

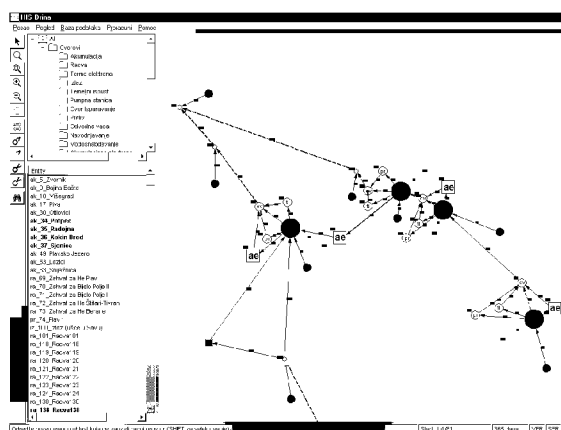
PRIMERI KORIŠĆENJA SIMULACIONOG MODELA DRINA

Zoran SIMIĆ, Miomir ARSIĆ, Aleksandra ORLIĆ
Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi"

REZIME

Simulacioni model Drina je softver, kojim se simuliraju različite situacije rada izgrađenih i planiranih hidroenergetskih objekata. Prikazani su primeri simulacije dva podsistema hidrosistema Drina: hidrosistem Uvac-Lim i hidrosistem Piva, Tara, Buk Bijela. Ulazni parametri i elementi upravljanja sistemima, kao i izlazni rezultati simulacije su prikazani u formi kao u modelu Drina. Pored toga dati su i komentari izlaznih simulacija.

Ključne reči: simulacija, input, output



Slika 1. Hidrosistem Uvac-Lim

1. UVODNE NAPOMENE

Simulacionim modelom Drina moguće je vršiti veliki broj simulacija rada kako izgrađenih, tako i planiranih hidroenergetskih objekata. Značaj korišćenja simulacionog modela je u mogućnosti analiziranja različitih efekata rada objekata sistema pri variranju ulaznih parametara i upravljačkih funkcija sistema. Poseban je značaj za simuliranje raznih hipotetičkih situacija izgrađenosti objekata na slivu reke Drine. Moguće je sagledavati uticaj prevođenja voda u druge slivove na račun smanjenja proizvodnje električne energije u slivu Drine.

Baza podataka je sastavni deo simulacionog modela i u njoj se nalaze preporučene (default) vrednosti ulaznih parametara. Moguće je raditi simulacije sa raznim kombinacijama ulaznih parametara. U primerima kojima će se ilustrovati rad simulacionog modela, korišćene su default vrednosti iz baze podataka.

2. PRIMER BR.1 - HIDROSISTEM UVAC-LIM

Formirana je konfiguracija za ovaj hidrosistem koja se sastoji od 4 akumulacije i 4 hidroelektrane kao što je prikazano na sledećoj slici:

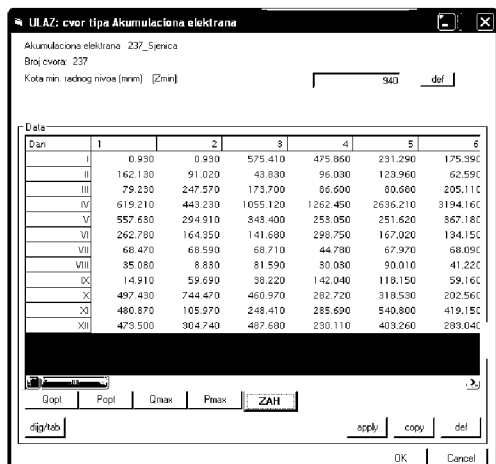
Selektovane su i aktivirane sledeće akumulacije i akumulacione elektrane (čvorovi modela):

- Akumulacija i HE Uvac
- Akumulacija i HE Kokin Brod
- Akumulacija Radojnja i HE Bistrica i
- Akumulacija i HE Potpeć

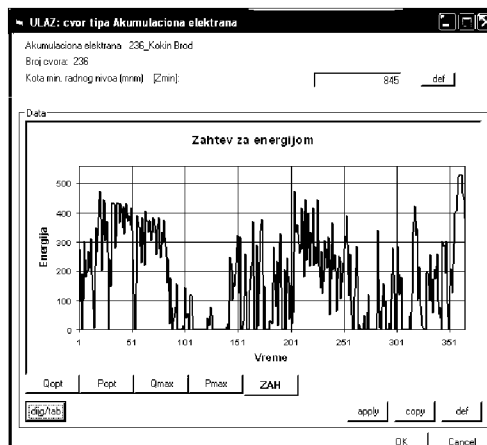
Takođe su uključeni i svi ostali čvorovi koji su povezani sa navedenim čvorovima i sve veze između njih. Uključeni su čvorovi: površinski sliv, površinsko doticanje, račve i veze otvoreni tok na reci Lim od najuzvodnijeg čvora pa sve do akumulacije Potpeć, zbog simulacije doticaja vode. Izabran je dnevni nivo diskretizacije i dužina simulacije jedna godina (365 dana).

U čvorovima akumulacione elektrane uneti su zahtevi za proizvodnjom energije. Za određivanje ovih zahteva korišćeni su podaci iz baze podataka. Ulazni zahtevi i rezultati simulacije će se prikazati onako kako se to dobija u maskama simulacionog modela.

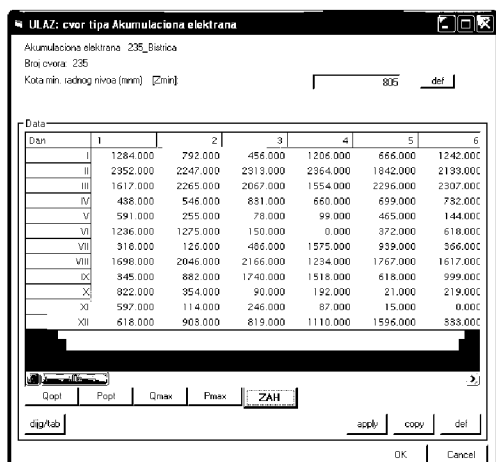
Zahtevi za proizvodnjom električne energije na akumulacionim elektranama Uvac i Bistrica su dati na sledeće dve slike u tabelarnoj formi:



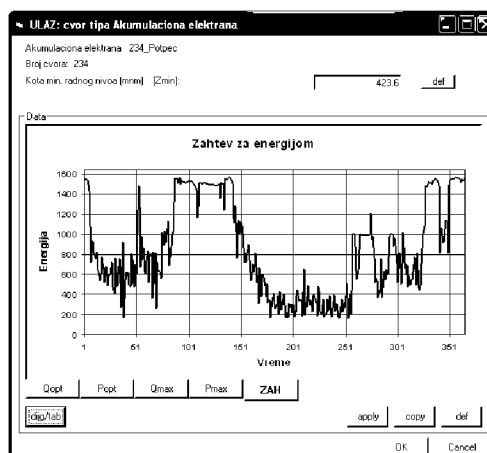
Slika 2. HE Uvac, zahtev za proizvodnjom energije



Slika 4. HE Kokin Brod, zahtev za proizv. energije



Slika 3. HE Bistrica, zahtev za proizv. energije



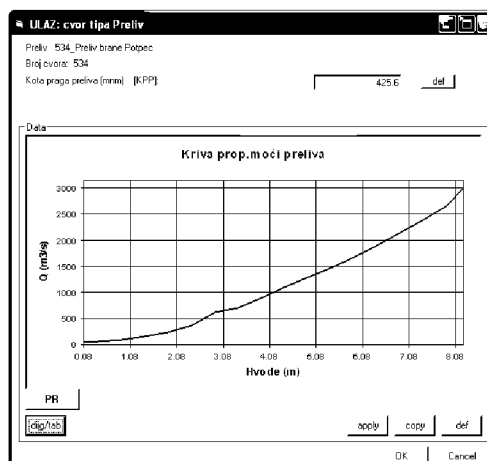
Slika 5. HE Potpeć, zahtev za proizv. energije

Prikaz gore navedenih krivih se daje na sledeće tri slike:

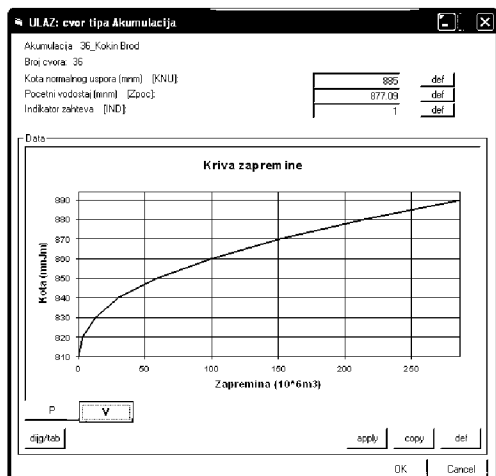
Zahtevi za proizvodnjom električne energije na akumulacionim elektranama Kokin Brod i Potpeć su dati na slikama 4 i 5 u grafičkoj formi.

Pored zahteva za energijom ilustrovaće se i neki drugi ulazni parametri koji postoje po default-u, ali je ostavljeno korisniku da ih po potrebi promeni.

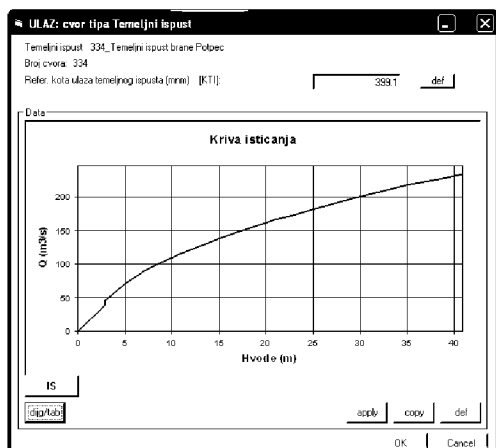
Kriva propusne moći preliva brane Potpeć u grafičkom obliku, kriva zapremine akumulacije Kokin Brod u grafičkom obliku i kriva propusne moći temeljnog ispusta brane Potpeć u grafičkom obliku ilustruju default vrednosti koje se nalaze u bazi podataka. Navedene krive se koriste u procesu simulacije s tim da je ostavljeno korisniku da po potrebi promeni default vrednosti.



Slika 6. HE Potpeć, kriva propusne moći preliva



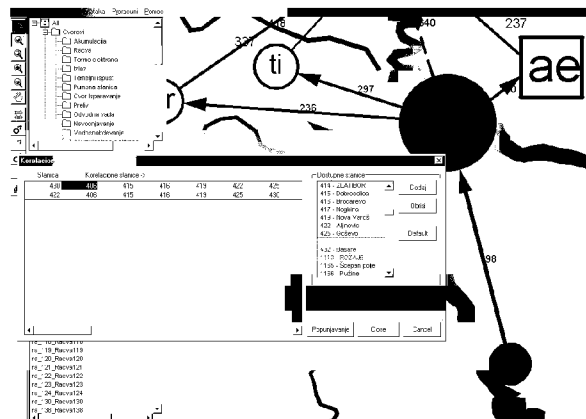
Slika 7. HE Kokin Brod, kriva zapremine akumulacije



Slika 8. HE Potpeć, kriva propusne moći tem.ispusta

Tokom kontrole unetih zahteva i parametara modela, definišu se početne kote u akumulacijama. Meteorološke stanice su po default-u dodeljene čvorovima u kojima se vrši transformacija padavina u oticaj. Korisnik može da zadrži ponuđenu pripadnost podataka sa meteoroloških stanica određenim podslivovima ili može da odredi drugačiju pripadnost. U konkretnom slučaju, čvor površinski sliv 837 koji daje dotok u akumulaciju Uvac, se popunjava: padavinskim podacima sa stanica Sjenica i Aljinovići. Čvor isparavanje 737 se popunjava meteorološkim podacima sa stanice Sjenica. Ilustracija forme za promenu merodavnih stanica je data na slici 9.

Nakon ovog izbora (ili zadržavanja postojećih merodavnih stanica) prelazi se na popunjavanje ulaznih serija. Sada je sve pripremljeno za puštanje simulacije (slika 10).



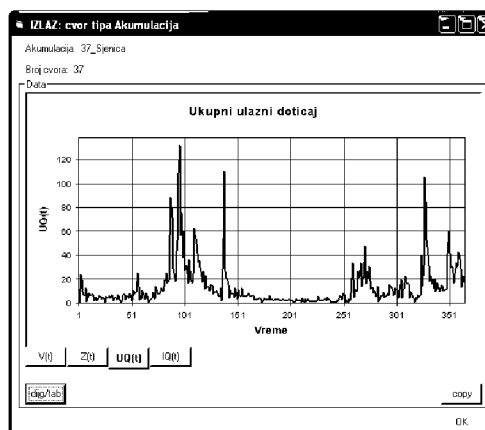
Slika 9. Izbor korelacionih stanica



Slika 10. Puštanje simulacije

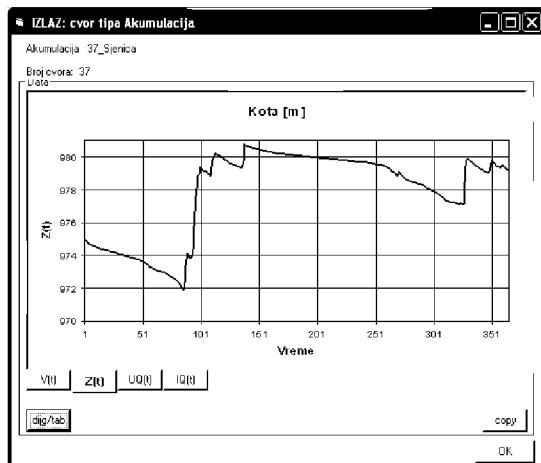
Nakon završene simulacije dobijaju se rezultati koji se analiziraju u izlaznim maskama (grafički ili tabelarni prikaz) ili se kopiraju u druge programe (npr. Excel) gde se vrši njihova dalja obrada.

Na slici koja prikazuje ulazni dotok u akumulaciju Uvac primećujemo dva karakteristična pika prolećni i jesenji:



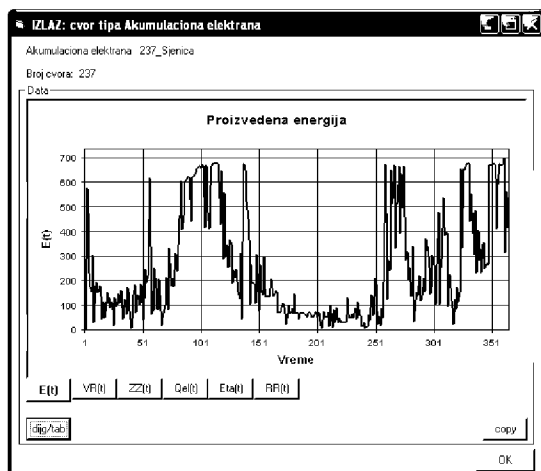
Slika 11. Ulazni doticaj u akumulaciju Uvac

Kota u akumulaciji Uvac se kretala u okvirima od KNU do 972 mm, što se vidi na sledećoj slici:



Slika 12. Promena kote u akumulaciji Uvac

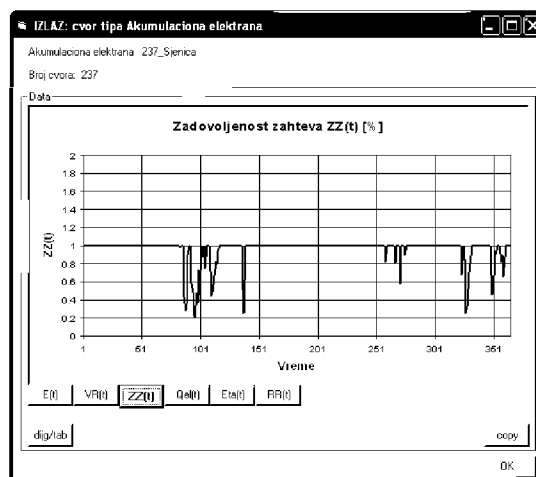
Proizvedena energija tokom svih 365 dana se može videti na sledećem grafikonu:



Slika 13. HE Uvac, proizvedena energija

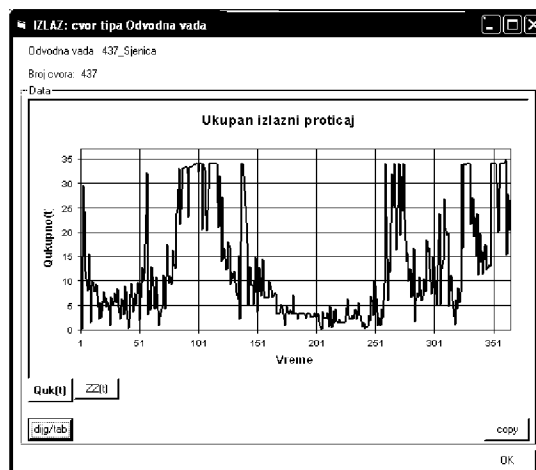
Analizom prethodne tri slike može se primetiti da je na početku perioda simulacije dotok bio mali, te je, uz određenu proizvodnju energije kota u akumulaciji opadala. Sa prolećnim pikom doticaja, kota u akumulaciji je porasla i proizvodnja energije je povećana. U letnjem periodu je kota u akumulaciji držana visoko, prvenstveno zbog male proizvodnje energije. Prelivanja nije bilo. Ukupna proizvodnja energije je 92.6 GWh, što je u ovom slučaju 30% više od prosečne godišnje proizvodnje (72 GWh).

Moguće je videti i zadovoljenost zahteva za proizvodnjom energije. Primećuje se da je zahtev za proizvodnjom u jednom broju dana bio takav da nije bilo moguće proizvesti dovoljno energije, pa je u tim danima proizvedeno maksimalno koliko je bilo moguće.



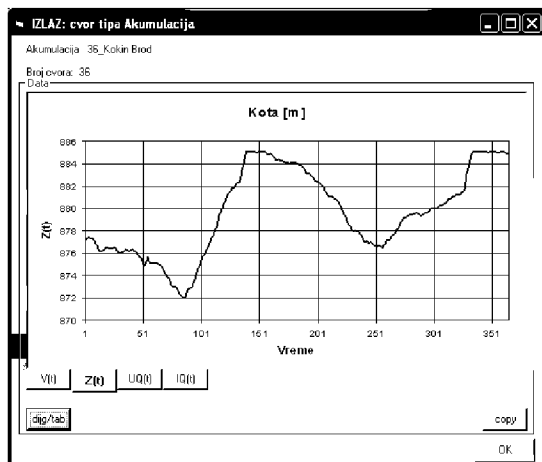
Slika 14. Zadovoljenost zahteva za proiz.energijom

U čvoru odvoda vada su sabrani protoci prelivanja, procurivanja kao i protoci kroz elektranu i temeljni ispus. Izlazni proticaj kroz čvor odvodna vada se daje na sledećem grafikonu:



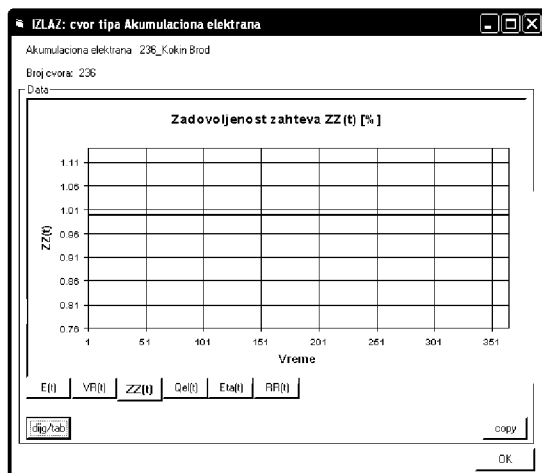
Slika 15. HE Uvac, izlazni hidrogram

Sledeća nizvodna stepenica akumulacija Kokin Brod je radila sa dotokom vode koji je ispuštan na uzvodnoj akumulaciji Uvac i vodom koja se sabirala sa međusliva između ove dve brane. Promena kote u akumulaciji se vidi na sledećem grafičkom prikazu:



Slika 16. Akumulacija Kokin Brod, promena kote

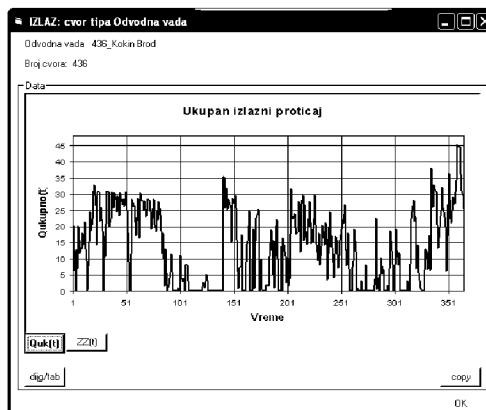
Ovde je očigledno da nije bilo prelivanja, pošto se ni u jednom danu ne dostiže kota normalnog uspora u akumulaciji. Zahtev za proizvodnjom energije je bio takav da je mogao da se zadovolji u svakom danu, što je prikazano na sledećoj slici:



Slika 17. Zadovoljenost zahteva za proiz.energijom

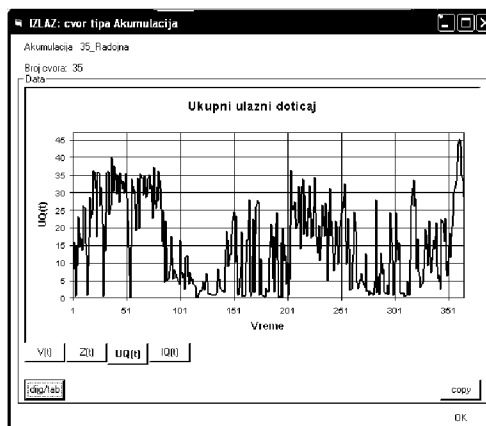
Ukupna proizvodnja je 64.9 GWh , što je u ovom slučaju blizu 45% više od prosečne godišnje proizvodnje (45 GWh).

Izlazni proticaj na odvodnoj vadi daje se na sledećoj slici. Ovde se može videti kako se akumulacija punila u prolećnom periodu kada je bio povećan dotok, a pri tom je istovremeno smanjen zahtev za proizvodnjom energije:

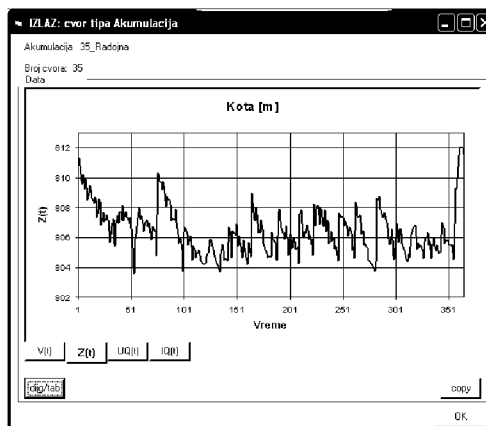


Slika 18. HE K.Brod, proizvedena energija

Akumulacija Radojnja, sa relativno malom korisnom zapreminom je dobijala dotok koji je praktično jednak ispuštanom protoku iz akumulacije Kokin Brod. Prikaz ovog dotoka je na sledećoj slici:



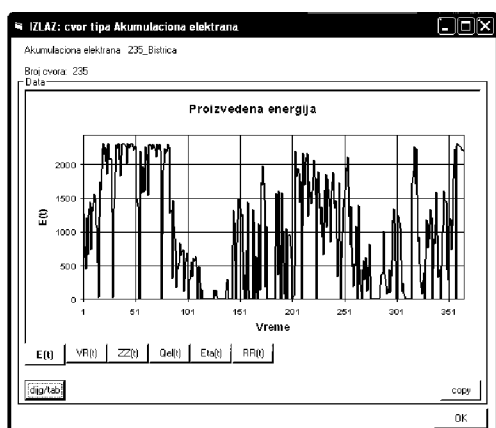
Slika 19. Doticaj u akumulaciju Radojnja



Slika 20. Promena kote u akumulaciji Radojnja

Sa prethodne slike se vidi da se kota u akumulaciji Radojnja kretala u veoma malim granicama, i uglavnom je konvergirala koti normalnog uspora.

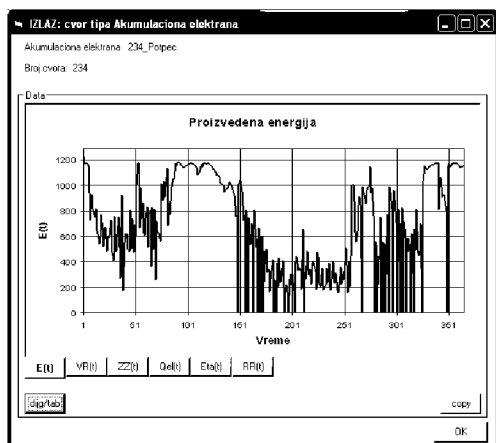
Prikaz proizvedene energije na derivacionoj elektrani Bistrica je dat na sledećoj slici:



Slika 21. HE Bistrica, proizvedena energija

Ukupna proizvodnja je 362GWh , što je u ovom slučaju blisko prosečnoj godišnjoj proizvodnji (350 GWh).

Dotok u akumulaciju Potpeć dolazi jednim delom sa sliva Lima, dok je drugim delom izlazni proticaj derivacione elektrane Bistrica. Proizvedena energija na elektrani daje se na sledećoj slici:

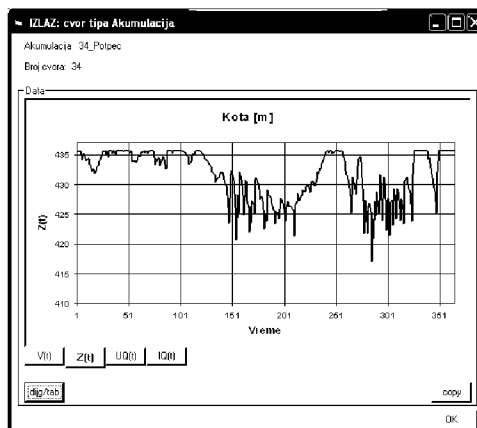


Slika 23. HE Potpeć, proizvedena energija

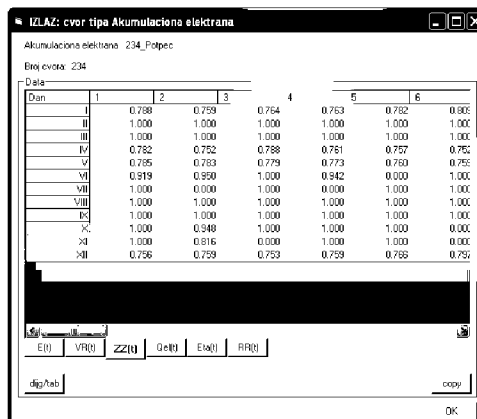
Kota u akumulaciji Potpeć nema velike oscilacije, zbog svoje male korisne zapremine, pa je kod akumulacione elektrane veoma važno da zahtev bude usklađen sa dotokom u akumulaciju. U ovom primeru to jeste slučaj.

Ukupna proizvodnja je 250.9GWh , što 25 % više od prosečne godišnje proizvodnje (201 GWh).

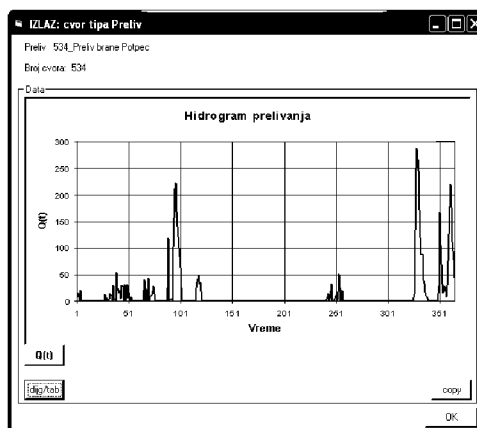
Prikaz promene kote u akumulaciji Potpeć i zadovoljenosti zahteva je dat na sledeće dve slike:



Slika 24. Promena kote u akumulaciji Potpeć



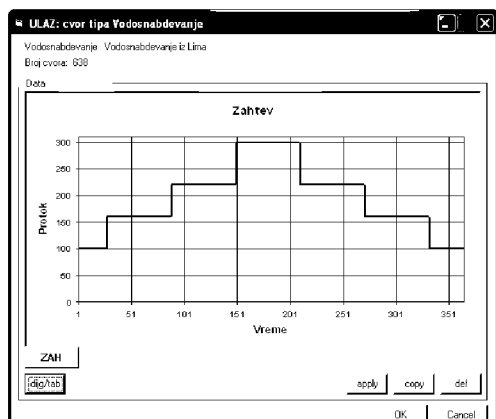
Slika 25. HE Potpeć, zadovoljenost zahteva



Slika 26. HE Potpeć, hidrogram preliivanja

Zbog popriličnog preliivanja u pojedinim danima (koje je prikazano na prethodnoj slici) s jedne strane i nezadovoljavanja zahteva u pojedinim danima sa druge strane moglo bi se zaključiti da je potrebno korigovati zahtev za proizvodnjom energije naročito u periodima kada se dešavaju preliivanja i preko $100 \text{ m}^3/\text{s}$

U okviru ovog hidrosistema simuliran je i rad vodosnabdevanja iz reke Lim za potrebe grada Prijepolja. Zahtev za vodom je zadovoljen u potpunosti a iskorišćena voda je sa procentom vraćanja od 80% vraćena u nizvodnu akumulaciju Potpeć.

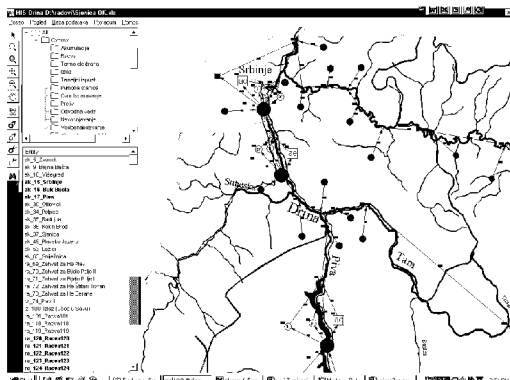


Slika 27. Zahtev za vodosnabdevanja iz Lima

3. PRIMER BR.2 - HIDROSISTEM TARA, PIVA, BUK BIJELA

U cilju ilustracije simulacionog modela na planiranim objektima formirana je konfiguracija koja obuhvata sledeće akumulacije i akumulacione elektrane (čvorovi modela):

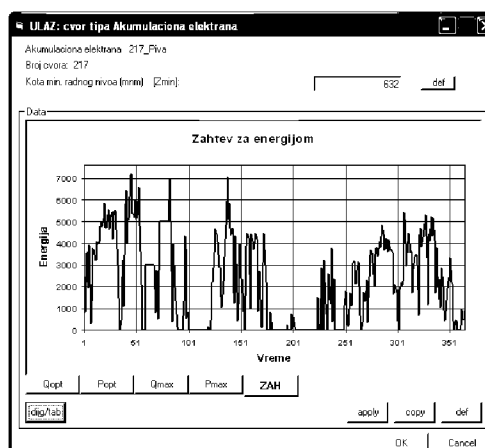
- Akumulacija i HE Piva (postojeća)
- Akumulacija i HE Buk Bijela (planirana)
- Akumulacija i HE Srbinje (planirana)



Slika 28. Hidrosistem Piva, Tara, Buk Bijela

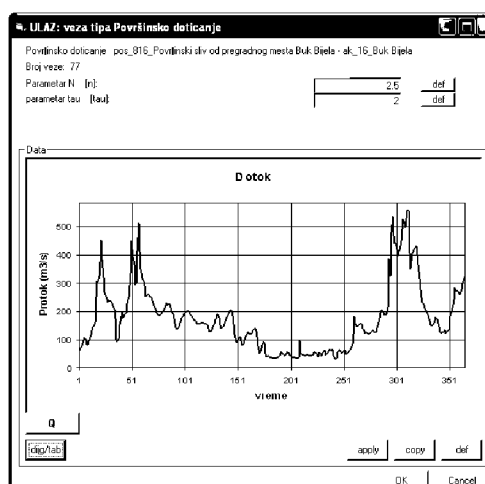
Pored gore navedenih, uključeni su i svi ostali čvorovi koji su povezani sa navedenim čvorovima kao i sve veze između njih. Uključeni su i čvorovi i veze na reci Tari, zbog simulacije protoka vode na toj reci. Izabran je dnevni nivo diskretizacije i dužina simulacije od jedne godine.

Zahtev za proizvodnjom energije na HE Piva se ilustruje na sledećoj slici:



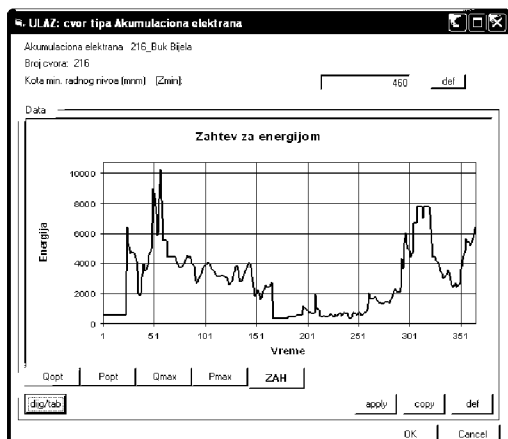
Slika 29. HE Piva, zahtev za energijom

Nakon prvog puštanja simulacije samo sa unetim zahtevom za proizvodnjom električne energije na akumulacionoj elektrani Piva, i radom površinskih slivova i površinskog doticanja na rekama Pivi, Tari i Drini do Buk Bijela, dobijen je doticaj u akumulaciju Buk Bijela:



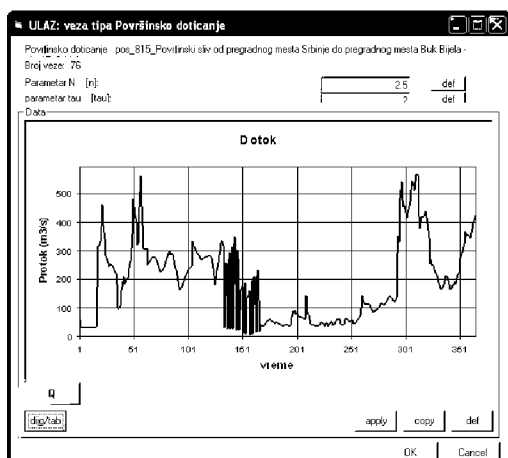
Slika 30. Doticaj u akumulaciju Buk Bijela

Uzimajući u obzir dotok u akumulaciju i karakteristike elektrane kreiran je zahtev za proizvodnjom električne energije na akumulacionoj elektrani Buk Bijela. Zahtev je prikazan na sledećoj slici u grafičkoj formi:



Slika 31. HE Buk Bijela, zahtev za energijom

Takođe je kreiran i zahtev za proizvodnjom energije na elektrani Srbinja uvažavajući ispuštanja iz akumulacije Buk Bijela:

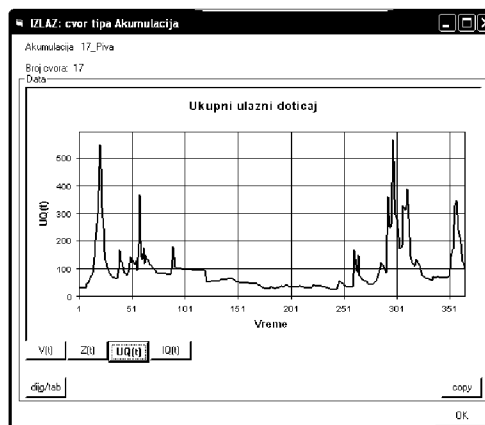


Slika 32. Dotok u akumulaciju Srbinja

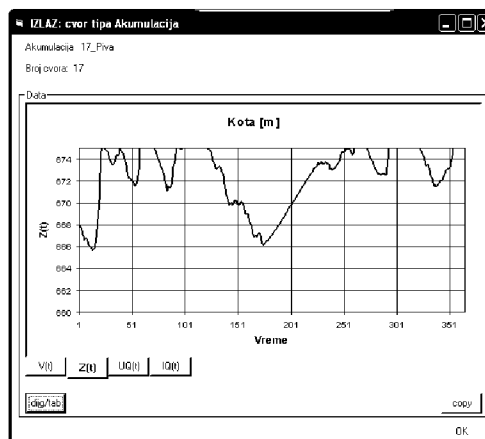
Simulacija je puštena sa formiranim zahtevima i default vrednostima čvorova i veza iz baze podataka.

Dotok u akumulaciju Piva je za izabrani period simulacije bio veći od srednjih višegodišnjih vrednosti. Dobijena ukupna proizvodnja električne energije je 857 GWh, što je u ovom slučaju malo više od prosečne godišnje proizvodnje (850 GWh).

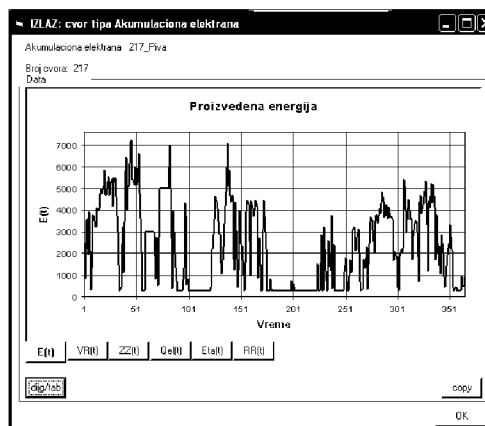
Dotok u akumulaciju i promena tokom perioda simulacije, kao i promena proizvodnje energije ilustrovana je na sledeća tri grafička prikaza:



Slika 33. Dotok u akumulaciju Piva

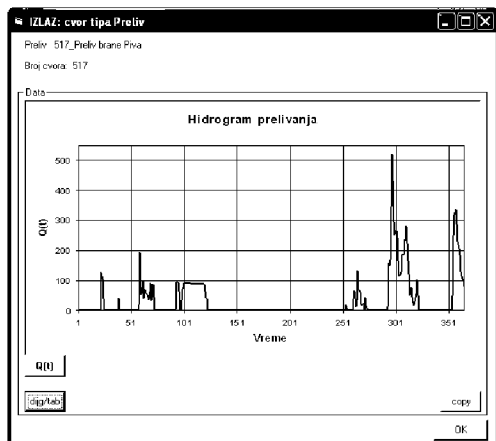


Slika 34. Promena kote u akumulaciji Piva



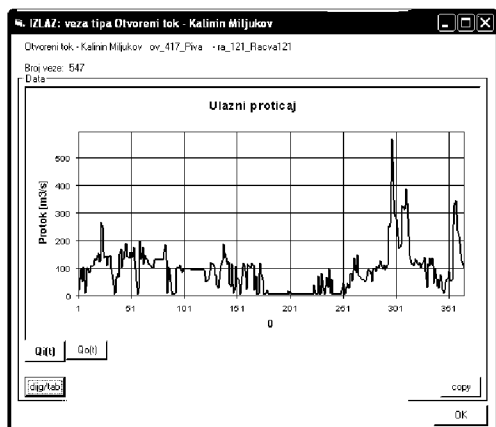
Slika 35. HE Piva, proizvedena energija

Negativni efekti ove simulacije su preliivanja velikog inteziteta koja su se dešavala u prolećnom i jesenjem periodu:



Slika 36. Hidrogram preliivanja iz akum. Piva

Odvodna vada imala je zahtev za ispuštanjem garantovanog proticaja ($7.5\text{m}^3/\text{s}$), tokom čitavog perioda simulacije, i to je ispoštovano. Izlazni proticaj na odvodnoj vadi brane Piva je dat na sledećem grafikonu:

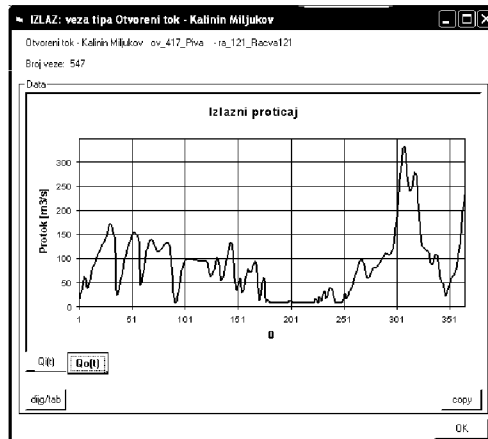


Slika 37. Ulazni hidrogram u vezi otvoreni tok

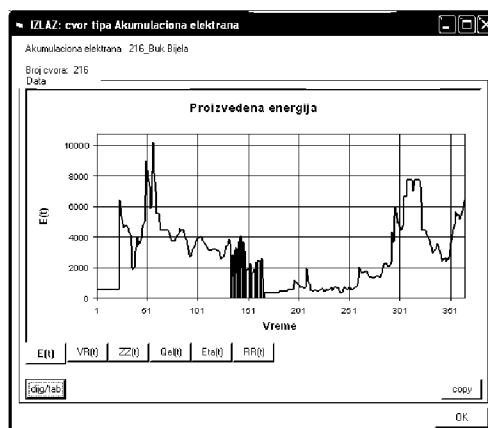
Ulazni hidrogram u vezi otvoreni tok se transformiše i na izlazu iz veze on poprima drugačiji oblik. Izlazni pikovi proticaja iz hidroelektrane Piva prolaskom kroz vezu otvoreni tok bivaju ublaženi. Izlazni hidrogram iz veze otvoreni tok – Kalinin-Miljukov (numeracija veze 547) prikazan je na slici 38.

Ukupna proizvodnja za ceo period simulacije na akumulacionoj elektrani Buk Bijela je 1008 GWh. Promena proizvodnje energije tokom perioda simulacije je prikazana na slici 39.

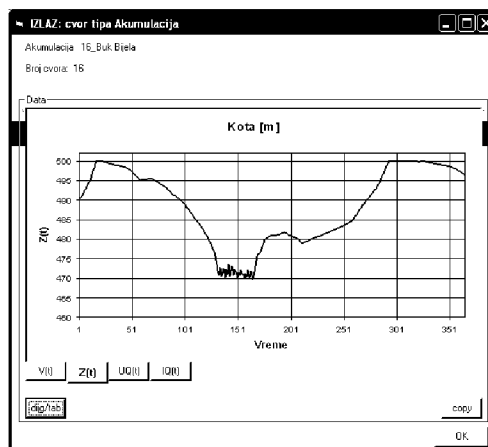
Promena kote u akumulaciji Buk Bijela tokom perioda simulacije data je na slici 40.



Slika 38. Izlazni hidrogram iz veze otvoreni tok

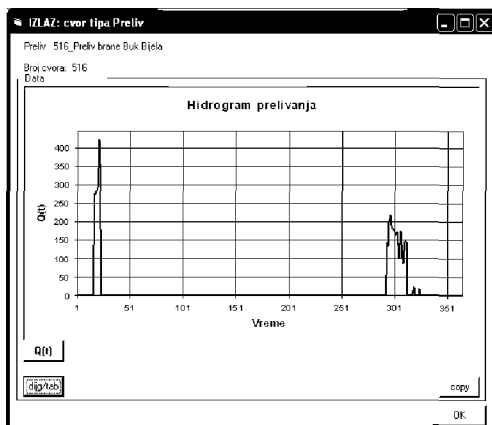


Slika 39. HE Buk Bijela, proizvedena energija

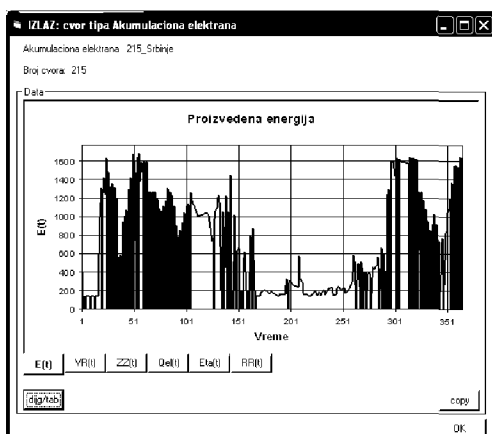


Slika 40. Akumulacija Buk Bijela, promena kote

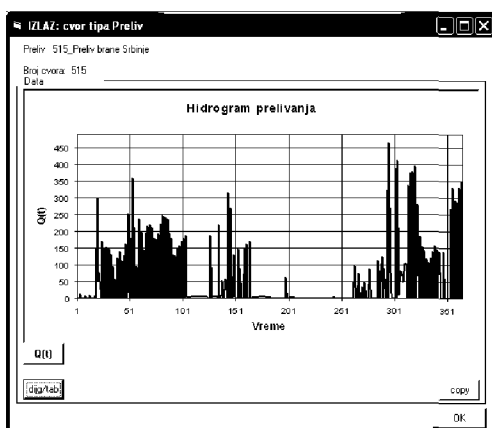
Ova akumulacija beleži preliivanja, koja sa energetskog stanovišta predstavljaju izgubljenu energiju. Hidrogram preliivanja tokom perioda simulacije je prikazan na sledećem grafiku:



Slika 41. Buk Bijela, hidrogram preliivanja



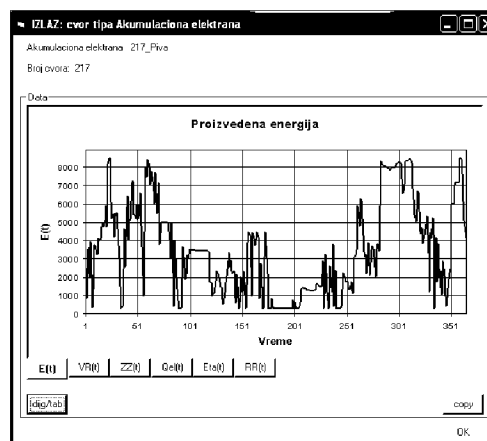
Slika 42. HE Srbije, proizvedena energija



Slika 43. HE Srbije, hidrogram preliivanja

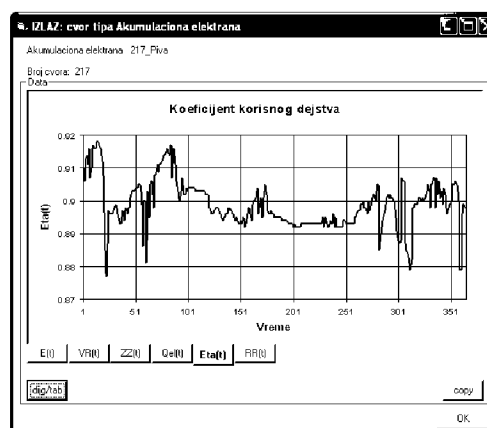
Ukupna proizvodnja energije za ceo period simulacije na akumulacionoj elektrani Srbije je 193 GWh. Promena proizvodnje energije tokom perioda simulacije je prikazana na slici br.42. Iz akumulacije Srbije zabeležena su izražena preliivanja što znači da zahtev za proizvodnjom energije nije bio postavljen na pravi način. Prikaz preliivanja se vidi na slici br.43.

Nakon analize rada ove simulacije postavlja se pitanje: **da li se upravljanje hidrosistemom može poboljšati?** Na osnovu dobijenih rezultata simulacije (proizvedene energije, kota u akumulaciji i hidrograma preliivanja), kreirani su novi zahtevi za proizvodnjom energije, i sa svim istim ostalim parametrima ponovo je puštena simulacija. Sledi kraći prikaz dobijenih rezultata:



Slika 44. HE Piva, proizvedena energija

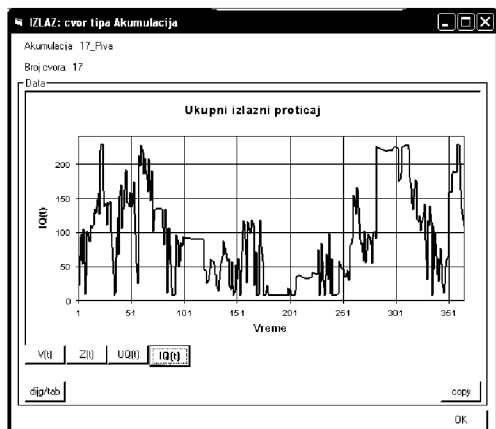
Ukupna proizvodnja na HE Piva je 1281 GWh, što je za 49% više proizvedene energije, u odnosu na prethodnu simulaciju. Koeficijent korisnog dejstva se kreće u opsegu od 0.88 do 0.92 što se može videti na sledećem grafikonu:



Slika 45. HE Piva, koeficijent korisnog dejstva

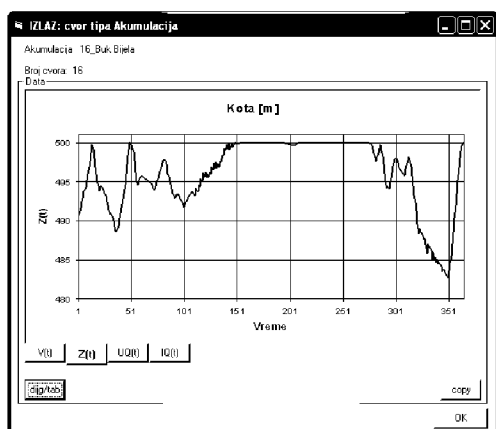
U ovoj simulaciji je poboljšano upravljanje, tako što je zadat bolji zahtev za proizvodnjom električne energije. Kao rezultat toga je eliminisano prelivanje iz akumulacije za svo vreme trajanja simulacije.

Izlazni proticaj iz akumulacije Piva sada izgleda ovako:



Slika 46. Akumulacija Buk Bijela, izlazni hidrogram

Promena kote u akumulaciji Buk Bijela je data na sledećem grafikonu:



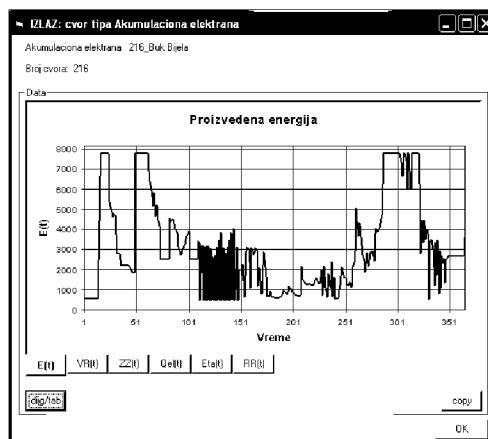
Slika 47. Buk Bijela, promena kote

Prelivanje iz akumulacije Buk Bijela je minimizirano, što je rezultat poboljšanog upravljanja, odnosno adekvatnije postavljene zahteva za proizvodnjom energije.

Proizvedena energija na elektrani Buk Bijela se daje na slici 48.

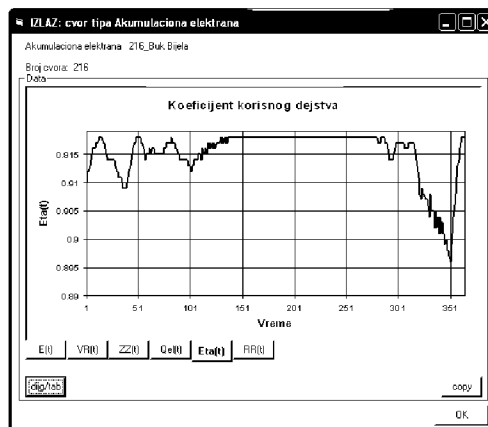
Ukupna proizvodnja energije za ceo period simulacije je 1135 GWh, što je za 13% više proizvedene energije, u odnosu na prethodnu simulaciju. Zanimljivo je da je ova vrednost godišnje proizvodnje ujedno i vrednost

prosečne godišnje proizvodnje. Srednji doticaj u akumulaciju tokom perioda simulacije je približno jednak srednjem višegodišnjem protoku na profilu HE Buk Bijela ($Q=175 \text{ m}^3/\text{s}$).



Slika 48. HE Buk Bijela, proizvedena energija

Koeficijent korisnog dejstva se kreće u opsegu od 0.895 do 0.918 što se može videti na sledećem grafikonu:

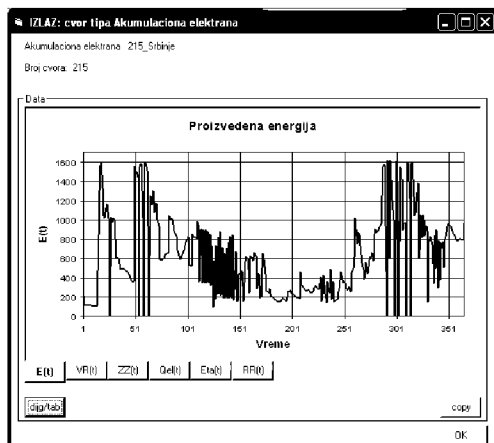


Slika 49. HE Buk Bijela, koeficijent korisnog dejstva

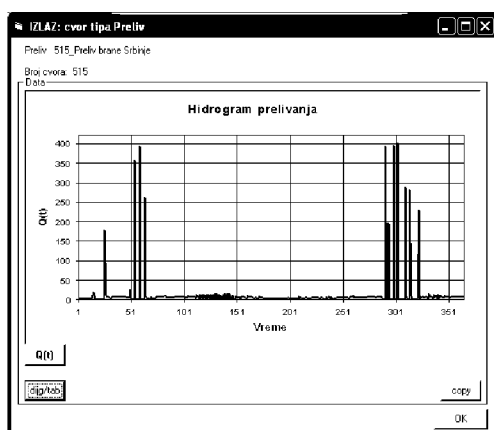
Proizvedena energija na elektrani Srbinje tokom perioda simulacije se daje na slici br.50.

Ukupna proizvodnja energije za ceo period simulacije je 230 GWh, što je za 19% više u odnosu na prethodnu simulaciju.

Ni ova simulacija ne daje optimalno upravljanje, odnosno dolazi do određenog prelivanja na prelivu brane Srbinje. Ovo prelivanje je manjeg obima od onog iz prethodne simulacije, što se vidi na slici 51.



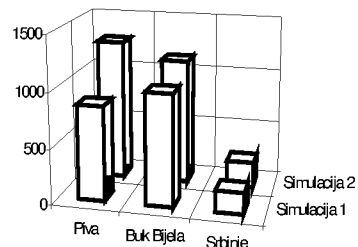
Slika 50. HE Srbije, proizvedena energija



Slika 51. Srbije, hidrogram preliivanja iz akumulacije

Ako se sada uporede pokazatelji ove dve simulacije, može se videti da na ove tri elektrane upravljanje (zahtev za

proizvodnjom energije) u prvoj simulaciji daje ukupnu godišnju proizvodnju od 2058 GWh. U drugoj simulaciji proizvedena energija, ukupno iznosi 2645 GWh, što je za 587 GWh ili 29% više električne energije.



Slika 52. Grafički prikaz rezultata

Postupkom optimizacije upravljanja bi se moglo doći do još boljeg rezultata. Jasno je da je softver: Simulacioni model Drina, veoma koristan alat za analizu upravljanja celim hidrosistemom Drina ili pojedinih podsistema. Takođe se korišćenjem ovog modela mogu sagledati efekti prevođenja drinskih voda u druge slivove na smanjenje proizvodnje postojećih ili planiranih energetske objekata. Promena performansi objekata je takođe nešto što se može analizirati ovim alatom.

LITERATURA

- [1] Dejan Divac, Miodrag Milovanović, Vladislava Bartoš-Divac, Predrag Srna, Nenad Grujović: HIS Drina simulacioni model, Institut Jaroslav Černi, 2002.
- [2] HIS Drina – baza podataka (Microsoft Access), Institut Jaroslav Černi, 2002.
- [3] HIS Drina – softver, Institut Jaroslav Černi, MF Kragujevac, 2002.

EXAMPLES OF THE DRINA SIMULATION MODEL IN USE

by

Zoran SIMIĆ, Miomir ARSIĆ, Aleksandra ORLIĆ
The Jaroslav Černi Institute for the Development of Water Resources

Summary

The Drina simulation model is a software product which simulates different operational scenarios of existing and planned hydroelectric power facilities. Examples of simulation of two subsystems of the Drina system are presented: the Uvac/Lim hydro system and the Piva/Tara/Buk Bijela hydro system. The input

parameters and system management elements, as well as simulation outputs, are shown in the same form as that of the Drina model. Comments are also given relating to the output simulations.

Key words: simulation, input, output

Redigovano 16.05.2004.