

ZAKLJUČNO POROČILO

O REZULTATIH OPRAVLJENEGA RAZISKOVALNEGA DELA

NA PROJEKTU V OKVIRU CILJNEGA RAZISKOVALNEGA

PROGRAMA (CRP) »KONKURENČNOST SLOVENIJE 2006 – 2013«

I. Predstavitev osnovnih podatkov raziskovalnega projekta

1. Naziv težišča v okviru CRP:

Povezovanje ukrepov za doseganje trajnostnega razvoja

2. Šifra projekta:

V2-0502

3. Naslov projekta:

Razvoj ekspertnega sistema za optimizacijo obratovanja HE na Savi ter NEK na osnovi napovedi nizkih pretokov Save sedem dni vnapre

3. Naslov projekta

3.1. Naslov projekta v slovenskem jeziku:

Razvoj ekspertnega sistema za optimizacijo obratovanja HE na Savi ter NEK na osnovi napovedi nizkih pretokov Save sedem dni vnapre

3.2. Naslov projekta v angleškem jeziku:

Development of the expert system for management of the hydropower station on the Sava River and Nuclear power plant based on the hydrological forecast of discharge seven day in advance

4. Ključne besede projekta

4.1. Ključne besede projekta v slovenskem jeziku:

hidrološka napoved pretokov, sistem za avtomatičen zajem in obdelavo podatkov, hidroelektrarne, expertni sistem,

4.2. Ključne besede projekta v angleškem jeziku:

hydrological forecast of discharge, system for data management, hydropower station, expert system

5. Naziv nosilne raziskovalne organizacije:

Univerza v Ljubljani, Kongresni trg 12, 1000 Ljubljana
(Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, 1000 Ljubljana)

5.1. Seznam sodelujočih raziskovalnih organizacij (RO):

Univerza v Ljubljani, Kongresni trg 12, 1000 Ljubljana
(Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana)

6. Sofinancer/sofinancerji:

Ministrstvo za gospodarstvo

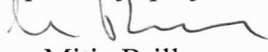
7. Šifra ter ime in priimek vodje projekta:

8379

Mitja Brilly

Datum: 30.10.2010

Podpis vodje projekta:

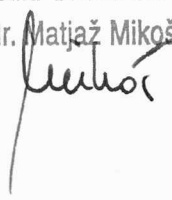

Mitja Brilly

Podpis in žig izvajalca:

Radovan Stanislav Pejovnik



Po pooblastilu dekan UL FGG
prof. dr. Matjaž Mikoš



II. Vsebinska struktura zaključnega poročila o rezultatih raziskovalnega projekta v okviru CRP

1. Cilji projekta:

1.1. Ali so bili cilji projekta doseženi?

- ☒ a) v celoti
☐ b) delno
☐ c) ne

Če b) in c), je potrebna utemeljitev.

1.2. Ali so se cilji projekta med raziskavo spremenili?

- ☐ a) da
☒ b) ne

Če so se, je potrebna utemeljitev:

2. Vsebinsko poročilo o realizaciji predloženega programa dela¹:

Optimalna energetska raba razpoložljivih pretokov je eden od ključnih razlogov nujnosti vpeljave sistema hidrološke napovedi in vključevanja hidroelektrarn v elektroenergetski sistem. Hidroelektrarne na Savi so zasnovane tako, da se vključujejo v sistem v vršnem režimu, ko primanjkuje energije in moči v sistemu. Za zagotavljanje optimalnega obratovanja verige hidroelektrarn je nujno potrebno, da se pri vključitvi posamezne elektrarne v sistem zagotovi optimalna količina vode za obratovanje v trenutku, ko sistem to najbolj potrebuje.

Upravljanje sklenjene verige HE na Savi predstavlja kompleksen optimizacijski problem, ki pogojuje uporabo ustreznih orodij, s katerimi bo s poznavanjem dejanskih vhodnih parametrov (hidrološki podatki, energetska raba) mogoča simulacija dejanskih obratovalnih razmer v realnem času. Na omenjeno simulacijo se pa navezuje model optimizacije proizvodnje energije ne samo verige HE. Izoblikovati je treba sistem za podporo odločanju, ki bo operaterju v centru vodenja omogočil optimalno energetsko izrabo hidroenergije, shranjene v verigi HE. Vhodi optimizacije vsebujejo tako napovedane dotoke reke, kot tudi pričakovane cene električne energije, konične moči ter sistemskih storitev, ki jih proizvajalec lahko dosega na trgu z električno energijo. Sistem za podporo odločanju zagotavlja identifikacijo, ovrednotenje ter obvladovanje obratovalnih, modelskih in cenovnih tveganj, ki jim je izpostavljen proizvajalec kot lastnik verige HE na trgu z električno energijo, s čimer se bistveno izboljša njegova konkurenčnost. Ob uporabi napovedanih dotokov in cen na trgu lahko do popolnosti izrabi svojo tržno pozicijo.

Celoten sistem je sestavljen iz več komponent: podsistema za meritve in zbiranje podatkov, modela za izdelavo hidroloških napovedi in programa za optimizacijo. Sočasno z izdelavo programa CRP so potekali tudi drugi projekti na posodobitvi in vzdrževanju posameznih komponent sistema in študije o delovanju sistema v različnih hidroloških pogojih. Naročniki omenjenih projektov in študij so bile organizacije, lastniki objektov za proizvodnjo električne energije na območju reke Save. Tako je bil sistem za zajemanje in analizo podatkov meritev popolnoma obnovljen s strani Savskih Elektrarn Ljubljana, d.o.o. Po naročilu JEK je bila izdelana študija za določanje verjetno maksimalnih pretokov.

Model 7-dnevne napovedi sušnega pretoka na vtoku v HE Vrhovo je zgrajen s seštevanjem modelov napovedi sušnih pretokov na Savi na VP Hrastnik in na Savinji na VP Veliko Širje. Za vsako postajo je torej zgrajen poseben model napovedi sušnih pretokov, seštevek obeh dveh vrednosti napovedi pa predstavlja vrednost vtoka v akumulacijo hidroelektrarne Vrhovo.

Na podlagi uporabe metode strojnega učenja M5 smo za vodomerno postajo Hrastnik (na reki Savi) in vodomerno postajo Veliko Širje (na reki Savinji) razvili regresijski drevesi, ki predstavljata model variabilnega recesijskega koeficienta k . Ta se potem uporabi v klasični enačbi recesijskega dela hidrograma, s katero se potem generira napovedi nizkih pretokov za obe posamezni vodomerni postaji.

Za gradnjo oziroma razvoj modelov napovedi nizkih pretokov za reko Savinjo na VP Veliko Širje in za reko Savo na VP Hrastnik so bili uporabljeni podatki iz obdobja od vključno leta 1991 do vključno leta 2002, za verifikacijo modelov napovedi pa podatki o

¹ Potrebno je napisati vsebinsko raziskovalno poročilo, kjer mora biti na kratko predstavljen program dela z raziskovalno hipotezo in metodološko-teoretičen opis raziskovanja pri njenem preverjanju ali zavračanju vključno s pridobljenimi rezultati projekta.

srednjih dnevnih pretokih za leto 2003, katerega lahko uvrstimo med bolj sušna obdobja v zadnjem obdobju. Za verifikacijo modelov napovedi nizkih pretokov na posameznih vodomernih postajah smo izbrali pet sušnih obdobji v letu 2003. Modeli napovedi so bili verificirani samo na tistih podatkih, ko je srednji dnevni pretok v času napovedi (Q_t) znašal manj kot 150% vrednosti Q_{30} , torej pretoka, ki je bil presežen vsaj 30 % časa v obdobju od 1991 do 2003. Tako so bili modeli napovedi preverjeni tudi na podatkih o srednjem dnevnem pretoku, ki niso bili vključeni v razvoj modelov.

Izgradnja celotnega sistema je sad več letnega dela in več raziskovalnih nalog, ki jih je UL FGG-KSH izpeljala v obdobju od leta 2000 do 2006 ob pomoči Savskih elektrarn d.o.o in tudi lastnih razvojnih sredstev, vse v prid novih znanj potrebnih za izvedbo takšnega sistema. Delo je zajelo izdelavo in fizično postavitev opazovalne mreže devetih avtomatskih vodomernih postaj – AVP, njihovo povezavo z operativnim centrom, izdelavo pretočnih krivulj za izračun pretokov, izdelavo matematičnega modela za napoved pretokov in uvajanje delavcev Savskih elektrarn v uporabo ter vzdrževanje sistema. Nastala operativna programska aplikacija »SFExcel«. Programska aplikacija »SFExcel« je zasnovana v in na osnovi programa MS Excel. Le-ta omogoča uporabniku enostavnejše in prijaznejše delo. MS Excel s svojo programsko osnovno kodo ne omogoča branja podatkov preko serijskih vrat COM oz. nima funkcij za komunikacijo z GSM modemom. Za to je bilo potrebno izdelati zunanjo aplikacijo, ki prebere trenutne podatke iz avtomatskih vodomernih postaj StarFlow in poskrbi za prenos le-teh v celice MS Excela. V MS Excelu se hidrološki model napovedi dokončno preračuna in izvede. Kot kaže hidrometrijska praksa in izkušnje je dejstvo, da merilne naprave potopljene v vodo po večletnem obratovanju zahtevajo zamenjavo. Tako so se v letu 2010 generalno obnovila štiri vodomerna mesta Jesenice, Bodešče, Radovljica in Veliko Širje.

Pri zamenjavi novih merilnih instrumentov je prišlo do nekompatibilnosti s starejšimi napravami in zato se je morala obnoviti tudi programska oprema. Tovrstna programska oprema, ki bi zadostila želenim zahtevam, ne obstaja. Zato se je napisal nov računalniški program za boljšo in pravilno komunikacijo z merilno opremo ter preračun hidrometrijskih količin. Pri obnovi merskega sistema na Savi je to delo predstavljalo največ porabljenega časa. Kajti pri razvoju gre najprej za implementacijo idej in iskanje možnih rešitev, nato za testiranje delovanja sistema, preverjanje rezultatov, dopolnitve in kontrole delovanja. To pa seveda zahteva določen čas. Hkrati so se prenovile tudi pretočne krivulje.

Elektroenergetski sistem v Sloveniji že dobro desetletje posluje v okolju trga z električno energijo. Medtem ko prenosna in distribucijska omrežja veljajo za naravne monopole, sta proizvodnja in trgovanje z električno energijo zdaj tržni dejavnosti. Poznamo več vrst organiziranih trgov z električno energijo, kot so dnevni ali sprotni trg z električno energijo, trg s sistemskimi storitvami in trg terminskimi pogodbami. Na trgu nastopajo tako proizvajalci kot porabniki. Čeprav se v večini dereguliranih EES-ov večji del trgovanja izvaja prek bilateralnih pogodb, je dnevni trg bistvenega pomena. Sistemska cena, določena na dnevnem trgu, namreč služi kot javna in pregledna referenca za ceno električne energije vsem drugim trgov. Cene v bilateralnih pogodbah zato dolgoročno konvergirajo k cenam na dnevnem trgu.

Program PEGASUS, razvit na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani, je namenjen simulaciji popolnoma odprtega dnevnega trga z električno energijo. Zasnovan je na urni podlagi in omogoča simulacijo dnevnega trga za dan vnaprej. V modelu trga se izvede le tržna poravnava, načrtovanje proizvodnje in porabe pa se prenese na udeležence trga. Sistemska cena, določena na dnevnem trgu, služi kot referenca vsem drugim trgov. Pri tem upošteva obratovalne vozne rede vseh slovenskih proizvajalcev in vpliv povezav s

trgi z električno energij v sosesčini. PEGASUS je razvit v okolju Matlab in za svoje delovanje potrebuje to okolje, saj ni namenjen delovanju kot samostojna aplikacija, temveč kot razvojno orodje. Za dneve prikaza delovanja optimizacije smo uporabili izbrane tedne za štiri sezone v letu 2007, Preglednica 4.1. Pomembni so dnevi, ki so zajeti znotraj vsakega obravnavanega tedna napovedi dotokov. Čeprav hidrologija nima neposrednega stika z tipom dneva v tednu, pa je vpliv tipa dneva na ceno električne energije bistven, in ni nepomembno, ali je veliko vode v ponedeljek zjutraj, ko je konica porabe, ali v nedeljo ponoči, ko je cena navadno najnižja. Optimizacija je bila na izvedena za zimsko, spomladansko, letno in jesensko obdobje, vsako izmed njih pa vsebuje različne scenarije obratovanja. V zimskem in letnem tednu, ko je dotok v čelno hidroelektrarno Vrhovo manj kot 100 m³/s, hidroelektrarne v prvih dveh scenarijih obratujejo pretočno, tako da se ne odzivajo na cenovne signale ampak proizvodnja sledi dotoku. Nekoliko večjo dinamiko zasledimo v primeru tretjega scenarija, kjer v drugi polovici tedna hidroelektrarne ob večjih cenovnih signalih ustrezno povečajo svojo proizvodnjo. V spomladanskem in jesenskem tednu, ko je dotok v hidroelektrarno Vrhovo v obeh primerih nad 100 m³/s je odziv proizvodnje hidroelektrarn glede na cenovne signale prisoten tudi v prvem in drugem scenariju še posebej na začetku tedna, kjer je dotok največji. Pri spomladanskem tednu znaša razlika v prihodkih med scenarijema, ko so bazeni polni vsak dan ter ob koncu tedna, 580 evrov, kar sicer v primerjavi s celotno proizvodnjo (187.754 evrov za prvi scenarij) ni veliko, a vseeno je mogoče sklepati, da bi se razlika ob veliko večjih dotokih povečala v prid obratovanju, ko imamo zahtevo za polne bazene zadnje uro optimizacijskega obdobja. Rešitve optimizacije predstavljajo primerjavo med različnimi scenariji obratovanja predvsem iz cenovnega vidika.

3. Izkoriščanje dobljenih rezultatov:

3.1. Kakšen je potencialni pomen² rezultatov vašega raziskovalnega projekta za:

- ☐ a) odkritje novih znanstvenih spoznanj;
- ☒ b) izpopolnitev oziroma razširitev metodološkega instrumentarija;
- ☐ c) razvoj svojega temeljnega raziskovanja;
- ☐ d) razvoj drugih temeljnih znanosti;
- ☐ e) razvoj novih tehnologij in drugih razvojnih raziskav.

3.2. Označite s katerimi družbeno-ekonomskimi cilji (po metodologiji OECD-ja) sovpadajo rezultati vašega raziskovalnega projekta:

- ☐ a) razvoj kmetijstva, gozdarstva in ribolova - Vključuje RR, ki je v osnovi namenjen razvoju in podpori teh dejavnosti;
- ☐ b) pospeševanje industrijskega razvoja - vključuje RR, ki v osnovi podpira razvoj industrije, vključno s proizvodnjo, gradbeništvom, prodajo na debelo in drobno, restavracijami in hoteli, bančništvom, zavarovalnicami in drugimi gospodarskimi dejavnostmi;
- ☒ c) proizvodnja in racionalna izraba energije - vključuje RR-dejavnosti, ki so v funkciji dobave, proizvodnje, hranjenja in distribucije vseh oblik energije. V to skupino je treba vključiti tudi RR vodnih virov in nuklearne energije;
- ☐ d) razvoj infrastrukture - Ta skupina vključuje dve podskupini:
 - transport in telekomunikacije - Vključen je RR, ki je usmerjen v izboljšavo in povečanje varnosti prometnih sistemov, vključno z varnostjo v prometu;
 - prostorsko planiranje mest in podeželja - Vključen je RR, ki se nanaša na skupno načrtovanje mest in podeželja, boljše pogoje bivanja in izboljšave v okolju;
- ☐ e) nadzor in skrb za okolje - Vključuje RR, ki je usmerjen v ohranjanje fizičnega okolja. Zajema onesnaževanje zraka, voda, zemlje in spodnjih slojev, onesnaženje zaradi hrupa, odlaganja trdnih odpadkov in sevanja. Razdeljen je v dve skupini:
- ☐ f) zdravstveno varstvo (z izjemo onesnaževanja) - Vključuje RR - programe, ki so usmerjeni v varstvo in izboljšanje človekovega zdravja;
- ☐ g) družbeni razvoj in storitve - Vključuje RR, ki se nanaša na družbene in kulturne probleme;
- ☐ h) splošni napredek znanja - Ta skupina zajema RR, ki prispeva k splošnemu napredku znanja in ga ne moremo pripisati določenim ciljem;
- ☐ i) obramba - Vključuje RR, ki se v osnovi izvaja v vojaške namene, ne glede na njegovo vsebino, ali na možnost posredne civilne uporabe. Vključuje tudi varstvo (obrambo) pred naravnimi nesrečami.

² Označite lahko več odgovorov.

3.3. Kateri so **neposredni rezultati** vašega raziskovalnega projekta glede na zgoraj označen potencialni pomen in razvojne cilje?

Izdelan je operativni sistem za avtomatično zbiranje in napoved pretokov povezan s sistemom za optimizacijo obratovanje verige hidroelektrarn na spodnji Savi. Rešitve optimizacije predstavljajo primerjavo med različnimi scenariji obratovanja predvsem iz cenovnega vidika. Rezultati optimizacije so zanimivi tudi za proizvajalce električne energije, ki bi se v tem smislu lahko uporabila tudi kot sistem za pomoč pri odločanju za načrtovanje obratovanja verige hidroelektrarn.

3.4. Kakšni so lahko **dolgoročni rezultati** vašega raziskovalnega projekta glede na zgoraj označen potencialni pomen in razvojne cilje?

Sistemi so izdelani in pripravljeni za uporabo. Njihovi dolgoročni rezultati so odvisni od vzdrževanja in nadaljnjega razvoja, kar je pa v praksi povezano z bodočo organizacijo proizvajalcev električne energije. V vsakem primeru je uporabnost sistema iz delanega predvsem z domačim znanjem potrjena. Rezultati bodo pa uporabni tudi na drugih področjih upravljanja bodisi s hidroenergetskimi sistemi ali vodarskimi sistemi.

3.5. Kje obstaja verjetnost, da bodo vaša znanstvena spoznanja deležna zaznavnega odziva?

- ☐ a) v domačih znanstvenih krogih;
- ☒ b) v mednarodnih znanstvenih krogih;
- ☒ c) pri domačih uporabnikih;
- ☒ d) pri mednarodnih uporabnikih.

3.6. Kdo (poleg sofinancerjev) že izraža interes po vaših spoznanjih oziroma rezultatih?

Interes je pristoeno oredvsem pri upraviteljih hidroenergetskih objektov in prodajalci njihove energije

3.7. Število diplomantov, magistrrov in doktorjev, ki so zaključili študij z vključenostjo v raziskovalni projekt?

Pri delu na nalogi je sodelovalo 5 doktorantov, en magistrant in trije diplomanti.

4. Sodelovanje z tujimi partnerji:

4.1. Navedite število in obliko formalnega raziskovalnega sodelovanja s tujimi raziskovalnimi institucijami.

Doc. dr. Andrej Gubina je sodeloval z Electricity Research Centrom, University College Dublin, Irska (UCD), kjer se je med projektom 16 mesecev strokovno izpopolnjeval iz tematike optimizacije proizvodnje spremenljivih virov energije (npr. hidro ali vetrna energija). Na UCD se je na dve krajši izpopolnjevanji mudil tudi Gašper Artač, univ. dipl. el. inž., mladi raziskovalec iz gospodarstva. Iztok Zlata, univ. dipl. el. inž., je v tem

času prebil 6 mesecev na EPFL v Lausanne, Švica, Borut Kozan, univ. dipl. el. inž., pa prav tako 6 mesecev na Universita Pontificia Comillas v Madridu, Španija. Prof. Mitja Brilly je sodeloval z IHE UNESCO Fakulteto v Delftu pri razvoju uporabe metod umetne inteligence.

4.2. Kakšni so rezultati tovrstnega sodelovanja?

Sodelovanje z organizacijami v tujini se nadaljuje pri sodelovanju v številnih projektih EU. Tako se prične naslednje leto projekt v sedmem okvirnem programu in sodelovanje pri programu Erasmus-Mundus.

5. Bibliografski rezultati³ :

Za vodjo projekta in ostale raziskovalce v projektni skupini priložite bibliografske izpise za obdobje zadnjih treh let iz COBISS-a) oz. za medicinske vede iz Inštituta za biomedicinsko informatiko. Na bibliografskih izpisih označite tista dela, ki so nastala v okviru pričujočega projekta.

6. Druge reference⁴ vodje projekta in ostalih raziskovalcev, ki izhajajo iz raziskovalnega projekta:

Predstavitev projekta na sestanku v sredo 28.10. ob 10:00 na Direktoratu za energijo, Savska 3, Lj., IV. nad. sejna soba. Na sestanku so sodelovali tudi uporabljaleci HE na spodnji Savi.

³ Bibliografijo raziskovalcev si lahko natisnete sami iz spletne strani: <http://www.izum.si/>

⁴ Navedite tudi druge raziskovalne rezultate iz obdobja financiranja vašega projekta, ki niso zajeti v bibliografske izpise, zlasti pa tiste, ki se nanašajo na prenos znanja in tehnologije.

Navedite tudi podatke o vseh javnih in drugih predstavitvah projekta in njegovih rezultatih vključno s predstavitvami, ki so bile organizirane izključno za naročnika/naročnike projekta.

Priloga CRP projekta: Razvoj ekspertnega sistema za optimizacijo obratovanja HE na Savi ter NEK na osnovi napovedi nizkih pretokov Save sedem dni vnaprej - V2-0502
Dela vezana na projekt CRP so označena z **

MITJA BRILLY [08379]

Osebna bibliografija za obdobje 2007-2010

1.01 Izvirni znanstveni članek

**1. ŠTRAUS, Luka, BRILLY, Mitja. Development of a low-flow forecasting model using M5 machine learning method. *Hydrol. sci. j.*, 2007, str. 466-477, štev. 3, ilustr. [COBISS.SI-ID 3553633]

2. ŠRAJ, Mojca, BRILLY, Mitja, MIKOŠ, Matjaž. Rainfall interception by two deciduous Mediterranean forests of contrasting stature in Slovenia. *Agric. for. meteorol.*. [Print ed.], 2008, letn. 148, št. 1, str. 121-134, ilustr. [COBISS.SI-ID 3829345]

3. ŠRAJ, Mojca, LAH, Aleš, BRILLY, Mitja. Meritve in analiza prestreženih padavin navadne breze (*Betula pendula* Roth.) in rdečega bora (*Pinus sylvestris* L.) v urbanem okolju = Measurements and analysis of intercepted precipitation of Silver Birch (*Betula pendula* Roth.) and Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in urban area. *Gozd. vestn.*, 2008, letn. 66, št. 9, str. 406-416, 433, ilustr. [COBISS.SI-ID 2298790]

4. RUSJAN, Simon, BRILLY, Mitja, MIKOŠ, Matjaž. Flushing of nitrate from a forested watershed : an insight into hydrological nitrate mobilization mechanisms through seasonal high-frequency stream nitrate dynamics. *J. Hydrol. (Amst.)*. [Print ed.], junij 2008, letn. 354, št. 1-4, str. 187-202, ilustr. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169408001418>. [COBISS.SI-ID 4008545]

5. ŠRAJ, Mojca, DIRNBEK, Luka, BRILLY, Mitja. The influence of effective rainfall on modeled runoff hydrograph. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 2010, letn. 58, št. 1, str. 3-14, ilustr., doi: DOI: 10.2478/v10098-010-0001-5. [COBISS.SI-ID 4916577]

1.02 Pregledni znanstveni članek

6. HOUSER, Paul, MATTHEWS, Dave, BRILLY, Mitja. WaterNet - the NASA Water Cycle Solutions Network. *Adv. sci. res. (Online)*, 2007, št. 1, str. 23-26, ilustr. <http://www.adv-sci-res.net/1/23/2007/asr-1-23-2007.pdf>. [COBISS.SI-ID 4096353]

**7. KRYŽANOWSKI, Andrej, BRILLY, Mitja, PORENTA, Marijan, TOMŠIČ, Ladislav. Hydro potential and development opportunities in Slovenia. *The international journal on hydropower & dams*, 2008, letn. 15, št. 5, str. 41-46, ilustr. [COBISS.SI-ID 4428641]

8. GOLJA, Aleš, BRILLY, Mitja. Urejanje podeželskega prostora za rekreacijske namene na primeru zgornjega povodja reke Soče = Planning countryside space for recreation purposes: the case of the upper water basin of the river Soča. *Urbani izziv*, 2008, letn. 19, št. 1, str. 94-103, ilustr. [COBISS.SI-ID 4234593]

1.04 Strokovni članek

9. BRILLY, Mitja, ŠRAJ, Mojca, VIDMAR, Andrej, PADEŽNIK, Matej, HORVAT, Anja. Hidrološko-hidrotehnična študija s prikazom celovite rešitve in hidrotehničnimi izračuni za širše območje OLN Zapoga 1 = Hydrological and hydrotechnical study providing and overall solution and calculations for the greater area of local detailed plan Zapoga 1. *Gradb. vestn.*, jul. 2007, letn. 56, št. 7, str. 175-181, ilustr. [COBISS.SI-ID 3634529]

10. GSPAN, Marko, BRILLY, Mitja, GRILC, Viktor. Orodja za ocenjevanje učinkovitosti upravljanja s komunalno infrastrukturo (Program COST Action C18, 2004-2008) = Tools for performance assessment of urban infrastructure services (COST ActionC18, 2004-2008). Gradb. vestn., januar 2009, letn. 58, št. [1], str. 8-15. [COBISS.SI-ID 4084250]

1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci

**11. BRILLY, Mitja, HORVAT, Anja, MATTHEWS, Dave, ŠRAJ, Mojca. Climate change impact on mean annual river flows. V: HEINONEN, Mari (ur.). Climate and Water : Proceedings : Helsinki, Finland 3.-6. September 2007. Helsinki: Finish Environment Institute, 2007, str. 82-87, ilustr. [COBISS.SI-ID 3698273]

12. BRILLY, Mitja, JAMNIK, Brigita, DROBNE, Damjana. Chromium contamination of the Ljubljansko Polje aquifer. V: Dangerous pollutants (xenobiotics) in urban water cycle : proceedings of the NATO advanced research workshop, Lednice, Czech Republic, 2-6 may 2007. Lednice: Vensen, 2007, str. 191-200, ilustr. [COBISS.SI-ID 3535713]

13. BRILLY, Mitja, KRAJNC, Marjeta, UHAN, Jože. Groundwater Resources in Slovenia. V: RAGONE, Stephen E. (ur.). The global importance of groundwater in the 21st century : proceedings of the International Symposium on Groundwater Sustainability : January 24-27, 2006, Alicante, Spain. Westerville: National Ground Water Association, cop. 2007, str. 85-88, ilustr. [COBISS.SI-ID 3848289]

14. ŠRAJ, Mojca, BRILLY, Mitja. E-learning in Hydrology. V: GÓMEZ CHOVA, L. (ur.). INTED 2007 : International technology, education and development conference, March 7th-9th, 2007, Valencia : proceedings. Valencia: International Association of Technology, Education and Development (IATED), 2007, str. 1-5, ilustr. [COBISS.SI-ID 3502945]

15. BRILLY, Mitja, RUSJAN, Simon, SREBRNIČ, Tadej, MIKOŠ, Matjaž. Regionalization of extreme rainfall and discharges Slovenia. V: FERRARI, Ennio (ur.), VERSACE, Pasquale (ur.). Observing and modelling exceptional floods and rainfalls : Proceedings of the Workshop : 1st International Workshop on Hydrological Extremes, University of Calabria, Cosenza (Italy), 3-4 May, 2006 : The workshop is a contribution of the AMHY-FRIEND group, topic "Extreme events", to UNESCO IHP-VI(2002-2007). Castrolibero: Nuova Bios, 2007, str. 263-272, ilustr. [COBISS.SI-ID 3586913]

**16. ŠTRAVS, Luka, BRILLY, Mitja. Razvoj metodologije za izdelavo modelov 7-dnevne napovedi nizkih pretokov. V: KOZMUS, Klemen (ur.), KUHAR, Miran (ur.). Raziskave s področja geodezije in geofizike 2006 : zbornik predavanj. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2007, str. 41-50, ilustr. [COBISS.SI-ID 3761761]

17. PETAN, Sašo, ŠRAJ, Mojca, ZORN, Matija, VIDMAR, Andrej, MIKOŠ, Matjaž, BRILLY, Mitja. Measurements and modelling of rainfall interception and soil erosion processes on the Dragonja experimental river basin. V: Conference on water observation and information system to decision support, 27-31 May 2008, Ohrid Republic of Macedonia. Balwois. Skopje: Ministry of education and science of Republic of Macedonia, cop. 2008, str. [1-9]. [COBISS.SI-ID 4066145]

18. RUSJAN, Simon, MIKOŠ, Matjaž, BRILLY, Mitja, PADEŽNIK, Matej, VIDMAR, Andrej. Hydrological and seasonal controls of nitrate mobilization from a forested catchment. V: BRILLY, Mitja (ur.), ŠRAJ, Mojca (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia, 2-4 June 2008. Conference papers. Ljubljana: Slovenian National Committee for the IHP Unesco, 2008, str. 1-6. [COBISS.SI-ID 4076129]

- **19.** KRYŽANOWSKI, Andrej, HORVAT, Anja, BRILLY, Mitja. Hydropower plants on the middle Sava river section. V: BRILLY, Mitja (ur.), ŠRAJ, Mojca (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia, 2-4 June 2008. Conference papers. Ljubljana: Slovenian National Committee for the IHP Unesco, 2008, str. 1-6. [COBISS.SI-ID 4074593]
- 20.** PRIMOŽIČ, Miha, KOBOLD, Mira, BRILLY, Mitja. The implementation of the HBV model on the Sava river basin. V: BRILLY, Mitja (ur.), ŠRAJ, Mojca (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia, 2-4 June 2008. Conference papers. Ljubljana: Slovenian National Committee for the IHP Unesco, 2008, str. 1-11. [COBISS.SI-ID 4066401]
- 21.** MATTHEWS, Dave, BRILLY, Mitja, KOBOLD, Mira, ŽAGAR, Mark, HOUSER, Paul. WATERNET : the NASA water cycle solutions network - Danubian regional applications. V: BRILLY, Mitja (ur.), ŠRAJ, Mojca (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia, 2-4 June 2008. Conference papers. Ljubljana: Slovenian National Committee for the IHP Unesco, 2008, str. 1-12. [COBISS.SI-ID 4076897]
- 22.** ŠRAJ, Mojca, RUSJAN, Simon, MIKOŠ, Matjaž, PETAN, Sašo, VIDMAR, Andrej, BRILLY, Mitja. The experimental watershed in Slovenia. V: BRILLY, Mitja (ur.), ŠRAJ, Mojca (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia, 2-4 June 2008. Conference papers. Ljubljana: Slovenian National Committee for the IHP Unesco, 2008, str. 1-14. [COBISS.SI-ID 4076641]
- 23.** PETAN, Sašo, HORVAT, Anja, PADEŽNIK, Matej, MIKOŠ, Matjaž, GLOBEVNIK, Lidija, BRILLY, Mitja. Gravel bar sampling along the Sava river. V: BRILLY, Mitja (ur.), ŠRAJ, Mojca (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia, 2-4 June 2008. Conference papers. Ljubljana: Slovenian National Committee for the IHP Unesco, 2008, str. 1-17. [COBISS.SI-ID 4076385]
- 24.** BRILLY, Mitja, JAMNIK, Brigita, DROBNE, Damjana. Chromium and atrazine contamination of the Ljubljansko Polje aquifer. V: HLAVINEK, Petr (ur.). Dangerous Pollutants (Xenobiotics) in Urban Water Cycle : Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop, Lednice, Czech Republic, 3.-6. May 2007, (NATO Science for Peace and Security Series, Series C: Environmental Security). Dordrecht: Springer; NATO Public Diplomacy Division, 2008, str. 207-216, ilustr. [COBISS.SI-ID 1832783]
- 25.** ŠTRAVS, Luka, VIDMAR, Andrej, BRILLY, Mitja. The Sava river low flow forecasting system : 3.04. V: Proceedings of the International Conference and Exhibition, Hydro 2008, Ljubljana, October 6-8, 2008 : progressing world hydro development. Sutton, Surrey, UK: Aqua-Media International, cop. 2008, str. 1-7. [COBISS.SI-ID 4363873]
- 26.** KRYŽANOWSKI, Andrej, TOMŠIČ, Ladislav, PORENTA, Marijan, BRILLY, Mitja. Hydropower potential and development opportunities : 12.01. V: Proceedings of the International Conference and Exhibition, Hydro 2008, Ljubljana, October 6-8, 2008 : progressing world hydro development. Sutton, Surrey, UK: Aqua-Media International, cop. 2008, str. 1-9. [COBISS.SI-ID 4364129]
- 27.** BRILLY, Mitja. From water management toward water policy. V: International Conference Planning and Management of Water Resources Systems, 25-27 September 2008, Novi Sad. Proceedings. Novi Sad: VANU, 2008, str. 63-70, ilustr. [COBISS.SI-ID 4350817]

28. RUSJAN, Simon, BRILLY, Mitja, PADEŽNIK, Matej, VIDMAR, Andrej. Monitoring vpliva urbanizacije na potok Glinščica na urbanem območju mesta Ljubljane. V: KUCHAR, Miran (ur.). Raziskave s področja geodezije in geofizike 2007 : zbornik predavanj. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2008, str. 27-36, ilustr. [COBISS.SI-ID 3954785]
- **29. BRILLY, Mitja, ŠTRAVS, Luka, VIDMAR, Andrej, RUSJAN, Simon, PETAN, Sašo. Discharge estimation by the continuous measurements of the water velocity. V: OŽANIČ, Nevenka (ur.). Savjetovanje Hidrološka mjerenja i obrada podataka, Nacionalni park Plitvička jezera 26.-28. studeni 2008 : zbornik radova : proceedings. Rijeka: Građevinski fakultet Sveučilišta; Zagreb: Hrvatsko hidrološko društvo, 2008, str. 1-14, ilustr. [COBISS.SI-ID 4388705]
- **30. KRYŽANOWSKI, Andrej, HORVAT, Anja, BRILLY, Mitja. Hydro power plants on the Middle Sava River section. V: BRILLY, Mitja (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, (IOP Conference Series, vol. 4). London: Institute of Physics, 2008, str. 1-5, ilustr. <http://iopscience.iop.org/1755-1315/4/1/012033/pdf/ejredirect=.iopscience>, doi: 10.1088/1755-1307/4/1/012033. [COBISS.SI-ID 4405857]
31. ČOTAR, Anton, BRILLY, Mitja. Automatic calibration of the Watbal model. V: BRILLY, Mitja (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, (IOP Conference Series, vol. 4). London: Institute of Physics, 2008, str. 1-8, ilustr. <http://iopscience.iop.org/1755-1315/4/1/012046/pdf/ejredirect=.iopscience>, doi: 10.1088/1755-1307/4/1/012046. [COBISS.SI-ID 4407649]
32. RUSJAN, Simon, MIKOŠ, Matjaž, BRILLY, Mitja. Hydrological and seasonal export mechanisms for nitrate transport from a forested catchment. V: BRILLY, Mitja (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, (IOP Conference Series, vol. 4). London: Institute of Physics, 2008, str. 1-8, ilustr. <http://iopscience.iop.org/1755-1315/4/1/012049/pdf/ejredirect=.iopscience>, doi: 10.1088/1755-1307/4/1/012049. [COBISS.SI-ID 4408161]
33. PRIMOŽIČ, Miha, KOBOLD, Mira, BRILLY, Mitja. The implementation of the HBV model on the Sava River Basin. V: BRILLY, Mitja (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, (IOP Conference Series, vol. 4). London: Institute of Physics, 2008, str. 1-10. <http://iopscience.iop.org/1755-1315/4/1/012004/pdf/ejredirect=.iopscience>, doi: 10.1088/1755-1307/4/1/012004. [COBISS.SI-ID 4403297]
34. HORVAT, Anja, VIDMAR, Andrej, PETAN, Sašo, BRILLY, Mitja. Slovenian Experience in Applicability of Remote Sensing Data in Hydrology. V: BRILLY, Mitja (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, (IOP Conference Series, vol. 4). London: Institute of Physics, 2008, str. 1-12, ilustr. <http://iopscience.iop.org/1755-1315/4/1/012024/pdf/ejredirect=.iopscience>, doi: 10.1088/1755-1307/4/1/012024. [COBISS.SI-ID 4405601]

35. ŠRAJ, Mojca, RUSJAN, Simon, PETAN, Sašo, VIDMAR, Andrej, MIKOŠ, Matjaž, GLOBEVNIK, Lidija, BRILLY, Mitja. The experimental watersheds in Slovenia. V: BRILLY, Mitja (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, (IOP Conference Series, vol. 4). London: Institute of Physics, 2008, str. 1-13, ilustr. <http://iopscience.iop.org/1755-1315/4/1/012051/pdf?ejredirect=.iopscience>, doi: 10.1088/1755-1307/4/1/012051. [COBISS.SI-ID 4408417]
36. MATTHEWS, Dave, BRILLY, Mitja, KOBOLD, Mira, ŽAGAR, Mark, HOUSER, Paul. WaterNet : the NASA water cycle solutions network - Danubian regional applications. V: BRILLY, Mitja (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, (IOP Conference Series, vol. 4). London: Institute of Physics, 2008, str. 1-19, ilustr. <http://iopscience.iop.org/1755-1315/4/1/012048/pdf?ejredirect=.iopscience>, doi: 10.1088/1755-1307/4/1/012048. [COBISS.SI-ID 4407905]
37. HORVAT, Anja, VIDMAR, Andrej, PETAN, Sašo, BRILLY, Mitja. Uporabnost daljinskega zaznavanja snega v Sloveniji. V: KUHAR, Miran (ur.). Raziskave s področja geodezije in geofizike 2008 : zbornik predavanj. V Ljubljani: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2009, str. 35-47, ilustr. [COBISS.SI-ID 4476769]
38. MEZE, Maja, BRILLY, Mitja, MIKOŠ, Matjaž. First statistical analysis of extreme rainfall in Slovenia on 18/9/2007. V: FERRARI, Ennio (ur.), VERSACE, Pasquale (ur.). Analyses and images of hydrological extremes in mediterranean environments : 3rd International Workshop on Hydrological Extremes, University of Calabria Cosenza (Italy), July 10-12, 2008 : proceedings of the workshop : the workshop is a contribution of the AMHY-FRIEND group, "Extreme events", topic, to UNESCO IHP-VII(2008-2013). Cosenza: EdiBios, 2010, str. 55-67, ilustr. [COBISS.SI-ID 5142369]
39. ŠTRUKELJ, Mojca, BRILLY, Mitja, KOBOLD, Mira, MIKOŠ, Matjaž. Preliminary hydrological analysis of the extreme flood in Slovenia on 18/9/2007. V: FERRARI, Ennio (ur.), VERSACE, Pasquale (ur.). Analyses and images of hydrological extremes in mediterranean environments : 3rd International Workshop on Hydrological Extremes, University of Calabria Cosenza (Italy), July 10-12, 2008 : proceedings of the workshop : the workshop is a contribution of the AMHY-FRIEND group, "Extreme events", topic, to UNESCO IHP-VII(2008-2013). Cosenza: EdiBios, 2010, str. 139-147, ilustr. [COBISS.SI-ID 5142625]
40. KRYŽANOWSKI, Andrej, BRILLY, Mitja, RUSJAN, Simon. Contribution of the Suhorka reservoir to the improvement of the ecological state of the Reka River in the Škocjan caves. V: STAMM, Jürgen (ur.). Wasserbau und Umwelt : Anforderungen, Methoden, Lösungen : requirements, techniques, solutions : Dresdner Wasserbaukolloquium, 17.-18. März 2010, (Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen, Heft 40). TU Dresden: Fakultät Bauingenieurwesen Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik, 2010, str. 383-396, ilustr. [COBISS.SI-ID 4947041]

1.09 Objavljeni strokovni prispevek na konferenci

41. BRILLY, Mitja, KOMPARE, Boris, KRYŽANOWSKI, Andrej, RUSJAN, Simon. Ureditev oskrbe prebivalstva s pitno vodo slovenske Istre in zalednega kraškega območja. V: 19. Mišičev vodarski dan 2008, Maribor, 8. december. Zbornik referatov, (Mišičev vodarski dan). Maribor: Vodnogospodarski biro, 2008, str. 184-195, ilustr. [COBISS.SI-ID 4400225]

1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci

- **42.** KOBOLD, Mira, BRILLY, Mitja, ZGONC, Anton. Areal rainfall estimation for hydrological modelling and flood forecasting. V: Abstracts of the contributions of the EGU General Assembly 2007 : Vienna, Austria, 15-20 April 2007, (Geophysical Research Abstracts, Vol. 9). [Katlenburg-Lindau: European Geophysical Society: Copernicus], 2007, 1 str. [COBISS.SI-ID 3529313]
43. PETAN, Sašo, HORVAT, Anja, VIDMAR, Andrej, PADEŽNIK, Matej, BRILLY, Mitja. Measurement of snowmelt recharge of the Ljubljansko Polje aquifer. V: Abstracts of the contributions of the EGU General Assembly 2007 : Vienna, Austria, 15-20 April 2007, (Geophysical Research Abstracts, Vol. 9). [Katlenburg-Lindau: European Geophysical Society: Copernicus], 2007, 1 str. [COBISS.SI-ID 3529825]
44. PADEŽNIK, Matej, ŠTRAUS, Luka, BRILLY, Mitja, VIDMAR, Andrej, RUSJAN, Simon. Seasonal impact of algae on the velocity of the Glinščica stream. V: Abstracts of the contributions of the EGU General Assembly 2007 : Vienna, Austria, 15-20 April 2007, (Geophysical Research Abstracts, Vol. 9). [Katlenburg-Lindau: European Geophysical Society: Copernicus], 2007, 1 str. [COBISS.SI-ID 3530081]
45. ŠRAJ, Mojca, BRILLY, Mitja. Water balance model for Slovenian balance regions. V: Abstracts of the contributions of the EGU General Assembly 2007 : Vienna, Austria, 15-20 April 2007, (Geophysical Research Abstracts, Vol. 9). [Katlenburg-Lindau: European Geophysical Society: Copernicus], 2007, 1 str. [COBISS.SI-ID 3529569]
46. MATTHEWS, David E., BRILLY, Mitja, HOUSER, Paul. WaterNet, the NASA water cycle solutions networks. V: Abstracts of the contributions of the EGU General Assembly 2007 : Vienna, Austria, 15-20 April 2007, (Geophysical Research Abstracts, Vol. 9). [Katlenburg-Lindau: European Geophysical Society: Copernicus], 2007, 1 str. [COBISS.SI-ID 3528801]
47. RUSJAN, Simon, BRILLY, Mitja, MIKOŠ, Matjaž, PADEŽNIK, Matej, VIDMAR, Andrej. Hydrological controls over the seasonal nitrate export mechanisms in a forested watershed. V: Abstracts of the contributions of the EGU General Assembly 2007 : Vienna, Austria, 15-20 April 2007, (Geophysical Research Abstracts, Vol. 9). [Katlenburg-Lindau: European Geophysical Society: Copernicus], 2007, 2 str. [COBISS.SI-ID 3533665]
48. ŠRAJ, Mojca, BRILLY, Mitja. E-learning in hydrology. V: GÓMEZ CHOVA, L. (ur.). INTED 2007 : International technology, education and development conference, March 7th-9th, 2007, Valencia : abstract book. Valencia: International Association of Technology, Education and Development, 2007, str. 305. [COBISS.SI-ID 3499873]
49. ŠRAJ, Mojca, BRILLY, Mitja, PADEŽNIK, Matej, MIKOŠ, Matjaž, GLOBEVNIK, Lidija. The Dragonja Experimental Watershed. V: DOLEŽAL, František (ur.). Water Balance and Runoff / Water Quality Generation in Tile - Drained Agricultural Catchments : Book of Abstracts : Workshop organised on the occasion of annual meeting of ERB and North European Flow Regimes from International Experiment and Network Data Project 5 on "Catchment hydrological and biogeochemical processes in changing environment". Prague: Research Institute for Soil and Water Conservation, 2007, str. 32. [COBISS.SI-ID 3688801]
50. BRILLY, Mitja, HORVAT, Anja, MATTHEWS, Dave, ŠRAJ, Mojca. Climate change impact on mean annual river flows. V: Abstracts of the contributions of the EGU General Assembly 2008 : Vienna, Austria, 13-18 April 2008, (Geophysical Research Abstracts, Vol. 10). [Katlenburg-Lindau: European Geophysical Society: Copernicus], 2008, 1 str. [COBISS.SI-ID 3998049]

51. PETAN, Sašo, RUSJAN, Simon, VIDMAR, Andrej, MIKOŠ, Matjaž, BRILLY, Mitja. Comparison of precipitation measurement instrumentation on the Padež river basin, SW Slovenia. V: Abstracts of the contributions of the EGU General Assembly 2008 : Vienna, Austria, 13-18 April 2008, (Geophysical Research Abstracts, Vol. 10). [Katlenburg-Lindau: European Geophysical Society: Copernicus], 2008, 1 str. [COBISS.SI-ID 4002401]
52. ŠRAJ, Mojca, LAH, Aleš, BRILLY, Mitja. Measurement and analysis of intercepted precipitation of coniferous and deciduous trees. V: Abstracts of the contributions of the EGU General Assembly 2008 : Vienna, Austria, 13-18 April 2008, (Geophysical Research Abstracts, Vol. 10). [Katlenburg-Lindau: European Geophysical Society: Copernicus], 2008, 1 str. [COBISS.SI-ID 3999585]
- **53. VIDMAR, Andrej, BRILLY, Mitja. Water level measurement by self-sufficient equipment. V: Abstracts of the contributions of the EGU General Assembly 2008 : Vienna, Austria, 13-18 April 2008, (Geophysical Research Abstracts, Vol. 10). [Katlenburg-Lindau: European Geophysical Society: Copernicus], 2008, 1 str. [COBISS.SI-ID 3998561]
54. BRILLY, Mitja, RUSJAN, Simon, KOREN, Stanka. How to take action for integrated water management. V: Abstracts of the contributions of the EGU General Assembly 2008 : Vienna, Austria, 13-18 April 2008, (Geophysical Research Abstracts, Vol. 10). [Katlenburg-Lindau: European Geophysical Society: Copernicus], 2008, 2 str. [COBISS.SI-ID 3999329]
55. HORVAT, Anja, RAKOVEC, Jože, KOBOLD, Mira, VERTAČNIK, Gregor, ŠIRCA, Andrej, GORŠAK, Daša, PRIMOŽIČ, Miha, BRILLY, Mitja. Probable maximum flow calculation. V: Abstracts of the contributions of the EGU General Assembly 2008 : Vienna, Austria, 13-18 April 2008, (Geophysical Research Abstracts, Vol. 10). [Katlenburg-Lindau: European Geophysical Society: Copernicus], 2008, 2 str. [COBISS.SI-ID 3998305]
56. GLOBEVNIK, Lidija, VIDMAR, Andrej, BRILLY, Mitja. SARIB project: Data base and Tools for the Sava River Basin. V: Abstracts of the contributions of the EGU General Assembly 2008 : Vienna, Austria, 13-18 April 2008, (Geophysical Research Abstracts, Vol. 10). [Katlenburg-Lindau: European Geophysical Society: Copernicus], 2008, 2 str. [COBISS.SI-ID 4000097]
57. BRILLY, Mitja, KOREN, Stanka. Transboundary integrated water management. V: IV International symposium on Transboundary waters management, Thessaloniki - Greece, 15th - 18th October 2008. Abstracts. Thessaloniki: INWEB, 2008, 3 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 4352865]
58. PETAN, Sašo, PADEŽNIK, Matej, ZORN, Matija, ŠRAJ, Mojca, VIDMAR, Andrej, MIKOŠ, Matjaž, BRILLY, Mitja. Measurements and modelling of rainfall interception and soil erosion processes on the Dragonja experimental river basin. V: MORELL, Marc (ur.). Conference on Water observation and information system for decision support, 27-31 May 2008 Ohrid, Republic of Macedonia. Balwois : abstracts. Skopje: Gradežen fakultet, 2008, str. 371-372. [COBISS.SI-ID 4064865]
59. PRIMOŽIČ, Miha, KOBOLD, Mira, BRILLY, Mitja. The implementation of the HBV model on the Sava river basin. V: BRILLY, Mitja (ur.), ŠRAJ, Mojca (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia, 2-4 June 2008. Conference abstracts. Ljubljana: Slovenian National Committee for the IHP Unesco, 2008, str. 20. [COBISS.SI-ID 4083809]

- **60.** ŠTRAVS, Luka, VIDMAR, Andrej, BRILLY, Mitja. Development and verification of the Sava river low flow forecasting system. V: BRILLY, Mitja (ur.), ŠRAJ, Mojca (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia, 2-4 June 2008. Conference abstracts. Ljubljana: Slovenian National Committee for the IHP Unesco, 2008, str. 26. [COBISS.SI-ID 4084577]
61. BRILLY, Mitja, HORVAT, Anja. Calculation of PMP and PMF. V: BRILLY, Mitja (ur.), ŠRAJ, Mojca (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia, 2-4 June 2008. Conference abstracts. Ljubljana: Slovenian National Committee for the IHP Unesco, 2008, str. 39. [COBISS.SI-ID 4083553]
- **62.** ŠTRAVS, Luka, BRILLY, Mitja. Estimation of the shares of the Slovenian Sava river's tributaries in the Sava river's mean daily flow at the time of hydrological droughts. V: BRILLY, Mitja (ur.), ŠRAJ, Mojca (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia, 2-4 June 2008. Conference abstracts. Ljubljana: Slovenian National Committee for the IHP Unesco, 2008, str. 76. [COBISS.SI-ID 4085089]
63. BRILLY, Mitja, VIDMAR, Andrej, PETAN, Sašo, HORVAT, Anja. Snowmelt impact on groundwater flow of the Ljubljansko polje aquifer. V: BRILLY, Mitja (ur.), ŠRAJ, Mojca (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia, 2-4 June 2008. Conference abstracts. Ljubljana: Slovenian National Committee for the IHP Unesco, 2008, str. 93. [COBISS.SI-ID 4085601]
64. GLOBEVNIK, Lidija, BRILLY, Mitja, VIDMAR, Andrej, PADEŽNIK, Matej, ŠRAJ, Mojca, PETAN, Sašo. Development of DPSIR indicators for the Sava river catchment. V: BRILLY, Mitja (ur.), ŠRAJ, Mojca (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia, 2-4 June 2008. Conference abstracts. Ljubljana: Slovenian National Committee for the IHP Unesco, 2008, str. 144. [COBISS.SI-ID 4061281]
65. KOREN, Stanka, RUSJAN, Simon, BRILLY, Mitja. How to take action for integrated water management. V: BRILLY, Mitja (ur.), ŠRAJ, Mojca (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia, 2-4 June 2008. Conference abstracts. Ljubljana: Slovenian National Committee for the IHP Unesco, 2008, str. 148. [COBISS.SI-ID 4083297]
- **66.** BRILLY, Mitja, KRYŽANOWSKI, Andrej, HORVAT, Anja. Hydropower plants on the Sava river. V: BRILLY, Mitja (ur.), ŠRAJ, Mojca (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia, 2-4 June 2008. Conference abstracts. Ljubljana: Slovenian National Committee for the IHP Unesco, 2008, str. 151. [COBISS.SI-ID 4083041]
67. PETAN, Sašo, HORVAT, Anja, PADEŽNIK, Matej, MIKOŠ, Matjaž, GLOBEVNIK, Lidija, BRILLY, Mitja. Gravel bar sampling along the Sava river. V: BRILLY, Mitja (ur.), ŠRAJ, Mojca (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia, 2-4 June 2008. Conference abstracts. Ljubljana: Slovenian National Committee for the IHP Unesco, 2008, str. 194. [COBISS.SI-ID 4082529]

68. BRILLY, Mitja, ŠRAJ, Mojca, VIDMAR, Andrej, PADEŽNIK, Matej, HORVAT, Anja. Hydrological and hydrotechnic study providing an overall solution and calculations for the greater area of local detailed plan Zapoge (Slovenia). V: BRILLY, Mitja (ur.), ŠRAJ, Mojca (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia, 2-4 June 2008. Conference abstracts. Ljubljana: Slovenian National Committee for the IHP Unesco, 2008, str. 210. [COBISS.SI-ID 4079201]
69. KATSIRI, Aleksandra, BRILLY, Mitja, DROBOT, Radu, IVETIČ, Marko, MAKROPOULOS, Cristos, ASSIMACOPOULOS, Dionysis, BAKI, Sandra, MAKSIMOVIĆ, Čedo. EDUCATE! An international e-learning postgraduate course in water resources and environmental mangement. V: BRILLY, Mitja (ur.), ŠRAJ, Mojca (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia, 2-4 June 2008. Conference abstracts. Ljubljana: Slovenian National Committee for the IHP Unesco, 2008, str. 212. [COBISS.SI-ID 4077921]
70. MATTHEWS, Dave, BRILLY, Mitja, KOBOLD, Mira, ŽAGAR, Mark, HOUSER, Paul. WATERNET : the NASA water cycle solutions network - Danubian regional applications. V: BRILLY, Mitja (ur.), ŠRAJ, Mojca (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia, 2-4 June 2008. Conference abstracts. Ljubljana: Slovenian National Committee for the IHP Unesco, 2008, str. 215. [COBISS.SI-ID 4077665]
71. RUSJAN, Simon, MIKOŠ, Matjaž, BRILLY, Mitja, PADEŽNIK, Matej, VIDMAR, Andrej. Hydrological and seasonal controls of nitrate mobilization from a forested catchment. V: BRILLY, Mitja (ur.), ŠRAJ, Mojca (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia, 2-4 June 2008. Conference abstracts. Ljubljana: Slovenian National Committee for the IHP Unesco, 2008, str. 218. [COBISS.SI-ID 4077409]
72. BRILLY, Mitja, RUSJAN, Simon, PADEŽNIK, Matej, VIDMAR, Andrej. The Glinščica stream experimental watershed. V: BRILLY, Mitja (ur.), ŠRAJ, Mojca (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia, 2-4 June 2008. Conference abstracts. Ljubljana: Slovenian National Committee for the IHP Unesco, 2008, str. 219. [COBISS.SI-ID 4075873]
73. ŠRAJ, Mojca, RUSJAN, Simon, MIKOŠ, Matjaž, PETAN, Sašo, VIDMAR, Andrej, BRILLY, Mitja. The experimental watersheds in Slovenia. V: BRILLY, Mitja (ur.), ŠRAJ, Mojca (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia, 2-4 June 2008. Conference abstracts. Ljubljana: Slovenian National Committee for the IHP Unesco, 2008, str. 222. [COBISS.SI-ID 4075617]
- **74. VIDMAR, Andrej, BRILLY, Mitja. Recent technology for water level measurement. V: BRILLY, Mitja (ur.), ŠRAJ, Mojca (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia, 2-4 June 2008. Conference abstracts. Ljubljana: Slovenian National Committee for the IHP Unesco, 2008, str. 224. [COBISS.SI-ID 4075361]
- **75. KRYŽANOWSKI, Andrej, TOMŠIČ, Ladislav, PORENTA, Marijan, BRILLY, Mitja. Hydropower potential and development opportunities : 12.01. V: Hydro 2008 : [progressing world hydro development] : Ljubljana, Slovenia 6 to 8 October 2008 : abstracts. Sutton: Aqua-Media International, 2008. [COBISS.SI-ID 4363617]

76. ŠTRAVS, Luka, VIDMAR, Andrej, BRILLY, Mitja. The Sava river low flow forecasting system : 3.04. V: Hydro 2008 : [progressing world hydro development] : Ljubljana, Slovenia 6 to 8 October 2008 : abstracts. Sutton: Aqua-Media International, 2008. [COBISS.SI-ID 4363361]
77. MATTHEWS, Dave, BRILLY, Mitja. Anthropogenic water augmentation in major american river basins through cloud seeding to enhance snowpack. Geophys. res. abstr. (Online), 2009, letn. 11, 1 str. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2009/EGU2009-3262.pdf>. [COBISS.SI-ID 4629857]
- **78. ŠTRAVS, Luka, BRILLY, Mitja. Contribution of the tributaries of the Sava River to its mean daily flow at the time of hydrological droughts. Geophys. res. abstr. (Online), 2009, letn. 11, 1 str. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2009/EGU2009-6809-3.pdf>. [COBISS.SI-ID 4615009]
79. KOBOLD, Mira, BRILLY, Mitja. Estimation of extremely high runoff of the Selška Sora River after the storm of 18 September 2007. Geophys. res. abstr. (Online), 2009, letn. 11, 1 str. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2009/EGU2009-2920.pdf>. [COBISS.SI-ID 4615265]
- **80. ŠTRAVS, Luka, BRILLY, Mitja. How does the 6-hour lead time flood forecast issued by the M5 model tree for the Krka River really look like?. Geophys. res. abstr. (Online), 2009, letn. 11, 1 str. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2009/EGU2009-6773.pdf>. [COBISS.SI-ID 4614497]
81. BRILLY, Mitja, RUSJAN, Simon, MIKOŠ, Matjaž. Hydrological characteristics of the Reka river catchment on a flysch - karst contact. Geophys. res. abstr. (Online), 2009, letn. 11, 1 str. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2009/EGU2009-9153.pdf>. [COBISS.SI-ID 4599137]
82. BRAČIČ-ŽELEZNIK, Branka, HORVAT, Anja, BRILLY, Mitja. Impact of river regulation development of Iška River on Iški Vršaj aquifer. Geophys. res. abstr. (Online), 2009, letn. 11, 1 str. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2009/EGU2009-9205.pdf>. [COBISS.SI-ID 4631393]
83. BRILLY, Mitja, SAVIČ, Vlado. Impact of river regulation works on morphological processes of the Sava River and on the Ljubljansko Polje aquifer. Geophys. res. abstr. (Online), 2009, letn. 11, 1 str. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2009/EGU2009-6952.pdf>. [COBISS.SI-ID 4616033]
84. HORVAT, Anja, BRILLY, Mitja, VIDMAR, Andrej, KOBOLD, Mira. The impact of snow melt on surface runoff of Sava river in Slovenia. Geophys. res. abstr. (Online), 2009, letn. 11, 1 str. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2009/EGU2009-2086.pdf>. [COBISS.SI-ID 4629345]
85. ŠRAJ, Mojca, DIRNBEK, Luka, BRILLY, Mitja. Influence of rainfall excess on modeled hydrograph. Geophys. res. abstr. (Online), 2009, letn. 11, 1 str. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2009/EGU2009-2944.pdf>. [COBISS.SI-ID 4629601]
86. KOBOLD, Mira, BRILLY, Mitja, KOREN, Stanka. Influence of water use of the Kamniška Bistrica river on low flows. Geophys. res. abstr. (Online), 2009, letn. 11, 1 str. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2009/EGU2009-11587.pdf>. [COBISS.SI-ID 4615521]

87. ŠTRAVS, Luka, BRILLY, Mitja. Low flow forecasting with data driven models that include and models that do not include hydrological knowledge - a comparison study. Geophys. res. abstr. (Online), 2009, letn. 11, 1 str. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2009/EGU2009-12270.pdf>. [COBISS.SI-ID 4614753]
- **88. VIDMAR, Andrej, BRILLY, Mitja, RUSJAN, Simon. Practical Experience of Discharge Measurement in Flood Conditions with ADP. Geophys. res. abstr. (Online), 2009, letn. 11, 1 str. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2009/EGU2009-12383.pdf>. [COBISS.SI-ID 4631905]
89. ČOTAR, Anton, GRABEC, Igor, BRILLY, Mitja. Use of normalized radial basis function in hydrology. Geophys. res. abstr. (Online), 2009, letn. 11, 1 str. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2009/EGU2009-4027-1.pdf>. [COBISS.SI-ID 4620129]
90. KOREN, Stanka, BRILLY, Mitja, BIZJAK, Aleš. Which kind of hydrological observation and hydrological analysis we need for implementation of EU directives. Geophys. res. abstr. (Online), 2009, letn. 11, 1 str. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2009/EGU2009-12370.pdf>. [COBISS.SI-ID 4615777]
91. MATTHEWS, Dave, BRILLY, Mitja, GREGORIČ, Gregor, POLAJNAR, Janez, HOUSER, Paul, RODELL, Matt, LEHNING, Michael. Community of Practice Applications from WaterNet: The NASA Water Cycle Solutions Network. Geophys. res. abstr. (Online), 2009, letn. 11, 2 str. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2009/EGU2009-3295.pdf>. [COBISS.SI-ID 4631649]
92. ŠTRAVS, Luka, VOŠNJAK, Staša, BRILLY, Mitja. Development and comparison of two types of models for estimation of the flow duration curves in the ungauged basins in the Sava River Basin. Geophys. res. abstr. (Online), 2010, letn. 12, 1 str. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2010/EGU2010-14585.pdf>. [COBISS.SI-ID 5165665]
93. BRILLY, Mitja, VIDMAR, Andrej, ŠRAJ, Mojca. Probably maximum flood of the Sava river. Geophys. res. abstr. (Online), 2010, letn. 12, 1 str. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2010/EGU2010-14369.pdf>. [COBISS.SI-ID 5131361]

1.16 Samostojni znanstveni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji

94. BRILLY, Mitja. Local flood defence systems in Europe. V: ASHLEY, Richard M. (ur.). Advances in urban flood management. Leiden; New York: Taylor & Francis, cop. 2007, str. 321-338. [COBISS.SI-ID 3432033]
- **95. ŠTRAVS, Luka, BRILLY, Mitja, ŠRAJ, Mojca. Precipitation interception modelling using machine learning methods - the Dragonja river basin case study. V: ABRAHART, Robert J. (ur.), SEE, Linda M. (ur.), SOLOMATINE, Dimitri P. (ur.). Practical hydroinformatics : computational intelligence and technological developments in water applications, (Water science and technology library, 68). Berlin; London: Springer, 2008, str. 347-358, ilustr. [COBISS.SI-ID 4352609]
96. BRILLY, Mitja. Danube river basin coding : Chapter 4. V: BRILLY, Mitja (ur.). Hydrological Processes of the Danube River Basin : Perspectives from the Danubian Countries. Dordrecht; Heidelberg; London: Springer, 2010, str. 125-141, ilustr. [COBISS.SI-ID 5162849]

97. GLOBEVNIK, Lidija, MIKOŠ, Matjaž, PADEŽNIK, Matej, PETAN, Sašo, PETKOVŠEK, Ana, VIDMAR, Andrej, MILAČIČ, Radmila, ŠČANČAR, Janez, HEATH, Ester, OGRINC, Nives, BRILLY, Mitja. SARIB : Chapter 13. V: BRILLY, Mitja (ur.). Hydrological Processes of the Danube River Basin : Perspectives from the Danubian Countries. Dordrecht; Heidelberg; London: Springer, 2010, str. 389-428, ilustr., doi: 10.1007/978-90-481-3423-6. [COBISS.SI-ID 5109601]

1.17 Samostojni strokovni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji

98. MAJES, Bojan, BRILLY, Mitja. Oddelek za okoljsko gradbeništvo. V: Jubilejni zbornik ob devetdesetletnici Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2009, str. 274-275, ilustr. [COBISS.SI-ID 4930913]

99. BRILLY, Mitja. Katedra za splošno hidrotehniko (KSH). V: Jubilejni zbornik ob devetdesetletnici Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2009, str. 312-315, ilustr. [COBISS.SI-ID 4931681]

1.21 Polemika, diskusijski prispevek

100. BRILLY, Mitja, RUSJAN, Simon. Strokovne pripombe na članek prof. M. Rismala; Hidrologija v funkciji rešitev. Gradb. vestn., oktober 2008, letn. 57, št. 10, str. 287-289, ilustr. [COBISS.SI-ID 4350049]

MONOGRAFIJE IN DRUGA ZAKLJUČENA DELA

2.05 Drugo učno gradivo

101. ŠRAJ, Mojca, NARTNIK, Miha, BRILLY, Mitja. Priročnik za uporabo programa MODFLOW in 3D Groundwater Explorerja. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2009. VI, 247 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 4758113]

102. ŠRAJ, Mojca, NARTNIK, Miha, BRILLY, Mitja. Priročnik za uporabo programa MODFLOW in 3D Groundwater Explorerja. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2009. 1 el. optični disk (CD-ROM). [COBISS.SI-ID 4758369]

2.13 Elaborat, predštudija, študija

103. BRILLY, Mitja, VIDMAR, Andrej, PADEŽNIK, Matej, RUSJAN, Simon. Dopolnitev hidroloških raziskav za potrebe projekta "Ureditev oskrbe prebivalstva s pitno vodo slovenske Istre in zalednega kraškega območja" : Hidrološki monitoring na prispevnem območju Padeža in reke Reke. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko, 2007. 33 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 3870817]

104. VUKADIN, Vladimir, BRILLY, Mitja, VIDMAR, Andrej, GOLČMAN RIBIČ, Simona. Hidrogeološki monitoring na območju bazenov HE Blanca in HE Krško : letno poročilo od junija 2006 do maja 2007 : št.: ic 168/2007. Ljubljana: IRGO Consulting, maj 2007. 28 f., 2 pril., ilustr., načrti. [COBISS.SI-ID 1273059]

105. VUKADIN, Vladimir, BRILLY, Mitja, VIDMAR, Andrej, GOLČMAN RIBIČ, Simona. Hidrogeološki monitoring na območju bazenov HE Blanca in HE Krško : št.: ic 86/2007. Ljubljana: IRGO Consulting, marec 2007. 29 f., 2 pril., ilustr., načrti. [COBISS.SI-ID 1253859]

106. BRILLY, Mitja, ŠRAJ, Mojca, VIDMAR, Andrej, PADEŽNIK, Matej, HORVAT, Anja. Hidrološko - hidrotehnična študija s prikazom celovite rešitve in hidrotehničnimi izračuni za širše območje OLN Zapoge 1 v ureditvenem območju ŠS 14/7 : poročilo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko, 2007. 38 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 3877729]
107. BRILLY, Mitja, ŠRAJ, Mojca, KOBOLD, Mira, PRIMOŽIČ, Miha, PADEŽNIK, Matej, PETAN, Sašo, RUSJAN, Simon, HORVAT, Anja. Izvedba hidrološko - hidravlične presoje vodnega režima in ostalih hidroloških podlag za potrebe umeščanja odlagališča NSRAO v prostor : poročilo 1. faze projekta. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko, 2007. 39 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 3879777]
108. BRILLY, Mitja, RAKOVEC, Jože, KOBOLD, Mira, ŠIRCA, Andrej, GORŠAK, Daša, VERTAČNIK, Gregor, PRIMOŽIČ, Miha, HORVAT, Anja. Medsebojni vpliv infrastrukturnih in energetskih ureditev na spodnji Savi v času izrednih hidroloških dogodkov - model Save - Izračun verjetne visoke vode "PMF" : končno poročilo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko, 2007. 75 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 3878241]
109. BRILLY, Mitja, VIDMAR, Andrej, PADEŽNIK, Matej, PETAN, Sašo. Nadaljevanje razvoja sistema za hidrološke meritve na Savi in izdelava operativnih modelov za napoved nizkih pretokov vode : Končno poročilo. Ljubljana: Katedra za splošno hidrotehniko, 2007. 18 f., ilustr., pril. [COBISS.SI-ID 3876705]
- **110. BRILLY, Mitja, KRYŽANOWSKI, Andrej, HORVAT, Anja, GUBINA, Andrej. Pregled stanja vodnega potenciala v Sloveniji : pregled zbrane dokumentacije : poročilo 1. faze projekta. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko, 2007. 109 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 3879521]
111. BRILLY, Mitja. Report on the study of the groundwater impact on runoff formation : 2nd project report. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko, 2007. 53 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 3879009]
112. BRILLY, Mitja. Water discharge evaluation using a snow melt runoff model : AWARE - a tool for monitoring and forecasting Available Water Resource in mountain environment : 2nd project report. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko, 2007. 38 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 3878753]
113. BRILLY, Mitja, HORVAT, Anja, KOBOLD, Mira, PETAN, Sašo, ŠTRAVS, Luka, VIDMAR, Andrej, STUŠEK, Simon, PADEŽNIK, Matej. Final report on the study the groundwater impact on runoff formation : AWARE - a tool for monitoring and forecasting Available Water Resource in mountain environment : specific targeted research project : priority 4: Aeronautic and space. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko, 2008. 105 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 4030561]
114. BRILLY, Mitja, ŠRAJ, Mojca, VIDMAR, Andrej. Hidrološka študija visokih vod Rogatnice in Maceljščice s pritoki na odseku AC Draženci - Gruškovje : poročilo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko, 2008. 36 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 4190817]

115. BRILLY, Mitja, RAKOVEC, Jože, KOBOLD, Mira, ŠIRCA, Andrej, GORŠAK, Daša, VERTAČNIK, Gregor, PRIMOŽIČ, Miha, HORVAT, Anja. Interaction of infrastructure and energy systems on the Lower Sava river during extreme hydrological events : The Sava river model : calculation of the probable maximum flood (PMF) : final report. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko, 2008. 69 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 4300897]
116. BRILLY, Mitja, HORVAT, Anja, KOBOLD, Mira, RAKOVEC, Jože, ŠIRCA, Andrej, GORŠAK, Daša, VERTAČNIK, Gregor, PRIMOŽIČ, Miha. Medsebojni vpliv infrastrukturnih in energetskih ureditev na spodnji Savi v času izrednih hidroloških dogodkov : model Save : izračun verjetne visoke vode (PMF). Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko, 2008. 94 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 4035425]
117. KRYŽANOWSKI, Andrej, BRILLY, Mitja, VIDMAR, Andrej, HORVAT, Anja, GUBINA, Andrej, GUBINA, Ferdinand, ZLATAR, Iztok, KOZAN, Borut, STOJICH, Zoran, JAVORNIK, Luka. Pregled stanja vodnega potenciala v Republiki Sloveniji. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko, 2008. 85 str., pril., ilustr. [COBISS.SI-ID 4301409]
118. KRYŽANOWSKI, Andrej, KOMPARE, Boris, ATANASOVA, Nataša, URŠIČ, Matej, ŠKERJANEC, Mateja, BRILLY, Mitja, RUSJAN, Simon, ČOTAR, Anton, STOJICH, Zoran. Ureditev oskrbe prebivalstva s pitno vodo slovenske Istre in zalednega kraškega območja. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko: Inštitut za zdravstveno hidrotehniko, 2008. 91 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 4306529]
119. KRYŽANOWSKI, Andrej, KOMPARE, Boris, ATANASOVA, Nataša, URŠIČ, Matej, ŠKERJANEC, Mateja, BRILLY, Mitja, RUSJAN, Simon, ČOTAR, Anton, STOJICH, Zoran. Ureditev oskrbe prebivalstva s pitno vodo slovenske Istre in zalednega kraškega območja : razširjeni povzetek. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko: Inštitut za zdravstveno hidrotehniko, 2008. 15 f. [COBISS.SI-ID 4306273]
120. ŠRAJ, Mojca, BRILLY, Mitja. Dopolnitev hidrološke študije visokih vod Rogatnice in Maceljščice : poročilo. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko, 2009. 35 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 5078881]
121. ŠRAJ, Mojca, VIDMAR, Andrej, BRILLY, Mitja. Hidrološka študija visokih vod potokov Hercegovščak in Črešnjevski potok : poročilo. Ljubljana: UL FGG, Katedra za splošno hidrotehniko, 2010. 29 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 5099617]
122. ŠRAJ, Mojca, VIDMAR, Andrej, BRILLY, Mitja. Hidrološka študija visokih vod Ščavnice : poročilo. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko, 2010. 33 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 5079137]
123. ŠRAJ, Mojca, BRILLY, Mitja. Ocena teoretičnih visokih vod Q100 v profilih Save bohinjke in pritokov : poročilo. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko, 2010. 1 zv. [loč. pag.], ilustr. [COBISS.SI-ID 5130849]

2.15 Izvedensko mnenje, arbitražna odločba

124. KOMPARE, Boris, BRILLY, Mitja, ATANASOVA, Nataša, URŠIČ, Matej, BABIČ, Renato, HORVAT, Anja, KRYŽANOWSKI, Andrej. Izredni dogodek onesnaženja na vodovodnem sistemu na območju Pirana in Bernardina, junij in julij 2008 : Vodovod Portorož-Bernardin : prevezava obstoječega AC DN 300 na novi LŽ DN 300 : poročilo o izrednem dogodku : strokovno mnenje. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za zdravstveno hidrotehniko, 2008. 15 f., pril., ilustr. [COBISS.SI-ID 4302433]

IZVEDENA DELA (DOGODKI)

3.11 Radijski ali TV dogodek

125. UDOVČ, Andrej, BRILLY, Mitja, GREGORČIČ, Branko. Vzroki in posledice obsežnih naravnih katastrof : oddaja Intelekt. Ljubljana: Radio Slovenija A1, 13. maj 2008. [COBISS.SI-ID 5538425]

SEKUNDARNO AVTORSTVO

Urednik

126. XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia, 2-4 June 2008, BRILLY, Mitja (ur.), ŠRAJ, Mojca (ur.). Conference abstracts. Ljubljana: Slovenian National Committee for the IHP Unesco, 2008. XVII, 224 str., ilustr. ISBN 978-961-91090-3-8. [COBISS.SI-ID 239059456]

127. XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia, 2-4 June 2008, BRILLY, Mitja (ur.), ŠRAJ, Mojca (ur.). Conference papers. Ljubljana: Slovenian National Committee for the IHP Unesco, 2008. 1 optični disk (CD-ROM). ISBN 978-961-91090-2-1. [COBISS.SI-ID 239059200]

128. BRILLY, Mitja (ur.). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, (IOP Conference Series, vol. 4). London: Institute of Physics, 2008. <http://www.iop.org/EJ/abstract/1755-1315/4/1/011001>. [COBISS.SI-ID 29272109]

129. Jubilejni zbornik ob devetdesetletnici Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2009. 591 str., ilustr. ISBN 978-961-6167-92-5. [COBISS.SI-ID 248476160]

130. BRILLY, Mitja (ur.). Hydrological Processes of the Danube River Basin : Perspectives from the Danubian Countries. Dordrecht; Heidelberg; London: Springer, 2010. XIV, 436 str., ilustr. ISBN 978-90-481-3422-9. ISBN 978-90-481-3423-6. [COBISS.SI-ID 5109345]

131. Acta hydrotechnica. Brilly, Mitja (član uredniškega odbora 1996-). [Tiskana izd.]. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 1983-. ISSN 0352-3551. <http://ksh.fgg.uni-lj.si/ksh/acta/>. [COBISS.SI-ID 3664386]

Mentor pri doktorskih disertacijah

132. VIŽINTIN, Goran. Ocena zablatenosti brežin rečnih akumulacij z analizo periodičnih nihanj gladin in temperatur podzemne vode : [doktorska disertacija]. Ljubljana: [G. Vižintin], 2007. XIII, 69 str., [13] f. pril., ilustr. [COBISS.SI-ID 3427681]

133. KOBOLD, Mira. Vpliv napake ocene padavin na napako napovedi odtoka pri napovedovanju poplav : [doktorska disertacija]. Ljubljana: [M. Kobold], 2007. XVI, 134 str., ilustr., preglednice. [COBISS.SI-ID 3516257]

Mentor pri magistrskih delih

****134.** ŠTRAVS, Luka. Razvoj modelov napovedi nizkih pretokov na vtokih v hidroelektrarne na reki Savi : magistrsko delo = Development of the low forecasting models of the Sava River hydro-power plants : master of science thesis. Ljubljana: [L. Štaraus], 2009. XIII, 113 str., pril., ilustr. 1 optični disk (CD ROM), 12 cm. [COBISS.SI-ID 4700513]

****135.** HORVAT, Anja. Vloga snega v hidrološkem krogu na porečje Save : magistrsko delo = The role of snow in the hydrological cycle on the Sava River basin : master of science thesis. Ljubljana: [A. Horvat], 2009. XX, 105 str., pril., ilustr. 1 optični disk (CD ROM), 12 cm. [COBISS.SI-ID 4705633]

Mentor pri diplomskih delih

136. JERIHA, Žiga. Idejni projekt protipoplavne ureditve kopališkega objekta v Škofji Loki : diplomska naloga = Design project of floodproofing the bath structure in Škofja Loka : graduation thesis. Ljubljana: [Ž. Jeriha], 2007. XIII, 59 f., pril., ilustr. [COBISS.SI-ID 3734113]

137. LAH, Aleš. Meritve in analiza prestreženih padain : diplomska naloga = Measurement and analysis of intercepted precipitation : graduation thesis. Ljubljana: [A. Lah], 2007. XII, 110 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 3597665]

138. RASPOR, Kristina. Meritve in analiza transpiracije listatega gozda na povodju Dragonje : diplomska naloga = measurements and analysis of transpiration of deciduous forest on dragonja catchment : graduation thesis. Ljubljana: [K. Raspor], 2007. XIII, 88 str., pril., ilustr. [COBISS.SI-ID 3607393]

139. PRIMOŽIČ, Miha. Umerjanje HBV modela za porečje reke Save v Sloveniji : diplomska naloga = Calibration of the HBV model for the Sava Watershed in Slovenia : graduation thesis. Ljubljana: [M. Primožič], 2007. XII, 81 str., pril., ilustr. [COBISS.SI-ID 3863137]

140. HRAST, Vasja. Ureditev plovbe na Ljubljani : diplomska naloga = Regulation of navigation on the river Ljubljana : graduation thesis. Ljubljana: [V. Hrast], 2007. XI, 65 str., pril., ilustr. [COBISS.SI-ID 3593057]

141. ČOTAR, Anton. Vodna bilanca reke Save : razvoj algoritma Petton za kalibracijo modela Watbal : diplomska naloga = Water balance of the Sava River : development of the Petton algorithm for calibration of the Watbal model : graduation thesis. Ljubljana: [A. Čotar], 2007. XII, 52 str., pril., ilustr. [COBISS.SI-ID 3733857]

142. ZAKRAJŠEK, Janez. Predlog druge določitve vodnih teles površinskih voda v Sloveniji : diplomska naloga = Proposal for second delineation of surface water bodies in Slovenia : graduation thesis. Ljubljana: [J. Zakrajšek], 2008. XIV, 82 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 4068449]

143. BUČEK, Petra. Analiza vodnega in pribrežnega zemljišča Malega grabna : diplomska naloga = Analysis of water and waterside land of the Mali Graben Stream : graduation thesis. Ljubljana: [P. Buček], 2008. XII, 99 str., pril., ilustr. 1 optični disk (CD ROM). [COBISS.SI-ID 4106593]

144. ŠTRUKELJ, Mojca. Poplave v Sloveniji 18.9.2007 : diplomska naloga = Floods in Slovenia 18.8.2007 : graduation thesis. Ljubljana: [Ž. Jeriha], 2008. XII, 82 str., pril., ilustr. [COBISS.SI-ID 4011105]

145. STUŠEK, Simon. Uporabnost satelitskih posnetkov za potrebe snežne hidrologije v slovenskem prostoru : diplomska naloga = Use of satellite images for snow hydrology in Slovenia : graduation thesis. Ljubljana: [S. Stušek], 2008. XIII, 58 str., pril., ilustr. [COBISS.SI-ID 4011617]

146. SAVIĆ, Vlado. Analiza podatkov opazovanj in optimizacija merilne mreže glede na različne potrebe izkoriščanja voda : diplomska naloga = Monitoring data analysis and monitoring network optimization according to the various needs of water use : graduation thesis. Ljubljana: [V. Savić], 2009. XIX, 115 str., pril., ilustr. 1 optični disk (CD-ROM). [COBISS.SI-ID 4470113]
147. RANFL, Miha. Idejna študija obnove male HE Kitič : diplomska naloga = Outline scheme of small hydroelectric power station Kitič on Bohinjska Bistrica : graduation thesis. Ljubljana: [M. Ranfl], 2009. X, 96 str., pril., ilustr. [COBISS.SI-ID 4760417]
148. LEBAR, Peter. Plovba na reki Ljubljanici v kontekstu varovanja Natura 2000 : diplomska naloga = Boating activities on Ljubljanica River within the context of Natura 2000 environmental protection programme : graduation thesis. Ljubljana: [P. Lebar], 2009. XI, 127 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 4694881]
149. BOGATAJ, Jure. Problematika nizkih pretokov Kamniške Bistrice med Kamnikom in Domžalami : diplomska naloga = The issue of low flows of the Kamniška Bistrica River between Kamnik and Domžale : graduation thesis. Ljubljana: [J. Bogataj], 2009. XXVII, 123 str., pril., ilustr. [COBISS.SI-ID 4760673]
150. BLAŽIČ, Blaž. Protipoplavna zaščita jugozahodnega dela Ljubljane : diplomska naloga = Flood protection of southwest part of Ljubljana : graduation thesis. Ljubljana: [B. Blažič], 2010. XVI, 93 str., pril., ilustr. Optični disk (CD-ROM). [COBISS.SI-ID 4952161]

ANDREJ FERDO GUBINA [14528]

Osebna bibliografija za obdobje 2007-2010

1.01 Izvirni znanstveni članek

1. KOZAN, Borut, ZLATAR, Iztok, PARAVAN, Dejan, GUBINA, Andrej. Vpliv ukrepov zniževanja izpustov CO₂ na dolgoročno načrtovanje proizvodnje na trgu z električno energijo. Elektroteh. vestn., 2009, letn. 76, št. 3, str. 145-153, ilustr. [COBISS.SI-ID 7500116]
- **2. ZLATAR, Iztok, KLADNIK, Blaž, GOLOB, Robert, GUBINA, Andrej. Vodenje porabe in njena elastičnost na trgu z električno energijo. Elektroteh. vestn., 2009, letn. 76, št. 3, str. 154-160, ilustr. [COBISS.SI-ID 7260244]
3. HALILČEVIĆ, Suad S., GUBINA, Ferdinand, GUBINA, Andrej. Prediction of power system security levels. IEEE trans. power syst.. [Print ed.], Feb. 2009, vol. 24, no. 1, str. 368-377, ilustr. [COBISS.SI-ID 6879572]
- **4. TALJAN, Gregor, GUBINA, Andrej. Energy-based system well-being analysis for small systems with intermittent renewable energy sources. Renew. energy. [Print ed.], Dec. 2009, vol. 34, no. 12, str. 2651-2661, ilustr. [COBISS.SI-ID 7200596]
- **5. HALILČEVIĆ, Suad S., GUBINA, Ferdinand, GUBINA, Andrej. The uniform fuzzy index of power system security. Eur. trans. electr. power, Sep. 2010, vol. 20, no. 6, str. 785-799, ilustr. [COBISS.SI-ID 7896404]
- **6. BARTELJ, Ludvik, PARAVAN, Dejan, GUBINA, Andrej, GOLOB, Robert. Valuating risk from sales contract offer maturity in electricity market. Electr. power energy syst.. [Print ed.], Feb. 2010, vol. 32, no. 2, str. 147-155, ilustr., doi: 10.1016/j.ijepes.2009.06.022. [COBISS.SI-ID 7220820]

1.04 Strokovni članek

7. GUBINA, Andrej. Virtual Balkan Power Centre for Renewable Energy Sources. See-science.eu. [Tiskana izd.], Spring 2007, str. 11. [COBISS.SI-ID 6189652]

1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci

8. TALJAN, Gregor, MAKSIĆ, Miloš, GUBINA, Andrej. Energy based system well-being analysis. V: 2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting : 24-28 June 2007, Tempa, Florida USA, (IEEE Power Engineering Society General Meeting, 1932-5517). [Piscataway]: IEEE, cop. 2007, str. 1-7, ilustr. [COBISS.SI-ID 6041684]
9. GUBINA, Andrej, GOLOB, Robert. Application of local ANN controllers for power system secondary voltage control. V: ZUPANČIČ, Borut (ur.), KARBA, Rihard (ur.), BLAŽIČ, Sašo (ur.). 6th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation, Ljubljana, Slovenia, 9-13 September, 2007. EUROSIM 2007 : proceedings of the 6th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation, 9-13 September 2007, Ljubljana, Slovenia. Vol. 2, Full papers. Vienna: ARGESIM, cop. 2007, str. 1-7, ilustr. [COBISS.SI-ID 6186580]
10. URBANČIČ, Andreja, LAH, Polona, ČESEN, Matjaž, TOMŠIČ, Mihael Gabrijel, MERŠE, Stane, GUBINA, Andrej, ZLATAR, Iztok, KOZAN, Borut. Strateška izhodišča za pripravo dolgoročnih energetske bilanc 2005-2030. V: PANTOŠ, Miloš (ur.), KITANOVIĆ, Aleksandar (ur.). 8. konferenca slovenskih elektroenergetikov, Čatež, 28. maj - 1. junij 2007. Osmo konferenca slovenskih elektroenergetikov, Terme Čatež, 28. maj - 1. junij 2007 : [zbornik referatov]. Ljubljana: Društvo Slovenski komite CIGRÉ - CIRED, 2007, zv. CIGRÉ 2, str. C1/13-C1/20, ilustr. [COBISS.SI-ID 5925460]
- **11. ZLATAR, Iztok, GUBINA, Andrej, TALJAN, Gregor, KOZAN, Borut, LORENCIN, Ivan, STRMČNIK, Boštjan, MARINŠEK, Miran. Gospodarjenje s tehničnimi sredstvi prenosnega podjetja v pogojih trga z električno energijo. V: PANTOŠ, Miloš (ur.), KITANOVIĆ, Aleksandar (ur.). 8. konferenca slovenskih elektroenergetikov, Čatež, 28. maj - 1. junij 2007. Osmo konferenca slovenskih elektroenergetikov, Terme Čatež, 28. maj - 1. junij 2007 : [zbornik referatov]. Ljubljana: Društvo Slovenski komite CIGRÉ - CIRED, 2007, zv. CIGRÉ 2, str. C1/51-C1/56, ilustr. [COBISS.SI-ID 5925204]
- **12. TALJAN, Gregor, GUBINA, Andrej. Sistem za pomoč pri odločanju pri dimenzioniranju majhnih izoliranih elektroenergetskih sistemov z obnovljivimi viri energije. V: PANTOŠ, Miloš (ur.), KITANOVIĆ, Aleksandar (ur.). 8. konferenca slovenskih elektroenergetikov, Čatež, 28. maj - 1. junij 2007. Osmo konferenca slovenskih elektroenergetikov, Terme Čatež, 28. maj - 1. junij 2007 : [zbornik referatov]. Ljubljana: Društvo Slovenski komite CIGRÉ - CIRED, 2007, zv. CIGRÉ 2, str. C1/63-C1/68, ilustr. [COBISS.SI-ID 5925716]
13. KOZAN, Borut, ZLATAR, Iztok, GUBINA, Andrej, ŽEBELJAN, Djordje. Usklajenost razvojne strategije HSE s paketom reform EU na področju energetike. V: PANTOŠ, Miloš (ur.), KITANOVIĆ, Aleksandar (ur.). 8. konferenca slovenskih elektroenergetikov, Čatež, 28. maj - 1. junij 2007. Osmo konferenca slovenskih elektroenergetikov, Terme Čatež, 28. maj - 1. junij 2007 : [zbornik referatov]. Ljubljana: Društvo Slovenski komite CIGRÉ - CIRED, 2007, zv. CIGRÉ 2, str. C5/9-C5/13, ilustr. [COBISS.SI-ID 5924948]
14. ZLATAR, Iztok, KOZAN, Borut, GUBINA, Andrej. Indicative RES-E targets for the year 2010 and their fulfillment in Slovenia. V: Proceedings of IEEE Africon 2007. Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers: = IEEE, 2007, str. 1-4, ilustr. [COBISS.SI-ID 6122580]

15. ZLATAR, Iztok, KOZAN, Borut, GUBINA, Andrej. Long-term security of supply assessment under open electricity market - energy policy impacts in Slovenia. V: The 2008 International Conference on Risk Management and Engineering Management, 4-6 November 2008, Beijing, China. Proceedings : ICRMEM 2008. Los Alamitos; Washington; Tokyo: IEEE Computer Society, cop. 2008, str. 164-170, ilustr. [COBISS.SI-ID 6773332]
16. XIANGYANG, Xu, GUBINA, Andrej. CDM practice in China : small scale hydropower projects and coal mine methane recovery and utilization projects. V: GUBINA, Andrej (ur.). 7th Balkan Power Conference, Šibenik, Croatia, 10-12 September, 2008. Proceedings. Ljubljana: Faculty of Electrical Engineering, cop. 2008, str. [1-4], ilustr. [COBISS.SI-ID 6630740]
17. ZLATAR, Iztok, KOZAN, Borut, GUBINA, Andrej. Comparison of gas and nuclear generation expansion options in Slovenia. V: GUBINA, Andrej (ur.). 7th Balkan Power Conference, Šibenik, Croatia, 10-12 September, 2008. Proceedings. Ljubljana: Faculty of Electrical Engineering, cop. 2008, str. [1-5], ilustr. [COBISS.SI-ID 6630996]
18. KOZAN, Borut, ZLATAR, Iztok, PARAVAN, Dejan, GUBINA, Andrej. Generation expansion planning : influence of EU emission trading scheme on security of supply requirements. V: GUBINA, Andrej (ur.). 7th Balkan Power Conference, Šibenik, Croatia, 10-12 September, 2008. Proceedings. Ljubljana: Faculty of Electrical Engineering, cop. 2008, str. [1-5], ilustr. [COBISS.SI-ID 6630228]
19. KOZAN, Borut, ARTAČ, Gašper, KLADNIK, Blaž, ZLATAR, Iztok, GUBINA, Andrej. Ocena energetskih načrtov z upoštevanjem izpustov CO₂ v tržnih razmerah. V: Referati in predstavitve, paneli, kataložni zapis, ostalo. Ljubljana: Slovensko društvo elektroenergetikov CIGRÉ - CIRED, 2009, str. 1-6, ilustr. [COBISS.SI-ID 7208532]
20. KLADNIK, Blaž, ZLATAR, Iztok, ARTAČ, Gašper, KOZAN, Borut, GUBINA, Andrej. Simulacija vpliva elastičnosti porabe na trgu z električno energijo. V: Referati in predstavitve, paneli, kataložni zapis, ostalo. Ljubljana: Slovensko društvo elektroenergetikov CIGRÉ - CIRED, 2009, str. 1-6, ilustr. [COBISS.SI-ID 7208276]

1.09 Objavljeni strokovni prispevek na konferenci

21. ARTAČ, Gašper, KOZAN, Borut, ZLATAR, Iztok, KLADNIK, Blaž, GUBINA, Andrej. Potenciali OVE v Sloveniji za proizvodnjo električne energije do l. 2020. V: Referati in predstavitve, paneli, kataložni zapis, ostalo. Ljubljana: Slovensko društvo elektroenergetikov CIGRÉ - CIRED, 2009, str. 1-7, ilustr. [COBISS.SI-ID 7209044]

1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci

22. GUBINA, Andrej, GOLOB, Robert. Application of local ANN controllers for power system secondary voltage control. V: ZUPANČIČ, Borut (ur.), KARBA, Rihard (ur.), BLAŽIČ, Sašo (ur.). EUROSIM 2007 : proceedings of the 6th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation, [9-13 September, 2007, Ljubljana, Slovenia]. Vol. 1, Book of abstracts. Vienna: Argesim, cop. 2007, str. 370, portret. [COBISS.SI-ID 6189908]

MONOGRAFIJE IN DRUGA ZAKLJUČENA DELA

2.01 Znanstvena monografija

****23.** HALILČEVIĆ, Suad S., GUBINA, Andrej, GLAMOČANIN, Vlastimir, BOŠKOV, Elena (ur.), GUBINA, Andrej (ur.). Implementimi i RES dhe Suporti i praktikës me të mire : çështje të rregullimit dhe Politikave, (Broshurë mbi Implementimin e praktikave në të mira mbi RES, D12). [Novi Sad: DMS Group, 2007]. 104 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 6260308]

2.05 Drugo učno gradivo

24. GUBINA, Andrej. Razvoj in vzdrževanje elektroenergetskih sistemov : predloge za predavanja. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, 2007. http://lees.fe.uni-lj.si/www/Images/File/RVE/Razvoj_in_vzdrzevanje_EES.pdf. [COBISS.SI-ID 6033748]

2.12 Končno poročilo o rezultatih raziskav

25. LORENCIN, Ivan, GUBINA, Andrej, GUBINA, Ferdinand, TALJAN, Gregor, ZLATAR, Iztok, KOZAN, Borut, CIMERMAN, Gregor. Identifikacija možnosti uvajanja sistema celostnega upravljanja z energetske infrastrukturo prenosnega omrežja : končno poročilo. Ljubljana: Elektro-Slovenija, 2007. 163 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 6242644]

26. GUBINA, Andrej, GUBINA, Ferdinand, KOZAN, Borut, ZLATAR, Iztok. Izgradnja hidroelektrarne na srednji Savi : predinvesticijsko tehnično-prostorska dokumentacija za HE na srednji Savi : energetska izračuna. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, 2007. 57 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 6242388]

27. GUBINA, Andrej, NASTRAN, Janez, TOPIČ, Marko, PAPIČ, Igor, PANTOŠ, Miloš, GUBINA, Ferdinand, BRECL, Kristijan, ZLATAR, Iztok, KOZAN, Borut, PFAJFAR, Tomaž, SMOLNIKAR, Igor. Priprava strokovnih podlag za določitev nacionalnih potencialov za pogajanja z evropsko komisijo o določitvi nacionalnih ciljev : potenciali OVE v Sloveniji. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, 2007. 102 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 6243156]

28. ŠAŠEK-DIVJAK, Mojca, BIZJAK, Igor, DIMITROVSKA ANDREWS, Kaliopa, GOLČNIK, Barbara, GULIČ, Andrej, JAKOŠ, Aleksander, KERBLER, Boštjan Kefo, MIHELIC, Breda, MLADENOVIC, Luka, MUJKIC, Sabina, MUŠIC, Barbara, NIKŠIC, Matej, PLEVNIK, Aljaž, PRAPER, Sergeja, SENDI, Richard, ŠUKLJE ERJAVEC, Ina, COTIČ, Boštjan, HOČEVAR, Marjan, JUVANC, Alojzij, KAVAS, Damjan, KOMAN, Klemen, KOS, Drago, PANJAN, Jože, PRELOVŠEK, Andrej, SLAČEK, Mojmir, TRČEK, Franc, URŠIČ, Matjaž, ŽURA, Marijan, GOLOBIČ, Mojca, KOZAMERNIK, Jana, STANIČ, Ivan, GUBINA, Ferdinand, GUBINA, Andrej, MARC, Dušan, STOJIC, Zoran. Strategija prostorskega razvoja Mestne občine Ljubljana : projekt : dopolnjeni predlog Strategije prostorskega razvoja Mestne občine Ljubljana, (Novi prostorski akti Mestne občine Ljubljana). Ljubljana: Urbanistični inštitut Republike Slovenije, 2007. 2 zv. (loč. pag.), ilustr. [COBISS.SI-ID 2238915]

29. GUBINA, Andrej, GUBINA, Ferdinand. Recenzija študije optimalni scenariji pokrivanja porabe v Republiki Sloveniji s proizvodnimi viri (do leta 2030) : 1. fazno poročilo: klasična recenzija naloge. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, Laboratorij za energetske strategije, 2008. 12 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 6620500]

30. GUBINA, Andrej, ZLATAR, Iztok, KOZAN, Borut. Recenzija študije optimalni scenariji pokrivanja porabe v Republiki Sloveniji s proizvodnimi viri (do leta 2030) : poročilo 4. faze: Dodatni scenariji in predlogi izhodišč za NEP. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, Laboratorij za energetske strategije, 2008. 79 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 6634580]

****31.** GUBINA, Andrej, KOZAN, Borut, GUBINA, Ferdinand, ZLATAR, Iztok. Strateške smernice za aktivno vlogo HSE kot energetskega subjekta : predlog potrebnih ukrepov s strani HSE v Sloveniji : končno poročilo. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, Laboratorij za energetske strategije, 2008. 133 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 6620244]

32. GUBINA, Andrej, GUBINA, Andrej, ARTAČ, Gašper, ZLATAR, Iztok, KOZAN, Borut, KLADNIK, Blaž. Analiza ključev delitve prihodka od koordiniranih avkcij čezmejnih prenosnih zmogljivosti v regiji Srednjevzhodna Evropa : študija. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, Laboratorij za energetske strategije, 2009. 1 optični disk (CD-ROM). [COBISS.SI-ID 7103828]

****33.** GUBINA, Andrej, GUBINA, Andrej, KLADNIK, Blaž, ZLATAR, Iztok, KOZAN, Borut, ARTAČ, Gašper, GUBINA, Ferdinand, MERŠE, Stane, URBANČIČ, Andreja, LAH, Polona, ČESEN, Matjaž, AL-MANSOUR, Fouad. Vpliv vodenja porabe električne energije (DSM) na porabo na prenosnem omrežju : študija. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, Laboratorij za energetske strategije, 2009. 1 optični disk (CD-ROM). [COBISS.SI-ID 7104084]

2.13 Elaborat, predštudija, študija

34. URBANČIČ, Andreja, TOMŠIČ, Mihael, Gabrijel, LAH, Polona, ČESEN, Matjaž, AL-MANSOUR, Fouad, MERŠE, Stane, GUBINA, Andrej, ZLATAR, Iztok, KOZAN, Borut, KOŠNJEK, Zvonko, BUGEZA, Miroslav, TAVČAR, Branka, ZAKOTNIK, Ivanka, STRMŠNIK, Igor. Izhodišča za izdelavo dolgoročnih energetskih bilanc 2006-2026 : revizija prvega in drugo fazno poročilo projekta, (IJS delovno poročilo, 9468). Ljubljana: Inštitut Jožef Stefan, 2007. 164 str. [COBISS.SI-ID 21418023]

****35.** BRILLY, Mitja, KRYŽANOWSKI, Andrej, HORVAT, Anja, GUBINA, Andrej. Pregled stanja vodnega potenciala v Sloveniji : pregled zbrane dokumentacije : poročilo 1. faze projekta. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko, 2007. 109 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 3879521]

36. KRYŽANOWSKI, Andrej, BRILLY, Mitja, VIDMAR, Andrej, HORVAT, Anja, GUBINA, Andrej, GUBINA, Ferdinand, ZLATAR, Iztok, KOZAN, Borut, STOJČIČ, Zoran, JAVORNIK, Luka. Pregled stanja vodnega potenciala v Republiki Sloveniji. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko, 2008. 85 str., pril., ilustr. [COBISS.SI-ID 4301409]

37. GUBINA, Andrej. Virtual Balkan power centre for advance of renewable energy sources in western Balkans : project no. INCO-CT-2004-509205 : project acronym: VBPC-RES : publishable executive summary. Ljubljana: Faculty of Electrical Engineering, 2009. [5] str., ilustr. [COBISS.SI-ID 7401300]

38. GUBINA, Andrej, GUBINA, Ferdinand, ZLATAR, Iztok, KOZAN, Borut, ARTAČ, Gašper. Vloga PPE Kidričevo v pokrivanju dolgoročne elektroenergetske bilance Slovenije. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, Laboratorij za energetske strategije, 2008. 42 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 6634324]

39. URBANČIČ, Andreja, MERŠE, Stane, ČESEN, Matjaž, LAH, Polona, STANIČIČ, Damir, AL-MANSOUR, Fouad, GUBINA, Andrej, ZLATAR, Iztok, KOZAN, Borut, KOŠNJEK, Zvonko, BUGEZA, Miroslav, TAVČAR, Branka, ZAKOTNIK, Ivanka, STRMŠNIK, Igor, TOMŠIČ, Mihael, Gabrijel. Strokovne podlage za dolgoročne energetske bilance RS v obdobju 2006-2026 : povzetek za odločanje. Ljubljana: Inštitut "Jožef Stefan", Center za energetske učinkovitost, 2009. 70 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 7401812]

2.14 Projektna dokumentacija (idejni projekt, izvedbeni projekt)

40. ŠAŠEK-DIVJAK, Mojca, BIZJAK, Igor, DIMITROVSKA ANDREWS, Kaliopa, GOLIČNIK, Barbara, GULIČ, Andrej, JAKOŠ, Aleksander, KERBLER, Boštjan Kefo, MIHELIČ, Breda, MLADENOVIC, Luka, MUJKIČ, Sabina, MUŠIČ, Barbara, NIKŠIČ, Matej, PLEVNIK, Aljaž, PRAPER, Sergeja, SENDI, Richard, ŠUKLJE ERJAVEC, Ina, COTIČ, Boštjan, HOČEVAR, Marjan, JUVANC, Alojzij, KAVAŠ, Damjan, KOMAN, Klemen, KOS, Drago, PANJAN, Jože, PRELOVŠEK, Andrej, SLAČEK, Mojmir, TRČEK, Franc, URŠIČ, Matjaž, ŽURA, Marijan, GOLOBIČ, Mojca, KOZAMERNIK, Jana, STANIČ, Ivan, GUBINA, Ferdinand, GUBINA, Andrej, MARC, Dušan, STOJIČ, Zoran. Strateški prostorski načrt Mestne občine Ljubljana : dopolnjeni osnutek, (Novi prostorski akti Mestne občine Ljubljana). Ljubljana: Urbanistični inštitut Republike Slovenije, 2007. 2 zv.(198 str.; loč. pag.), ilustr. [COBISS.SI-ID 2238659]
41. ŠAŠEK-DIVJAK, Mojca, BIZJAK, Igor, DIMITROVSKA ANDREWS, Kaliopa, GOLIČNIK, Barbara, GULIČ, Andrej, JAKOŠ, Aleksander, KERBLER, Boštjan Kefo, MIHELIČ, Breda, MLADENOVIC, Luka, MUJKIČ, Sabina, MUŠIČ, Barbara, NIKŠIČ, Matej, PLEVNIK, Aljaž, PRAPER, Sergeja, SENDI, Richard, ŠUKLJE ERJAVEC, Ina, COTIČ, Boštjan, HOČEVAR, Marjan, JUVANC, Alojzij, KAVAŠ, Damjan, KOMAN, Klemen, KOS, Drago, PANJAN, Jože, PRELOVŠEK, Andrej, SLAČEK, Mojmir, TRČEK, Franc, URŠIČ, Matjaž, ŽURA, Marijan, GOLOBIČ, Mojca, KOZAMERNIK, Jana, STANIČ, Ivan, GUBINA, Ferdinand, GUBINA, Andrej, MARC, Dušan, STOJIČ, Zoran. Strateški prostorski načrt MOL : dopolnjeni osnutek. Mapa 1, Odlok o Strateškem načrtu Mestne občine Ljubljana. Mapa 2, Obrazložitev, (Novi prostorski akti Mestne občine Ljubljana). Ljubljana: Urbanistični inštitut Republike Slovenije, 2008. 2 zv.(93, 211 str.), ilustr. [COBISS.SI-ID 2275523]
42. ŠAŠEK-DIVJAK, Mojca, BIZJAK, Igor, DIMITROVSKA ANDREWS, Kaliopa, GOLIČNIK, Barbara, GULIČ, Andrej, JAKOŠ, Aleksander, KERBLER, Boštjan Kefo, MIHELIČ, Breda, MLADENOVIC, Luka, MUJKIČ, Sabina, MUŠIČ, Barbara, NIKŠIČ, Matej, PLEVNIK, Aljaž, PRAPER, Sergeja, SAVANOVIČ, Gvozden, GANTAR, Damjana, SENDI, Richard, ŠUKLJE ERJAVEC, Ina, COTIČ, Boštjan, HOČEVAR, Marjan, JUVANC, Alojzij, KAVAŠ, Damjan, KOMAN, Klemen, KOS, Drago, PANJAN, Jože, PRELOVŠEK, Andrej, ŠANTEJ, Borut, SLAČEK, Mojmir, TRČEK, Franc, URŠIČ, Matjaž, ŽURA, Marijan, GOLOBIČ, Mojca, KOZAMERNIK, Jana, STANIČ, Ivan, GUBINA, Ferdinand, GUBINA, Andrej, MARC, Dušan, STOJIČ, Zoran. Strateški prostorski načrt Mestne občine Ljubljana : dopolnjeni osnutek : gradivo za javno razgrnitev, Gospodarsko razstavišče, 15. december 2009 - 15. januar 2010, (Novi prostorski akti Mestne občine Ljubljana). Ljubljana: Urbanistični inštitut Republike Slovenije, 2009. 38 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 2348739]
43. ŠAŠEK-DIVJAK, Mojca, BIZJAK, Igor, DIMITROVSKA ANDREWS, Kaliopa, GOLIČNIK, Barbara, GULIČ, Andrej, JAKOŠ, Aleksander, KERBLER, Boštjan Kefo, MIHELIČ, Breda, MLADENOVIC, Luka, MUJKIČ, Sabina, MUŠIČ, Barbara, NIKŠIČ, Matej, PLEVNIK, Aljaž, PRAPER, Sergeja, SAVANOVIČ, Gvozden, GANTAR, Damjana, SENDI, Richard, ŠUKLJE ERJAVEC, Ina, COTIČ, Boštjan, HOČEVAR, Marjan, JUVANC, Alojzij, KAVAŠ, Damjan, KOMAN, Klemen, KOS, Drago, PANJAN, Jože, PRELOVŠEK, Andrej, ŠANTEJ, Borut, SLAČEK, Mojmir, TRČEK, Franc, URŠIČ, Matjaž, ŽURA, Marijan, GOLOBIČ, Mojca, KOZAMERNIK, Jana, STANIČ, Ivan, GUBINA, Ferdinand, GUBINA, Andrej, MARC, Dušan, STOJIČ, Zoran. Strateški prostorski načrt MOL : dopolnjeni osnutek. Mapa 1, Odlok o Strateškem načrtu Mestne občine Ljubljana, (Novi prostorski akti Mestne občine Ljubljana). Ljubljana: Urbanistični inštitut Republike Slovenije, 2009. 97 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 2348483]

2.17 Katalog razstave

44. ŠAŠEK-DIVJAK, Mojca, DIMITROVSKA ANDREWS, Kaliopa, BIZJAK, Igor, COTIČ, Boštjan, GOLIČNIK, Barbara, GOLOBIČ, Mojca, GULIČ, Andrej, JAKOŠ, Aleksander, KOZAMERNIK, Jana, KERBLER, Boštjan Kefo, MIHELIČ, Breda, MLADENOVICH, Luka, MUJKIČ, Sabina, MUŠIČ, Barbara, NIKŠIČ, Matej, PLEVNIK, Aljaž, PRAPER, Sergeja, SENDI, Richard, STANIČ, Ivan, ŠUKLJE ERJAVEC, Ina, LICUL, Miljenko, LICUL, Maja, GUBINA, Ferdinand, GUBINA, Andrej, HOČEVAR, Marjan, JUVANC, Alojzij, KAVAŠ, Damjan, KOMAN, Klemen, KOS, Drago, MARC, Dušan, PANJAN, Jože, PRELOVŠEK, Andrej, SLAČEK, Mojmir, STOJIC, Zoran, TRČEK, Franc, URŠIČ, Matjaž, ŽURA, Marijan. Strateški prostorski načrt Mestne občine Ljubljana : [dopolnjeni osnutek : gradivo za razstavo], (Novi prostorski akti Mestne občine Ljubljana). [Ljubljana: Urbanistični inštitut Republike Slovenije, 2007]. 1 zv., ilustr. [COBISS.SI-ID 2250947]

IZVEDENA DELA (DOGODKI)

3.12 Razstava

45. ŠAŠEK-DIVJAK, Mojca, DIMITROVSKA ANDREWS, Kaliopa, BIZJAK, Igor, COTIČ, Boštjan, GOLIČNIK, Barbara, GOLOBIČ, Mojca, GULIČ, Andrej, JAKOŠ, Aleksander, KOZAMERNIK, Jana, KERBLER, Boštjan Kefo, MIHELIČ, Breda, MLADENOVICH, Luka, MUJKIČ, Sabina, MUŠIČ, Barbara, NIKŠIČ, Matej, PLEVNIK, Aljaž, PRAPER, Sergeja, SENDI, Richard, STANIČ, Ivan, ŠUKLJE ERJAVEC, Ina, LICUL, Miljenko, LICUL, Maja, GUBINA, Ferdinand, GUBINA, Andrej, HOČEVAR, Marjan, JUVANC, Alojzij, KAVAŠ, Damjan, KOMAN, Klemen, KOS, Drago, MARC, Dušan, PANJAN, Jože, PRELOVŠEK, Andrej, SLAČEK, Mojmir, STOJIC, Zoran, TRČEK, Franc, URŠIČ, Matjaž, ŽURA, Marijan. Strateški prostorski načrt Mestne občine Ljubljana : razstava : galerija Kresija Ljubljana, 1. okt. - 2. nov. 2007. [Ljubljana: Urbanistični inštitut Republike Slovenije, 2007]. [COBISS.SI-ID 2251203]

46. ŠAŠEK-DIVJAK, Mojca, DIMITROVSKA ANDREWS, Kaliopa, BIZJAK, Igor, COTIČ, Boštjan, GOLIČNIK, Barbara, GOLOBIČ, Mojca, GULIČ, Andrej, JAKOŠ, Aleksander, KOZAMERNIK, Jana, KERBLER, Boštjan Kefo, MIHELIČ, Breda, MLADENOVICH, Luka, MUJKIČ, Sabina, MUŠIČ, Barbara, NIKŠIČ, Matej, PLEVNIK, Aljaž, PRAPER, Sergeja, SENDI, Richard, STANIČ, Ivan, ŠUKLJE ERJAVEC, Ina, LICUL, Miljenko, LICUL, Maja, GUBINA, Ferdinand, GUBINA, Andrej, HOČEVAR, Marjan, JUVANC, Alojzij, KAVAŠ, Damjan, KOMAN, Klemen, KOS, Drago, MARC, Dušan, PANJAN, Jože, PRELOVŠEK, Andrej, SLAČEK, Mojmir, STOJIC, Zoran, TRČEK, Franc, URŠIČ, Matjaž, ŽURA, Marijan. Novi prostorski načrt Ljubljane : razstava ob razgrnitvi novih prostorskih aktov Mestne občine Ljubljana : ponovna javna razgrnitev dopolnjenega osnutka Odloka o Strateškem prostorskem načrtu MOL : javna razgrnitev dopolnjenega osnutka Odloka o Izvedbenem prostorskem načrtu MOL : Jakopičeva galerija Ljubljana, 22. april - 30. maj 2008. [Ljubljana: Urbanistični inštitut Republike Slovenije, 2007]. [COBISS.SI-ID 2278595]

3.14 Predavanje na tuji univerzi

47. GUBINA, Andrej. Gospodarjenje s sredstvi, načrtovanje in ekonomika v energetiki. Tuzla: Fakultet elektrotehnike, 16. 6. 2007. [COBISS.SI-ID 6027860]

SEKUNDARNO AVTORSTVO

Urednik

48. HALILČEVIĆ, Suad S., GUBINA, Andrej, GLAMOČANIN, Vlastimir, BOŠKOV, Elena (ur.), GUBINA, Andrej (ur.). Implementimi i RES dhe Suporti i praktikës me te mire : çeshtje te rregullimit dhe Politikave, (Broshure mbi Implementimin e praktikave ne te mira mbi RES, D12). [Novi Sad: DMS Group, 2007]. 104 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 6260308]
49. HALILČEVIĆ, Suad S., BUKARICA, Vesna, BOŠKOV, Elena, BOŠKOV, Elena (ur.), GUBINA, Andrej (ur.). Transferimi i praktikës më të mirë dhe teknologjive disponibël të RES për rajonet e izoluar, (Broshurë mbi teknologjitë RES, D7). [Novi Sad: DMS Group, 2007]. 88 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 6260052]
50. 7th Balkan Power Conference, Šibenik, Croatia, 10-12 September, 2008, GUBINA, Andrej (ur.). Proceedings. Ljubljana: Faculty of Electrical Engineering, cop. 2008. 1 optični disk (CD ROM). ISBN 978-961-243-091-7. [COBISS.SI-ID 240626944]

Mentor pri magistrskih delih

51. KREČAR, Nikola. Umerjanje temeljnega modela dolgoročne napovedi cen električne energije = [Calibration of the fundamental model for long-term electricity price forecasting] : magistrsko delo. Ljubljana: [N. Krečar], 2010. XII, 72 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 7967316]

Mentor pri diplomskih delih

- **52. DUŠAK, Mitja. Kratkoročno načrtovanje proizvodnje električne energije v hidroelektrarnah na Savi : diplomsko delo. Ljubljana: [M. Dušak], 2007. 57 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 6067796]
53. CIMPERMAN, Miha. Krmiljenje odjema dobavitelja električne energije : diplomsko delo. Ljubljana: [M. Cimperman], 2007. IV, 63 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 6128980]
54. JAMNIKAR, Tomaž. Analiza ekonomskih kriterijev delitve prihodkov od koordiniranih avkcij čezmejnih prenosnih zmogljivosti : diplomsko delo. Ljubljana: [T. Jamnikar], 2008. X, 75 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 6635860]
55. ARTAČ, Gašper. Analiza tehničnih ključev delitve prihodkov od koordiniranih avkcij čezmejnih prenosnih zmogljivosti : diplomsko delo. Ljubljana: [G. Artač], 2008. X, 91 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 6638932]
56. KLADNIK, Blaž. Vpliv ukrepov vodenja porabe električne energije (DSM) na prilagodljivost porabe : diplomsko delo. Ljubljana: [B. Kladnik], 2008. VI, 79 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 6638420]
57. JUDNIČ, Rok. Uporaba večagentnih sistemov za simuliranje trga z električno energijo : diplomsko delo. Ljubljana: [R. Judnič], 2009. IX, 59 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 7106132]
- **58. KRAŠNA HALILAGIČ, Saša. Metode za celostno analizo zanesljivosti dobave električne energije = [Methods for comprehensive analysis of the security of electricity supply] : diplomsko delo. Ljubljana: [S. Krašna Halilagič], 2010. V, 74 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 7913044]

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo in
Fakulteta za
elektrotehniko

Jamova 2, p.p. 3422
1115 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si



Številka: 55/d-126
Datum: 28.10.2010

KONČNO POROČILO

o delu na izvajanju nalog za CRP

»Razvoj ekspertnega sistema za optimizacijo obratovanja HE na Savi ter NEK na osnovi napovedi nizkih pretokov Save sedem dni vnaprej«

v okviru Ciljnega raziskovalnega programa – CRP »KONKURENČNOST SLOVENIJE 2006-2013«.



Vodja CRP
prof. dr. Mitja Brilly

Oktober 2010

Vrsta poročila: **končno poročilo**

Program: **CRP » KONKURENČNOST SLOVENIJE 2006-2013«.** Vzdrževanje in obnova »Sistema za hidrološke meritve na Savi« 2010
»Razvoj ekspertnega sistema za optimizacijo obratovanja HE na Savi ter NEK na osnovi napovedi nizkih pretokov Save sedem dni vnaprej«

Naročnik: Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS in Ministrstvo za gospodarstvo

Izdelovalec: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,
Katedra za splošno hidrotehniko in Fakulteta za elektrotehniko,
Laboratorij za Energetske strategije

Štev. pogodbe: V2-502

Kazalo

1. UVOD	4
2. RAZVOJ HIDROLOŠKEGA MODELA NAPOVEDI NIZKIH PRETOKOV ZA SEDEM DNI VNAPREJ NA VTOKU V AKUMULACIJO HE VRHOVO.....	5
2.1 Hidrologija sušnih obdobj	5
2.2 Porečje Save.....	13
2.3 Metode.....	17
2.4 Razvita modela napovedi nizkih pretokov na VP Hrastnik na Savi in VP Veliko Širje na Savinji	21
2.5 Analiza obnašanja modela napovedi vtoka v akumulacijo HE Vrhovo	24
2.6 Maska modela in delovanje modela v praksi.....	27
2.7 Viri in literatura	29
3 SISTEM ZA HIDROLOŠKE MERITVE NA SAVI IN IZDELAVE OPERATIVNIH MODELOV ZA NAPOVED PRETOKOV VODE.....	32
Aplikacija je v osnovi narejena v MS Excel 97 in preverjena tudi v verziji MS Excel 2000.3.1 Opis zunanje aplikacije "SFExcel.exe".....	
3.1 Opis zunanje aplikacije "SFExcel.exe"	33
3.2 Opis notranje aplikacije "SFExcel.xls"	34
3.3 Obnova sistema	40
4. RAZVOJ EKSPERTNEGA SISTEMA ZA OPTIMIZACIJO OBRATOVANJA HE NA SAVI TER NEK NA OSNOVI NAPOVEDI NIZKIH PRETOKOV SAVE SEDEM DNI VNAPREJ	42
4.1 Predstavitev PEGASUS-a.....	43
4.2 Modul HIDRO2.....	46
4.3 Priprava simulacij.....	51
4.4 Rezultati	53
4.5 Zaključek	71
5. ZAKLJUČKI IN NAPOTKI ZA NADALJNJE DELO.....	72

1. UVOD

Upravljanje sklenjene verige HE na Savi predstavlja kompleksen optimizacijski problem, ki pogojuje uporabo ustreznih orodij, s katerimi bo s poznavanjem dejanskih vhodnih parametrov (hidrološki podatki, energetska raba) mogoča simulacija dejanskih obratovalnih razmer v realnem času. Sistem za podporo odločanju zagotavlja identifikacijo, ovrednotenje ter varovanje obratovalnih, modelskih in cenovnih tveganj, ki jim je izpostavljen proizvajalec kot lastnik verige HE na trgu z električno energijo, s čimer se bistveno izboljša njegova konkurenčnost. Ob uporabi napovedanih dotokov in cen na trgu lahko do popolnosti izrabi svojo tržno pozicijo.

Celoten sistem je sestavljen iz več komponent: podsistema za meritve in zbiranje podatkov, modela za izdelavo hidroloških napovedi in programa za optimizacijo. Vsaka od omenjenih komponent je podrobno predstavljena v poročilu v posebnem poglavju.

Sočasno z izdelavo programa CRP so potekali tudi drugi projekti na posodobitvi in vzdrževanju posameznih komponent sistema in študije o delovanju sistema v različnih hidroloških pogojih. Naročniki omenjenih projektov in študij so bile organizacije, lastniki objektov za proizvodnjo električne energije na območju reke Save. Tako je bil sistem za zajemanje in analizo podatkov meritev popolnoma obnovljen s strani Savskih Elektrarn Ljubljana, d.o.o. Po naročilu JEK je bila izdelana študija za določanje verjetno maksimalnih pretokov.

2. RAZVOJ HIDROLOŠKEGA MODELA NAPOVEDI NIZKIH PRETOKOV ZA SEDEM DNI VNAPREJ NA VTOKU V AKUMULACIJO HE VRHOVO

2.1 Hidrologija sušnih obdobj

Določanje nizkih pretokov in raziskovanje sušnih pretokov je zelo pomembno za različne dejavnosti v okviru vodarstva. Suša s pomanjkanjem vode je namreč eden izmed največjih izzivov za upravljanje z vodami zaradi pomanjkanja vira, na katerega so vezani in od njega odvisni življenje in mnoge gospodarske dejavnosti. Varnost uporabnikov vode je tesno povezana z razpoložljivimi vodnimi viri, ki jih v času suš praviloma primanjkuje. Opredelitev količine razpoložljivih virov vode v sušnih obdobjih je osnovno izhodišče za načrtovanje in izkoriščanje vodnih virov. Zato je razumevanje procesov izcejanja iz zalog podzemnih rezervoarjev in raznih drugih območij, kjer se voda hrani oziroma zadržuje, zelo pomembno v procesu ocene vodne bilance posameznega porečja ali celo širših območij. Osnovni vir vode na zemeljskem površju so padavine, ko pa le-teh ni oziroma ko nastopi sušno obdobje brez izdatnega napajanja podzemnih in drugih rezervoarjev, pa se v porečju shranjena voda v vodotoke večinoma izceja oziroma črpa iz podzemnih zalog in z iztiskanjem iz zemljine.

Pomanjkanje vode ter črpanje zalog vode iz porečja se grafično na hidrogramu, ki predstavlja diagram časovnega spreminjanja pretoka v posameznem vodomernem profilu (Brilly in Šraj, 2005), pozna kot upadajoč del le-tega, katerega imenujemo tudi recesijski del hidrograma.

Modeliranje v hidrologiji

Analiza hidroloških podatkov in hidrološko modeliranje sta dva izmed pristopov, ki sta med bolj pomembnimi na področju hidrologije nasploh, saj na podlagi izvedbe le-teh lahko generiramo sintetične hidrološke sete, ugotavljamo trende in premike v trendih znotraj hidroloških baz, zapolnjujemo oziroma nadomeščamo neobstoječe sete podatkov, lahko pa tudi umetno podaljšujemo sete podatkov (Maidment, 1993), simuliramo neznane oziroma nepredstavljive hidrološke procese in napovedujemo hidrološke pojave. Predvsem napovedovanje pretokov je ponavadi rezultat hidrološkega modeliranja, ki se največkrat rabi tudi v praksi in ne služi le razvoju bazične hidrologije.

Za napovedovanje pretokov se uporabljajo različni tipi modelov. Najbolj poznani in uporabljeni so ti. konceptualni modeli, katerih osnova je v teoretičnih in empiričnih enačbah posameznih hidroloških (pod)procesov. Uporaba takih modelov zahteva veliko podrobnih podatkov o porečju (geografija in topografija porečja, podatki o samem vodotoku, podrobni podatki o dejanski rabi zemljišč v porečju, geoloških karakteristikah, itd.), ki ga želimo modelirati, kar lahko predstavlja veliko oviro v razvoju modela. Z razvojem informacijskih znanosti ter predvsem daljinskega zaznavanja in GIS tehnologij pa se stanje na tem področju tudi izboljšuje; podatki so bolj kvalitetni, preverjeni in podrobni. Glede na različno stopnjo vključevanja geografskih, topografskih, padavinskih in ostalih prostorsko pogojenih podatkov v proces modeliranja ločimo tri vrste konceptualnih modelov:

- polno distribuirane modele,
- delno distribuirane in
- povprečene oziroma ti. lumped modele.

Za začetek oziroma izvor distribuiranega modeliranja v hidrologiji se štejejo ideje, ki sta jih prva zapisala Freeze in Harlan (1969). Za polno distribuirane hidrološke modele je značilno, da je celotno modelirano porečje razdeljeno v izbrano število prostorskih celic, ki delujejo kot svoji sistemi in se povezujejo s sosednjimi celicami. Bolj kot je gosta mreža, bolj naj bi bil model podoben realnem stanju v porečju, a to pomeni tudi večjo zahtevnost z vidika podatkov (Beven, 1985; Beven in Binley, 1992). Za povprečene modele pa ni značilna delitev porečja v prostorske celice, temveč gre za povprečenja na bazi celotnih podporečij modeliranega porečja.

Po drugi strani pa predvsem iz aplikativne hidrologije poznamo tudi enostavne empirične enačbe, ki npr. povezujejo podatek o površini porečja in podatek o pretočni karakteristiki vodomerne postaje na iztoku iz istega porečja. Le-te se velikokrat uporabljajo v dejanskih hidroloških aplikacijah, saj niso podatkovno zahtevne in predstavljajo hitro metodo za oceno posameznih hidroloških spremenljivk na terenu. Odličen primer takih preprostih empiričnih enačb je pripravil, zbral in uredil Brus (1981).

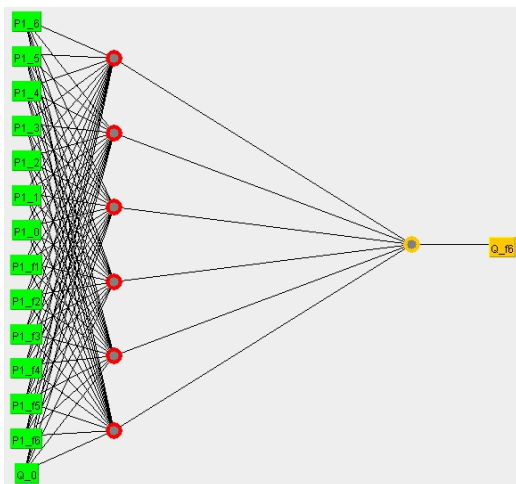
V zadnjih desetletjih pa so se v hidrologiji pojavili tudi ti. hidrološki modeli, ki enostavno povezujejo vhodne in (željene) izhodne hidrološke spremenljivke, sama struktura modela pa ni pomembna ter je povsem netransparentna in težko opisljiva oziroma razumljiva – gre za ti. modele črne skrinjice (angl. black-box models). Glavna značilnost modelov črne skrinjice, ki lahko odlično napoveduje določeno hidrološko spremenljivko, je netransparentnost in nerazumljivost strukture modela, saj tudi njena matematična osnova ni vezana na aktualna hidrološka dognanja o procesih v porečjih.

Raziskovanje v okviru hidrologije je že dolga leta usmerjeno v raziskave odnosa med padavinami in odtokom v obliki konceptualnih (HEC, 1990) in stohastičnih modelov. Le-ti namreč omogočajo vpogled v strukturo modeliranega sistema; v primeru konceptualnih modelov v hidrologiji to konkretno pomeni vpogled v dogajanje oziroma procese v porečju, kar pa seveda pomeni tudi možnost nadaljnjega spoznavanja celotnega dogajanja v posameznih porečjih. To seveda predstavlja tudi izhodišče za nadaljnji razvoj hidrologije kot vede. Po drugi strani pa kalibracija konceptualnih modelov zahteva ogromno vloženega dela, znanja in podatkov, ki jih je potrebno zbrati tako z eksperimentalnim delom kot tudi terenskim delom.

Zato so v hidrologiji in vodarstvu nasploh v zadnjih nekaj desetletjih postale priljubljene tudi razne podatkovno-orientirane metode (angl. data-driven methods) iz naslova umetne inteligence (angl. artificial intelligence) kot so nevronske mreže, metode strojnega učenja, mehka logika (Stuber in Gemmar, 1997), genetski algoritmi in podobne.

Podatkovno-orientirane metode v hidrologiji

Uporaba podatkovno-orientiranih metod v hidrološkem modeliranju omogoča avtomatsko učenje iz podatkov (Kompere, 1995), precej hitrejšo kalibracijo modelov, manj potrebnega konceptualnega znanja in tudi manj podatkov o raznih parametrih posameznih procesov v porečjih. Osnovni principi delovanja ter pregled vseh metod strojnega učenja so podani v Kompere (1995), Kubat et al. (1997) in Mitchell (1997).

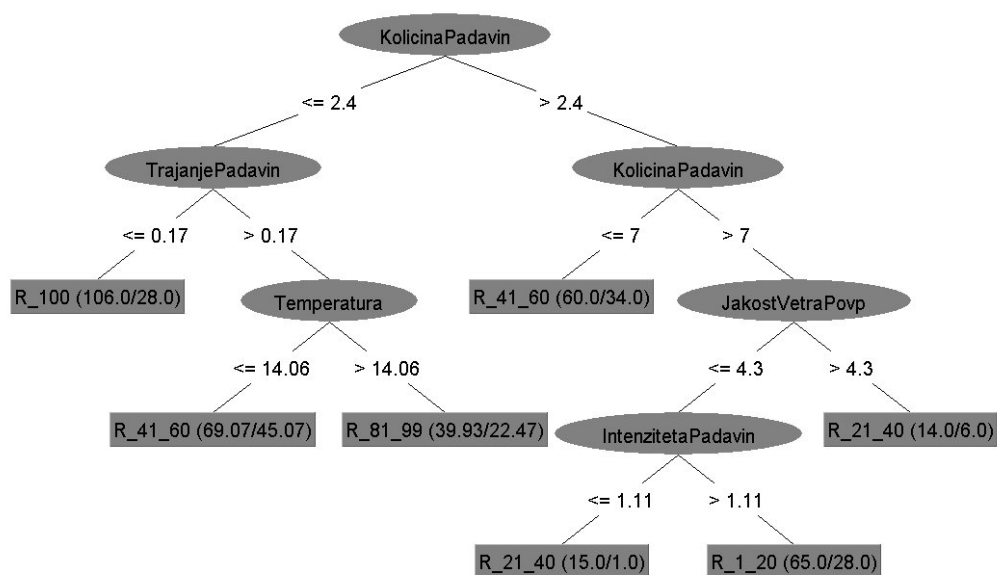


Slika 2.1 Primer razvite nevronske mreže.

Najbolj popularne, poznane in uporabljane izmed vseh podatkovno-orientiranih metod v hidrologiji so nevronske mreže. Osnovne principe delovanja nevronskih mrež sta že v letu 1943 zasnovala McCulloch in Pitts (1943) z modelom umetnega nevrona. Razvoj nevronskih mrež je zaradi pomanjkanja prikazov primerov možnosti uporabe oziroma uporabnosti do nekako sredine 80ih let stagniral. Šele z deli Hopfielda (1982) in Rumelharta s sodelavci (Rumelhart et al., 1986) ter razvojem informatike se je začel ponovni in bolj intenziven razvoj nevronskih mrež.

Nevronske mreže so se v hidrologiji začele uporabljati zelo počasi in previdno; prve primere uporabe zasledimo v 90ih (na primer Hsu et al., 1995; Smith in Eli, 1995; Minns in Hall, 1996; Shamseldin, 1997; Dawson in Wilby, 1998). Modeli hidroloških procesov oziroma nevronske mreže, ki ne podajajo dodatnega znanja o strukturi samega sistema oziroma v primeru hidrologije o hidroloških procesih v povodju, se v hidrologiji kot vedi, ki v večji meri sloni na empiriki, prav zaradi tega niso uveljavili tako hitro kot na drugih področjih (fizika, biomedicina, robotika, ekonomija, akustika, itd.). Šele prikazi primerov uporabe nevronskih mrež so do neke mere prepričali in celo Ameriško združenje gradbenih inženirjev (ASCE) je ustanovilo delovno skupino za uporabo nevronskih mrež v hidrologiji (Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology).

V zadnjih 15 letih smo bili priča uporabi nevronskih mrež na zelo različnih področjih znotraj hidrologije oziroma področjih vezanih na hidrologijo (ASCE, 2000a, 2000b) ali vodarstvo. Nevronske mreže so bile uporabljene pri napovedovanju pretokov (Abrahart in See, 2000.; Cameron et al., 2002.; Chang et al., 2002; Dawson in Wilby, 2001; Govindaraju in Ruo, 2000; Maier in Dandy, 2000), modeliranju tokov podzemnih voda, napovedovanju padavin, raznih primerih v povezavi s kvaliteto vode, itd. Nevronske mreže so postale priljubljene, ker za izdelavo raznih modelov (nevronskih mrež) v večini primerov ni bilo potrebno poznati vsakega hidrološkega procesa do zadnje podrobnosti. Potrebno je bilo poznati le nekaj osnovnih principov modeliranega hidrološkega procesa, kar je omogočilo izbiro vplivnih vhodnih podatkov, ter izhodnega podatka ali več podatkov iz modela. Ostalo delo pri razvoju dela je bilo (pol)avtomatsko učenje nevronskih mrež, pri katerem je modelar sodeloval v precej manjši meri kot pri klasičnem konceptualnem pristopu k hidrološkem modeliranju. Nepoznavanje posameznih zapletenih, nelinearnih hidroloških procesov torej kar naenkrat ni več predstavljalo tako visoke ovire v procesu modeliranja.



SLIKA 2.2 Primer razvitega modela odstotnega deleža prestreženih padavin na porečju Dragonje v obliki klasifikacijskega drevesa z metodo strojnega učenja J4.8 (Štravs et al., 2006).

Navkljub novim in novim dognanjem na področju uporabe nevronske mreže v znanosti, pa še danes ni rešen problem transparentnosti 'naučenega' modela. Kopica nevronov, številke in funkcije ne predstavljajo celote, ki bi modelarja oziroma uporabnika naučila kaj novega o modeliranem procesu. Nevronske mreže so predstavljale in predstavljajo zelo uporabne modele napovedi ali njihove dopolnitve, niso pa podajale oziroma odkrivale skoraj nikakršnega novega znanja na področju bazične hidrologije, torej o samih procesih, ki se dogajajo v porečjih. Razvoj hidrologije kot vede o hidrološkem ciklu oziroma kroženju vode zaradi dekadne nevronske mreže (1990-ta leta) ni sledil razvoju le-teh; razvilo se je namreč ogromno uporabnih modelov napovedi raznih spremenljivk v okviru hidrologije, a so posamezni modeli limitirani na uporabo samo v posameznem porečju in večinoma niso oziroma so težje prenosljivi med porečji.

Vse to je v določeni meri pripeljalo do razvoja metod, ki pa so omogočale vpogled (do določene mere) v strukturo modeliranega sistema in so na ta način podajale neko transparentno informacijo o dogajanju v samem porečju, če govorimo o aplikacijah teh metod v hidrologiji. Ene izmed takih metod so tudi metode strojnega učenja, ki samo iz podatkov generirajo modele v obliki odločitvenih dreves (angl. decision trees); le-te delimo v klasifikacijska drevesa z nominalnimi vrednostmi razreda, regresijska drevesa s konstantnimi numeričnimi vrednostmi in modelna drevesa z linearnimi kombinacijami oziroma funkcijami uporabljenih atributov, kot rezultirajočimi modeli, ki se uporabijo v zaključni fazi aplikacije modela.

Še zmeraj pa je med hidrologi precej skepticizma glede uporabe podatkovno orientiranih metod (See et al., 2007). Glavni očitke je še zmeraj ta, da aplikacija metod strojnega učenja predstavlja le neko matematično vajo, celoten proces modela pa je premalo vezan na fizikalne principe in matematično utemeljevanje. See et al. (2007) nadalje navajajo, da je sicer res, da osnovni namen uporabe podatkovno-orientiranih metod v hidrologiji ni bil razvijati oziroma nadgraditi znanje o osnovnih principih hidrologije, temveč prikazati uporabnost novih računalniško-informacijskih metod tudi na tem področju. Solomatine in Ostfeld (2008) pa med ostalim ugotavljata, da je uporabnost podatkovno-orientiranih metod v hidrologiji že bila

dokazana in preverjena, nadaljnje delo pa bi moralo biti usmerjeno predvsem v smeri razvoja metod z vidika lažjega razumevanja in lažje uporabljivosti končnih rezultatov aplikacije teh metod v hidrologiji. V sam proces modeliranja pa je potrebno vključiti še več konceptualnega hidrološkega znanja.

Cherkassky et al. (2007) prav tako ugotavljajo, da je glavni problem glede sprejemanja oziroma enakovrednega vključevanja metod strojnega učenja in ostalih podatkovno-orientiranih metod v hidrologiji še zmeraj predvsem ta, da iz strukture rezultirajočega modela ni mogoče dovolj hitro oziroma sploh ni mogoče sklepati na nove ugotovitve vezane na hidrologijo.

Prav tako si s podatkovno-orientiranimi metodami ne moremo pomagati pri izdelavi hidroloških modelov v porečjih brez kontinuiranih meritev raznih spremenljivk v dovolj dolgem obdobju, ki omogočajo učenje oziroma gradnjo modelov, medtem ko kalibrirani konceptualni modeli s spremenjenimi parametri modela le predstavljajo nek uporaben približek. Modeli, zgrajeni s podatkovno-orientiranimi metodami, nam prav tako ne ponujajo odgovora v primeru spremembe raznih lastnosti porečja (npr. opuščanje kmetijske dejavnosti – sprememba rabe zemljišč); modeli lahko postanejo povsem neuporabni. Modeli torej ne dopuščajo enostavne spremembe pomembnih parametrov in torej ne simulacij dogodkov, pri katerih se bistveno spremenijo parametri (ne pa spremenljivke oziroma vhodni in izhodni podatki) modela. V takih primerih nam znanje o modeliranih hidroloških procesih, ki je implementirano v konceptualnih hidroloških modelih, pride zelo prav.

Med podatkovno-orientirane metode sodi tudi metoda strojnega učenja M5 (Quinlan, 1992, Wang in Witten, 1997) za razvoj regresijskih in modelnih dreves, ki je bila v veliki meri uporabljena pri razvoju hidroloških modelov napovedi nizkih pretokov.

Uporabe metode strojnega učenja M5 v hidrologiji

Kompare et al. (1997) so verjetno prvi, ki so uporabili M5 modelna drevesa za napovedovanje pretoka in so M5 modele napovedi pretokov testirali na izmerjenih podatkih in ugotovili izjemno ujemanje (koeficient korelacije $R^2 = 0.99$ na testnem setu) med izračunanimi ter merjenimi vrednostmi visokih vod na reki Rott na Bavarskem v Nemčiji. Ob tem je potrebno omeniti, da avtorji niso ločevali med naraščajočim in upadajočim delom hidrografov, temveč so napovedovali pretok tako na naraščajočem kot upadajočem delu hidrografa z istim modelom, kar v bistvu zabriše problem napovedovanja naraščajočega dela in doseženega vrha poplavnega vala, kar so kasneje ugotavljali Stravs et al. (2004). Le-ti namreč navajajo, da je večja napaka na naraščajočem delu in manjša na upadajočem delu, problem pa je pogosto tudi v časovni napovedi vrha poplavnega vala.

Štravs et al. (2003) so tudi s pomočjo metode M5 za razvoj modelnih in regresijskih dreves določili čas potovanja poplavnih in obratovalnih valov po naravni strugi Save med vodomernima postajama Medno in Hrastnik ter določili razliko v hitrosti med propagacijo obratovalnih valov pri naraščanju in propagacijo obratovalnih valov pri upadanju pretoka. Zaradi obratovanja hidroelektrarn Mavčiče in Medvode se lahko namreč na celotnem odseku reke Save med vodomernima postajama Medno in Hrastnik (na razdalji 66.5 km) poleg propagacije poplavnih valov v naravni strugi opazuje tudi propagacija obratovalnih valov. Iz rezultatov meritev, ki so bile izvedene z moderno vodomerno opremo na obravnavanem odseku, so avtorji izbrali 7 večjih zabeleženih poplavnih valov, ki so se dogodili v obdobju

meritev. Na vsakem posameznem poplavnem valu so ločeno določili posamezne obratovalne valove na naraščajočem in padajočem delu poplavnega vala ter z metodo križne korelacije časovnih vrst zabeleženih pretokov in s pomočjo metode strojnega učenja M5 na obeh postajah določili čas potovanja obratovalnih in poplavnih valov. Primerjava med časom propagacije obratovalnih valov pri naraščanju in padanju pretoka na poplavnem valu je pokazala, da so razlike v času propagacije pri pretoku nižjem od cca 200-230 m³/s na VP Hrastnik zanemarljivo majhne, pri višjih vrednosti pretoka pa jih je vsekakor potrebno upoštevati; večje povprečne hitrosti propagacije obratovalnih valov v naravni strugi Save med vodomernima postajama Medno in Hrastnik pa nastopijo na padajočem delu poplavnega vala.

Štravs et al. (2004) so v raziskavi preverili uporabnost metode strojnega učenja M5 (modelnih dreves) v hidrološkem modeliranju kratkoročnih napovedi pretokov visokih voda na vodomerni postaji Veliko Širje na Savinji. Na razpolago so bili podatki o urnih vrednostih pretoka na vodomerni postaji Veliko Širje na reki Savinji in urne vsote padlih padavin s padavinskih postaj Kamniška Bistrica, Solčava, Slovenske Konjice, Celje in Lisca. Za kalibracijo modelov napovedi, ki so jih zgradili s pomočjo metode strojnega učenja M5, so uporabili podatke iz let 1998 in 1999, za verifikacijo pa podatke za leto 2000 in leto 2002. Z metodo strojnega učenja M5 so zgradili več modelov napovedi oziroma izračuna visokih voda, ki se med seboj razlikujejo glede na število ur (1, 3, 6 in 9) za katero vnaprej napovedujejo pretok, ter jih primerjali med seboj in z merjenimi vrednostmi. Ob tem so ugotovili, da uporaba metod umetne inteligence (v njihovem primeru so predstavili uporabnost metode strojnega učenja M5) omogoča izdelavo uporabnih empiričnih modelov. Njena prednost je predvsem hiter postopek kalibracije modela, saj algoritem posameznih metod strojnega učenja sam izbere najboljši model, uporabnik oziroma modelar pa predvsem odloča kako kompleksen model želi imeti kot rezultat modeliranja. Sama struktura modelov napovedi nam lahko poda tudi dragocene informacije, kateri so tisti vhodni podatki (npr. katere padavinske postaje), ki pomembno vplivajo na dogajanje v vodotoku in nam npr. pri izbiri reprezentativnih postaj, ki jih kasneje vključimo v konceptualni hidrološki model, lahko zelo skrajšajo in olajšajo delo. Morebitni zelo slabi rezultati modelov napovedi nas lahko tudi opozorijo na premalo gosto mrežo padavinskih postaj na posameznem modeliranem porečju. Primerjava povprečne relativne napake modela in koeficienta korelacije je pokazala izredno kvalitetno obnašanje modela napovedi za 1 uro vnaprej, zadovoljive rezultate za model napovedi za 3 ure vnaprej, točnost modelov napovedi za 6 in 9 ur vnaprej pa je že precej slabša. Iz primerjave simuliranih in dejanskih hidrogramov je bilo tudi razvidno, da se največja odstopanja pojavijo na naraščajočem delu hidrogramov poplavnih valov, zelo hitro pa narašča tudi napaka pri napovedi vrednosti konice poplavnega vala. Na upadajočem delu hidrograma je bil v nekaj primerih izrazito viden tudi primer lažnega alarma (angl. false alarm) pri napovedi modela za 9 ur vnaprej, ki je v primeru operativnega napovedovanja visokih voda še posebej nezaželjena oblika slabosti modela napovedi.

Primerjavo aplikacije metode M5 za razvoj modelnih dreves in metode za razvoj nevronske mreže sta Solomatine in Dulal (2003) izvedla na porečju italijanske reke Sieve. Pri tem sta uporabila samo tri-mesečno serijo urnih vrednosti podatkov o padavinah, evapotranspiraciji in pretokih na iztoku iz porečja, ob tem pa je potrebno poudariti, da so bili uporabljeni urni podatki za obdobje od decembra 1959 do februarja 1960. Cilj raziskave je bil razviti modele napovedi vrednosti pretoka za 1, 3 in 6 ur vnaprej z obema metodama in primerjati rezultate. Iz rezultatov primerjave sta ugotovila, da tako nevronske mreže kot modelna drevesa generirajo odlične modele napovedi za 1 uro vnaprej, sprejemljive modele napovedi za 3 ure vnaprej in samo pogojno sprejemljive modele za napoved 6 ur vnaprej. Prav tako sta na

svojem primeru ugotovila, da je točnost obeh modelov podobna pri napovedi za 1 uro vnaprej, medtem ko se je razvita nevronska mreža pri napovedih za več ur vnaprej izkazala za bolj točno. Kot v večini raziskav, v katerih so se avtorji ukvarjali s primerjavo nevronske mreže in modelnih dreves, pa sta tudi ugotovila, da je rezultirajoče modelno drevo razumljivo in do določene mere podaja strukturo sistema, medtem ko o čem podobnem pri nevronske mreži ne moremo govoriti. Informacije o strukturi modeliranega sistema so po besedah obeh avtorjev skrite v utežeh in vstopnih pragovih nevronske mreže, kar pa za končnega uporabnika ali raziskovalca z vidika iskanja novega hidrološkega znanja ni najbolj uporabno.

Solomatine in Xue (2004) sta na primeru razvoja in verifikacije modela napovedi visokih voda primerjala modele napovedi v obliki modelnih dreves in modele napovedi v obliki nevronske mreže. Modele sta razvila in preizkusila na dnevni podatkih zgornjega dela reke Huai na Kitajskem. Ob tem sta ugotovila, da metode strojnega učenja predstavljajo uporabno orodje za napovedovanje pretokov tudi v precej kompleksnih porečjih. Prednost M5 modelnih dreves pred nevronske mreže je predvsem v njihovi razumljivosti in boljši predstavnosti za uporabnike ter upravljalce porečij. Hidrolog pridobi tudi uporabne informacije o povezanosti med posameznimi spremenljivkami, ki predstavljajo oziroma opisujejo procese v porečju. Metoda M5 omogoča hitro in enostavno generiranje večjega števila modelov glede na zahtevano robustnost in točnost modela. Po izkušnjah obeh avtorjev je tudi kalibracija (učenje) M5 modelnih dreves precej krajša (hitrejša) kot kalibracija nevronske mreže. Predlagala sta tudi, da bi šel nadaljnji razvoj na tem področju v smer ti. hibridnih modelov, ki predstavljajo kombinacijo uporabe večjih različnih tipov modelov; v njunem primeru sta uporabila kombinacijo M5 modelnih dreves in nevronske mreže ter tako prišla še do boljše točnosti modelov napovedi.

Solomatine in Siek (2004) sta z vidika fleksibilnosti in optimizacije nadgradila metodo strojnega učenja M5 in razvila dva nova algoritma; M5flex in M5opt. Novost M5flex v primerjavi z M5 je predvsem ta, da omogoča vključevanje teoretičnega hidrološkega znanja na način, da uporabniku omogoči določitev pomembnih atributov in njihovih mejnih vrednosti, po katerih se potem razvito odločitveno drevo naprej deli oziroma cepi v veje. Metoda M5opt pa je predvsem optimizirana in izboljšana M5 metoda, ki pa zahteva več računskega časa. Za primerjavo točnosti modelov, razvitih na podlagi uporabe posameznih metod (nevronska mreža, klasični M5, M5flex in M5opt), sta avtorja uporabila 6 hidroloških setov podatkov in še 5 dodatnih, ki pa niso vezani na hidrologijo. Generalno gledano se je v primerjalnih testih najbolje obnesel M5flex, za njim M5opt, potem pa še M5 in nazadnje še model nevronske mreže.

Bhattacharya in Solomatine (2005) sta prikazala možnost uporabe nevronske mreže in M5 modelnih dreves na primeru razvoja pretočne krivulje, torej odnosa med vodostajem in pretokom v posameznem pretočnem profilu vodotoka. Uporabo obeh metod sta utemljevala z zadostnim številom hidrometričnih meritev oziroma podatkov o odnosu med vodostajem in pretokom ter na koncu ugotovila, da uporaba tako nevronske mreže kot tudi modelnih dreves prinaša precejšnjo izboljšavo na področju razvoja pretočnih krivulj.

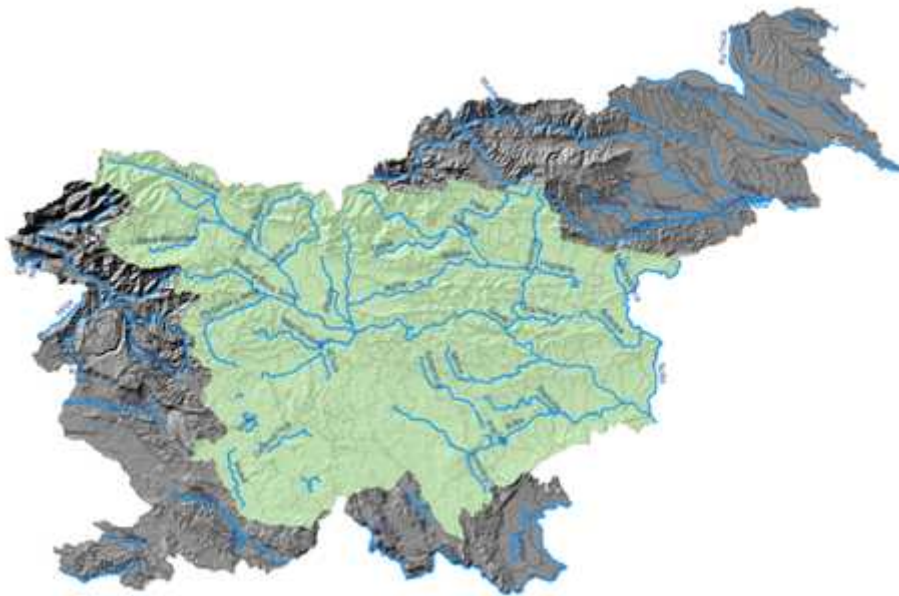
Štravs et al. (2007) so v okviru raziskave deleža prestreženih padavin na eksperimentalnem porečju reke Dragonje na podlagi izvedenih meritev in analize rezultatov le-teh z metodami strojnega učenja ugotovljali značilnosti vpliva zaraščanja opuščenih kmetijskih površin na vodno bilanco porečja Dragonje. Klasifikacijska in regresijska drevesa, ki so jih iz rezultatov meritev zgenerirali s pomočjo metod strojnega učenja J4.8 in M5, transparentno kažejo

stopnje vplivov in interakcij posameznih faktorjev, ki pomembno vplivajo na delež prestreženih padavin na gozdnih območjih. Če se rezultate z obeh raziskovalnih ploskev ekstrapolira na celotno porečje Dragonje, se lahko ugotovi, da je vpliv spremenjene dejanske rabe zemljišč v zadnjih desetletjih na vodno bilanco znotraj porečja precej visok in nikakor zanemarljiv. Gozdovi na na novo zaraščenih površinah namreč prestrežejo skoraj vso vodo padavinskih dogodkov z manj kot 2.5 mm padavin, kar pomeni da v takih primerih ne pride do površinskega in podpovršinskega odtoka v Dragonjo ali napajanja zalog podzemne vode v porečju. Za dogodke z več kot 2.5 mm padavin pa generirani modeli kažejo, da novi gozd prestreže od 42.8 % padle vode pri dogodkih s količino padavin od 2.5 do 7.5 mm in 23.2 % padle vode pri dogodkih s količino padavin večjo od 7.5 mm, ko pa imata na vrednost deleža prestreženih padavin močan vpliv tudi povprečna hitrost vetra in intenziteta padavin. Avtorji so ugotovili, da metode strojnega učenja za generiranje modelov v obliki odločitvenih dreves predstavljajo zelo uporaben in obetajoč pripomoček pri iskanju novih znanj v podatkovnih bazah.

Rusjan in Mikoš (2008) sta uporabila metodo strojnega učenja M5, da sta analizirala vlogo hidroloških in sezonskih pogojev, ki pomembno vplivajo na izpiranje nitratov med raznimi hidrološkimi dogodki v pretežno gozdnatem porečju Padeža, pritoka reke Reke. Med ostalim sta ugotovila, da regresijska in modelna drevesa predstavljajo močno in uporabno orodje za analizo eksperimentalnih podatkov z namenom iskanja novega in nadgradnje znanja, zapisanega v eksperimentalnih podatkih.

2.2 Porečje Save

Geografske značilnosti



Slika 2.3 Prikaz porečja reke Save na karti Slovenije.

Reka Sava je največja in najbolj pomembna reka v Sloveniji; njeno porečje v Sloveniji meri 11 761 km², kar predstavlja več kot 50% ozemlja Slovenije. Dolžina reke Save v Sloveniji je 220.7 km. Sava po izstopu iz Slovenije nadaljuje svojo pot skozi Hrvaško, Bosno in Hercegovino ter se nazadnje v bližini Beograda v Srbiji izliva v Donavo. V celoti v dolžino meri 945 km, celotno porečje Save na območju vseh zgoraj naštetih držav pa meri približno 96400 km², kar predstavlja približno 15% porečja Donave. Glavni pritoki reke Save na območju Slovenije so Sava Dolinka, Radovna, Sava Bohinjka, Tržiška Bistrica, Kokra, Sora, Kamniška Bistrica, Ljubljana, Savinja in Krka. V porečje slovenske Save lahko pogojno štejemo tudi porečje Kolpe, ki pa se v Savo izliva na Hrvaškem. Severni in zahodni gorati predeli porečja Save dosegajo tudi nad 2500 m nadmorske višine, konfiguracija terena pa je proti vzhodu in jugu porečja Save precej nižja in bolj položna oziroma ravninska.

Hidrološke značilnosti

Razdelitev reke Save

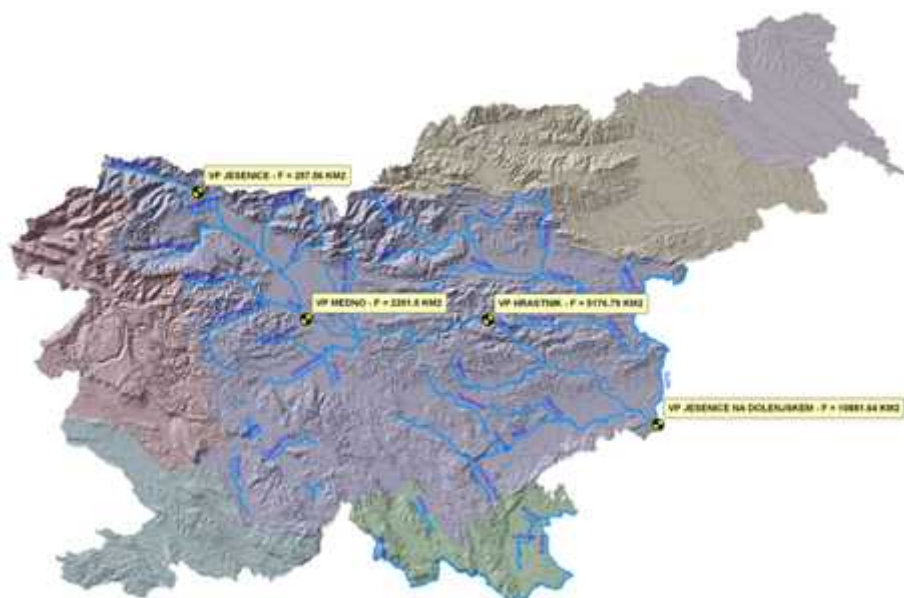
Z energetske-hidrološkega vidika lahko razdelimo slovenski del reke Save na:

- zgornjo Savo do HE Moste,
- zgornjo Savo od HE Moste do HE Mavčiče in HE Medvode,
- srednjo Savo od HE Mavčiče in HE Medvode do HE Vrhovo in HE Boštanj ter na
- spodnjo Savo dolvodno od HE Vrhovo in HE Boštanj.

Za našo analizo je relevanten predvsem odsek porečja reke Save od HE Mavčiče in HE Medvode do HE Vrhovo (čelne HE v verigi). V reko Savo se na odseku od hidroelektrarn Mavčiče in Medvode do hidroelektrarne Vrhovo izlivajo štirje večji vodotoki:

- pri Medvodah se v Savo izliva reka Sora;
- dolvodno od Ljubljane se v Savo izlivata reki Kamniška Bistrica in Ljubljana;
- pri Zidanem mostu pa se v Savo izliva reka Savinja.

Pretočne karakteristike vodomernih postaj na reki Savi



Slika 2.4 Lokacije relevantnih vodomernih postaj na Savi.

Na sami reki Savi so za analizo relevantne vodomerne postaje v Mednem, (predvsem) Hrastniku in Jesenice na Dolenjskem. Podatki o velikosti vodozbirnih območij oziroma hidrometričnih zaledij posameznih postaj in hidroloških statistikah so zbrani v Preglednici 2.1

Preglednica 2.1 Karakteristike vodomernih postaj na reki Savi.

Reka	Vodomerne postaja	Prispevna površina (km ²)	Obdobje analiziranih podatkov	Q ₉₅	Q ₈₀	Q ₅₀	Q ₃₀	Q ₁₀	Q ₅	Zabeleženi minimum	Povprečni srednji dnevni pretok	Zabeleženi maximum
				(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
Sava	Medno	2201.50	1991-2003	27.1	36.0	54.7	78.5	139.0	194.0	16.600	76.701	949.000
Sava	Hrastnik	5176.79	1994-2003	48.4	71.0	112.0	164.0	288.0	380.0	30.804	152.758	1423.137
Sava	Jesenice na Dolenjskem	10881.64	1991-2002	76.1	114.0	192.0	288.0	530.0	703.0	51.400	268.135	2430.000

Pretočne karakteristike vodomernih postaj na glavnih slovenskih pritokih reke Save



Slika 2.5 Lokacije vodomernih postaj na glavnih pritokih reke Save.

Za večino pritokov Save velja, da hidrološki maksimumi nastopijo novembra, obdobja nizkih pretokov pa večinoma nastopijo februarja, marca in avgusta.

Medtem ko nekateri pritoki reke Save na iztoku v Savo lahko na trenutke skorajda v celoti usahnejo (Kamniška Bistrica in Kokra), pa je v ostalih v 95% časa v strugi vsaj 2 m³/s. Povprečni srednji dnevni pretoki se gibljejo med 4.8 m³/s pri Tržiški Bistrici do 54.0 m³/s pri Ljubljani. Iz statističnih podatkov je možno zaključiti tudi, da ima večina izmed pritokov reke Save v Sloveniji pretežno hudourniški značaj, saj se vrednosti zabeleženih maksimumov srednjih dnevnih pretokov gibljejo tudi do 20-kratnika povprečnih vrednosti in 250-kratnika zabeleženih minimumov v analiziranem obdobju.

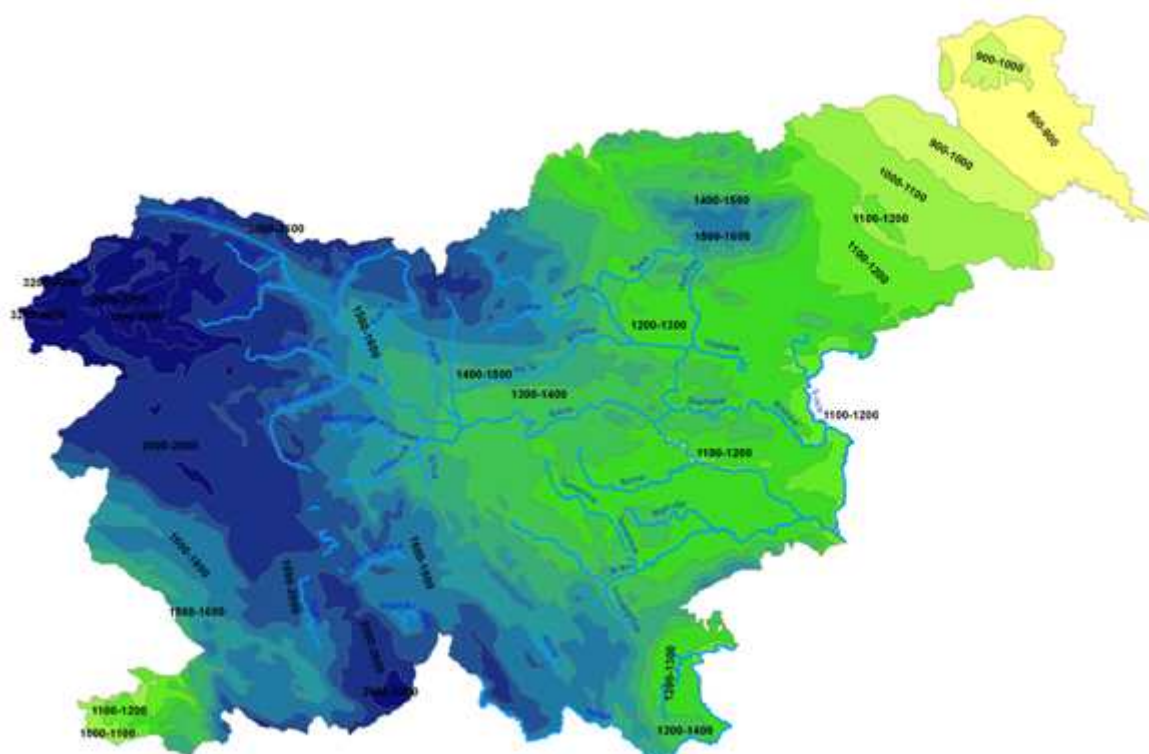
Preglednica 2.2 Karakteristike vodomernih postaj na glavnih pritokih reke Save v Sloveniji.

Reka	Vodometna postaja	Prispevna površina (km ²)	Obdobje razpoložljivih oz. analiziranih podatkov	Q ₉₅	Q ₈₀	Q ₅₀	Q ₃₀	Q ₁₀	Q ₅	Zabeleženi minimum	Povprečni srednji dnevni pretok	Zabeleženi maksimum
				(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
Sava Dolinka	Jesenice	257.60	1991–2003	4.2	5.4	7.9	10.4	15.5	19.6	3.412	9.619	87.400
Radovna	Podhom	166.79	1991–2003	1.9	2.6	4.8	7.4	14.8	20.3	1.345	7.312	84.100
Sava Bohinjka	Bodisce	363.91	1991–2003	4.1	6.0	11.4	19.3	46.0	73.3	2.582	21.573	323.000
Tržiška Bistrica	Preska	121.00	1991–2003	2.2	2.6	3.7	5.0	8.0	10.5	1.641	4.799	43.200
Kokra	Kranj	220.23	1991–1996	0.6	1.5	3.5	5.4	9.6	13.6	0.037	5.028	110.741
Sora	Medvode	642.86	1991–2003	6.7	9.3	14.8	22.1	48.6	77.9	4.090	24.446	439.039
Kamniška Bistrica	Vir	207.78	1991–2003	0.2	0.6	2.3	4.7	11.4	18.7	0.040	4.973	80.300
Ljubljana	Moste	1762.52	1991–2003	7.5	14.9	33.2	58.4	133.0	174.0	4.484	54.019	319.075

Savinja	Veliko Sirje	1841.90	1994–2003	9.3	14.2	24.9	37.5	77.1	116.0	4.095	39.085	1037.110
Krka	Podbočje	2238.12	1991–2003	9.5	15.6	28.8	47.8	119.0	170.0	4.505	49.183	356.000

Padavine

V obdobju 1971-2000 je v porečju Save (brez porečja Kolpe) padlo 1594 mm padavin, izhlapelo 716 mm in odteklo 878 mm (ARSO, 2008). Letna količina padavin tako kot v celotni Sloveniji je največja v zahodnem delu porečja Save in pada proti vzhodu. Medtem ko je v goratih predelih porečij Save Dolinke, Radovne in Save Bohinjke tudi do 4000 mm padavin, pa v nekaterih predelih porečja Savinje in Krke letno pade le nekaj več kot 1000 mm padavin.



Slika 2. 6 Povprečna letna količina padavin [mm] v Sloveniji za obdobje 1971-2000 (ARSO, 2008).

Količina padavin v porečju Save je torej največja v goratem zaledju izvira reke Save pri Zelencih in se proti vzhodu znižuje do vrednosti nekaj nad 1000 mm.

2.3 Metode

Struktura in razvoj modela napovedi vrednosti vtoka v HE Vrhovo za 7 dni vnaprej

Model 7-dnevne napovedi sušnega pretoka na vtoku v HE Vrhovo je zgrajen s seštevanjem modelov napovedi sušnih pretokov na Savi na VP Hrastnik in na Savinji na VP Veliko Širje. Za vsako postajo je torej zgrajen poseben model napovedi sušnih pretokov, seštevke obeh dveh vrednosti napovedi pa predstavlja vrednost vtoka v akumulacijo hidroelektrarne Vrhovo.

Na podlagi uporabe metode strojnega učenja M5 smo za vodomerno postajo Hrastnik (na reki Savi) in vodomerno postajo Veliko Širje (na reki Savinji) razvili regresijski drevesi, ki predstavljata model variabilnega recesijskega koeficienta k . Ta se potem uporabi v klasični enačbi recesijskega dela hidrograma, s katero se potem generira napovedi nizkih pretokov za obe posamezni vodomerni postaji:

$$Q_{t+n} = Q_t \cdot e^{-k \cdot n} \quad (1)$$

kjer predstavljajo

Q_t in Q_{t+n} ... srednji dnevni pretok na posamezni vodomerni postaji v trenutkih t in $t+n$,
 n ... število dni oziroma ur vnaprej, za katero se izdelava napoved (npr. za 1 dan (24 ur) vnaprej $n = 1.00$ ali za 36 ur vnaprej $n = 1.50$ ali za 48 ur vnaprej $n = 2.00$), in
 k ... variabilni recesijski koeficient, katerega model oziroma regresijsko drevo je podano v funkciji vrednosti pretoka v dnevu izdelave napovedi (Q_t) in glede na spremembo pretoka v zadnjih 24 urah (dQ):

Modeli oziroma regresijska drevesa variabilnega recesijskega koeficienta k so bili razviti tako, da smo za obdobje let od 1994 do 2002 z lastno aplikacijo identificirali vsa obdobja, ko je bil pretok na obeh vodomernih postajah (VP Hrastnik na Savi in VP Veliko Širje na Savinji) v upadanju. Za vsako tako obdobje (in vrednosti nižje od Q_{30} , to je od vrednosti pretoka, ki je na posamezni vodomerni postaji presežen v več kot 30% časa) je bil določen koeficient eksponencialne krivulje, ki se najbolje prilega vrednostim pretoka za 7 dni vnaprej. Za vsak tako dobljeni k je bila odčitana še vrednost pretoka v trenutku izdelave napovedi Q_t in vrednost spremembe pretoka glede na prejšnji dan dQ .

Tako je bila za vsako posamezno postajo pridobljeno večje število trojic (primerov), kjer sta dQ in Q_t vhodni spremenljivki, modelirana spremenljivka pa je recesijski koeficient k . Nato smo uporabili metodo strojnega učenja M5, da smo razvili modele variabilnega recesijskega koeficienta k v obliki ti. regresijskega drevesa.

Tako sta bila torej razvita dva modela napovedi sušnih pretokov, in sicer, model napovedi sušnih pretokov za vodomerno postajo Hrastnik na reki Savi in model napovedi sušnih pretokov za vodomerno postajo Veliko Širje na reki Savinji. S seštevanjem napovedi teh dveh modelov dobimo napoved vtoka v akumulacijo HE Vrhovo.

Podatki

Za določitev krivulj trajanja pretokov in karakterističnih statistik srednjih dnevnih pretokov Q_{95} (vrednost srednjega dnevnega pretoka, ki je presežen v 95 % časa), Q_{80} , Q_{50} in Q_{30} na

posameznih vodomernih postajah so bili uporabljeni podatki o srednjih dnevni pretokih v letih od 1991 do 2003; podatke je posredovala Agencija Republike Slovenije za okolje.

Za gradnjo oziroma razvoj modelov napovedi nizkih pretokov za reko Savinjo na VP Veliko Širje in za reko Savo na VP Hrastnik so bili uporabljeni podatki iz obdobja od vključno leta 1991 do vključno leta 2002, za verifikacijo modelov napovedi pa podatki o srednjih dnevni pretokih za leto 2003, katerega lahko uvrstimo med bolj sušna obdobja v zadnjem obdobju. Za verifikacijo modelov napovedi nizkih pretokov na posameznih vodomernih postajah smo izbrali pet sušnih obdobj v letu 2003. Modeli napovedi so bili verificirani samo na tistih podatkih, ko je srednji dnevni pretok v času napovedi (Q_t) znašal manj kot 150% vrednosti Q_{30} , torej pretoka, ki je bil presežen vsaj 30 % časa v obdobju od 1991 do 2003. Tako so bili modeli napovedi preverjeni tudi na podatkih o srednjem dnevnem pretoku, ki niso bili vključeni v razvoj modelov.

Metoda strojnega učenja M5 za razvoj regresijskih dreves

Za razvoj modelov v obliki regresijskih dreves, ki predstavljajo modele variabilnega recesijskega koeficienta k in modele napovedi vtoka v akumulacijo posamezne hidroelektrarne, smo uporabili metodo strojnega učenja M5 iz programskega orodja WEKA. To orodje je bilo razvito na Univerzi Waikato na Novi Zelandiji (Witten & Frank, 2000).

S tem, ko metodi strojnega učenja ponudimo dovolj vhodnih (atributov) in izhodnih podatkov, ki opisujejo modelirani proces, se le-ta iz posameznih primerov nauči vzorce obnašanja v okviru modeliranega procesa. Pri tem se celotni podatkovni prostor vhodnih spremenljivk deli na podprostore, katerih meje so v procesu razvoja modela optimizirane, znotraj posameznih podprostorov celotnega podatkovnega n -dimenzijskega prostora pa veljajo določeni vzorci, ki se jih lahko aproksimira z npr. nominalno ali konstantno numerično vrednostjo in linearno funkcijo. Odločitvena drevesa se generirajo na podlagi iterativnega deljenja podatkov v podatkovne podprostore celotnega podatkovnega prostora, pri čemer je cilj, da je razdalja med posameznimi podatkovnimi podprostori čim večja (Breiman et al., 1984; Quinlan 1986, 1992; Kompare, 1995; Mitchell, 1997; Witten & Frank, 2000; Solomatine & Dulal, 2003).

Glavne komponente odločitvenih dreves so odločitvena vozlišča, veje in listi. Odločitveni proces se začne pri glavnem oziroma zgornjem odločitvenem vozlišču, v katerem je specificiran razdelitveni kriterij. Glede na odgovor na ta razdelitveni kriterij se odločitveno drevo razdeli v veje. Vsaka veja lahko vodi do podrejenih vej ali pa zaključnih delov odločitvenih dreves, ki se imenujejo listi in predstavljajo vrednost, ki jo zavzame model. Rezultati modeliranja so torej modeli v obliki odločitvenih dreves, ki predstavljajo zaporedje pravil. Ta pripeljejo do vrednosti razreda, numerične vrednosti ali linearne funkcije uporabljenih atributnih spremenljivk. Glede na to lahko razdelimo vrste odločitvenih dreves v:

- klasifikacijska drevesa z nominalnimi vrednostmi razreda kot listi modela,
- regresijska drevesa s konstantnimi numeričnimi vrednostmi kot listi modela in
- modelna drevesa z linearnimi kombinacijami oziroma funkcijami uporabljenih atributov kot listi modela.

Aplikacija metode strojnega učenja M5 za razvoj modela napovedi s spremenljivo vrednostjo recesijskega koeficienta k

Modeli napovedi nizkih pretokov za n-dni vnaprej se v hidrologiji ponavadi razvijajo na podlagi uporabe najbolj poznane enačbe recesijskega dela hidrograma (Tallaksen, 1995):

$$Q_{t+n} = Q_t \cdot e^{-k \cdot n}$$

(1)

kjer predstavljajo Q_t in Q_{t+n} srednji dnevni pretok na posamezni vodomerni postaji v dnevih t in $t+n$, n število dni vnaprej, za katero se izdelava napoved (npr. za 1 dan vnaprej $n = 1$), in k recesijski koeficient konstantne vrednosti.

Enačba (1) se v literaturi (Tallaksen, 1995) pojavlja tudi v naslednjih podobnih oblikah:

$$Q_{t+n} = Q_t \cdot e^{-n/C}$$

(1a)

$$Q_{t+n} = Q_t \cdot e^{-a1 \cdot n}$$

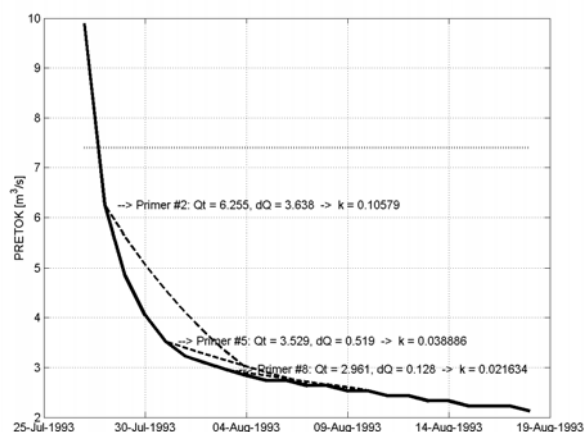
(1b)

$$Q_{t+n} = Q_t \cdot k^n$$

(1c)

kjer predstavljajo C , $a1$ in k konstante in je n število dni vnaprej, za katero se izdelava napoved.

Za razliko od modela napovedi s konstantno vrednostjo recesijskega koeficienta, ki se ponavadi razvija in uporablja v klasičnih hidroloških konceptualnih modelih, smo za VP Veliko Širje na Savinji in za VP Hrastnik na Savi na podlagi analize recesijskih obdobj v letih od 1991 do 2002 razvil modele variabilnega recesijskega koeficienta k , ki se ga kasneje uporabi v modelu napovedi nizkih pretokov za 7 dni vnaprej. Razvili smo torej regresijsko drevo variabilnega recesijskega koeficienta k iz enačbe (1), ki ni konstanten, temveč variira glede na vrednost pretoka v dnevu izdelave napovedi (Q_t) in glede na spremembo pretoka v zadnjih 24 urah (dQ).



Slika 2.7 Zbiranje atributov (Q_t in dQ) in razredov (koeficient k) posameznih primerov iz podatkov o srednjih dnevni pretokih.

Osnovna oblika modela torej ostane enaka (enačba 1), le recesijski koeficient ni več konstanten v vseh hidroloških pogojih v trenutku izdelave napovedi, temveč je odvisen od spremembe pretoka v zadnjih 24 urah dQ in vrednosti pretoka v dnevu izdelave napovedi Q_t :

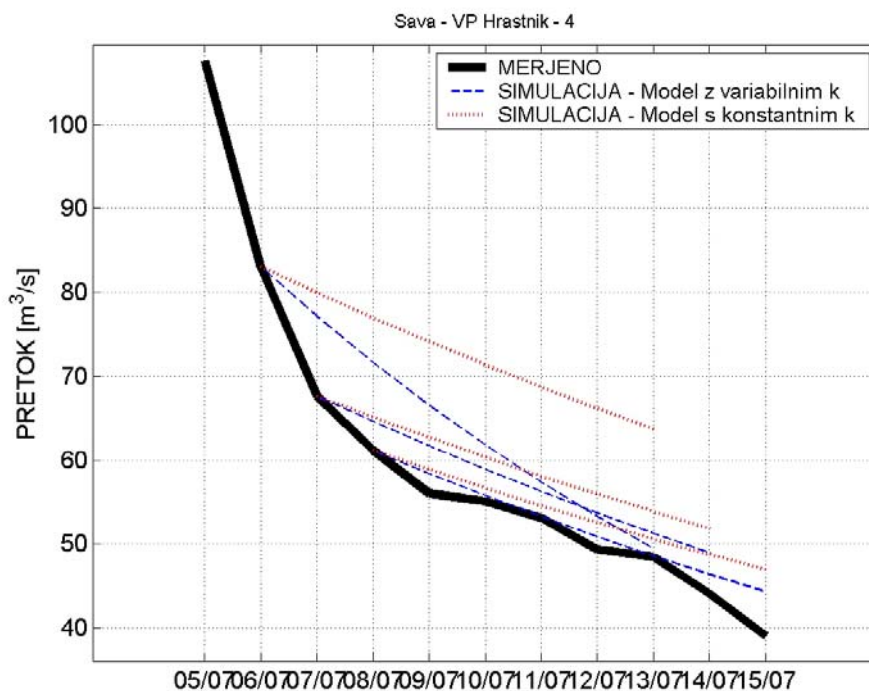
$$k = f(Q_t, dQ)$$

Modele oziroma regresijska drevesa recesijskega koeficienta k za smo razvil tako, da smo za VP Veliko Širje na Savinji in za VP Hrastnik na Savi za obdobje let od 1991 do 2002 z lastno aplikacijo identificirali vsa obdobja, ko je bil pretok v upadanju. Za vsako tako obdobje in vrednosti nižje od Q_{30} je bil določen koeficient eksponentne krivulje, ki se najbolj prilega vrednostim pretoka za 7 dni vnaprej. Za vsak tako dobljeni k je bila odčitana še vrednost pretoka v trenutku izdelave napovedi Q_t in vrednost spremembe pretoka glede na prejšnji dan dQ . Tako je bila za vsako posamezno postajo pridobljeno večje število trojic (primerov), kjer sta dQ in Q_t atributa (oziroma vhodni spremenljivki), razred (oziroma modelirana spremenljivka) v obliki konstante vrednosti pa je recesijski koeficient k .

Preglednica 2.3 Prikaz posameznih zbranih trojic (primerov) Q_t , dQ in k , na podlagi katerih metoda M5 sama zgradi regresijsko drevo spremenljivega recesijskega koeficienta k .

Primer #	Q_t [m³/s]	dQ [m³/s]	k
1	4,76	0,400	0,0617
2	4,19	0,570	0,0538
3	4,01	0,180	0,0518
4	3,66	0,350	0,0443
5	3,49	0,170	0,0419
6	3,33	0,160	0,0365
7	3,17	0,160	0,0291
8	3,02	0,150	0,0211
9	2,88	0,140	0,0178
10	2,74	0,140	0,0148
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
549	2,64	0,127	0,0301
550	2,52	0,122	0,0200

Verifikacija razvitega modela napovedi nizkih pretokov



Slika 2.8 Primerjava in preveritev modelov napovedi s konstantnim in modelov napovedi z variabilnim recesijskim koeficientom na podatkih o nizkih pretokih iz leta 2003 na VP Hrastnik na Savi.

Napaka modela napovedi nizkih pretokov s spremenljivim recesijskim koeficientom je bila v rangi od 4,23 do 28,19%, medtem ko je napaka modela napovedi nizkih pretokov s konstantnim recesijskim koeficientom na testnih obdobjih v letu 2003 znašala med 4,03 do 43,59%.

Preglednica 2.4 Primerjava natančnosti modelov s spremenljivim in modelov s konstantnim recesijskim koeficientom za VP Hrastnik.

# obdobja	Model - spremenljivi k		Model - konstantni k	
	dQ _{AVG} [m³/s]	dQ _{AVG} [%]	dQ _{AVG} [m³/s]	dQ _{AVG} [%]
1	16.12	12.84	17.26	13.67
2	13.07	9.77	29.26	22.43
3	3.77	4.42	5.02	6.27
4	4.15	7.75	8.31	15.84
5	1.62	4.23	1.53	4.03
6	18.57	28.19	28.05	43.59

Savinja – VP Veliko Širje

Razvit model

Model oziroma regresijsko drevo recesijskega koeficienta za 7-dnevno napoved sušnih pretokov na Savinji – VP Veliko Širje:

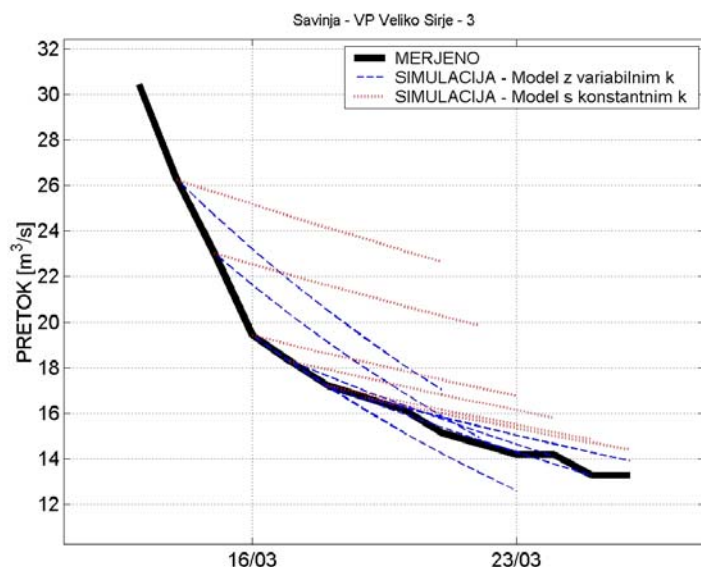
```
dQ <= 2.78 :  
|   Qt <= 23 :  
|   |   dQ <= 0.783 : k = 0.0259  
|   |   dQ > 0.783 : k = 0.0372  
|   Qt > 23 : k = 0.0510  
dQ > 2.78 :  
|   dQ <= 6.84 : k = 0.0617  
|   dQ > 6.84 : k = 0.0938
```

Model recesijskega koeficienta k za VP Veliko Širje se uporabi na naslednji način:

1. če je dQ manjši od $0.783 \text{ m}^3/\text{s}$, Q_t pa manjši od $23 \text{ m}^3/\text{s}$, potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient $k = 0.0259$;
2. če je dQ večji od $0.783 \text{ m}^3/\text{s}$ in manjši od $2.78 \text{ m}^3/\text{s}$, Q_t pa manjši od $23 \text{ m}^3/\text{s}$, potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient $k = 0.0372$;
3. če je dQ manjši od $2.78 \text{ m}^3/\text{s}$, Q_t pa večji od $23 \text{ m}^3/\text{s}$, potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient $k = 0.0510$;
4. če je dQ večji od $2.78 \text{ m}^3/\text{s}$ in manjši od $6.84 \text{ m}^3/\text{s}$, potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient $k = 0.0617$;
5. če je dQ večji od $6.84 \text{ m}^3/\text{s}$, potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient $k = 0.0938$.

Maksimalna vrednost pretoka, pri kateri se lahko izdelava 7-dnevna napoved za vodomerno postajo Moste je enaka $Q_{30} = 37,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Verifikacija razvitega modela napovedi nizkih pretokov



Slika 2.9 Primerjava in preveritev modelov napovedi s konstantnim in modelov napovedi z variabilnim recesijskim koeficientom na podatkih o nizkih pretokih iz leta 2003 na VP Veliko Širje na Savinji.

Napaka modela napovedi nizkih pretokov s spremenljivim recesijskim koeficientom je bila v rangu od 3,08 do 8,82%, medtem ko je napaka modela napovedi nizkih pretokov s konstantnim recesijskim koeficientom na testnih obdobjih v letu 2003 znašala med 9,99 do 17,41%.

Preglednica 2.5 Primerjava natančnosti modelov s spremenljivim in modelov s konstantnim recesijskim koeficientom za VP Veliko Širje.

# obdobja	Model - spremenljivi k		Model - konstantni k	
	dQ _{AVG} [m ³ /s]	dQ _{AVG} [%]	dQ _{AVG} [m ³ /s]	dQ _{AVG} [%]
1	0.78	3.08	2.78	11.29
2	1.70	8.82	2.54	13.09
3	0.99	5.96	2.60	16.07
4	0.93	4.41	2.06	9.99
5	0.50	8.00	0.67	10.87
6	1.49	5.67	4.30	17.41

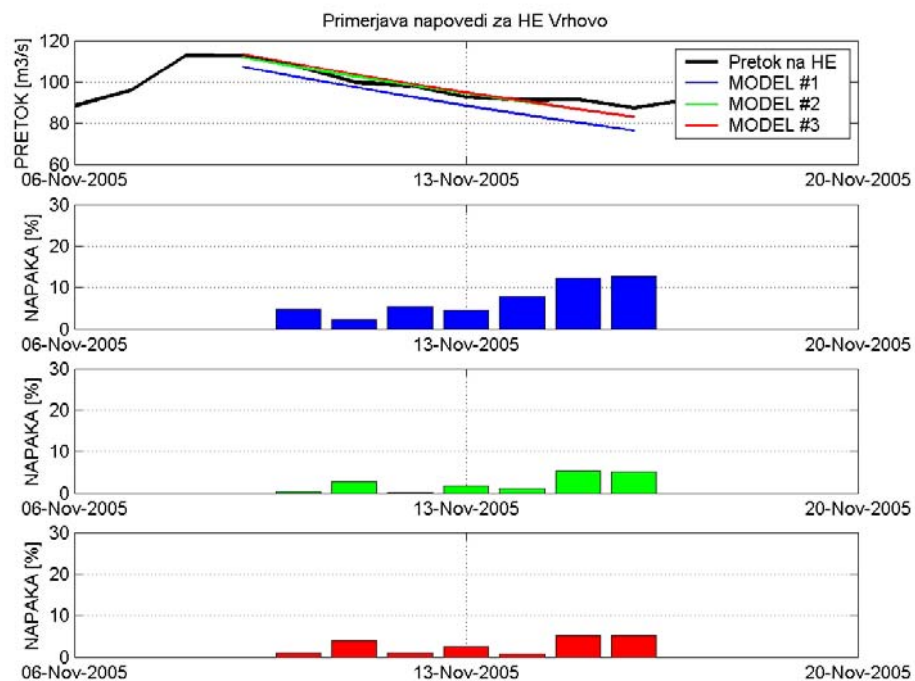
2.5 Analiza obnašanja modela napovedi vtoka v akumulacijo HE Vrhovo

Model napovedi je bil testiran na 52 primerih. Model je napovedoval vrednosti 7-dni vnaprej s povprečno napako 7,5% ter minimalno povprečno napako 1,7% in maksimalno povprečno napako 18,6%.

Preglednica 2.6 Analiza obnašanja modela napovedi nizkih pretokov na vtoku v HE Vrhovo.

Povprečna napaka modela [%]	
Datum izdelave 7-dnevne napovedi	Model #3
09-Nov-2005	2.7
10-Nov-2005	4.8
11-Nov-2005	8.9
12-Nov-2005	2.0
13-Nov-2005	3.2
14-Nov-2005	5.5
17-Dec-2005	6.9
18-Dec-2005	7.7
20-Dec-2005	3.1
21-Dec-2005	5.2
22-Dec-2005	5.2
23-Dec-2005	6.1
24-Dec-2005	4.8
05-Jan-2007	5.7
06-Jan-2007	7.6
07-Jan-2007	13.4
08-Jan-2007	5.5
09-Jan-2007	9.0
10-Jan-2007	7.1
12-Jan-2007	1.7
13-Jan-2007	6.3

14-Jan-2007	2.4
28-Jan-2007	11.7
29-Jan-2007	8.1
14-Apr-2007	11.1
15-Apr-2007	10.2
16-Apr-2007	7.4
18-Apr-2007	2.9
19-Apr-2007	7.5
20-Apr-2007	9.0
21-Apr-2007	10.8
22-Apr-2007	11.6
23-Apr-2007	11.3
24-Apr-2007	8.7
06-May-2007	10.4
12-Jul-2007	17.3
13-Jul-2007	6.5
14-Jul-2007	8.3
15-Jul-2007	3.2
16-Jul-2007	6.9
02-Nov-2007	18.6
03-Nov-2007	5.9
04-Nov-2007	7.0
05-Nov-2007	9.7
06-Nov-2007	9.5
07-Nov-2007	10.0
08-Nov-2007	9.5
11-Nov-2007	9.6
13-Nov-2007	4.2
14-Nov-2007	4.8
16-Nov-2007	6.0
17-Nov-2007	7.3
Povprečna vrednost	7.5
Minimalna vrednost	1.7
Maksimalna vrednost	18.6



Slika 2. 10 Primerjava obnašanja modelov napovedi za HE Vrhovo – obdobje november 2005 (v naši analizi uporabljen model nosi oznako MODEL #3).

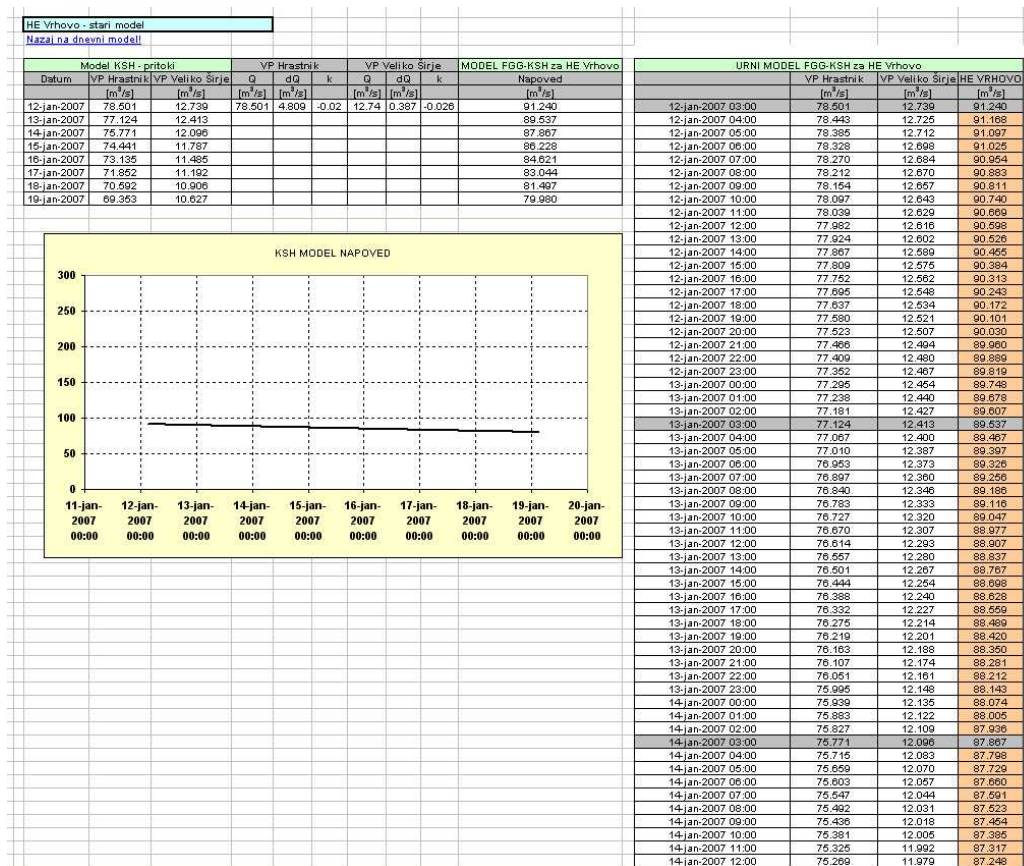
2.6 Maska modela in delovanje modela v praksi

Izdelane so bile simulacije modela napovedi za 4 primere obdobja nizkih oziroma sušnih vrednosti pretokov v letu 2007 na HE Vrhovo, in sicer za

- primer 1 - 12-Jan-2007 - 19-Jan-2007;
- primer 2 - 18-Apr-2007 - 25-Apr-2007;
- primer 3 - 15-Jul-2007 - 22-Jul-2007;
- primer 4 - 03-Nov-2007 - 10-Nov-2007.

KSH model napovedi nizkih pretokov na HE na Savi - dnevne vrednosti													
Vodotok	Vodometna postaja	Q _{max} [m³/s]	Čas izdelave napovedi	Q _{START} [m³/s]	dQ [m³/s / dan]	k	Q _h [m³/s]	Q _{t+1 dan} [m³/s]	Q _{t+2 dan} [m³/s]	Q _{t+3 dan} [m³/s]	Q _{t+4 dan} [m³/s]	Q _{t+5 dan} [m³/s]	Q _{t+6 dan} [m³/s]
Sava Dolinka	Jesenice	18.400		6.328	0.000	-0.00403	6.328	6.299	6.278	6.241	6.212	6.183	6.156
Sava	HE Moste	NOVI MODEL1	12-jan-2007 03:00				7.727	7.692	7.658	7.624	7.598	7.556	7.489
Sava	HE Moste	NOVI MODEL2	12-jan-2007 03:00				7.928	7.896	7.869	7.840	7.810	7.781	7.723
Sava	HE Moste	STARI MODEL	12-jan-2007 03:00				6.644	6.614	6.583	6.553	6.522	6.492	6.433
Sava Bohinjka	Bodeče	19.300		6.204	-0.464	-0.02690	6.204	6.829	5.879	5.223	5.371	5.423	5.329
Tržiška Bistrica	Preska	5.888		2.840	0.000	-0.01860	2.840	2.788	2.736	2.686	2.636	2.588	2.493
Sava	HE Mavčiče	NOVI MODEL1	12-jan-2007 03:00				20.512	20.877	19.652	19.236	18.829	18.438	18.839
Sava	HE Mavčiče	NOVI MODEL2	12-jan-2007 03:00				21.668	21.219	20.787	20.364	19.958	19.543	19.145
Sava	HE Mavčiče	STARI MODEL	12-jan-2007 03:00				24.794	24.396	24.088	23.628	23.257	22.894	22.539
Sava	Hrastnik	164.800		78.501	-4.809	-0.01770	78.501	77.124	75.271	74.441	73.125	71.852	70.592
Savinja	Veliko Širje	37.586		12.739	0.387	-0.02590	12.739	12.413	12.096	11.787	11.485	11.193	10.966
Sava	HE Vrhovo	NOVI MODEL1	12-jan-2007 03:00				84.711	82.968	81.259	79.582	77.937	76.324	74.741
Sava	HE Vrhovo	NOVI MODEL2	12-jan-2007 03:00				91.314	89.785	88.285	86.811	85.365	83.946	82.552
Sava	HE Vrhovo	STARI MODEL	12-jan-2007 03:00				91.240	89.537	87.867	86.228	84.621	83.044	81.497

Slika 2.11 Maska modela napovedi nizkih pretokov na HE na Savi – za to nalogo je relevanten in uporabljen model, ki nosi oznako MODEL #3; na sliki je prikaz napovedi dnevnih vrednosti z linkom na urni model napovedi.



Slika 2.12 Maska modela napovedi nizkih pretokov na HE Vrhovo na Savi – prikaz napovedi urni vrednosti.

Za vsakega izmed petih primerov in za vsako vodomerno postajo (VP Hrastnik in VP Veliko Širje) sta bila na podlagi uporabe dnevnih vrednosti pretokov na obeh vodomernih postajah določena Q_t in dQ , na podlagi tega in uporabe razvitih modelov variabilnega recesijskega koeficienta je bil določen k in tako z uporabo enačbe (1) simulirana urna napoved sušnih pretokov za 7 dni vnaprej.

2.7 Viri in literatura

Abrahart, R.J., See, L. 2000. Comparing neural network and autoregressive moving average techniques for the provision of continuous river flow forecasts in two contrasting catchments. *Hydrological Processes* 14: 2157–2172.

Agencija Republike Slovenije za okolje. 2008. Vodna bilanca Slovenije 1971-2000. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor.

ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology, 2000a. Artificial neural networks in hydrology I: preliminary concepts. *Journal of Hydrologic Engineering* 52: 115–123.

ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology, 2000b. Artificial neural networks in hydrology II: Hydrologic applications. *Journal of Hydrologic Engineering* 52: pp. 124–137.

Beven, K.J. 1985. Distributed models V: M.G. Anderson and T.P. Burt (Eds) *Hydrological forecasting*, Wiley, Chichester.

Beven, K., Binley, A.M. 1992. The future role of distributed models: model calibration and predictive uncertainty. *Hydrological Processes* 6: 279-298.

Bhattacharya, B., Solomatine, D. P. 2005. Neural networks and M5 model trees in modelling water level – discharge relationship. *Neurocomputing* 63: 381–396.

Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A., Stone, C. J. 1984. *Classification and Regression Trees*. Belmont, California, USA, Wadsworth.

Brilly, M., Šraj, M. 2005. *Osnove hidrologije*. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Brus, J. 1981. Grafikoni za določanje velikih voda in numerične tabele za določanje odtočnih koeficientov ter povprečnih letnih specifičnih pretokov po empiričnih obrazcih nekaterih poznanih tujih avtorjev. Ljubljana, Zveza vodnih skupnosti Slovenije.

Cameron, D., Kneale, P., See, L. 2002. An evaluation of traditional and a neural net modeling approach to flood forecasting for an upland catchment. *Hydrological Processes* 16: 1033-1046.

Chang, F.J., Chang, L.C., Huang, H.L. 2002. Real-time recurrent neural network for stream-flow forecasting. *Hydrological Processes* 16: 2577–2588.

Cherkassky, V., Krasnopolsky, V., Solomatine, D.P., Valdes, J. 2006. Computational intelligence in earth sciences and environmental applications. *Neural Networks Journal* 19: 113 – 121.

Dawson, C.W., Wilby, R.L. 1998. An artificial neural network approach to rainfall–runoff modeling. *Hydrological Sciences* 43: 47–67.

Dawson, C.W., Wilby, R.L. 2001. Hydrological modeling using artificial neural networks. *Progress in Physical Geography* 25: 80-108.

Freeze, R.A., Harlan, R.L. 1969, Blueprint for a physically-based digitally-simulated hydrological response model. *Journal of Hydrology* 9: 237-258.

Govindaraju, R.S., Ruo, A.R. 2000. *Artificial Neural Networks in Hydrology*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Hsu, K.L., Gupta, H.V., Sorooshian, S. 1995. Artificial neural network modeling of the rainfall-runoff process. *Water Resources Research* 31: 2517–2530.

Hydrological Engineering Center, 1990. HEC-1 Flood Hydrograph Package, Program Users Manual. Davis, C.A , US Army Corps of Engineers.

Kompare, B. 1995. The use of artificial intelligence in ecological modelling. Doktorska dizertacija. Copenhagen, Danska, Royal Danish School of Pharmacy.

Kompare, B., Steinman, F., Cerar, U., Dzeroski, S. 1997. Prediction of rainfall runoff from catchment by intelligent data analysis with machine learning tools within the artificial intelligence tools. *Acta Hydrotechnica* 16/17: 79–94.

Kubat, M., Bratko, I., Michalski, R.S. 1997. A review of machine learning methods. *Machine learning and data mining: methods and applications*. New York, John Wiley & Sons Ltd.

Maier, H.R., Dandy, G.C. 2000. Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: a review of modelling issues and applications. *Environmental Modelling and Software* 15, 1: 101–124.

Minns, A.W., Hall, M.J. 1996. Artificial neural networks as rainfall-runoff models. *Hydrological Sciences* 41 3: 399–417.

Mitchell, T. 1997. *Machine Learning*. Boston, Massachusetts, USA, MIT Press, Inc.

McCulloch, W.S., Pitts, W. 1943. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics* 5: 115–133.

Quinlan, J. R. 1986. Induction of Decision Trees. *Machine Learning* 1: 81–106.

Quinlan, J. R. 1992. Learning with continuous classes. *Proc. Australian Joint Conference on Artificial Intelligence*: 343–348. Singapore, World Scientific.

Rumelhart, D.E., Hinton, G.E., Williams, R.J. 1986. Learning representations by Back-propagating errors. *Nature* 323: 533–536.

Rusjan, S. and Mikoš, M. 2008. Assessment of hydrological and seasonal controls over the nitrate flushing from a forested watershed using a data mining technique, *Hydrology and Earth System Sciences* 12: 645-656.

Savske Elektrarne. 2008. Internet: <http://www.savske-elektrarne.si/>

See, L. A., Solomatine, D. P., Abraham, R., Toth, E. 2007. Hydroinformatics: computational intelligence and technological developments in water science applications – Editorial. *Hydrological Sciences Journal* 52: 391–396.

Shamseldin, A.Y. 1997. Application of a neural network technique to rainfall–runoff modeling. *Journal of Hydrology* 199: 272–294.

Smith, J., Eli, R.N. 1995. Neural network models of rainfall–runoff process. *Journal of Water Resources Planning and Management* 121, 6: 499–508.

Solomatine, D.P., Dulal, K.N. 2003. Model tree as an alternative to neural network in rainfall–runoff modelling. *Hydrological Sciences Journal* 48, 3: 399–411.

Solomatine, D.P., Siek, M.B. 2004. Flexible and optimal M5 model trees with applications to flow predictions. V: *Proc. 6th Int. Conf. on Hydroinformatics*. Singapore, World Scientific.

Solomatine, D.P., Xue, Y. 2004. M5 model trees and neural networks: application to flood forecasting in the upper reach of the Huai River in China. *ASCE Journal of Hydrologic Engineering*. 9, 6: 491–501.

Solomatine, D. P., Ostfeld, A. 2008. Data-driven modelling: some past experiences and new approaches. *Journal of Hydroinformatics* 10, 1: 3–22.

Stuber, M., Gemmar, P. 1997. An approach for data analysis and forecasting with neuro fuzzy systems – demonstrated on flood events at river Mosel. V: Dortmund, *Proc. International Conference on Computational Intelligence, 5th Fuzzy Days*.

Štravs, L., Vidmar, A., Brilly, M. 2003. Empirična določitev časa propagacije valov v naravni strugi reke Save. V: Maribor, *Zbornik – Mišičev vodarski dan*.

Štravs, L., Kobold, M., Brilly, M. 2004. Modeli kratkoročnih napovedi pretokov visokih voda na Savinji. V: Maribor, *Zbornik – Misicev vodarski dan*.

Štravs, L., Šraj, M., Brilly, M. 2007. Uporaba metod strojnega učenja za modeliranje deleža prestreženih padavin na eksperimentalnem porečju reke Dragonje. V: Ljubljana, *Zbornik Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko*.

Tallaksen, L. M. 1995. A review of baseflow recession analysis. *Journal of Hydrology* 165: 349–370.

Wang, Y., Witten, I. H. 1997. Induction of model trees for predicting continuous classes. V: Singapore, *Poster papers of the 9th European Conference on Machine Learning*.

Witten, I.H., Frank, E. 2000. *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques with Java Implementations*. San Francisco, USA, Morgan Kaufmann Publishers.

3 SISTEM ZA HIDROLOŠKE MERITVE NA SAVI IN IZDELAVE OPERATIVNIH MODELOV ZA NAPOVED PRETOKOV VODE

Izgradnja celotnega sistema je sad več letnega dela in več raziskovalnih nalog, ki jih je UL FGG-KSH izpeljala v obdobju od leta 2000 do 2006 ob pomoči Savskih elektrarn d.o.o in tudi lastnih razvojnih sredstev, vse v prid novih znanj potrebnih za izvedbo takšnega sistema.

Delo je zajelo izdelavo in fizično postavitev opazovalne mreže devetih *avtomatskih vodomernih postaj* – AVP, njihovo povezavo z operativnim centrom, izdelavo pretočnih krivulj za izračun pretokov, izdelavo matematičnega modela za napoved pretokov in uvajanje delavcev Savskih elektrarn v uporabo ter vzdrževanje sistema. Nastala operativna programska aplikacija »SFExcel«.

Programska aplikacija »SFExcel« je zasnovana v in na osnovi programa MS Excel. Le-ta omogoča uporabniku enostavnejše in prijaznejše delo. MS Excel s svojo programsko osnovno kodo ne omogoča branja podatkov preko serijskih vrat COM oz. nima funkcij za komunikacijo z GSM modemom. Za to je bilo potrebno izdelati zunanjo aplikacijo, ki prebere trenutne podatke iz avtomatskih vodomernih postaj StarFlow in poskrbi za prenos le-teh v celice MS Excela. V MS Excelu se hidrološki model napovedi dokončno preračuna in izvede. Tako je aplikacija SFExcel izvedena dvodelno;

- iz zunanje »SFExcel.exe« v PowerBasic-u in
- notranje »SFExcel.xls« aplikacije v MS Excel-u.

Zunanja aplikacija je izvedena s PowerBasic programskim orodjem. Prednost PB pred ostalimi je, da le-ta omogoča enostavno in razumljivo »Basic« programiranje. Programsko Basic kodo PB orodje prevede v kompaktno »strojno« kodo, brez dodatnih zunanjih dinamičnih knjižnic DLL. Oziroma enostavneje povedano, ko se programska koda prevede dobimo samo eno manjšo EXE datoteko brez nepotrebne »navlake«. To obenem in hkratio pomeni hitrejše izvajanje aplikacije.

Potrebni podatki in z njimi izdelane Q-h krivulje se nahajajo v razpredelnični datoteki »[Q-h krivulje na AVP-SF.xls](#)« in v podatkovni bazi MS Access »[Hidrometrične meritve.mdb](#)«.

Tehnični parametri merske opreme in vodomernih mest se nahajajo v dokumentu »[Tehnični parametri AVP-SF SEL.doc](#)«.

Aplikacija je v osnovi narejena v MS Excel 97 in preverjena tudi v verziji MS Excel 2000.

3.1 Opis zunanje aplikacije "SFExcel.exe"

Program je sestavljen iz glavnega programa in več funkcij ter podprogramov.

Glavni program: **FUNCTION PBMAIN**

Odpre povezavo z MS Excel-om, prebere vhodne podatke in pokliče ostale potrebne funkcije, ki poskrbijo za prenos določenih heksalnih podatkov iz avtomatskih vodomernih postaj StarFlow (AVP SF) v določene celice MS Excel-a. Glavni program poskrbi tudi za prevedbo heksalnih števil v decimalne vrednosti.

Funkcije:

FUNCTION DialIn () vzpostavi komunikacijo z GSM modemom. Odpre serijska vrata COM1, pokliče določeni GSM modem in preveri uspešnost povezave.

SUB Hangup () prekine komunikacijo z GSM modemom.

FUNCTION SFRespond poskrbi, da se StarFlow odzove z »*« v tim. ukaznem načinu.

FUNCTION GetSF pošlje ukaz v SF in prebere odgovor, rezultat HEX (heksalne vrednosti) določenega zahtevanega trenutnega parametra, ter izvede kontrolo pravilnega prenosa »Checksum«.

FUNCTION KillSF pošlje ukaz »K«, da se SF Data Logger izključi na »OFF« do naslednjega cikla z razlogom, da se s tem privarčuje napajanje oz. akumulatorska baterija.

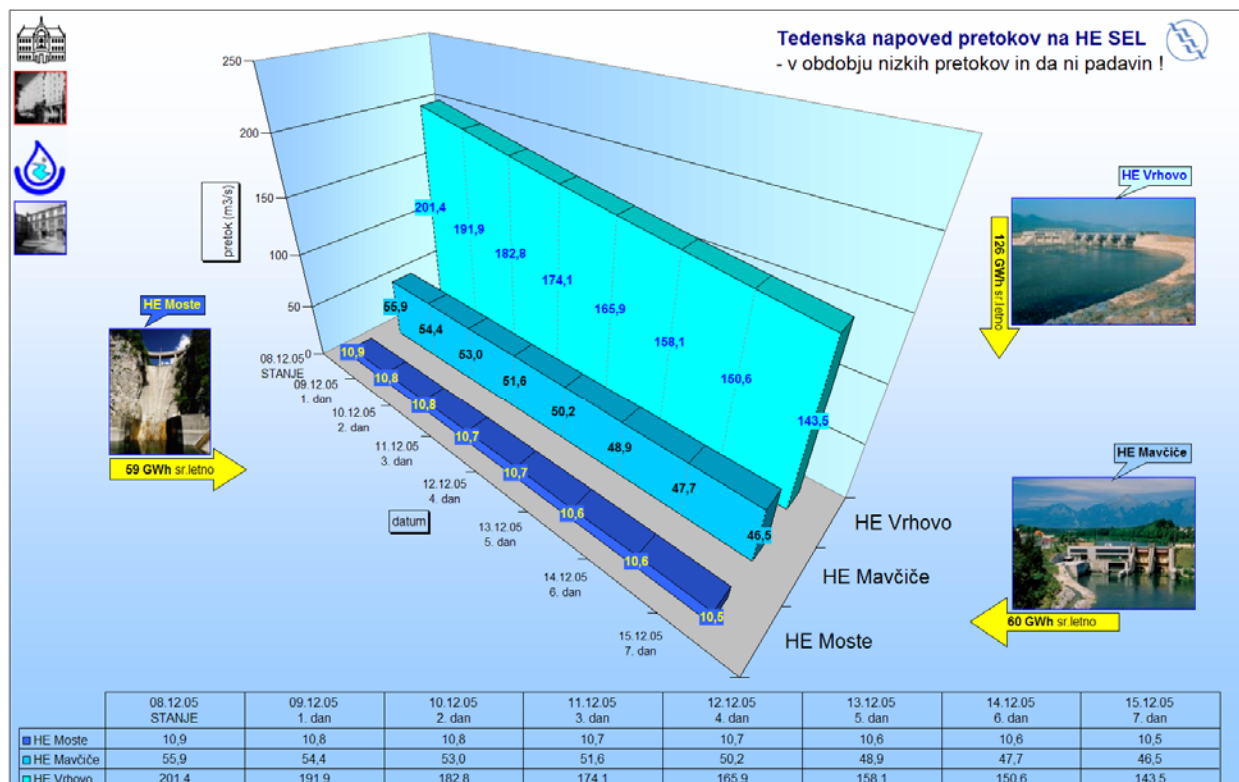
Kompletni listing je podan v datoteki [SFExcel_listing.doc](#), kjer so razložene oz. podane opombe vsakega ukaza posebej.

Koda te zunanje aplikacije se nahaja v SFExcel.bas datoteki in je prevedena v strojno kodo z PB Win 8.01 programskim orodjem.

Pri prevajanju v strojno kodo so potrebne še knjižnice "win32api.inc", "SFExcel.inc" in "SFExcel.pbr", ki smo jih priredili posebej in namensko za to aplikacijo.

3.2 Opis notranje aplikacije "SFExcel.xls"

MS Excel-ova datoteka SFExcel.xls ima dva delovna lista v katerih se nahajajo tabele in grafi:



Slika 3.1 delovni list: Graf

V tem listu je grafično in tabelarično ponazorjena tedenska napoved pretokov za HE Moste, HE Mavčiče in HE Vrhovo, kar obenem predstavlja grafično-tabelarični rezultat modelov.

Ta graf je možno prenesti v HTML kodo primerno za objavo na Internetu. To omogoča MS Excel od verzije 2000 ali višje. Sedaj je to omogočeno ročno, lahko pa se ta postopek enostavno izvede avtomatsko oz. programsko.

Avtomatske vodomerne postaje - AVP

Osnovni parametri Q-h krivulj

Vodotok	Ime AVP	SF_odmik	A	B	C	D	Hmin (cm)	Hmax (cm)	VP_0
Sava Dolinka	JESENICE	15,1	0,000002	0,0017	0,1194	-0,5925	23	115	586,432
Sava Dolinka	BLEJMOST	16,6	-0,000007	0,0037	0,1189	-3,5497	30	125	427,848
Sava Bohinjka	BODESCJE	63,6	-0,000007	0,0272	-2,4449	64,32	94	144	413,897
Sava	RADOVLCA	12,7	-0,000005	0,0977	-9,8435	0,4	40	182	495,888
Tržiška Bistrica	PRESKA	63	0,0002	-0,0512	4,4225	-125,95	69	111	488,520
Sava	LITUA	54	-0,000004	0,0961	0,2593	-44,369	195	204	239,444
Sava	HRASTNIK	163	-0,000004	0,0958	-0,7399	4,8	219	549	195,677
Savinja	CELJE	92	0,000004	0,0929	-0,5089	16,961	192	322	230,248
Savinja	VELSIRJE	173,5	-0,000002	0,0942	-0,9949	20	232	635	189,957

Podatki iz avtomatskih vodomernih postaj SF SEL, dne: 8.12.05

Izhodni podatki					Vhodni podatki											
Ime AVP	GSM	Kliči	Zveza	SN	Datum	Ura	Globina G (m)	Hitrost V (m/s)	Temp T (°C)	Batt (V)	Echo (Hz)	Quart (%)	Sampl (#)	Signal (s)	Klic (s)	ERR
JESENICE	051375247	Da	O.K.	3178	08.12.05	10:34:49	0,233	0,346	5,2	12,36	654	102	200	547	30	0
BLEJMOST	031701030	Da	Ni odziva													0
BODESCJE	031701032	Da	O.K.	3079	08.12.05	10:36:56	0,443	0,049	5,7	11,97	92	347	173	551	31	0
RADOVLCA	031701012	Da	O.K.	3167	08.12.05	10:37:42	0,680	0,447	5,4	14,80	844	119	144	577	39	0
PRESKA	031701068	Da	O.K.	3278	08.12.05	10:38:39	0,300	0,678	5,6	13,05	1280	67	200	452	50	0
LITUA	051375243	Da	O.K.	3076	08.12.05	10:39:44	1,865	1,133	6,4	11,67	2133	42	200	359	58	10009
HRASTNIK	051375243	Da	O.K.	3076	08.12.05	10:40:44	1,849	1,017	6,5	11,67	1914	31	200	354	53	10009
CELJE	051375205	Da	O.K.	3282	08.12.05	10:41:50	1,105	1,018	4,8	11,81	1926	112	200	391	60	10000
VELSIRJE	031642003	Da	O.K.	3060	08.12.05	10:42:33	1,229	0,716	5,1	11,22	1353	33	200	418	35	10000

Q-h izračun pretokov

Datum	četrek, 08.12.2005 10:39				0,29
Ime AVP	Vodostaj h (cm)	Nivo N (m)	Pretok Q (m3/s)	Pretok_p Qp (m3/s)	Status pretoka
JESENICE	38	566,82	6,612	7,7	upada
BLEJMOST					upada
BODESCJE	108	414,98	29,254	64,2	upada
RADOVLCA	81	408,89	43,682	74,3	upada
PRESKA	93	489,45	3,475	5,7	upada
LITUA	241	232,85	314,214	669,8	upada
HRASTNIK	348	198,56	278,002	506,3	upada
CELJE	203	232,27	62,042	281,4	upada
VELSIRJE	296	192,92	98,360	361,9	upada

O.K.

Status pretoka
upada
upada
upada
upada
upada
upada
upada
upada
upada

Robni pogoji modela napovedi

Ime AVP	Q_max (m3/s)	Q_min (m3/s)	h_max (cm)	h_min (cm)	G_max (m)	G_min (m)	N_max (m)	N_min (m)
JESENICE	10,4	3,1	52	23	0,955	0,079	566,95	566,95
HE Moste	10,9	3,2						
BODESCJE	19,3	9,4	97	84	0,335	0,204	414,97	414,97
PRESKA	5,0	1,2	103	69	0,359	0,060	439,55	439,55
HE Mavčiče	55,9	22,1						
HRASTNIK	164,0	73,5	282	215	1,153	0,560	197,99	197,99
VELSIRJE	37,5	13,0	235	203	0,822	0,285	192,51	192,51
HE Vrhovo	201,4	86,5						

Osnovni parametri modela in preračuni recesijskih krivulj na HE

Vodotok	Ime AVP	Q_max (m3/s)	Qstart (m3/s)	dQ (m3/s/dan)	k (l)	Qt (m3/s)	Qt+1dan (m3/s)	Qt+2dni (m3/s)	Qt+3dni (m3/s)	Qt+4dni (m3/s)	Qt+5dni (m3/s)	Qt+6dni (m3/s)	Qt+7dni (m3/s)
Sava Dolinka	JESENICE	10,4	6,612	0,317	-0,0130	6,612	6,527	6,443	6,360	6,277	6,196	6,116	6,037
Sava	HE Moste	10,9				6,943	6,853	6,765	6,678	6,591	6,506	6,422	6,339
Sava Bohinjka	BODESCJE	19,3	29,254	10,202	-0,0990	29,254	26,496	23,999	21,737	19,888	17,832	16,151	14,629
Tržiška Bistrica	PRESKA	5,0	3,475	0,638	-0,0469	3,475	3,316	3,164	3,019	2,881	2,749	2,623	2,503
Sava	HE Mavčiče	55,9				63,454	58,612	54,203	50,186	46,526	43,189	40,146	37,369
Sava	HRASTNIK	164,0	278,002	66,600	-0,0740	278,002	258,172	239,757	222,658	206,774	192,025	178,329	165,609
Savinja	VELSIRJE	37,5	98,360	76,859	-0,0938	98,360	89,554	81,536	74,235	67,589	61,537	56,027	51,011
Savinja	HE Vrhovo	201,4				376,362	347,726	321,293	296,891	274,363	253,562	234,356	216,620

ARSO

Priročnik

Teorija

SF Manual

Rezultat modela napovedi upadanja pretokov Q (m3/s) na HE SEL

Napoved za:	STANJE	1. dan	2. dan	3. dan	4. dan	5. dan	6. dan	7. dan
HE HE / Datum	08.12.05	09.12.05	10.12.05	11.12.05	12.12.05	13.12.05	14.12.05	15.12.05
HE Moste	6,9	6,9	6,8	6,7	6,6	6,5	6,4	6,3
HE Mavčiče								
HE Vrhovo								

Napoved pretoka v HE akumulacijo ni možna če:

- so neustrezni pretoki glede na robne pogoje modela napovedi
- gladine naraščajo
- je premalo vhodnih podatkov
- je časovni interval med dvema očitkoma >1,75 ali <0,25 dni

© UL FGG-K3H, December 2003

Slika 3.2 delovni list: Model

Delovni list model, vsebuje več tabel in predstavlja glavni delovni list – 'podatkovni in programski modul'. V tem listu se nahajajo vhodni in izhodni podatki aplikacije SFExcel.exe in tudi formule za preračun vodostajev in pretokov. Ko se željeni podatki prenesejo v MS Excel se izvrši avtomatsko tudi preračun napovedi pretokov za vse tri hidrološke modele HE Moste, HE Mavčiče in HE Vrhovo.

Delovni list »Model« vsebuje tudi kontrolne, opozorilne, opisne strukture in povezave – »links«.

Delovni list »Model« vsebuje šest tabel:

1. Osnovni parametri Q-h krivulj
2. Podatki iz avtomatskih vodomernih postaj SF SEL
3. Q-h izračun pretokov
4. Robni pogoji modela napovedi
5. Osnovni parametri modela in preračuni recesijskih krivulj na HE
6. Rezultat modela napovedi upadanja pretokov Q (m3/s) na HE SEL

Preglednica 3.1 vsebuje podatke oz. parametre o Q-h krivuljah in odmik AVP-SF od »0« točke vodomerne late. Ta odmik se lahko spremeni, bodisi zaradi višinskega premika SF merilca ali pa zaradi tim. »Drif« tlačnega senzorja, ki se pojavi s časom. »Drift« nastane ko želatina, ki prekriva tlačni senzor s časom otrdi, lahko se zablati oz. izgubi svojo elastičnost. V obeh primerih je potrebno parameter SF_odmik popraviti, da bodo odčitki pravilni oz. v mejah natančnosti merilca. »Drift« povzroči vertikalni zamik kalibracijske linearne sheme tlačne sonde kar pomeni, da dobimo nepravilen relativno zamaknjeno odčitek globine vodnega stolpca nad tlačno sondo. Popravke se vnese v »SF_odmik«.

Preglednica 3.1: Osnovni parametri Q-h krivulj

Osnovni parametri Q-h krivulj									
Vodotok	Ime AVP	SF_odmik	A	B	C	D	Hmin (cm)	Hmax (cm)	VP_0
Sava Dolinka	JESENICE	15,1	0,000002	0,0017	0,1194	-0,5925	23	115	566,432
Sava Dolinka	BLEJMOST	16,6	-0,000007	0,0037	0,1189	-3,5497	30	125	427,946
Sava Bohinjka	BODESCE	63,6	-0,000007	0,0272	-2,4449	64,32	84	144	413,897
Sava	RADOVLCA	12,7	-0,000006	0,0077	-0,0435	0,4	40	182	408,086
Tržiška Bistrica	PRESKA	63	0,0002	-0,0512	4,4225	-125,86	69	111	488,520
Sava	LITJA	54	-0,000004	0,0061	0,2553	-44,369	106	204	230,444
Sava	HRASTNIK	163	-0,000004	0,0058	-0,7208	-4,8	219	549	195,077
Savinja	CELJE	92	0,000004	0,0028	-0,5085	16,981	122	322	230,248
Savinja	VELSIRJE	173,5	-0,000002	0,0042	-0,8048	20	203	535	189,957

Potrebni podatki in z njimi izdelane Q-h krivulje se nahajajo v razpredelnični datoteki MS Excel »Q-h krivulje na AVP-SF.xls« in v podatkovni bazi MS Access »Hidrometrične meritve.mdb«.

Preglednica služi za komunikacijo z zunanjo aplikacijo SFExcel.exe. V tabeli so vidno razdeljeni vhodni in izhodni podatki, ter kontrolni parametri. Vsak atribut je detajlno opremljen s komentarjem, tako da to ni potrebno detajlno opisati.

Ta tabela je obenem namenjena tudi kontroli pravilnega delovanja merske opreme. Posebno je potrebno paziti na polja označena v **oranžni barvi**, ki predstavlja uspešnost GSM povezave, odziv SF merilca in napetost na akumulatorjih. Če se pojavijo nepravilnosti, je potrebno vzroke odpraviti. Osnovni vhodno-izhodni podatek AVP je trenutno odčitani atribut »Globina«, ki je potreben v preračunu vodostaja.

Preglednica 3.2: Podatki iz avtomatskih vodomernih postaj SF SEL

Podatki iz avtomatskih vodomernih postaj SF SEL, dne: 8.12.05															
Izhodni podatki				Vhodni podatki											
Ime AVP	GSM	Klici	Zveza	SN	Datum	Ura	Globina G (m)	Hitrost V (m/s)	Temp T (°C)	Batt (V)	Echo (Hz)	Quart (%)	Sampl (#)	Signal ()	Klic (s)
JESENICE	051375247	Da	O.K.	3178	08.12.05	10:34:49	0,233	0,346	5,2	12,36	654	100	200	547	30
BLEJMOST	031701030	Da	Ni odziva												
BODESCE	031701032	Da	O.K.	3078	08.12.05	10:36:58	0,443	0,049	5,7	11,97	92	347	173	551	31
RADOVLCA	031701012	Da	O.K.	3167	08.12.05	10:37:42	0,680	0,447	5,4	14,80	844	119	144	577	39
PRESKA	031701068	Da	O.K.	3278	08.12.05	10:38:39	0,300	0,678	5,6	13,06	1280	67	200	452	50
LITJA	051375243	Da	O.K.	3078	08.12.05	10:39:44	1,866	1,133	6,4	11,67	2133	42	200	359	50
HRASTNIK	051375243	Da	O.K.	3078	08.12.05	10:40:44	1,849	1,017	6,6	11,67	1914	31	200	354	53
CELJE	051375205	Da	O.K.	3282	08.12.05	10:41:50	1,105	1,018	4,8	11,81	1826	112	200	391	60
VELSIRJE	031642003	Da	O.K.	3060	08.12.05	10:42:33	1,229	0,716	5,1	11,22	1353	33	200	418	35

Preglednica 3.2: Q-h izračun pretokov

Q-h izračun pretokov				0,29
Datum	četrtek, 08.12.2005 10:39			8.12.05 3:20
Ime AVP	Vodostaj h (cm)	Nivo N (m)	Pretok Q (m ³ /s)	Pretok_p Qp (m ³ /s)
JESENICE	38	566,82	6,612	7,7
BLEJMOST				
BODESCE	108	414,98	29,254	64,2
RADOVLCA	81	408,89	43,882	74,3
PRESKA	93	489,45	3,475	5,7
LITIJA	241	232,85	314,214	669,8
HRASTNIK	348	198,56	278,002	506,3
CELJE	203	232,27	62,042	281,4
VELSIRJE	296	192,92	98,360	361,9

V tabeli se preračunavajo vodostaji, nivoji gladin in na osnovi podatkov iz preglednic 3.1 in preglednice 3.2.

V poljih očitanih z rdečimi okvirji se lahko parametri »Datum prejšnjega odčitka podatkov« in »Pretoki prejšnjega dne« popravljajo manualno.

Preglednica 3.2: Robni pogoji modela napovedi

Robni pogoji modela napovedi								
Ime AVP	Q_max (m ³ /s)	Q_min (m ³ /s)	h_max (cm)	h_min (cm)	G_max (m)	G_min (m)	N_max (m)	N_min (m)
JESENICE	10,4	3,1	52	23	0,365	0,079	566,95	566,66
HE Moste	10,9	3,2						
BODESCE	19,3	9,4	97	84	0,335	0,204	414,87	414,74
PRESKA	5,0	1,2	103	69	0,399	0,060	489,55	489,21
HE Mavčiče	55,9	22,1						
HRASTNIK	164,0	73,5	282	219	1,193	0,560	197,90	197,27
VELSIRJE	37,5	13,0	235	203	0,622	0,295	192,31	191,99
HE Vrhovo	201,4	86,5						

V tabeli so zbrane vrednosti omejitve veljavnosti hidrološkega modela napovedi pretokov oz. tim. robni pogoji modela napovedi pretokov. To pomeni, če pretoki na določenih AVP ne ležijo znotraj intervalov Q_min in Q_max model napovedi ne more izvesti pravilno, oz. napoved ni možna. Lahko so pretoki previsoki, model pa je narejen za nizke pretoke. Lahko so prenizki, kar pomeni, da nimamo podatka Q-h krivulje, ali pa so lahko tako nizki, da AVP ne more meriti, ali pa je celo AVP na »suhem«. Parametre te tabele je potrebno ponovno preračunati, če se spremeni »SF_odmik« iz tabele 1.

Tabela vsebuje tri modele napovedi in to za; He Moste; He Mavčiče in He Vrhovo.

V tabeli so parametri in hkrati izračuni napovedi na osnovi tim. recesijskih krivulj. Tabela predstavlja jedro izračuna modela **7 -dnevne napovedi nizkih pretokov na Savi**. V tej tabeli so hkrati vpisane tudi kontrolne strukture in omejitve modelov napovedi glede robnih pogojev.

Preglednica 3.5: Osnovni parametri modela in preračuni recesijskih krivulj na HE

Osnovni parametri modela in preračuni recesijskih krivulj na HE													
Vodotok	Ime AVP	Q_max (m3/s)	Qstart (m3/s)	dQ (m3/s/dan)	k ()	Qt (m3/s)	Qt+1dan (m3/s)	Qt+2dni (m3/s)	Qt+3dni (m3/s)	Qt+4dni (m3/s)	Qt+5dni (m3/s)	Qt+6dni (m3/s)	Qt+7dni (m3/s)
Sava Dolinka	JESENICE	10,4	6,612	0,317	-0,0130	6,612	6,527	6,443	6,360	6,277	6,196	6,116	6,037
Sava	HE Moste	10,9				6,943	6,853	6,765	6,678	6,591	6,506	6,422	6,339
Sava Bohinjka	BODESCE	19,3	29,254	10,202	-0,0990	29,254	26,496	23,999	21,737	19,688	17,832	16,151	14,629
Tržiška Bistrica	PRESKA	5,0	3,475	0,638	-0,0469	3,475	3,316	3,164	3,019	2,881	2,749	2,623	2,503
Sava	HE Mavčiče	55,9				63,454	58,612	54,203	50,186	46,526	43,189	40,146	37,369
Sava	HRASTNIK	164,0	278,002	66,600	-0,0740	278,002	258,172	239,757	222,656	206,774	192,025	178,329	165,609
Savinja	VELSIRJE	37,5	98,360	76,859	-0,0938	98,360	89,554	81,536	74,235	67,589	61,537	56,027	51,011
Sava	HE Vrhovo	201,4				376,362	347,726	321,293	296,891	274,363	253,562	234,356	216,620

Preglednica predstavlja rezultat modelov preračuna napovedanih pretokov. Preglednica vsebuje preračunane celice iz preglednice 3.5 » Osnovni parametri modela in preračuni recesijskih krivulj na HE « v bolj pregledni obliki, ki omogoča lažje risanje grafa v delovnem listu »Graf«. Dodatno pa so v to preglednico vgrajeni dodatni oz. dopolnilni kriteriji veljavnosti modelov. Za potrebe tega programa smo uporabili samo napovedi za HE Vrhovo

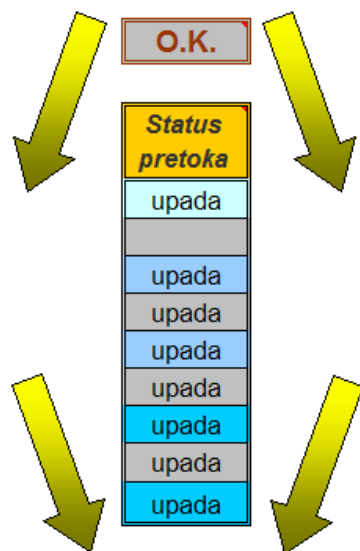
Preglednica 5.6: Rezultat modela napovedi upadanja pretokov Q (m3/s) na HE SEL

Rezultat modela napovedi upadanja pretokov Q (m3/s) na HE SEL								
Napoved za:	STANJE	1. dan	2. dan	3. dan	4. dan	5. dan	6. dan	7. dan
Ime HE / Datum	08.12.05	09.12.05	10.12.05	11.12.05	12.12.05	13.12.05	14.12.05	15.12.05
HE Moste	6,9	6,9	6,8	6,7	6,6	6,5	6,4	6,3
HE Mavčiče								
HE Vrhovo								

Kontrolne strukture, opombe, opozorila in povezave

Model je veljaven le, če;

- pretoki upadajo, kar obenem pomeni, da ni padavin in
- da je časovni interval (starost podatkov) O.K. Podatki morajo biti odčitani več ko po 6-tih in pred manj kot 42 urami !



Veljavnost modela je prikazana v statusni preglednici, Če vidimo O.K. in 'upada' je verjetno vse v redu.

Izvrševanje aplikacije

Aplikacijo SFExcel.exe avtomatsko požene sistemska aplikacija oz. program »Scheduled Tasks«. Ta je nastavljen in zadolžen, da se zažene zunanja aplikacija SFExcel.exe v točno določenem času in to ob **02:00 zjutraj**. Drugače je SFExcel.exe potrebno pognati manualno kot vsak drug program. Ker je aplikacija časovno odvisna je potrebno paziti na sistemsko uro računalnika. Uro in seveda tudi datum je potrebno vsake toliko časa nastaviti, ker ura v PC-ju ni preveč točna in se po določenem času ne ujema več z dejansko uro. To najlažje naredimo s programom »Atomic Clock«, pri tem pa mora biti računalnik povezan v Internet. Časovna razlika je lahko tudi po več 10 minut, kar pa ni tako kritično, ker lahko le delno vpliva na kakovost modela. Aplikacija »Scheduled Tasks« je nastavljena, da se izvrši dve minuti pred drugo uro zjutraj. Ker povezava poteka nekako štiri minute je potrebno, če hočemo podatke dobiti v povprečju okoli druge ure le-to nastaviti na 01:58. Zagon aplikacije je nastavljen na drugi uro zjutraj zaradi dveh razlogov, prvič klic je cenejši in drugič linije niso zasedene. Zasedenost GSM linije je dokaj moteč faktor in je lahko krivec ter vzrok za neuspešen prenos podatkov. Ko pride do zasedenosti linije ima govorni del GSM-a prednost pred podatkovnim prenosom. S spremembo prednosti se lahko GSM zveza delno prekine, kar lahko povzroči motnjo prenosa podatkov iz AVP. Že najmanjša motnja pri prenosu podatkov pa povzroči, da je prenos neuspešen. Ko se zažene aplikacija SFExcel.exe se v ozadju odpre tudi MS Excel. Ko se prek zunanje aplikacije SFExcel.exe prenesejo v MS Excel vsi potrebni podatki in izvedejo preračuni MS Excel oz. excel.exe shrani SFExcel.xls datoteko se obenem izvede in naredi arhiv. Arhivska datoteka se shrani v direktorij »Arhiv«. Kopija datoteke SFExcel dobi novo ime, ki je sestavljeno iz imena z dodanim datumom in to v obliki »SFExcel_MM-DD_LLLL.xls«. Po določen času oz. npr. po enem letu direktorij »Arhiv« naraste na več kot 50MB. To predstavlja določeno potratu prostora na disku, zato in ne samo zato je potrebno direktorij »Arhiv« letno arhivirati na CD disk.

3.3 Obnova sistema

Kot kaže hidrometrijska praksa in izkušnje je dejstvo, da merilne naprave potopljene v vodo po večletnem obratovanju zahtevajo zamenjavo. Tako so se v letu 2010 generalno obnovila štiri vodomerna mesta Jesenice, Bodešče, Radovljica in Veliko Širje.

Pri zamenjavi novih merilnih instrumentov je prišlo do nekompatibilnosti s starejšimi napravami in zato se je morala obnoviti tudi programska oprema. Tovrstna programska oprema, ki bi zadostila želenim zahtevam, ne obstaja. Zato se je napisal nov računalniški program za boljšo in pravilno komunikacijo z merilno opremo ter preračun hidrometrijskih količin. Pri obnovi merskega sistema na Savi je to delo predstavljalo največ porabljenega časa. Kajti pri razvoju gre najprej za implementacijo idej in iskanje možnih rešitev, nato za testiranje delovanja sistema, preverjanje rezultatov, dopolnitve in kontrole delovanja. To pa seveda zahteva določen čas. Hkrati so se prenovile tudi pretočne krivulje.

Obnova merskih mest

Zamenjali so se štirje ultrazvočni merilci hitrosti Starflow firme Unidata iz Avstralije. Kjer je bilo potrebno se je zamenjali tudi drugi deli, kot so npr. Solarni paneli, baterije, modemi in sušilci.

Računalniški program

Po zamenjavi novih merilcev se je hitro izkazalo, da aplikacija, ki je bila do tedaj zadovoljiva in zadostna ne deluje več z novo opremo. Tako se je moralo zaradi določenih sprememb v novi sistemski opremi »Firmware« novih merilcev napisati nov program za komunikacijo, branje in prenos podatkov. Novi program ima vpeljane nove kontrolnike CSD (Circuit Switched Data) prenosa podatkov prek GSM modemov. V tej aplikaciji so se napisali novi robni pogoji in vgradile so se posodobljene pretočne krivulje (Slika11). Pretočne krivulje so sestavljene iz več segmentov in usklajene z ARSO. Te krivulje oziroma koeficienti so podani v prilogah.

Napisana je skriptna datoteka AVP_Run.bat, ki poskrbi za pravilni vrstni red izvajanja programov AVP.exe, SMS_Prepare in arhiviranje rezultatov v podatkovno bazo AVP.MDB. Ta datoteka (Slika08) se poganja prek časovnega krmilnika programov (Slika12) samega operacijskega sistema MS Windows (Scheduled Task), ki poskrbi za časovni korak - frekvenco izvajanja aplikacije.

AVP.exe vsebuje več podprogramov in je temeljni program celotnega sistema. Le ta skrbi za komunikacijo z merilno opremo in prenos podatkov v MS Excel AVP.xls kjer se izvajajo preračuni hidrometrijskih parametrov. Sam program je kompakten in vsebuje samo okoli 400 programskih vrstic, ker večinoma kliče sistemske funkcije operacijskega sistema MS Windows in aplikacij MS Office. Vsi preračuni vodostajev, nivojev in pretokov se izvajajo v MS Excelu in nato centralno shranijo v podatkovni bazi MS Access.

Microsoft Excel - AVP.xls

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

BI = ver. 1.1; Andrej Vidmar © UL FGG, Avgust 2010

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
2			ver. 1.1; Andrej Vidmar © UL FGG, Avgust 2010															
3		Parametri	Osnovni podatki vodomernih postaj, robni pogoji Q-h in višinske kote vodomernih lat															
4		Vodotok	Lokacija	Ime_VP	SF_odmik (cm)	k	Vodostaj min (cm)	Vodostaj max (cm)	Pretok min (m3/s)	Pretok max (m3/s)	VP_0 (m)	GSM	SN					
5		Sava Dolinka	JESENICE	JESENICE	20,1	1	12	400	2,4	313,9	566,432	051375247	3178					
6		Sava Bohinjka	BODEŠČE	BODEŠČE	20,0	1	65	530	3,7	596,1	413,897	031701032	3487					
7		Sava	RADOVLICA	RADOVLICA	8,4	1	30	370	6,2	888,2	408,086	031701012	3167					
8		Sava	LITIJA	LITIJA_I	54,1	1	86	665	32,0	2480,0	230,444	051375243	3076					
9		Sava	HRASTNIK	HRASTNIK	113,5	1	170	1150	30,1	2745,3	195,077	051375261	3492					
10		Savinja	VELIKO ŠIRJE	VELIKO ŠIRJE	180,6	1	150	1050	5,9	1767,2	189,957	031642003	3144					
11		Sava Dolinka	JAVORNIK	JAVORNIK		1	~	~	~	~	500	041632068	3183					
12		I/O:	Podatki z AVP SEL															
13		AVP_SEL	Zbirni podatki	Kontrolni parametri			Vhodni podatki			Servisni parametri								
14		Ime_VP	GSM	Ključ	Zveza	SN	Datum	Ura	Globina (m)	Hitrost (m/s)	Temp (°C)	Batt (V)	Echo (Hz)	Quart (%)	Sampl (#)	Signal (s)	Klic (s)	ERR
15		JESENICE	051375247	Da	O.K.	3178	27.10.10	18:16	0,417	0,711	7,2	13,0	1336	49	202	365	36	0
16		BODEŠČE	031701032	Da	O.K.	2487	27.10.10	18:17	0,949	0,099	8,8	12,8	185	43	24	539	33	0
17		RADOVLICA	031701012	Da	O.K.	3167	27.10.10	18:17	0,843	0,103	7,7	12,8	193	46	48	566	31	0
18		LITIJA_I	051375243	Ne														
19		HRASTNIK	051375261	Da	O.K.	2497	27.10.10	18:18	2,973	0,252	9,7	12,2	470	90	500	480	59	0
20		VELIKO ŠIRJE	031642003	Da	Ni zveze													
21		JAVORNIK	041632068	Ne														
22																		
23		Hidrometrija:	Odčitane vrednosti in preračun vodomernih količin															
24		Vodotok	Lokacija	Zveza	Datum	Ura	Temp (°C)	Hitrost (m/s)	Vodostaj (cm)	Nivo (m)	Pretok (m3/s)							
25		Sava Dolinka	JESENICE	O.K.	27.10.10	18:16	7,2	0,711	61,8	567,050	14,1							
26		Sava Bohinjka	BODEŠČE	O.K.	27.10.10	18:17	8,8	0,099	114,9	415,046	29,5							
27		Sava	RADOVLICA	O.K.	27.10.10	18:17	7,7	0,103	92,7	409,013	58,7							
28		Sava	LITIJA															
29		Sava	HRASTNIK	O.K.	27.10.10	18:18	9,7	0,252	410,8	199,185	446,9							
30		Savinja	VELIKO ŠIRJE	Ni zveze														
31		Sava Dolinka	JAVORNIK								~							
32																		

Slika 3.3 Osnovna razpredelnica AVP v AVP.xls

4. RAZVOJ EKSPERTNEGA SISTEMA ZA OPTIMIZACIJO OBRATOVANJA HE NA SAVI TER NEK NA OSNOVI NAPOVEDI NIZKIH PRETOKOV SAVE SEDEM DNI VNAPREJ

Elektroenergetski sistem v Sloveniji že dobro desetletje posluje v okolju trga z električno energijo. Medtem ko prenosna in distribucijska omrežja veljajo za naravne monopole, sta proizvodnja in trgovanje z električno energijo zdaj tržni dejavnosti. Poznamo več vrst organiziranih trgov z električno energijo, kot so dnevni ali sprotni trg z električno energijo, trg s sistemskimi storitvami in trg terminskimi pogodbami. Na trgu nastopajo tako proizvajalci kot porabniki. Čeprav se v večini dereguliranih EES-ov večji del trgovanja izvaja prek bilateralnih pogodb, je dnevni trg bistvenega pomena. Sistemska cena, določena na dnevnem trgu, namreč služi kot javna in pregledna referenca za ceno električne energije vsem drugim trgov. Cene v bilateralnih pogodbah zato dolgoročno konvergirajo k cenam na dnevnem trgu.

Program PEGASUS, razvit na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani, je namenjen simulaciji popolnoma odprtega dnevnega trga z električno energijo. Zasnovan je na urni podlagi in omogoča simulacijo dnevnega trga za dan vnaprej. V modelu trga se izvede le tržna poravnava, načrtovanje proizvodnje in porabe pa se prenese na udeležence trga. Sistemska cena, določena na dnevnem trgu, služi kot referenca vsem drugim trgov. Pri tem upošteva obratovalne vozne rede vseh slovenskih proizvajalcev in vpliv povezav s trgi z električno energij v sosesčini. PEGASUS je razvit v okolju Matlab in za svoje delovanje potrebuje to okolje, saj ni namenjen delovanju kot samostojna aplikacija, temveč kot razvojno orodje.

Najobsežnejši korak je priprava vhodnih podatkov in zahteva natančen opis vseh proizvodnih objektov v sistemu. Vhodni podatki obsegajo napoved porabe, podatke o obratovalnem stanju termoagregatov in njihovi pripravljenosti za obratovanje, izračun proizvodnje moči in energije v hidroelektrarnah (HE), čezmejne prenosne kapacitete ter modeliranje cen električne energije v sosednjih sistemih.

Pomemben del PEGASUS-a je modul HIDRO2, ki omogoča optimizacijo obratovanja verig hidroelektrarn (HE) v EES-u. Slovenske HE imajo z izjemo HE Moste namreč le omejeno, dnevno možnost akumulacije vode, HE Moste pa ob določenih pogojih lahko shranjujejo vodo tudi na tedenskem nivoju. Lastnik HE namreč pri svoji tržni ponudbi kombinira vozni red HE z ostalimi elektrarnami v portfelju, zato si želi gospodariti z vodo tako, da jo čim bolje izkoristi. Model povzema ključne lastnosti hidroelektrarn v posameznih verigah, in izračuna njihov optimalni vozni red glede na podan kriterij. Zasnova modula tako omogoča optimalno gospodarjenje z vodo, pri čemer kot kriterij optimizacije upošteva največji dobiček ob podanih obratovalnih omejitvah. Skladno z vlogo HE na trgu upošteva modul HIDRO2 kot vhod tržno ceno električne energije za dan vnaprej na dnevnem trgu ali kak drug signal (npr. obremenitveni diagram).

4.1 Predstavitev PEGASUS-a

Struktura modela

Pri trgovanju z električno energijo je poglaviten pokazatelj cen, na katerih temeljijo tržne strategije prav dnevni trg, zato se pri simuliranju trga električne energije osredotočimo nanj. Pri takšnem modelu lahko vse ekonomske in tehnične značilnosti dobro predstavimo skozi krivulje ponudbe in povpraševanja. S spreminjanjem omenjenih krivulj lahko simuliramo tudi različne strategije ponudnikov na trgu, kot tudi različne tipe vodenja odjema. Poleg osnovnega modeliranja obeh funkcij je za pridobitev praktično uporabnih rezultatov potrebno modelirati še ostale vplivne spremenljivke, kot so: cene goriv, emisij, hidrologij ter pretokov rek, proizvodnjo obnovljivih virov energije, itd. Te spremenljivke so običajno stohastične, kar poveča kompleksnost simulacij ter za to potrebnega orodja.

Slika 4.1 predstavlja strukturo orodja PEGASUS. Za simulacijo tržnega odziva odjema modul PORABA na podlagi dolgoročne napovedi porabe oblikuje urni profil porabe. Prednostno dispečirane elektrarne, ki uporabljajo obnovljive vire energije so nato odštete od pričakovane porabe, saj njihova proizvodnja ne sodeluje na trgu in jo zato lahko upoštevamo kot negativno porabo. Preostali obremenitveni diagram porabe nato v modulu PORABA kombiniramo s pričakovano porabo v sosednjih sistemih in tako oblikujemo ponudbeno krivuljo porabe.

Na strani proizvodnje so ločeno modelirane termoelektrarne (TE), hidroelektrarne (HE) in proizvodnja sosednjih sistemov. Modul PROIZVODNJA vsebuje modele elektrarn, na podlagi katerih sestavi krivuljo ponudbe na trgu. V pričujoči nalogi je poudarek na zgradbi in delovanju modula HIDRO2, ki je namenjen optimalnemu angažiranju HE, kar na liberaliziranem trgu izvajajo lastniki HE v okviru voznih redov njihovih proizvodnih parkov. Najpomembnejši vplivni faktor pri HE so hidrologije, pri katerih scenarijsko zajamemo stohastičnost vira hidroenergije. Podatke o TE sestavljajo predvsem tehnični podatki, podatki o fiksnih in variabilnih stroških proizvodnje električne energije ter podatki o remontih, revizijah in naključnih izpadih posameznih agregatov.

Na podlagi obeh ponudbenih krivulj proizvodnja in porabe PEGASUS izračuna tržno ceno (MCP), pri čemer upošteva tudi tehnične omejitve posameznih elektrarn. Izračun uporablja princip dvojne avkcije, saj ločeno upošteva ponudbe proizvajalcev in odjemalcev. Na podlagi njihovih ponudb se oblikuje mejna cena (ang. *Market Clearing Price*, MCP), ki velja za vse udeležence na trgu v tistem trenutku.

Rezultati PEGASUSa so podani z urno resolucijo in za vsako uro obsegajo:

- Celotno regulacijsko območje (sistem - vse elektrarne):
 - o vozni red angažiranih elektrarn, vključno s proizvedenimi količinami,
 - o prihodke elektrarn,
 - o ceno električne energije (MCP),
 - o energetska bilanco, ki vključuje tudi uvoz ali izvoz energije.
 - o zanesljivostne kazalce,
 - o količine moči in energije, namenjene sistemskim storitvam.
- Dodatno še za termoelektrarne:
 - o stroške in porabljene količine goriva,

o količine emisij toplogrednih plinov (ton CO₂ ekvivalenta),
Za izbrane sklope opisujemo metodo izračuna v nadaljevanju.

Izračun dosežene urne cene

PEGASUS omogoča simulacijo cene električne energije na urni osnovi za dan v naprej, omogoča pa tudi zajem dvostranskih pogodb na trgu. Proizvajalci in odjemalci oddajo ponudbe oz. povpraševanja, na podlagi katerih se oblikuje mejna cena (MCP), ki velja za vse prodajalce in kupce v tistem trenutku.

Vsak udeleženec se na podlagi dosežene urne cene in prodane količine lahko odloči in za naslednji dan spremeni svojo ponudbeno krivuljo oz. krivuljo povpraševanja. Po končani simulaciji za tekoči dan se vsi parametri za naslednji dan lahko spremenijo. Tak pristop omogoča popolno prilagodljivost pri simuliranju vplivnih dejavnikov na dnevnem trgu z električno energijo.

Razlikujemo tri tipične ponudbene krivulje, katerih lastnosti so različne zaradi tehničnih in ekonomskih lastnosti elektrarn. Različne tipe ponudbenih krivulj tako določimo za: termoelektrarne, hidroelektrarne in za nuklearno elektrarno. Krivulja povpraševanja se običajno oblikuje glede na privzeto naravo povpraševanja kot neelastično ali elastično, kot bo opisano v naslednjih poglavjih. Posebno obliko krivulj določimo sosednjim sistemom, ki hkrati lahko nastopajo kot ponudniki in kot kupci s krivuljami povpraševanja.

Ponudbe proizvodnje (bide) lahko v PEGASUSu oblikujemo na tri načine:

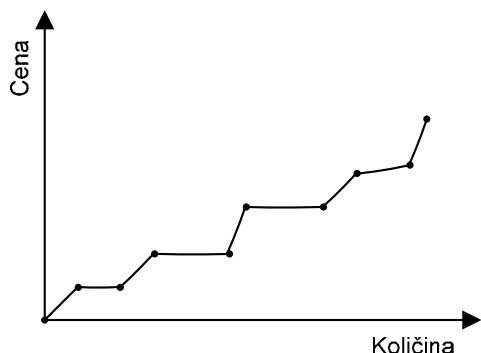
- Ročni način: ponudbo proizvajalca določimo ročno
- Strukturni način: ponudba se določi glede na stroške elektrarn tako da upošteva kombinacijo posameznih tipov stroškov (variabilne, fiksne, stroški zagona,...)
- Oblikovanje ponudbe z avtonomnimi agenti: vsak udeleženec trga se modelira z avtonomnim agentom, ki se kot orodje umetne inteligence zasleduje določen cilj (npr. čim večji dobiček) in se na podlagi rezultatov svojih potez tudi uči in prilagaja prihodnje poteze.

V PEGASUSu lahko pri sestavljanju ponudb proizvodnje vključimo tudi optimizacijo (HE, TE, HE+TE) ali jo kombiniramo z uporabo agentov.

Pri sestavljanju ponudb na strani povpraševanja PEGASUS upošteva modul tržnega vodenja porabe (angl. *Demand Side Management*, DSM).

Oblikovanje ponudbene krivulje

Ponudbena krivulja je v PEGASUSu lahko predstavljena z desetimi točkami, ki morajo tvoriti strogo monotono naraščajočo funkcijo, Slika 4.1. Deset točk je zadostno število v primeru, da izvajamo srednjeročne ali dolgoročne simulacije. Povečanje števila točk zahteva povečanje kompleksnosti izračuna, zato je v tem primeru potrebno zmanjšati dolžino simulacijskega obdobja. V nasprotnem primeru trčimo v omejitve količine podatkov, ki je pogojena z zmogljivostmi programskega paketa Matlab. V nadaljevanju opisujemo nekaj tipičnih statičnih ponudbenih krivulj elektrarn. Krivulje temeljijo na privzetkih modeliranja, ki so opisani sproti.



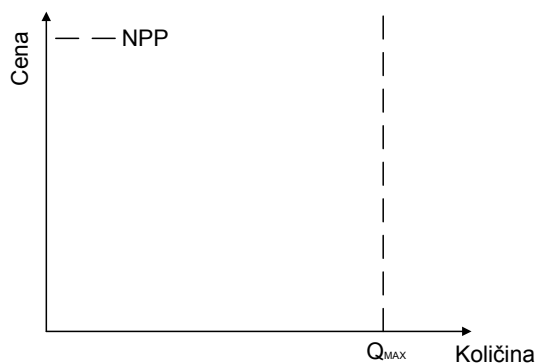
Slika 4.1: Primer uporabe maksimalnega števila točk pri oblikovanju ponudbene krivulje

Ponudbene krivulje elektrarn

Nuklearna elektrarna

V PEGASUSu privzemamo, da nuklearne elektrarne (NE) celotno moč ponujajo po t.i. »must-run« ponudbi, torej po ceni, po kateri bodo zagotovo dispečirane. NE to počno zato, ker imajo ozek regulacijski pas moči in zelo omejeno možnost zagonov ali zaustavitvev, zato v obdobjih nizkih cen ne želijo tvegati previsoke ponudbe in zato zaustavitve zaradi nedispečiranja. Zaradi nizkih variabilnih stroškov pri večini obstoječih NE so tako primerne za pokrivanje pasovne energije, saj težijo k čim boljši izrabi primarne energije in k čim bolj konstantnemu obratovanju.

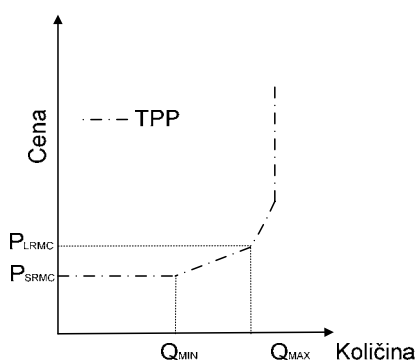
Če bi hoteli modelirati novejša tipa NE, ki lahko prilagajajo svojo proizvodnjo v sorazmerno širokem pasu (moč lahko zavzame med 50 - 100 % nazivne moči), bi jim priredili krivuljo TE, ki jo opisujemo v naslednjem poglavju.



Slika 4.2: Ponudbena krivulja nuklearne elektrarne

Termoelektrarne (fossilna goriva)

Zaradi omejitve tehničnega minimuma imajo termoelektrarne poseben način določanja ponudbe na trgu. Do minimalne moči ponujajo svojo energijo po svojih kratkoročnih variabilnih stroških P_{SRMC} (ang. *Long Run Marginal Cost*, SRMC). Ti obsegajo predvsem stroške goriva. Na tak način si povečajo možnost, da tudi v urah, ko je cena nizka, proizvodnje ne ustavijo. S tem se elektrarna izogne nepotrebnim stroškom, ki nastanejo v času zagona ali zaustavitve, ki bi jih sicer utrpela ob zaustavitvi za krajši čas. Od Q_{min} naprej se krivulja ponudbe dviga, saj morajo proizvajalci pokriti tudi svoje dolgoročne stroške P_{LRMC} (ang. *Long Run Marginal Cost*, LRMC), ki poleg goriva vključujejo še predvsem strošek investicije. Zadnjih nekaj odstotkov inštalirane moči pa lahko elektrarna ponudi po še nekoliko višji ceni. Vsaka elektrarna ima svoje tehnične lastnosti, zato vsako ponudbeno krivuljo obravnavamo posebej in jo prilagodimo njenim sposobnostim.



SI. 3: Ponudbena krivulja termoelektrarne (fossilna goriva)

Optimizacijski algoritem za oblikovanje optimalnega angažiranja HE ob upoštevanju trga z električno energijo, ki ga v PEGASUSu omogoča modul HIDRO2, je opisan v naslednjem poglavju.

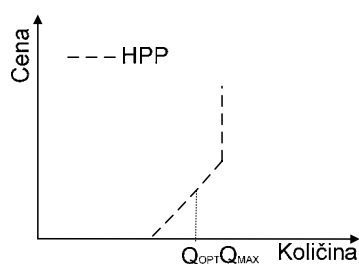
4.2 Modul HIDRO2

Ponudbene krivulje hidroelektrarn

Na trgu z električno energijo je pomembna prednost hidroelektrarn (HE) v prilagodljivosti njihovega obratovanja, saj lahko hitro spremenijo svojo proizvodnjo v širokem obsegu. Zaradi omenjenih tehničnih in obratovalnih lastnosti so bile HE v reguliranem sistemu namenjene proizvodnji vršne energije, kar je implicitno podajalo vrednost energije iz obratovalnega vidika. V novih tržnih razmerah daje poglobljen signal cena električne energije, ki se od dneva do dneva spreminja. V urah z veliko porabo energije ali visoko ceno električne energije je tudi obseg angažiranih elektrarn večji, kar navadno privede do višjih sistemskih cen. Za razliko od termoelektrarn (TE) je proizvodnja električne energije pri HE posebej podvržena tudi naravnim faktorjem, predvsem dotoku vode, kar opisujemo s hidrologijo. Hidrologija se izraža v odstotkih in pomeni stanje pritoka vode, ki bo preseženo v takem odstotku primerov.

Slovenske hidroelektrarne so hidroelektrarne s t.i. urno akumulacijo. To pomeni, da lahko akumulirajo vodo le nekaj ur. Obratujejo v treh verigah: na reki Dravi, Savi in Soči. Poseben modul za optimizacijo obratovanja verig HE podaja optimalno proizvodnjo HE kot vhod v PEGASUS in ima podatkovno bazo, prilagojeno slovenskemu elektroenergetskemu sistemu.

Ker HE nimajo stroškov goriva in lahko del energije skladiščijo, ponujajo električno energijo na trgu po nekoliko drugačnih strategiji. Rezultat optimizacije nam ponudi količino Q_{opt} glede na vneseni optimizacijski kriterij (obremenitveni diagram porabe oziroma urni profil cene). Cene električne energije na trgu se lahko hitro spremenijo, kar vnaša cenovno negotovost. Ker so napovedane cene elektrike vhod optimizacije obratovanja verige HE, je smiselno zadnji del ponudbe oblikovati linearno naraščajoče, Slika 4 4. S tako ponudbeno krivuljo se izognemo situaciji, ko bi bila cena na trgu nizka in bi z »must-run« obliko prodajne ponudbe morala HE delovati zastonj.



Slika 4 4: Ponudbena krivulja hidroelektrarne

Optimizacijski model verige HE

Pri optimizaciji ponudb HE za vsakega proizvajalca je ključna hkratna optimizacija obratovanja celotne verige HE na posamezni reki, ki so v lasti proizvajalca. Ta funkcionalnost je v PEGASUSu zajeta v modulu HIDRO2. Kriterij optimiranja obratovanja verige HE lahko zajema dva načina:

- **Klasični način:** optimizacijo glede na pričakovan diagram porabe električne energije v določenem dnevu, ali
- **Tržni način:** optimizacijo glede na ceno na dnevnem trgu z upoštevanjem stohastičnih, statistično obdelanih hidrologij.

Čeprav med obema načinoma na prvi pogled ni bistvene razlike, sta si enakovredna samo pod pogojem, da je cena električne energije na trgu vselej višja takrat, ko je v sistemu večja poraba, in obratno. saj je višina cene elektrike odvisna od veliko faktorjev. Poleg višine porabe tudi od vrste in velikost proizvodnih enot, ki so v topli ali hladni rezervi pripravljene na proizvodnjo, porazdelitve viškov energije po posameznih regijah, zamašitev čezmejnih prenosnih zmogljivosti med trgi in gibanja cen na sosednjih trgih. Načina optimizacije sta torej le redko enakovredna, zato smo v HIDRO2 omogočili tako klasični kot tudi vse bolj zanimiv tržni način. S slednjim smo v raziskavi želeli tudi pokazati, kakšne prednosti bi lahko žel lastnik verige HE, ki bi svojo proizvodnjo prilagajal tržni ceni za dan vnaprej.

Kriterijska funkcija

V modulu HIDRO2 Proces optimizacije za iskanje optimalne rešitve kriterijske funkcije uporablja metodo "kvadratičnega programiranja" (ang. *Quadratic Programming*), ki spada med nelinearne optimizacijske metode. Osnovna kvadratična kriterijska funkcija je podana z enačbo (1):

$$\text{Max } F(x) = f^T \cdot x + \frac{1}{2} \cdot x^T \cdot H \cdot x, \quad (1)$$

pri čemer je f vektor linearnih koeficientov optimizacijskih spremenljivk, H Hessian-ova matrika koeficientov produktov optimizacijskih spremenljivk in x vektor optimizacijskih spremenljivk. Kriterijska funkcija upošteva implicitne neenakostne omejitve:

$$A \cdot x \leq b, \quad (2)$$

implicitne enakostne omejitve:

$$A_{eq} \cdot x = b_{eq}, \quad (3)$$

ter eksplicitne omejitve:

$$-\infty \leq x_{\min} \leq x \leq x_{\max} \leq \infty, \quad (4)$$

kjer sta A in A_{eq} matriki koeficientov neenakostnih oziroma enakostnih omejitev, ter b in b_{eq} vektorja koeficientov neenakostnih oziroma enakostnih omejitev. Iskanje maksimalne vrednosti kriterijske funkcije je omejeno s spodnjo in zgornjo mejo optimizacijskih spremenljivk, kar predstavljata vektorja $x_{\min}$ in $x_{\max}$.

Proizvodnja električne energije se optimizira glede na ceno, tako kriterijska funkcija maksimira vsoto produktov cene Π_k in moči p_{ik} za vsako elektrarno i ($i=1,..I$) ob vsaki uri k ($k=1,..K$), kar prikazuje enačba (5):

$$F = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \Pi_k \cdot p_{ik}. \quad (5)$$

Model verige HE

Cilj optimizacije je doseči maksimalno vrednost kriterijske funkcije ob upoštevanju vseh omejitev, kjer pa je zelo pomembno dobro definirati matematičen model verige hidroelektrarn. Volumen posameznega bazena je definiran z enačbo (6):

$$v_{ik} = v_{i,k-1} + a_{ik} + q_{i-1,k-\tau} + s_{i-1,k-\tau} - q_{ik} - s_{ik}, \quad (6)$$

kjer je v_{ik} volumen i -te hidroelektrarne ob uri k , $v_{i,k-1}$ volumen i -te hidroelektrarne ob uri $k-1$, a_{ik} stranski dotok v bazen, $q_{i-1,k-\tau}$ in $s_{i-1,k-\tau}$ sta pretok in preliv hidroelektrarne $i-1$, ki sta lahko zakasnjena z časom τ , q_{ik} in s_{ik} pa pretok in preliv i -te hidroelektrarne.

Osnovna enačba za moč hidroelektrarne ima obliko:

$$p_{ik} = q_{ik} \eta_{ik} (h_{ik}), \quad (7)$$

pri čemer je padec definiran z enačbo (8):

$$h_{ik} = l_{f(i)k}(v_{f(i)k}) - l_{t(i)k}(v_{t(i)k}), \quad (8)$$

kjer je $l_{f(i)k}(v_{f(i)k})$ nivo zgornje vode bazena v odvisnosti od volumna $v_{f(i)k}$, $l_{t(i)k}(v_{t(i)k})$ pa nivo spodnje vode bazena v odvisnosti od volumna $v_{t(i)k}$.

Volumen je omejen z minimalno in maksimalno količino vode v bazenu:

$$v_i^{\min} \leq v_{ik} \leq v_i^{\max}. \quad (9)$$

Sprememba hitrosti pretoka skozi agregate pa je definirana kot absolutna vrednost razlike pretokov med urama k in $k+1$ (enačba (10)), ki ne sme biti večja od spremembe pretoka R_i :

$$q_{ik} - R_i \leq q_{i,k+1} \leq q_{ik} + R_i. \quad (10)$$

Pri obratovanju hidroelektrarne ima velik pomen tudi omejitev hitrosti denivelacije bazena, ki je definirana kot absolutna vrednost razlike volumnov med urama k in $k+1$ (enačba (11)) in ne sme biti večja od spremembe volumna bazena Z_i . Denivelacija bazena je realizirana kot omejitev hitrosti spremembe volumna zgornje vode bazena hidroelektrarne:

$$v_{ik} - Z_i \leq v_{i,k+1} \leq v_{ik} + Z_i. \quad (11)$$

Iz enačbe (7) in (8) ugotovimo, da je izkoristek η odvisen od padca, zato lahko definiramo:

$$\eta_{ik} = \alpha_i \cdot h_{ik} + \eta_i^0, \quad (12)$$

kjer je α_i

$$\alpha_i = \frac{\eta_i^{\max} - \eta_i^{\min}}{h_i^{\max} - h_i^{\min}} \quad (13)$$

in

$$\eta_i^0 = \eta_i^{\max} - \alpha_i \cdot h_i^{\max}. \quad (14)$$

Padec v odvisnosti od volumna opisuje enačba (8), medtem ko je nivo odvisen od volumna preko enačbe (15):

$$l_{ik} = \beta_i \cdot v_{ik} + l_i^0, \quad (15)$$

kjer sta parametra β_i in l_i^0 definirana z enačbama (16) in (17):

$$\beta_i = \frac{l_i^{\max} - l_i^{\min}}{v_i^{\max} - v_i^{\min}}, \quad (16)$$

$$l_i^0 = l_i^{\max} - \beta_i \cdot v_i^{\max}. \quad (17)$$

Nato vstavimo enačbo (12) v enačbo (7), da dobimo moč v obliki:

$$p_{ik} = q_{ik}(\alpha_i \cdot h_{ik} + \eta_i^0) \quad (18)$$

ter enačbo (15) vstavimo v enačbo (8), da dobimo padec:

$$h_{ik} = (\beta_{f(i)} \cdot v_{f(i),k} + l_{f(i)}^0) - (\beta_{t(i)} \cdot v_{t(i),k} + l_{t(i)}^0). \quad (19)$$

Enačba (19) opisuje padec v odvisnosti od nivoja vode zgornjega in spodnjega bazena, kjer se parametri z indeksom f nanašajo na zgornji bazen, parametri z indeksom t pa na spodnji bazen hidroelektrarne.

Končno moč posamezne HE dobimo tako, da vstavimo enačbo (19) v enačbo (18).

$$p_{ik} = \alpha_i \cdot \beta_{f(i)} \cdot q_{ik} \cdot v_{f(i),k} - \alpha_i \cdot \beta_{t(i)} \cdot q_{ik} \cdot v_{t(i),k} + \delta_i \cdot q_{ik}, \quad (20)$$

kjer je parameter δ_i :

$$\delta_i = \alpha_i \cdot (l_{f(i)}^0 - l_{t(i)}^0) + \eta_i^0. \quad (21)$$

Enačba (20) predstavlja moč posamezne hidroelektrarne kot nelinearno funkcijo v odvisnosti od padca, ki je posledica velikosti volumnov zgornjega in spodnjega bazena, ter pretoka vode skozi agregate hidroelektrarne. Parametra α_i in β_i sta bistvenega pomena pri določanju odvisnosti padca od volumnov bazenov (glej enačbe (13) in (16)).

V primeru, ko hidroelektrarna i nima spodnjega bazena (primer: zadnja elektrarna v verigi) ali če je zgornji bazen hidroelektrarne (i+1) glede na pot vode oddaljen za $\tau > 1$ (več kot 1 ura), potem višino spodnje vode definiramo kot linearno odvisnost od pretoka, zaradi česar se zmanjša tudi padec in posledično izkoristek. Tako je moč definirana z enačbo (22):

$$p_{ik} = \alpha_i \cdot \beta_{f(i)} \cdot q_{ik} \cdot v_{f(i),k} - \Delta\eta_i \cdot q_{ik} + \delta_i \cdot q_{ik}, \quad (22)$$

pri čemer je $\Delta\eta_i$ padec izkoristka zaradi povečanja nivoja spodnje vode, ter parameter δ_i :

$$\delta_i = \alpha_i \cdot (l_{f(i)}^0 - (h_i^{\max} - l_i^{\max})) + \eta_i^0. \quad (23)$$

4.3 Priprava simulacij

Vhodni podatki

Za prikaz delovanja optimizacije obratovanja verige HE v modulu HIDRO2 in njegove uporabe skupaj z napovedmi dotoka za sedem dni vnaprej smo si ogledali obratovanje verige naslednjih elektrarn na reki Savi:

- HE Vrhovo (čelna HE pri optimizaciji);
- HE Boštanj;
- HE Blanca;
- HE Krško.

Kot prvi vhodni parameter za optimizacijo delovanja verige HE smo uporabili podatke o napovedi dotoka za sedem dni vnaprej, ob upadajočem dotoku. To za obdobje enega tedna podaja zagotovljen minimalni dotok reke Save v čelno HE po prenehanju padavin, ob predpostavki, da v tistem tednu dodatnih padavin ne bo. Naša čelna HE je HE Vrhovo.

V raziskavi smo prikazali le obratovanje verige HE, optimirano glede na ceno električne energije, zato je napoved cene glavni vhodni podatek. Kot napoved cene smo upoštevali v optimizacijskih obdobjih dosežene urne cene na nemški borzi z električno energijo EEX, ki je glavni signal za oblikovanje cen električne energije na slovenskem trgu. Profil cen električne energije EEX je skoraj identičen cenam v Sloveniji, višina cene v Sloveniji pa je nekoliko višja, razliko pa predstavlja ceno zakupa čezmejnih prenosnih zmogljivosti z Avstrijo.

Poleg cene elektrike so ostali vhodni podatki naslednji:

- Urni stranski dotoki v posamezno HE (v našem primeru med HE Vrhovo in HE Krško stranskih pritokov praktično ni);
- Urni pretok in preliv posamezne HE za preteklih 24 ur;
- Profil cene električne energije po urah;
- Maksimalna, minimalna vrednost volumna bazena posamezne HE;
- Maksimalna, minimalna vrednost nivoja bazena posamezne HE;
- Maksimalni, minimalni pretok posamezne HE;
- Maksimalni, minimalni padec posamezne HE;
- Maksimalni, minimalni izkoristek posamezne HE;
- Nazivna moč posamezne HE.

Scenariji simulacij

Glede na obratovalno strategijo se v praksi pojavljajo trije možni načini gospodarjenja z vodo v verigi HE. Proizvajalec lahko zahteva, da zasleduje le dnevna nihanja cene električne energije in morajo biti zato bazeni polni konec vsakega dneva. Pri elektrarnah z večjo čelno akumulacijo (npr. tedensko) se to obdobje lahko podaljša in se zato lahko zahteva, da so bazeni v verigi polni le zadnji dan v tednu ob 24:00. Proizvajalec pa lahko zasleduje povsem tržno logiko in ne postavlja nobene omejitve glede tega, kdaj naj bodo bazeni polni.

V praksi se izkaže, da so omejitve glede polnosti bazenov namenjene konzervativnemu upravljanju s tveganjem, da lahko nastopi sušno obdobje, ko bo voda v verigi porabljena in veriga ne bo mogla prevzeti proizvodnje ob izpadu katere druge elektrarne. Tak način obratovanja omogoča večjo zanesljivost obratovanja verige in celotnega sistema, vendar je ob upoštevanju stroškov izgubljene priložnosti (angl. *Opportunity Cost*), ki jih proizvajalec na trgu zaradi tega utrpel lahko tudi zelo drag. Namesto tega je na drugi strani spektra bistveno bolj prožen in dobičkonosen način optimizacije na tržno ceno, pri katerem obratovalec proizvede električno energijo iz vode takrat, ko je ta na trgu najdražja, in ne, ko je domača poraba najvišja. Tveganja pomanjkanja vode pa obvladuje z naprednimi načini napovedovanja dotokov vode v čelno elektrarno verige. Na ta način lahko obratovalec verige vnaprej pripravi optimalni vozni red, ki izkorišča tržne priložnosti znotraj dneva ali tedna. Slaba stran tržnega optimiranja vode v bazenih verige je lahko, da ob zasledovanju dobičkov na trgu obratovalec izprazni bazene in nato do novih večjih padavin vozi z bazeni na naravnem dotoku. Vseeno ta nevarnost ni tako zelo pomembna, saj je akumulacija na obravnavani verigi dnevna in torej vode tako ali tako ne bi mogel shraniti za daljše obdobje preko 24 ur.

V rezultatih smo prikazali tri možne načine delovanja optimizacije verige HE glede na spreminjanje omejitve napolnjenosti bazenov, in sicer:

- Scenarij 1: Bazeni so polni vsak dan ob 0.00;
- Scenarij 2: Bazeni so polni le zadnji dan v tednu ob 0.00;
- Scenarij 3: Bazeni se lahko izpraznijo (ni omejitve glede napolnjenosti bazenov).

Simulacijski privzetki

Optimizacijski algoritem je oblikovan tako, da za upošteva naslednje privzetke:

- Optimizacijo delovanja verige HE Vrhovo, Boštanj, Blanca in Krško, izvaja na tržni način po ceni električne energije za 168 ur vnaprej. Obdobje napovedi dotoka in cene električne energije se morata ujemati.
- Optimira se verigo HE kot celoto in se privzame obratovanje HE v taktu.
- Glede na izbrani scenarij lahko algoritem upošteva časovno zahtevo za polnost volumnov bazenov HE (polni bazeni vsak dan, polni bazeni zadnje uro tedenske simulacije, brez omejitve napolnjenih bazenov).
- Algoritem upošteva biološki minimum posamezne HE in minimalen pretok skozi HE (ali verigo HE). To določilo je še posebej pomembno zaradi minimalnega pretoka skozi HE Krško, ki mora za hlajenje Nuklearni elektrarni Krško zagotavljati pretok reke $100 \text{ m}^3/\text{s}$. Če je dotok manjši od te vrednosti, se kot minimalna vrednost upošteva naravni dotok.
- Če je torej dotok v elektrarno manjši od $100 \text{ m}^3/\text{s}$, HE obratuje pretočno. Ko je dotok večji od $100 \text{ m}^3/\text{s}$, pa HE oz. veriga HE lahko obratuje glede na cenovne signale.
- Algoritem upošteva zakasnitev pretokov in prelivov od i -te HE do $(i+1)$. HE.
- Algoritem upošteva omejitve urne hitrosti denivelacije posamezne HE.
- Algoritem upošteva omejitve urne spremembe pretoka posamezne HE.
- Vhodne in izhodne podatke lahko urejamo v MS Excelovem uporabniškem vmesniku.

4.4 Rezultati

Obdobja optimizacije

Za dneve prikaza delovanja optimizacije smo uporabili izbrane tedne za štiri sezone v letu 2007, Preglednica 4.1. Pomembni so dnevi, ki so zajeti znotraj vsakega obravnavanega tedna napovedi dotokov. Čeprav hidrologija nima neposrednega stika z tipom dneva v tednu, pa je vpliv tipa dneva na ceno električne energije bistven, in ni nepomembno, ali je veliko vode v ponedeljek zjutraj, ko je konica porabe, ali v nedeljo ponoči, ko je cena navadno najnižja.

Preglednica 4.1 Sezone, za katere so prikazani rezultati

Sezona	Zač. datum	Ura	Končni datum	Ura	Dnevi
Zima	12. 01. 2007	3.00	19. 01. 2007	2.00	PET – PET
Pomlad	18. 04. 2007	3.00	25. 04. 2007	2.00	SRE – SRE
Poletje	15. 07. 2007	3.00	22. 07. 2007	2.00	NED – NED
Jesen	03. 11. 2007	3.00	10. 11. 2007	2.00	SOB – SOB

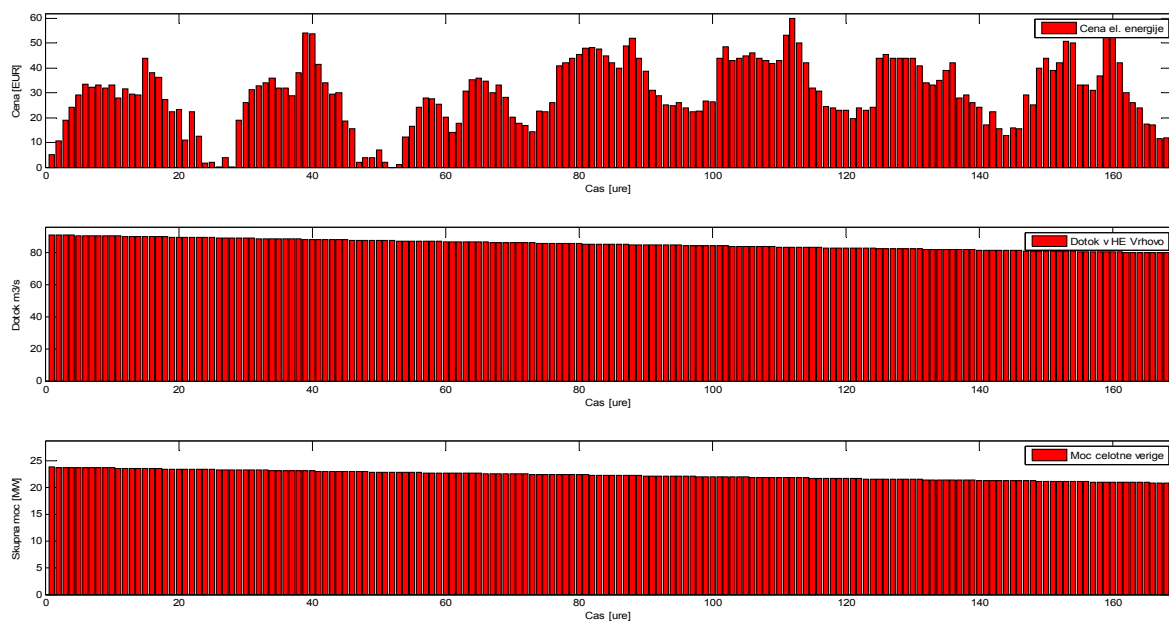
Rezultati so razvrščeni po posameznih optimizacijske sezone (Zima, Pomlad, Poletje, Jesen) in glede na tri scenarije glede omejitve napolnjenosti bazenov (bazeni polni vsak konec dneva, bazeni polni le konec zadnjega dneva v tednu, bazeni ob koncu niso nujno polni).

Na začetku vsakega scenarija za simulacijsko obdobje sta najprej prikazana cena električne energije (v €/MWh) in dotok v čelno HE, HE Vrhovo (v m³/s). Nato je prikazana moč celotne verige HE (v MW) za 168 simuliranih ur. Sledi prikaz pretokov skozi posamezne HE in moči posameznih HE (v % glede na nazivne vrednosti).

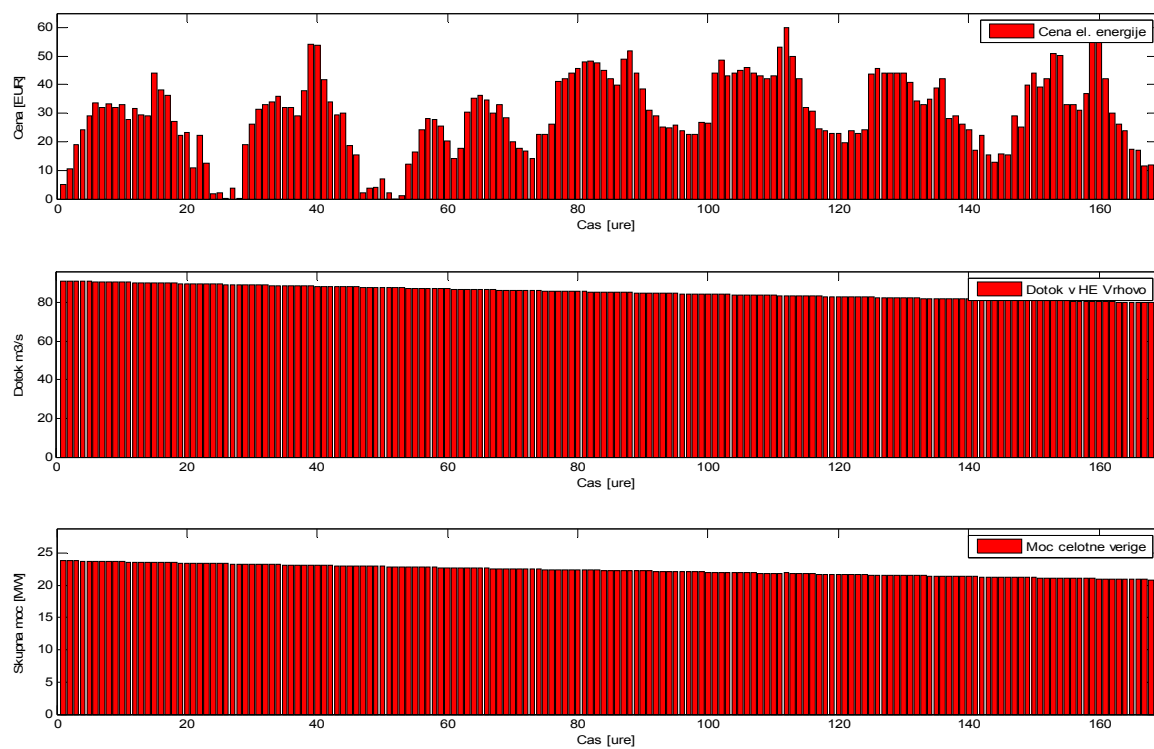
Rezultati za Zimo: 12. 01. 2007 (3.00) – 19. 01. 2007 (2.00)

Cena, dotok in skupna moč verige

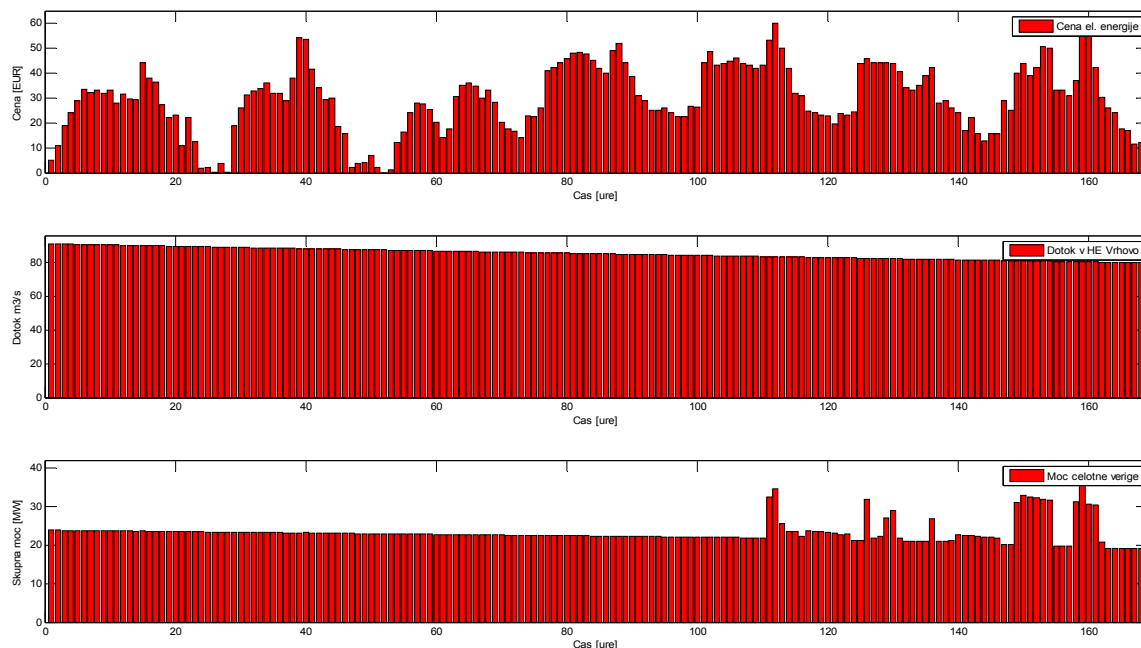
Sl. 4-5, Sl. 4.6 in Sl. 4.7 prikazujejo skupno moč verige HE za vse tri scenarije. Poleg moči sta prikazana oba vhoda optimizacije, cena električne energije in dotok vode v čelno HE. Ker so v tem obdobju dotoki večinoma pod 100 m³/s, tudi veriga takrat obratuje pretočno, torej ne prilagaja proizvodnje cenovnim signalom. V scenariju 1 in 2 skupna moč verige skozi optimizacijsko obdobje upada (kakor upada tudi dotok v čelno HE), pri scenariju 3, kjer ob koncu tedna ne zahtevamo polnih bazenov, pa v dnevih 5, 6 in 7 lahko opazimo, kako je veriga pričela upoštevati cenovne konice in temu prilagodila tudi svoje obratovanje. Ob večjih dotokih bi seveda svoje obratovanje še bolj prilagajala cenovnim signalom.



Sl. 4-5: Zima, Scenarij 1. Cena, dotok in skupna moč verige



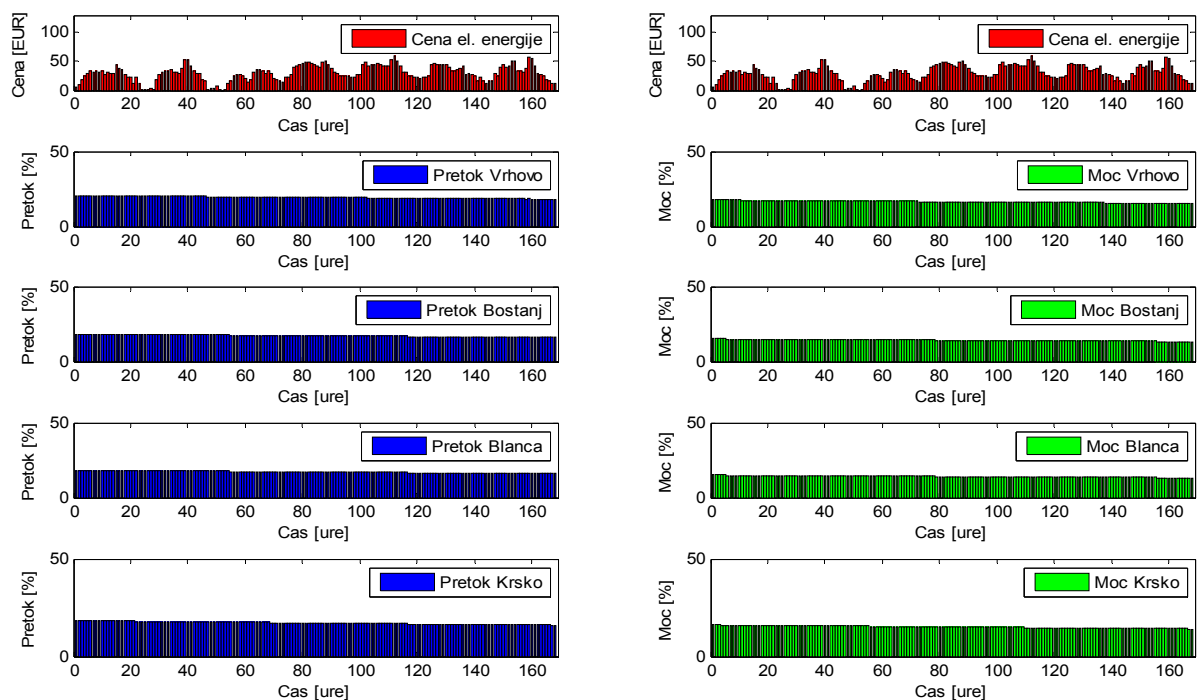
Sl. 4.6: Zima, Scenarij 2. Cena, dotok in skupna moč verige



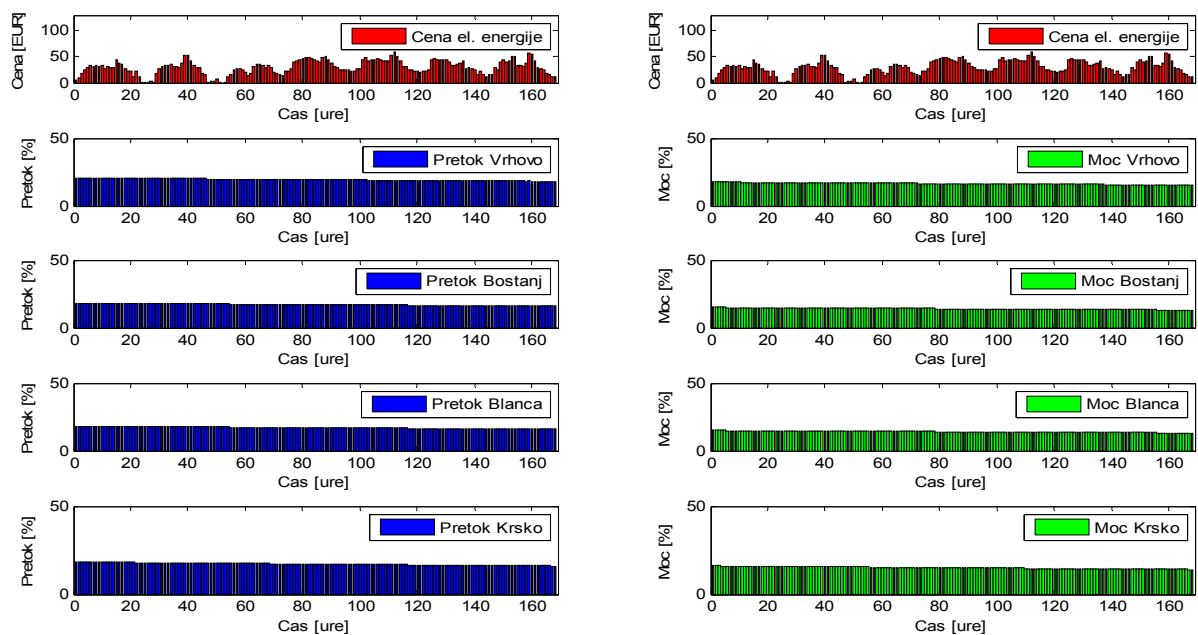
Sl. 4.7: Zima, Scenarij 3. Cena, dotok in skupna moč verige

Pretoki in moči posameznih HE

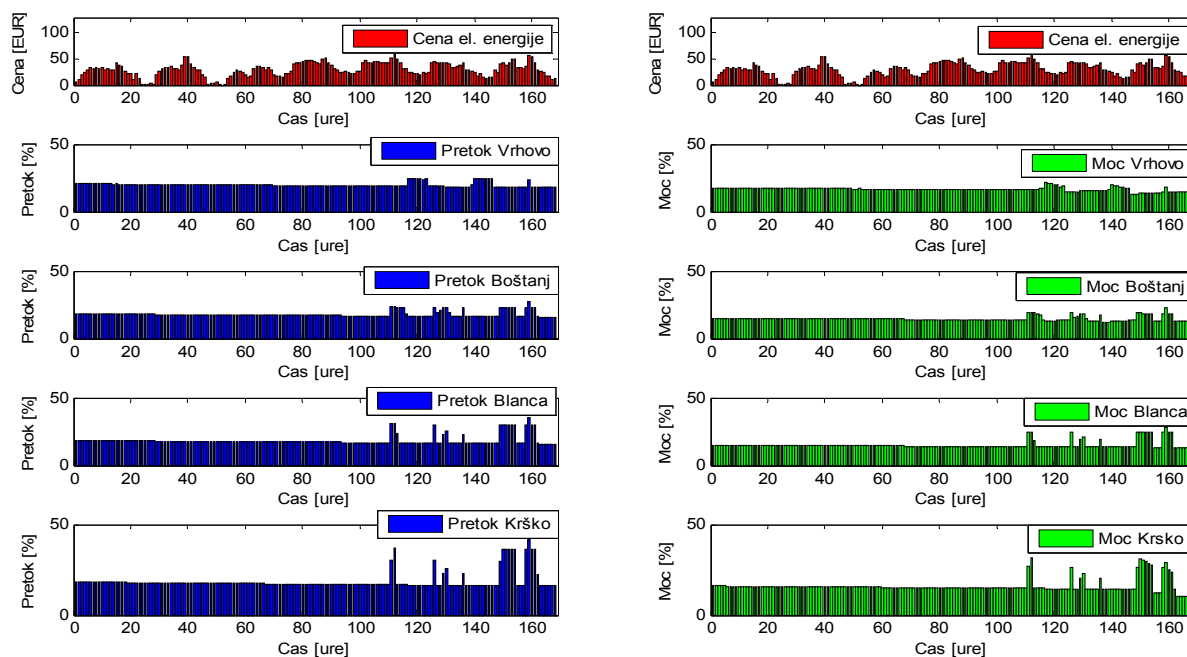
Sl. 4.8, Sl. 4.9 in Sl. 4.10 prikazujejo pretoke in moči posameznih HE v verigi za vse tri scenarije. Kot smo omenili že pri skupni moči za ta primer, skozi optimizacijsko obdobje upadajo tudi moči posameznih HE. Pri scenarijih 1 in 2 se niti pretok, niti moč elektrarne ne dvigneta nad 25 % nazivnih vrednosti. Pri scenariju 3 pa opazimo, da se proti koncu optimizacijskega obdobja, v dneh 5, 6, in 7, bolj intenzivno elektrarne lovijo cenovne konice. HE Blanca in HE Krško, ki sta na koncu HE verige, obratujeta še z večjim odstotkom nazivne moči kot HE Vrhovo in HE Boštanj, ki sta na začetku HE verige. Intenzivnost obratovanja v dneh 5, 6 in 7 se tako večja tudi glede na položaj HE v verigi.



Sl. 4.8: Zima, Scenarij 1. Cena, pretoki in moči posameznih HE



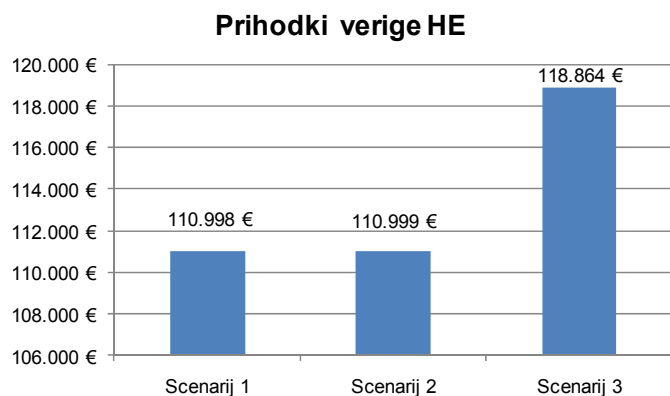
Sl. 4.9: Zima, Scenarij 2. Cena, pretoki in moči posameznih HE



Sl. 4.10: Zima, Scenarij 3. Cena, pretoki in moči posameznih HE

Prihodki verige HE

Sl. 4.11 prikazuje prihodke verige HE za vse tri scenarije. Pri scenariju 3, ko nimamo zahtev glede napolnjenosti bazena, so prihodki občutno večji kot pri scenarijih 1 in 2. V enem tednu je ta razlika skoraj 8 tisoč €, kljub temu da so dotoki zelo nizki in dodatno upadajo skozi teden. Pri velikih dotokih bi prišlo tudi do večje razlike v prihodkih med scenarijema 1 in 2.

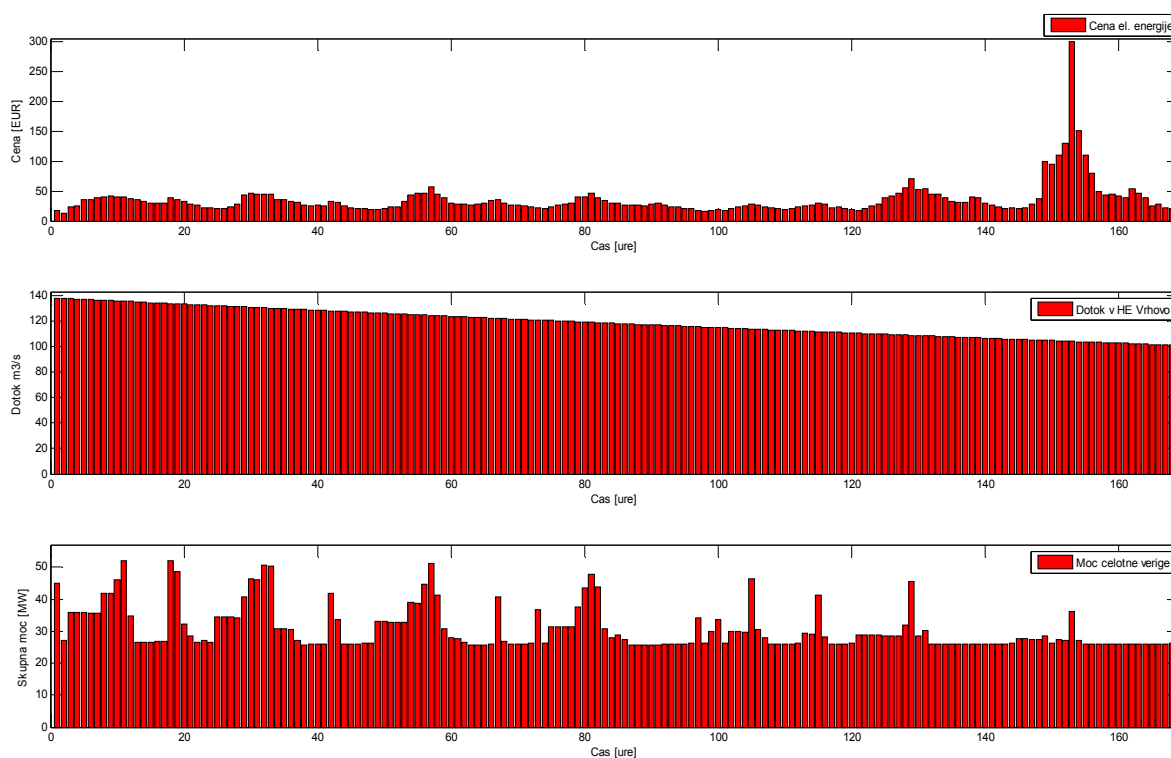


Sl. 4.11: Zima. Prihodki verige HE za vse tri scenarije

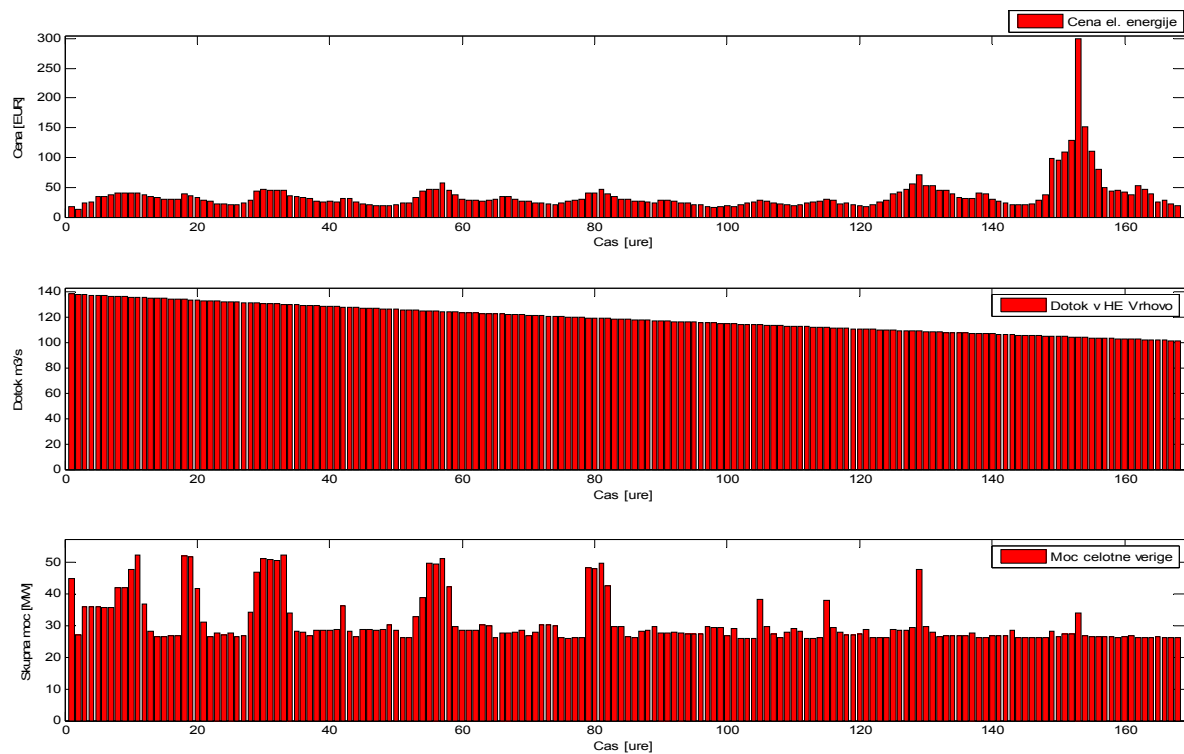
Rezultati za Pomlad: 18. 04. 2007 (3.00) – 25. 04. 2007 (2.00)

Cena, dotok in skupna moč verige

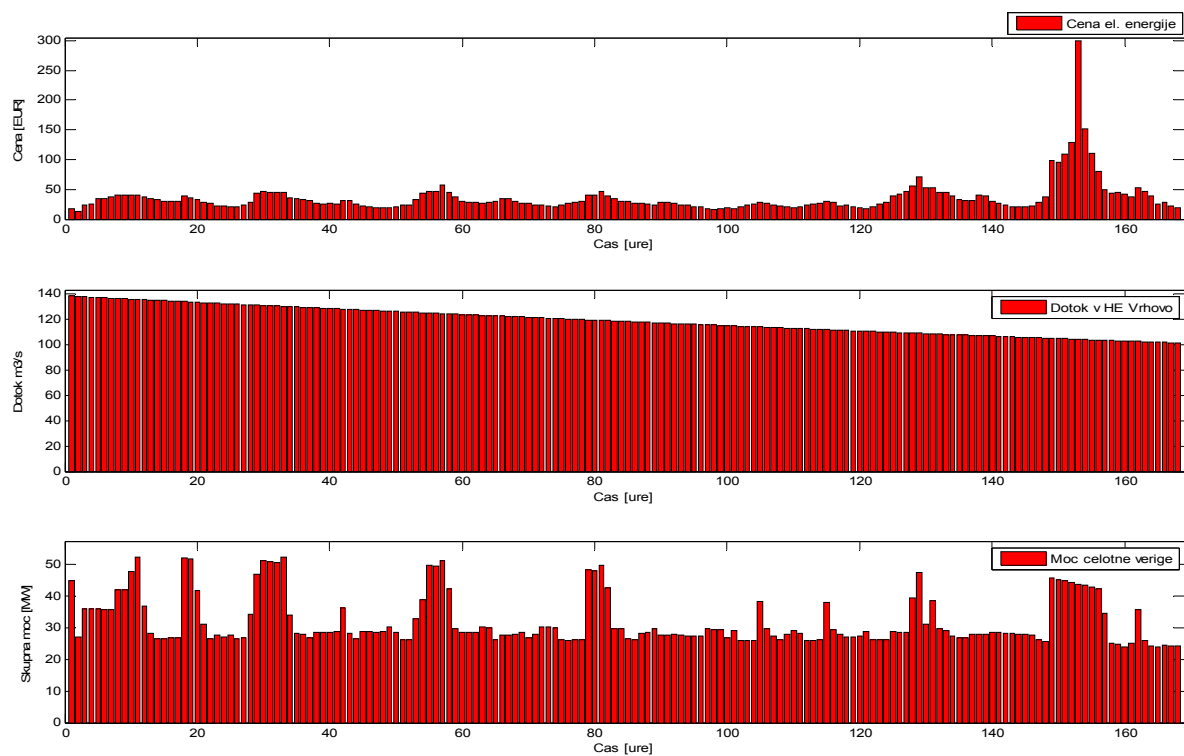
Sl. 4.12, Sl. 4.13 in Sl. 4.14 prikazujejo skupno moč verige HE za vse tri scenarije. Poleg moči sta prikazana oba vhoda optimizacije, cena električne energije in dotok v čelno HE. Ker se dotoki večino časa gibljejo nad minimalnim predpisanim pretokom, se veriga HE lahko dobro prilagaja cenovnim signalom. Pri scenariju 1 se prilagajamo vsakodnevnim konicam, pri scenariju 2 pa poleg tega upoštevamo tudi konice znotraj tedna. Zato se lahko v 7. dnevu optimizacijskega obdobja odzovemo na zelo visoko ceno električne energije, kljub temu, da v tem času dotok upade že proti meji minimalnega pretoka. Še bolj učinkovito se cenovni konici v 7. dnevu prilagodimo v scenariju 3, kjer ob koncu tedna ne zahtevamo polnih bazenov. Pri tem scenariju v dnevu 7 obratujemo z občutno večjo močjo, kot v scenarijih 1 in 2.



Sl. 4.12: Pomlad, Scenarij 1. Cena, dotok in skupna moč verige



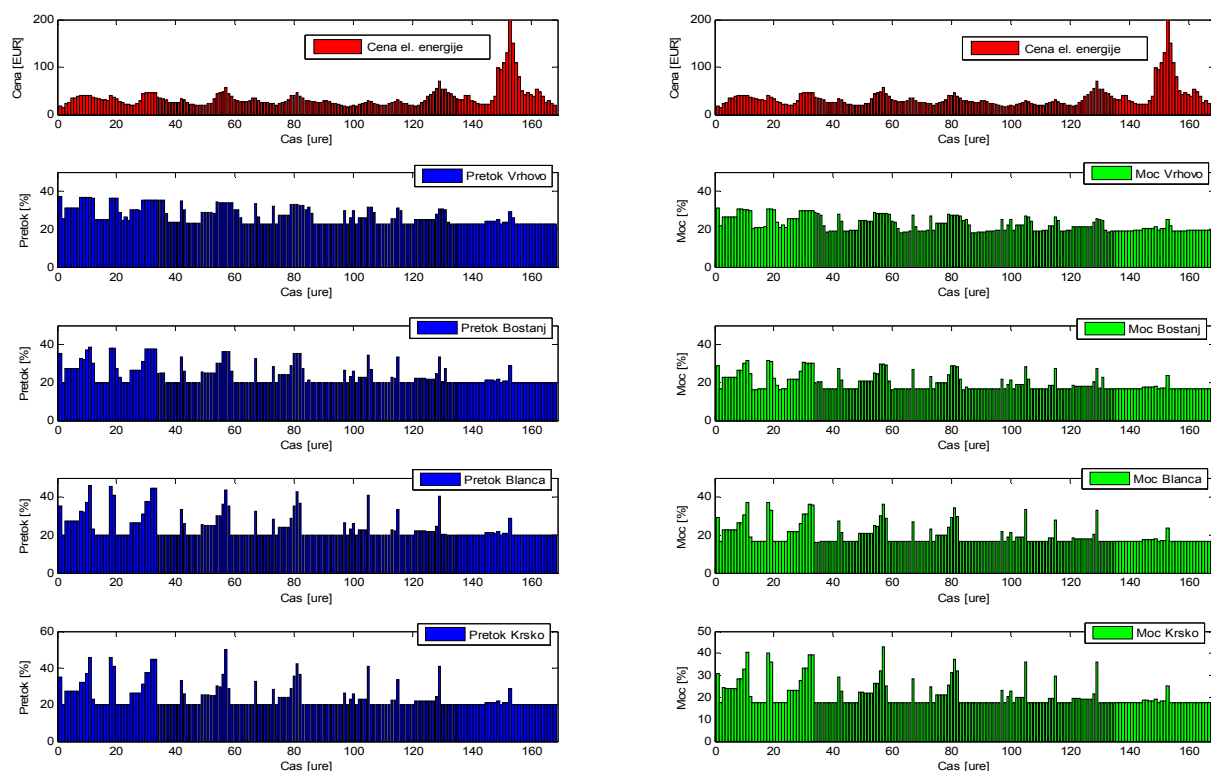
Sl. 4.13: Pomlad, Scenarij 2. Cena, dotok in skupna moč verige



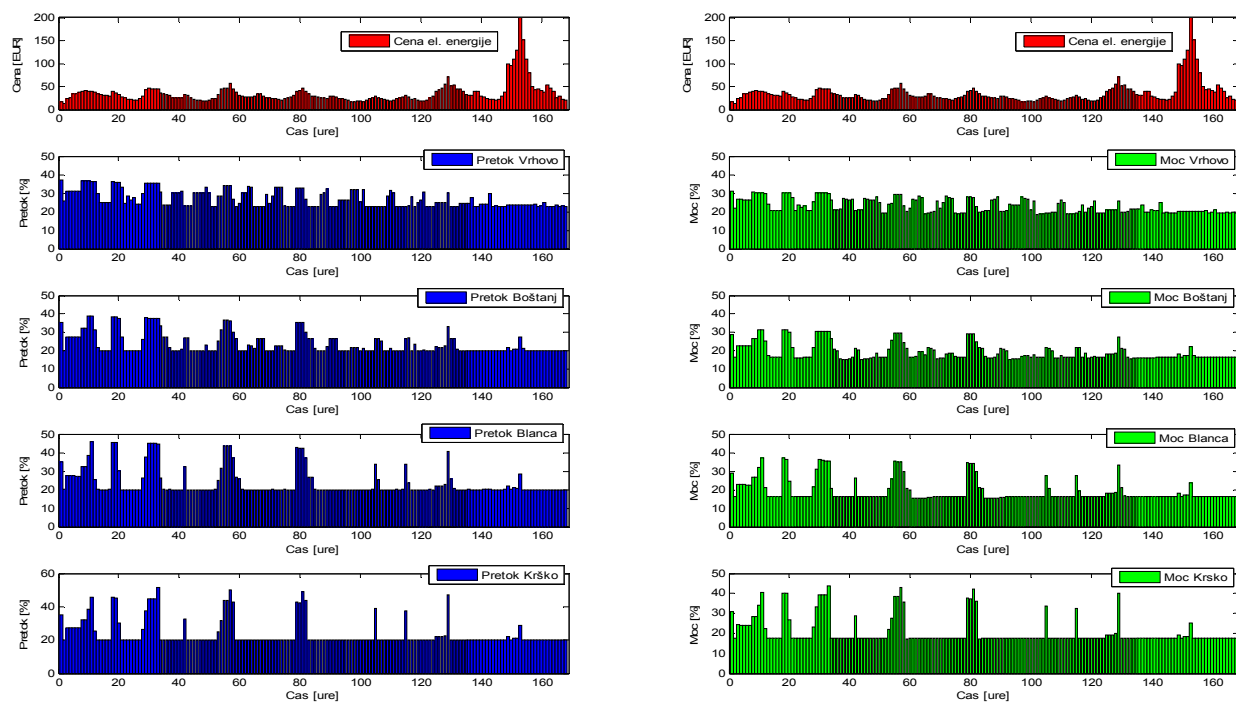
Sl. 4.14: Pomlad, Scenarij 3. Cena, dotok in skupna moč verige

Pretoki in moči posameznih HE,

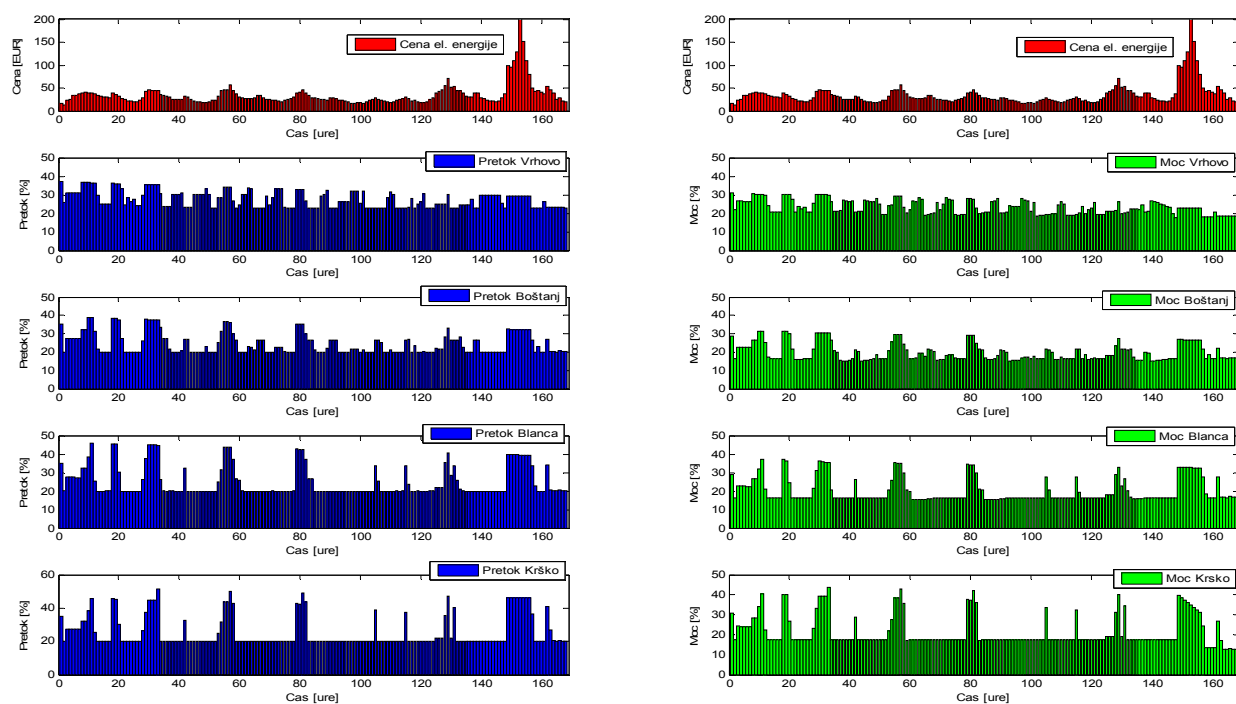
Sl. 4.15, Sl. 4.16 in Sl. 4.17 prikazujejo pretoke in moči posameznih HE v verigi za vse tri scenarije. Ker so dotoki v čelno HE večji, se to pozna tudi na pretoku in moči posameznih HE. V začetku optimizacijskega obdobja, ko so dotoki večji, lahko opazimo, kako posamezne HE izkoriščajo napoved cene in intenzivneje obratujejo v času konic. Tudi pretoki in moči so večji kot v zimskem obdobju. Ker imamo pri scenarijih 1 in 2 upoštevano zahtevo po polnosti bazena, HE ne morejo izkoristiti visokih cen v zadnjem 7 dnevu, oz. jih izkoristijo le malenkostno z nekoliko višjim obratovanjem v uri z daleč najvišjo ceno. V scenariju 3 pa nasprotno lahko porabijo več vode in učinkovito izkoristijo cenovne konice tudi v zadnjem 7. dnevu. To še posebej velja za HE Blanco in HE Krško.



Sl. 4.15: Pomlad, Scenarij 1. Cena, pretoki in moči posameznih HE



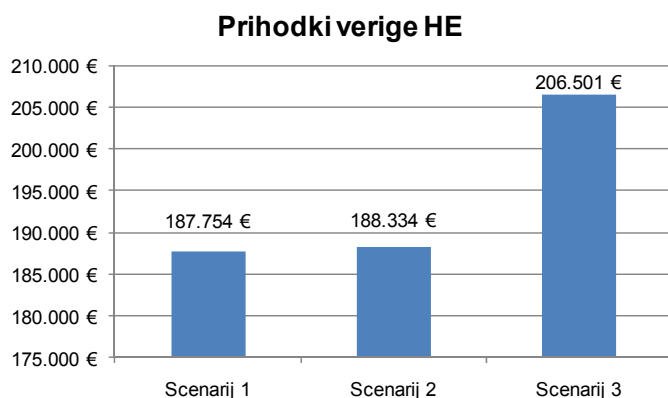
Sl. 4.16: Pomlad, Scenarij 2. Cena, pretoki in moči posameznih HE



Sl. 4.17: Pomlad, Scenarij 3. Cena, pretoki in moči posameznih HE

Prihodki HE

Sl. 4.18 prikazuje prihodke verige HE za vse tri scenarije. Pri scenariju 3, ko nimamo zahtev glede napolnjenosti bazena, so prihodki občutno večji kot pri scenarijih 1 in 2. V enem tednu je ta razlika okrog 18 tisoč € in se je povečala v primerjavi z zimskim tednom, saj so se povečali tudi dotoki in moč verige HE. Zaradi večjih dotokov je prišlo tudi do razlike 580 € v prihodkih med scenarijema 1 in 2.

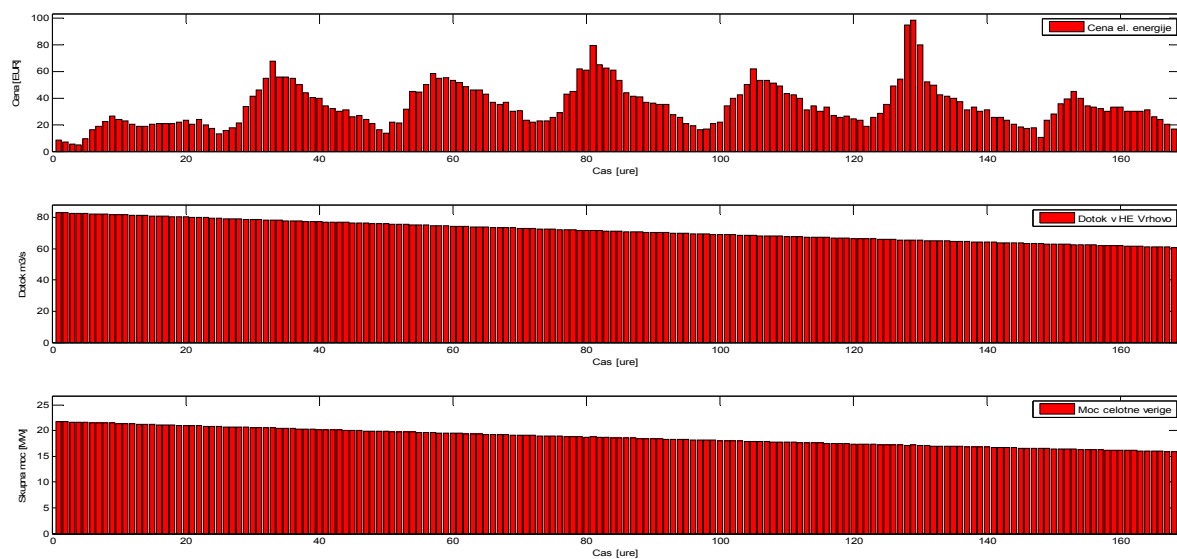


Sl. 4.18: Pomlad, Prihodki verige HE za vse tri scenarije

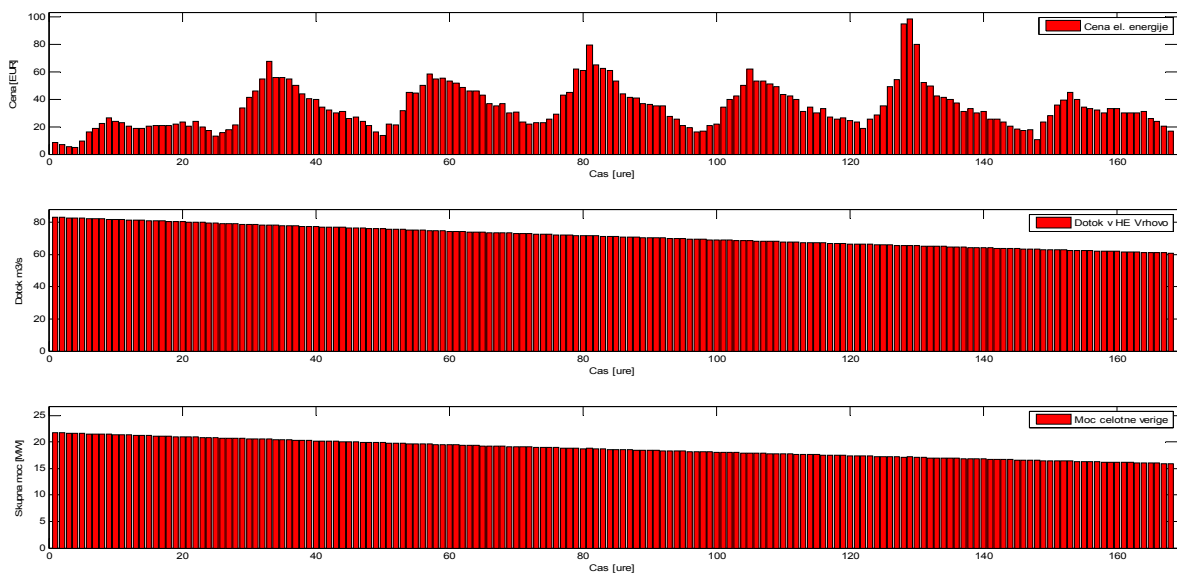
Rezultati za Poletje: 15. 07. 2007 (3.00) – 22. 07. 2007 (2.00)

Cena, dotok in skupna moč verige

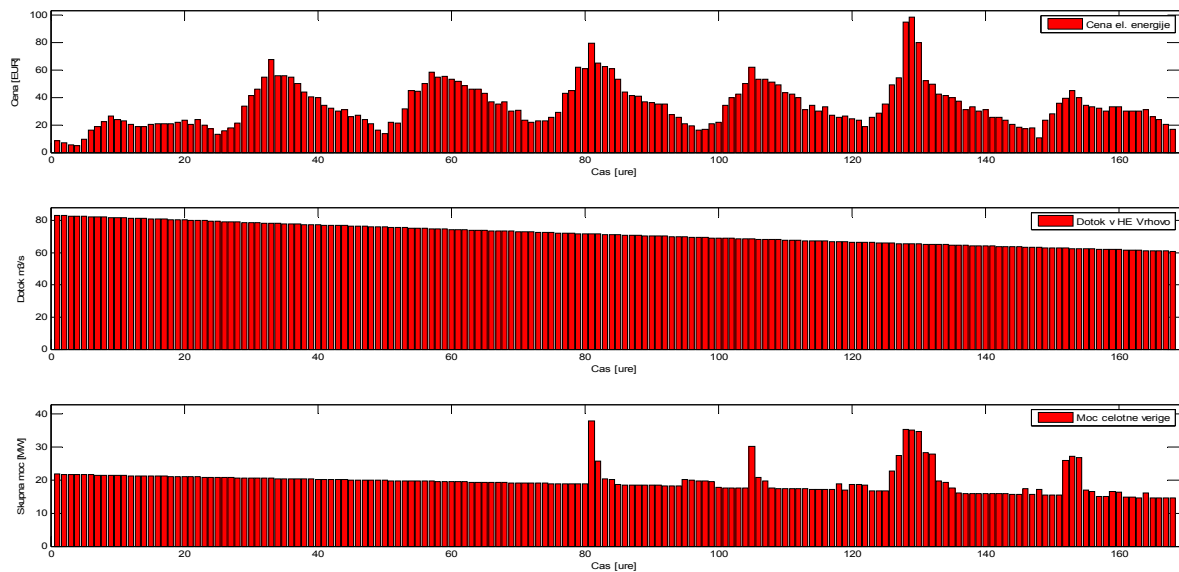
Sl. 4.19, Sl. 4.20 in Sl. 4.21 prikazujejo skupno moč verige HE za vse tri scenarije. Poleg moči sta prikazana oba vhoda optimizacije, cena električne energije in dotok v čelno HE. Ker so dotoki, tako kot v zimskem mesecu vseskozi pod $100 \text{ m}^3/\text{s}$, veriga obratuje pretočno, torej ne upošteva cenovnih signalov. V scenariju 1 in 2 skupna moč verige skozi optimizacijsko obdobje upada (kakor upada tudi dotok v čelno HE), pri scenariju 3 v dnevih 4, 5, 6 in 7 lahko opazimo, kako je veriga upoštevala cenovne konice. V dnevu 4 in 5 manj intenzivno, v dnevih 6 in 7, ko se bližamo koncu optimizacijskega obdobja, pa vse bolj. Veriga svoje obratovanje v scenariju 3 najbolj intenzivira v dnevu 6, ko so tudi cene električne energije najvišje. S tem pokažemo, da se algoritem odziva pravilno in skladno z našimi željami.



Sl. 4.19: Poletje, Scenarij 1. Cena, dotok in skupna moč verige



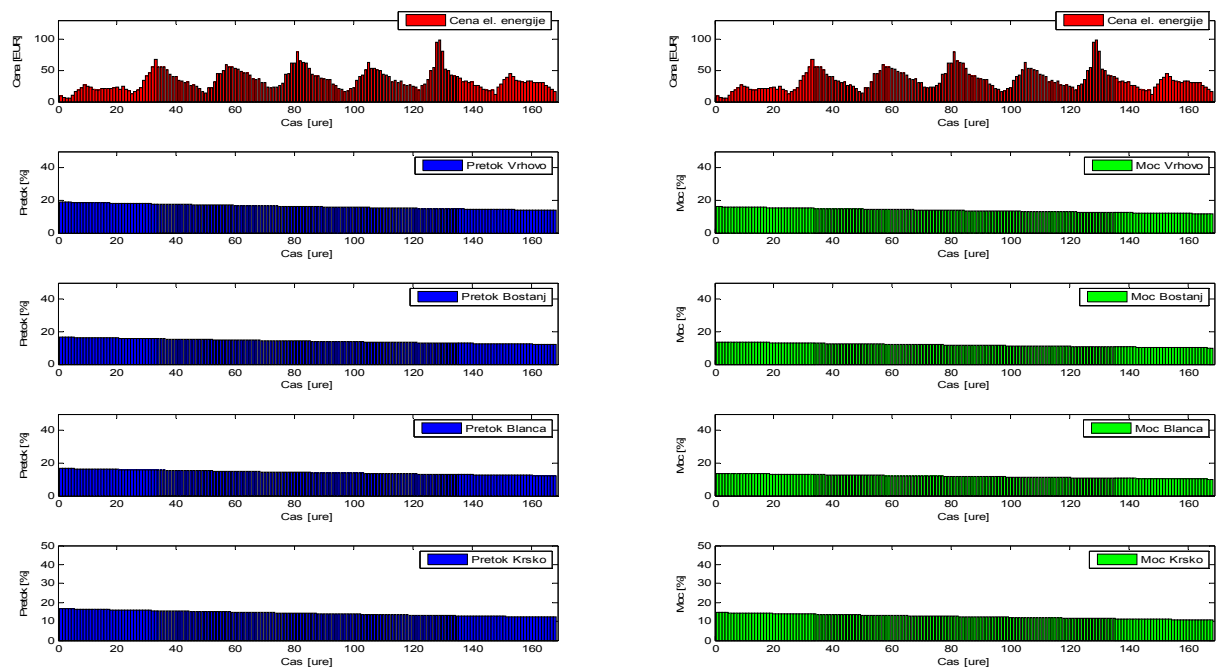
Sl. 4.20: Poletje, Scenarij 2. Cena, dotok in skupna moč verige



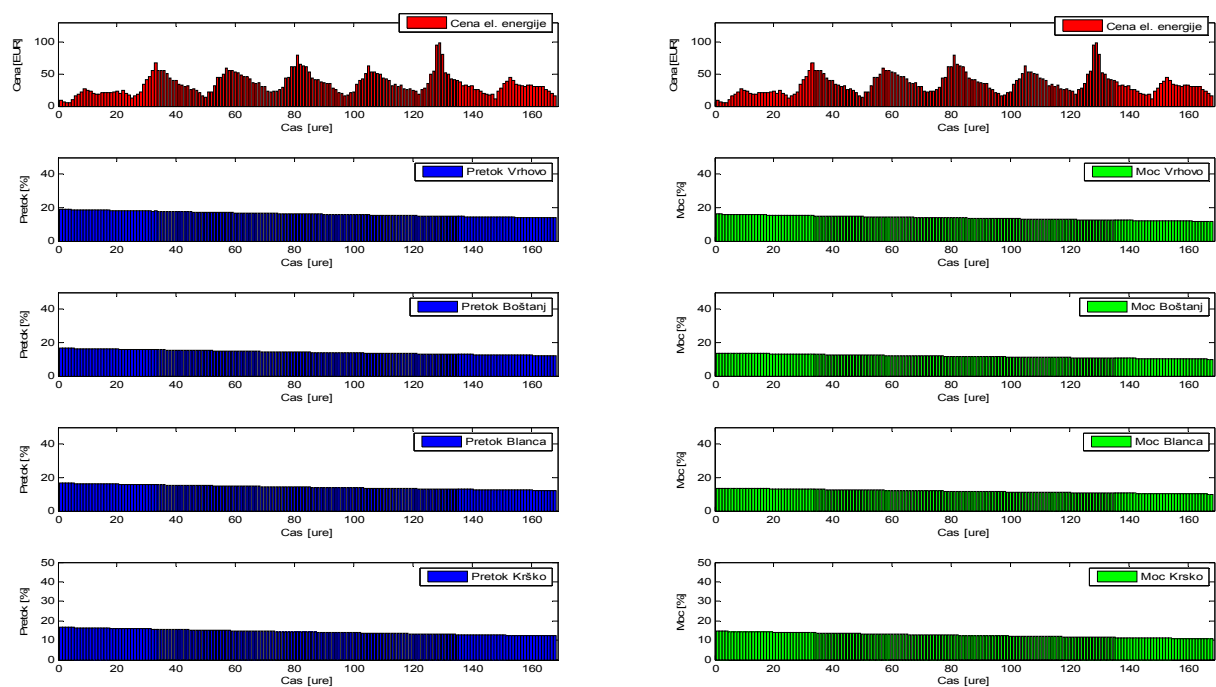
Sl. 4.21: Poletje, Scenarij 3. Cena, dotok in skupna moč verige

Pretoki in moči posameznih HE

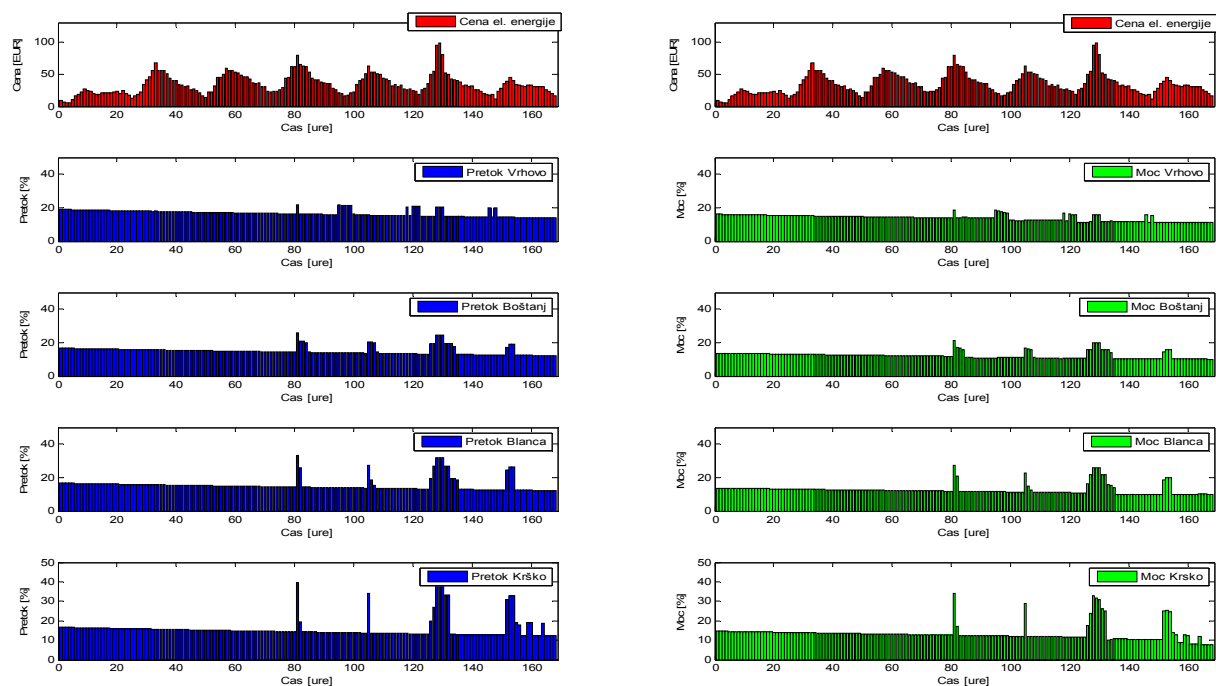
Sl. 4.22, Sl. 4.23 in Sl. 4.24 prikazujejo pretoke in moči posameznih HE v verigi za vse tri scenarije. Kot smo omenili že pri skupni moči za ta primer, skozi optimizacijsko obdobje upadajo tudi moči posameznih HE. Pri scenarijih 1 in 2 se niti pretok, niti moč elektrarne ne dvigneta nad 20 % nazivnih vrednosti. Pri scenariju 3 pa opazimo, da bolj ko se bliža konec optimizacijskega, v dneh 4, 5, 6, in 7, bolj intenzivno elektrarne lovijo cenovne konice. HE Blanca in HE Krško, ki sta na koncu HE verige, obratujeta še z večjim odstotkom nazivne moči kot HE Vrhovo in HE Boštanj. Dobro izkoristita tudi visoke cene v 6. dnevu. Intenzivnost obratovanja v dneh 5, 6 in 7 se tako veča tudi glede na položaj HE v verigi. Primer poletnega tedna je zelo podoben primeru iz zimskega tedna. Dotoki so manjši od minimalnih predpisanih, zato tehnične omejitve skoraj ne dovoljujejo obratovanja, ki bi se prilagajalo cenovnim signalom.



Sl. 4.22: Poletje, Scenarij 1. Cena, pretoki in moči posameznih HE



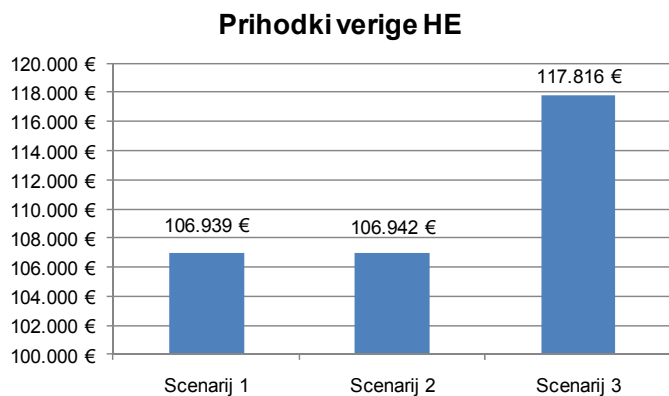
Sl. 4.23: Poletje, Scenarij 2. Cena, pretoki in moči posameznih HE



Sl. 4.24: Poletje, Scenarij 3. Cena, pretoki in moči posameznih HE

Prihodki HE

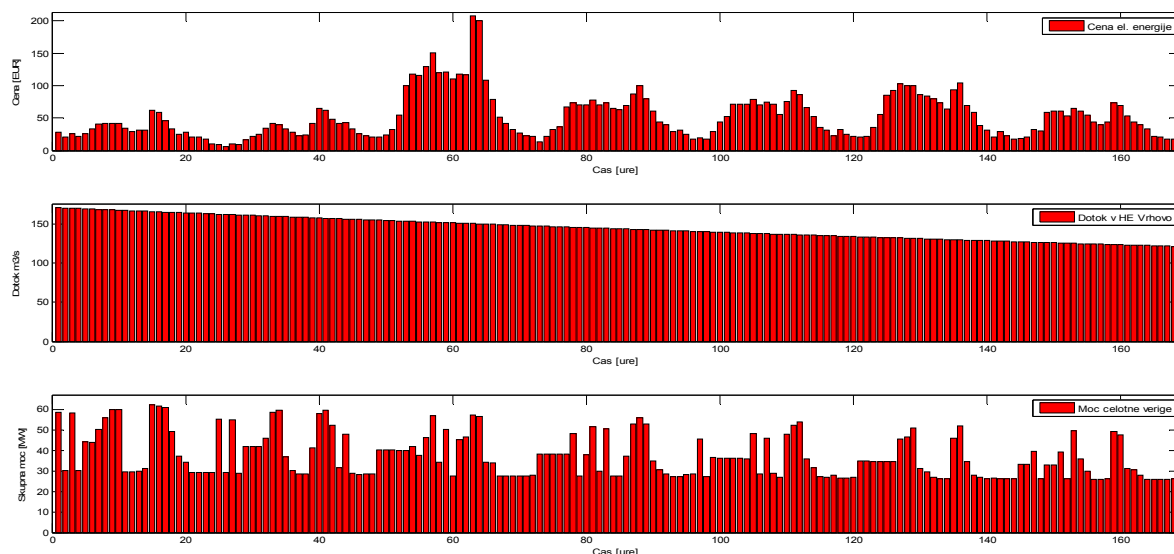
Slika 4.26 prikazuje prihodke verige HE za vse tri scenarije. Pri scenariju 3, ko nimamo zahtev glede napolnjenosti bazena, so prihodki občutno večji kot pri scenarijih 1 in 2. V enem tednu je ta razlika skoraj 11 tisoč €, kljub temu da so dotoki v poletnem tednu zopet zelo nizki in dodatno upadajo skozi teden. Pri velikih dotokih sicer prihaja tudi do večje razlike v prihodkih med scenarijema 1 in 2, ki jih je najlažje opaziti v spomladanskem tednu.



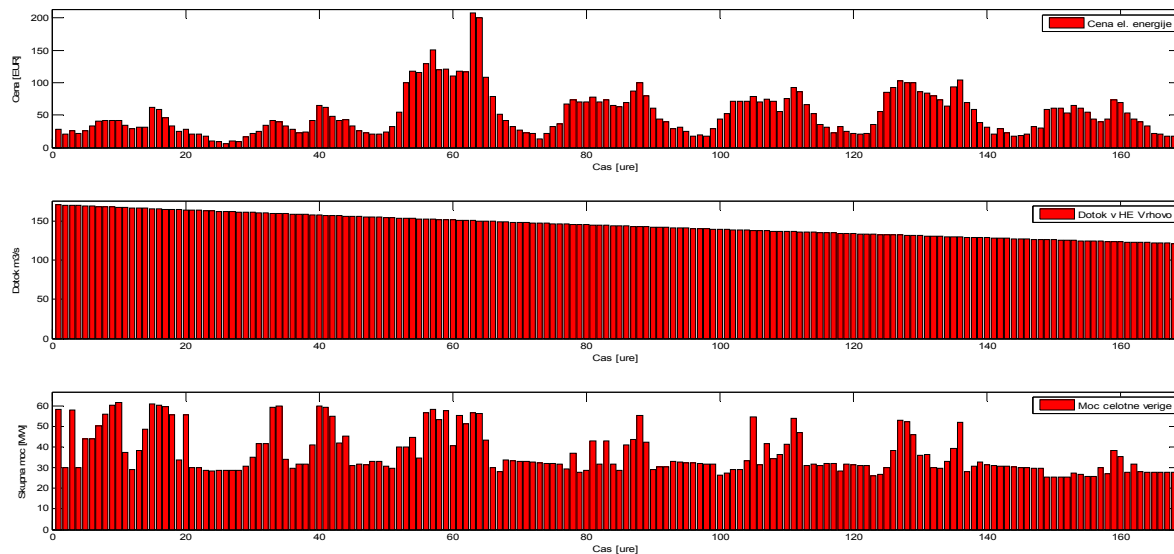
Sl. 4. 25: Poletje, Prihodki verige HE za vse tri scenarije.

Rezultati za Jesen: 03. 11. 2007 (3.00) – 10. 11. 2007 (2.00)
Cena, dotok in skupna moč verige

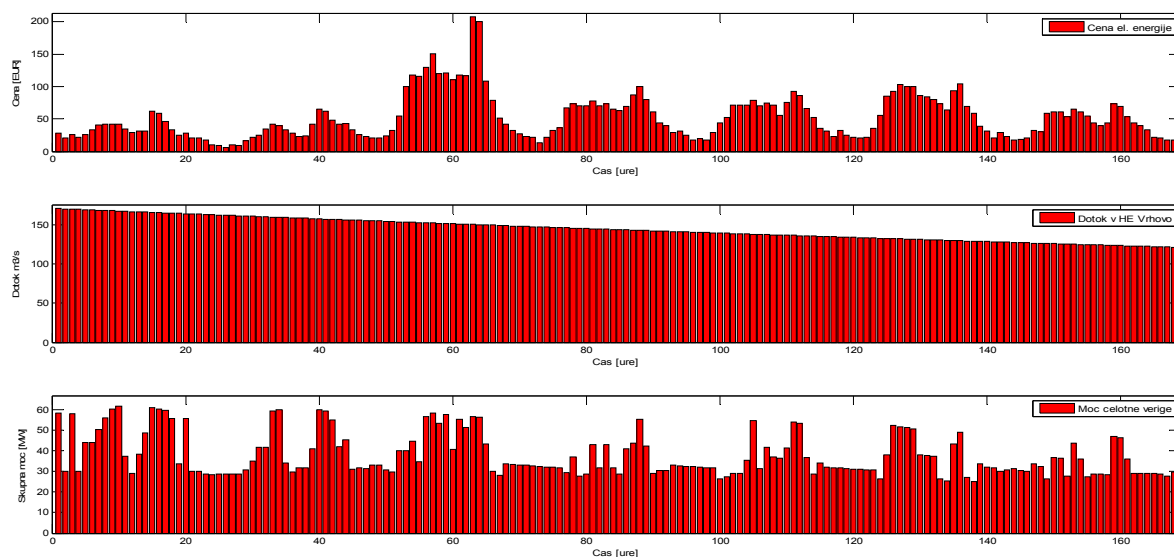
Optimiziranje obratovanja verige HE v jesenskem tednu daje najbolj zanimive rezultate, ker so v tem tednu dotoki najvišji in vseskozi presegajo $100 \text{ m}^3/\text{s}$. Sl. 4.26, Sl. 4.27 in Sl. 4.28 prikazujejo skupno moč verige HE za vse tri scenarije. Poleg moči sta prikazana oba vhoda optimizacije, cena električne energije in dotok v čelno HE. Veriga HE se dobro prilagaja cenovnim signalom v vseh treh scenarijih. Pri scenariju 1 se prilagajamo vsakodnevni konicam in hkrati skrbimo, da je konec vsakega dneva bazen poln. Pri scenariju 2 sta poleg tega upoštevani tudi konici znotraj tedna, v 3. in 6. dnevu, v 7. dnevu optimizacijskega obdobja pa veriga intenzivno polni bazene, zato je intenzivnost obratovanja verige HE za 7. dan v scenariju 2 manjša kot v scenariju 1. Še bolj učinkovito se cenovni konici v 7. dnevu prilagodimo v scenariju 3, kjer ob koncu tedna ne zahtevamo polnih bazenov. Pri tem scenariju v 7. dnevu obratujemo z občutno večjo močjo, kot v scenarijih 1 in 2. V scenariju 3 je skozi cel teden proizvodnja verige HE še nekoliko bolj intenzivna od tiste v scenariju 1 in 2, s tem da je proizvodnja višja tudi v zadnjem dnevu optimizacijskega obdobja, saj nimamo omejitve glede napolnjenosti bazenov.



Sl. 4.26: Jesen, Scenarij 1. Cena, dotok in skupna moč verige



Sl. 4.27: Jesen, Scenarij 2. Cena, dotok in skupna moč verige

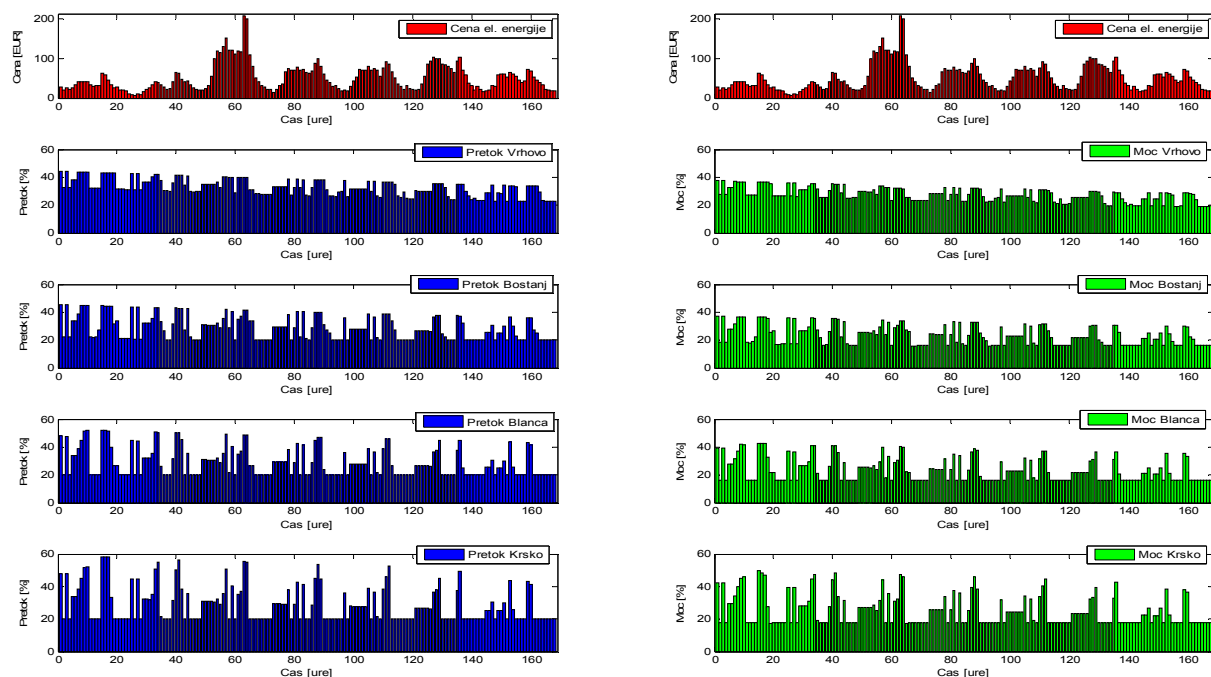


Sl. 4.28: Jesen, Scenarij 3. Cena, dotok in skupna moč verige

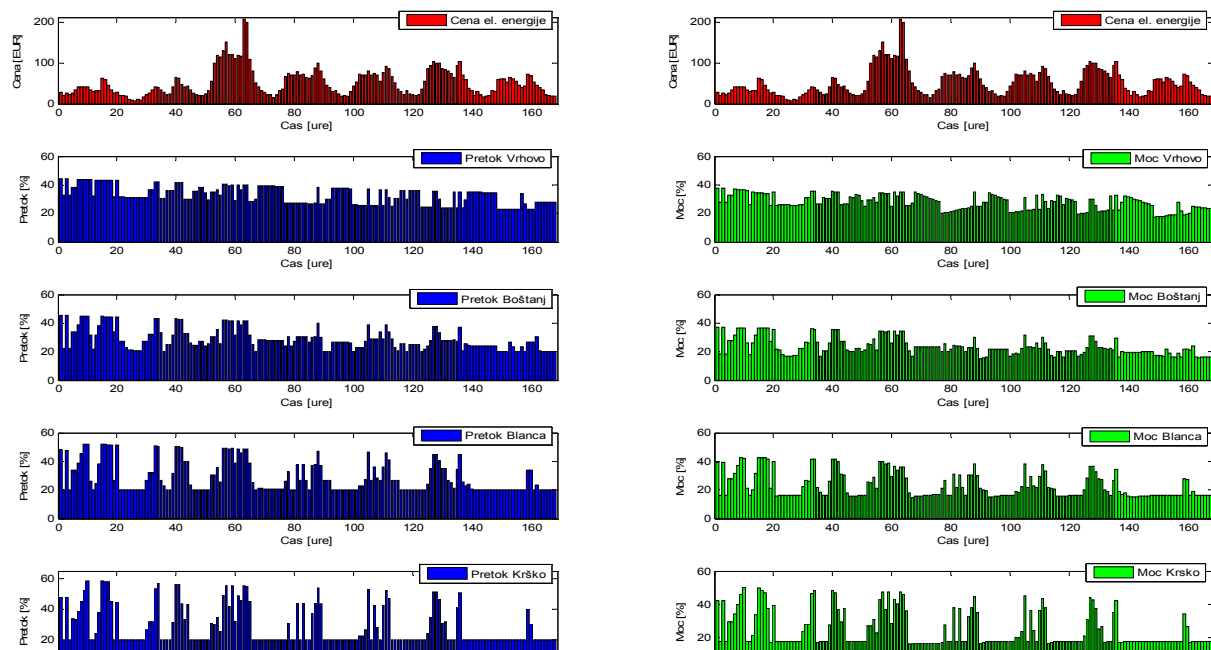
Pretoki in moči posameznih HE

Sl. 4.29, Sl. 4.30 in Sl. 4.31 prikazujejo pretoke in moči posameznih HE v verigi za vse tri scenarije. Zaradi dotokov nad omejitvijo lahko HE obratujejo v skladu s cenovnimi signali. Tudi pri HE Blanca in HE Krško opazimo lepo prilagajanje cenam v vsakem dnevu, kar še posebej velja za 1. scenarij. Bazeni se vsak konec dneva napolnijo in tako so HE v času dnevnih cenovnih konic sposobne obratovati z večjo močjo. Tako pretok kot moč na posamezni HE se ves čas gibljejo na 25–40 % nazivnih vrednosti. V primerjavi scenarija 3 s scenarijema 1 in 2 opazimo, da HE v času izven cenovnih konic obratujejo še z manjšo močjo v scenariju 3, kot pri scenarijih 1 in 2, da zato v času konic lahko občutno povečajo

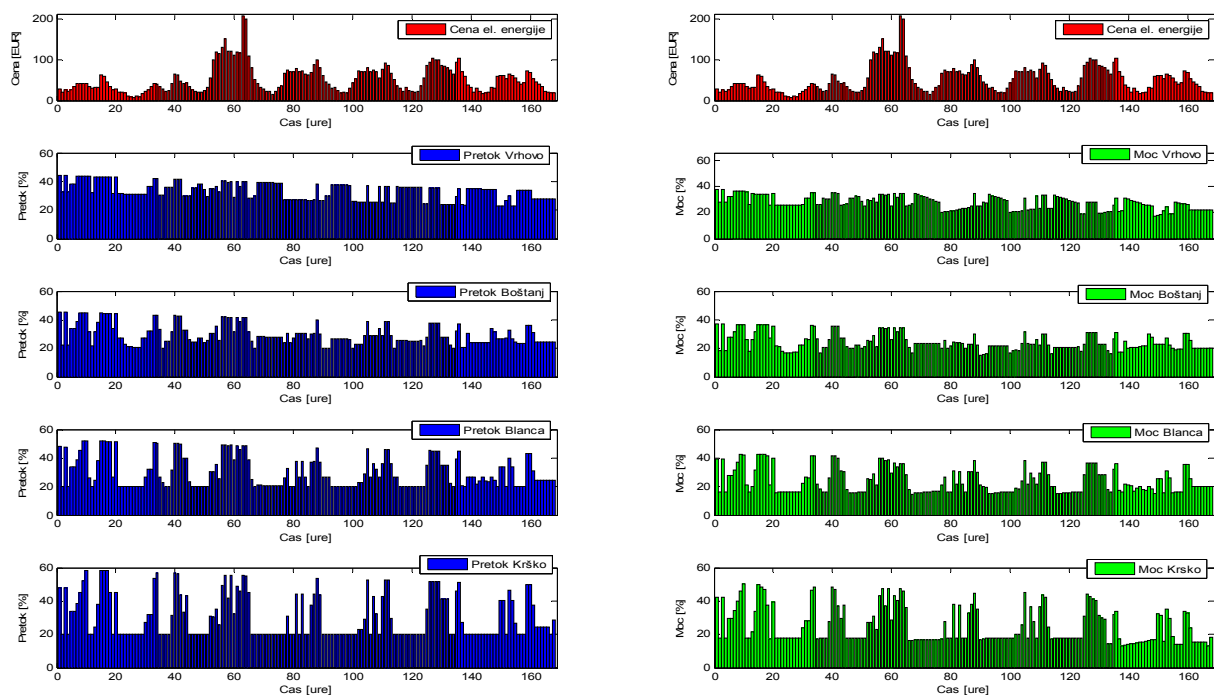
produkcijo. Prav tako izkoristijo cenovne konice na koncu optimizacijskega obdobja, saj ni omejitve glede napolnjenosti bazenov.



Sl. 4.29: Jesen, Scenarij 1. Cena, pretoki in moči posameznih HE



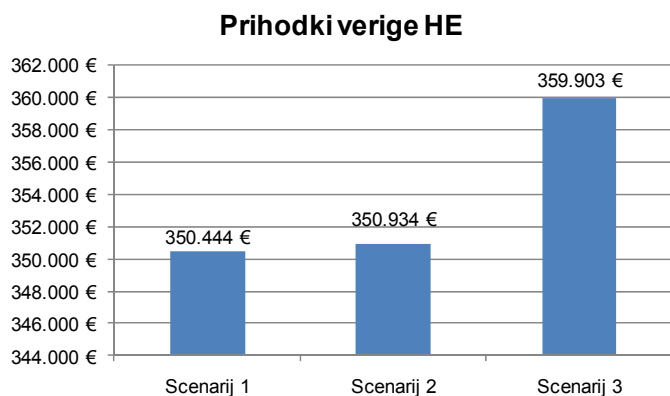
Sl. 4.30: Jesen, Scenarij 2. Cena, pretoki in moči posameznih HE



Sl. 4.31: Jesen, Scenarij 3. Cena, pretoki in moči posameznih HE

Prihodki HE

Sl. 4.32 prikazuje prihodke verige HE za vse tri scenarije. Pri scenariju 3, ko nimamo zahtev glede napolnjenosti bazena, so prihodki občutno večji kot pri scenarijih 1 in 2. V enem tednu je ta razlika okrog 9 tisoč €, ampak je manjša od razlik v spomladanskem obdobju. Zaradi večjih dotokov je prišlo tudi do razlike 490 € v prihodkih med scenarijih 1 in 2.



Sl. 4.32: Jesen, Prihodki verige HE za vse tri scenarije

4.5 Zaključek

Optimizacija verige hidroelektrarn Vrhovo, Boštanj, Blanca in Krško prikazuje izračunano optimalno proizvodnjo električne energije glede na dotok v čelno hidroelektrarno Vrhovo in ceno električne energije za obdobje 168 ur. Izvedena je s pomočjo nelinearne metode "kvadratičnega programiranja", pri čemer smo za kriterij optimizacije postavili ceno električne energije ob upoštevanju obratovalnih omejitev posameznih hidroelektrarn. Moč posamezne hidroelektrarne je definirana kot nelinearna funkcija v odvisnosti od pretoka in padca.

Optimizacija je bila na izvedena za zimsko, spomladansko, letno in jesensko obdobje, vsako izmed njih pa vsebuje različne scenarije obratovanja. V zimskem in letnem tednu, ko je dotok v čelno hidroelektrarno Vrhovo manj kot $100 \text{ m}^3/\text{s}$, hidroelektrarne v prvih dveh scenarijih obratujejo pretočno, tako da se ne odzivajo na cenovne signale ampak proizvodnja sledi dotoku. Nekoliko večjo dinamiko zasledimo v primeru tretjega scenarija, kjer v drugi polovici tedna hidroelektrarne ob večjih cenovnih signalih ustrezno povečajo svojo proizvodnjo.

V spomladanskem in jesenskem tednu, ko je dotok v hidroelektrarno Vrhovo v obeh primerih nad $100 \text{ m}^3/\text{s}$ je odziv proizvodnje hidroelektrarn glede na cenovne signale prisoten tudi v prvem in drugem scenariju še posebej na začetku tedna, kjer je dotok največji. Pri spomladanskem tednu znaša razlika v prihodkih med scenarijema, ko so bazeni polni vsak dan ter ob koncu tedna, 580 evrov, kar sicer v primerjavi s celotno proizvodnjo (187.754 evrov za prvi scenarij) ni veliko, a vseeno je mogoče sklepati, da bi se razlika ob veliko večjih dotokih povečala v prid obratovanju, ko imamo zahtevo za polne bazene zadnjo uro optimizacijskega obdobja.

V jesenskem tednu, je razlika med drugim in tretjim scenarijem 8.969 evrov, kar je relativno dosti manj, glede na celotno proizvodnjo (350.934 evrov za drugi scenarij), kot v spomladanskem tednu, ko je bila razlika med drugim in tretjim scenarijem 18.167 evrov ob prihodku iz proizvodnje 188.334 evrov (za drugi scenarij). To pomeni, da ob večjih dotokih poln bazen zadnjo uro optimizacije pomeni manjši izpad prihodka, kot pri manjših dotokih. To je tudi logično, saj je pri majhnem dotoku težje napolniti bazen in je torej voda dragocenejša, in obratno. Poleg dotoka, večje razlike v prihodku med scenariji povzročajo še cene, ki se med letnimi obdobji spreminjajo, kar vpliva na absolutno višino prihodkov in torej tudi na relativno razliko v EUR med scenariji.

Rešitve optimizacije predstavljajo primerjavo med različnimi scenariji obratovanja predvsem iz cenovnega vidika. Rezultati optimizacije so zanimivi tudi za proizvajalce električne energije, ki bi se v tem smislu lahko uporabila tudi kot sistem za pomoč pri odločanju za načrtovanje obratovanja verige hidroelektrarn.

Literatura

1. J.P.S. Catalão, H.M.I. Pousinho, V.M.F. Mendes. *Scheduling of head-dependent cascaded hydro systems: Mixed-integer quadratic programming approach*. Energy conversion and Management, Elsevier, 2009
2. S. Rau Narayan. *Optimization principles – Practical applications to the operation and markets of the electric power industry*. IEEE Press, Wiley-interscience, 2003

5. ZAKLJUČKI IN NAPOTKI ZA NADALJNJE DELO

1. Rezultati projekta so potrdili možnost povezave sistema za zajemanje podatkov meritev na terenu z modelom napovedi in optimizacijo v kompleksen celovit sistem upravljanja.
2. Celoten sistem zahteva stalno vzdrževanje, da bi bil lahko vzdržen. Terenska merska oprema in njen razvoj ter razvoj računalniške opreme zahtevajo posodobitev programske opreme za njeno povezavo.
3. Napoved urnih vrednosti pretokov sedem dni vnaprej podaja zanesljivo in dragoceno osnovo za načrtovanje proizvodnje in njeno prodajo na trgu.
4. Sistem HE na spodnji Savi, ki je še v izgradnji je glede na relativno majhne možnosti akumulacije vode dokaj tog in ne omogoča večjega prilagajanja bodisi hidrološkim razmeram ali razmeram na trgu z energijo. Zato je napoved pretokov in njihova natančnost še bolj pomembna.
5. Ekonomska optimizacija in anali sta opravljeni za posamezne scenarije v krajših obdobjih do 168 ur. Analizo bi bilo potrebno v nadaljevanju opraviti še za daljša obdobja obratovanja in različne možne kombinacije.
6. Rezultati optimizacije so zanimivi tudi za proizvajalce električne energije, ki bi se v tem smislu lahko uporabila tudi kot sistem za pomoč pri odločanju za načrtovanje obratovanja verige hidroelektrarn.
7. Za optimalno obratovanje bo potrebna bolj tesna povezava med upravljavci posameznih objektov.
8. Nadaljevati bo potrebno tudi z razvojem hidrološko hidravličnih modelov napovedi, predvsem pri napovedi večjih pretokov.