

METODOLOGIJA ZA IZRADU VODOPRIVREDNOG BILANSA SRBIJE*

Prof. dr Stevan PROHASKA, dipl. inž.
Dr Dragoslav ISAILOVIĆ, dipl. inž.
Brankica MAJKIĆ, dipl. inž.
Miomir ARSIĆ, dipl. inž.
Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd

REZIME

U radu se daje kratak pregled savremenog pristupa za izradu vodoprivrednog bilansa Srbije. Prikazana metodologija u velikoj meri oslanja se na prethodne metodologije nastale u periodu od 1980 do 1988. godine. Ipak, ova metodologija uzima u obzir nove pristupe upravljanja vodama kao i nova tehnološka dostignuća u ovim aktivnostima (GIS).

Teritorija Srbije (bez Kosova i Metohije) je podeljena na 19 bilansnih jedinica, za koje su prikupljeni raspoloživi podaci, tokom perioda trajanja projekta (2004-2007).

Izrada vodoprivrednog bilansa Srbije zahteva podatke koji se redovno prikupljaju (hidrometeorološki podaci) kao i podatke koji se ne prikupljaju i ne čuvaju sistematično (podaci o režimu podzemnih voda, zahvatanju i ispuštanju voda).

Može se zaključiti da su podaci o zahvatanju i ispuštanju otpadnih voda gotovo neupotrebljivi, zbog slabe organizacije prikupljanja podataka i neadekvatne analize i provere dobijenih podataka. Neadekvatni i nepouzdati postojeći podaci predstavljaju limitirajući faktor za izradu vodoprivrednog bilansa Srbije. Usled navedenog razloga, predloženo je da se uspostave nove (ili usavrše postojeće) institucije odgovorne za prikupljanje podataka o režimu podzemnih voda a naročito o zahvaćenim i ispuštenim količinama otpadnih voda.

Ključne reči: bilans voda, bilansne jedinice, nizovi podataka, pouzdanost podataka, informacioni sistem (GIS)

1. UVODNE NAPOMENE

Tokom prethodne dve dekade 20. veka na prostoru bivše Jugoslavije izrađene su tri metodologije za vođenje vodoprivrednog bilansa. (1) Metodologija za izradu vodoprivrednog bilansa SR Srbije bez SAP, Beograd 1980. (2) Metodologija za izradu vodoprivredne osnove SAP Vojvodine, Beograd 1987. i (3) Metodologija za izradu vodoprivredne osnove SAP Kosova, Beograd 1988. Sve tri metodologije je uradio Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", pod rukovodstvom prof. dr Milorada Miloradova. Pored ovih metodologija, a u okviru "Deklaracija o saradnji podunavskih zemalja po pitanjima vodoprivrede reke Dunav, a posebno zaštite njegovih voda od zagađenja", koja je usvojena 13. decembra 1985. godine u Bukureštu (Bukureštanska deklaracija) izrađena je "Jedinstvena metodologija za sagledavanje nacionalnih vodoprivrednih bilansa i svodnog vodoprivrednog bilansa reke Dunav". Ova metodologija je prihvaćena od strane svih podunavskih zemalja na sastanku u Moskvi juna 1987. godine. Savezni Sekretariat za poljoprivredu, koji je u to vreme bio nadležna institucija za realizaciju obaveza koje proističu iz Bukureštanske deklaracije, angažovao je Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi" za izradu Nacionalnog vodoprivrednog bilansa reke Dunav za teritoriju SFRJ.

Imajući u vidu činjenicu da je od izrade navedenih metodologija vodoprivrednog bilansa prošlo više od 20 godina, a da su se društveno političke prilike u našoj zemlji drastično promenile, kako sa gledišta prikupljanja, obrade, arhiviranja i distribucije ulaznih hidrometeoroloških i vodoprivrednih podataka i podloga, tako i sa stanovišta organizovanosti korišćenja i upavljanja raspoloživim vodnim

* Ovaj članak rezultat je rada na projektu 410016 - Izrada vodoprivrednog bilansa Srbije

potencijalom, u okviru Nacionalnog programa za vode, koncipiram je poseban projekat „Izrada nove metodologije za izradu vodoprivrednog bilansa Srbije“. Program se odnosi na teritoriju Srbije sa isključenjem teritorije Kosova, s obzirom da u periodu od uvođenja međunarodnom protektorata na Kosovu i Metohiji Srbije ne raspolaže sa potrebnim podacima i podlogama za izradu vodoprivrednog bilansa.

2. PREDMET, STRATEŠKI CILJ I ZNAČAJ ISTRAŽIVANJA ZA VODOPRIVREDU SRBIJE

2.1 Predmet istraživanja

Pod vodoprivrednim bilansom se podrazumeva kvantitativno i kvalitativno praćenje i obrada (bilansiranje) raspoloživih resursa površinskih i podzemnih voda, zatim zahvaćenih vodnih resursa za sve vrste korišćenja, kao i ispuštenih vodnih resursa iz svih vidova korišćenja ili iz odvodnih i kanalizacionih sistema. S obzirom na karakteristike i rasprostranjenost vodnih resursa, njihovo višenamensko korišćenje u svim ljudskim aktivnostima, mnogobrojne izvore njihovog zagađivanja i potrebu njihove zaštite, vodoprivredni bilans predstavlja osnovu za uspešno upravljanje korišćenjem i zaštitom vodnih resursa na određenom prostoru. Izradom vodoprivrednog bilansa formira se slika o kvantitativnim i kvalitativnim karakteristikama režima raspoloživih voda, zatim o korišćenju i upotrebi voda, kao njihovom zagađenju na određenoj teritoriji tokom posmatranog vremena.

Iz podataka prikupljenih i sređenih kroz izradu vodoprivrednog bilansa dobiće se slika o trendovima i sagledaće se uticaji stanovništva i industrije na režim i kvalitet raspoloživih voda. Na osnovu ovih elemenata biće moguće adekvatnije sagledavanje uslova dugoročnog razvoja vodnih resursa i preduzimanje mera za očuvanje kvantitativnog i kvalitativnog režima voda. Pored toga, vodoprivredni bilans ima nezamenljivu ulogu u procesu prikupljanja finansijskih sredstava po osnovi korišćenja, upotrebe i zagađenja voda, odnosno za alokaciju tih sredstava za razvoj i zaštitu vodnih resursa u celini.

Na osnovu gore iznetog može se zaključiti da je predmet istraživanja ovog projekta izrada vodoprivrednog bilansa na teritoriji Republike Srbije, kako po prostoru tako i po vremenu.

2.2 Strateški ciljevi i značaj projekta za vodoprivredu Srbije

Osnovni ciljevi izrade vodoprivrednog bilansa na jednom određenom području, kao i na teritoriji Republike Srbije su:

- Sistematsko praćenje promena raspoloživih vodnih resursa površinskih i podzemnih voda po količini i kvalitetu, zatim zahvaćenih i ispuštenih količina voda za sve korisnike,
- Obezbeđenje sistematskog praćenja promena koje se dešavaju na vodnim resursima i obezbeđenje pouzdanih podataka za izradu planova upravljanja režimom voda, vodoprivrednih osnova i blagovremeno preuzimanje mera za očuvanje, zaštitu i razvoj vodnih resursa,
- Sagledavanje i ocena postojećeg stanja u oblasti prikupljanja postojećih podataka svih elemenata vodoprivrednog bilansa i davanje preporuka u cilju poboljšanja sistema akvizicije i arhiviranja neophodnih podataka,
- Definisanje i inovacija metodologije i procedura za izradu vodoprivrednog bilansa, kao i koncipiranje baze podataka i sagledavanje veza sa drugim relevantnim podacima,
- Definisanje principa za izbor bilansnih profila i teritorijalne podele države sa stanovišta izrade vodoprivrednog bilansa
- Definisanje načina prikupljanja i obrade raspoloživih vodnih resursa površinskih i podzemnih, kao i zahvaćenih i ispuštenih voda po količini i kvalitetu,
- Organizacija izrade vodoprivrednog bilansa i predlog normativnog regulisanja nadležnosti i obaveza pojedinih subjekata pri izradi vodoprivrednog bilansa,
- Izrada vodoprivrednog bilansa Republike Srbije primenom razvijene metodologije i organizacija permanentnog vođenja vodoprivrednog bilansa u budućnosti.

3. PODELA TERITORIJE REPUBLIKE SRBIJE NA BILANSNE JEDINICE

Hidrografska mreža Srbije je veoma kompleksna pošto na njenoj teritoriji protiču značajni evropski vodotoci, kao što su Dunav, Tisa, Sava i Drina, zatim niz vodotokova presečenih državnom granicom: Pčinja, Dragovištica, Jerma, Nišava, Visočica, kao i nekoliko banatskih vodotokova (Zlatica, Begej, Tamiš, Brzava, Moravica, Rojga, Karaš i Nera), koji dotiču iz Rumunije. Svi vodoci, osim Save, na teritoriji

Vojvodine su presečeni primarnim i sekundarnim kanalima hidrosistema Dunav-Tisa-Dunav, a izgrađeni hidrotehnički objekti (ustave, prevodnice, crpne stanice...) još više usložnjavaju režim oticaja prirodnih i veštačkih vodotokova na teritoriji Vojvodine.

Na samoj teritoriji Vojvodine svoja slivna područja formiraju vrlo mali vodotoci, kao što su: Krivaja i Čik u Bačkoj, Mandeloski potok, Galovica, Jarčina i veći broj potoka koji se slivaju sa Fruške Gore u Sremu, kao i Nadela u Banatu. Sa gledišta vodoprivrednog bilansa ovi potoci nemaju veliki značaj. U ovim uslovima, klasična teritorijalna podela na hidrografske celine i izbor ključnih profila za izradu vodoprivrednog bilansa ne može se primeniti, jer su svi vodotoci međusobno ispresecani kanalskom mrežom, a režim voda nizvodnog dela zavisi od načina upravljanja vodama na uzvodnim slivovima.

Većina značajnijih vodotoka na teritoriji Srbije imaju zaokružene hidrografske celine, kao što su: Morava, Nišava, Kolubara, Timok, Mlava, Pek, Porečka reka i dr. Ti vodotoci, u celini, ili pojedini njihovi delovi, odnosno združeni u veće celine, su veoma pogodni za formiranje bilansnih jedinica.

Za izradu vodoprivrednog bilansa (VB) na teritoriji republike Srbije osnovni principi za izbor bilansnih jedinica su:

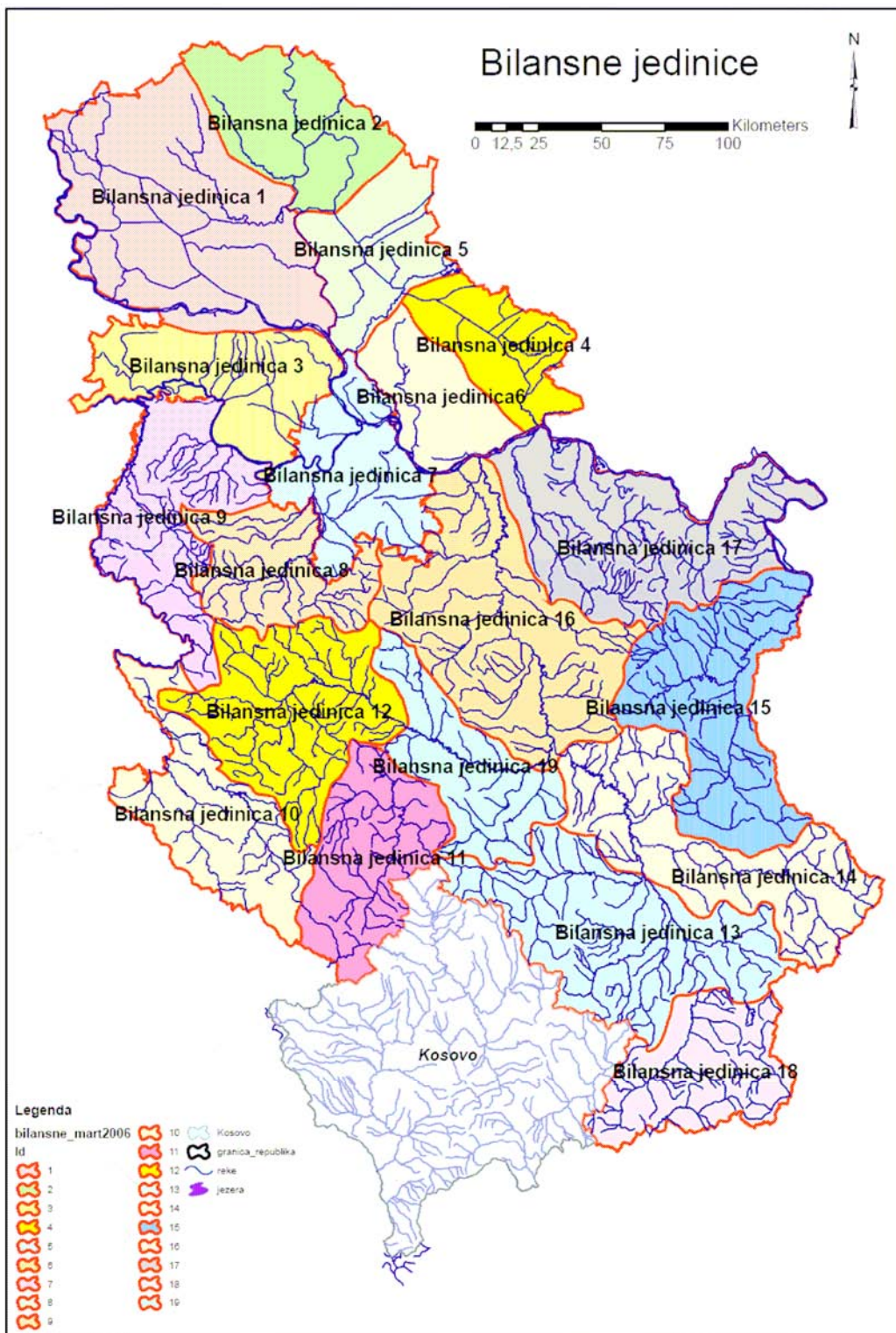
- da se VB radi za tačno definisane slivne površine (sliv, podsliv ili neka zaokružena hidrografska celina),
- da se VB radi za utvrđene periode diskretizacije vremena (10-dana, mesec, sezona, godina...).

Pored osnovnih principa, najznačajniji faktori koji utiču na izbor bilansnih jedinica su:

- reljef terena i razvijenost hidrografske mreže,
- promena režima površinskih voda i njihovog kvaliteta duž vodotoka,
- geološke i hidrogeološke karakteristike terena koje su od uticaja za formiranje podzemnih voda,
- raspored velikih korisnika i zagađivača duž vodotoka,
- raspored i raspoloživost sistema merenja površinskih i podzemnih voda, kao i zahvaćenih i ispuštenih voda,
- prostorna konfiguracija i funkcionalna celovitost izgrađenih i projektovanih vodoprivrednih objekata i sistema,
- društveno politička podela teritorije i položaji međudržavnih i republičko-pokrajinskih granica.

Uvažavanjem gore navedenih principa i drugih važnih faktora cela teritorija republike Srbije je podeljena na 19 bilansnih jedinica i to:

1. Bilansna jedinica 01 - Sliv Dunava od srpskocrnogorsko-mađarske granice i kanala HS DTD do ušća Tise u Bačkoj,
2. Bilansna jedinica 02 - Sliv Tise od srpskocrnogorsko-mađarske granice do brane kod Novog Bečeja,
3. Bilansna jedinica 03 - Sliv Save u Sremu, bez severne padine Fruške Gore koja pripada slivu Dunava,
4. Bilansna jedinica 04 - Sliv Hidrosistema DTD u južnom Banatu od Botoša do Banatske Palanke i Nere,
5. Bilansna jedinica 05 - Sliv Srednjeg Banata sa Begejom i Tamišem,
6. Bilansna jedinica 06 - Sliv Dunava – Hidrosistem Nadela (Pančevo, Kovin Dubovac),
7. Bilansna jedinica 07- Sliv teritorije grada Beograda u administrativnim granicama,
8. Bilansna jedinica 08 - Sliv r. Kolubare do v.s. Draždevac i granice sa bilansnom jedinicom 07
9. Bilansna jedinica 09 - Neposredni sliv r. Drine, od Bajina Bašte do ušća, plus slivovi malih potoka u Mačvi do v.s Beljin na r. Savi,
10. Bilansna jedinica 10 - Neposredni sliv reke Drine do Bajine Bašte sa slivovima Lima i Uvca,
11. Bilansna jedinica 11 - Sliv reke Ibra do Lopatnice Lakat,
12. Bilansna jedinica 12 - Sliv Zapadne Morave do Kraljeva,
13. Bilansna jedinica 13 - Deo sliva Južne Morave, od Predejana do Korvin Grada,
14. Bilansna jedinica 14 - Deo sliva Južne Morave, od Korvin Grada do Mojsinja, sa slivom Nišave,
15. Bilansna jedinica 15 - Sliv reke Timok,
16. Bilansna jedinica 16 - Sliv Velike Morave, od Mojsinja i Jasike do ušća,
17. Bilansna jedinica 17 - Neposredni sliv desnih pritoka Dunava, od ušća Morave do ušća Timoka,
18. Bilansna jedinica 18 - Deo sliva Južne Morave, od granice sa Kosovom i Metohijom do Predejana, sa slivovima Pčinje i Dragovišnice,
19. Bilansna jedinica 19 - Deo sliva Zapadne Morave, od Kraljeva i Lopatnice Lakat do Jasike.



Slika 1. Podela teritorije Republike Srbije na bilansne jedinice

Grafički prikaz izvršene podele teritorije republike Srbije na bilansna jedinice prikazan je na karti sliva sl. 1. Karta sliva urađena je u skladu sa GIS tehnologijom, korišćenjem programa Arc View. U GIS tehnologiji uneti su položaji ulazno-izlaznih profila svake bilansne jedinice, kao i položaji hidroloških, meteoroloških, klimatskih i padavinskih stanica. Pored toga utvrđeni su prostorni položaji svih vrsta pjezometara, lokacije korisnika i zagađivača voda.

Za sve bilansne jedinice pripremljeni su tabelarni prikazi navedenih pokazatelja o raspoloživim podacima na tom prostoru. Prikazi su dati po jedinicama, kao što sledi, a za sve bilansne jedinice navedeni su sledeći podaci:

- vrsta profila: ulazni, kontrolni i izlazni;
- obuhvaćeni vodotoci u bilansnoj jedinici;
- klimatološke stanice;
- sinoptičke stanice;
- vodomerne stanice;
- zagađivači (komunalni i industrijski)

korisnici voda (vodosnabdevanje).

4. METODOLOGIJA ZA IZRADU VODOPRIVREDNOG BILANSA ZA JEDNU TERITORIJALNU (BILANSNU) JEDINICU

4.1 Hidrološki ciklus, vodni bilans i vodoprivredni bilans

Hidrološki ciklus je globalni geofizički proces koji čini osnovu koncepta hidrologije, odnosno princip održavanja mase voda u sve tri njene faze na zemljinoj kugli. U suštini hidrološki ciklus je prirodni fenomen preko koga se ostvaruje globalna transformacija voda između atmosfere, biosfere i hidrosfere. Vodena para koja se nalazi u atmosferi, kondenzuje se i vraća na površinu zemlje u obliku padavina (kiša, sneg, slana, led). Nakon dolaska na površinu zemlje voda se delimično akumulira u zemljištu, površinski ili podzemno otiče u jezera i mora, a zatim isparava sa vodenih površina ili zemljišta ili kroz biljni i životinjski svet i ponovo odlazi u atmosferu. Ovo prirodno kruženje vode predstavlja osnovu obnovljivih slatkih voda na zemlji i osnovu takozvanog **Vodnog bilansa** raspoloživih voda za korišćenje u svim ljudskim aktivnostima i za potrebe biljnog i životinjskog sveta na zemlji.

Osnovne komponente tog bilansa su: količina vodene pare u atmosferi (W), padavine (P), evaporacija (E), oticaj (Q), promena zapremine vode na površini u i

podzemlju (W), oticaj podzemnih voda kroz zemljište (G) u određenom vremenskom intervalu.

Klasična i fundamentalna jednačina vodnog bilansa, uzimajući u obzir navedene parametre, primenjena na ograničeno slivno područje površine (A) i omeđeno ivicom (I), može se napisati u sledećem obliku:

$$\langle \overline{E - P} \rangle + \langle \overline{Q} \rangle + \frac{\partial \overline{W}}{\partial t} + \frac{1}{A} \int \overline{G} n dr = 0 \quad (1)$$

Pored napred navedenih oznaka u gornjoj jednačini dodatni simboli imaju sledeće značenje:

- n – jedinični vektor upravan na konturu jedinične površine,
- t – vreme,

Polazeći od gornje jednačine, opšta jednačina vodnog bilansa, za jedan vremenski interval Δt i ograničenu realnu jediničnu površinu sliva, može se napisati u sledećem obliku:

$$P - E = Q + \Delta G \pm \Delta W \quad (2)$$

gde su:

- P – Ukupne padavine na jediničnu površinu sliva u datom intervalu vremena,
- E – Ukupna evapotranspiracija sa iste površine u istom intervalu vremena,
- Q – Ukupni površinski oticaj sa iste površine u istom intervalu vremena,
- ΔG – ukupna podzemni oticaj za istu površinu u istom intervalu vremena,
- ΔW – Ukupna promena zapremine površinskih i podzemnih voda na istoj površini u istom intervalu vremena.

Navedeni parametri vodnog **bilansa raspoloživih voda** su veoma poznate hidrološke veličine koje se mogu sračunati na bazi meteoroloških i hidroloških merenja koje se uglavnom redovno obavljaju u hidrometeorološkim službama u svim zemljama u svetu. Međutim, u vodoprivrednom smislu vodni bilans raspoloživih voda, na jednom slivu, predstavlja samo jedan deo problematike kojom se vodoprivreda i održivi razvoj bave. Drugi deo ove problematike čine korišćene vode u svim domenima ljudske delatnosti i ispuštene vode iz svih vidova korišćenja koje predstavljaju deo takozvanog **vodoprivrednog bilansa**.

Vodoprivredni bilans u suštini, kao što je već rečeno, predstavlja odnos raspoloživih vodnih resursa definisanih

Vodnim bilansom i korišćenih i ispuštenih voda po količini i kvalitetu u prostoru i vremenu na određenom prostoru sliva koji proističe iz takozvanog Vodoprivrednog ciklusa, odnosno kruženja vode od njihovog zahvatanja za potrebe korišćenja za sve namene, pa pošto se iste u toku upotrebe ne utroše, većim delom se vraćaju u vodotoke i zemljište čime se raspoložive vode uvećavaju za razliku između zahvaćenih i ispuštenih voda.

Polazeći od napred izloženog, osnovnoj jednačini vodnog bilansa potrebno je oduzeti ukupno zahvaćene vode za potrebe korišćenja (ΔQ_w) kao i dodati ispuštene vode iz svih vidova korišćenja (ΔQ_r). Imajući to u vidu, opšta **jednačina vodoprivrednog bilansa** za jediničnu slivnu poršinu dobija niže navedeni oblik:

$$P - E = Q + \Delta G \pm \Delta W + \Delta Q_r - \Delta Q_w \quad (3)$$

Obezbeđenje optimalnog održivog upravljanja vodoprivrednim bilansom u prostoru i vremenu na nekoj teritoriji predstavlja suštinu održivog razvoja, krišćenja i upravljanja obnovljivim resursima voda na tom području.

Pošto na jednom realnom slivnom ili vodnom području (slika 2) može biti više ulaza i izlaza površinskih i podzemnih voda kao i više zahvata za korišćenje voda i ispusta upotrebljenih voda gornja jednačina vodoprivrednog bilansa za dobija sledeći opšti oblik:

$$\sum_{n=1}^N (\Delta V_w)_n = \sum_{i=1}^I (V_{ul})_i - \sum_{j=1}^J (V_{iz})_j + \sum_{p=1}^P (V_p)_p - \sum_{e=1}^E (V_e)_e = \sum_{z=1}^Z (V_z)_z + \sum_{pov=1}^{POV} (V_{pov})_{pov} \quad (4)$$

gde su:

$\sum_{n=1}^N (\Delta V_w)_n$ - promena ukupne zapremine podzemnih i površinskih voda na vodnom području;

$\sum_{i=1}^I (V_{ul})_i$ - ukupni doticaj podzemnih i površinskih voda u vodno područje,

$\sum_{j=1}^J (V_{iz})_j$ - ukupni oticaj odzemnih i površinskih voda sa vodnog područja;

$\sum_{p=1}^P (V_p)_p$ - ukupne padavine na vodno područje;

$\sum_{e=1}^E (V_e)_e$ - ukupna evapotranspiracija sa vodnog područja;

$\sum_{z=1}^Z (V_z)_z$ - ukupne zahvaćene vode za sve vidove korišćenja na vodnom području;

$\sum_{pov=1}^{POV} (V_{pov})_{pov}$ - ukupne ispuštene vode iz svih vidova korišćenja na vodnom području.

Napred definisani parametri vodoprivrednog bilansa uključuju veoma složene promene u procesu formiranja, kretanja i korišćenja voda na jednom vodnom području. Neki elementi ovih parametara su direktno merljivi, što se posebno odnosi na elemente količina i kvaliteta površinskih voda, kao i elemente količine i kvaliteta zahvaćenih i ispuštenih voda dok neki, koji se odnose na podzemne vode i evapotranspiraciju uopšte nisu. Pored toga, u prirodi postoji bitna razlika u formiranju i kretanju podzemnih i površinskih voda iako među njima postoji direktna interakcija kroz procese infiltracije i isticanja. Imajući to u vidu u praksi se obično posebno obrađuju bilansi površinskih a posebno podzemnih voda stim da se pri njihovoj obradi u jednačine bilansa unose parametri njihove međusobne interakcije.

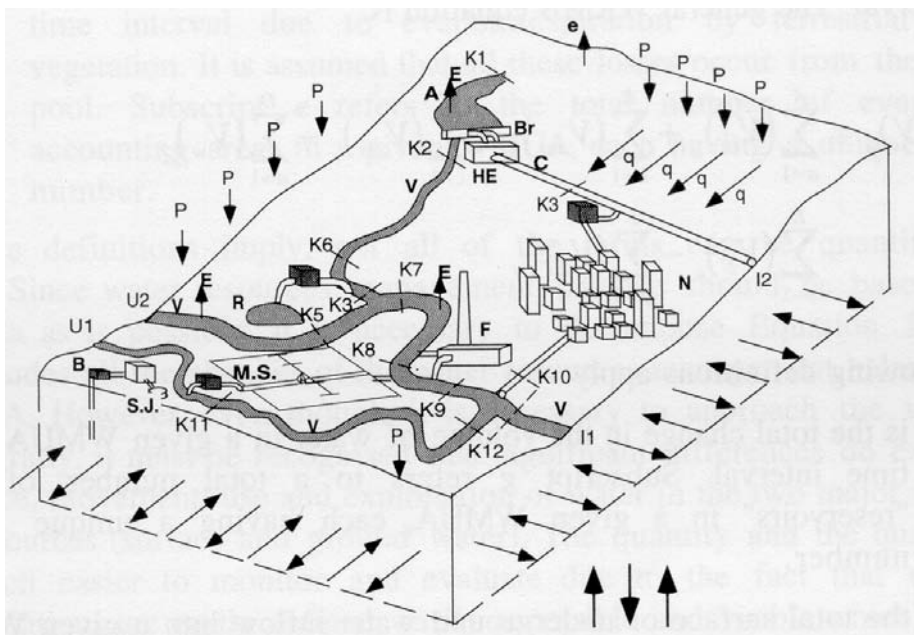
U nastavku teksta detaljno se razmatra komponenta vodoprivrednog bilansa samo za površinske vode.

4.2 Osnovne jednačine vodoprivrednog bilansa za površinske vode za realno slivno ili vodno područje

Vodoprivredni bilans prikazuje sliku o bilansu raspoloživih voda i potreba u vodi, po količini i kvalitetu, u određenim vremenskim presecima na razmatranoj teritorijalnoj (bilansnoj) jedinici. U konačnom vidu definiše sliku o vodnom režimu u različitim fazama izgrađenosti i eksploatacije vodoprivrednih sistema, uključujući i prirodno (zatečeno) stanje.

Opšta jednačina za kvantitativno praćenje svih karakteristika vodoprivrednog bilansa na jednoj teritorijalnoj (bilansnoj) jedinici glasi:

$$\sum_{i=1}^n w_{j,i}^{z} = \sum_{i=1}^m w_{j,i}^{ul} \pm \sum_{i=1}^p w_{j,i}^{Pad} + \sum_{i=1}^k w_{i,j}^{Pod} + \sum_{i=1}^q w_{j,i}^{Dpv} - \sum_{i=1}^d w_{i,j}^{EVT} + \sum_{i=1}^l v_{j,i}^{Pov} - \sum_{i=1}^r v_{j,i}^{Zah} - \sum_{i=1}^s w_{j,i}^{EV} \pm \sum_{i=1}^t v_{j,i}^{tr} \pm \sum_{i=1}^u \Delta w_{j,i}^{ak} \pm \sum_{i=1}^w \Delta w_{j,i} \quad (5)$$



Slika 2. Šematski prikaz realnog vodnog područja

gde su:

$\sum_{i=1}^n w_{j,i}^{iz}$ - suma raspoloživih resursa površinskih voda na svim izlaznim profilima "i" iz teritorijalne jedinice "j". Ukupan broj izlaznih profila je "n";

$\sum_{i=1}^m w_{j,i}^{ul}$ - suma raspoloživih resursa površinskih voda na svim ulaznim profilima "i" u teritorijalnu jedinicu "j". Ukupan broj ulaznih profila je "m";

$\sum_{i=1}^k w_{j,i}^{Pad}$ - suma raspoloživih vodnih resursa padavina palih na "i"-toj padavinskoj zoni, na teritorijalnoj jedinici "j". Ukupan broj padavinskih zona iznosi "k";

$\sum_{i=1}^d w_{j,i}^{EVT}$ - suma raspoloživog vodnog resursa koji je putem evapotranspiracije vraćan u atmosferu iz "i"-te zone "j"-te teritorijalne jedinice. Ukupan broj zona evapotranspiracije iznosi "d";

$\sum_{i=1}^p w_{i,j}^{Pod}$ - suma raspoloživog vodnog resursa koji putem infiltracije dospeva do nivoa podzemnih voda

prve izdani ili se iz prve izdani vraća u otvorene vodotoke. Indeks "i" označava redni broj vodonosne sredine, a "j" redni broj teritorijalne jedinice. Ukupan broj vodonosnih sredina obeležava se sa "p";

$\sum_{i=1}^q w_{j,i}^{Dpv}$ - resursi podzemnih voda koji nisu vezani sa površinskim tokom iz "i"-te vodonosne sredine i "j"-te teritorijalne jedinice. Ukupan broj vodonosnih sredina je "q";

$\sum_{i=1}^l V_{j,i}^{Pov}$ - suma povratnih voda iz svih vrsta korišćenja

po sledećim namenama:

- komunalne otpadne vode,
- industrijske otpadne vode,
- otpadne vode stočarskih farmi,
- odvodnjavanje,
- ribarstvo,
- energetika (TE, NE), i
- ostalo;

$\sum_{i=1}^r V_{j,i}^{Zah}$ - sume zahvaćenih površinskih i podzemnih voda za sve vrste korišćenja po sledećim namenama:

- naselja,
- industrije,

- poljoprivrede (navodnjavanje),
- poljoprivrede (stočarstvo),
- ribarstva,
- energetika (TE, HE), i
- ostalo (saobraćaj, sport, turizam, rekreacija);

$\sum_{i=1}^s w_{j,i}^{EV}$ - suma gubitaka vode na isparavanje sa "i"-te

slobodne vodene površine na "j"-toj teritorijalnoj jedinici. Ukupan broj slobodnih vodenih površina iznosi "s"

$\sum_{i=1}^t V_{j,i}^{tr}$ - suma vodenog resursa koji se transportuje u

druge teritorijalne jedinice ili se prebacuje u "j"-tu teritorijalnu jedinicu. Indeks "i" označava redni broj drugih teritorijalnih jedinica u koju se voda transformiše, a "t" njihov ukupan broj;

$\sum_{i=1}^u \Delta w_{j,i}^{ak}$ - suma akumulisane ili ispuštene vode iz

akumulacije, jezera i kanalskih sistema u "j"-tu teritorijalnu jedinicu. Indeks "i" označava redni broj akumulacije, jezera ili kanalskog sistema čiji ukupan broj iznosi "u";

$\sum_{i=1}^w \Delta w_{j,i}$ - promena zaliha vode u "i"-toj

karakterističnoj pedološko-geološkoj sredini u "j"-toj teritorijalnoj jedinici. Ukupan broj karakterističnih pedološko-geoloških sredina iznosi "w".

Postavljena jednačina vodoprivrednog bilansa se odnosi na konstantan period diskretizacije vremena, koji se može proizvoljno usvajati (sedmica, dekada, mesec ili sezona u toku jedne kalendarske godine).

Sve komponente jednačine vodoprivrednog bilansa izražavaju se u istim jedinicama - kubnim metrima ili milimetrima.

4.3. Određivanje komponenti bilansne jednačine

Za određivanje komponenti jednačine vodoprivrednog bilansa koriste se podaci osmatranja i merenja u hidrometeorološkoj službi, državnim ustanovama, specijalizovanim preduzećima i institucijama. Svi neophodni podaci treba da budu javni i dostupni organizaciji koja će biti zadužena za izradu i praćenje vodoprivrednog bilansa.

Podaci o raspoloživim **resursima površinskih voda** na ulaznim i izlaznim profilima jedne teritorijalne jedinice određuju se na osnovu podataka osmatranja i merenja na najbližim, vodomernim stanicama. U osnovi to su podaci svakodnevnih osmatranja vodostaja i povremenih merenja proticaja. Primarnom i sekundarnom obradom ovih podataka dobijaju se srednje dnevne vrednosti proticaja. Na osnovu njih, a u zavisnosti od usvojenog perioda diskretizacije vremena, računaju se odgovarajuće srednje vrednosti, koje ulaze u bilansnu jednačinu.

Suma raspoloživih vodnih resursa od **atmosferskih padavina**, palih na "j"-toj teritorijalnoj jedinici, računa se na osnovu podataka o dnevnim (24-oročasnim) sumama padavina registrovanih na kišomernim i klimatološkim stanicama na razmatranoj teritoriji i šire. Režim padavina nije prostorno homogen, što znači da padavine koje se izluče na nekoj teritoriji nisu ravnomerno raspodeljene. Ta prostorna neravnomernost može biti vezana za tačkasta merenja (na kišomernim stanicama), ili predstavljena preko prostorne zastupljenosti ponderisanog uticaja pojedinih tačkastih merenja pomoću Thiessenovih poligona ili metode izohijeta. Ukoliko se raspoloživo samo sa tačkastim osmatranjima, tada se suma raspoloživog vodnog potencijala, koji se preko atmosferskih padavina izluči na "j"-toj teritorijalnoj jedinici, računa kao:

$$\sum_{i=1}^k w_{j,i}^{Pad} = \sum_{\theta=1}^{\theta=\Delta t} \left(\frac{\sum_{i=1}^k P_{i,\theta}}{k} \right) \cdot F_j \quad (6)$$

gde su:

$P_{i,\theta}$ - dnevna suma padavina na i-toj kišomernoj (ili

klimatološkoj) stanici u trenutku θ ;

F_j - površina "j"-te teritorijalne jedinice;

k - ukupan broj kišomernih stanica; i

Δt - usvojen period diskretizacije.

Ako se prosečne padavine na teritorijalnoj jedinici računaju pomoću Thiessenovih poligona, ili metode izohijeta, tada se koristi formula:

$$\sum_{i=1}^k w_{j,i}^{Pad} = \sum_{\theta=1}^{\theta=\Delta t} \frac{\sum_{i=1}^k P_{i,\theta} \cdot f_i}{F_j} \quad (7)$$

gde je:

f_i -površina "i"-tog Thiessenovog poligona ili padavinske zone, odnosno površine sliva između dve susedne izohijete.

Ukupna suma vodnog resursa koja se putem **evaporacije sa slobodnih vodenih površina**, vraća u atmosferu određuje se posredno pomoću metode Ivanova, a na bazi poznatih meteoroloških podataka na razmatranoj j-toj teritorijalnoj jedinici ili u široj zoni. U konkretnom slučaju, ukupna količina vode, koja se, putem isparavanja sa slobodne vodene površine, vraća u atmosferu računa se po formuli:

$$\sum_{i=1}^d w_{j,i}^{EV} = \sum_{\theta=1}^{\Delta t} \left\{ \sum_{i=1}^d [a_j \cdot (25 + T_{j,i,\theta}) \cdot (100 - u_{j,i,\theta})] \cdot f_{i,\theta} \right\} \quad (8)$$

gde su:

$T_{j,\theta}$ - srednja dnevna temperatura vazduha na "j"-toj teritorijalnoj jedinici u trenutku θ ;

$u_{j,\theta}$ - srednje dnevna vlažnost vazduha na "j"-toj teritorijalnoj jedinici u trenutku θ ;

$f_{i,\theta}$ - površina slobodnog vodnog ogledala "i"-tog vodotoka u trenutku θ ; i

a_j - koeficijent koji se određuje za razmatranu "i"-tu teritorijalnu jedinicu.

Za određivanje raspoloživih resursa **podzemnih voda** koji imaju direktnu vezu sa vodotokom, kao i resursi podzemnih voda koji nisu vezani za površinske tokove, postoji posebno poglavlje u okviru ove metodologije.

U **povratne vode** spadaju sve vode koje se posle zahvatanja i korišćenja, delimično ili u potpunosti vraćaju u površinske tokove i druge akvatorije. Ove vode nazivaju se takođe, ispuštene vode. Prikupljaju se raznovrsnim sistemima za odvodnjavanje, iz naselja i drugih površina, i postojećim sistemom se upuštaju, gravitaciono ili preko crpnih stanica, u površinske tokove i druge akvatorije. Jasno je da deo ovih voda može i da potiče i od podzemnih (drenažnih) voda, o čemu se, pri izradi vodoprivrednog bilansa, mora voditi računa. Sve poznate (ispuštene) vode se moraju evidentirati po vrstama korišćenja i namenama, kao što su:

- komunalne otpadne vode;
- industrijske otpadne vode;
- otpadne vode stočarskih farmi;
- vode iz sistema za odvodnjavanje;
- vode iz ribnjaka;

- vode iz energetske postrojenja (TE, HE); i
- ostale ispuštene vode (saobraćaj, sport, turizam, rekreacija).

Za sve navedene kategorije ispuštenih voda mere se količine i kvalitet neposredno na izlivu iz postrojenja odnosno nizvodno od sistema za prečišćavanje ispuštenih voda, ako takav sistem postoji i radi. Merenje količina ispuštenih voda bi, po pravilu, trebalo da se vrši kontinualno, a zahvatanje uzoraka za ispitivanje parametara kvaliteta minimalno dva puta mesečno. Na osnovu kontinualnih podataka o ispuštenim količinama voda, za sve navedene kategorije korišćenja, računaju se sume dnevnih količina ispuštenih voda, za svaku teritorijalnu jedinicu - $V_{i,\theta}^{Pov}$, gde "i" predstavlja redni broj vrste - kategorije ispuštenih voda.

Suma **povratnih voda** svih vrsta korišćenja na "j"-toj teritorijalnoj jedinici dobija se iz jednačine

$$\sum_{j=1}^l V_{j,i}^{Pov} = \sum_{\theta=1}^{\Delta t} \left(\sum_{i=1}^l V_{i,\theta}^{Pov} \right)_j \quad (9)$$

gde je:

l - ukupan broj vrsti - kategorija ispuštanja voda u površinske tokove i druge akvatorije na "j"-toj teritorijalnoj (bilansnoj) jedinici.

Zahvaćene vode su veoma bitna komponenta jednačine vodoprivrednog bilansa. Zbog toga je neophodno da se prikupe svi podaci o zahvaćenim količinama voda za sve korisnike, definisane u predhodnom pasusu, a za razmatranu "j"-tu teritorijalnu jedinicu. Način prikupljanja i obrade zahvaćenih voda treba da je sličan proceduri koja se koristi kod ispuštenih voda. Podaci se prikupljaju za svako značajnije izvoriste ili vodozahvat, uz posebno napomenu da se radi o površinskim ili o podzemnim vodama. Za manja izvorista (manja od 10-15 l/s) ovi podaci se mogu sumarno prikazivati, saglasno usvojenom periodu diskretizacije vremena.

Ukupno **zahvaćene vode**, za sve zastupljene namene korišćenja voda na "j"-toj teritorijalnoj jedinici, računaju se po formuli:

$$\sum_{i=1}^r V_{j,i}^{Zah} = \sum_{\theta=1}^{\Delta t} \left(\sum_{i=1}^r V_{i,\theta}^{Zah} \right)_j \quad (10)$$

gde je:

r - ukupan broj izvorista ili vodozahvata za sve relevantne namene korišćenja voda na "j"-toj teritorijalnoj jedinici.

Evapotranspiracija je najteže odrediv parametar u bilansnoj jednačini. Prvo zbog toga što ne postoje oficijelni podaci o merenjima, izuzev sporadičnih, u sklopu nekog projekta istraživanja sa veoma specijalizovanom primenom i kratkim serijama. Drugo, evapotranspiracija zavisi od mnogih meteoroloških i drugih parametara do kojih je veoma teško doći. Tu se, pre svega, misli na deficit vlažnosti, koji pored temperature vazduha, vlažnosti zemljišta, brzine vetra i stanja nivoa podzemnih voda, predstavlja predominantni faktor u određivanju evapotranspiracije. Ostali uticajni parametri, kao što su način korišćenja zemljišta i stanje vegetacionog pokrivača, pored toga što je do njih teško doći, su promenljivi kako po vremenu tako i po prostoru.

Olakšavajuća okolnost, u konkretnom slučaju, je da je u okviru nacionalnih programa ICPDR (Međunarodna komisija za zaštitu reke Dunav) i Regionalne saradnje Podunavskih zemalja, urađen projekat WATBAL koji tretira problematiku bilansiranja voda u slivu reke Dunav. U vezi sa ovim korišćeni su podaci iz svih podunavskih zemalja, a elementi bilansa su usaglašeni po slivovima, ne vodeći računa o državnim i pokrajinskim granicama. U okviru tog projekta definisane su vremenske serije evapotranspiracije, korišćenjem metode Budiko. Vremenske serije su formirane za potencijalnu i stvarnu (aktuelnu) evapotranspiraciju. Sve komponente bilansa su iskazane u milimetrima do profila ključne vodomerne stanice što znači da se veoma lako mogu interpolovati na željeni prostor usvojenih teritorijalni (bilansnih) jedinica u okviru izrade vodoprivrednog bilansa.

Vodni resursi koji se prebacuju iz jedne u drugu teritorijalnu jedinicu su kontrolisani određenim vodoprivrednim sistemom kojima se ta voda transportuje. Na tim sistemima moraju se uspostaviti uređaji za merenje protoka i permanentno vršiti arhiviranje tih podataka. Adekvatnom primenom i sekundarnom obradom tih podataka dolazi se do količina vode koja se, u periodu diskretizacije vremena, prebacuje ili transportuje iz jedne u drugu teritorijalnu jedinicu.

Ukupna suma **transportovane ili prebačene vode**, iz razmatrane teritorijalne jedinice u drugu, ili obrnuto, definisana je izrazom:

$$\sum_{i=1}^t V_{j,i}^{tr} = \sum_{\theta=1}^{\Delta t} \left(\sum_{i=1}^t V_{i,\theta}^{tr} \right)_j \quad (11)$$

gde su:

$V_{i,\theta}^{tr}$ - ukupna dnevna količina vode koja se prebaci iz "j"-te teritorijalne jedinice u neku od "z" susednih teritorijalnih jedinica, ili obrnuto, ukupna dnevna količina voda koja se iz "z" susednih teritorijalnih jedinica prebacuju u "j"-tu teritorijalnu jedinicu;

t - ukupan broj vodoprivrednih sistema za transfer vode.

Ukupna količina vode koja se **akumulira ili ispušta iz akumulacije** veštačkih jezera ili kanalskog sistema na celoj "j"-toj teritorijalnoj jedinici, u periodu diskretizacije Δt , određuje se iz bilansne jednačine stanja vode u akumulacijama ili jezerima, a na osnovu podataka o osmatranjima promene kote nivoa gornje vode u jezeru ili kanalskom sistemu na početku i na kraju računskog perioda Δt . U osnovi, jednačina za proračun sume akumulisane ili ispuštene vode iz akumulacije i kontrolnih sistema na "j"-toj teritorijalnoj jedinici glasi:

$$\sum_{i=1}^u \Delta w_{j,i}^{\Delta t} = \sum_1^{\Delta T} \sum_{i=1}^u (\Delta w_{i,\theta}^{ak})_j \quad (12)$$

$$\Delta w_{i,\theta}^{ak} = w_{i,\theta=1}^{ak} - w_{i,\theta=\Delta T}^{ak} \quad (13)$$

gde su:

$w_{i,\theta=1}$ - stanje zapremine vode u akumulaciji ili kanalskom sistemu u početnom trenutku $\theta = 1$;

$w_{i,\theta=\Delta T}$ - stanje zapremine vode u akumulaciji ili kanalskom sistemu na kraju računskog perioda $\theta = \Delta T$;

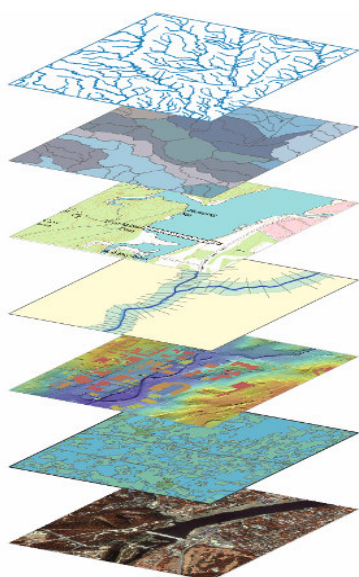
u - ukupan broj akumulacija i kanalskih sistema na "j"-toj teritorijalnoj jedinici.

Za određivanje **zaliha vode** u "i"-toj karakterističnoj pedološko-geološkoj sredini neophodni su podaci o geometriji pedološke sredine do nivoa podzemnih voda, zatim podaci o fizičkim karakteristikama sredine i prosečne vlažnosti zemljišta. Ova komponentna jednačina vodnog bilansa mora biti usklađena sa jednačinom bilansa podzemnih voda, pošto one direktno utiču na proces razmene vlage između podzemnih i površinskih voda, odnosno atmosfere, tj. na vertikalni bilans kretanja voda u poroznoj sredini.

5. KONCEPCIJA I SADRŽAJ BAZE PODATAKA ZA VOĐENJE VODOPRIVREDNOG BILANSA I USAGLAŠAVANJE SA DRUGIM RELEVANTNIM BAZAMA

5.1 Sadržaj baze i Relacioni modeli

U cilju prihvatanja organizacije podataka prema prethodno opisanim tematskim nivoima baza podataka je organizovana oko nekoliko glavnih kategorija podataka: hidrografske karakteristike, karakteristike slivova, elementi mreže vodenih tokova, detalji o koritima vodenih tokova, vremenske serije podataka.



Baza podataka se oslanja na Geografski informacioni sistem (GIS), koji omogućava povezivanje sa konkretnim prostornim geografskim pojmovima.

U tom smislu primenjen je **Arc Hydro Data Model** baziran na inventaru podataka i ponašanju objekata. Uspostavljena je veza između objekata i puta kretanja vode.



Arc Hydro Data Model se sastoji iz sledećih delova:

- Drainage – Slivne površine i linije toka
- Flow network – povezani skupovi tačaka i linija koji čine vodeni tok
- Hydrography – osnovni podaci sa topografskih karata i podaci o inventaru objekata na slivu
- Channel– linije koje predstavljaju oblik reke i poprečne profile
- Time series – Vremenske serije sa atributima koji opisuju vremenski korak, tip serije i druge karakteristike serija

Organizacija glavnih komponenti modela podataka prikazana je na slici 3.

Podaci o slivovima

Podaci o pravcima dreniranja površinskih voda dobijeni analizom topografije određenog područja čine komponentu *Slivovi*. Linije razdvajanja susednih oblasti dreniranja vodenih tokova, bilo da je reč o potocima ili velikim rečnim sistemima, su definisane linijama vododelnica na topografskim kartama.

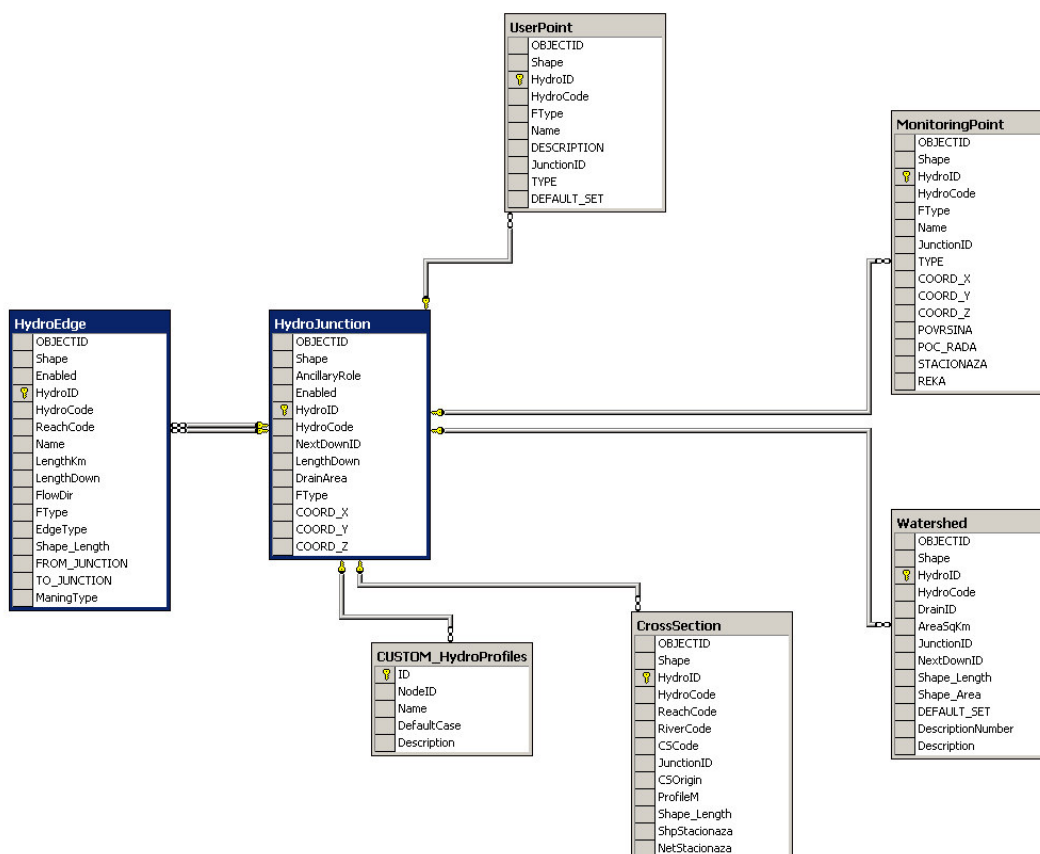
Oblasti dreniranja se formiraju na osnovu digitalnog modela terena (*DEM – Digital Elevation Model*) automatskom delineacijom. Na slici 4. je dat prikaz relacionog dijagrama podataka o slivovima.

Tabela *Watershed* sastoji se od sledećih polja:

- **HidroID** (*HydroID*): integer – Jedinstveni identifikacioni broj hidro-objekta (*HydroFeature*) u celoj bazi.
- **HidroKod** (*HydroCode*): string – Stalni javni identifikator hidro-objekta, jedinstven u skupu više baza.
- **KodSliva** (*DrainID*): integer – Identifikacioni broj sliva, koji obezbeđuje vezu između tačaka, linija i površina u drenažnom sistemu
- **PovršinaSliva** (*AreaSqKm*): double – Površina oblasti dreniranja u kvadratnim kilometrima. Ovaj podatak je bitan kako bi tačnu površina bila poznata u svakom trenutku, bez obzira na prikaz podataka na mapi.
- **ČvorID** (*JunctionID*): double – HidroID pridruženog HidroČvora, koji predstavlja odvod na Mreži Vodotokova u kome drenirana voda sa ove oblasti otiče u reku ili neki drugi vodotok.
- **SledećiID** (*NextDown*): integer – HidroID sledećeg nizvodnog sliva. Koristi se za navigaciju u okviru skupa podslivova.

Model podataka o vodotokovima opisuje tok vode kroz prirodno okruženje kao mrežu vodnih resursa. Osnovnu klasu predstavlja Hidromreža (*HydroNetwork*) koja se sastoji od HidroLinija (*HydroEdges*) i HidroČvorova (*HydroJunctions*). Voda teče duž HidroLinija koje su spojene

HidroČvorovima. Hidromreža opisuje tok vode u rekama i zamišljenim linijama kroz akumulacije. Entiteti ŠematskiČvor (*SchematicNode*) i ŠematskaVeza (*SchematicLink*) koriste se za uprošćen prikaz toka vode. Na slici 5 dat je prikaz relacionog dijagrama podataka o vodotokovima.



Slika 6. Relacioni dijagram podataka o vodotokovima. (linijama su predstavljene relacije jedan prema više, pri čemu je ključ na strani jedan)

Tabela *HydroEdge* sastoji se od sledećih polja:

- **HidroID** (*HydroID*): integer – Jedinstveni identifikacioni broj hidro-objekta (*HydroFeature*) u celoj bazi.
- **HidroKod** (*HydroCode*): string – Stalni javni identifikator hidro-objekta, jedinstven u skupu više baza.
- **KodZahvata** (*ReachCode*): string – Jedinstveni identifikator reke ili segmenta, pri čemu je segment deo toka ili reke između čvorova,
- **Naziv** (*Name*): string – Geografski naziv.
- **Dužina** (*LengthKm*): double – Dužina HidroLinije data u kilometrima nezavisno od jedinica na mapi. Ovaj podatak je neophodan kako bi se obezbedila stvarna vrednost dužine za potrebe simulacionog modela, nezavisno od prikaza na mapi.
- **NizvodnaDužina** (*LengthDown*): double – Rastojanje od nizvodnog kraja HidroLinije duž najkraće putanje do najbližeg odvoda mreže.
- **SmerToka** (*FlowDir*): integer – Ovaj atribut ukazuje na pravac toka duž HidroLinije. Definiše se preko koda i to: Nije unet = 0, Duž linije = 1, Suprotno od pravca linije = 2, Neodređen = 3.

- **TipToka** (*Ftype*): string – Opisuje tip HidroLinije, i može se, korišćenjem određenog sistema kodiranja, definisati da li je reč o prirodnom kanalu, veštačkom kanalu, cevovodu, obali reke ili mora, itd.
- **TipLinije** (*EdgeType*): integer – Definiše kod tipa linije, tj. da li je HidroLinija LinijaToka (*Flowline*) ili LinijaObale (*Shoreline*). Podrazumevana vrednost je LinijaToka (kod=1)
- **Uključen** (*Enabled*): smallint - Ovaj atribut može imati kodiranu vrednost 0 (isključen) ili 1 (uključen-podrazumevana vrednost). Koristi se za isključivanje dela tokova koji se pojavljuju na mreži, ali nisu neophodni za praćenje vodotokova na terenu. Primer su mali segmenti kanala ili reka koji nisu povezani sa ostatkom mreže. Kada je ovaj atribut isključen, nema protoka kroz ovu HidroLiniju.
- **Tip** (*Ftype*): string – Opisuje tip HidroČvora i može se, korišćenjem određenog sistema kodiranja, definisati da li je reč o ušću, drenažnom odvodu, mernom mestu, brani, itd.
- **Uključen** (*Enabled*): smallint - Ovaj atribut ukazuje na to da li je HidroČvor uključen u mrežu ili ne i može imati kodiranu vrednost 0 (Isključen) ili 1 (Uključen-podrazumevana vrednost). Ako čvor nije uključen, onda kroz njega ne može biti protoka. Osnovna mreža vodotokova glavnih reka i tokova se može formirati tako što se odredi prag tj. minimalna oblast dreniranja, a zatim se isključe svi čvorovi koji imaju manju oblast dreniranja od ovog praga.
- **Uloga** (*AncillaryRole*) smallint - Kodirani atribut koji opisuje ulogu čvora u mreži. Vrednosti kodova su: Ništa = 0, Izvor = 1, Odvod = 2. Početna, podrazumevana vrednost je 0. Kada se formira geometrijska mreža, neophodno je HidroČvorove na nizvodnim ispustima mreže označiti kao odvode i njihovu Ulogu postaviti na 2. Smer toka na HidroLinijama se tada određuje korišćenjem različitih alata za analizu mreže tako da tokovi budu usmereni ka ovim odvodima.

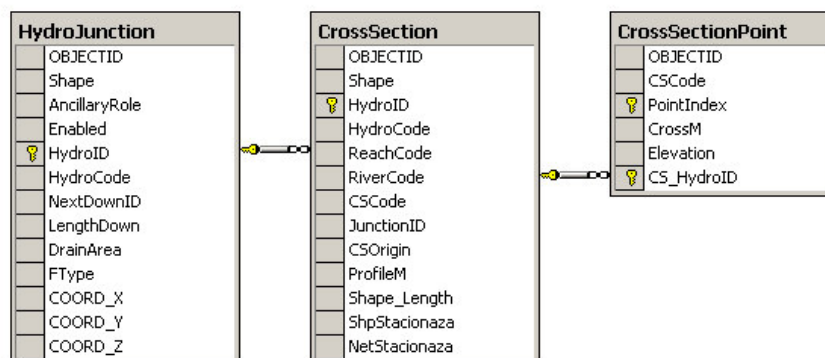
Tabela *HydroJunction* sastoji se od sledećih polja:

- **HidroID** (*HydroID*): integer – Jedinstveni identifikacioni broj hidro-objekta (*HydroFeature*) u celoj bazi.
- **HidroKod** (*HydroCode*): string – Stalni javni identifikator hidro-objekta, jedinstven u skupu više baza.
- **SledećiID** (*NextDownID*): string – HidroID sledećeg nizvodnog HidroČvora
- **DužinaNizvodno** (*LengthDown*): double – Rastojanje najkraćom putanjom od HidroČvora (nizvodno) do najbližeg odvoda na mreži
- **OblastDreniranja** (*DrainArea*): double – Ukupna oblast dreniranja uzvodno od HidroČvora.

Morfologija rečnih tokova

Podaci grupisani u komponentu *Kanali* omogućavaju trodimenzionalni prikaz korita reka i drugih vodenih tokova. Reč je o podacima koji definišu izgled konkretnih poprečnih preseka korita vodenih tokova upravno na pravac toka.

Definisane su dve klase ispod klase *Kanal*, i to su *Profilna Linija* i *Poprečni Presek*, i jedna klasa objekata *Tačka Poprečnog Preseka*.



Slika 7. Relacioni model objekta kanala.

Poprečni presek je 3D polilinja, gde je svaka tačka definisana sa četiri koordinate: x, y, z, i m. Koordinate x i y određuju položaj tačke u horizontalnoj ravni, z predstavlja nadmorsku visinu, a m je mera poprečnog preseka, ili udaljenost duž ravni preseka

Tabela PoprečniPresek sadrži sledeće atribute:

- **PPKod** (CSCode): string – Korisnički definisan identifikator sekcije jedinstven za svaki poprečni presek, najčešće se dobija spajanjem identifikatora reke, zahvata i izmerene vrednosti profilne linije.
- **ČvorID** (JunctionID): integer – Identifikator hidrološke lokacije datog poprečnog preseka.
- **PorekloPP** (CSOrigin): string – opisuje izvor podataka i metod kojim je rekonstruisan poprečni presek.
- **Profil** (ProfileM): double – Lokacija poprečnog preseka u jedinicama mere profilne linije (stacionaža i sl.).

Profilna linija je uzdužni prikaz kanala, koji se dobija povlačenjem linija paralelnih toku. Kao i u slučaju poprečnih preseka, podaci se pamte kao 3D polilinja, što znači da su definisani sa četiri koordinate (x, y, z, m). Ovde koordinata m predstavlja udaljenost u kilometrima u odnosu na neku referentnu tačku..

Tabela Tačka Poprečnog Preseka čuva podatke o tačkama poprečnog preseka, i u relaciji je sa poprečnim presekom. Kako jedna linija poprečnog preseka označava lokaciju poprečnog preseka, u slučaju kada imamo više tačaka u preseku, dobijamo i geometrijski opis korita. Ova tabela ima sledeće atribute:

- **PPKod** (CSCode): string – Korisnički definisan identifikator za poprečni presek jedinstven za svaki presek.
- **Lokacija** (CrossM): double – Mera vrednosti udaljenosti tačke u preseku.
- **Kota** (Elevation): double – Sadrži vrednost elevacije, tj. vrednost za z.

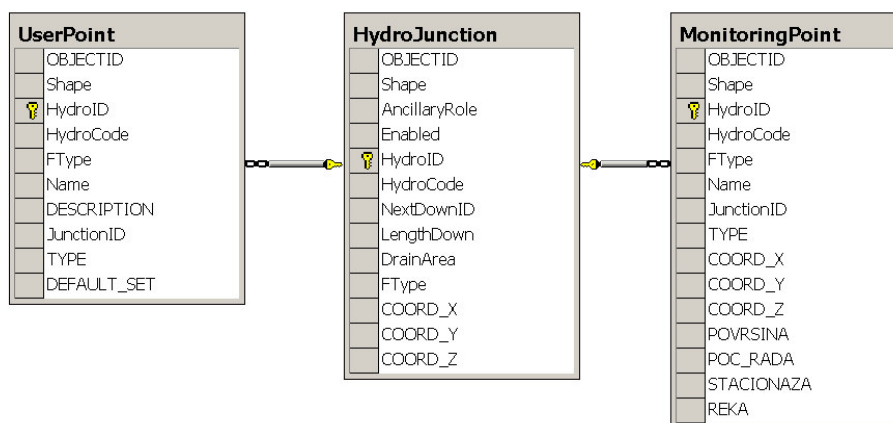
Hidrografski podaci

Komponenta *Hidrografija* sadrži kartografske i tabelarne podatke o površinskim vodenim tokovima. Pored podataka o položaju i prostiranju vodenih tokova koji se mogu dobiti sa topografskih mapa, ovde su uključeni i podaci o različitim objektima duž vodenih tokova (merne stanice, brane, mostovi, pumpne stanice i drugo), kao i podaci o hidrološkim karakteristikama zemljišta koje utiču na oticanje površinskih voda u vodene tokove.

Na narednoj slici dat je prikaz relacionog dijagrama hidrografskih podataka.

Vremenske serije

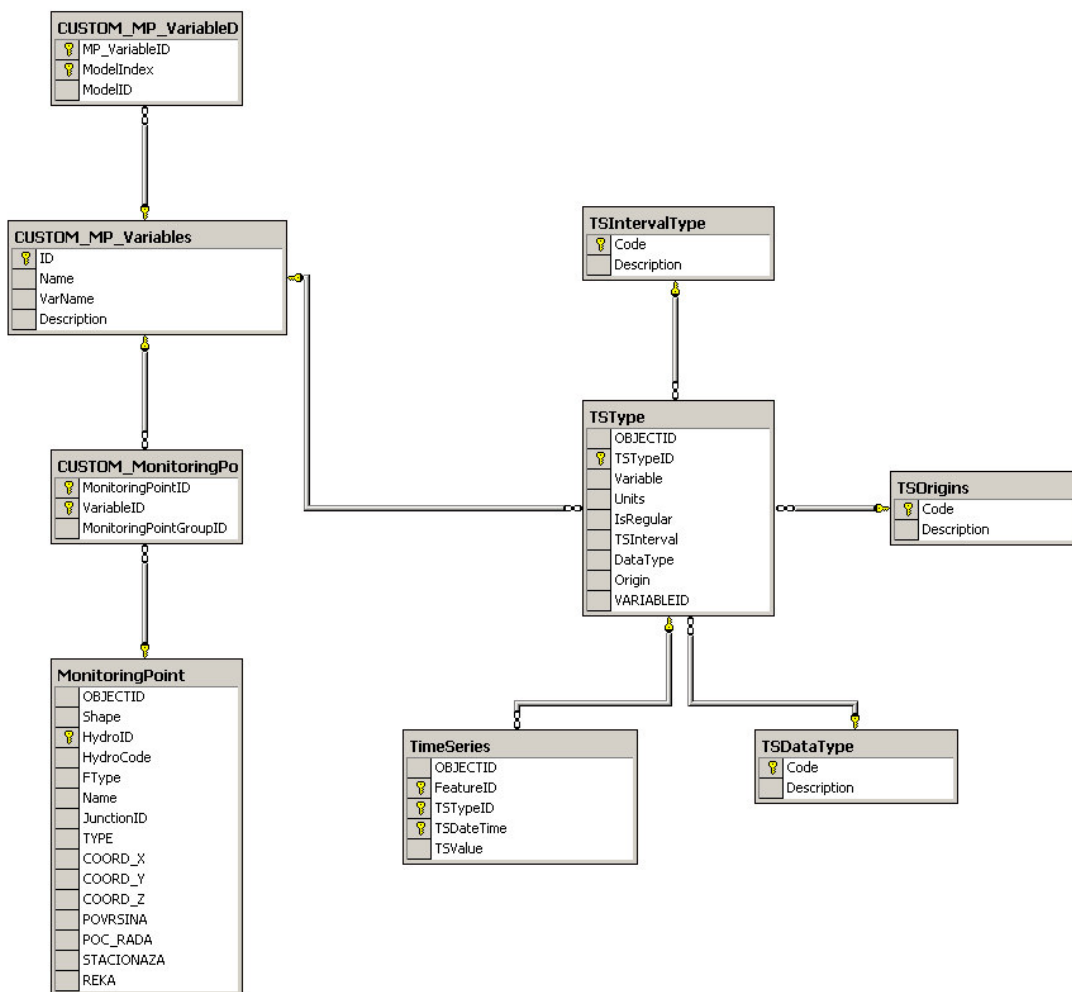
Sve dosad opisane komponente modela podataka sadrže podatke koji su, zapravo, geoprostorne karakteristike koje opisuju fizičko okruženje kroz koje voda teče. Međutim, veoma značajne su i karakteristike samih vodenih tokova: proticaj, nivo vode, kvalitet vode itd. Pošto pohranjivanje ovakvih merenja u bazu podataka predstavlja jedan od fundamentalnih elemenata u praćenju i kontroli procesa u merljivim sistemima, formati zapisa u bazama podataka su uglavnom standardizovani.



Slika 8. Relacioni dijagram hidrografskih podataka.

Tipovi podataka su dimenzionisani po dva kriterijuma: minimum je određen prema zahtevu da se prihvate svi postojeći podaci iz raznorodnih izvora bez gubitka tačnosti, a maksimizirani su prema hardverskim kapacitetima i željenim frekvencijama smplovanja i upisivanja u bazu podataka. Tip podataka o vremenu merenja dozvoljava korak smplovanja do nivoa

sekunde, a za vrednost merenja je korišćen standardan decimal format. Pristup izmerenim i upisanim podacima ostvaruje se kroz uskladištene procedure što predstavlja optimalan način, jer se ove procedure izvršavaju bez obaveznog prethodnog parsiranja, određivanja validnosti, optimizacije i kompajliranja, čime se dobija najbrži mogući odziv.



Slika 9. Relacioni dijagram vremenskih serija.

Tabela VremenskeSerije (*TimeSeries*) sastoji se od polja:

- **EntitetID** (FeatureID): integer – ID mernog mesta na kome je izvršeno merenje.
- **TipVremenskeSerijeID** (TSTypeID): integer – ID serije merenja.
- **VremeMerenja** (TSDateTime): datetime – vreme kada je izvršeno merenje.

- **IzmerenaVrednost** (TSValue): double – izmerena vrednost na datom mernom mestu.
- **Tabela TipVremenskeSerije** (TSType) sastoji se od polja:
- **TipVremenskeSerijeID** (TSTypeID): integer – Jedinstveni identifikacioni broj serije merenja.
- **Veličina** (Variable): string – Slovni opis merene veličine (padavine, protok, itd).

- **Jedinice** (Units): string – Jedinica kojom su izraženi mereni podaci.
- **RegularnaSerija** (IsRegular): bit – Indikator koji pokazuje da li su podaci mereni u jednakim vremenskim intervalima.
- **IntervalVremenskeSerije** (TSInterval): TSIntervalTip (TSIntervalType) – Vremenski interval između dva uzastopna merenja.
- **TipPodatka** (TSDataType): TSDataTip (TSDataType) – Označava koja karakteristika veličine je merena (trenutna vrednost, zbirna

(integralna) vrednost tokom intertvala, srednja, minimalna ili maksimalna vrednost).

- **Poreklo** (Origin): TSPoreklo (TSOrigins) - Poreklo serije podataka (izmereni ili izračunati)

Poslednja tri polja se pozivaju na određen broj podataka koji su enumerisani, poput tipa podatka koji se meri (kumulativan, prosečan, poslednje merenje, minimum, maksimum itd.), njegovog izvora (izmeren, veštački generisan) i koraka diskretizacije (minutni, satni, dnevni, itd.), kao što se i može videti na slici 10.

«CodedValueDomain» TSDataType	«CodedValueDomain» TSOrigins	«CodedValueDomain» TSIntervalType
+FieldType = Integer +MergePolicy = DefaultValue +SplitPolicy = SPTDefaultValue +Instantaneous = 1 +Cumulative = 2 +Incremental = 3 -Average = 4 -Maximum = 5 -Minimum = 6	+FieldType = Integer +MergePolicy = DefaultValue +SplitPolicy = SPTDefaultValue +Recorded = 1 +Generated = 2	+FieldType = Integer +MergePolicy = DefaultValue +SplitPolicy = SPTDefaultValue +1Minute = 1 +2Minute = 2 -3Minute = 3 -4Minute = 4 -5Minute = 5 -10Minute = 6 -15Minute = 7 -20Minute = 8 -30Minute = 9 -1Hour = 10 -2Hour = 11 -3Hour = 12 -4Hour = 13 -6Hour = 14 -8Hour = 15 -12Hour = 16 -1Day = 17 -1Week = 18 -1Month = 19 -1Year = 20 -Other = 99

Slika 10. Tabele enumerisanih vrednosti

Softverska osnova

Organizovanjem podataka u date tematske slojeve i njihovim povezivanjem dolazi se do nivoa na kome je moguća upotreba standardnih modela i procedura za definisanje i analizu mreže vodenih tokova i slivova. Sami podaci su međusobno komplementarni, tako da daju potpunu sliku o karakteristikama određenih vodenih tokova sa hidroenergetskog aspekta, aspekta racionalnog upravljanja, aspekta zaštite od suša i poplava, kao i sa aspekta zaštite i unapređenja životne sredine. Korišćenje ovakve organizacije podataka omogućava da se ulazni parametri poput uticaja vegetacije, naseljenosti, načina obrađivanja zemljišta i sl., potrebni pri analizi fizičkih procesa, automatski izračunavaju na osnovu GIS sadržaja.

GIS tehnologija integriše uobičajene operacije sa informacijama koje se nalaze u alfanumeričkim bazama

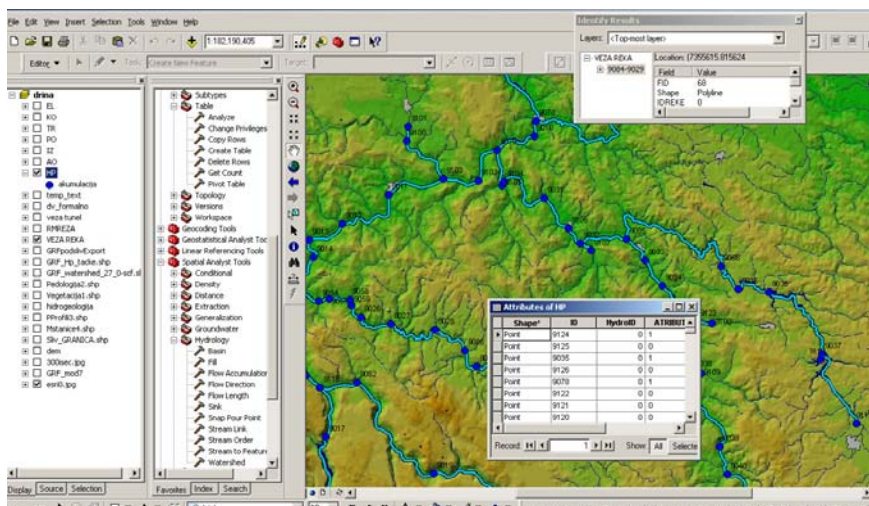
podataka kao što su pretraživanja, upiti ili statističke analize, sa prednostima vizuelizacije i prostorne analize koju donose karte. Ove mogućnosti čine GIS dragocenim alatom za najrazličitije namene i korisnike.

Standardne GIS aktivnosti su unos podataka, obrada podataka, upravljanje podacima, upiti i analize, vizuelizacija i izveštavanje. Unos podataka u GIS, podrazumeva da se podaci moraju obezbediti u odgovarajućem digitalnom formatu. Obrada podataka ogleda se u potpunom prilagođavanju podataka sistemu. Kroz standard i format podatka postiže se kompatibilnost podatka sa drugim sistemima i međusobna razmena. Upravljanje (manipulacija) podacima ogleda se kroz organizovanje, uređivanje i održavanje baze podataka.

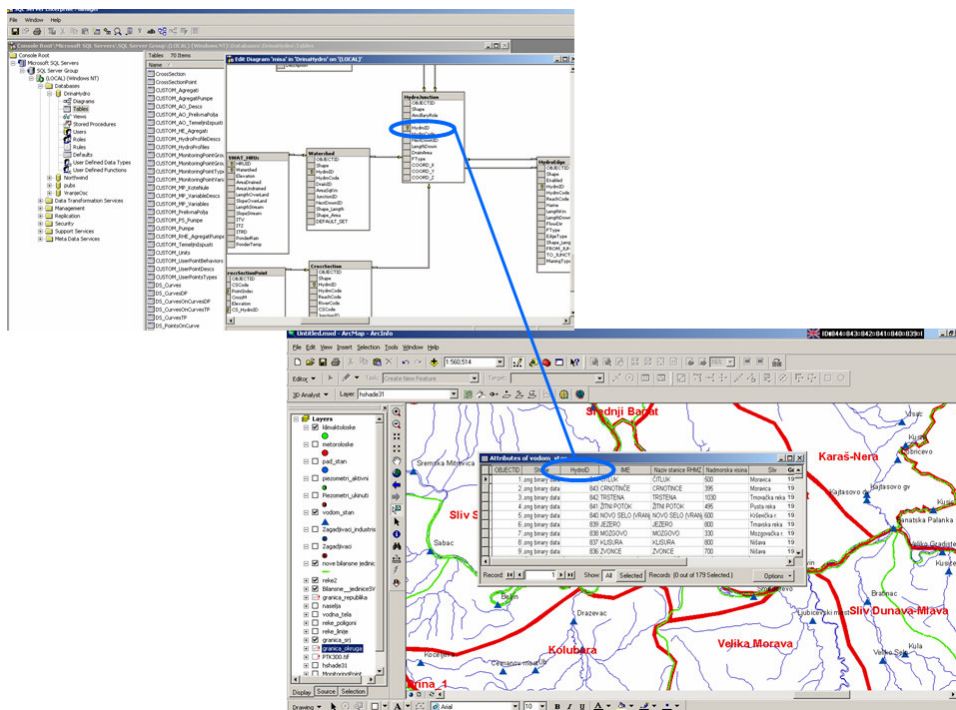
Tabelarni i grafički podaci se čuvaju u relacionim bazama podataka. Iz formirane GIS baze podataka lako

je dobiti odgovore na složene upite, evaluacione analize (međusobni odnosi objekata u prostoru), analize prostornih preklopa itd, i to na brži i jednostavniji način nego manuelnim putem. Kao odgovor na većinu upita, izveštaj se dobija u formi tematske karte. Vizuelizacija informacija u formi karata ima niz značajnih prednosti u odnosu na numeričke izveštaje.

GIS integriše sve te aktivnosti u jednu celinu, tako da krajnji korisnik uvek vidi kompletnu bazu podataka i to u najažurnijem stanju.



Slika 11. Prikaz izgleda ekrana jedne GIS aplikacije

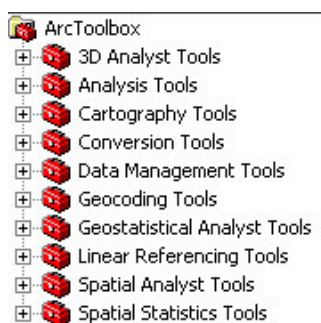


Slika 12. Prikaz povezanosti eksterne baze podataka i automapa

GIS softver i alati

Prihvaćen i primenjen standard *ArcHydro data model* organizacije baze podataka, omogućava primenu standardnih GIS paketa, kao što je *Arc Map* ili *Autodesk map*.

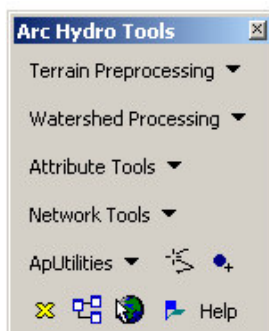
GIS paketi (alati) omogućavaju pripremu i obradu podataka u zahtevanom standardu i *advance* opcije pristupa podacima i prostorne analize. Kompatibilnost baze podataka i GIS softvera se ogleda je u tome što se



na isti način definišu objekti u bazi i u radnom dokumentu softvera.

Kao softverska snova su korišćene su najnovije tehnologije, u procesu projektovanja sistema, i implementacije baze podataka. Kao osnovni (razvojni) software korišćen je *ArcMap* sa svojim tools-ovima, odnosno *ArcHydro Tools* za lakšu implementaciju *ArcHydro data* modela u gis projekat.

Kao eksterna baza podataka korišćena je MS Access baza podatka.



Slika 12. Prikaz - ArcMap toolsa odnosno ArcHydro Tools

ZAVRŠNA RAZMATRANJA

Kao što se vidi iz prethodno prikazane Metodologije, izrada vodoprivrednog bilansa Srbije je veoma složen i dugotrajan proces. Ova konstatacija sledi iz činjenice da je za realizaciju ove aktivnosti potreban:

1. Veoma obiman fond podataka
2. Zajednički i sinhronizovani rad većeg broja institucija

U pogledu vrste i fonda neophodnih podataka može se istaći da, pored hidroloških podataka o površinskim vodama na većem broju lokaliteta u čitavoj Srbiji, neophodno je pripremiti podloge i prikupiti, sistematizovati i obraditi podatke o velikom broju faktora koji definišu vodni režim (topografske i statističke podloge, podatke o podzemnim vodama, podatke o zahvatanju i ispuštanju voda i sl.).

Hidrološke podloge za čitavu teritoriju Republike Srbije su sistematično pripremljene poslednji put u okviru izrade „VODOPRIVREDNA OSNOVA REPUBLIKE SRBIJE“ koja je urađena pre više od deset godina, a usvojena 2001. godine. Obradom podataka je obuhvaćen period zaključno sa 1991. godinom.

Podaci o podzemnim vodama prikupljaju se u većem broju različitih institucija. Najsistematičnija prikupljanja podataka obavljaju se u Republičkom hidrometeorološkom zavodu i HE Đerdap (za plitke pijezometre iz prve vodonosne sredine). Slični podaci, uglavnom za prvu, ređe za duboke izdani (u Vojvodini) prikupljaju se sporadično u brojnim institucijama širom zemlje (vodoprivredne organizacije, preduzeća vodovoda i kanalizacije i sl.). Ovi podaci nisu dovoljno integrisani, pa su slabo upotrebljivi.

Situacija sa prikupljanjem i obradom podataka o količinama zahvaćene vode i o količinama i kvalitetu ispuštenih voda je veoma nepovoljna. Ove podatke, prema važećoj zakonskoj regulativi, treba da dostavljaju sami korisnici. Međutim, kontrola i sistematizacija podataka su nedovoljne.

Kvalitet otpadnih voda je poseban problem, jer se on praktično nigde ne osmatra sistematski. Takva merenja se vrše jedino u sklopu konkretnih razvojnih projekata, što je nedovoljno za izradu bilansa.

Kao jedan od nedostataka sistema monitoringa voda - (posebno kod pijezometara za osmatranje režima podzemnih voda, bunara, vodozahvata i vodoispusta) može se istaći da lokacije objekata i mernih mesta nisu

korektno georeferencirane (sa svojim XYZ koordinatama), što je neophodno za izradu vodoprivrednog bilansa uz pomoć savremenih GIS tehnologija.

Pored pitanja vezanih za podatke, mogu se navesti i druga brojna pitanja koja proističu iz:

- Nedostatka Zakona o vodama koji definiše teritorijalnu podelu Zemlje neophodnu za izradu vodoprivrednog bilansa;
- Nedovršene aktivnosti koje naša zemlja vodi u cilju harmonizacije prakse sa savremenom evropskom praksom (definisanje vodnih tela i njihova karakterizacija u okviru ICPDR-a).

Za izradu vodoprivrednog bilansa, kao što se iz prethodnih razmatranja može uočiti, potrebni su podaci koji se prikupljaju u različitim institucijama, pa je za izradu vodoprivrednog bilansa, neophodno obezbediti veoma tesnu saradnju među ovim institucijama i dovesti nivo tehničke opremljenosti na približno isti nivo.

Pored toga, treba posebno istaći nedostatak institucija koje bi permanentno sistematizovale i obrađivale prikupljene podatke i radile na poboljšanju celokupnog sistema monitoringa (podaci o zahvaćenim i ispuštenim vodama, podaci o nivoima voda u pijezometrima i bunarima izvan mreže koju održava Republički hidrometeorološki zavod i sl.).

Imajući u vidu napred opisano stanje potrebno je preduzeti korake da se poslovi izrade vodoprivrednog bilansa normativno i organizaciono uredi, a subjekti zaduženi za ove poslove kadrovski i tehnički opreme. Najvažnije aktivnosti usmerene ka izradi vodoprivrednog bilansa su sledeće:

1. Usvajanje Zakona o vodama i drugih potrebnih akata koji dugoročno regulišu značajna pitanja iz ove oblasti;
2. Uspostavljanje dugoročnog opredeljenja za kontinuirani rad na pripremi i vođenju vodoprivrednog bilansa na bazi realistične materijalne osnove;
3. Izrada preciznog plana formiranja i vođenja vodoprivrednog bilansa, sa izborom prioriteta ovih radova;
4. Formiranje institucija i precizno definisanje njihovih zadataka i uloge u izradi vodoprivrednog bilansa
5. Postepeno kadrovsko jačanje i tehničko opremanje svih institucija koje učestvuju u izradi bilansa i njihovo dovođenje na približno isti nivo.

Prethodno pobrojani zadaci zaslužuju dodatne komentare. Naime, iako već dugi niz godina postoji zakonska obaveza vođenja bilansa, posao nikada nije ozbiljno ni započet zbog toga što zadaci zacrtani u metodologijama nisu bili usaglašeni sa realnim mogućnostima društva (realistična materijalna osnova, kadrovska osposobljenost, tehnička opremljenost, saradnja institucija, velika finansijska sredstva i sl.). Ova Metodologija je po svom karakteru sveobuhvatna i u skladu je sa savremenim principima rada u ovoj oblasti poslova. Međutim, uvažavajući stanje sistema za prikupljanje, razmenu i obradu podataka neophodnih za izradu vodoprivrednog bilansa, dolazi se do zaključka da se sve planirane aktivnosti ne mogu izvršiti u kratkom roku. Radi toga poslove treba obavljati korak po korak, imajući u vidu da u dužem vremenskom periodu treba dostići ciljeve postavljene kroz Metodologiju.

Može se, kao prioritetan korak, preporučiti formiranje snažne institucije koja će se baviti sistematskim prikupljanjem i obradom podataka o količinama zahvaćene vode i ispuštene/zagađene vode (uključujući i njen kvalitet). Takva institucija bi morala imati nadzornu funkciju (u pogledu kontrole provođenja merenja zahvaćene i ispuštene vode i u pogledu kontrole izvršavanja finansijskih obaveza po ovim osnovama) kao i edukativne zadatke vezane za izvršenje merenja i pripremu podataka. U navedenim uslovima ta institucija ne bi se smela svrstavati u „administraciju“ zavisnu od budžeta koji značajno varira iz godine u godinu. Ona treba da predstavlja značajnu kariku u lancu aktivnosti usmerenih ka uređenju odnosa u sektoru voda, što je neophodno u sklopu pridruženja naše zemlje EU, kao i u sklopu izvršavanja međunarodnih obaveza u skladu sa važećim međudržavnim ugovorima i konvencijama. Sistematsko prikupljanje, obrada i analiza podataka o zahvaćenim i ispuštenim vodama, pored uređenja odnosa u ovom sektoru i poboljšanja statusa voda, omogućiti će i značajan priliv finansijskih sredstava, posebno u očekivanim uslovima da vodoprivreda posluje na savremenim principima „korisnik plaća“ i „zagađivač plaća“.

Podzemne vode predstavljaju veoma dragocen resurs, pa im, radi obezbeđivanja zdrave vode za piće, treba posvetiti odgovarajuću pažnju. U tom smislu biće neophodno da se oformi nova ili zaduži neka od postojećih institucija koja će kontinualno i na sistematičan način prikupljati podatke o podzemnim vodama i njihovom kvalitetu, a zatim te podatke

sveobuhvatno analizirati i na osnovu toga predlagati nove mere za prikupljanje podataka, kao i kompleksne mere za korišćenje i zaštitu ovog dobra.

ZAKLJUČAK

Na osnovu svega napred navedenog mogu se izvući sledeći zaključci:

- a) Izrada vodoprivrednog bilansa je veoma složen posao koji zahteva kontinualne napore i aktivnosti većeg broja institucija za prikupljanje i obradu neophodnih podataka. Permanentno kadrovsko jačanje i tehničko opremanje ovih institucija, kao i kontinuitet njihovog rada imaju veoma naglašen značaj;
- b) Pored postojećih institucija biće neophodno da se formiraju, kadrovski ojačaju i tehnički opreme nove institucije. Primarno mesto među novim institucijama zauzima ona koja će se u budućnosti baviti prikupljanjem i obradom podataka o zahvaćenim i ispuštenim vodama;
- c) Usklađivanje rada postojećih i novoformiranih institucija uključenih u izradu vodoprivrednog bilansa predstavlja ozbiljan zadatak, koji se mora izvršavati kontinuirano u skladu sa unapred odabranom dinamikom i prioritetima;
- d) Izrada bilansa voda, kao jedan od elemenata upravljanja i racionalnog korišćenja prirodnih dobara, zahtevaće sistematične napore državne uprave, kako bi se domaća praksa usaglasila sa praksom zemalja iz EU;

Treba računati sa činjenicom da će za realizaciju vodoprivrednog bilansa biti potrebna značajna finansijska sredstva. Zato je potrebno da se čitava delatnost usavršava postupno u skladu sa realnim mogućnostima kroz sve veće oslanjanje na samofinansiranje bazirano na povećanju naplata za korišćenje i zagađivanje resursa.

LITERATURA

- [1] Hajdin B., Stevanović Z., Dokmanović P., Milanović S., Jemcov I.: *Baza podataka hidrogeoloških karata*, 14. kongres geologa Srbije i Crne Gore, 18.-20. oktobra, Novi Sad, str. 189-190, (na CD-u), 2005.
- [2] Divac D., Grujović N., Vučković D., Arsić M.: *Informacioni sistem brane Prvonek*, Međunarodna konferencija "Savremena elektromašinska oprema i upravljanje sistemima vodovoda i kanalizacije", Vrnjačka Banja, 06-08.10.2004., str. 265-269, 2004.
- [3] Prohaska S., Miloradov M.: *Basic Methodology Concept for Creation of Water Resources Management balance of Vojvodina*. 23th Conference of the Danube Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. Belgrade, 28-31. August 2006. Serbia
- [4] Divac D., Grujović N., Simić Z., Milojević N.: *Hidro-informacioni sistem „Drina“ – softverski paket za podršku interalnom upravljanju vodama sliva Drine*, Međunarodna konferencija „Upravljanje sistemima, savremena elektromašinska oprema i tehnička regulativa u oblasti ViK“, 15-18. oktobar 2006, Vrnjačka Banja, str. 19-28, 2006.
- [5] Stevanović Z., Hajdin B., Vujasinović S., Đurić D., Tripković M.: *O potrebi hidrogeoloških istraživanja radi ocene bilansa i rezervi podzemnih voda u Srbiji*, 36. konferencija o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda "VODA 2007", 26-29. 06. 2007., Tara, str. 169-174, 2007.
- [6] Prohaska S., Ristić V.: *Water balance in the central part of the Balkan Peninsula*, BALWOIS – Conference on Water Observation and Information System for Decision Support, 23-26 May 2006, Ohrid, Republic of Macedonia, rad na CD-u 8 str., 2006.
- [7] Majkic B., Prohaska S.: *Ecological Status of the Nadela River Catchment Area in Accordance with the Water Framework Directive(2000/60/EC)* Symposium - Bottlenecks, Solutions and Priorities in the context of Functions of Forest Resources, Istanbul, Turkey, 2007,
- [8] Prohaska S., Simić Z., Orlić A., Ristić V.: *Osnovne hidrografsko – hidrološke karakteristike sliva Drine i hidrometeorološki podaci*, časopis Vodoprivreda, vol. 36, no. 1-2/2004, Beograd, str. 21-38, 2004.
- [9] Arsić M., Bartoš-Divac V., Simić Z.: *Komponente matematičkog modela – jednačine čvorova i veza*, časopis Vodoprivreda, vol. 36, no. 1-2/2004, Beograd, str. 87-95, 2004.
- [10] Vučković D., Arsić M., Milivojević N.: *Korisnički interfejs hidroinformacionog sistema zasnovan na GIS-u*, časopis Vodoprivreda, vol. 36, no. 1-2/2004, Beograd, str. 159-166, 2004.

[11] Grupa autora (from Serbia Kapor B., Petkovic T., Prohaska S., Srna P.) : Basin-Wide water balance in the Danube River Basin, The Danube and its Basin – hydrological Monograph Follow-up Volume VIII, IHP UNESCO and Water Research Institute Bratislava, Slovakia, 2006.

[12] Prohaska S.: „Hidrologija - II Deo, Hidrološko prognoziranje, modelovanje i praktična primena“ Monografija, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Rudarsko-geološki fakultet i Republički hidrometeorološki Zavod Srbije, 2006. Beograd

METHODOLOGY TO DETERMINE THE WATER BALANCE

by

Prof. Phd Stevan PROHASKA, dipl. eng.

Phd Dragoslav ISAILOVIĆ, dipl. eng.

Brankica MAJKIĆ, dipl. eng.

Miomir ARSIĆ, dipl.eng.

Institute for the Development of the Water Resources „Jaroslav Černi“, Belgrade

Summary

This paper briefly outlines contemporary approaches to the preparation of water balance of Serbia. Whereas this methodology largely relies upon the methods used between 1980 and 1988, it also takes into account new developments in water resources management, as well recent technological progress in this activity (GIS).

Serbia (without Kosovo and Metohija), was divided into 19 balance units, for which a considerable amount of data was gathered during the period of the project relation (2004-2007).

The development of water balance of Serbia requires both the regularly observed (hydro-meteorological observations) data and those that are not collected

systematically (such as groundwater regime, water uses and wastewater discharge).

It was concluded that the existing data on water uses and wastewater discharges can hardly be used owing to poor organization of data collection and inadequate verifications and analyses of the data. Inadequacy and unreliability of the existing data are limiting factor for the preparation of the water balance in Serbia. For that reason it was proposed to set up new (or improve the existing) institutions responsible for collection of data on groundwater regime, and particularly data on water use and wastewater discharge.

Key words: water balance, balance units, data sets, data reliability, information system, GIS

Redigovano 17.12.2007.