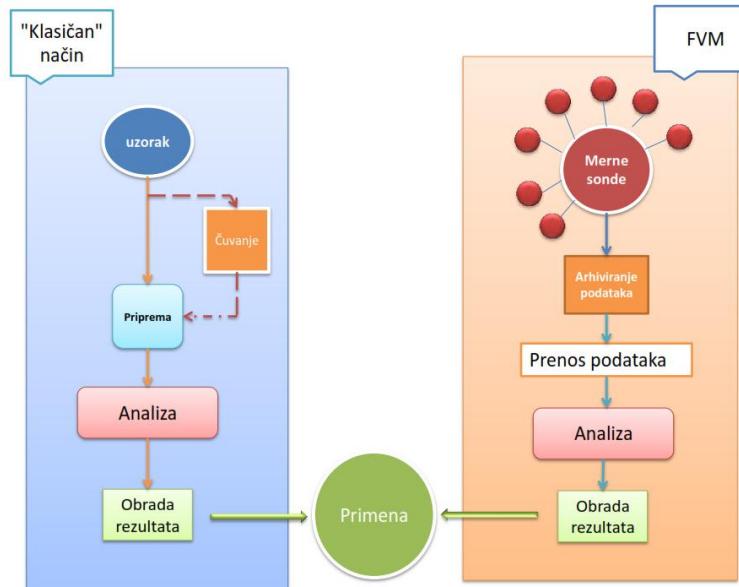
Osnovni ciljevi analize vremenskih serija su pronalaženje modela kojim će se opisati zakonitosti u ponašanju posmatranog dinamičkog sistema, te predviđanje njegovog budućeg stanja na osnovu poznatih stanja, u prošlosti i sadašnjosti. Danas postoje različiti teorijski pristupi analizi vremenskih serija, koji u manjoj ili većoj meri daju tražene rezultate. Vremenska serija je niz merenja u vremenu prikupljenih u jednakim vremenskim intervalima. Osnovna pretpostavka prilikom analize, odnosno modelovanja vremenske serije je da će određeni aspekti prošlih uzorka nastaviti da postoje i u budućnosti.

## REZULTATI ISPITIVANJA 2010. GODINE - RASPODELA IZ MERENIH PARAMETARA PO PROFILIMA

Merenja u avgustu mesecu 2010. godine urađena su korišćenjem sistema sa senzorima koji su se nalazili van vode. Raspored mernih mesta je prikazana na Slici 6.1.. Uređaj za merenje, Slika 6.3. bio je postavljen na čamac, a pozicija je određivana GPS uređajem. Na raspolaganju su bili rezultati merenja uradjene u avgustu **2010.** i maju **2011.** godine.

Uvek će postojati dilema tehničkog načina realizacije praćenja kvaliteta vode. Naime, u praksi postoji klasičan zakonski propisan način i novi tzv. "visoko frekventni" način praćenja parametara kvaliteta odgovarajućeg eko sistema. Šematski, oba su prikazana na sledećoj Slici 6.2. Automatski monitoring nije samo alternativa klasičnom monitoringu, već snažan alat za definisanje programa monitoringa ekoloških procesa koji se odnose na ispitivani eko-sistem. Automatski monitoring nije poslednji trend, ali svakako postoje značajni pomaci u oblasti kako tehnologije senzora, tako i u infrastrukturi podataka, u poslednjih 15 godina. Svi parametri kvaliteta vode koji se analiziraju klasičnim metodama voda, "pokriveni" su sondama za automatsko praćenje promena, kako je to prikazano u sledećoj tabeli, gde je data i godina od kada se koristi.

Primenu vremenskih serija u oblasti statističkih prognoziranja nije potrebno posebno isticati. Nedostatak odgovarajućih prognoza, posebno kratkoročnih, često je predstavljao glavni kamen spoticana projektantima upravljačima sistema. Za potrebe prognoziranja korišćeno je nekoliko statističkih pristupa, kao što su regresija, vremenske serije i stohastički pristupi, a svaki od pristupa ima sopstvene prednosti i ograničenja.



**Slika 6.2.** Načini praćenja parametara kvaliteta voda

Modeli vremenskih serija imaju prednosti u određenim situacijama i mogu se koristiti za potrebe prognoziranja, zato što su nizovi podataka posmatrane promenljive, prikupljeni u prošlosti, već dostupni.

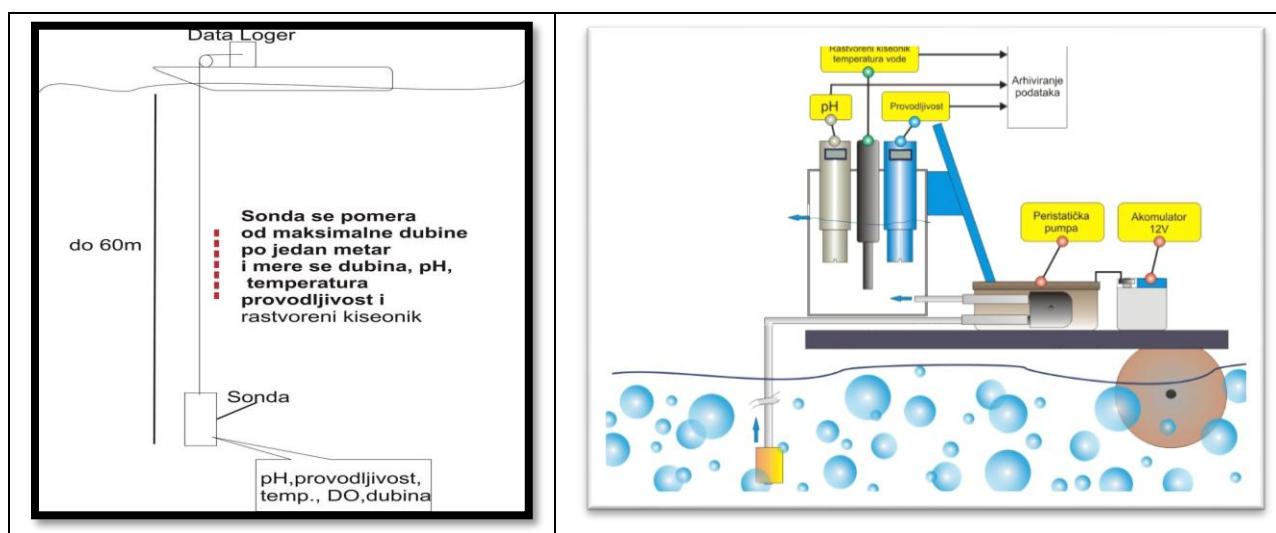


**Slika 6.3** Peristatička pumpa za uzorkovanje

Ova sukcesivna merenja su statistički zavisna, pri čemu je modelovanje vremenskih serija u direktnoj vezi sa primjenjenim tehnikama za analizu te zavisnosti. Prema tome, prilikom modelovanja vremenskih serija, predviđanje vrednosti posmatrane promenljive u budućim periodima, zasnovana je na vrednostima iste promenljive iz uzorka prikupljenog u prošlosti, a ne na vrednostima promenljive koje mogu da utiču na sistem. Postoje dva razloga primene modela vremenskih serija. Prvi model možda nije lako razumljiv i može biti izuzetno teško odrediti vezu između uzorka i posledice. Glavni interes može biti da se samo predvidi šta će se desiti, ali ne i

da se odredi zašto se to dešava. Od brojnih pristupa u analizi vremenskih serija, metode dekompozicije spadaju među najstarije, uprkos brojnim teoretskim slabostima, sa statističke tačke gledišta. Najgrublja metodologija za prognoziranje statusa sistema je metoda pokretnih sredina.

U ljudskom okruženju postoje mnoge pojave i procesi čije promene tokom vremena utiču na svakodnevni ljudski život. Veliku primenu u proučavanju tih promena imaju i vremenske serije, pa se razne metode njihove analize primenjuju u raznim oblastima. Analiza nastalih i predviđanje budućih deformacija raznih objekata, pomeranje tektonskih ploča, brojne analize tržišta i mnoge druge pojave se mogu pratiti tokom vremena primenom brojnih metoda analize vremenskih serija. Kvalitetniji modeli vode ka boljim simulacijama ponašanja vodnih opterećenja u različitim situacijama. Samim tim otvara se mogućnost za brže reakcije na vodnim telima u slučaju akcidentnih situacija ili sprečavanje zagađenja izazванog različitim aktivnostima u okolini samog vodnog tela.



**Slika 6.4.** Princip merenja parametara kvaliteta vode

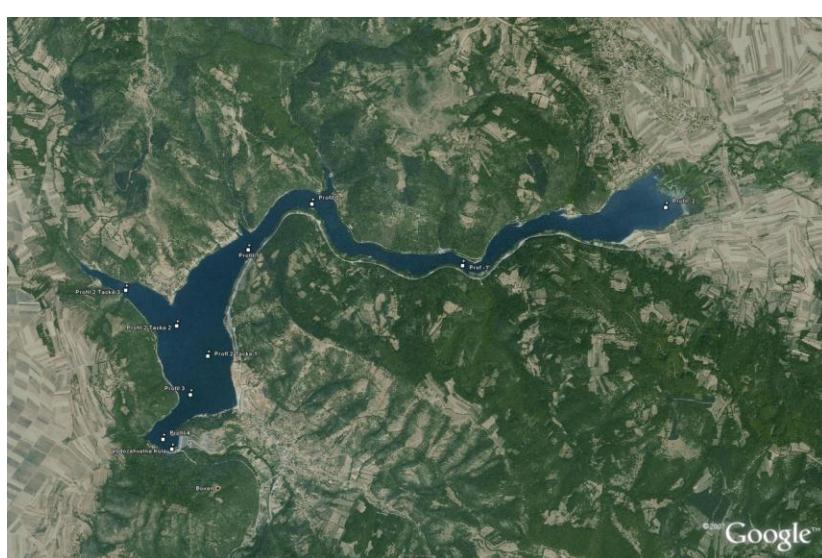
Za određivanje dubine uzorkovanja korišćen je poseban piezometarski elektronski dubinomer, koji je ujedno merio i temperaturu. Podatak o temperaturi sa dubinometra korišćen je za korekciju temperature uzorka vode. Merni profili su različitih dubina i nalaze se na različitim udaljenostima od pritoka. Ovo je značajno jer je mešanje vode u svakom profilu specifično i trebalo bi da utiče na profile kako temperature po dubini tako i na profil rastvorljivosti kiseonika. Za druga merenja korišćen je sistem sondi za potapanje, grafički prikazan na Slici 6.4.

U tu svrhu potrebno je formirati bazu podataka zagađivača otpadnim vodama, a zatim izradom odgovarajućeg softvera treba omogućiti efikasno korišćenje ovih podataka u cilju dobijanja brze informacije o stanju i kvalitetu površinskih voda. Merenja su urađena korišćenjem sistema sa senzorima koji su se nalazili van vode, Slika 6.5.. Sistem je postavljen na platformi-plovilu. Za uzorkovanje je korišćena peristatička pumpa, da se uzorak vode doveđe sa određene dubine, do komore za određivanje parametara kvaliteta vode, u ovom slučaju provodljivosti, rastvorenog

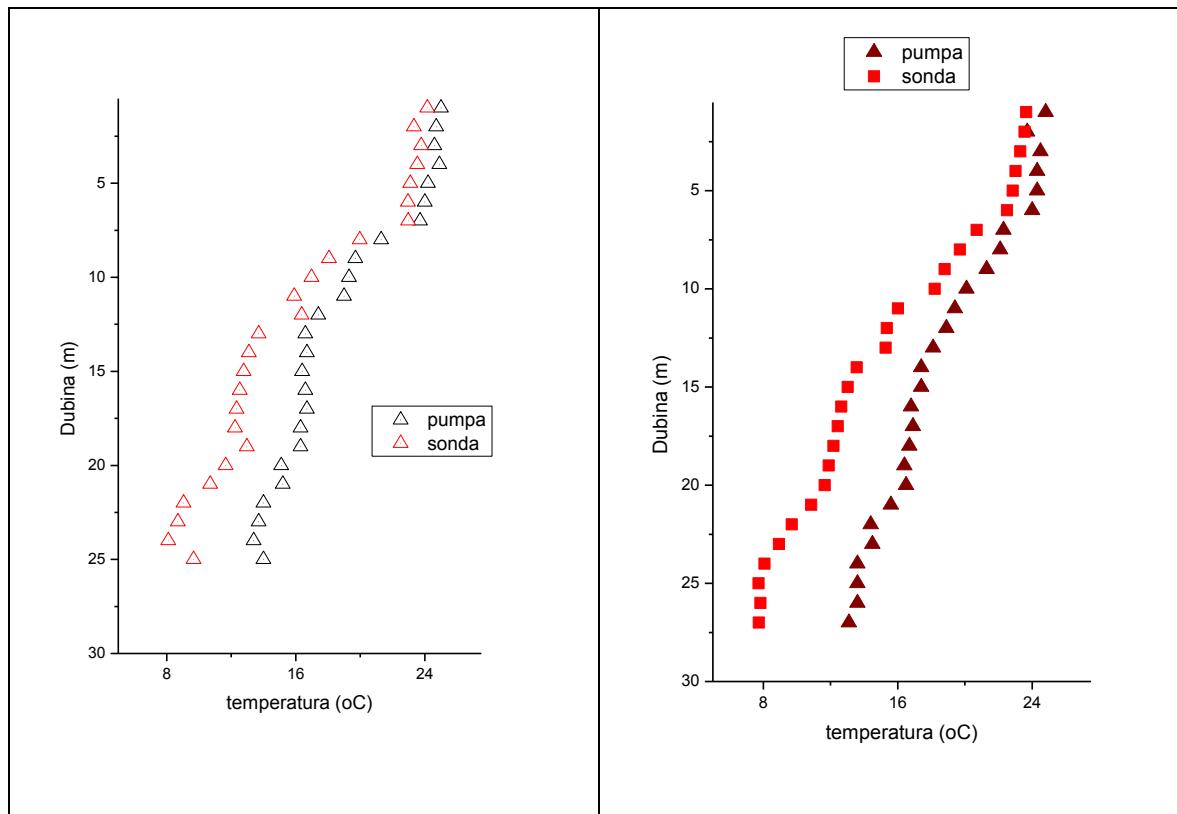
kiseonika, pH i temperature. Nastavak merenja u 2011. godini urađen je korišćenjem sondi za određivanje parametara u realnom vremenu. Za razliku od prethodnih merenja, kada je uzorak vode vađen sa određene dubine, sada su sonde spuštane na određenu dubinu, i mereni su potrebni parametri. Podaci su arhivirani u data loggeru, Slika 6.5B. Pored izmerenih vrednosti provodljivosti, rastvorenog kiseonika, pH i temperature, arhiviraju se podaci o dubini na kojoj se mere parametri, kao i ambijentalni uslovi, temperatura vazduha i barometarski pritisak. Pred toga, data logger ima ugrađen i GPS uređaj za merenje pozicije mesta uzimanja uzorka.



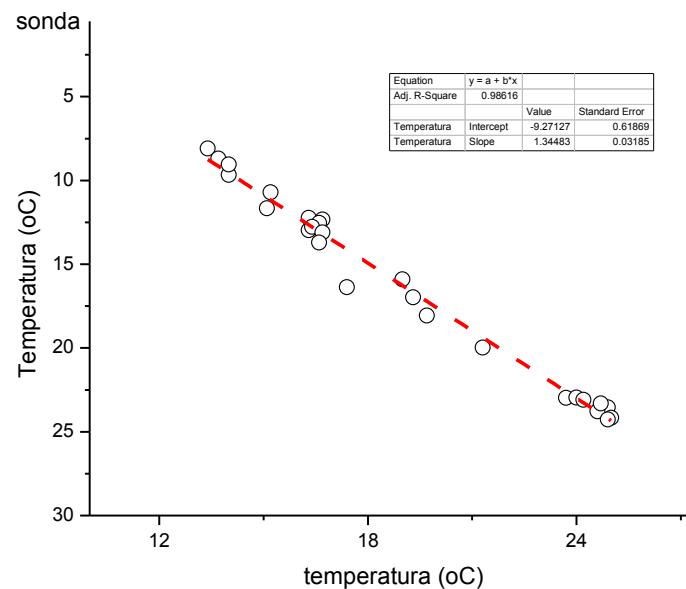
Obrada sakupljenih podataka je automatska i koristi se poseban program koji je sastavni deo samog sistema za sakupljanje podataka.



**Slika 6.6** Raspored mernih mesta



**Slika 6.7.** Poredjenje merenja temperature po visini vodenog stupa senzorom i uzorkovanjem vode



**Slika 6.8** Odnos izmerenih temperatura sondom i u rezervoaru

## MERENJA 2011.

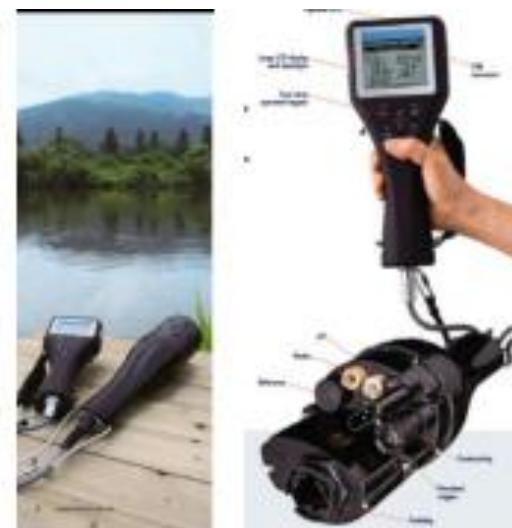
Za merenja urađena u maju 2011. godine korišćen je drugi sistem sondi, grafički prikazan na Slici 6.10. Merenja su bazirana na korišćenju sondi za određivanje parametara u realnom veremenu. Za razliku od prethodnih merenja, kada je uzorak vode vađen sa određene dubine, sada su sonde spuštane na određenu dubinu, Slika 6.11.

Pored izmerenih vrednosti provodljivosti, rastvorenog kiseonika, pH i temperature, arhiviraju se podaci o dubini na kojoj se mere parametri, kao i ambijentalni uslovi, temperatura vazduha i barometarski pritisak. Raspode profila na kojima su izvršena merenja prikazan je na Slici 6.9.



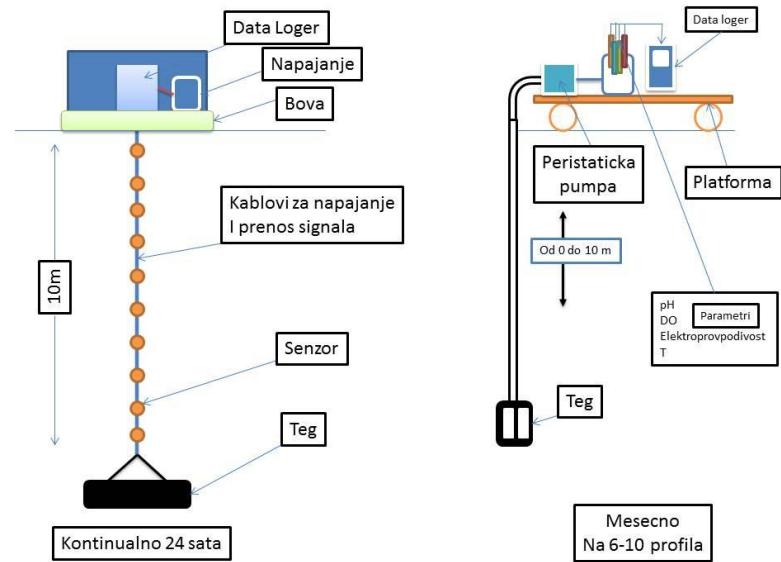
Slika 6.9. Raspored mernih mesta na jezeru

Merenja su nastavljenja korišćenjem istih mernih sistema, kao i prethodne godine.



Slika 6.10. Merna sonda

Rezultati merenja su prikazani u nekoliko izveštaja dostavljenih Opštinama Soko banja i Aleksinac tako da na ovom mestu neće biti ponovljeni.



**Slika 6.11.** Modusi merenja

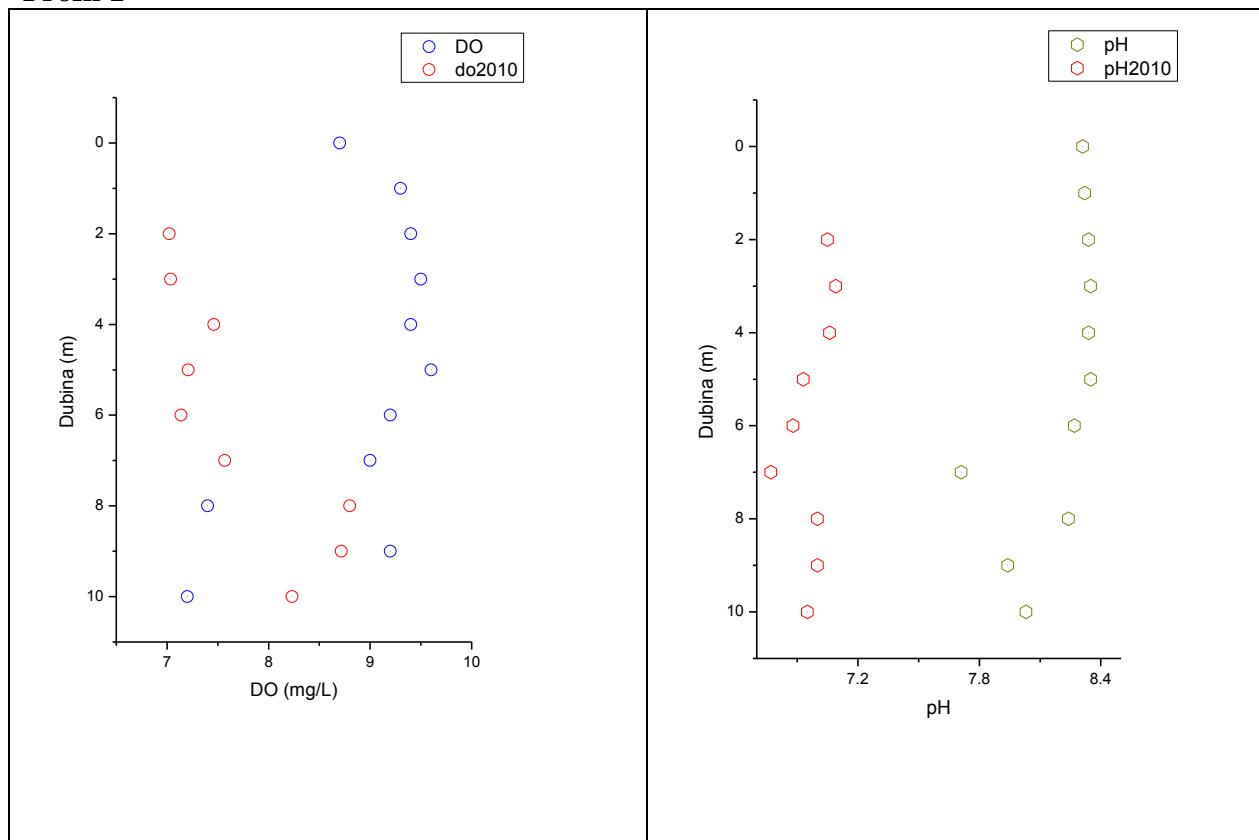
Ove godine prvi put je definisan sistem za praćenje parametara kvaliteta vode u realnom vremenu, baziranom na nezavisnom Data Loger-u, odnosno nezavisnom sistemu za arhiviranje podataka. Napravljen je test merač i postavljen na merenja u laboratorijskim uslovima.

Poređenje rezultata dobijenih merenjima na definisanim profilima akumulacije Bovan su urađena, jer se praktično radilo o metodološki istim mernim sistemima. Upoređivanje je bilo potrebno i radi prvog cilja ovih istraživanja, a to je izbor načina kontinualnog i održivog načina praćenja kvaliteta vodnih tela. Naime, ako se pogleda šta je zapravo cilj svih ispitivanja, odgovor nije nikad jednostavan. Cilj istraživanja postavlja investitor, korisnik vodnog tela. Mala je verovatnoća da će njegov zahtev biti nauka, definisanje modela ili pisanje radova. Uvek važna stavka ovih projekata je dekonomski aspekt.

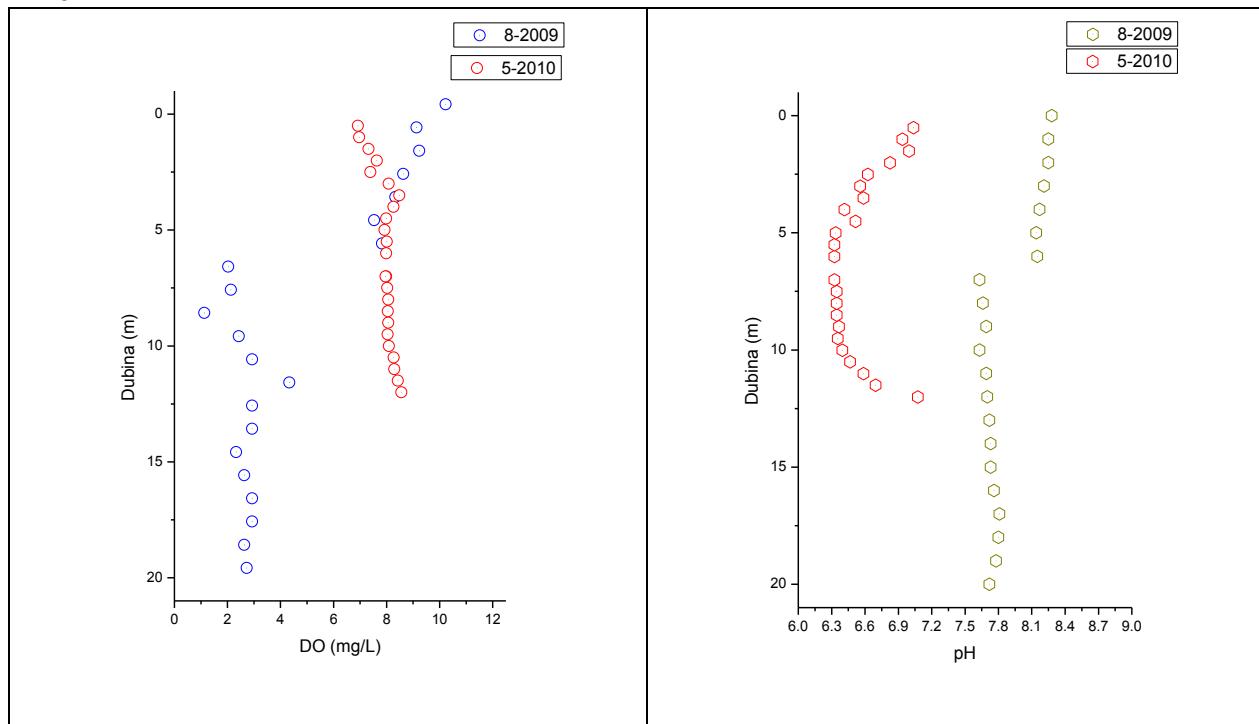
Koliko će postavljeni sistem opterećivati budžet i koja je korist od ulaganja? To je upravo razlog korišćenja svih mogućih mernih sistema za određivanje kvaliteta vode, da bi se došlo do ekonomski najprihvatljivijeg i po korisnosti najefikasnijeg sistema, bez obzira na sve moguće postojeće zahteve i norme koje nam se postavljaju.

## POREDJENJE PROFILA Avgust 2010./Maj2011.

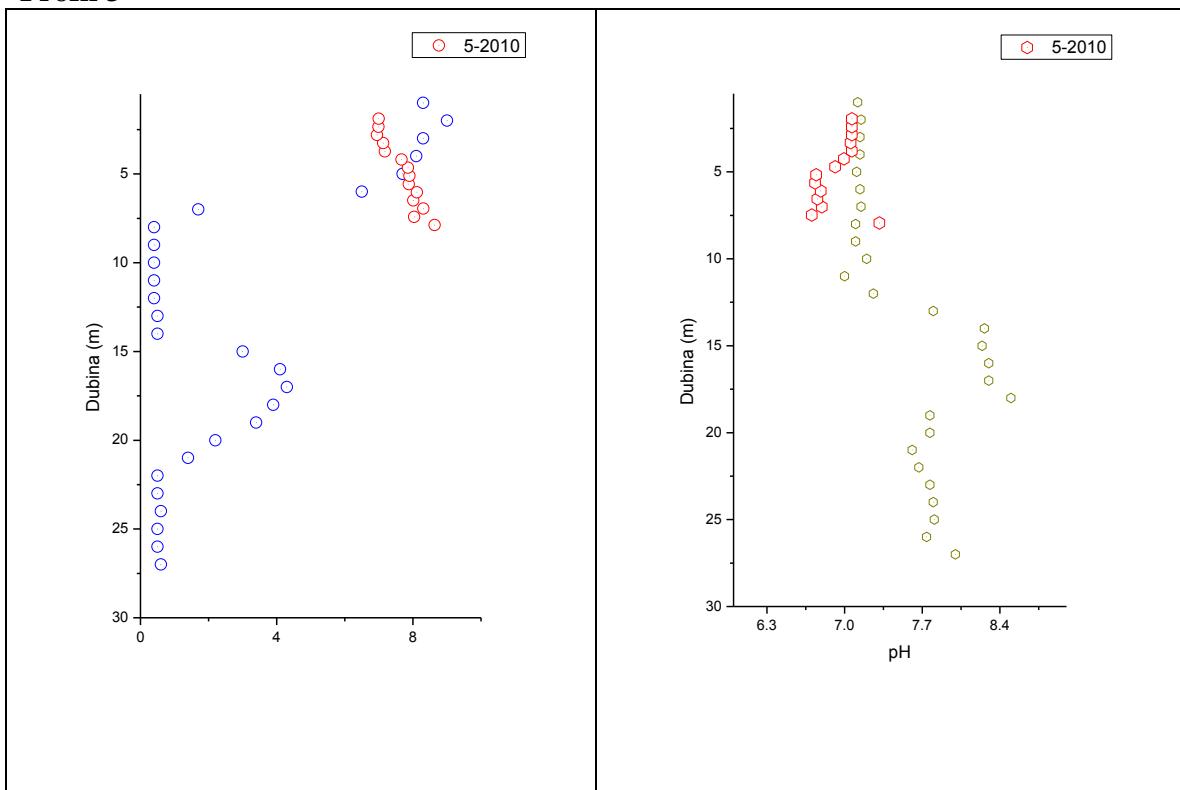
### Profil 1



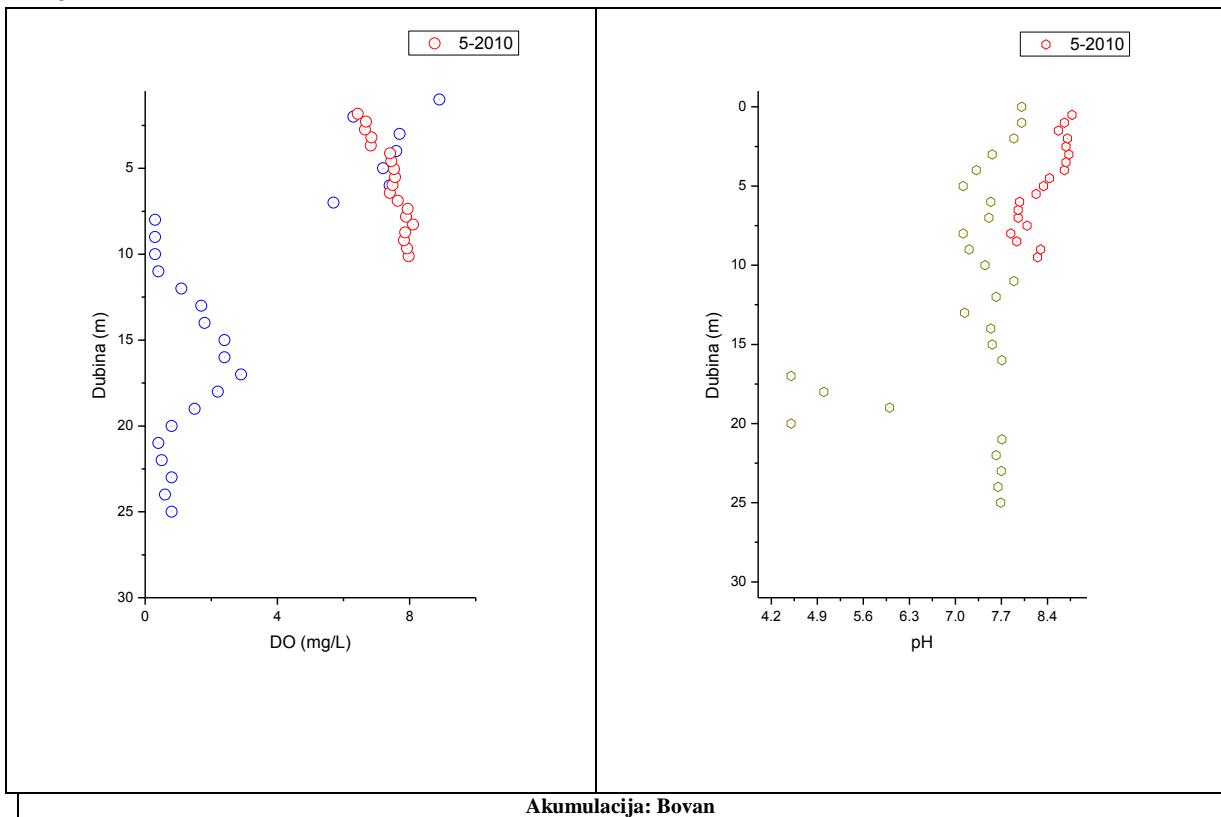
### Profil 2



## Profil 3



## Profil 4

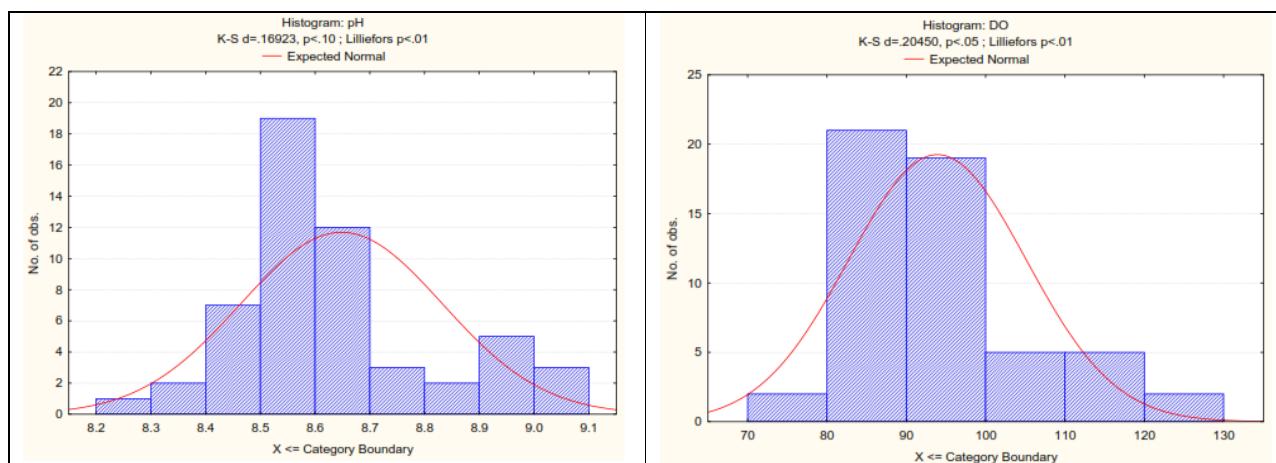


Akumulacija: Bovan

| Naziv grupe parametara/<br>naziv parametra  | Jedinica            | Mesto uzorkovanja |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---|---------------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|   |                     | A-1               | A-2    | A-3    | B-1    | B-2    | B-3    | V-1    | V-2    | V-3    |
| Datum uzorkovanja                           | -                   | 08.06.            | 08.06. | 08.06. | 08.06. | 08.06. | 08.06. | 09.06. | 09.06. | 09.06. |
| Vreme uzorkovanja                           | hh:mm               | 11:00             | 12:00  | 13:00  | 14:00  | 15:00  | 16:00  | 10:00  | 11:00  | 11:30  |
| Dubina uzorkovanja                          | m                   | 0.5               | 15.0   | 30.0   | 0.5    | 11.0   | 22.0   | 0.5    | 4.5    | 9.0    |
| Temperatura vode                            | °S                  | 20.4              | 17.7   | 13.0   | 21.4   | 17.8   | 15.2   | 23.3   | 21.9   | 19.7   |
| Temperatura vazduha                         | °S                  | 29.6              | 30.2   | 30.8   | 31.4   | 31.9   | 32.0   | 30.9   | 31.4   | 32.0   |
| Miris                                       |                     | bez               | bez    | bez    | bez    | bez    | bez    | bez    | bez    | bez    |
| Boja  |                     | bez               | bez    | bez    | bez    | bez    | bez    | bez    | bez    | bez    |
| Mutnoća                                     | NTU                 | 3.96              | 6.36   | 19.80  | 3.49   | 8.57   | 18.00  | 9.68   | 10.40  | 32.40  |
| Prozračnost                                 | mm                  | 3300              |        |        | 2200   |        |        | 1400   |        |        |
| Suspendovane materije                       | mg/l                | 2                 | 4      | 15     | 4      | 2      | 12     | 6      | 9      | 28     |
| Rastvoreni kiseonik                         | mgO <sub>2</sub> /l | 10.1              | 6.0    | 2.8    | 9.4    | 6.3    | 5.9    | 13.6   | 11.6   | 9.0    |
| Zasićenost vode<br>kiseonikom               | %                   | 113               | 64     | 27     | 108    | 66     | 60     | 160    | 133    | 99     |
| Alkalitet                                   | mmol/l              | 3.5               | 3.8    | 4.2    | 3.5    | 4.0    | 4.2    | 3.8    | 3.9    | 4.3    |
| Ukupna tvrdoća kao CaCO <sub>3</sub>        | mg/l                | 225               | 230    | 260    | 230    | 226    | 270    | 227    | 226    | 236    |
| Slobodni SO <sub>2</sub>                    | mg/l                | 0.0               | 1.3    | 4.4    | 0.0    | 0.9    | 2.2    | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| Karbonati - SO <sup>--</sup>                | mg/l                | 7.2               | 0.0    | 0.0    | 7.2    | 0.0    | 0.0    | 7.2    | 6.0    | 5.4    |
| Bikarbonata - NSO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | mg/l                | 196               | 232    | 255    | 200    | 242    | 256    | 218    | 225    | 250    |
| Ukupni alkalitet - CaCO <sub>3</sub>        | mg/l                | 173               | 190    | 209    | 176    | 198    | 210    | 190    | 195    | 210    |
| rN  | -                   | 8.5               | 8.2    | 7.9    | 8.5    | 8.2    | 8.1    | 8.5    | 8.5    | 8.4    |
| Elektroprovodljivost                        | mS/cm               | 382               | 413    | 447    | 387    | 430    | 457    | 418    | 424    | 462    |
| Ukupne rastvorene soli                      | mg/l                | 254               | 264    | 291    | 249    | 279    | 288    | 267    | 273    | 301    |
| Amonijum (NH <sub>4</sub> -N)               | mg/l                | 0.05              | 0.11   | 0.04   | 0.03   | 0.09   | 0.22   | 0.01   | 0.02   | 0.04   |
| Nitriti (NO <sub>2</sub> -N)                | mg/l                | 0.007             | 0.009  | 0.013  | 0.007  | 0.015  | 0.019  | 0.010  | 0.010  | 0.015  |
| Nitrata (NO <sub>3</sub> -N)                | mg/l                | 0.10              | 0.10   | 0.40   | 0.10   | 0.20   | 0.20   | 0.10   | 0.20   | 0.30   |
| Organski azot (N)                           | mg/l                | 0.56              | 0.97   | 1.07   | 0.55   | 0.86   | 1.02   | 0.84   | 0.95   | 0.89   |
| Ukupni azot (N)                             | mg/l                | 0.72              | 1.19   | 1.52   | 0.69   | 1.16   | 1.46   | 0.96   | 1.18   | 1.24   |
| Ortofosfati (R0 <sub>4</sub> -R)            | mg/l                | 0.007             | <0.005 | 0.013  | <0.005 | <0.005 | 0.012  | 0.008  | 0.006  | 0.015  |
| Ukupni fosfor (R)                           | mg/l                | 0.055             | 0.018  | 0.083  | 0.014  | 0.041  | 0.067  | 0.059  | 0.041  | 0.096  |
| Silikati (SiO <sub>2</sub> )-rastvorenii    | mg/l                | <2.0              | 3.6    | 6.6    | <2.0   | 4.9    | 6.9    | <2.0   | <2.0   | 2.2    |
| Natrijum (Na <sup>+</sup> )                 | mg/l                | 7.2               | 7.1    | 7.2    | 6.9    | 7.3    | 7.4    | 7.4    | 7.7    | 7.9    |
| Kalijum (K <sup>+</sup> )                   | mg/l                | 1,8               | 1.9    | 3.0    | 1.7    | 2.0    | 2.2    | 1.9    | 2.0    | 1.9    |
| Kalcijum (Ca <sup>++</sup> )                | mg/l                | 62                | 64     | 71     | 63     | 75     | 75     | 72     | 72     | 83     |
| Magnezijum (Mg <sup>++</sup> )              | mg/l                | 17                | 17     | 20     | 15     | 9      | 20     | 11     | 11     | 7      |
| Hloridi (Cl <sup>-</sup> )                  | mg/l                | 11.0              | 11.0   | 11.0   | 11.0   | 11.0   | 11.6   | 10.0   | 10.8   | 9.7    |
| Sulfati (SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> )    | mg/l                | 21.0              | 23.0   | 21.0   | 16.0   | 22.0   | 21.0   | 21.0   | 21.0   | 23.0   |
| Sulfidi (S <sup>--</sup> )                  | mg/l                | 0.021             | 0.023  | 0.021  | 0.016  | 0.022  | 0.021  | 0.021  | 0.021  | 0.023  |
| Gvožđe (Fe)-rastvorenii                     | mg/l                | 0.16              | 0.16   | 0.19   | 0.16   | 0.19   | 0.22   | 0.19   | 0.20   | 0.23   |
| Mangan (Mn)-rastvorenii                     | mg/l                | <0.01             | 0.03   | 0.43   | <0.01  | 0.01   | 0.10   | 0.01   | <0.01  | <0.01  |
| Cink(Zn)-rastvorenii                        | µg/l                | 9.2               | 25.5   | 44.0   | 6.3    | 11.6   | 22.8   | 6.2    | 7.0    | 8.8    |
| Bakar(Su)-rastvorenii                       | µg/l                | 10.7              | 15.5   | 11.2   | 11.5   | 12.9   | 13.4   | 7.9    | 10.1   | 8.2    |
| Hrom ukupni(Sr)-rastvorenii                 | µg/l                | <0.5              | <0.5   | <0.5   | <0.5   | 0.6    | 0.7    | <0.5   | <0.5   | <0.5   |
| Olovo(Rb)-rastvorenii                       | µg/l                | 1.0               | 1.2    | 1.7    | 0.8    | 0.6    | 0.5    | <0.5   | <0.5   | 0.6    |
| Kadmijum(Sd)-rastvorenii                    | µg/l                | 0.970             | 1.200  | 1.700  | 0.770  | 0.740  | 0.880  | 0.640  | 3.490  | 3.450  |
| Živa(Ng)-rastvorenii                        | µg/l                | <0.1              | <0.1   | <0.1   | <0.1   | <0.1   | <0.1   | <0.1   | <0.1   | <0.1   |
| Nikal(Ni)-pactvopeni                        | µg/l                | 2.4               | 21.8   | 53.3   | 1.8    | 3.0    | 9.2    | 2.1    | 3.4    | 2.9    |
| Arsen(As)-pactvopeni                        | µg/l                | 1.8               | 1.3    | 1.9    | 1.4    | 1.4    | 1.9    | 1.3    | 1.8    | 1.8    |

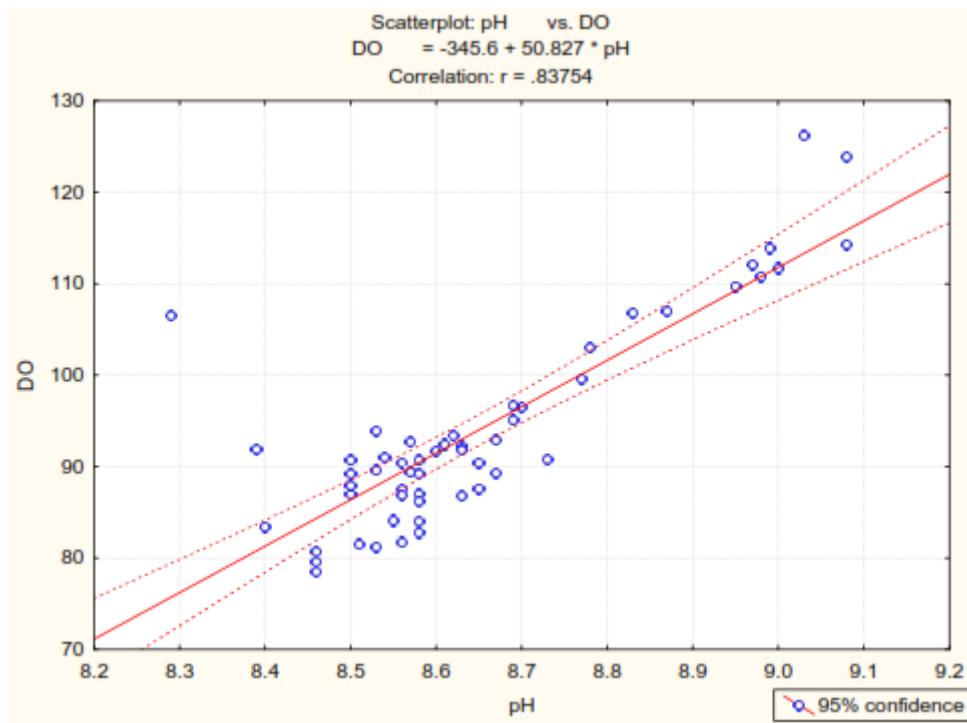
| Назив групе параметара/<br>назив параметра          | Јединица  | Место узорковања |       |       |       |         |         |        |        |        |
|---|-----------|------------------|-------|-------|-------|---------|---------|--------|--------|--------|
|   |           | A-1              | A-2   | A-3   | B-1   | B-2     | B-3     | B-I    | B-II   |        |
| Биолошка потрошња<br>кисеоника БПК-5                | mg/l      | 2.7              | 1.6   | 1.5   | 3.5   | 1.5     | 1.5     | 2.9    | 2.2    | 1.3    |
| Хемијска потрошња<br>кисеоника из KMnO <sub>4</sub> | mg/l      | 3.0              | 2.3   | 3.2   | 3.6   | 2.7     | 3.5     | 2.9    | 3.2    | 3.6    |
| Укупни органски угљеник<br>TOC                      | mg/l      | 3.4              | 4.4   | 3.6   | 3.7   | 3.0     | 4.6     | 4.0    | 5.9    | 4.5    |
| UV екстинкција (254nm)                              | 254nm.1cm | 0.056            | 0.070 | 0.075 | 0.058 | 0.079   | 0.092   | 0.063  | 0.065  | 0.071  |
| Хлорофил "a"  | µg/l      | 5.4              | 531.0 | 463.0 | 363.0 | 412.0   | 293.0   | 206.0  | 20.5   | 22.8   |
| Највероватнији број<br>колиформних клица у 1L воде  | n/1l      | 4400             | 38000 | 2200  | 38000 | <240000 | <240000 | 240000 | 240000 | 240000 |
| Укупан број живих клица у<br>1ml воде               | n/lml     |                  |       |       |       |         |         |        |        |        |

Jednostavna statistička analiza pokazuje varijacije kvaliteta vode na sistemu Bovan. Prvi test je raspodela podataka kojom se testira sam kvalitet sakupljenih (merenih) podataka. U statistici se to naziva test normalnosti raspodele, postoji nekoliko a prikazane su analize za pH i rastvoren kiseonik.

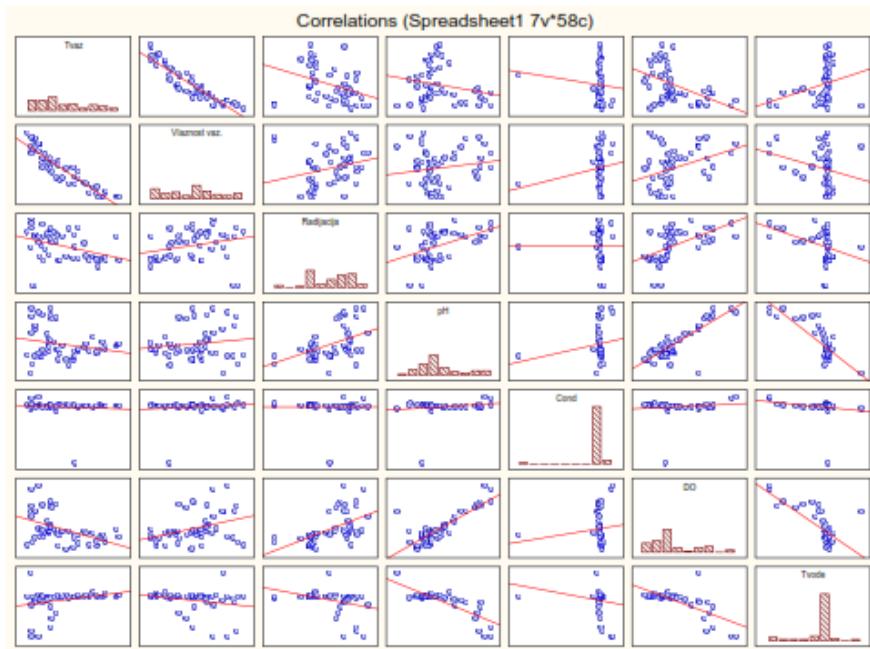


Slika 6.12 Kolmogorov test normalnosti raspodele

Ovi testovi, koji se često preskoče, koriste se u analizi da definišu kvalitet podataka, kako bi se na osnovu toga definisala dalja procedura analize. Jedna od osnovnih analiza je korelacija između izmerenih parametara, radi utvrđivanja modela ponašanja vodnog sistema. Korelacija između pH i rastvorenog kiseonika prikazana je na sledećem grafiku.

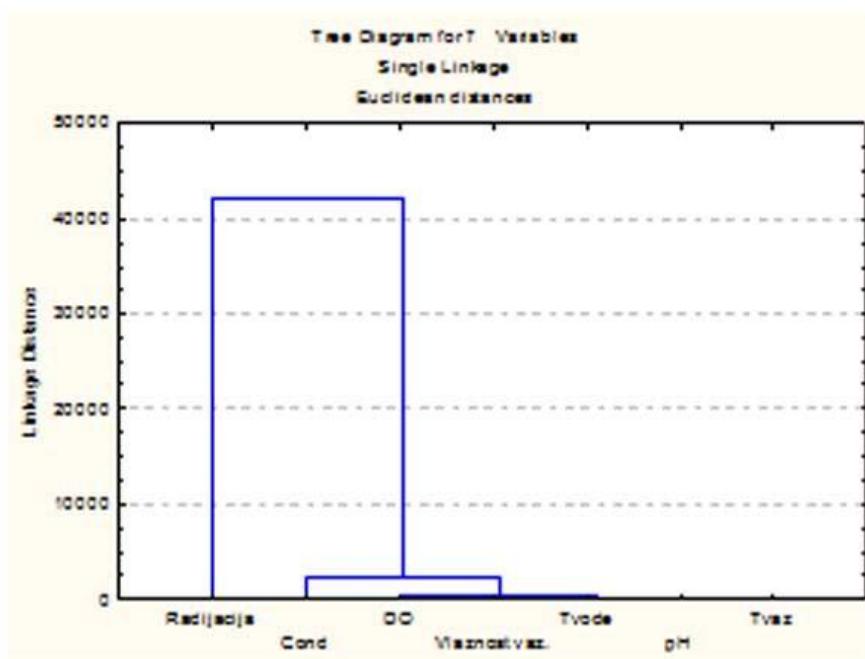


Slika 6.13 Korelacija između pH i rastvorenog kiseonika.



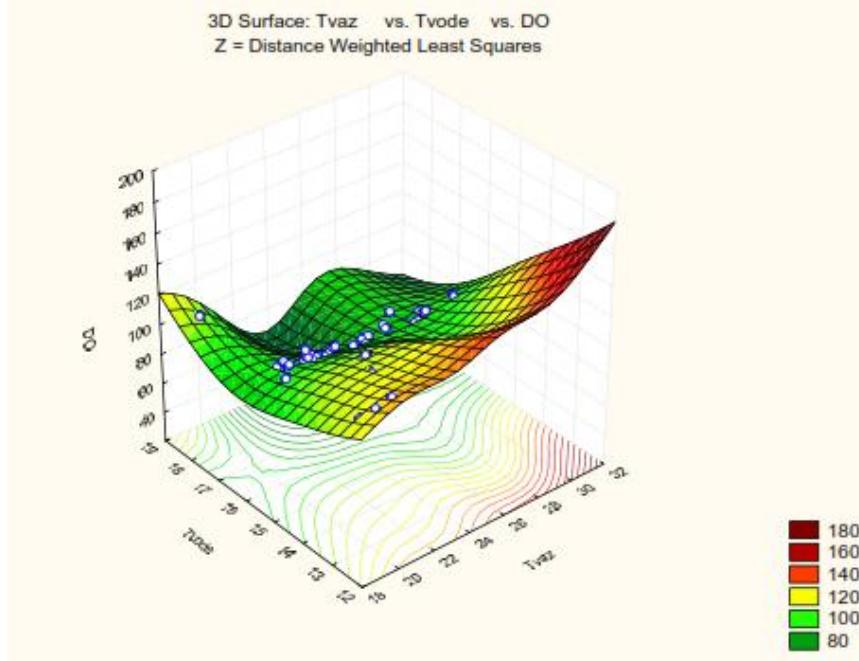
Slika 6.14 Korelaciona analiza za sve merene parametre

Sledeća analiza je grupisanje mernih parametara u one među kojima postoji korelacija i analiza veza između grupa. U statistici ta metodologija se naziva "Cluster" analiza i za merenja 2010-2011. prikazana je na sledećem grafiku.

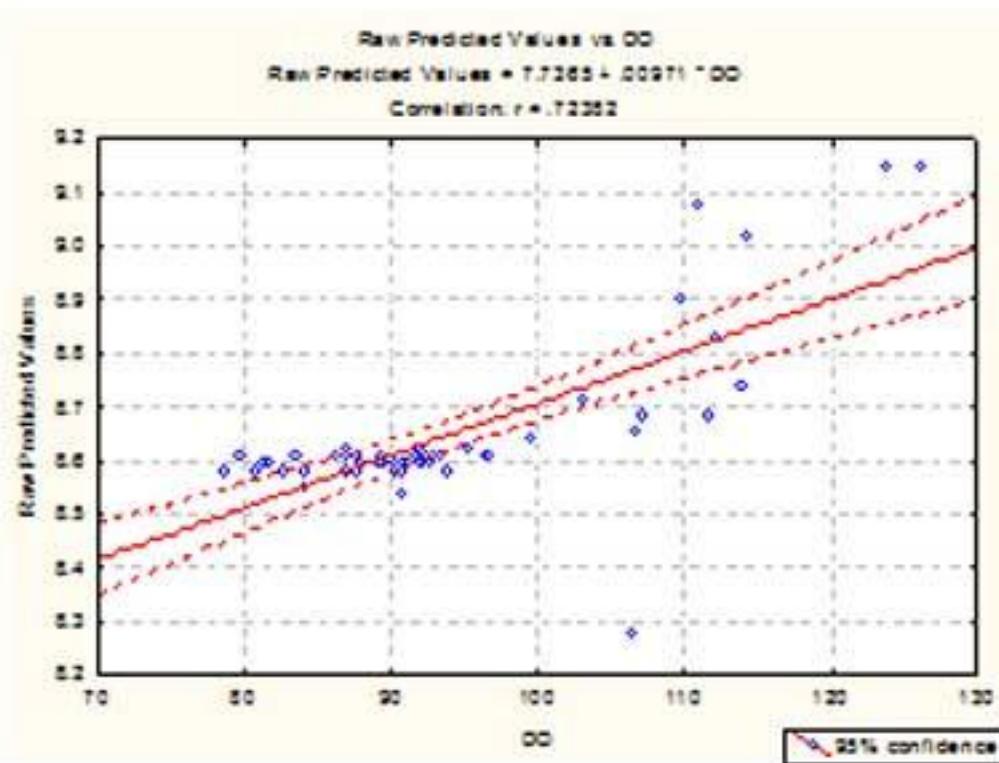


Slika 6.15 Analiza grupa

Ako na kraju spojimo sve prikazane analize mođemo grafički prikazati šta se dešava za određenim kvantitativnim parametrom tokom vremena analize.



Slika 6.16 Model ponašanja rastvorenog kiseonika u zavisnosti od temperatura vode i vazduha



Slika 6.17 Radni model simulacije varijacija rastvorenog kiseonika

Kada su u pitanju akumulacije i kvalitet vode u njima, sa jedne strane, i delovanje čoveka sa druge strane, moguće su različite situacije. Osnova je usvajanje i primena ekoloških principa u projektovanju i izgradnji akumulacija, što omogućava zadovoljavajući kvalitet vode u njima i njihovu održivu eksploataciju. Znatno je češći slučaj da je izgradnja i eksploatacija akumulacija praćena nizom negativnih pojava, pa je stanje u njima najčešće jako nepovoljno i zahteva preduzimanje mera radi poboljšanja kvaliteta. Kako se obično, kod nas, pri izgradnji akumulacija uglavnom ne preduzimaju mere uređenja i zaštite slivnog područja, često dolazi do velikog priliva nutrijenata i suspendovanih materija, zbog čega akumulacije posle svega nekoliko godina postaju eutrofne, pa čak i hipereutrofne. Sve izraženiji procesi zagadivanja voda doveli su do razvoja brojnih metoda čija primena omogućava poboljšanje kvaliteta vode i održivu eksploataciju akumulacija. Komparativnom analizom podataka o stanju o jezera i akumulacija identifikovano je šest glavnih problema:

1. Opadanje nivoa jezera zbog prekomerne upotrebe vode i/ili pritoka/otoka koje dovode do smanjenja zapremine jezera, pogoršanja kvaliteta voda i promena u jezerskim eko-sistemima;
2. Naglo povećanje količine mulja u jezerima i akumulacijama kao posledica ubrzane erozije zbog prekomerne ili neadekvatne upotrebe oranica, pašnjaka i šuma u okolnim oblastima;
3. Zakišeljavanje jezerske vode zbog povećanja kiselih taloga koje dovodi do izumiranja riba i degradacije eko-sistema;
4. Zagađenost jezerske vode, sedimenata i organizama toksičnim materijama koje se nalaze u hemikalijama koje se primenjuju u poljoprivredi i nalaze u otpadnim industrijskim vodama;

5. Eutrofizacija kao posledica dotoka nutrijenata, kao što su azotne i fosfatne materije u otpadnim vodama koje dospevaju iz industrije, poljoprivrednih objekata, naselja, gradova i saobraćajnica, koji dovode do "cvetanja" algi, pogoršanja kvaliteta vode i opadanja biodiverziteta;
6. U ekstremnim slučajevima, potpuni kolaps akvatičnih eko-sistema.

Specifične promenljive, ciljevi i vremenski period koji se koristi za određivanje indexa, nisu Integralni deo bilo kog programa praćenja kvaliteta životne sredine je prikazivanje rezultata kako ekspertima, tako i običnim smrtnicima. To dovodi do određenih problema u slučaju praćenja kvaliteta vode u vodenim bazenima, zbog kompleksnih relacija pri analizi velikog broja mernih promenljivih. Tradicionalni pristup je izrada izveštaja i poređenje sa zvaničnim ciljevima i ostalim propisanim vrednostima promenljivih. Prednost takvog pristupa je postojanje velikog broja kvalitetnih podataka, ali u većini slučajeva oni kojima je namenjena analiza nisu dovoljno kvalifikovani niti imaju znanja da ih tumače.

## IZRAČUNAVANJE INDEKSA

Postoji određen matematički aparat za određivanje uslova kvaliteta vode u odnosu na postavljeni cilj. Nezavistan je od vrste i broja parametara koji se testiraju, perioda primene, kao i tipa vodenog tela (potok, reka, jezero, itd.) koje se testira. Pre nego što se počne izračunavanje indeksa kvaliteta vode, moraju se definisati parametri, vremenski period, kao i ciljevi za određeno vodeno telo.

Vodeno telo se može posmatrati kao jedna stanica (npr. jedno merno mesto- stacionirano) ili preko većeg broja stanica (profili na jezeru). Izbor vremenskog perioda u kome se vrše merenja zavisi od broja dostupnih mesta za merenje, kao i zahteva korisnika. Minimalni period je jedna godina, jer se u tom periodu sakuplja dovoljan broj podataka za kvalitetnu analizu. Podaci sakupljeni tokom višegodišnjih merenja mogu se kombinovati, ali će određene varijacije biti izgubljene.

Izračunavanje indeksa kvaliteta vode zahteva minimum četiri promenljive, uzorkovane bar četiri puta. Maksimalan broj promenljivih nije ograničen. Izračunanjem  $F_1$ ,  $F_2$  je jednostavno, dok izračunavanje veličine  $F_3$  zahvata dodatne korake.

**$F_1$**  (cilj) predstavlja procenat promenljivih koje nisu zadovoljile zadate vrednosti, najmanje jednom u toku merenja (ispitivanja), u odnosu na ukupan broj merenih promenljivih, odnosno

$$E_2 = \left[ \frac{\text{broj parametara van opsega}}{\text{ukupan broj parametara}} \right] \times 100$$

**$F_2$** (frekvencija) predstavlja procenat pojedinačnih merenja koji nisu zadovoljili postavljene ciljeve (propali testovi)

$$F_2 = \left[ \frac{\text{broj "propalih testova"}}{\text{ukupan broj testova}} \right] \times 100$$

$F_3$ (amplituda) predstavlja nivo, veličinu, za koju propali testovi nisu zadovoljili postavljeni cilj. Amplituda  $F_3$  se računa iz tri koraka

1. Broj merenja u kojima individualna vrednost mernog parametra veća (ili manja) od postavljene (definisane) vrednosti i označava „odstupanje“ u slučaju da merena vrednost ne sme da bude viša od zadate

$$\text{odstupanje} = \left[ \frac{\text{nezadoljavajuća vrednost testa}}{\text{cilj}} \right] - 1$$

U slučaju kada je merena vrednost manja od zadate:

$$\text{odstupanje} = \left[ \frac{\text{cilj}}{\text{nezadoljavajuća vrednost testa}} \right] - 1$$

2. Ukupna vrednost pri kojoj su merene vrednosti izvan zadatah opsega, dobija se sabiranjem svih odstupanja od postavljenih ciljeva u odnosu na broj testova, odnosno:

$$nse = \frac{\sum_{i=1}^n \text{odsatupanja}_i}{\text{broj testova}}$$

3.  $F_3$  se računa kao asimptotska funkcija koja normalizuje zbir (sumu) odstupanja od postavljenih ciljeva ( $nse$ ) da bi se dobio opseg od 0 do 100

$$F_3 = \left[ \frac{nse}{0.01 \times nse + 0.01} \right]$$

Kada se izračunavaju faktori  $F_1, F_2, F_3$  index se može izračunati sabiranjem tri faktora kao da su vektori. U tom slučaju promene indeksa kvaliteta vode su direktno proporcionalne promenama sva tri faktora.

$$IKV = 100 - \left[ \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right]$$

Vrednost 1.732 normalizuje resultantne vrednosti u oblasti od 0 do 100, gde 0 predstavlja najlošiji kvalitet, a 100 predstavlja "najbolji" kvalitet vode.

### ŠTA JE **SERBIAN WATER QUALITY INDEX?**

Našim zakonskim propisima, Uredbom o kategorizaciji vodotoka i Uredbom o klasifikaciji voda u Republici Srbiji vodotoci su razvrstani u *I*, *IIa*, *IIb*, *III* i *IV* klasu prema utvrđenim graničnim vrednostima pokazatelja kvaliteta. Kategorizacija se vrši na osnovu sledećih pokazatelja:

- (1) Suspendovane materije,
- (2) Ukupni suvi ostatak,
- (3) pH,
- (4) Rastvoreni kiseonik,
- (5) BPK5,
- (6) Stepen saprobnosti po Libmanu,
- (7) Stepen biološke produktivnosti,
- (8) Najverovatniji broj koliformnih klica,
- (9) Vidljive otpadne materije,
- (10) Primetna boja,
- (11) Primetan miris
- (12), Zasićenje kiseonikom %O<sub>2</sub>,
- (13) HPK,
- (14) Toksične materije i
- (15) Stepen radioaktivnosti (Uredba o klasifikaciji voda međurepubličkih vodotoka, međudržavnih voda i voda obalnog mora Jugoslavije, Sl.list SFRJ 6/78).

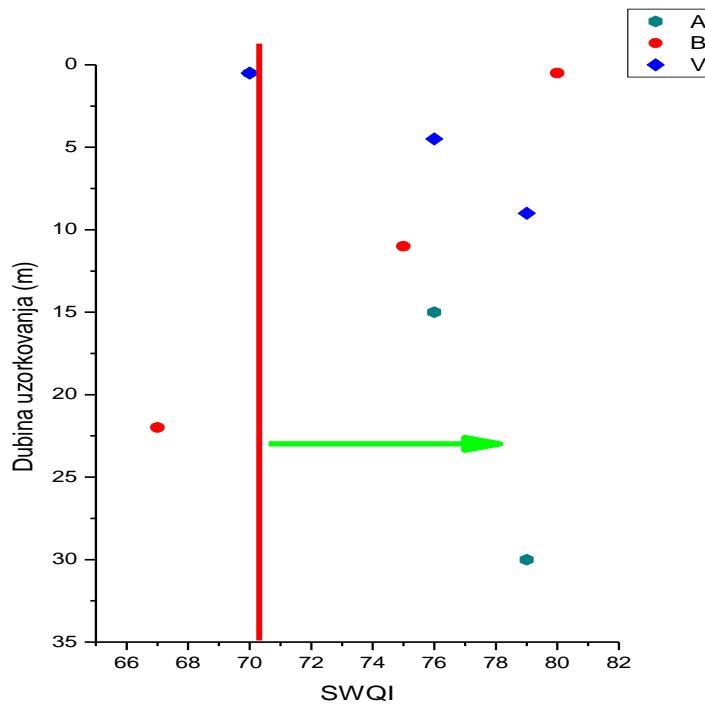
Određivanje merodavnih vrednosti za pokazatelje kvaliteta definisano je članom 7. Uredbe, pri čemu se u slučaju izvršenih 24 i više ispitivanja u toku godine, za merodavnu vrednost uzima veličina iz statističke obrade koja odgovara 95% obezbeđenosti, a u slučaju izvršenih manje od 24 ispitivanja, za merodavnu vrednost uzima se veličina aritmetičke sredine iz dve najnepovoljnije opažene vrednosti. Ovom Uredbom nije dat postupak kako da se na osnovu 15 pojedinačno kategorisanih pokazatelja kvaliteta odredi zajednička klasa datog vodotoka koju treba uporediti sa propisanom.

Zbog porasta količine i raspoloživosti podataka o društvenoj, ekonomskoj i životnoj sredini potrebno je u kreiranju odgovarajućih politika uneti smisao u ove podatke, kako bi se omogućilo donošenje najboljih mogućih odluka. Uobičajeni način da se izbegne mnoštvo podataka je da se upotrebe indeksi i indikatori kao alat za dobijanje informacija. Na taj način su indeksi i indikatori sredstva predviđena da smanje veliku količinu podataka na razumljivu meru, zadržavajući suštinsko značenje o pitanjima koja karakterišu date podatke.

Različiti korisnici (političari, javnost, stručnjaci) imaju različite pristupe u preduzimanju aktivnosti u domenu zaštite životne sredine i održivog razvoja. Svojstva indikatora treba da se podudaraju sa potrebama njihovih korisnika i imaju lako razumljive ciljeve. Dobra "veza" korisnik-indikator efikasno prenosi odgovarajuće informacije što omogućava korisniku da donesi najbolje moguće odluke. Stručnjaci u naučnim i obrazovnim ustanovama očekuju od indikatora životne sredine pouzdane analitičke vrednosti.

Vodoprivredna i inspekcija zaštite životne sredine u primeni zakonskih odredbi, takođe, koristi indikatore fizičko-hemijskog i biološkog kvaliteta voda dobijene pouzdanim analitičkim postupcima. Sa druge strane, javnost ne zahteva egzaktne već opisne indikatore, npr. da li je kvalitet vode "visok" ili "nizak". Zato indikator životne sredine namenjen javnosti treba da bude opisan, jasan, lak za razumevanje i inspirativan, tako da pospešuje aktivnost ciljne grupe u

očuvanju životne sredine. Važno je napomenuti da se pri kreiranju opisnih indikatora uvek "žrtvuje" izvesna preciznost izvornog numeričkog indikatora životne sredine.



**Slika 6.18.** Raspodela SWQ indeksa

## ISPITIVANJA 2012.

Pesticidi mogu na različite načine dospeti do površinskih voda i uglavnom potiču od poljoprivrednih aktivnosti. Kompleksnost vodenih ekoloških sistema, može imati za posledicu efekat „leptira“ da toksični efekat kontaminata izazove nepredvidive efekte na mnogo većoj skali. Uticaj pesticida na eko sistem zavisi od stepena izloženosti (pojavna koncentracija pesticida u sistemu) kao i od toksikoloških svojstava samog jedinjenja. Određivanje stepena izloženosti podrazumeva izmerene koncentracije u ispitivanom eko sistemu (MEC). Te vrednosti dobijaju se iz praćenja (monitoringa) ili pak iz razvijenih modela koji mogu da odrede predviđene koncentracije u ekosistemu (PEC). Postoje različiti pristupi određivanju (PEC) vrednosti korišćenjem referentnih vrednosti toksikata i sličnih svojstava pesticida. Cilj istraživanja bio je da se odredi nivo pesticida u Bovanskom rezervoaru i da se proceni rizik koji se može pojaviti u vodnom sistemu. Za određivanje ekološkog rizika korišćene su dve metodologije:

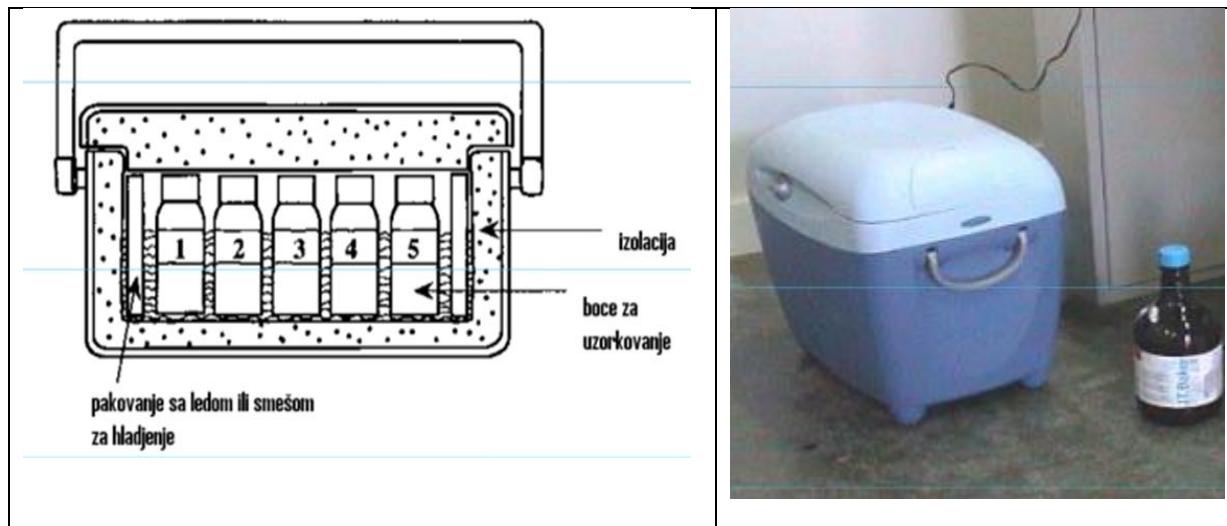
- A) rizik baziran na metodologiji za tri takonomne grupe, na dva nivoa efekata
- B) Inverzni metod Van Straclen-u i Denneman-a koji je probalistički pristup za minimum pet vrsta u samom vodenom basenu.

Zbog promena u vođenju istraživanja, promenjen je i cilj ispitivanja za 2012. godinu na jezeru Bovan, odlučeno je da se ispitaju udeli pesticida u vodi jezera, na pet lokacija datih na Slici 6.19.



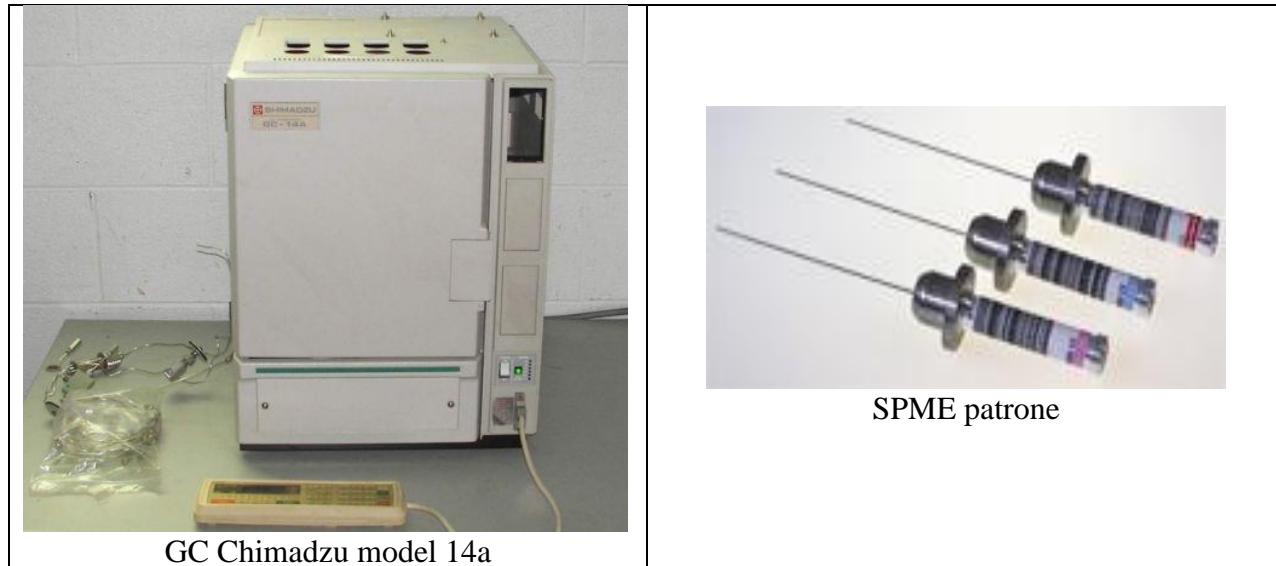
Slika 6.19 Mesta uzorkovanja vode za određivanje pesticida

Uzorkovanje je izvršeno na mesečnoj bazi, uz pomoć firme Soko Rec iz Soko banje, tokom 2012. godine. Vodeni uzorci su sakupljeni klasičnim Van Dorn-ovim uzorkivačem za analizu ostataka pesticida. na svakoj mernoj lokaciji uzorci su čuvani na  $4^{\circ}\text{C}$  do analize, koja je urađena najkasnije 48 sati posle uzorkovanja.



Slika 6.20 Način čuvanja i transport uzorka pesticida

Standardi pesticida čistoće  $\geq 99\%$  nabavljeni su od Nemačke firme (Promochem). Rastvarači i ostali potrebni reagensi su nabavljeni preko firme Merck. Za pripremu uzorka metodom SPME patronе su nabavljene od firme Supelco.



**Slika 6.21** Sistem za analizu pesticida

Uzorci vode su analizirani na 21 pesticid. Ovi pesticidi su izabrani kao ciljni, na bazi njihovog uključivanja u prioritetu listu EU. Posle ekstrakcije, vjakno je direktno izloženo zagrejanom injektoru GC sistema za analizu. Termalna razgradnja pesticida trajala je 10 minuta. Kvantifikacija je urađena korišćenjem spoljnih standarda za kalibraciju.

**Tebla 6.1.** Specifične zagadjuće supstance- Prioritetne supstance (Aneks- X, ODV)

| Редни бр. | Назив приоритетне супстанце |
|-----------|-----------------------------|
| 3         | <b>Atrazine</b>             |
| 7         | <b>Diazinon</b>             |
| 8         | <b>Endosulfan</b>           |
| 17        | <b>Pentachlorobenzene</b>   |
| 20        | <b>Simazine</b>             |

Kalibracija je urađena korišćenjem standarda pesticida u rasponu 0,05 - 10 mg/L, ekstrahovanih pod istim uslovima kao i uzorci za analizu. Hromatografska analiza je urađena korišćenjem GC Chimadzru model 14a kapilarnog hromatografa.

## OBRADA REZULTATA

Detektovane koncentracije pesticida u vodi jezera Bovan razdvojene su nivoom efekta, korišćenjem odnosa:

$$\text{Koefficijent rizika (RQ)} = \frac{\text{izloženost}}{\text{toksičnost}} = \frac{\text{koncentracija pesticida u vodi}}{L_{50} \text{ ili } EC_{50} \text{ ili } PMC}$$

Ovakav pristup omogućava određivanje doprinosa jedinjenja koje nas zanima, ukupnoj toksičnosti uzorka vode prema određenoj taksonomnoj grupi. To je „najgori“ slučaj, ako se uzmu maksimalno izmerene koncentracije pesticida.

**Tabela 6.2.** Izabrani podaci o toksičnosti pesticida ( $\mu\text{g/L}$ ) za različite organizme jezera

|            | Alge<br>96h EC <sub>50</sub> | Zooplankton<br>48h LC <sub>50</sub> | Ribe<br>48h LC <sub>50</sub> | Invertebrate<br>48h LC <sub>50</sub> |        |       |
|------------|------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|--------|-------|
| Atrazin    | 38                           | 60950                               | 40000                        | 18800                                | 10000  | -     |
| Karbofuran | 204480                       | 41                                  | 40                           | 1290                                 | -      | 5294  |
| Diazin     | 17300                        | 1.2                                 | 29.5                         | 4200                                 | 10133  | 3160  |
| Melation   | 20000                        | 1.7                                 | 37.6                         | 6950                                 | -      | 105   |
| Simazin    | 56                           | 38000                               | 60840                        | 40000                                | 100000 | -     |
|            |                              |                                     |                              |                                      |        | 28000 |

Probabilistička procena rizika urađena je korišćenjem inverzne Van Straaten & Denneman metodologije, bazirane na pretpostavci da frekvencija raspodele efekta ima raspodelu poznatu kao "In-logistik".

Parametri koji opisuju raspodelu određuju se za srednju vrednost i standardnu devijaciju logaritamski transformisanih izmerenih podataka. Iz tih raspodela izračunata je koncentracija koja je rizična za 5% organizama, što je gornji minimum za zaštitu vodenog eko sistema, prema:

$$HC5 = \exp(x_m - k_l S_m)$$

gde je:

m-broj test organizama

$x_m$  - srednja vrednost  $\ln$ - transformisane toksičnosti, prema  $L_{50}$  ili  $E_{50}$  ili NOEC

$S_m$  - standardna definicija za  $\ln$ -transformisane nivoe

$k_l$  - ekstrapolaciona konstanta

Opasnost ili ekološki rizik se određuje verovatnoćom da će slučajno odabrani organizmi u datom eko-sistemu, biti ugroženi postojećom izmerenom koncentracijom pesticida, kao:

$$\Phi = \left\{ 1 + \exp \left\{ \frac{x_m - \ln C}{k_l / \ln(95/5) S_m} \right\} \right\}^{-1}$$

Zbirni ekološki rizik pesticida (P) određuje se sabiranjem verovatnoća:

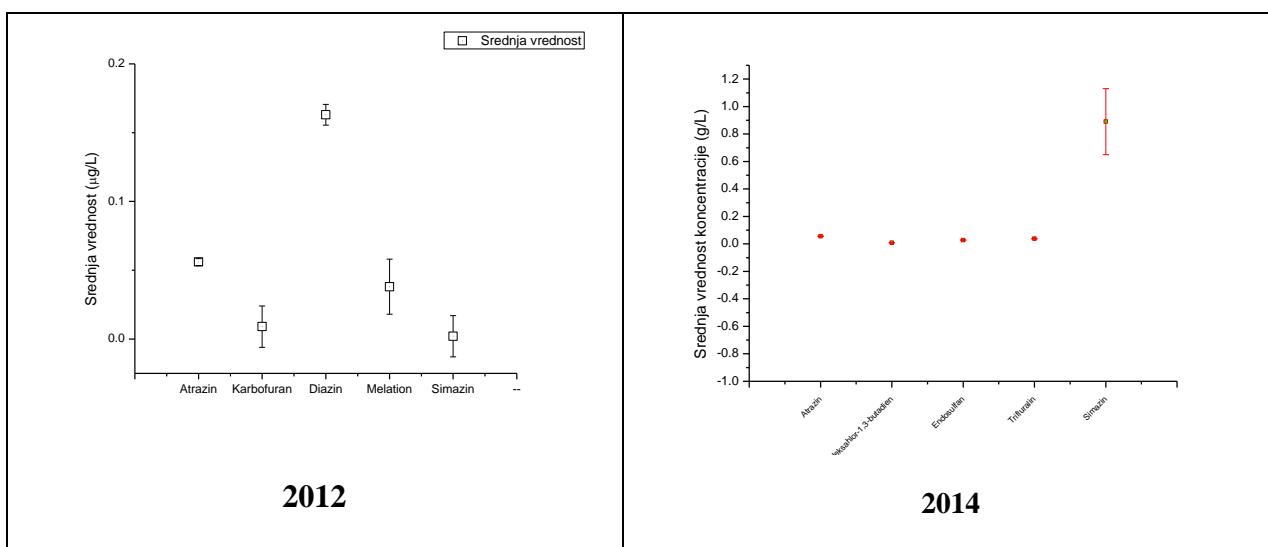
$$\emptyset[A_1 + A_2 + \dots + A_n]$$

Zbir  $\emptyset[A_1 + A_2 + \dots + A_n]$  se vrši na svim  $\binom{n}{r}$  mogućim podsetovima rizika za postojeće

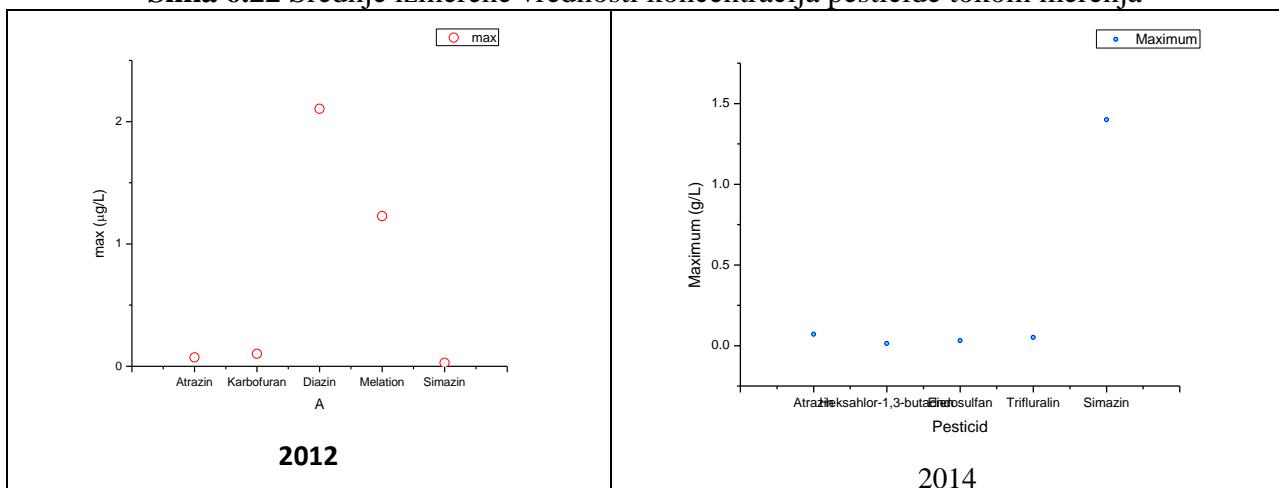
organizme {1,2,...,n}. Model ne razmatra sinergetske ili antagonističke interakcije.

**Tabela 6.3.** Detektovani pesticidi u vodi

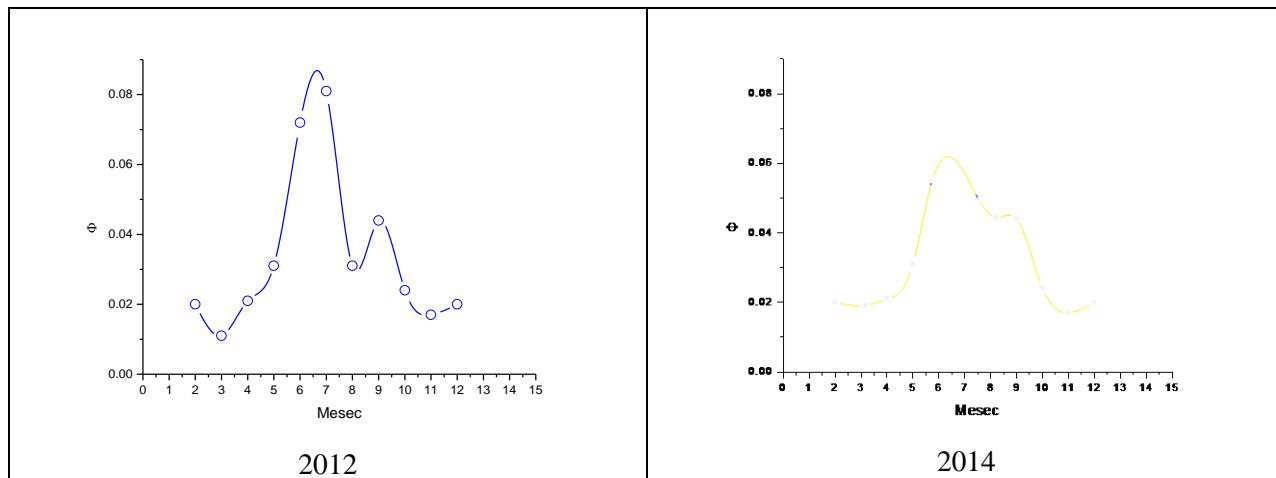
| Jedinjenje | Detekcija<br>(% uzoraka) | Ukupna srednja<br>koncentracija (mg/L) | Opseg<br>(n=60) |
|------------|--------------------------|--|-----------------|
| Atrazin    | 35.0                     | 0.056                                  | <0.0025-0.0728  |
| Karbofuran | 10                       | 0.009                                  | <0.015-0.103    |
| Diazin     | 50                       | 0.163                                  | <0.0075-2.105   |
| Melation   | 21.7                     | 0.038                                  | <0.020-1.227    |
| Simazin    | 10                       | 0.002                                  | <0.015-0.028    |



**Slika 6.22** Srednje izmerene vrednosti koncentracija pesticide tokom merenja



**Slika 6.23** Maksimalne izmerene vrednosti tokom perioda vremena



Slika 6.24 Verovatnoća akutne toksičnosti vode

Na osnovu merenja i proračunatih verovatnoća detektovanih pesticida na osnovu RQ metodologije, kao i na osnovu procenta ekološkog rizika izračunatog probabalističkim pristupom, može se izvesti zaključak da nivo prisutnosti pesticida u jezeru ne predstavlja značajniji pritisak na eko-sistem jezera.

Vredno je napomenuti da je izveštaj sa ovih istraživanja prikazan na GLEON (Global Lake Environmental Observatory Network) u Irskoj 2012 godine, doneo republici Srbiji COST Netlake projekat.

## ISPITIVANJA 2013. GODINE

Rezultati dobijeni u prve tri godine rada na Bovanskom rezervoaru otvorili su nekoliko pravca razvoja, kako mernih sistema, tako i načina obrade rezultata. Vredno je napomenuti da je izveštaj sa ovih istraživanja prikazan na GLEON (Global Lake Environmental Observatory Network) u Irskoj 2012 godine, doneo Republici Srbiji COST Netlake projekat, umrežavanja sistema jezera u Evropi za praćenje kvaliteta vode u rezervoarima.

Centralni projekat ovih istraživanja je bio korišćenje visokofrekventnih mernih sistema za kontinualno praćenje kvaliteta vode. Po zahtevu merna stanica treba da ispunjava sledeće uslove:

- Logovanje podataka u vremenskom periodu do 90 dana.
- Mogućnost višekanalnog merenja temperature vode (do 20 merenja) na dubinama do 20m sa mernim opsegom -10°C do +40°C.
- Mogućnost priključenja drugih mernih davača (pritisak, koncentracija rastvorenog kiseonika, pH ...)
- Mogućnost napajanja iz sopstenog izvora uz laku zamenu (dopunu) akumulatorskih baterija.
- Mogućnost lakog preuzimanja podataka radi analize (priključenjem prenosnog računara ili zamenom SD kartice).
- Mogućnost umrežavanja i priključenja na daljinski sistem nadzora (bez obzira na način povezivanja).
- Mogućnost proširenja akvizicionog sistema po zahtevu korisnika.

## Predloženo rešenje

Data logger:

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Napajanje:                | 8.5÷35V DC  |
| Potrošnja:                | cca. 40 mA (pri 12V DC)   |
| Radna temperatura:        | -30°C÷75°C  |
| Skladištenje podataka:    | SDHC kartica, max 16GB  |
| Lokalna kopija:           | Interna Flash memorija 2MB  |
| Komunikacione mogućnosti: | Ethernet 10Mbps (Modbus over Ethernet),<br>RS485 2 wire Modbus,<br>RS232 Modbus |

Port za dodatna merenja: ugrađeni AD konvertor 12 bita 1MSPS, efektivna rezolucija do 16 bita (oversampling  $\times 256$ ). Uz odgovarajuće kolo za normalizaciju i pojačanje, signali sa davača rastvorenog kiseonika se mogu dovesti na ovaj port. Raspoloživo napajanje 3.3V

Format zapisanih podataka: ASCII, CSV (Comma separated values). Ovaj format se direktno unosi u Excel ili OpenOffice tabele. Takođe se može otvoriti običnim tekst editorom.

Učestanost merenja: Minimalna perioda merenja po jednom mernom mestu (na jednoj dubini) ne bi trebala da bude manja od 5 sekundi, zbog samozagrevanja senzora.

Način adresiranja: Svaki senzor ima jedinstveni 64 bitni broj, koji se koristi za adresiranje.

Registrovani podaci su, prema tome, vezani za ove jedinstvene serijske brojeve.

Svaki od senzora ima EEPROM registre u koje se upisuje redni broj ili dubina na kojoj se senzor nalazi, kao i korekcija ofseta senzora, maks.  $\pm 0,45^\circ\text{C}$ .

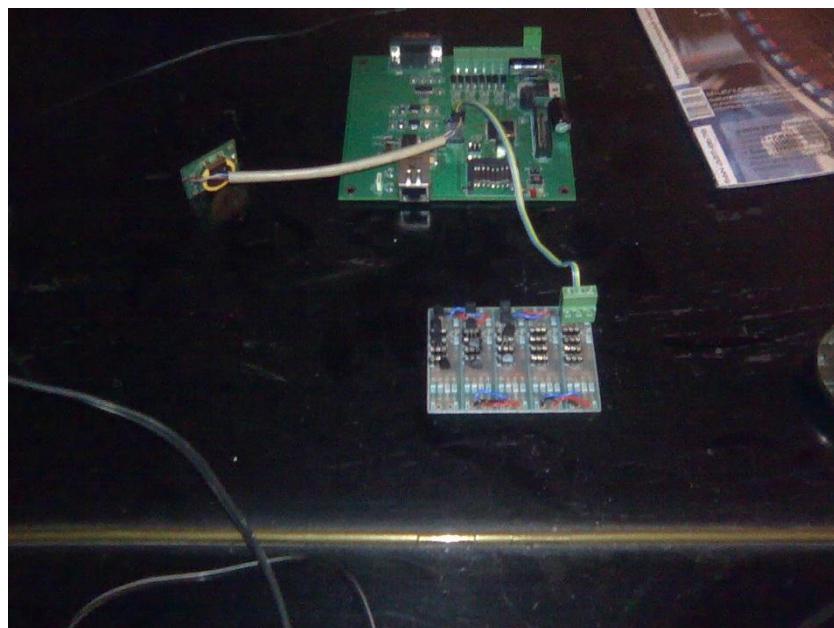
Povezivanje: Senzori se povezuju na 3 žični bus. Kada merenje nije u toku, senzorskem kompletu se ukida napajanje.

Mehaničko povezivanje: VARIJANTA 1: Senzori su smešteni u kućišta od nerđajućeg čelika, tip 4580 (čelik odobren za kontakt sa hransom, bez teških metala), u segmentima dužine oko 50 mm. Između segmenata je kabl koji sprovodi bus, koji je spolja zaštićen silikonskim omotačem debljine zida oko 2mm, koji omogućava fleksibilnost. Sa spoljne strane mernog sistema je sajla od nerđajućeg čelika koja nosi težinu. Dužina mernog sistema i broj segmenata se može birati, broj segmenata može biti do 40. Sajla se na gornjem kraju završava karabinjerom ili alkom pogodnom za pričvršćenje na bovu.

VARIJANTA 2: Senzori su potpuno zaliveni u vodonepropusne segmente dužine oko 50 mm.

Između segmenata je kabl koji sprovodi bus, koji je spolja zaštićen silikonskim omotačem debljine zida oko 2mm, koji omogućava fleksibilnost. Unutar silikonskog creva je i sajla od nerđajućeg čelika koja nosi težinu. Dužina mernog sistema i broj segmenata se može birati, broj segmenata može biti do 40. Sajla se na gornjem kraju završava karabinjerom ili alkom pogodnom za pričvršćenje na bovu.

U skladu sa usvojenim rešenjem razvijen je prototip datalogera sa navedenim performansama. Testiranje je vršeno u svim uslovima rada u dužem vremenskom periodu. Zapis podataka se optimizovan prema zahtevu korisnika što omogućava lako preuzimanje i analizu podataka.

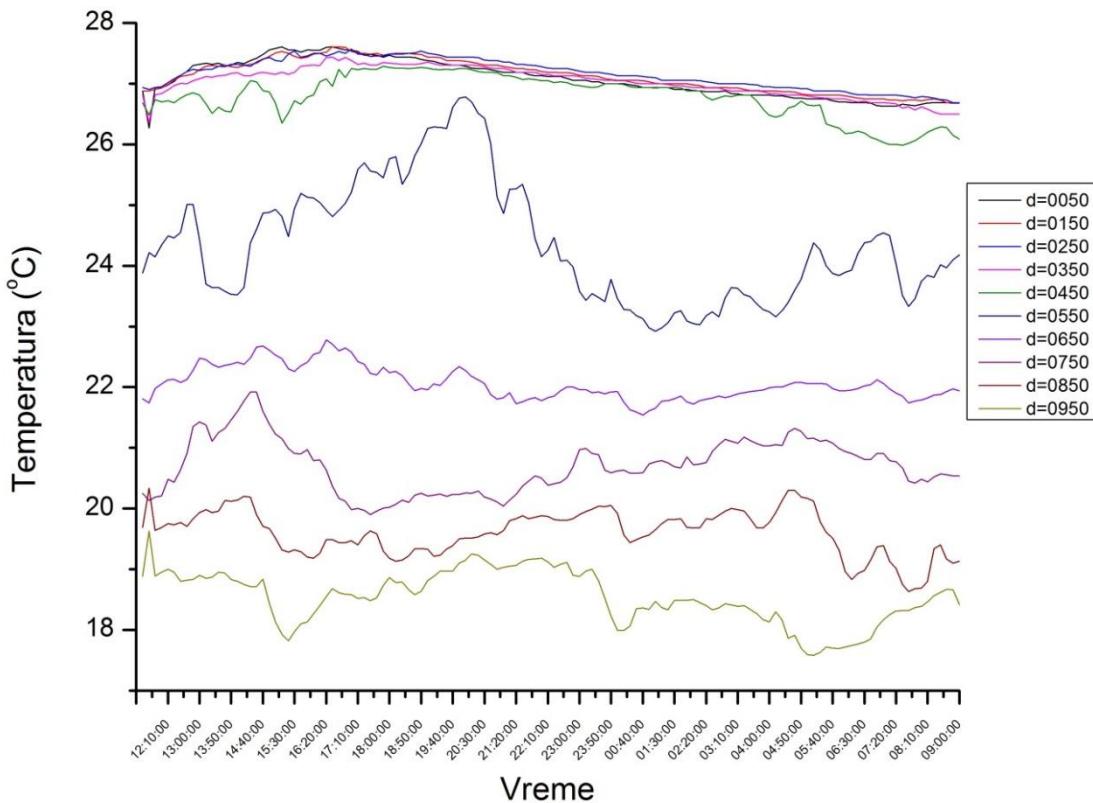


Slika 6.25 Data loger

Nakon uspešnog testiranja uređaja, definisano je konačno hardversko i softversko rešenje kao platforma za prihvat svih standardnih signala za potrebe merne stanice (prilagođenje nivoa signala će biti izvršeno kada se izvrši konačni izbor mernih transmitera koji će se priključiti na mernu stanicu). Komunikacione mogućnosti datalogera omogućavaju integraciju u buduće lokalne i daljinske sisteme nadzora i upravljanja akvizicijom podataka bez obzira na način povezivanja. Ovaj način konstrukcije omogućava izradu „mernog lanca“sa potrebnim brojem senzora kako po njihovom broju tako i po visinskom rasporedu, što omogućava realizaciju merenja po svim zahtevima korisnika. Standardna konstrukcija je 10 mernih senzora raspoređenih na međusobnom rastojanju od 100cm.

Testiranje mene stanice je izvršeno na objektu Veslačkog kluba „Crvena zvezda“ na Adi Ciganlji u Beogradu. S obzirom na malu dubinu reke, merenje je rađeno sa 5 senzora raspoređenih na međusobnom rastojanju od 50cm. U roku testiranja kontrolisano je tehničko

stanje merne stanice i kontrolisani rezultati merenja.

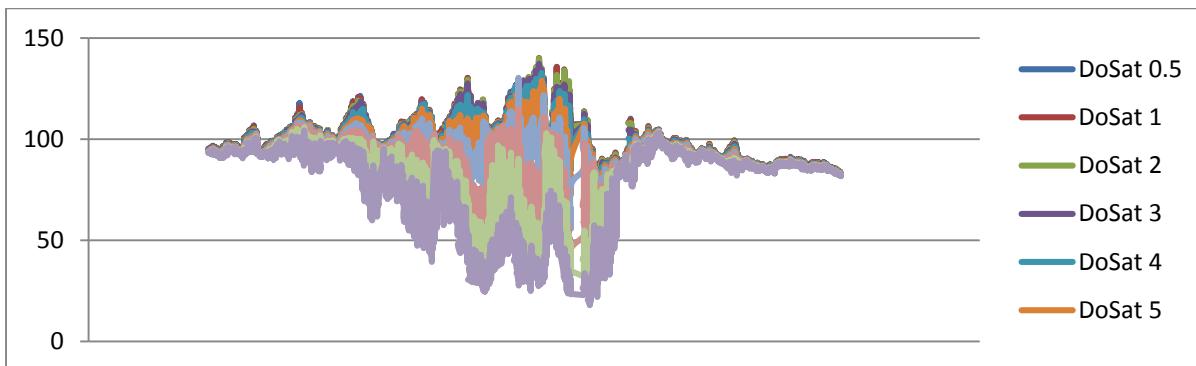


Slika 6.26 test merenja sistema 2015 godine(provera sistema)

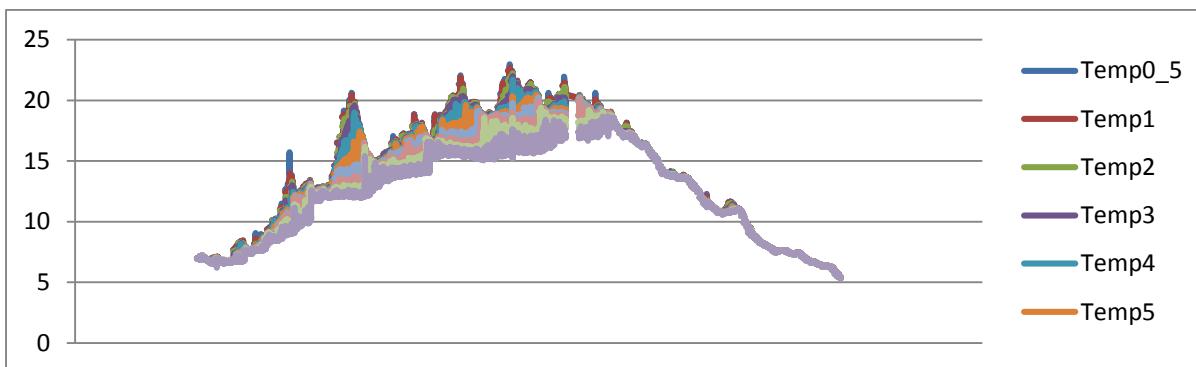


Slika 6.27 Komponente sistema

Grafičkih prikaza delu sakupljenih podataka merenja temperature mernom bovom prikazan je na sledećoj slici. Vremenski interval koji je prikazan na slici je 1sat.

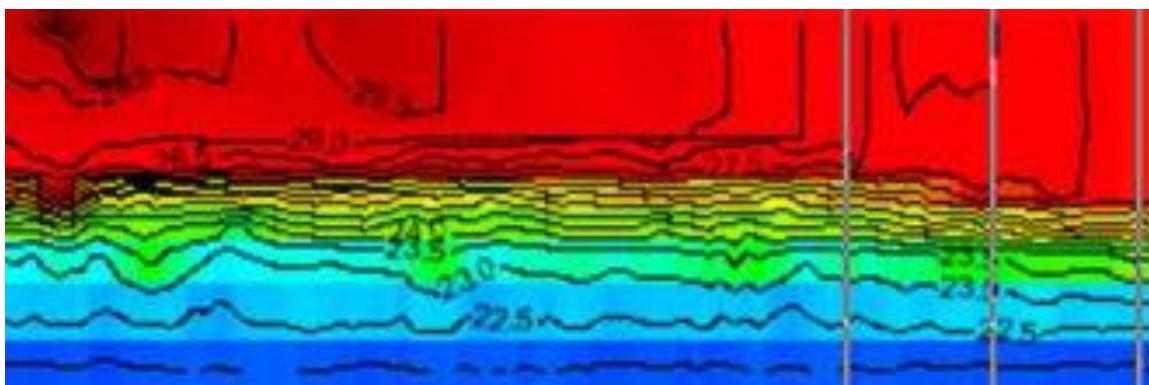


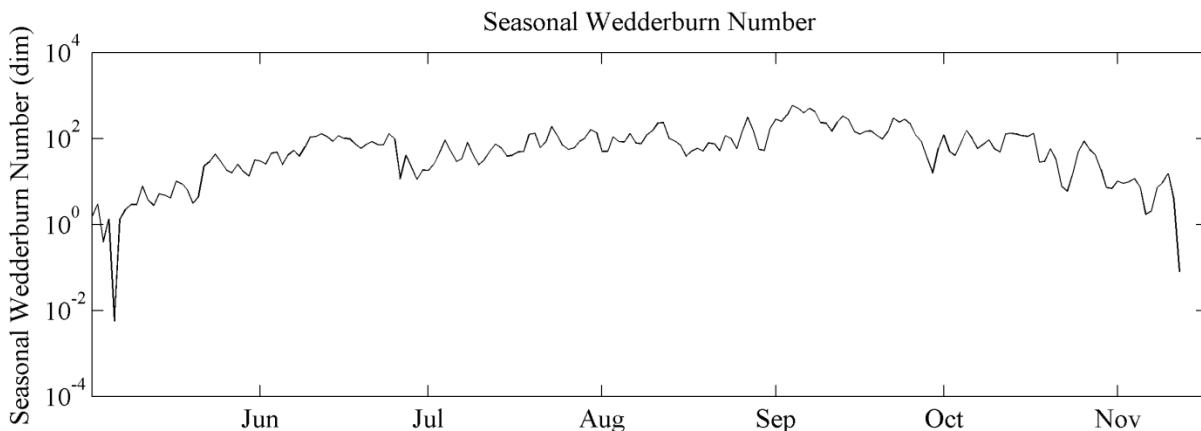
Slika 6.28 Vremenska raspodela rastvorenog kiseonika



Slika 6.29 Vremenska raspodela temperature vodenog stuba

Na kraju merne sezone 2013. godine izvršeno je kontrolno merenje kvaliteta vode. Cilj merenja bio je da se provere sve primenjene metodologije kao i da se provere modeli na osnovu kojih je





**Slika 6.30.** Prikaz analize dela podataka (r Lake Analyser)

vršena procena kvaliteta vode jezera Bovan. Merenja su izvršena automatskom sondom na 56 lokacija jezera. Ova merenja su uskladena sa radom na projektu EU COST 1201 Netlake, koji su kasnije prezentovani na sastanku radne grupe u Holandiji.

Najvećim delom, klasa kvaliteta vode određuje se fizičko-hemijskim ispitivanjima. Međutim, bez uvida u mikrobiološke, biološke i radiološke karakteristike, ocena kvaliteta vode i njena klasifikacija bila bi neprecizna i mogla bi dovesti do grubih grešaka. Biološki pokazatelji odnose se na prisustvo bakterija, virusa, mikro i makroorganizama biljnog i životinjskog porijekla prisutnih u vodi.

Mikrobiološko ispitivanje voda je jednostavan i siguran put dokazivanja eventualnog prisustva patogenih mikroorganizama i indikatora fekalnog zagađenja. Indikatori fekalnog zagađenja su mikroorganizmi koji redovno kolonizuju creva čoveka i životinja i prepostavlja se da prisustvo ovih bakterija u vodi automatski znači i veliku mogućnost prisustva patogenih mikroorganizama. Bakterije indikatori fekalne kontaminacije su one vrste koje se kao normalna mikroflora nalaze pretežno u ljudskim fekalijama. Među takve ubrajamo koliformne bakterije, fekalne streptokoke, sulfito-redukuće klostridije, vrste iz roda *Salmonella* i vrste iz roda *Proteus*. Uzorci su uzimani na različitim lokacijama i dubinama.

#### Lokalitet 1 - uliv reke Moravice u jezero (0,5 m)

|  |      |
|--|------|
| Ukupan broj aerobnih organotrofa u 1 ml (broj heterotrofa na 22-26 °C)               | 2818 |
| Ukupan broj fakultativno oligotrofnih bakterija u 1 ml (broj oligotrofa na 22-26 °C) | 2955 |
| Ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija u 1 ml na 37 °C                            | 200  |
| Ukupan broj aerobnih psihrofilnih bakterija u 1 ml na 20 °C                          | 2818 |
| Proteolitičke bakterije u 1 ml   | 1500 |
| Saharolitičke bakterije u 1 ml   | 550  |

|  |          |
|--|----------|
| Lipolitičke bakterije u 1 ml                               | 2600     |
| Amilolitičke bakterije u 1 ml                              | 500      |
| Odnos fakultativnih oligotrofa i heterotrofa (indeks FO/H) | 1,05     |
| Kategorizacija vode po Kohl-u                              | II klasa |

Ispitivani uzorak vode na osnovu kategorizacije po Kohl-u pripada II klasi površinskih voda sa zadovoljavajućim samoprečiščavanjem. Organske materije značajno opterećuju dati uzorak. Dominantno je opterećenje masnog i proteinskog porekla, dok je učešće ugljenohidratnih zagađivača bez većeg značaja. U ispitanom uzorku vode je utvrđeno masovno prisustvo bakterija vrste *Zooglea ramigera*, indikatora H<sub>2</sub>S, koja može uticati na stvaranje biofilma.

### Lokalitet 2 – glavno kupalište (0,5 m)

|  |          |
|--|----------|
| Ukupan broj aerobnih organotrofa u 1 ml (broj heterotrofa na 22-26 °C)               | 1227     |
| Ukupan broj fakultativno oligotrofnih bakterija u 1 ml (broj oligotrofa na 22-26 °C) | 1864     |
| Ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija u 1 ml na 37 °C                            | 1850     |
| Ukupan broj aerobnih psihrofilnih bakterija u 1 ml na 20 °C                          | 2182     |
| Proteolitičke bakterije u 1 ml   | 950      |
| Saharolitičke bakterije u 1 ml   | 150      |
| Lipolitičke bakterije u 1 ml   | 1000     |
| Amilolitičke bakterije u 1 ml  | 50       |
| Odnos fakultativnih oligotrofa i heterotrofa (indeks FO/H)                           | 1,52     |
| Kategorizacija vode po Kohl-u  | II klasa |

Ispitivani uzorak vode na osnovu kategorizacije po Kohl-u pripada II klasi površinskih voda sa zadovoljavajućim samoprečiščavanjem. Organske materije značajno opterećuju dati uzorak. Dominantno je opterećenje masnog i proteinskog porekla, dok je učešće ugljenohidratnih zagađivača bez većeg značaja.

### Lokalitet 3 – glavno kupalište (10 m)

|  |      |
|--|------|
| Ukupan broj aerobnih organotrofa u 1 ml (broj heterotrofa na 22-26 °C)               | 4909 |
| Ukupan broj fakultativno oligotrofnih bakterija u 1 ml (broj oligotrofa na 22-26 °C) | 9773 |
| Ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija u 1 ml na 37 °C                            | 1350 |

|   |          |
|---|----------|
| Ukupan broj aerobnih psihrofilnih bakterija u 1 ml na 20 °C | 1318     |
| Proteolitičke bakterije u 1 ml                              | 4000     |
| Saharolitičke bakterije u 1 ml                              | 150      |
| Lipolitičke bakterije u 1 ml                                | 1750     |
| Amilolitičke bakterije u 1 ml                               | 0        |
| Odnos fakultativnih oligotrofa i heterotrofa (indeks FO/H)  | 1,99     |
| Kategorizacija vode po Kohl-u                               | II klasa |

Ispitivani uzorak vode na osnovu kategorizacije po Kohl-u pripada II klasi površinskih voda sa zadovoljavajućim samoprečišćavanjem. Organske materije značajno opterećuju dati uzorak. Dominantno je opterećenje proteinskog i u manjoj meri masnog porekla, dok je učešće ugljenohidratnih zagađivača (monosaharidni tip) bez većeg značaja. Bakterije indikatori polisaharidnih materija nisu prisutne.

#### Lokalitet 4 – glavno kupalište (20 m)

|  |            |
|--|------------|
| Ukupan broj aerobnih organotrofa u 1 ml (broj heterotrofa na 22-26 °C)               | 800        |
| Ukupan broj fakultativno oligotrofnih bakterija u 1 ml (broj oligotrofa na 22-26 °C) | 2500       |
| Ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija u 1 ml na 37 °C                            | 1050       |
| Ukupan broj aerobnih psihrofilnih bakterija u 1 ml na 20 °C                          | 1636       |
| Proteolitičke bakterije u 1 ml   | 200        |
| Saharolitičke bakterije u 1 ml   | 0          |
| Lipolitičke bakterije u 1 ml   | 550        |
| Amilolitičke bakterije u 1 ml  | 0          |
| Odnos fakultativnih oligotrofa i heterotrofa (indeks FO/H)                           | 3,13       |
| Kategorizacija vode po Kohl-u  | I-II klasa |

Ispitivani uzorak vode na osnovu kategorizacije po Kohl-u pripada I-II klasi površinskih voda sa zadovoljavajućim samoprečišćavanjem. Organske materije u manjoj meri opterećuju dati uzorak. Dominantno je opterećenje masnog i proteinskog porekla, dok bakterije indikatori ugljenohidratnih zagađivača nisu prisutne.

**Lokalitet 5 - vodozahvat (0,5 m)**

|  |          |
|--|----------|
| Ukupan broj aerobnih organotrofa u 1 ml (broj heterotrofa na 22-26 °C)               | 2409     |
| Ukupan broj fakultativno oligotrofnih bakterija u 1 ml (broj oligotrofa na 22-26 °C) | 7364     |
| Ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija u 1 ml na 37 °C                            | 300      |
| Ukupan broj aerobnih psihrofilnih bakterija u 1 ml na 20 °C                          | 2182     |
| Proteolitičke bakterije u 1 ml   | 1800     |
| Saharolitičke bakterije u 1 ml   | 650      |
| Lipolitičke bakterije u 1 ml   | 1600     |
| Amilolitičke bakterije u 1 ml  | 0        |
| Odnos fakultativnih oligotrofa i heterotrofa (indeks FO/H)                           | 3,06     |
| Kategorizacija vode po Kohl-u  | II klasa |

Ispitivani uzorak vode na osnovu kategorizacije po Kohl-u pripada II klasi površinskih voda sa zadovoljavajućim samoprečiščavanjem. Organske materije značajno opterećuju dati uzorak. Dominantno je opterećenje proteinског i masnog porekla, dok je učešće ugljenohidratnih zagađivača (monosaharidni tip) bez većeg značaja. Bakterije indikatori polisaharidnih materija nisu prisutne.

**Lokalitet 6 - vodozahvat (12 m)**

|  |          |
|--|----------|
| Ukupan broj aerobnih organotrofa u 1 ml (broj heterotrofa na 22-26 °C)               | 1318     |
| Ukupan broj fakultativno oligotrofnih bakterija u 1 ml (broj oligotrofa na 22-26 °C) | 3818     |
| Ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija u 1 ml na 37 °C                            | 100      |
| Ukupan broj aerobnih psihrofilnih bakterija u 1 ml na 20 °C                          | 727      |
| Proteolitičke bakterije u 1 ml   | 400      |
| Saharolitičke bakterije u 1 ml   | 650      |
| Lipolitičke bakterije u 1 ml   | 1500     |
| Amilolitičke bakterije u 1 ml  | 0        |
| Odnos fakultativnih oligotrofa i heterotrofa (indeks FO/H)                           | 2,9      |
| Kategorizacija vode po Kohl-u  | II klasa |

Ispitani uzorak vode na osnovu kategorizacije po Kohl-u pripada II klasi površinskih voda sa

zadovoljavajućim samoprečiščavanjem. Organske materije značajno opterećuju dati uzorak. Dominantno je opterećenje masnog i u manjoj meri ugljenohidratnog (monosaharidni tip) i proteinskog porekla. Bakterije indikatori polisaharidnih materija nisu prisutne.

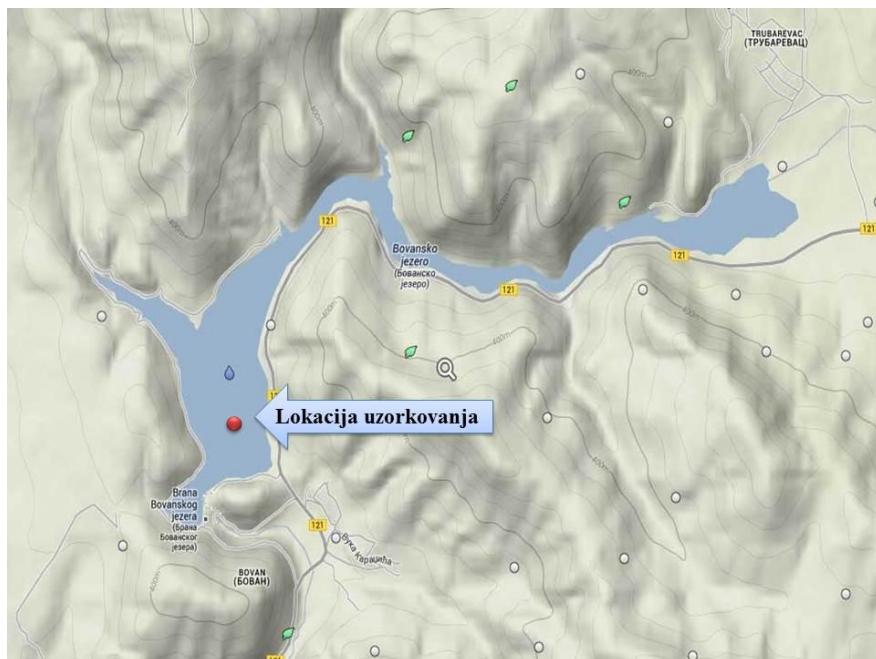
#### Lokalitet 7 - vodozahvat (20 m)

|  |          |
|--|----------|
| Ukupan broj aerobnih organotrofa u 1 ml (broj heterotrofa na 22-26 °C)               | 1364     |
| Ukupan broj fakultativno oligotrofnih bakterija u 1 ml (broj oligotrofa na 22-26 °C) | 1850     |
| Ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija u 1 ml na 37 °C                            | 200      |
| Ukupan broj aerobnih psihrofilnih bakterija u 1 ml na 20 °C                          | 727      |
| Proteolitičke bakterije u 1 ml   | 300      |
| Saharolitičke bakterije u 1 ml   | 50       |
| Lipolitičke bakterije u 1 ml   | 1150     |
| Amilolitičke bakterije u 1 ml  | 50       |
| Odnos fakultativnih oligotrofa i heterotrofa (indeks FO/H)                           | 1,36     |
| Kategorizacija vode po Kohl-u  | II klasa |

Ispitani uzorak vode na osnovu kategorizacije po Kohl-u pripada II klasi površinskih voda sa zadovoljavajućim samoprečiščavanjem. Organske materije značajno opterećuju dati uzorak. Dominantno je opterećenje masnog i u manjem stepenu proteinskog porekla, dok je učešće ugljenohidratnih zagadivača bez većeg značaja.

## 7. ISPITIVANJA 2014

Ispitivanje su obavljena u periodu od **1.7.2014.** do **06.11.2014.** godine. Ispitivanje površinskih voda je urađeno uzorkovanjem vode korišćenjem pasivnih uzorkivača na 7 unapred definisanih lokacija na vodnom sistemu Bovan, po nalogu naručioca (Tabela 3).

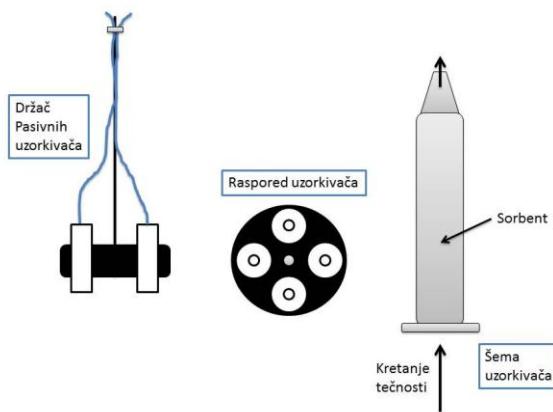


Slika 7.1 Akumulacija Bovan, Aleksinac-Soko Banja

Odlučeno je da se za ova ispitivanja pasivni uzorkivači postave u priobalju, vezani uz obalu, radi lakše dostupnosti i manipulacije. Generalno gledajući, uzorkivači treba da se postave na sredini vodnog tela i da se vežu za bove, što će svakako biti urađeno, ako se projekat nastavi.

Pasivno uzorkovanje vode može se definisati kao zahvatanje podzemne vode pasivnim uzorkivačem sa određene dubine u objektu bez aktivnog transporta vode pumpanjem ili nekim drugim sredstvom. Postoji nekoliko vrsta pasivnih uzorkivača koji se razlikuju po načinu rada, jedni koriste difuziju i sorpciju da akumuliraju jedinjenja iz vode (Gore module), drugi zahvataju vodu direktno sa određene dubine. Da bi se uzeo uzorak iz objekta pasivnim uzorkivačem mora se znati, kao i kod ostalih metoda, osnovi konstrukcije objekta (prečnik, položaj filterskog intervala i sl.), nivo podzemne vode, tip zagađenja i hidrauličke karakteristike izdani. Pasivni uzorkivači se potapaju na željenu dubinu a oni koji radi na principu difuzije moraju i da ostanu

neko vreme da bi se postigla ravnoteža. Sam projekat je koncipiran da se na bazi urađenih merenja hemijskih parametara kvaliteta vode na odabranim lokacijama, koja su urađena u periodu od 2008.-2013. godine urade merenja odabranih parametara kvaliteta vode, pri čemu će uzorkovanje biti urađeno pasivnim uzorkivačima. Jedan od ciljeva predloženog projekta je sagledavanje svih aspekata primene pasivnih uzorkivača za praćenje kvaliteta vodnih tala u dužem vremenskom periodu, kao i povećavanje broja merenja na izabranim vodnim telima, u cilju povećanja tačnosti samih merenja. Sa druge strane, sagledaće se i pouzdanost ovih uzorkivača u slučaju incidentnih situacija ili povećanje opterećenja vodnih tala izazvanih humanim aktivnostima. Za potrebe uzorkovanja na vodnom sistemu Bovan, dizajniram je sistem pasivnih uzorkivača i držača koji su prikazani na sledećoj šemi i slici. To je bio inicijalni sistem. Međutim, pošto se pokazalo da je ova konstrukcija ujedno i dobar lokalni suvenir, napravljene su i modifikacije polaznog plastičnog držača koje su prikazane na slikama koje slede.



**Slika 7.2** Šematski prikaz pasivnog uzorkivača i držača



**Slika 7.3** Fotografije pasivnih uzorkivača



**Slika 7.4** Nosač pasivnog uzorkivača



**Slika 7.5** Modifikacije polaznog nosača

Uzorkovanje površinskih voda obavlja se u skladu sa grupom propisa, smernicama za uzimanje uzoraka voda SRPS ISO 5667. Izrada i postavljanje pasivnih senzora je bio početni korak. Sledeće što je trebalo definisati je vreme uzorkovanja. Relativno dugo je trajalo dogovaranje oko samog projekta, ali za realne naše prilike to je sve išlo veoma brzo. Dogovoren je da se na unapred opisanim mestima postave senzori, odnosno uzorkivači, u vremenu koje je takođe ranije izneto. Uzorkivači su podizani u periodu od približno 30 dana i zamenjivani novim. Sledeće tabele daju raspodelu vremena uzorkovanja na ispitivanom vodnom sistemu.

Takvim sistemom je omogućeno kontinuirano uzorkovanje vode na sistemu Bovan i naravno, adekvatna analiza sakupljenih uzorka. Izbor metodologije i analiza uzorkivača je bio sledeći problem koji je trebalo rešiti ili se odlučiti za izbor metode.



**Slika 7.6** Ekstraktor za pripremu uzoraka.

Prvi problem sa kojim se susreće svako ko počinje da se bavi menadžmentom uzorkovanja i analiza, jeste akreditacija metoda. Na našu žalost, to je postao kamen spoticanja realizaciji mnogih projekta iz oblasti zaštite životne sredine, pa na kraju i u sistemima za upravljanje vodama. Pitanje koje нико do sada nije postavio šta znači "akreditovana metoda". Jedno je "standardizovana metoda" koja je prošla kroz procedure standardizacije i ista je svuda gde se primenjuje ili traži taj standard ili ta standardizovana metoda. Akreditovana metoda podrazumeva primenu neke od standardizovanih metoda ili pak neku metodu koja je dokazana u međulaboratorijskoj saradnji. Mislim da to nije neki veliki problem, da ne postoji i deo koji se bavi ekonomskim aspektima analiza i sama akreditacija je veoma poskupela proces kvantifikacije uzoraka. Pomenute metode su date u prilogu ovog izveštaja. Sakupljeni uzorci su pripremani sohlent ekstrakcijom po već pomenutom standardu. Slika ekstraktora je data u nastavku teksta.



Slika 7.7 Korišćena instrumentalna analitička oprema

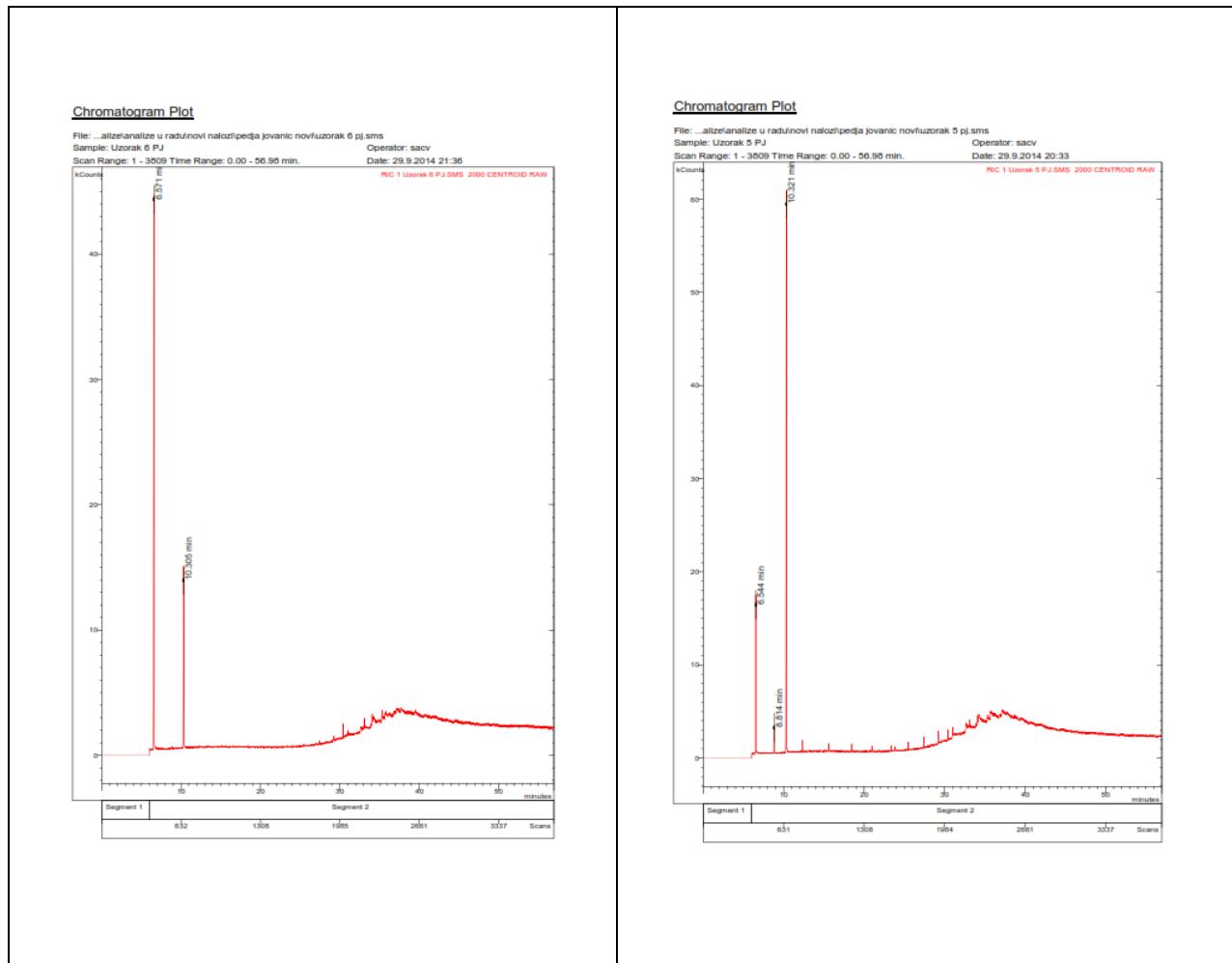
Hromatogrami dobijeni ovim analizama su arhivirani na centralnom sistemu posle čega su analizirani, odnosno izračunavane koncentracije elemenata i jedinjenja koji su obuhvaćeni ovim pilot projektom. Primeri hromatograma su dati na sledećim slikama. Prva kvalitativna ocena dobijenih rezultata ukazuje na postojanje razlika na mernim mestima po nivou (koncentracijama) analiziranih supstanci. Samim tim je posredno i pokazana korisnost pasivnih senzora za praćenje kvaliteta vodnih tela u velikim vremenskim intervalima. Pored ovih analiza urađene su i analize opasnih organskih komponenti (VOC), što je na neki način klasična i standardna procedura određivanja stanja životne sredine, pa samim tim i vodnih tela koja se ispituju.

U ovom projektu je ostvarena saradnja sa EUROFINS laboratorijom ili bolje rečeno sistemom laboratorijskih. Eurofins je razvio set metodologija za analizu uzoraka sakupljenih pasivnim uzorkivačima na vodnim telima ili sistemima. Već pomenuti projekat Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, je omogućio ostvarivanje veze i saradnje između istraživača i ove laboratorije. Izabran je sistema EPA standarda i metoda koja se koristi u svetu, a kod nas spadaju u standardizovane metode.

- EPA 5021A-2003 **METHOD 5021A VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS IN VARIOUS SAMPLE MATRICES USING EQUILIBRIUM HEADSPACE ANALYSIS**
- EPA 8270D-2007 **METHOD 8270D SEMIVOLATILE ORGANIC COMPOUNDS BY GAS CHROMATOGRAPHY/MASS SPECTROMETRY (GC/MS)**
- EPA 3540C-1996-**METHOD 3540C SOXHLET EXTRACTION**

Uzorci su pripremani za analizu VOC komponenti, zatim nutrijenata i pesticida, a standardi za

njihovo ispitivanje su nabavljeni prema planu merenja i prema analizi koja je prikazana o statusu jezera Bovan, u ranijem tekstu. Merenja, odnosno analize su urađene na gasno masenom hromatografu firme Thermo, sa kvadropol detektorima.



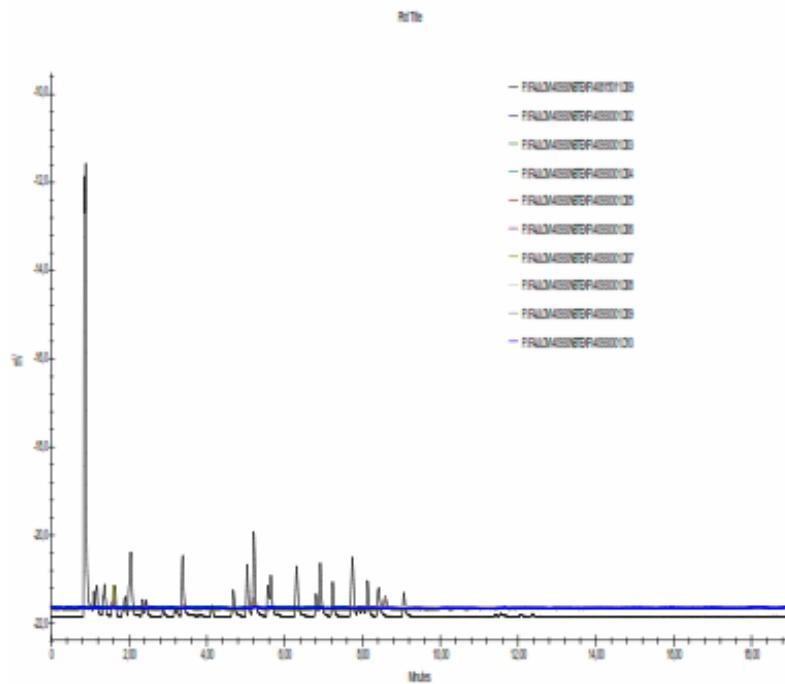
**Slika 7.8** Hromatogrami na mernim mestima jezera Bovan

Hromatografska analiza je pokazala mali nivo ovih komponenti u jezeru, generalno za ceo period uzorkovanja.

Poseban problem koji ovde treba istaći pri analizi, je postojanje vremenskih i kvantitativnih pomaka tokom analiza. Pri analizi podataka uvek se prikazuje i standardno odstupanje (standardna devijacija) izmerenih podataka od nekih, za taj slučaj, aritmetički izmerenih srednjih vrednosti.

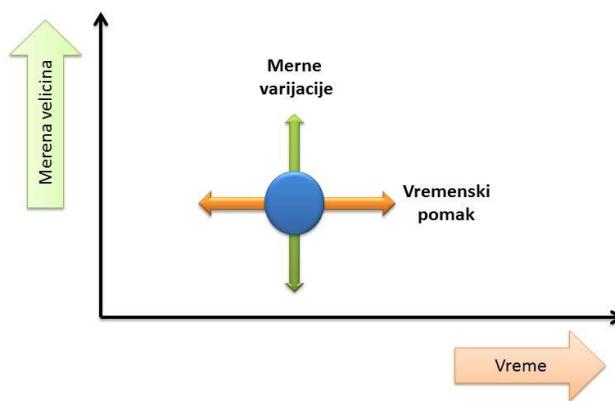
U ovom slučaju, pošto se i ponderisano vreme uzorkovanja, kako je objašnjeno u prethodnom tekstu izračunava iz hemijske analize specifičnih (tracer) jedinjenja, postoji pomak u vremenu. Grafički je to prikazano na sledećoj slici. Sa aspekta obrade podataka to znači da postoji

odstupanje i kod izmerenih koncentracija i kod određivanja vremena određivane koncentracije.



Slika 7.9 Hromatografska (GC HEADSPACE) analiza VOC komponenti

Da bi se rešio problem merenja vremena, korišćena je metodologija koja je standardna u astronomiji. Tu se vreme meri u tzv. Julijanskom kalendaru ili sistemu, gde je vreme predstavljeno u brojčanom decimalnom sistemu, a prevođenje u klasični kalendar je jednostavno.



Slika 7.10 Merna i vremenska odstupanja mernih vrednosti

Pesticidi mogu na različite načine doći do površinskih voda i uglavnom potiču od poljoprivrednih aktivnosti. Kompleksnost vodenih ekoloških sistema, može imati za posledicu efekat „leptira“ da toksični efekat kontaminata izazove nepredvidive efekte na mnogo većoj skali. Uticaj pesticida na eko sistem zavisi od stepena izloženosti (pojavna koncentracija pesticida u sistemu), kao i od toksikoloških svojstava samog jedinjenja. Određivanje stepena izloženosti podrazumeva izmerene koncentracije u ispitivanom eko sistemu (MEC). Te vrednosti dobijaju se iz praćenja (monitoringa) ili pak iz razvijenih modela koji mogu da odrede predviđene koncentracije u eko sistemu (PEC). Postoje različiti pristupi određivanju (PEC) vrednosti korišćenjem referentnih vrednosti toksikata i sličnih svojstava pesticida. Cilj istraživanja bio je da se odredi nivo pesticida na vodnom sistemu Bovan i da se proceni rizik koji se može pojaviti u vodnom sistemu. Za određivanje ekološkog rizika korišćene su dve metodologije:

A) rizik baziran na metodologiji za tri takonomne grupe, na dva nivoa efekata  
B) Inverzni metod Van Stracelen-u i Denneman-a koji je probalistički pristup za minimum pet vrsta u samom vodenom basenu.

**Tabela 7.1.** Specifične zagađujuće supstance- Prioritetne supstance

| Parametri              | Oznaka jedinice | Prosečne izmerene koncentracije za 2012 | Maksimalno dozvoljena koncentracija (MDK) | Prosečna godišnja koncentracija (PGK) |
|------------------------|-----------------|---|---|---------------------------------------|
| Atrazin                | g/l             | 0.6                                     | 2.0                                       | 0.2753                                |
| Simazin                | g/l             | 1.0                                     | 4.0                                       | 0.0030                                |
| Pentahlorfenol         | g/l             | 0.4                                     | 1.0                                       | <0.01                                 |
| Endosulfan-alfa        | g/l             |   |   | <0.005                                |
| Endosulfan-beta        | g/l             | 0.005                                   | 0.1                                       | <0.005                                |
| Heksahlorbenzen        | g/l             | 0.01                                    | 0.05                                      | <0.001                                |
| p,p'-DDT               | g/l             | 0.01 Suma 0.025                         |   | <0.001                                |
| Heksahlor-1,3-butadien | g/l             | 0.1                                     | 0.6                                       | <0.001                                |
| Trifluralin            | g/l             | 0.03 Suma 0.01                          |   | <0.001                                |

Probabilistička procena rizika urađena je korišćenjem inverzne Van Straaten & Denneman metodologije, bazirane na pretpostavci da frekvencija raspodele efekta ima raspodelu poznatu kao "In-logistik". Parametri koji opisuju raspodelu određuju se za srednju vrednost i standardnu devijaciju logaritamski transformisanih izmerenih podataka. Iz tih raspodela izračunata je koncentracija koja je rizična za 5% organizama, što je gornji minimum za zaštitu vodenog eko sistema, prema:

$$HC5 = \exp(x_m - kLS_m)$$

gde je:

m-broj test organizama

$x_m$  - srednja vrednost  $l_n$ - transformisane toksičnosti, prema  $L_{50}$  ili  $E_{50}$  ili NOEC

$S_m$  - standardna definicija za  $L_n$ -transformisane nivoe

$k_n$  - ekstrapolaciona konstanta

**Tabela 7.2** Izabrani podaci o toksičnosti pesticida ( $\mu\text{g/L}$ ) za različite organizme jezera

|                               | Alge<br>96h EC <sub>50</sub> | Zooplankton<br>48h LC <sub>50</sub> | Ribe<br>48h LC <sub>50</sub> | Invertebrate<br>48h LC <sub>50</sub> |        |       |
|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|--------|-------|
| Atrazin                       | 38                           | 60950                               | 40000                        | 18800                                | 10000  | -     |
| <b>Heksahlor-1,3-butadien</b> | 204480                       | 41                                  | 40                           | 1290                                 | -      | 5294  |
| <b>Endosulfan</b>             | 17300                        | 1.2                                 | 29.5                         | 4200                                 | 10133  | 3160  |
| <b>Trifluralin</b>            | 20000                        | 1.7                                 | 37.6                         | 6950                                 | -      | 39024 |
| Simazin                       | 56                           | 38000                               | 60840                        | 40000                                | 100000 | -     |
|                               |                              |                                     |                              |                                      |        | 28000 |

Opasnost ili ekološki rizik se određuje verovatnoćom da će slučajno odabrani organizmi u datom eko-sistemu, biti ugroženi postojećom izmerenom koncentracijom pesticida, kao:

$$\Phi = \left\{ 1 + \exp \left\{ \frac{x_m - \ln C}{k_l / \ln(95/5) S_m} \right\} \right\}^{-1}$$

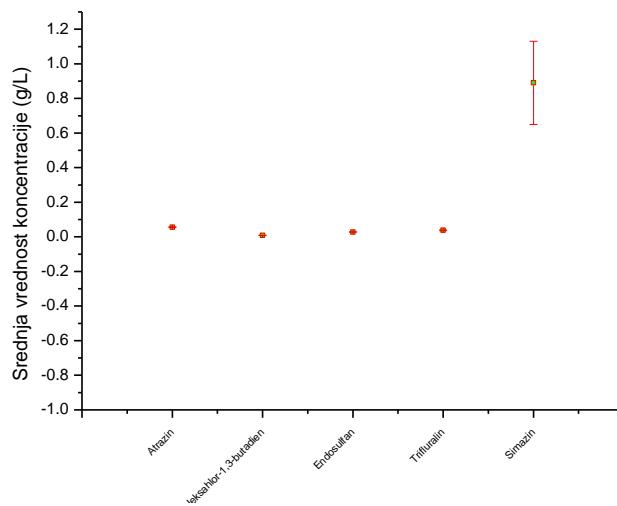
Zbirni ekološki rizik pesticida (P) određuje se sabiranjem verovatnoća:

$$\emptyset[A_1 + A_2 + \dots + A_n]$$

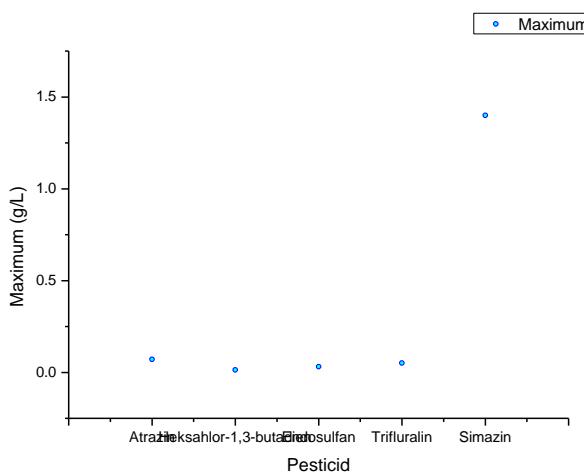
Zbir  $\emptyset[A_1 + A_2 + \dots + A_n]$  se vrši na svim ( $\binom{n}{r}$ ) mogućim podsetovima rizika za postojeće organizme {1,2,...,n}. Model ne razmatra sinergetske ili antagonističke interakcije.

**Tabela 7.3** Detektovani pesticidi u vodi

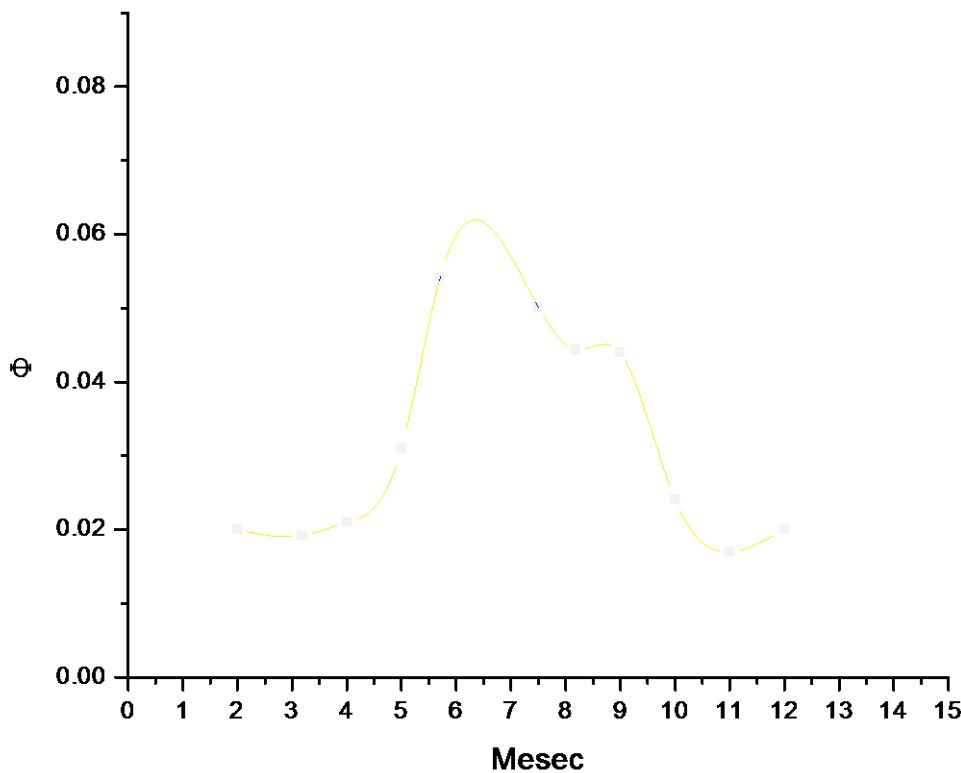
| Jedinjenje                    | Detekcija<br>(% uzoraka) | Ukupna srednja<br>koncentracija (g/L) |
|-------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| <b>Atrazin</b>                | <b>35.0</b>              | <b>0.056</b>                          |
| <b>Heksahlor-1,3-butadien</b> | <b>10</b>                | <b>0.009</b>                          |
| <b>Endosulfan</b>             | <b>50</b>                | <b>0.028</b>                          |
| <b>Trifluralin</b>            | <b>21.7</b>              | <b>0.038</b>                          |
| <b>Simazin</b>                | <b>10</b>                | <b>0.89</b>                           |



**Slika 7.11** Srednje izmerene vrednosti koncentracija pesticida tokom merenja



**Slika 7.12** Maksimalne vrednosti izmerene u periodu Jul-Novembar

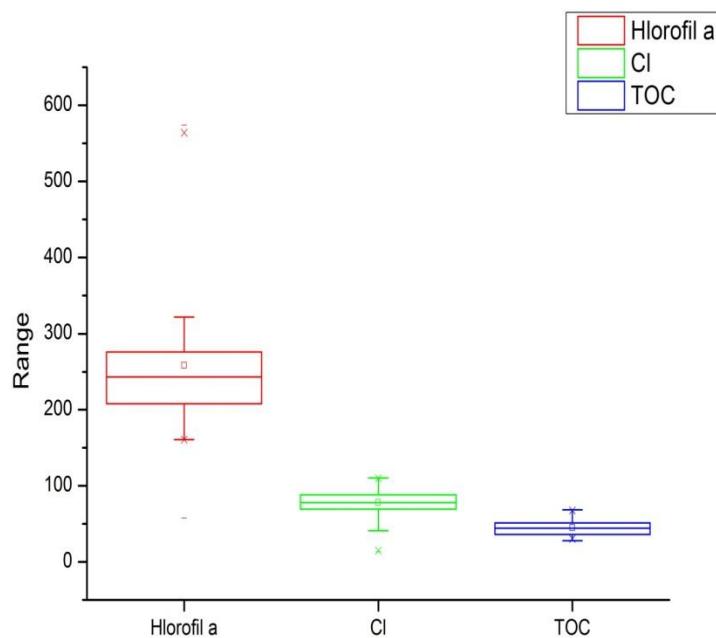


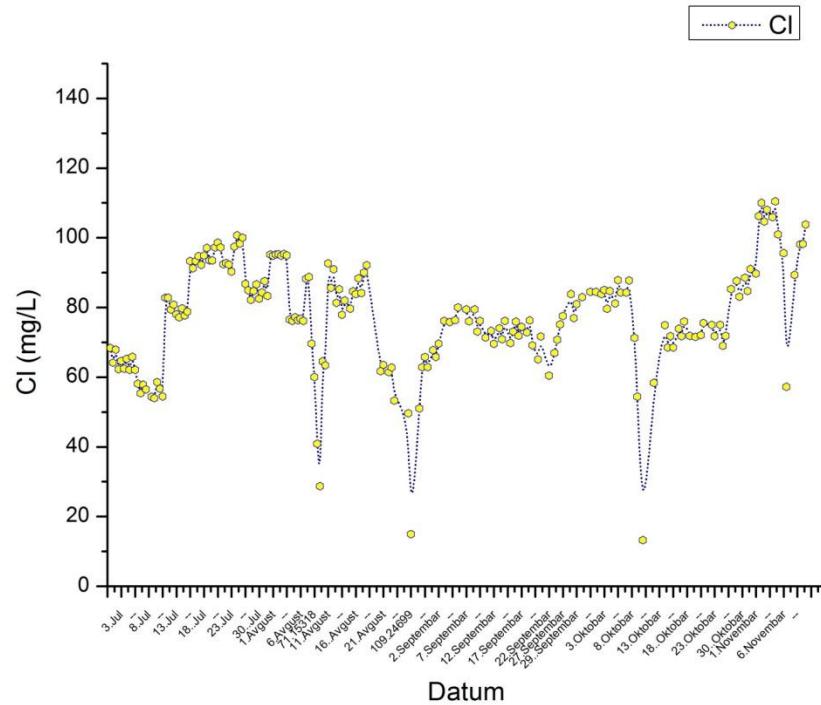
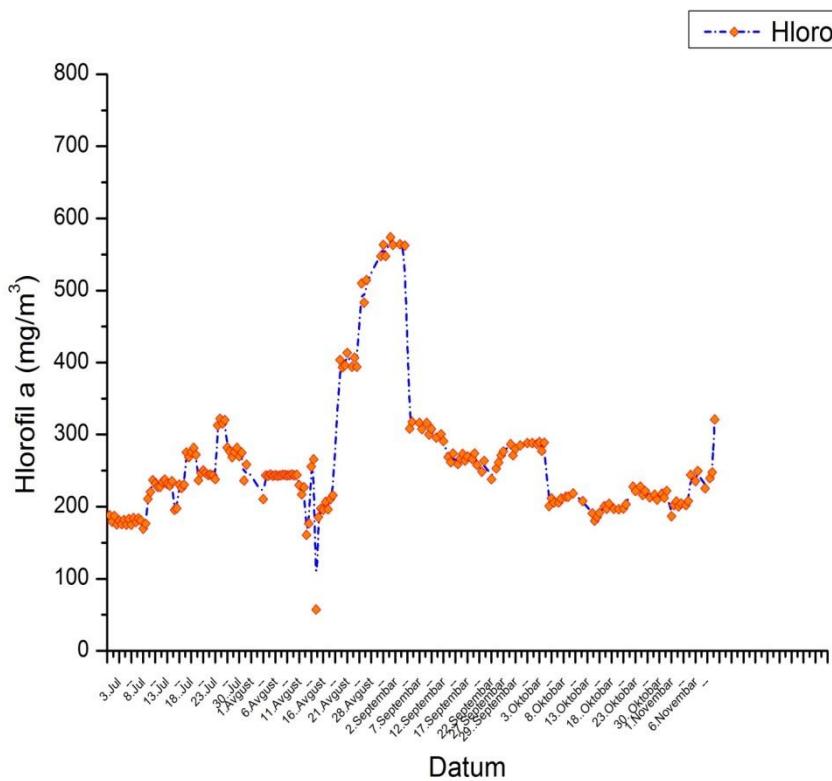
Slika 7.13 Verovatnoća akutne toksičnosti vode

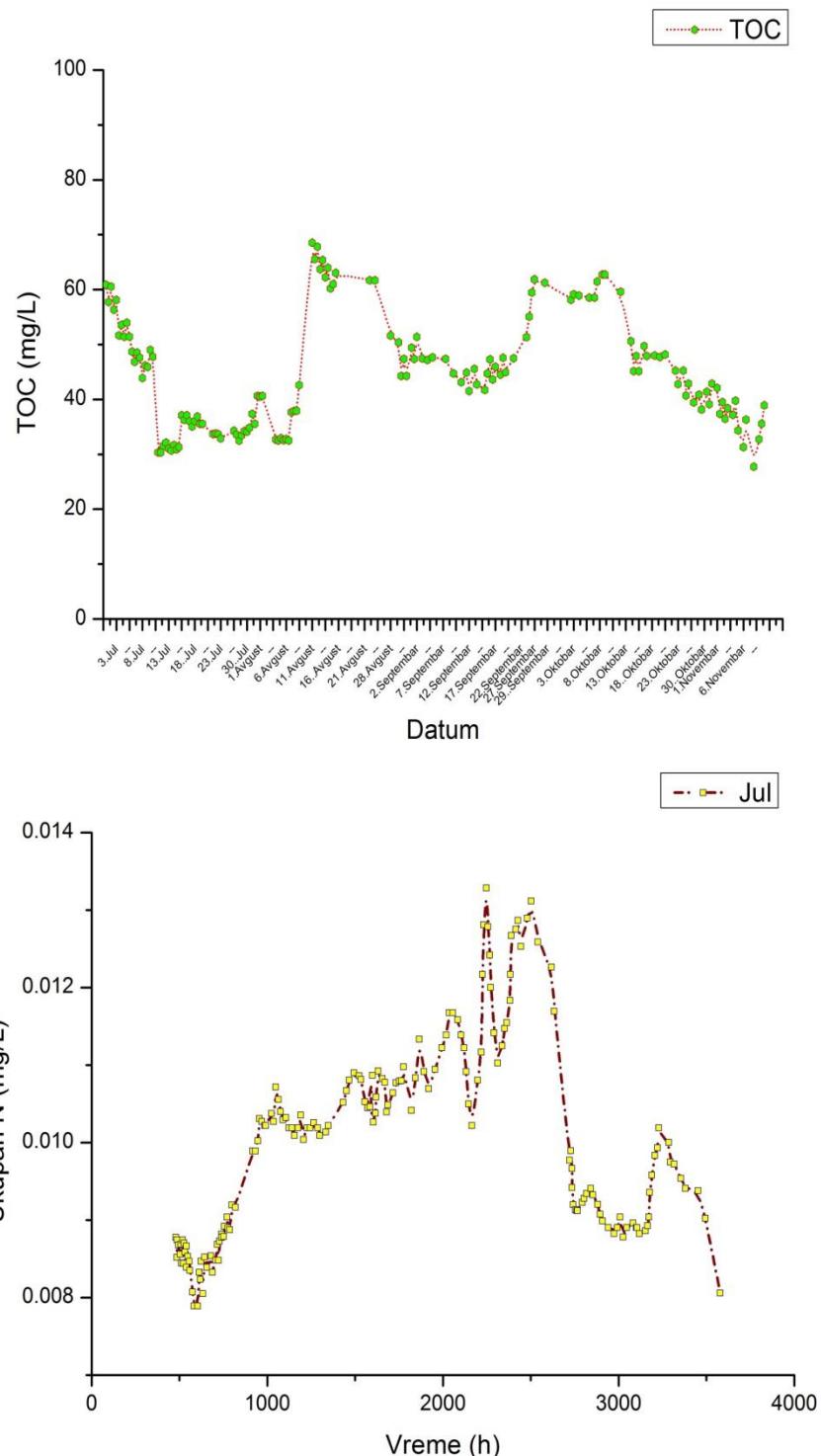
Na osnovu merenja i proračunatih verovatnoća detektovanih pesticida na osnovu RQ metodologije, kao i na osnovu procenta ekološkog rizika izračunatog probabalističkim pristupom, može se izvesti zaključak da nivo prisutnosti pesticida u jezeru ne predstavlja značajniji pritisak na eko-sistem jezera.

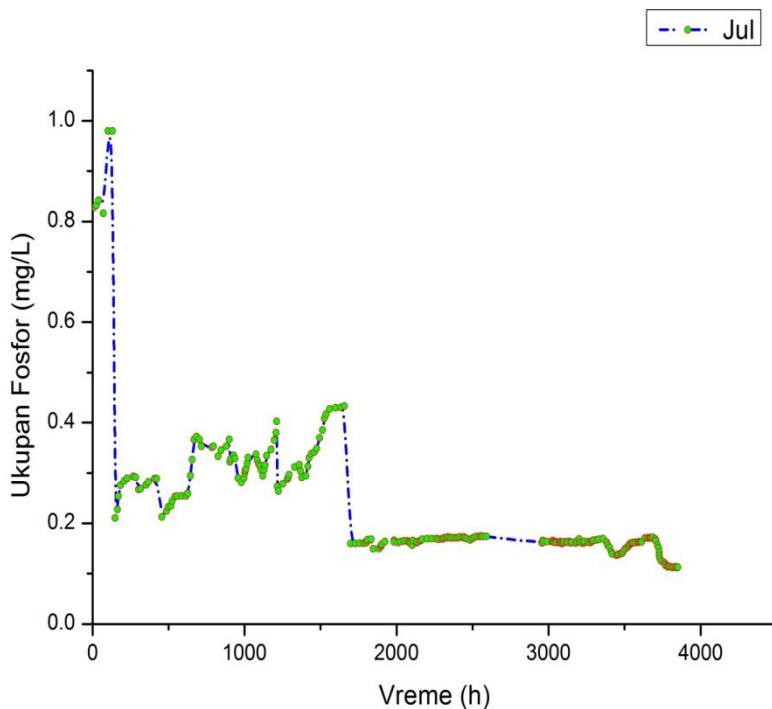
## Merenje hlorofila, TOC, hlora

| Mesto uzorkovanja | Parametar  | Srednja vrednost | StD      | SE Srednje vrednosti | Minimum  | Mediana  | Maximum   |
|-------------------|------------|------------------|----------|----------------------|----------|----------|-----------|
| Bovan             | Hlorofil a | <b>258.56995</b> | 84.46587 | 6.16031              | 57.44547 | 243.0989 | 573.92334 |
|                   | Hloridi    | 77.92402         | 15.3885  | 1.11347              | 13.25336 | 77.73141 | 110.46062 |
|                   | TOC        | 44.94169         | 10.17576 | 0.83085              | 27.74477 | 44.40596 | 68.53945  |









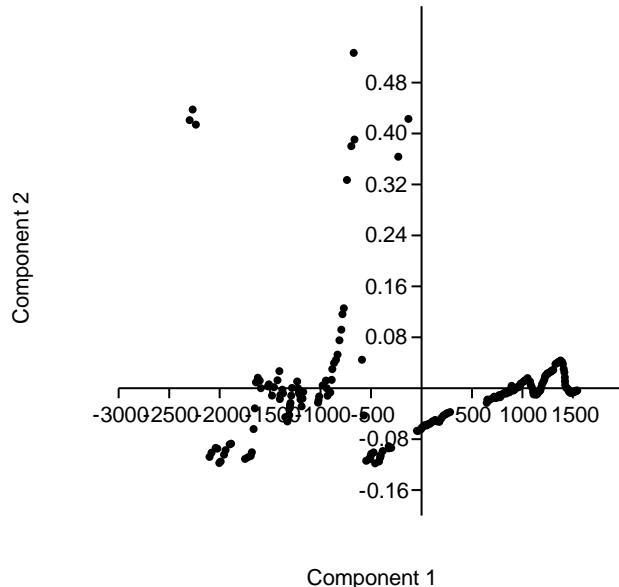
Danas u svetu postoji razvijeno više hiljada metoda za analizu koje se mogu svrstati u grupu multivariabilnih analiza. One su bazirane na činjenici da su svi sakupljeni vodni podaci „višedimenzionalni”. Multivariabilne metode imaju nekoliko osnovnih analiza od kojih je, za ispitivanje vodnih sistema, najčešće korišćena analiza osnovne komponente (PCA). To je procedura za pronalaženje hipotetički promenljivih komponenti, koje se mogu koristiti za određivanje varijansi u multidimenzionim serijama podataka. To su nove promenljive i predstavljaju linearne kombinancije plaznih originalnih promenljivih. Varijacije fosfora u vremenu prikazane su kao tablea PCA analize i grafik

| PC | Eigenvalue | % variance |
|----|------------|------------|
| 1  | 1.32276E06 | 100        |
| 2  | 0.00997518 | 7.5412E-07 |

PCA je standardna metoda za smanjenje stepena slobode morfometrijskih i ekoloških podataka. Metoda se sastoji u nalaženju vrednosti i vektora, matrice, varijansi i kovarijansi odnosno koleracionu matricu. Slična ovoj analizi je analiza osnovnih koordinata, analiza korelacija, koje su grafičke metode multivariabilnih analiza a generalno daju slične rezultate sa PCA analizom. Druga osnovna multivariabilna analiza je tzv. hijerarhijsko klasterovanje, koja u obliku dendrograma pokazuje kako i gde se sakupljeni podaci mogu objediniti u odgovarajuće klastere. Metoda klastera, koja je u osnovi statistička, je jedna od najčešće korišćenih metoda u multivariabilnim analizama podataka. Multivariabilna analiza, takođe, obuhvata i višekriterijumsku analizu (VKA).

Uvođenje novog pojma u oblasti VKA - atributa, rezultat je potrebe da se obezbedi sredstvo evaluacije nivoa jednog kriterijuma ili cilja. Po pravilu, veći broj atributa treba da

karakteriše svaku alternativu i oni se biraju na osnovu kriterijuma utvrđenih od strane donosioca odluke. Česti sinonimi za attribute su: parametri performanse, komponente, faktori, karakteristike, osobine i slično.



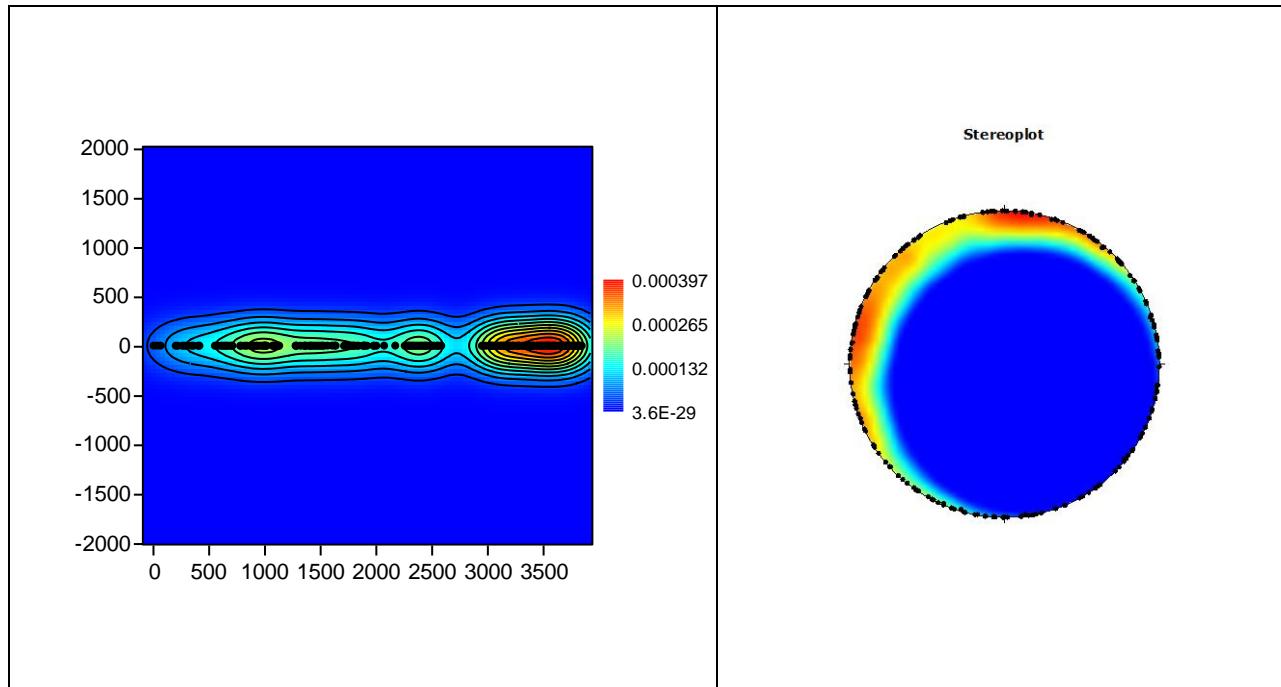
Primenom multivarijabilne metode dobija se potpuna relacija kod koje su sve alternative iz  $A$  potpuno rangirane, jer se pri razmatranju svakog para alternativa  $(a,b)$  može desiti samo jedna od dve gore navedene mogućnosti.

Primena multivarijabilne metode podrazumeva definisanje odgovarajuće funkcije preferencije i dodeljivanje težine značajnosti (težinskog koeficijenta) svakom pojedinačnom kriterijumu. Određivanje težina značajnosti je veoma važan korak u svim višekriterijumskim metodama, pa tako i u multivarijabilnoj metodi, gde donosilac odluke mora da bude dovoljno informisan i objektivan kako bi na adekvatan način dodelio težine svakom kriterijumu.

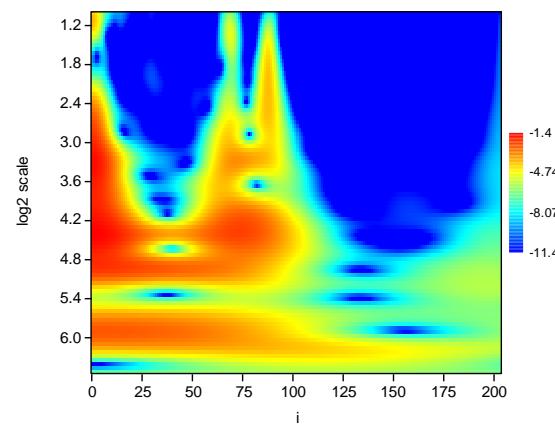
Grafičku interpretaciju multivarijabilne metode omogućava GAIA (*Geometrical Analysis For Interactive Assistance*) ravan. Na taj način stiče se jasnija slika problema odlučivanja kroz praćenje multivarijabilnog rangiranja. Modeliranje pomoću GAIA vizualizacije pruža potrebne informacije donosiocu odluke o konfliktnim karakterima kriterijuma i njihovom težinskom uticaju na konačni rezultat. GAIA ravan je definisana vektorima koji proizilaze iz matrice kovarijansi, formirane preko analize glavnih komponenata (PCA analiza). Korišćenjem PCA analize moguće je formirati ravan, pri čemu se odredeni procenat informacija gubi projektovanjem. Mera količine informacija koje su sačuvane datim modelom obeležava se sa  $\Delta$ . U praksi, vrednost  $\Delta$  se kreće iznad 60 %, a u mnogim slučajevima i iznad 80 %.

GAIA ravan predstavlja projekciju seta  $n$  alternativa koje mogu biti predstavljene kao n tačaka u  $k$ -dimenzionalnom prostoru, gde  $n$  predstavlja broj alternativa, a  $k$  broj kriterijuma. Na osnovu pozicije kriterijuma u GAIA ravni (obeležavaju se kvadratima) može se utvrditi

saglasnost ili konfliktnost izrnedu pojedinih kriterijuma. Takođe, i pozicija alternativa (koje se predstavljaju trouglovima) određuje jačinu ili slabost osobine akcije u odnosu na kriterijume, tako da ukoliko je neka alternativa bliža usmerenju ose pojedinog kriterijuma, utoliko je bolja po tom kriterijumu.



S obzirom da metoda pokazuje prednosti u odnosu na druge metode po pitanju načina strukturiranja problema, zatim količine podataka koje je moguće obraditi, mogućnosti kvantifikovanja kvalitativnih veličina i dobroj softverskoj podršci i prezentaciji preko GAIA ravni, opseg primene multivarijabilne/GAIA metode je iz godine u godinu sve veći.



Postoji rastuća potreba da se integrišu naučne informacije za formulaciju političkih i

uporavljačkih odluka , pri čemu ovakava pristup analizi vodnih sistema može igrati važnu ulogu u dijalogu između upravljačkih i naučnih razmatranja. Praćenje kvalitea vodnih sistema i donošenje odluka predstavlja kontinuiran, međusobno povezani i rekurzivan sistem, holistički proces učenja, a ove komponente treba pažljivo integrisati i tumačiti kako bi se dobile efikasne odluke u upravljanju vodnim telima. Kao što je već istaknuto, pravilna procena neizvesnost trebalo da ide uz rezultate istraživanja iz životne sredine u procesu donošenja odluka . Međutim, u mnogim slučajevima dobra procena i komunikacija o nesigurnosti naučnih predviđanja nije dovoljan uslov za donošenje dobrih odluka, jer kreatori politike uglavnom nemaju saznanja o naučnim , socioekonomskim karakteristikama okruženja koje bi mogle pomoći da se predviđa okolnosti u kojima naučno predviđanja( model ) zaista mogu doprineti efikasnom donošenju odluka . Primjenjena je nova metodologija dobijanja relevantnih informacija za upravljanje vodnim sistemom Plaić-Ludoš. Nažalost, mnogo kasnije jedna sonda je postavljena in a kanal koji spaja ova dva jezera. Primjenjeni sistem je koncipiran jednostavno. U odgovarajućem vremenskom intervalu treba sakupiti dovoljno materijala da bi njegovom analizom utvrdilo šta se dešava sa hemijskog aspekta kvaliteta voda. Vremenski interval uzorkovanja je 30 dana. Vreme uzorkovanja ili pravilno reći ponderisano vreme uzorkovanja je odreživano korišćenjem jedinjenja koja se degradiraju u vremenu i nivo degradacije je proporcionalan protoku vode kroz uzorkivač. Tehnologija uzorkovanja je bazirana na kontrolisanoj tankoslojnoj difuziji. Merni sistem je napravljen i tokom rada je dva puta modifikovan, odnosno držači adsorpcionih tela, tako poslednji koji je korišćen je pokazao svoje prednosti i usvojen je za dalji rad.

Izbor lokacija je bio zadovoljavajući, ali je analiza pokazala da je uzorkivače treba postaviti na bove na sredinu vodnog sistema. Vreme analize ili bolje rečeno vreme uzorkovanja treba smanjiti na jednu, maksimalni dve nedelje. Tu naravno postoji uvek prisutna dilema krajnjih korisnika (investitora) o povećanju cene realizacije tako planiranog monitoringa. Problem je veliki broj analiza koje je neophodno uraditi radi dobijanja relevantnih informacija sakupljenih uzorkivačem. Iako se radi o savremenim instrumentalnim analitičkim metodama, priprema uzorka je vremenski konzumna i broj uzoraka zavisi od dužine uzorkovanja.

Izbor parametara za praćenje je od ključne važnosti za realizovanje ovakvog sistema praćenja kvaliteta vodnog sistema. Sem u slučaju pesticida, analizirani su svi parametri koji se standardno koriste za kvantifikaciju kvaliteta vodnih tela. Poređenje sa dobijenih rezultata sa drugim metodama nije urađeno iz jednostavnog razloga što većina ne je bila dostupna i što su te analize ove godine rađene prema raspoloživim budetskim sredstvima a ne prema planu i programu koji se zahteva za ovakav način rada. Pored toga rezultati su prihvatljivi. Kao prvo dobijene su vremenske serije vrednosti parametara kvaliteta vode. Drugo moguće je utvrditi trendove promena kao i vremenske i prostorne varijacije istih na oba vodna tela. Poredanjem vrednosti za ukupan Azot i Fosfor uočava se značajna razlika u nivoima koncentracija, od 50-100 puta. U stvarnosti to je dobro. Prvo, to je pravi dokaz da pasivni uzorkivači rade! Možda, najverovatniji sistem je postojanje sekundarnog zagađenja, odnosno reakcije nitratnih (azotovih) i fosfornih jedinjenja sa specifičnim zagađujućim materijama, koje "troše" ova dva nutrijenta i oni se ne pokazuju u krajnoj analizi. Možda treba razmotriti odnos nivoa nutrijenata u Jezera Bovan i taj odnos uzeti kao meru nivoa zagađenja koje potiče od ulaznih voda. Problem je što se mehanizmi i pre svega kinetika rasprostiranja zagađivača u vodnim telima ne poznaje.

Postoji značajna razlika u vrednostima ispitivanih supstanci na ulazu u akumulaciju, uliv Reke Moravice i vodozahvata. Već na oko 5.0 metara dubine, rastvoreni kiseonik gotovo i ne postoji i praktično već na toj dubini nastaju alge, a ispod dubine od 6 metara već nema rastvorenog kiseonika i nastaju anaerobni procesi. Procena ekološkog statusa je da je sada, 2014. godina, na osnovu urađenih merenja, lošija nego 2012. i da postoji povećana verovatnoća oko generisanja velike zapremine algi (algal bloom). Samim tim treba pojačati monitoring samog sistema.

**Tabela 8.** Procena ekološkog statusa akomulacije Bovan.

| Jezero | Vodno područje | Tip jezera             | Biološki elementi kvaliteta | Mikrobiološki elementi kvaliteta | Fizičko hemijski elementi kvaliteta | Procena ekološkog ststusa | Procena nivoa pouzdanosti |
|--------|----------------|------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
|        |                |                        | Fitoplankton                |                                  |                                     |                           |                           |
| Bovan  | Istočna Srbija | Jezera iznad 200m.n.v. |                             |                                  |                                     |                           | srednji                   |

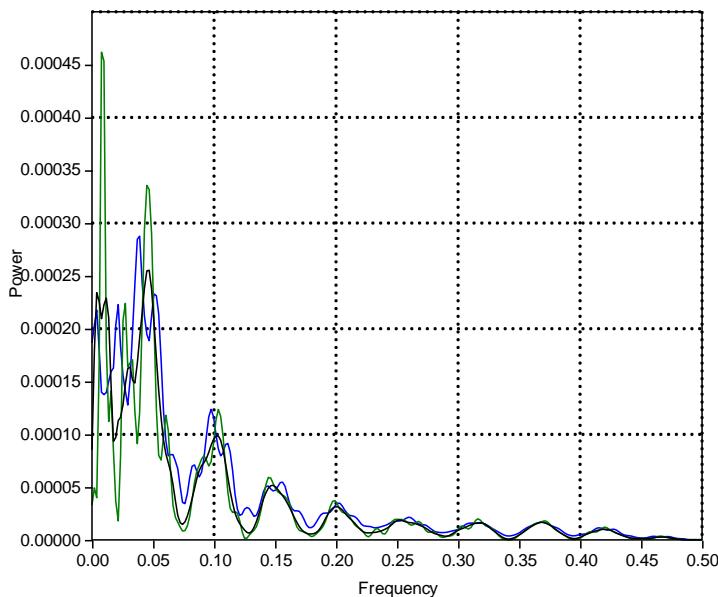
| Ocena statusa | Odličan | Dobar | Umeren | Slab   | Loš |
|---------------|---------|-------|--------|--------|-----|
| Boja          | Blue    | Green | Yellow | Orange | Red |

Sada dolazi do izražaja i stalno insistiranje na multidisciplinarnom pristupu rešavanju problema vezanih za način realizacije upravljačkih aktivnosti na vodnim telima. Prvo da se analiza zaustavi na dobijanju pravih informacija o kvalitetu vode. Pokazano je i ovim projektom da postoji metodologija i što je mnogo zanačajnije infrastrukturni kapaciteti za njenu realizaciju. Svako treba kombinovati različite izvore informacija o kvalitetu vode tokom vremena, pored pasivnih uzorkivača, kopristiti i kao ih danas nazivamo dinamičke vremenske senzore , poznatiji kao riblji fond vodnog teal ili biosenzore koji su tihi i vredni sakupjači svih dešavanje u sistemusa aspekta opterećenja.

Problem biodiverzitea jezera Bovan je kompleksan da bilo koja jednostrana akcija ne bi dovela do trajnog popravljanja kvaliteta vode jezera i ne bi unapredila njegovu upotrebljivost u planirane svrhe i doprinela zaštite prirode. Treba imati na umu da realizovanje ovog projekta dolazi u trenutku kada je EU u okviru početka pregovora za pridruživanje Republike Srbije, prezentovala izuzetno lose mišljenje o stanju sistema za upravljanje vodnim resursima. Ne treba ići daleko pa se ne setiti događaja u Užicu, reakciju na poplave, islivanje jalovišta kod Loznice i sličnih manjih ili većih havarija vodnih sistema. Projekat je bio usredstren na vodni sistem Bovan jezero, zbog geografske bliskosti i tesnih hidroloških veza, što treba da bude opredeljenje i u daljem toku strateškog planiranja.

Procena stanja kvaliteta voda zahteva praćenje širokog spektra fizičkih, hemijskih i bioloških parametara. Uobičajena procedura je uzimanje uzoraka na većem broju mernih stanica pri čemu

se analizira veći broj parametara. Stoga je za procenu kvaliteta vode vodnih tela potrebna kompleksna matrica podataka. Podaci obijeni analizom parametara kvaliteta voda pružaju informacije o stanju vodnih tela. Klasifikacija, modelovanje i tumačenje podataka monitoringa predstavljaju najvažnije korake u postupku procene kvaliteta vode. Poseban problem kod monitoringa kvaliteta vode je kompleksnost povezana sa analizom velikog broja varijabli i visoka varijabilnost usled antropogenih i prirodnih uticaja



Kvalitet površinskih voda pretežno je uslovljen antropogenim uticajem (ispuštanje otpadnih voda, tj. radom industrijskih postrojenja, poljoprivrednom proizvodnjom, ispuštanjem komunalnih otpadnih voda) i promenama uslovljenim klimatskim faktorima, od kojih su sušni periodi veoma važni. Ugroženost značajno izmenjenih i veštačkih vodnih tela zagadenjem biodegradabilnim organskim materijama naročito je izražena u blizini velikih gradova koji nemaju postrojenja za prečišćavanje gradskih otpadnih voda i industrijskih postrojenja koja se bave proizvodnjom hrane (fabrike šećera, prerade voća i povrća, velike farme svinja, klanice, itd.). Ovaj problem posebno je izražen u periodu godine koji karakterišu niski vodostaji i povišene temperature.

Najkritičniji izazovi u planiranju ublažavanja efekata su procene efekata i troškova sprovođenja planiranih mera za upravljanje vodnim resursima. Efekat preklapanja treba da se procenjuje da bi se izbeglo dvostruko računanje i potencijalni sinergetski efekti treba da se procenjuju, kada je planiran velikih broj mera i aktivnosti na realizaciji zacrtanih planova. Vreme koje je potrebno da mera dostigne pun efekat takođe treba uzeti u obzir. Scenario pritisaka i uticaja (npr promene klime, politika i u različitim sektorima) razviće, bez obzira na efekte sprovedenih mera teškože u praktičnim aplikacijama. Takođe bitno je imati sve to na umu na umu za dugoročno planiranje. Vodne delatnosti su u Srbiji, tokom druge polovine XX veka bile izuzetno razvijene, kao i

današnji institucionalni okvir. Iako institucionalni okvir obuhvata veliki broj subjekata, relativno jasno je podeljen prema vodnim delatnostima. Najveće slabosti institucionalnog okvira su nedostatak faktičkog sprečavanja zagađivanja voda. Takođe, sadašnji institucionalni okvir se podudara sa pravnim okvirom u nepokrivanju pravne praznine po pitanju nadležnosti za podzemne vode i za opasne materije u vodama. Osim toga, problem sa institucionalnim okvirom je neodgovarajuća saradnja između organa, organizacija, institucija i preduzeća, kao i visoko centralizovani način finansiranja vodnih delatnosti.

Na osnovu fizicko-hemijskog i mikrobiološkog ispitivanja vode Bovanske akumulacije može se zaključiti da:

- na osnovu raspodela vrednosti izmerenih temperature akumulaciono jezero Bovan pripada grupi dimikticnih jezera;
- pH vrednost vode je, sem povremenih lokacijskih i vremenskih odstupanja, neutralna;
- leti, u uslovima povecane temperature vode, nedostatka kiseonika i intenziviranja mineralizacije organske materije povecava se i sadržaj amonijaka;
- vrednosti nitrata su povecane u toku proleća i u kasnom letnjem periodu kao verovatna posledica antropogenih aktivnosti;
- na osnovu kategorizacije, akumulacija Bovan spada u kategoriju cistih voda;
- na osnovu mikrobioloških pokazatelja, voda akumulacije Bovan, po Kohl-u, pripada II klasi boniteta sa letnjim maksimumima koji izlaze iz okvira II klase i daju vodi karakteristike II- III klase;
- indeks T/H za vodu ove akumulacije varira od kategorije umereno zagadenih do kategorije cistih voda;
- dokazan je povecan broj koliformnih bakterija (*E. coli*), kao i povecano prisustvo streptokoka fekalnog porekla narocito u letnjim mesecima, što je vezi sa povecanim antropogenim uticajem, posebno tokom leta kada se povecava i prisustvo stanovništva na priobalju.

Svi navedeni podaci ukazuju da je akumulacija Bovan izložena velikom organskom zagadenju i da trpi antropogeni uticaj. Pošto akumulacija Bovan podmiruje potrebe stanovništva pijacom vodom na teritoriji opštine Aleksinac postoji potreba da se antropogeni uticaj što više smanji, kao i da se uspostavi adekvatan sistem monitoringa na osnovu koga je moguce preuzeti mere zaštite i unapredjenja kvaliteta.

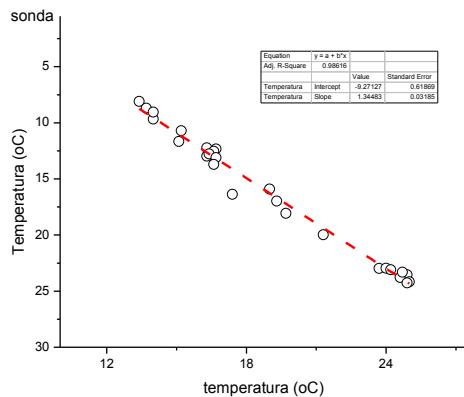
## 8. OTKLJUČAK

Postoji rastuća potreba da se integrišu naučne informacije za formulaciju političkih i upravljačkih odluka, pri čemu ovakav pristup analizi vodnih sistema može igrati važnu ulogu u dijalogu između upravljačkih i naučnih razmatranja. Praćenje kvaliteta vodnih sistema i donošenje odluka predstavlja kontinuiran, međusobno povezani i rekurzivan sistem, holistički proces učenja, a ove komponente treba pažljivo integrisati i tumačiti, kako bi se dobole efikasne odluke u upravljanju vodnim telima. Kao što je već istaknuto, pravilna procena neizvesnosti, rizika trebalo da ide uz rezultate istraživanja iz životne sredine u procesu donošenja odluka. Međutim, dobra procena i komunikacija o nesigurnosti naučnih predviđanja nije dovoljan uslov za donošenje dobrih odluka, jer kreatori politike uglavnom nemaju saznanja o naučnim, socioekonomskim karakteristikama okruženja koje bi mogle pomoći da se predvide okolnosti u kojima naučna predviđanja (model) zaista mogu doprineti efikasnom donošenju odluka.

Pet godina je dug period u kome se pokazuje sve što je dobro i loše u projektu. Ono što treba napomenuti je to da je ovo bio istraživačko-razvojni projekat, koji je trebalo da odgovori kako najefikasnije pratiti kvalitet vode i varijacije kvaliteta u cilju održavanja kvaliteta vode vodnog sistema Bovan. Kao što je već napomenuto, prva pilot-ispitivanja su započeta 2008. godine na samom vodnom sistemu. Rezultati prve tri godine ispitivanja definisali su, ili bolje reći profilisali program daljih istraživanja. Takav predlog je dat Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Srbije. Prihvatanje samog predloga je značilo i dobijanje opreme za realizaciju istog, što se nažalost zbog različitih politika i gledišta nije ostvarilo. Primenujući staro pravilo, definisano našom poslovicom "use i u svoje kljuse", nastavljena je realizacija predloženih ispitivanja u okviru projekta III43009, kako je već opisano.

Dobijeni rezultati, u periodu 2011-2012 godina, pogotovo uvođenje metodologije određivanja dejstva pesticida na vodni sistem, doneli su republici Srbiji projekat EU COST1202- Netlake i omgućavanje velikom broju istraživača da koriste beneficije ovog EU projekta. Najmanje koristi su imali saradnici na ispitivanjima iz Soko Banje, jer su korišćenje ovog projekta preuzeli Institut za Multidisciplinarne studije, Institut za Biološka istraživanja dr Siniša Stanković i Građevinski Fakultet. Saradnici svih pomenutih institucija su u izveštaju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, napisali i potpisali da za 2012. godinu nemaju nikakve rezultate na vodnom sistemu Bovan.

Ispitivanja nisu nastavljena 2013. godine postavljanjem prvog, visoko frekventnog sistema za merenje parametara kvaliteta vode. Sistem je bio pozajmljen i urađena su pilot merenja cele godine. Takođe, dizajniran je sistem za 24. časovno uzimanje i merenje uzorka vode sa različitim dubinama.



**Slika 8.1** Odnos izmerenih temperatura sondom i u rezervoaru

To je bio prvi rezultat višegodišnjih ispitivanja koja su pokazala da ovim sistemom uzorkovanja i merenja, ne menja se bitno kvalitet vode uzorkovanjem. Sistem za merenje je dizajniran na bazi peristatičke pumpe i mernog rezervoara, gde je moguće ugraditi željeni broj senzora.

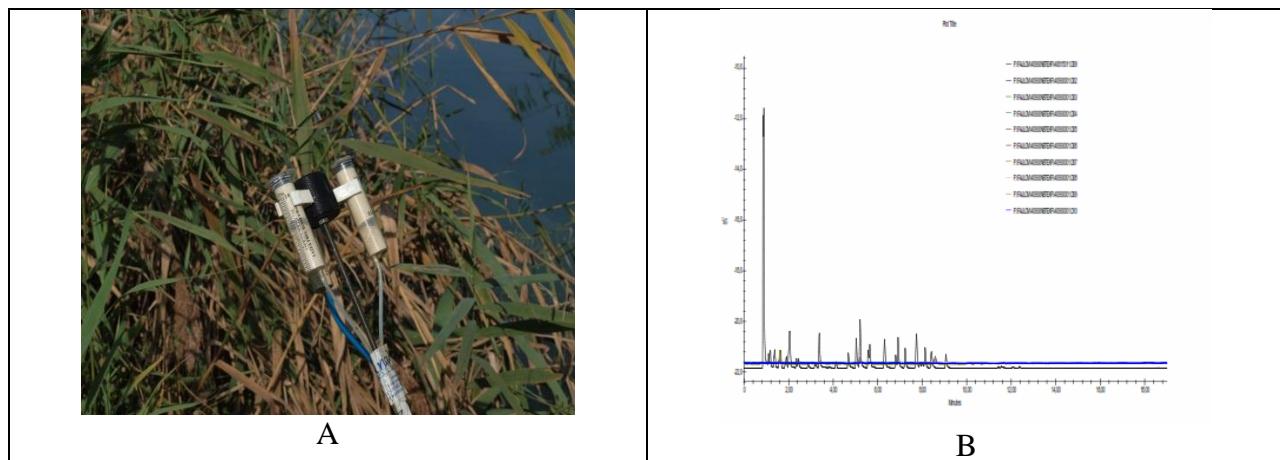


**Slika 8.2** Peristatička pumpa sa mernim rezervoarom (A) i merač dubine (B)

Pored toga korišćen je i merač dubine proizvod IHTM-a, kao kontrolni uređaj. Oba sistema su mobilna.

Pored razvoja sistema za merenje fizičko hemijskih parametara, definisan je i sistem pasivnih senzora za praćenje nutrijenata i hlorofila u vodi. Primjenjeni sistem je koncipiran jednostavno. U

odgovarajuém vremenskom intervalu, treba sakupiti dovoljno materijala da bi se njegovom analizom utvrdilo šta se dešava, sa hemijskog aspekta kvaliteta voda. Vremenski interval uzorkovanja je 30 dana. Vreme uzorkovanja ili pravilno reći ponderisano vreme uzorkovanja je određivano korišćenjem jedinjenja koja se degradiraju u vremenu i nivo degradacije je proporcionalan protoku vode kroz uzorkivač. Tehnologija uzorkovanja je bazirana na kontrolisanoj tankoslojnoj difuziji. Merni sistem je napravljen i tokom rada je dva puta modifikovan, odnosno modifikovani su držači adsorpcionih tela. Poslednji koji je korišćen je pokazao svoje prednosti i usvojen je za dalji rad.



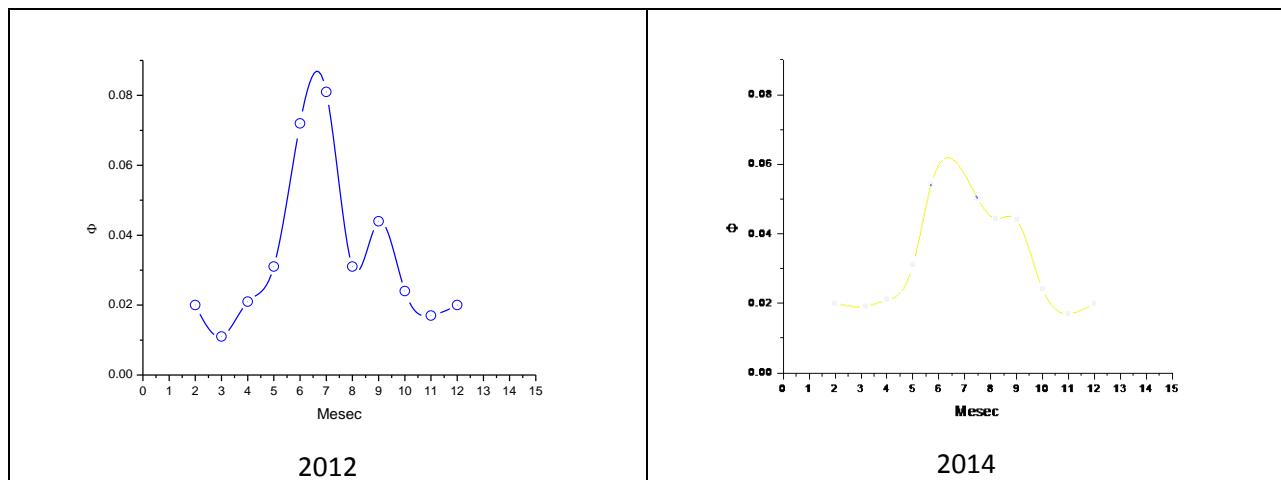
**Slika 8.3** Pasivni uzorkivači na nosaču (A), hromatografska (GC HEADSPACE) analiza VOC komponenti (B)

To je specifičan način uzorkovanja-difuzijom supstanci koje se analiziraju. Sva ostala kvantitativna merenja vrše se na hromatografima, standardnim tehnikama i procedurama. Ove tehnike su prihvaćene za merenja specifičnih sastojaka vode i analizu njihovog životnog ciklusa. Prednost je mala cena uzorkovanja i mogužnost merenja velikog broja parametara. Ideja za korišćenje ovih senzora je došla od same lokacije Bovana, koji je pod upravom dve opštine, Aleksinac i Soko banja.

Izbor lokacija je bio zadovoljavajući, ali je analiza pokazala de je neophodno uzorkivače postaviti na bove, na sredinu vodnog sistema. Vreme analize odnosno, vreme uzorkovanja treba smanjiti na jednu, maksimalno dve nedelje. Tu naravno postoji uvek prisutna dilema krajnjih korisnika (investitora) o povećanju cene realizacije tako planiranog monitoringa. Problem je veliki broj analiza koje je neophodno uraditi radi dobijanja relevantnih informacija sakupljenih uzorkivačem. Iako se radi o savremenim instrumentalnim analitičkim metodama, priprema uzorka je vremenski konzumna i broj uzoraka zavisi od dužine uzorkovanja.

Sledeća procedura koja je razvijena i primenjena na akumulaciji je način kvantifikovanja delovanja pesticida. Tu je primenjena metodologija izračunavanja akutne toksičnosti vode pesticidima. Interesantno je da se indeks akutne toksičnosti vode smanjio za dve godine (2012-2014), što se može tumačiti na različite načine. Ovo nije izveštaj gde se objašnjavaju fenomeni uočeni u akumulaciji, već načini njihovog detektovanja. Čitavo istraživanje je imalo za cilj definisanje procedura za rano upozorenje ukoliko varijacije parametara kvaliteta vode pređu u

tzv. nekontrolisani zonu, i kada je potrebna hitna intervencija. Odgovorne opštine za ovu akumulaciju odgovorile su pozitivno na analize, i uradile su dva koraka u cilju zaštite samog vodnog sistema. Prvi je bio uklanjanje nelegalnih objekata na akumulaciji, a druga definisanje jasnog projektnog zadatka oko projektovanja zaštitnih pojaseva akumulacije. To je značajan korak ka održivom vodnom sistemu Bovan.



Slika 8.4 Izračunate akutne toksičnosti vode

Sledeće je bila integracija svih urađenih merenja i analiza. Za razliku od ostalih vodnih tela, gde se godišnje nađe preko deset raznih istraživačkih institucija, kod kojih su rezultati nevidljivi široj javnosti. Suprotno tome, na ovom projektu svake godine je dostavljan je izveštaj o urađenim ispitivanjima na samom vodnom sistemu.

Prateći petogodišnju realizaciju projekta, značajna je uloga u dobijanju EU COST akcije, odnosno projekta. Poziv je dobijen na osnovu publikovanih rezultata dobijenih ispitivanjem pesticida na akumulaciji Bovan.

Sam EU Netlake projekat je baziran na razvoju mernih senzora. Razvojem tehnologije senzora sada je omogućen visoko frekventni monitoring kvaliteta vode jezera i rezervoara sa in-situ platform, a podaci su dostupni krajnjim korisnicima korišćenjem IT tehnologije. Informacije sakupljene ovim sistemima se danas kontrolišu od mesta do mesta sakupljanja, ali mnogo veći potencijal leži u objedinjavanju podataka sa velikog broja izvora u Evropsku mrežu vodnih tela.

Drugi, ne manje važan cilj projekta, je ostvarivanje mreže istraživača, menadžera i zainteresovanih lica, koji bi se fokusirali na razvoj aplikacija, korišćenjem savremenih senzora, za zaštitu Evropskih rezervoara i jezera. Rezultati ovakve saradnje treba da doprinesu razvoju procedura za sakupljanje podataka sa mernih lokacija, alata za analizu podataka i povezivanje korisnika i istraživača, radi potpunog uključivanja lokalnih zajednica u zaštitu vodnih sistema. Ključni rezultat treba da bude upravo povezivanje i ostvarivanje NETLAKE mreže same po sebi, kojom će se premošćavati problem komunikacije izmedju istraživača, tvoraca politike u ovoj oblasti, menadžera vodnih sistema, kao i istraživača i lokalnih zajednica. To je osnova Netlake-a.

Da bi se ostvarili gore pomenuti ciljevi, na sastanak, u Holandiju išao je i vlasnik i direktor private kompanije Soko-Rec. Ideja je bila da se preko javno privatnog partnerstava ostvari efikasan sistem monitoringa i upravljanja vodnim sistemom Bovan.



**Slika 8.5.** Logo EU projekta i slika učesnika sastanka u Holandiji

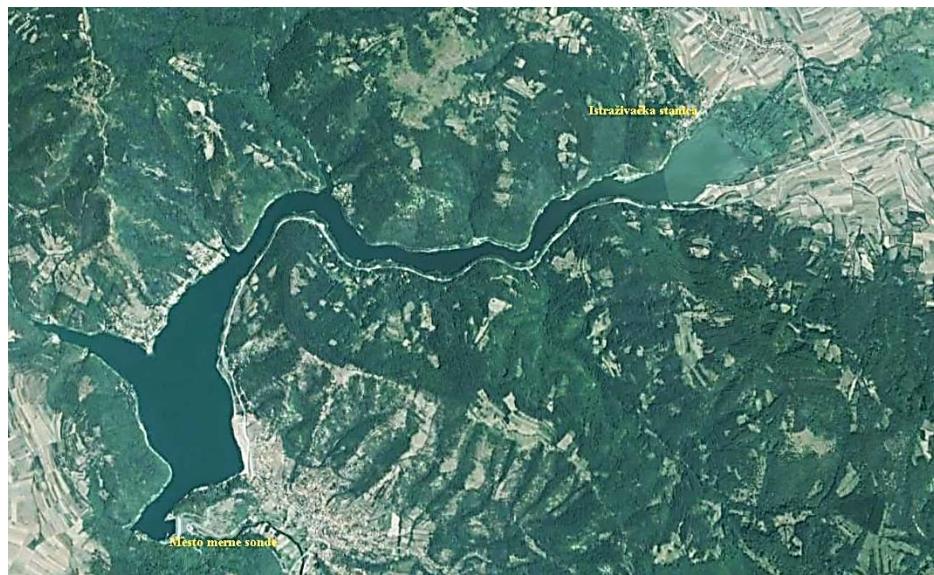
Soko-Rec je kompanija koja je od 2008. godine podržavala i organizovala monitoring. Ista kompanija je pristala da participira projekat MORE, koji se odnosio na monitoring tri vodna tela u našoj zemlji. Iako 2012. i 2013. godine saradnici na projektu MORE nisu pokazali interesovanje za monitoring na Bovanskom jezeru, kompanija Soko-Rec je bez problema i dalje podržavala isti projekat. Zahvaljujući toj podršci, saradnici projekta MORE su se 2014. godine priključili EU COST akciji.

Odlukom Netlake-a i aktivnostima, odnosno podršci svim projektima koji su se realizovali na akumulaciji Bovan, vlasnik i direktor Soko Rec-a je ispunio sve zahteve da postane menadžer akumulacije, što je evidentno i na EU sajtovima. Osnovno je definisanje uslova javno-privatnog partnerstva sa opština koje upravljaju ovim vodnim sistemom.

Ostali potrebni uslovi, infrastruktura, su ispunjeni. Prema dogovoru, opština Soko Banja je obezbedila prostor za istraživačku stanicu, na samoj akumulaciji. Opisana oprema je isporučena, uključujući i meteo stanicu koja je postavljena na srednjem toku reke Moravice. Ove godine je urađena i instalirana merna stanica za merenje temperature po dubini mernog stuba, koja je dizajnirana na osnovu rezultata merenja ranijih godina. Kompletna stanica je postavljena na vodozahvatu. Merni sistem je baziran na Data-logger-u koji može da prihvati podatke sa 30 različitih mernih lanaca parametara kvaliteta vode. Moguće je dograditi komunikacioni sistem koji bi omogućio da se podaci očitavaju na bilo kom računaru u mreži. Senzori su smešteni u zaštitnom crevu i trenutno je postavljeno deset senzora za merenje temperature. Rezultati probnih VF merenja na vodozahvatu su prikazani na Slici 8.7.

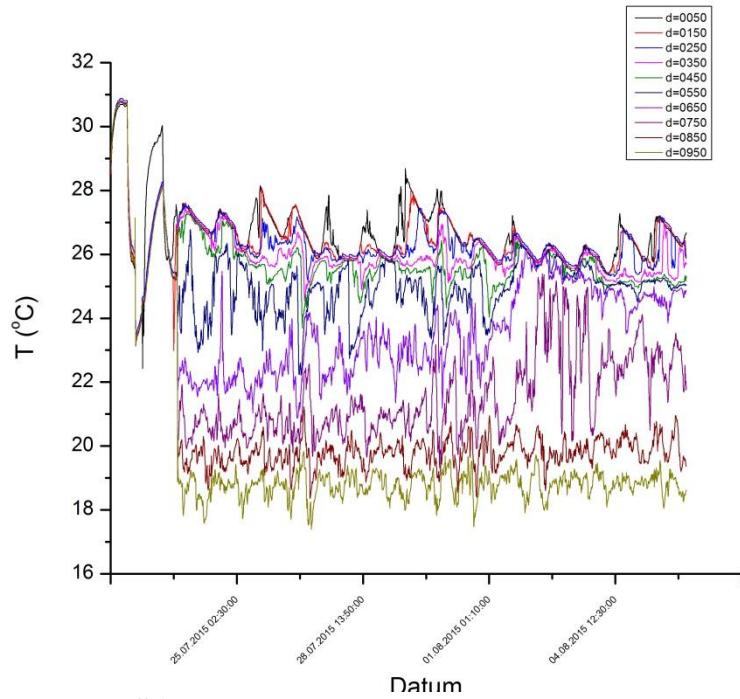
Merenja bioloških parametara su takođe urađena, ali više kao probni pilot projekat. Ona su rađena u okviru doktorske disertacije, koja je trenutno u fazi publikovanja. Programom, za

sledeću godinu su planirana redovna ispitivanja, pri kojima bi se koristila infrastruktura istraživačkog centra i saradnja sa bliskim laboratorijama.



**Slika 8.6** Položaj merne sonde i istraživačkog centra na akumulaciji Bovan.

Na kraju, sagledavajući sve što je urađeno, postoji osnovna polazna infrastruktura za kavitativno određivanje parametara kvaliteta vode.



**Slika 8.7** Rezultati test merenja VF sonde

Problem je u stalnom monitoringu koji je i tokom proteklog perioda predstavljao opterećenje. Lokalne samouprave nemaju ljudski potencijal da isprate zahteve koji se postavljaju pri realizaciji stalnog monitoringa kvaliteta vode sistema Bovan. Interesantno je da problem predstavlja i izbor lokacije postavljanja mernih sistema i njihovog održavanja. Ovi problemi su rešivi, pogotovo što na ovoj lokaciji postoje rezultati koji jasno pokazuju gde je rešenje. Takođe, postoje svi potrebni uslovi za postavljanje menadžera jezera, koji bi koordinirao sve aktivnosti.

Najkritičniji izazovi u planiranju ublažavanja efekata su procene efekata i troškova sprovođenja planiranih mera za upravljanje vodnim resursima. Potencijalni sinergetski efekti treba da se procenjuju, kada je planiran velikih broj mera i aktivnosti na realizaciji zacrtanih planova. Vreme koje je potrebno da mera dostigne pun efekat, takođe treba uzeti u obzir. Scenario pritisaka i uticaja (npr promene klime, politika i u različitim sektorima) razviće, bez obzira na efekte sprovedenih mera, probleme u praktičnim aplikacijama. Takođe bitno je imati sve to na umu pri dugoročnom planiranju upravljanja vodnim sistemom.

Vodne delatnosti su u Srbiji, tokom druge polovine XX veka bile izuzetno razvijene, kao i institucionalni okvir. Najveće slabosti institucionalnog okvira su nedostatak faktičkog sprečavanja zagađivanja voda. Takođe, sadašnji institucionalni okvir se podudara sa pravnim okvirom u nepokrivanju pravne praznine po pitanju nadležnosti za podzemne vode, i za opasne materije u vodama. Problem sa institucionalnim okvirom je neodgovarajuća saradnja između organa, organizacija, institucija i preduzeća, kao i visoko centralizovani način finansiranja vodnih delatnosti.

Jednostavno rečeno postoji infrastrukturna osnova i treba se organizovati i zasući rukave.

## 9. KORIŠĆENA LITERATURA

Pravilnik o utvrđivanju vodnih tela površinskih i podzemnih voda (Sl. Glasnik RS, broj 96/2010),

Pravilnik o referentnim uslovima za tipove površinskih voda (Sl. Glasnik RS, broj 67/2011)

Pravilnik o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda (Sl. Glasnik RS, broj 74/2011)

Uredba o graničnim vrednostima prioritetnih i prioritetnih hazardnih supstanci koje zagađuju površinske vode i rokovima za njihovo dostizanje,(Sl.glasnik RS, br.35/2011)  
Uredba o utvrđivanju godišnjeg programa monitoringa statusa voda za 2012. godinu (Sl.glasnik RS, broj 100/2012)

Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje, (Sl.glasnik RS, br.50/2012)

Carlson, R. E. (1977): A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography* 22, 361-368  
Komarek, J (2008): Cyanoprokaryota, Bd. 19/1 Teil 1 / Part 1: Chroococcales, Spektrum-Akademischer Vlg.

Anagnostidis, K., Komarek, J. (2007): Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/2. Cyanoprokaryota, Oscillatoriaceae, Spektrum-Akademischer Vlg.

Huber-Pestalozzi, G. (1983): Chlorophyceae, Ordnung: Chlorococcales, 7. Teil, 1.Hälfte, Das Phytoplankton des Süßwassers, Stuttgart.

Schwoerbel, J. (1970): Methods of hydrobiology (freshwater biology). First English edition. Pergamon Press Ltd.

WFD (2000). Water Framework Directive - Directive of European Parliament and of the Council 2000/60/EC – Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy WFD CIS Guidance Document No.7 Monitoring under the WFD, Produced by Working Group 2.7Monitoring, European Communities, 2003

WFD CIS Guidance Document No.13 Overall Aporoach the Classification of Ecological Status and Ecological Potencial, Produced by Working Group 2A, European Communities, 2005

Aber, J. D., C. L. Goodale, S. V. Ollinger, M. L. Smith, A. H. Magill, M. E. Martin, R. A. Hallett, and J. L. Stoddard. 2003. Is nitrogen deposition altering the nitrogen status of Northeastern Forests? BioScience 23(4):375-390.

Alexander, R. B., J. W. Brakebill, R. E. Brew, and R. A. Smith. 1999. ERFI-enhanced river reach file 1. 2. Open-File Report 99-457. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, USA.

Alexander, R. B., A. H. Elliott, U. Shankar, and G. B. McBride. 2002a. Estimating the sources and transport of nutrients in the Waikato River basin, New Zealand. Water Resources Research 38: 1268-1290.

Alexander, R. B., P. J. Johnes, E. W. Boyer, and R. A. Smith. 2002b. A comparison of methods for estimating the riverine exportof nitrogen from large watersheds. Biogeochemistry 57/58:295-339.

Alexander, R. B., R. A. Smith, and G. E. Schwarz. 2000. Effect of stream channel size on the delivery of nitrogen to the Gulf of Mexico. Nature 403:758-761.

Alexander, R. B., R. A. Smith, and G. E. Schwarz. 2004 Estimates of diffuse phosphorus sources in surface waters of the United States using a spatially referenced watershed model. Water Science and Technology 49:1-10.

Alexander, R. B., R. A. Smith, G. E. Schwarz, S. D. Preston, J. W. Brakebill, R. Srinivasan, and P. A. Pacheco. 2001. Atmospheric nitrogen flux from the watersheds of major estuaries of the United States: an application of the SPARROW watershed model. Pages 119-170 in R. A.

Valigura, R. B. Alexander, M. S. Castro, T. P. Meyers, H. W. Paerl, P. E. Stacey, and R. E. Turner, editors. Nitrogen loading in coastal water bodies: an atmospheric perspective. American Geophysical Union Monograph 57 American Geophysical Union, Washington, D.C., USA.

Arnold, J. G., J. R. Williams, A. D. Nicks, and N. B. Sammons. 1990. SWRRB: a basin scale simulation model for soil and water resources management. Texas A&M University Press, College Station, Texas, USA.

Band, L., D. Peterson, S. Running, J. Coughlan, R. Lammers, J. Dungan, and R. Nemani. 1991. Forest ecosystem processes at the watershed scale: basis for distributed simulation. Ecological Modeling 56:171-196.

Band, L. E., C. L. Tague, S. E. Brun, D. E. Tenebaum, and R. A. Fernandes. 2000. Modeling watersheds as spatial object hierarchies: structure and dynamics. Transactions in GIS 4(3): 181-196.

Band, L. E., C. Tague, P. Groffman, and K. Belt. 2001. Forest ecosystem processes at the watershed scale: hydrological and ecological controls of nitrogen export. *Hydrological Processes* 15: 2013-2028.

Bashkin, V. N., S. U. Park, M. S. Choi, and C. B. Lee. 2002. Nitrogen budgets for the Republic of Korea and the Yellow Sea region. *Biogeochemistry* 57/58:387-403.

Svetska turisticka organizacija, World Tourism Organization (WTO), [www.world-tourism.org](http://www.world-tourism.org)  
Svetski savet za putovanje i turizam, World Travel and Tourism Council (WTTC),  
[www.wttc.org](http://www.wttc.org) Centar za održivi i odgovorni razvoj turizma, [www.cenort.org.yu](http://www.cenort.org.yu)

N. Živkovic, M. Stankovic, "Monitoring zagadivanja životne sredine", Privreda i životna sredina - ekološka i ekonomska meduzavisnost, redaktor B. Milenovic, Fakultet zaštite na radu, 1999., str 183-210

Akratanakul, S., Boersma, L. and Klock, G.O.: Sorption processes in soils as influenced by pore water velocity: 1 Theory. *Soil Science*, 135: 267-274, 1983.

Alexander, M.: How toxic are toxic chemicals in soil? *Environmental Science and Technology*, 29: 2713-2717, 1995. Atkins, P. and De Paula, J.: Atkins` Physical Chemistry, 7 edition. Oxford University Press Inc., New York, USA, 2002.

Bailey, G.W. and White, J.L.: Soil-pesticide relationships, adsorption and desorption of organic pesticides by soil colloids, with implications concerning pesticide bioactivity. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 12: 324-332, 1964.

Barriuso, E., Baer, U. and Calvet, R.: Dissolved organic matter and adsorption-desorption of Dimefuron, Atrazine, and Carbetamide by soils. *Journal of Environmental Quality*, 21: 359-367, 1992.

Barriuso, E., Laird, D.A., Koskinen, W.C. and Dowdy,R.H.: Atrazine resorption from smectites. *Soil Science Society of America Journal*, 58: 1632-1638, 1994.

Beulke, S. and Malkomes, H.P.: Effects of the herbicides metazachlor and dinoterb on the soil microflora and the degradation and sorption of metazachlor under different environmental conditions.

*Biology and Fertility of Soils*, 33:467471,2001.

Boesten, J.J., Van der Pas, L.J.T. and Smelt, J.J.: Field test of a mathematical model for non-equilibrium transport of pesticides in soil. *Pesticide Science*, 25: 187-203, 1989.

Boivin, A., Cherrier, R., Perrin-Ganier, C. and Schiavon,M.: Time effect on bentazon sorption and degradation in soil. *Pest Management Science*, 60: 809-814, 2004.

Boivin, A., Amellal, A., Schiavon, M. and Van Genuchten, M.Th.: 2,4-Dichlorophenoxyacetic

acid (2,4D) sorption and degradation dynamics in three agricultural soils. Environmental Pollution, 138: 92-99, 2005.

Bolan, N.S. and Baskaran, S.: Biodegradation of 2,4-D herbicide as affected by its adsorption-desorption behavior and microbial activity of soils. Australian Journal of Soil Research, 34: 1041-1053, 1996.

H. Vaughan, G. Whitelaw, B. Craig, C. Stewart, "Linking ecological science to decisionmaking: delivering environmental monitoring information as societal feedback", Environmental Monitoring and Assessment 88, 399-408, 2003.

S. Stankovic, "Zaštita prirode i održivi turizam", Ekoistina 2004, Zbornik radova

K. Jenkins, A. Woodward, E. Schreiner, "A Framework for Long-term Ecological Monitoring in Olympic National Park: Prototype for the Coniferous Forest Biome", U.S. Geological Survey, 2006.

Jandric Z., Srdjevic B.: Analiticki hijerarhijski proces (AHP) kao podrska donesenju odluka u vodoprivredi, Vodoprivreda 0350-0519, 32 (2000) 186-188, p. 327-334, 2000.

Karlsson J.: A systematic approach for prioritizing software requirements, Ph.D. dissertation No. 526, Linkoping, Sverige, 1998.

DJordjevic B.: Neki socioloski fenomeni bitni za proces odlucivanja u vodoprivredi, Vodoprivreda **156-157**, 129-136, 1995.

Saaty T.L.: The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, Inc., 1980.

Saaty T.L.: Decision making for leaders, RWS Publications, Pittsburg, USA, 1992.

Saaty T.L.: Axiomatic foundation of the Analytic Hierarchy Process, Management Science, **32**(7), 841-855, 1986.

Alphonse C.B.: Application of the Analytic Hierarchy Process in agriculture in developing countries, Agricultural Systems, **53**, 97-112, 1997.

Kah, M. and Brown, C.D.: Adsorption of ionisable pesticides in soils. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, 188:149-217, 2006.

Kan, A.T. and Tomson, M.B.: Effect of pH concentration on the transport of naphthalene in saturated aquifer media. Journal of Contaminant Hydrology, 5: 235-251, 1990.

Kan, A.T., Fu, G. and Tomson, M.B.: Adsorption/desorption hysteresis in organic pollutant and soil/sediment interaction. Environmental Science and Technology, 28: 859-867, 1994.

Karickhoff, S.W.: Organic pollutant sorption in aquatic systems. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE-American Society of Civil Engineers, 110: 707-735, 1984.

Kaune, A., Bruggeman, R., Sharma, M. and Kettrup, A.: Soil adsorption coefficients of s-triazines estimated with a new gradient HPLC method. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 46: 335-343, 1998.

Laird, D.A., Yen, P.Y., Koskinen, W.C., Steinhelmer, T.R. and Schwarzenbach, R.H.: Sorption of atrazine on soil clay components. *Environmental Science and Technology*, 28:1054-1061, 1994.

Lampert, S.M., Porter, P.E. and Schieferstein, R.H.: Movement and sorption of chemicals applied to the soil. *Weeds*, 13: 185-190, 1965.

Kefford, B.J., Nugegoda, D., Metzeling, L., Fields, E.J., 2006. Validating species sensitivity distributions using salinity tolerance of riverine macroinvertebrates in the southern MurrayDarling Basin (Victoria, Australia). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 63, 1865-1877.

Kefford, B.J., Palmer, C. G. and Nugegoda, D. (2005): Relative salinity tolerance of freshwater macroinvertebrates from the south-east Eastern Cape, South Africa compared with the Barwon Catchment, Victoria, Australia. *Marine and Freshwater Research* 56: 163171.

Joy, MK & Death, RG (2000): Stream invertebrate communities of Campbell Island. *Hydrobiologia* 439(1-3): 115-124

Silberbush A, Blaustein L, Margalith Y (2005): Influence of salinity concentration on aquatic insect community structure: a mesocosm experiment in the Dead Sea Basin Region. *Hydrobiologia* 548: 1-10

Gaugler, R (1990): Salinity tolerance of stable fly (Diptera, Muscidae). *Journal of Economic Entomology* 83(3): 887-891

Merrit, R. W., Cummins, K.W. & Berg, M.B. (2008): An introduction to the Aquatic insects of North America. Kendall/Hunt: Dubuque, Iowa. 4th ed.

EK Expert knowledge - Workshop held in the EPA Victoria in March 2009

Birch H., Gouliarmou V., Lutzhoft H. C. H., Mikkelsen P. S. and Mayer P. (2010). Passive Dosing to

Determine the Speciation of Hydrophobic Organic Chemicals in Aqueous Samples, *Anal. Chem.*, 82(3), 11421146.

Blom L. B., Morrison G. M., Kingston J., Mills G. A., Greenwood R., Pettersson T. J. R. and Rauch S. (2002). Performance of an in situ passive sampling system for metals in stormwater, *J. Environ. Monitor.*, **4**(2), 258-262.

de Jonge H. and Rothenberg G. (2005). New device and method for flux-proportional sampling of mobile solutes in soil and groundwater. *Environ. Sci. Technol.*, **39**(1), 274-282.

EU (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. European Union 23-102000.

EQS-Directive (2008). Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on environmental quality standards in the field of water. European Union 16-12-2008.

Komarova T., Bartkow M. E., Muller J. F., Carter S. and Vanderzalm J. (2006). Field evaluation of passive samplers: Monitoring polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in stormwater, *Polycycl. Aromat. Comp.*, **26**(3), 221-236.

Rozemeijer J., van der Velde Y., de Jonge H., van Geer F., Broers H. P. and Bierkens M. (2010). Application and Evaluation of a New Passive Sampler for Measuring Average Solute Concentrations in a Catchment Scale Water Quality Monitoring Study, *Environ. Sci. Technol.*, **44**(4), 1353-1359.

Stuer-Lauridsen F. (2005) Review of passive accumulation devices for monitoring organic micropollutants in the aquatic environment, *Environ. Pollut.*, **136**(3), 503-524.

Thomas, P. (2009). Metals pollution tracing in the sewage network using the diffusive gradients in thin films technique. *Wat. Sci.Tech.*, **60**(1), 65-70.

Vezzaro, L., Ledin, A., Mikkelsen, P.S. (2010). Integrated modelling of priority pollutants in stormwater systems. In: Proceeding of IDRA 2010. XXXII Italian Conference of Hydraulics and Hydraulic Constructions, Palermo, Italy, 14 th-17th September 2010.

Vezzaro, L., Sharma, A.K., Ledin, A., Mikkelsen P.S. (submitted). Evaluating stormwater pollution control strategies by the application of an integrated model. In: Proceeding of 12ICUD, 12 International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil, 11th-16th September 2011.

Azzaya D., et al. *Land Surface Temperature (LST) Estimation Using Satellite Data NOAA-AVHRR, over Mongolia*. MNU. 1998. 5; 138.

Bat-Oyun et al. *Drought Assessment over Mongolia Using Remote Sensing and Meteorological Data*. Papers in Meteorology and Hydrology. 2005. 27 (5) 59-68.

Erdenetseseg D., et al. *Application of NDVI/AVHRR/NOAA for the Estimation of Pasture Above Ground Biomass.* Papers in Meteorology and Hydrology. 2005.27(5)34-37.

Gupta R.K., et al. *The Estimation of Surface Temperature over an Agricultural Area in the State of Haryana and Punjab, India, and Its Relationship with the NDVI, Using NOAA-AVHRR Data*”, Int. J.Remote Sensing. 1997. 18; 3729-3741.

Gupta R.K, et al. *Estimation and Validation of Roughness Length, Surface Temperature and SensibleHeat Flux Computed From Remote Sensing (Wifs and NOAA/AVHRR) Data*, Journal Of Agrometeorology. 2001. 3 (1 & 2) 189-215.

Lee R. et al. *Evaluating Vegetation Phenological Patterns in Inner Mongolia Using NDVI Time-Series Analysis.* Int. J. Remote Sensing. 2002. 23 (12) 2505–2512.

Oyuntuya Sh., et al. *The Satellite Based Estimation of Land Surface Energy.* Papers in Meteorology and Hydrology, Mongolia. 2005. 27 (5) 12-20.

Oyuntuya Sh., et al. *Results of Land Surface Processes Using Remote Sensing Technology in Selenge Aimag, Mongolia.* International Conference “Natural Resources and Sustainable Development in Surrounding Regions of the Mongolian Plateau.” Ulaanbaatar. 2005. 200-205.

Prasanjit Dash, et al. *Retrieval of Land Surface Temperature and Emissivity from Satellite Data: Physics, Theoretical Limitations and Current Methods.* Journal of the Indian Society of Remote Sensing. 2001. 29 (1 & 2) 23-30.