

RELACIONI MODEL I SADRŽAJ BAZE PODATAKA HIDRO-INFORMACIONOG SISTEMA DRINA, ZASNOVAN NA GIS TEHNOLOGIJI

Nenad GRUJOVIĆ, Nikola MILIVOJEVIĆ, Boban STOJANOVIĆ
Mašinski fakultet u Kragujevcu
Miomir ARSIĆ
Institut JAROSLAV ČERNI

REZIME

U ovom radu data su objašnjena o koncepciji i sadržaju relacionog modela baze podataka hidro-informacionog sistema Drina. Prikazana je organizacija podataka koja se danas koristi u sistemima za podršku odlučivanju u integrisanom upravljanju slivovima, a koja se najvećim delom zasniva na GIS tehnologiji. Većina rešenja je i implementirana, ali su analizirana, gde je to bilo moguće, i alternativna rešenja od kojih će neka biti primenjena u daljem razvoju. Posebna pažnja je data sadašnjim i budućim rešenjima koja sistem približavaju aktuelnim svetskim softverskim platformama.

Ključne reči: baze podataka, relacioni model, GIS.

1. UVOD

Hidrosistem Drina, koji čine reka Drina i njene pritoke, pokriva površinu sliva veću od 31000km². Sa prosečnim proticajem reke Drine na ušću od 400m³/s ovaj hidrosistem čini značajan vodeni potencijal ne samo za Srbiju i Crnu Goru i Bosnu i Hercegovinu, već i za širi region Balkana. U postojećim planskim i projektnim dokumentima hidroenergetska i vodoprivredna rešenja čine jednu celinu i predviđaju izgradnju složenog sistema akumulacija koji će obezbediti značajnu količinu kvalitetne električne energije, ali i rešiti pitanje odbrane od poplava i obezbediti potrebnu količinu vode za sve korisnike (vodosnabdevanje, navodnjavanje, industrija, itd.). Nažalost, izgradnja akumulacija je skopčana sa velikim brojem problema, pa i pored dugogodišnjih aktivnosti na određivanju optimalnog načina iskorišćavanja vodnog potencijala reke Drine i dalje postoje nerešeni problemi perspektivnog korišćenja njenih voda. Ovo značajno usporava, pa i

onemogućava dalje aktivnosti koje vode potpunoj realizaciji Hidrosistema Drina.

Hidro-informacioni sistem (HIS) Drina može u velikoj meri da pomogne u definisanju razvoja Hidrosistema Drina, pre svega ispitivanjem varijantnih scenarija razvoja na Simulacionom modelu. HIS Drina treba da omogući:

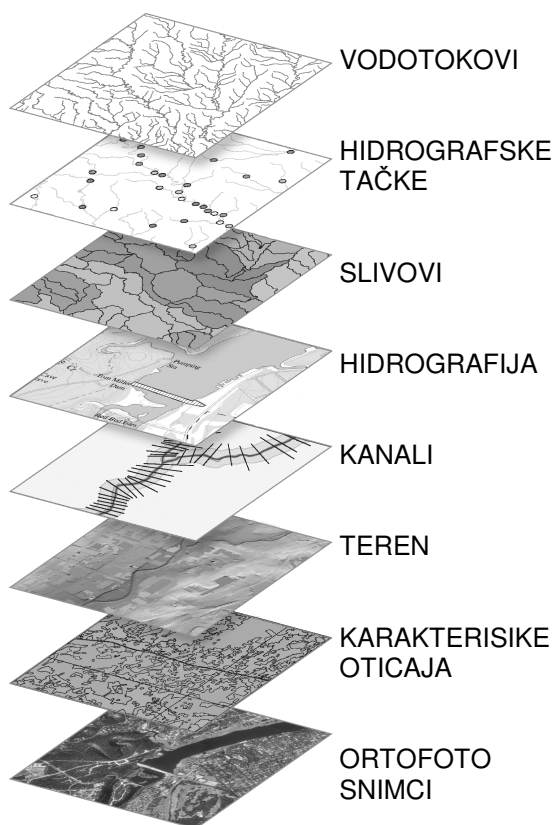
1. optimalno upravljanje sistemom u sadašnjim, budućim i uslovima krajnje izgrađenosti;
2. analizu efekata rešenja budućeg razvoja sistema; i
3. praćenje rada sistema u realnom vremenu.

Jezgro HIS Drina čini Simulacioni model. Njegova tačnost zavisi od matematičke aproksimacije samog Hidrosistema, ali i od tačnosti ulaznih podataka. Za funkcionisanje simulacionog modela Hidrosistema Drina potrebno je obezbediti adekvatno formiranje i organizovanje baze podataka koja treba da sadrži: hidrometeorološke podatke, podatke o korisnicima, podatke o konfiguraciji sistema, hidrografsku mrežu, karakteristike vodotokova, i mnoge druge podatke. Prikupljanje podataka se vrši sa geografski udaljenih mernih stanica, pa je bilo potrebno predvideti i mogućnost upisivanja podataka u bazu u realnom vremenu.

2. ORGANIZACIJA PODATAKA

Veliki broj raznovrsnih podataka koji treba da budu zastupljeni u sistemima koji se koriste za podršku odlučivanju u integrisanom upravljanju slivovima, kakav je i HIS Drina, uslovio je da danas imamo sve veću upotrebu GIS sadržaja. Danas postoji nekoliko opšteprihvaćenih standarda organizovanja GIS podataka od značaja za istraživanja u korišćenju vodenih resursa,

poput ArcHydro modela [1], ili opštih modela kao što je OpenGIS. Organizacija podataka u bazi HIS Drina najbliža je ArcHydro modelu (slika 1).

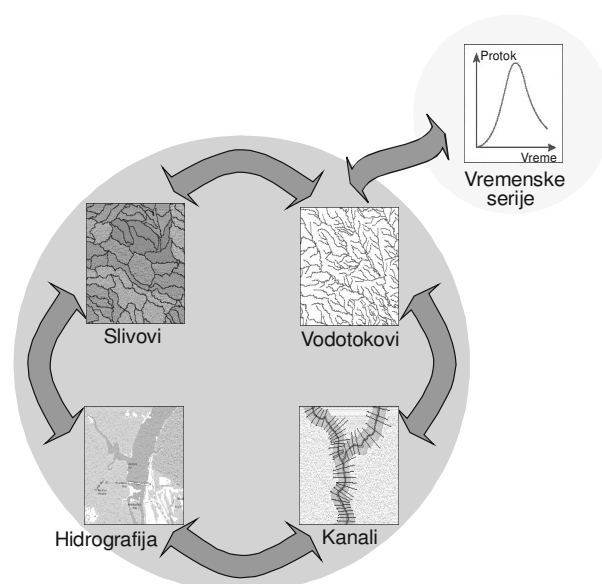


Slika 1. GIS sadržaj baze podataka.

Organizovanjem podataka u date tematske nivoe 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 simuliranju fizičkih procesa, automatski izračunavaju na osnovu GIS sadržaja.

3. ELEMENTI BAZE PODATAKA HIS DRINA

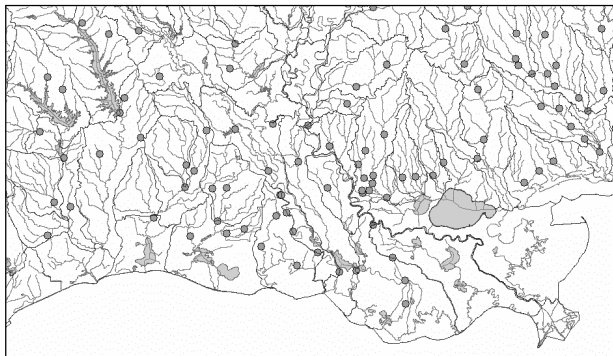
U cilju prihvatanja organizacije podataka prema prethodno opisanim tematskom nivou baza podataka HIS Drina je organizovana oko nekoliko glavnih kategorija podataka: hidrografske karakteristike, karakteristike slivova, elementi mreže vodenih tokova, detalji o koritima vodenih tokova, vremenske serije podataka i opisa simulacionog modela. Sa druge strane baza podataka se oslanja na Geografski informacioni sistem (GIS), koji omogućava povezivanje sa konkretnim prostornim geografskim pojmovima. Organizacija glavnih komponenti modela podataka prikazana je na Slici 2.



Slika 2. Model podataka korišćen u bazi podataka HIS Drina

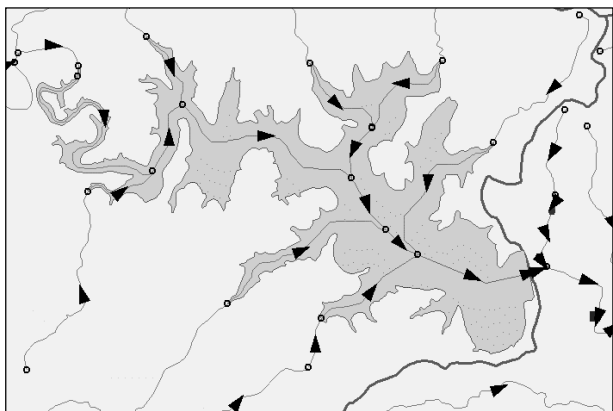
3.1. PODACI O VODOTOKOVIMA

Komponenta Vodotokovi sadrži podatke o vodenim tokovima, rekama i jezerima, koji omogućavaju uprošćeno prikazivanje tokova svih vodenih resursa u određenom području u obliku jednostavne mreže međusobno povezanih linija i čvorova. Svaki od vodotokova (potoci, reke, jezera) je predstavljen korišćenjem većeg broja linija (Edges) koje su međusobno odvojene čvorovima (Nodes).



Slika 3. Mreža vodotokova.

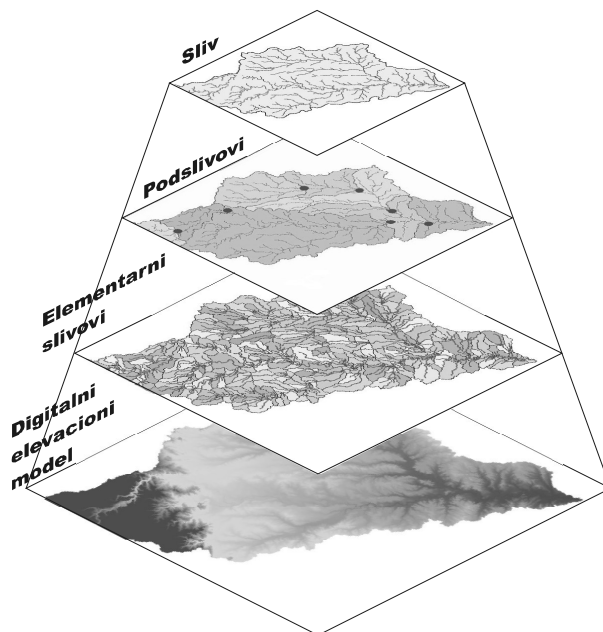
U slučaju akumulacija vrši se rekonstruisanje vodotokova bez akumulacije, čime se postiže neprekidnost mreže i mogućnost praćenja toka vode. Na slici 4. je prikazan jedan složen slučaj vodotoka kroz akumulaciju.



Slika 4. Rekonstrukcija vodotoka unutar akumulacije.

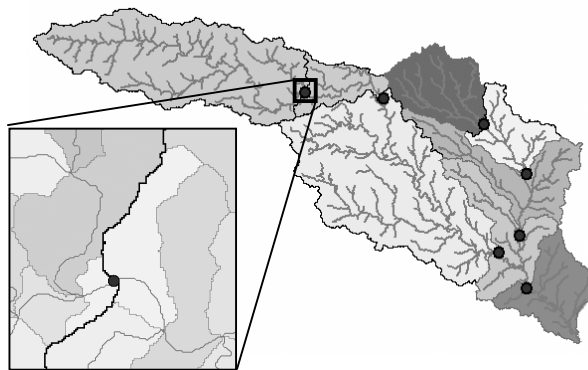
3.2. PODACI O SLIVOVIMA

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. Precizne granice oblasti dreniranja su od presudnog značaja za hidrološka predviđanja, pa njihovom definisanju treba posvetiti posebnu pažnju.



Slika 5. Podslojevi GIS sloja o slivovima.

Osnovna namena GIS sloja sa slivovima jeste obezbeđivanje potrebnih podataka za proračun transformacije padavina u oticaj [3]. Većina algoritama zahteva veliki broj podataka, tako da se jedan ovakav sloj sastoji od više podslojeva, kao što je i prikazano na slici 5.



Slika 6. Složena struktura podslivova i međuveze.

U realnim problemima istovremeno se operiše sa većim brojem elementarnih podslivova grupisanih u veće slivove. Zato je od velikog značaja da su pojedinačne definicije podslivova prostorno usaglašene i da se jasno definišu tačke koje ih povezuju. Na slici 6. se može videti složena struktura slivova i na posebnom detalju način njihovog povezivanja. Tačka koja povezuje dva

sliva predstavlja mesto na kojem celokupne površinske vode napuštaju jedan sliv i ulaze u njemu susedni nizvodni sliv.

3.3. MORFOLOGIJA REČNIH TOKOVA

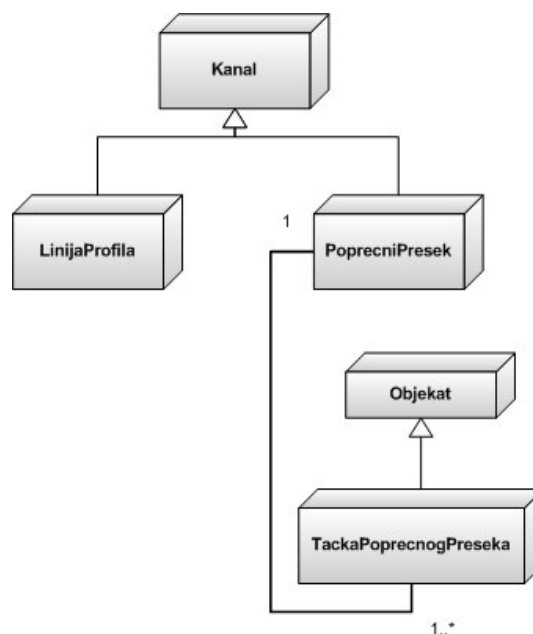
Podaci grupisani u komponentu Kanali omogućavaju trodimenzionalni prikaz korita reka i drugih vodenih tokova. Reč je o podacima koji definišu izgled konkretnih poprečnih preseka korita vodenih tokova upravno na pravac toka. Ovi podaci su od velikog značaja pri analizi opasnosti od poplava, kao i pri proučavanju ekologije i morfologije vodenih tokova. Zbog velikog značaja, na relacionom modelu podataka o morfologiji rečnih tokova demonstriraće se neki detalji modela baze podataka.

Morfologija korita reke mora se nalaziti u bazi podataka u obliku koji je pogodan za višestruke namene [4]. Morfologija korita reke je jedan od polaznih podataka za simulacioni model nestacionarog tečenja, ali se može obezbediti i da izlazni format iz baze podataka bude prilagođen svakom drugom zahtevu koji omogućava pregled i analizu pojava na morfologiji korita reke. Sa druge strane, struktura upisanih podataka o rečnom koritu biće otvorena za moguća proširivanja, poboljšanja preciznosti, ali i uzimanja u obzir da su određeni parametri promenljivi u vremenu.



Slika 7. Morfologija rečnog korita rekonstruisana na osnovu podataka u bazi.

Skup podataka o rečnom korinu (*Kanal*) obezbeđuje trodimenzionalni prikaz kanala reka i tokova, koji se koristi za studije plavljenja, ekologiju tokova i morfologiju. Definisane su dve klase ispod klase *Kanal*, i to su *ProfilnaLinija* i *PoprecniPresek*, i jedna klasa objekata *TackaPoprecnogPreseka*. Profilne linije se crtaju duž toka, a poprečni preseki popreko na tok. Obe pomenute klase su izvedene iz abstraktne klase *Kanal*. Podaci o kanalu se mogu dobiti direktnim merenjem, ili rekonstrukcijom iz digitalnih elevacionih modela (DEM). Ovakav pristup organizacije podataka o morfologiji rečnog korita pokazao se u dosadašnjem radu kao pouzdan i otvoren model, lako iskoristiv kako od strane matematičkih simulacionih modela, tako i od opštih GIS alata i različitih specifičnih korisničkih aplikacija.



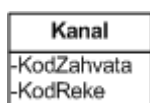
Slika 8. Relacioni model objekta kanala.

Svrha abstraktne klase *Kanal* je grupisanje atributa zajedničkih za kanale. Ova klasa definiše sledeće atribute:

- **KodZahvata:** *string* – Ovaj kod je jedinstveni identifikator za svaki zahvat kanala. Može biti deskriptivan, na primer, «Gornji zahvat, reka Kolubara», ili može biti formalno definisan kao spoj identifikatora sliva u kome se nalazi zahvat i broja segmenta samog zahvata.

- **KodReke:** *string* – Jedinstveni identifikator za reku u bazi. Reka je linearna sekvenca zahvata koja teče od izvora ka ušću u more ili veću reku. Može biti deskriptivan, recimo samo geografsko ime reke, a može biti i formalno definisan kao spoj geografske širine i dužine krajnje tačke reke.

Podtipovi:	Nema.
Relacije:	Nema.



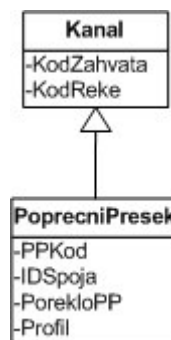
Slika 9. Atributi objekta kanala.

Poprečni presek je 3D poliliniija, 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.

Klasa **PoprecniPresek** sadrži sledeće atribute:

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

Podtipovi:	Nema.
Relacije:	PoprecniPresek i TackaPoprecnogPreseka su povezani relacijom 1 na više PoprecniPresekImaTacke . Ovim je omogućeno da se preseki mogu prikazivati i pojednostavljeno ukoliko nema podataka sa terena, što je čest slučaj.

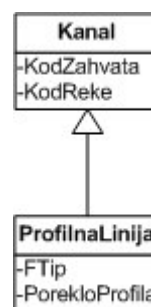


Slika 10. Atributi objekta poprečnog preseka i relacija sa objektom kanal.

ProfilnaLinija je uzdužni prikaz kanala, koji se dobija povlačenjem linija paralelnih toku. Kao i u slučaju poprečnih preseka, podaci se pamte kao 3D poliliniija, 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. Klasa sadrži sledeće atribute:

- **FTip:** *string* – opis tipa profilne linije.
- **PorekloProfila:** *string* – opisuje poreklo podataka za profilnu liniju.

Podtipovi:	Nema.
Relacije:	Nema.

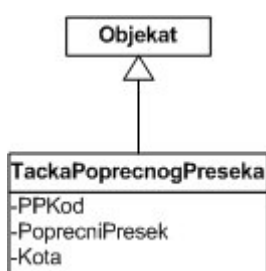


Slika 11. Atributi objekta profilna linija i relacija sa objektom kanal.

Klasa **TackaPoprecnogPreseka** 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 klasa ima sledeće atribute:

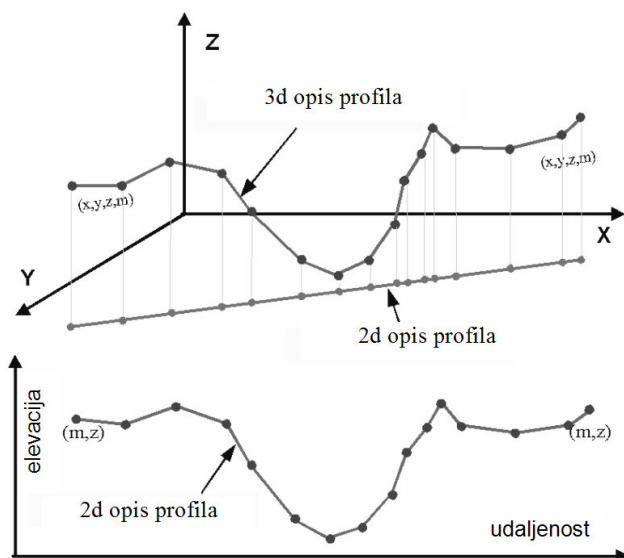
- **PPKod:** *string* – Korisnički definisan identifikator za poprečni presek jedinstven za svaki presek.
- **PoprečniPresek:** *double* – Mera vrednosti udaljenosti tačke u preseku.
- **Kota:** *double* – Sadrži vrednost elevacije, tj. vrednost za z.

Podtipovi:	Nema.
Relacije:	PoprečniPresek i TačkaPopreznogPreseka su povezani relacijom 1 na više PoprečniPresekImaTačke.



Slika 12. Atributi objekta tačka poprečnog preseka.

Na slici 13 je dat grafički prikaz relacije u entitetu poprečni presek, sa kojeg se može videti složenost relacija unutar entiteta.



Slika 13. Grafički prikaz relacije u entitetu poprečni presek.

3.4. 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.

3.5. 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. Slog jednog merenja se sastoji od indeksa mernog mesta, indeksa merene veličine, podatka o datumu merenja i podatka o vrednosti samog merenja, a opciono se može iskoristiti i polje koje definiše izvor podataka (merena vrednost, posredno izmerena, generisana i sl.). Moguće je i dodavanje jednog polja sa globalnim indeksom koji bi se iskoristio u slučaju povezivanja ove baze podataka sa nekom drugom bazom (koja može biti nezavistan deo informacionog sistema, ali može biti i neki drugi hidro sistem) koja poseduje identično definisan slog za zapis merenja.

Indeks merene veličine predstavlja vezu ka tabeli koja opisuje merenu veličinu sa nekoliko podataka. Slog u datoj tabeli sastoji se od naziva veličine, indeksa merne jedinice u kojoj se predstavlja, tipa veličine (integralna, osrednjavajuća, minimalna na intervalu ili maksimalna na intervalu). Indeks mernog mesta ukazuje na tabelu sa GIS podacima iz sloja hidrografske tačke.

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 semplovanja i upisivanja u bazu podataka. Tip podataka o vremenu merenja dozvoljava korak semplovanja do nivoa sekunde, a za vrednost merenja je korišćen standardan

decimal format. Pristup izmerenim i upisanim podacima ostvaruje se kroz *stored procedure* što predstavlja najoptimalniji način jer se ove procedure izvršavaju bez obaveznog prethodnog parsiranja, određivanja validnosti, optimizacije i kompajliranja, čime se dobija najbrži mogući odziv.

Sadržaj pobrojanih komponenti omogućava da se u bazi podataka HIS Drina nađu svi podaci o Hidrosistemu Drina potrebni za njegovu detaljnu analizu i simulaciju njegovog rada, kao i za praćenje rada sistema u realnom vremenu.

3.6. PREGLED KOMPONENTI BAZE PODATAKA HIS DRINA.

Komponenta baze podataka koja sadrži informacije o vodotocima predstavljena je preko tabela i geo referencirane vektorske karte. Hidrografska mreža se sastoji od 53 rečne deonice. Kako je namena hidroinformacionog sistema Drina, pored ostalog, i ispitivanje varijantnih rešenja, tako su u bazi podataka sadržane informacije o postojećim i planiranim akumulacijama. Ukupno postoji 48 mogućih i 12 postojećih akumulacija.

Svaki podsliv u bazi podataka je ograničen vododelnicom. Za usvojeni nivo diskretizacije, određeno je 85 podslivova. Informacije o karakteristikama podslivova, pored prikaza u tabelarnom obliku (površina, pad, prosečna kota...) se čuvaju i u obliku digitalnih vektorskih karata. Zastupljene su digitalne karte o topografiji i ortofotografskim snimcima, i vektorske karte kao što su digitalni model terena (DEM), karte o vegetaciji, pedologiji itd. Obzirom da je prosečna površina definisanih podsliva više stotina kvadratnih kilometara i da je visinska razlika unutar samog pod sliva i po hiljadu metara, onda su informacije o npr. rasporedu vegetacije i pedološkoj strukturi tla za čitav sliv reke Drine doista brojne.

Modeli za proračun tečenja u rečnim tokovima zahtevaju geometriju rečnog toka različitog nivoa detaljnosti. U bazi podataka su sadržane informacije o dužini rečne donice, njenom padu, poprečnim profilima koeficijentima trenja, itd. Model koji koristi poprečne profile kao input za proračun, primenjuje se na deonicama gde su profili definisani i gde razmatranje promene nivoa ima smisla (donji tok reke Drine). Rezultat proračuna je u direktnoj vezi sa nivoom

detaljnosti kojom je deonica opisana, a koji je određen u bazi podataka. Za vodomerne stanice koje imaju krive proticaja definisani su poprečni profili sa geometrijom koja važi za određeni period vremena zbog erozionih procesa koji se javljaju u rečnim tokovima.

Na slivu reke Drine postoji veliki broj objekata koji svojim položajem utiču na tečenje vode ili se na njima vrše različita merenja. Hidrografske podaci kao deo baze podataka, obuhvataju postojeće objekte na slivu i objekte koji su deo simulacionog modela (varijantna rešenja). U svim varijantama razvoja sistema koje su razmatrane, na slivu reke Drine postoji: 60 brana, 55 akumulacionih elektrana, 57 protočnih elektrana, 59 prelivnih objekata i temeljnih ispusta, 1 pumpna stanica, 3 reverzibilne elektrane, 9 tunela, 18 korisnika vode za navodnjavanje i 22 korisnika vode za vodostadbevanje. Svi ovi objekti su pored osnovnih podataka kao što su: ime, identifikacioni broj, položaj, opis, fotografija itd, predstavljeni su i podacima koje koriste matematički modeli koji ih opisuju. Tako je na primer, akumulaciona elektrana je opisana skalarom koji predstavlja minimalni radni nivo i parametarskim krivama koje opisuju režim proizvodnje struje u pri maksimalnom i optimalnom radu turbine (H-Q ; H-P).

Pod objektima na slivu se podrazumevaju se hidrološke stanice, metereološke stanice, i merna mesta na kojima se beleže vremenske serije nivoa vode, protoka ili kvaliteta vode. Na slivu reke Drine postoji 247 mernih mesta, i to:

- 71 hidrološka stanica - mere vodostaj i proticaj,
- 166 metereoloških stanica - mere padavine, temperaturu, ispravanje i brzinu vetra, i
- 10 mernih mesta – mere proizvodnju struje, proticaj kroz turbine hidroelektrane, proticaj kroz temeljni ispust, proticaj preko preliva na brani, nivo vode u akumulacionom jezeru i nivo vode u odvodnoj vadi.

Podaci koji su vezani za pomenute objekte čuvaju se u obliku sakalara, parametarskih krivi i tekstualnih opisa, dok su vremenske serije podatka tretirane kao posebna komponenta baze podataka.

Posebna važnost u čuvanju i brzom pristupu podacima, ogleda se u zapisu vremenskih serija. Trenutna popunjenost baze sa vremenskim serijama je reda veličine od nekoliko miliona dnevnih podataka. Obzirom da na slivu postoji znatan broj mernih mesta i da je uvođenje automatskih stanica i smanjivanje vremenskog koraka u kojem se vrši merenje bliska budućost, to bi broj izvršenih merenja na satnom nivou

u toku jedne godine mogao da bude i nekoliko milijardi zapisa.

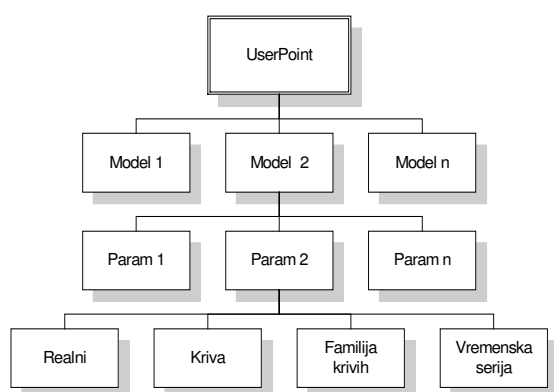
4. SIMULACIONI MODEL U BAZI PODATAKA

Iako su ArcGIS standardom pokriveni najvažniji hidrološki pojmovi, specifičnosti HIS Drina zahtevale su proširenje ovako definisanih tabela i uvođenje nekih dodatnih pojmova karakterističnih za ovaj hidro-informacioni sistem.

Pored unapred definisanih entiteta u okviru ArcGIS standarda kao što su Dam (brana), Bridge (most) itd., ovaj standard nudi i entitet UserPoint koji može biti iskorišćen za specifične potrebe korisnika. Za potrebe HIS Drina ovaj entitet je razvijen na takav način da njime može biti opisan svaki entitet iz ovog hidro-informacionog sistema.

4.1. OBJEKTI I MATEMATIČKI MODELI

Svaki entitet (akumulacija, elektrana, račva itd.) u okviru HIS Drina definisan je matematičkim modelom koji opisuje njegovo ponašanje i skupom ulaznih parametara karakterističnih za taj model. Ulazni parametri predstavljaju fizičke karakteristike objekata i u okviru matematičkog modela se koriste za izračunavanje veličina koje opisuju ponašanje objekta. Izračunate veličine nazivamo izlaznim parametrima objekta. U zavisnosti od prirode fizičke karakteristike objekta opisane određenim parametrom, ulazni i izlazni parametri mogu biti realni brojevi, krive, familije krivih ili vremenske serije. Napomenimo i to da jedan isti entitet može biti opisan uz pomoć više različitih matematičkih modela pa samim tim i ulazni parametri potrebni za proračun zavise od izabranog modela.



Slika 14. Relacije ulaznih parametra modela.

U okviru relacione baze podataka svaki ulazni parametar, nezavisno od tipa, ima jedinstveni identifikacioni broj. Svaki matematički model opisan je svojim ulaznim parametrima tj. njihovim identifikacionim brojevima. Takođe je definisan i skup podrazumevanih vrednosti ulaznih parametara za sve objekte.

U tabeli podrazumevanih vrednosti realnih parametara u okviru jednog sloga naveden je identifikacioni broj parametra, identifikacioni broj objekta na koji se vrednost odnosi i konkretna vrednost datog parametara. Podrazumevane vrednosti složenih parametara kao što su krive, familije krivih i vremenske serije navode se na sličan način kao u slučaju realnih parametara sa jedinom razlikom što se kod ovakvih parametara ne navodi konkretna vrednost već identifikacioni broj krive, familije krivih ili vremenske serije. Konkretno vrednosti svakog od ovih parametara navedeni su u posebnim tabelama. U slučaju krivih svaki slog u tabeli sadrži identifikacioni broj krive, redni broj tačke na krivoj i vrednost X i Y komponente. Slično je i kod familije krivih; svaki slog sadrži identifikacioni broj familije, parametar (može biti realni broj ili vreme) i identifikacioni broj krive za dati parametar. U tabeli sa vremenskim serijama slog sadrži identifikacioni broj serije, vreme i vrednost u tom vremenskom trenutku. Kako bi bilo korišćenje različitih perioda vremenske diskretizacije, vremenske serije su podeljene na satne, dnevne i mesečne.

Entitet *MonitoringPoint* iz ArcGIS standarda predstavlja merna mesta na kojima se mogu meriti proizvoljne veličine tokom vremena. U skladu sa zahtevima HIS Drina, omogućeno je merenje više veličina na jednom mernom mestu. Na svakom mernom mestu moguće je merenje jedne ili više veličina iz skupa unapred definisanih veličina (kiša, sneg, temperatura itd.), a izmereni podaci se pamte u obliku vremenskih serija.

Poseban problem predstavlja i popunjavanje nedostajućih podataka za određene vremenske trenutke za koje ne postoje izmereni podaci. Popunjavanje nedostajućih podataka za svaku veličinu može se obaviti na osnovu različitih matematičkih modela koji zahtevaju različite ulazne parametre (Prohaska, SWAT itd.). Zahvaljujući analogiji, korišćenje različitih matematičkih modela za popunjavanje vremenskih serija je omogućeno na sličan način kao što je to slučaj kod *UserPoint-a*.

Prilikom modeliranja i planiranja hidro-sistema često se javlja potreba za zamenom celih grupa objekata drugim grupama objekata kako bi se ispitala efikasnost sistema u različitim mogućim varijantama. Kako bi se ovo moglo efikasno obavljati, u relaciju bazu je uveden i pojam hidro grupa od kojih se svaka sastoji iz više objekata koji čine funkcionalnu celinu. Na taj način pojedini delovi hidro-sistema mogu biti zamenjeni nekom grupom objekata, tj. nekom od mogućih varijanti sistema. Pošto pojedini delovi sistema strogo zavise jedni od drugih, uvedena su i pravila koja obezbeđuju kompatibilnost susjednih delova sistema, čime se izbegava stvaranje konflikta među delovima sistema.

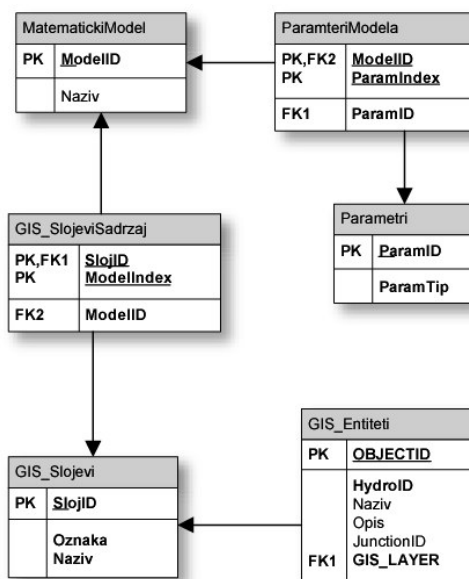
Tabela 1. Sadržaj GIS sloja sa vegetacijom.

OBJECTID	HydroID	Naziv	J unctionID	GIS_LAYER
101	900101	Konturno pojasna obrada	101	1001
102	900102	Voćnjaci i vinogradi	102	1001
103	900103	Planinski pašnjaci	103	1001
104	900104	Obično pošumljene šume	104	1001
105	900105	Gradoni	105	1001
106	900106	Delimično degradirane šume	106	1001
107	900107	Degradirane šume	107	1001
108	900108	Meliorisani pašnjaci	108	1001
109	900109	Goleti	109	1001

4.2. GIS SADRŽAJ SIMULACIONOG MODELA

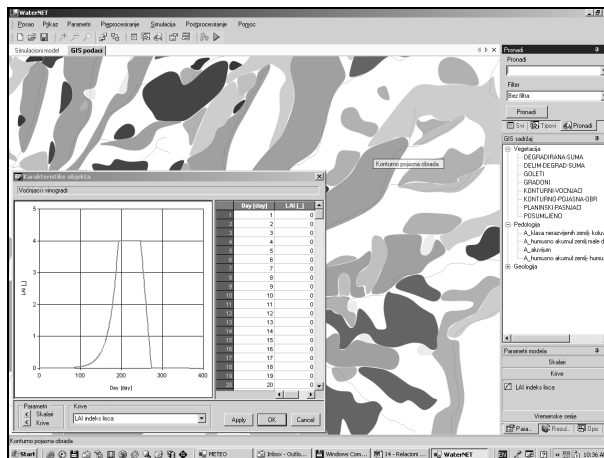
Proces padavine-oticaaj predstavlja veoma složen proces u prirodi čije je modeliranje veoma kompleksno. Najintezivnije korišćen model SWAT je hidrodinamički i fizički zasnovan model. Za funkcionisanje ovog modela potreban je veći broj ulaznih podataka: meteorološki, topografski, pedološki, podaci o biljnom pokrivaču, korišćenju zemljišta i sl.

Svi procesi povezani sa kretanjem vode, rastinjem, direktno se modeliraju pomoću SWAT-a, a sam model omogućuje simulaciju više fizičkih procesa. Pošto se čitav model bazira na proračunu unutar HRU – *Hidrologic response units* (Hidrološka elementarna jedinica) i naknadne superpozicije, svi potrebni podaci moraju postojati u bazi do nivoa tačnosti uslovljenim minimalnom veličinom pojedinačne HRU uz pretpostavka je da su sve ulazne veličine modela na nivou HRU-a homogene, odnosno kvazihomogene.



Slika 15. Relacioni model GIS sadržaja simul. modela.

Na slici 15. dat je relacioni dijagram GIS sadržaja vezanog za proračun padavine-oticaaj. Iz dijagrama se može videti veza između tematskih slojeva, konkretnih entiteta unutar sloja i skupova parametara koji su predstavljeni preko matematičkih modela o kojima je ranije bilo reči [5]. U tabeli 1. se može videti sadržaj sloja sa vegetacijom koji se sastoji od devet entiteta (goleti, pašnjaci itd.).

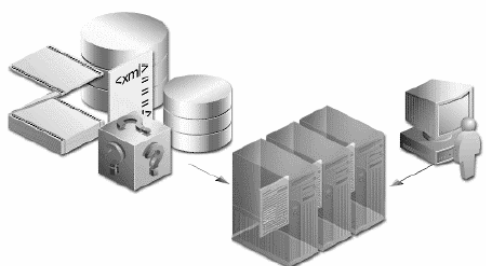


Slika 16. GIS sloj sa vegetacijom i parametrima entiteta.

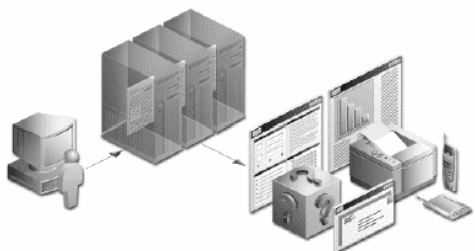
Vizuelizacija GIS sloja sa vegetacijom i parametrima entiteta koji su dati u prethodnoj tabeli data je na slici 16.

5. IMPLEMENTACIJA RELACIONOG MODELA

Formirani relacioni model može se implementirati na različite sisteme za upravljanje bazama podataka (RDBMS), zavisno od potreba i mogućnosti korisnika. U konkretnom slučaju hidro-informacionog sistema Drina, odabran je ORACLE server baze podataka zbog činjenica da već duži niz godina opslužuje određene aplikacije u EPS-u, i da je za implementaciju baze potrebno samo izvršiti njeno portovanje na već postojeće servere.



a) prikupljanje podataka iz različitih izvora



(b) kreiranje izveštaja u proizvoljnom formatu

Slika 17. Mogućnosti prikupljanja podataka i generisanja izveštaja.

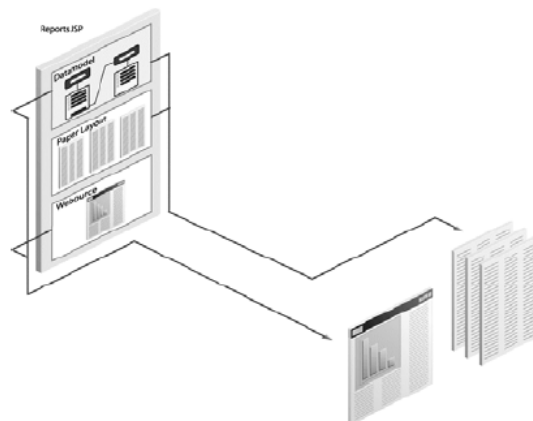
ORACLE RDBMS kao vodeći sistem za upravljanje relacionim bazama podataka ne zavisi od izbora hardverske platforme niti od izbora operativnog sistema, omogućava siguran rad u distribuiranom okruženju pri čemu je broj korisnika sistema ograničen samo hardverskim resursima. To ga, uz podatak da je otporan na greške i da omogućava ON-LINE backup i oporavak od grešaka, čini veoma dobrim rešenjem za implementiranje relacionog modela baze podataka HIS Drina [6].

Kao što je već rečeno implementacija relacionog modela se može uspešno izvršiti i na druge sisteme za upravljanje bazama podataka, kao što je npr. SQL Server. Migracija između platformi se ostvaruje pomoću

skupa alata namenjenih konverziji podataka. Čak je moguće, u slučajevima distribuiranosti sistema i velikog broja podataka, delove baze implementirati na više servera koji u principu ne moraju imati iste RDBMS platforme.

Oracle platforma se može iskoristi i za definisanje i dinamičko publikovanje izveštaja u različitim formatima. Koristeći se deklarativnim modelom zasnovanim na dokumentu, Oracle Reports Developer može najkraćim putem dovesti korisnika do željenog izveštaja, dok je sa druge strane omogućeno iskusnim korisnicima da imaju potpunu kontrolu tokom razvoja dokumenta. Biblioteka predefinisanih izveštaja i mogućnost prikaza u realnom vremenu tokom razvoja izveštaja omogućava potpunu kontrolu krajnjeg rezultata.

Oracle Reports dozvoljava kreiranje izveštaja iz više različitih izvora podataka [9]. Podržani su SQL, PL/SQL, Express, XML, JDBC, Oracle OLAP kao i tekstualni fajlovi. Čak je omogućeno kombinovanje rezultata upita iz više izvora u okviru jednog elementa izveštaja. Sa gledišta Oracle Reports-a nije od značaja iz kog tipa izvora su podaci preuzeti. Jednom definisan izveštaj može se upotrebiti na više načina. Može se odštampati, distribuirati elektronskim putem a potom odštampati ili distribuirati sa određenom interaktivnošću.



Slika 18. Mogućnost istovremenog publikovanja izveštaja u papirnom i elektronskom formatu.

Interaktivnost izveštaja moguća je samo kroz Web izveštaje. Korišćenjem novih tehnologija, serverska aplikacija može da pripremi izveštaj i «injektuje» ga u bilo kog potražioca, čime se gubi razlika između

korišćenja stonog računara, mobilnih uređaja ili bilo kog drugog elektronskog uređaja sa mogućnošću vizuelizacije. Istovremeno, postignut je dualitet u definisanju izveštaja (slika 17.), jer je moguće odrediti njegovu formu u obliku Web stranice, a u slučaju štampanja, izveštaj poprima odgovarajući, često bitno drugačiji oblik.

6. ZAKLJUČAK

Relacioni model baze podataka HIS Drina zasnovan na GIS tehnologiji omogućava precizno simuliranje fizičkih procesa na osnovu velikog broja ulaznih parametara poput uticaja vegetacije, naseljenosti, načina obrađivanja zemljišta i sl., koji automatski izračunavaju na osnovu GIS sadržaja.

Budući rad na relacionoj bazi podataka biće usmeren u pravcu razvijanja i drugih tipova ulaznih parametara kako bi ovaj pristup bio generalizovan i kako bi omogućavao primenu i najsloženijih matematičkih modela za opisivanje rada hidro-informacionih sistema. Takođe, posebna pažnja biće posvećena problemima vremenske diskretizacije koji se odnose na poteškoće u prikupljanju i skladištenju izmerenih podataka, kao i

popunjavanju nedostajućih podataka i njihovom korišćenju u simulaciji.

LITERATURA

- [1] <http://www.esri.com/news/arcnews/spring03articles/archydro-data.html>
- [2] Carlson, E.R.: Trophic State Index for Lakes, Limnology and Oceanography, march, 1977.
- [3] Chow, V.T., Maidement, D.R: Applied Hydrology, McGraw-Hill, New York, 1988.
- [4] BASINS 3.0 Users' Manual, US Environmental Research Laboratory, Athens, 2003.
- [5] Strassberg G., Maidment R.D., Katz L.E.: GIS in Source Water Susceptibility Assessment, 22nd Annual ESRI International User Conference Proceedings, 2002.
- [6] Oracle Database 10g: A Revolution in Database Technology, Oracle Publishing, Redwood Shores, 2003.
- [7] Enterprise Data Publishing with Oracle Reports, Oracle Publishing, Redwood Shores, 2003.

RELATIONAL MODEL AND DATABASE CONTENT OF THE DRINA HYDRO INFORMATION SYSTEM BASED ON GIS TECHNOLOGY

by

Nenad GRUJOVIĆ, Nikola MILIVOJEVIĆ, Boban STOJANOVIĆ
Faculty of Mechanical Engineering, Kragujevac
Miomir ARSIĆ
The Jaroslav Černi Institute for the Development of Water Resources

Summary

The paper describes the concept and content of the database relational model of the Drina Hydro Information System. The data organization used in decision-making support systems for integrated river basin management is presented, generally based on GIS technology. The majority of the designs have been implemented but, wherever possible, alternative

solutions were assessed and some of these will be applied in ongoing development. Present and future designs receive special attention, which will bring the system closer to relevant worldwide software platforms.

Key words: databases, relational model, GIS.

Redigovano 17.05.2004.