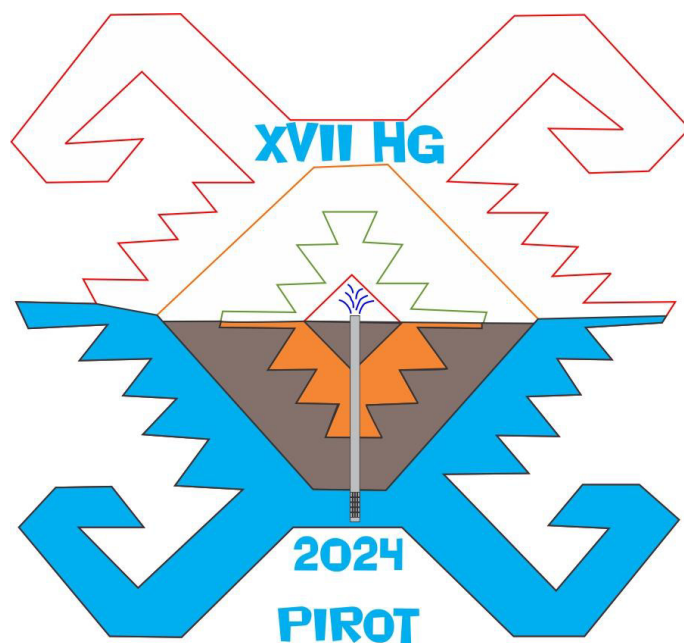


UNIVERZITET U BEOGRADU
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU

HG

XVII SRPSKI SIMPOZIJUM
O HIDROGEOLOGIJI
sa međunarodnim učešćem

ZBORNIK RADOVA



02-06. oktobar
2024. godine

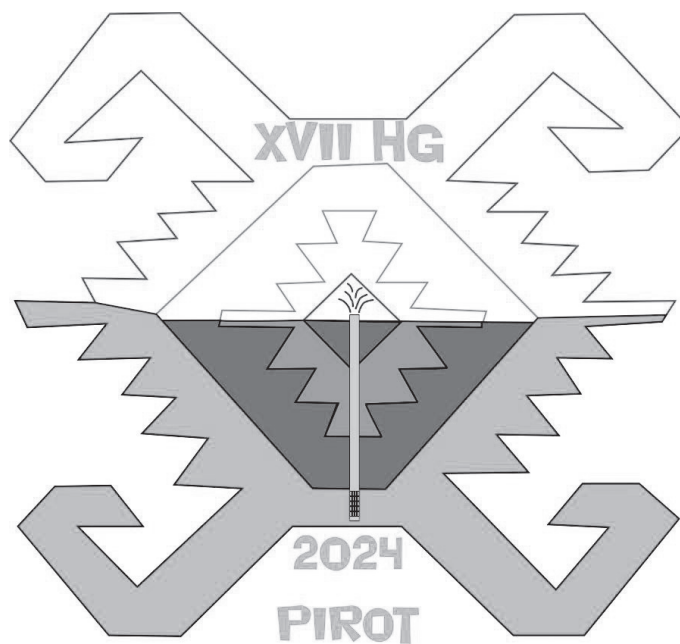


UNIVERZITET U BEOGRADU
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU

HG

XVII SRPSKI SIMPOZIJUM
O HIDROGEOLOGIJI
sa međunarodnim učešćem

ZBORNIK RADOVA



02-06. oktobar
2024. godine



XVII SRPSKI SIMPOZIJUM O HIDROGEOLOGIJI

sa međunarodnim učešćem

ZBORNIK RADOVA

IZDAVAČ:

Univerzitet u Beogradu
Rudarsko-geološki fakultet
Đušina 7

ZA IZDAVAČA:

Prof. dr Biljana Abolmasov, dekan
UB Rudarsko-geološki fakultet

UREDNIK:

Doc. dr Ljiljana Vasić, ©0000-0001-9140-5748
UB Rudarsko-geološki fakultet

TIRAŽ:

150 primeraka

ŠTAMPA:

Pi Press, Pirot

GODINA IZDANJA: 2024.

Na 10/23. Sednici Veća Departmana i Katedre za hidrogeologiju doneta je odluka o organizaciji XVII srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, koja je potvrđena i Saglasnošću Nastavno-naučnog veća Rudarsko-geološkog fakulteta br. 8/67 od 20.10.2024. godine.

Autori priloga u ovom Zborniku odgovorni su za sadržaj i autorska prava njihovih članaka. Ni izdavač ni bilo koja druga osoba koja deluje u njeno ime nije odgovorna za moguće korišćenje informacija sadržanih u ovoj publikaciji.

Naslovna strana: Logo simpozijuma

CIP - Каталогизација у публикацији Народна библиотека Србије, Београд

556(082)

628.1(082)

СРПСКИ симпозијум о хидрогеологији са међународним учешћем (17 ; 2024 ; Пирот)

Zbornik radova / XVII Srpski simpozijum o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, 02-06. oktobar 2024. godine, Pirot ; [urednik Ljiljana Vasić]. - Beograd : Univerzitet, Rudarsko-geološki fakultet, 2024 (Pirot : Pi Press). - [19], 598 str. : ilustr. ; 30 cm

Kor. nasl. - Na vrhu nasl. str.: Departman za hidrogeologiju. - Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tiraž 150. - Str. [5-6]: Uvodna reč organizatora / Saša Milanović, Dušan Polomčić. - Abstracts. - Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-86-7352-405-4

a) Хидрогеологија -- Зборници b) Снабдевање водом -- Зборници

COBISS.SR-ID 151976457

ORGANIZACIONI ODBOR:

Predsjednik

Prof. Dr Saša Milanović
UB Rudarsko-geološki fakultet

Generalni sekretar

Prof. Dr Vesna Ristić Vakanjac
UB Rudarsko-geološki fakultet

Članovi:

Dr **Branislav Petrović**, naučni saradnik
UB Rudarsko-geološki fakultet
Dr **Veljko Marinović**, naučni saradnik
UB Rudarsko-geološki fakultet
Dr **Bojan Hajdin**, naučni saradnik
UB Rudarsko-geološki fakultet
Dr **Marina Ćuk Đurović**, naučni saradnik
UB Rudarsko-geološki fakultet
Dr **Maja Todorović**, naučni saradnik
UB Rudarsko-geološki fakultet

Dr **Nebojša Atanacković**, naučni saradnik
UB Rudarsko-geološki fakultet
Dr **Marjan Temovski**, viši naučni saradnik
Institute for Nuclear Research, Debrecen
Dr **Đorđije Božović**, dipl. inž. geol.
JKP "Beogradski vodovod i kanalizacija"
Jelena Ratković, master. inž. geol.
UB Rudarsko-geološki fakultet
Sava Magazinović, dipl. inž. geol.
UB Rudarsko-geološki fakultet

Dejan Drašković, dipl. inž. geol.
BeoGeoAqua doo
Branko Ivanković, dipl. inž. geol.
Ibis-Inženjering doo
Dragan Mihajlović, dipl. inž. geol.
Geološki zavod Srbije
Boyka Mihaylova, master inž. geol.
Geological Institute, BAS
Daniela Radoš, dipl. inž. geol.
Pokrajinski sekretarijat za energetiku, građevinarstvo i saobraćaj
Ivan Đokić, dipl. inž. geol.
GECO-inženjering doo
Milorad Kličković, dipl. inž. geol.
Zavod za zaštitu prirode Srbije
Uroš Jurošević, dipl. inž. geol.
Republički zavod za geološka istraživanja RS
Andrej Pavlović, dipl. inž. geol.
Ministarstvo rudarstva i energetike Srbije

NAUČNI ODBOR (RECENZENTI):

Predsjednik

Prof. Dr Dušan Polomčić
UB Rudarsko-geološki fakultet

Članovi:

Prof. Dr **Vesna Ristić Vakanjac**
UB Rudarsko-geološki fakultet
Prof. Dr **Petar Dokmanović**
UB Rudarsko-geološki fakultet
Prof. Dr **Olivera Krunić**
UB Rudarsko-geološki fakultet
Prof. Dr **Dejan Milenić**
UB Rudarsko-geološki fakultet
Prof. Dr **Vladimir Živanović**
UB Rudarsko-geološki fakultet
Prof. Dr **Saša Milanović**
UB Rudarsko-geološki fakultet
Prof. Dr **Dragoljub Bajić**
UB Rudarsko-geološki fakultet
Prof. Dr **Jana Štrbački**
UB Rudarsko-geološki fakultet
Doc. Dr **Ljiljana Vasić**
UB Rudarsko-geološki fakultet

Doc. Dr **Dragoslav Banjak**
Univerzitet Crne Gore, Filozofski fakultet
Doc. Dr **Katarzyna Wator**
AGH University of Krakow
Dr **Josip Terzić**, naučni savetnik
Geološki zavod Hrvatske HGI
Dr **Tamara Marković**, naučni savetnik
Geološki zavod Hrvatske HGI
Dr **Laszlo Palcsu**, naučni savetnik
Institute for Nuclear Research, Debrecen
Prof. Dr **Nenad Marić**
UB Šumarski fakultet
Prof. Dr **Aleksey Benderev**
Geological Institute, BAS
Prof. Dr **Ferid Skopljak**
Federalni zavod za geologiju, FBiH
Prof. Dr **Metka Petrič**, znanstvena savetnica
Inštitut za raziskovanje krasa, Postojna

Doc. Dr **Ana Vranješ**
UB Rudarsko-geološki fakultet
Prof. Dr **Zoran Stevanović**, u penziji
UB Rudarsko-geološki fakultet
Prof. Dr **Veselin Dragišić**, u penziji
UB Rudarsko-geološki fakultet
Prof. Dr **Milojko Lazić**, u penziji
UB Rudarsko-geološki fakultet

Prof. Dr **Zoran Nikić**, u penziji
UB Šumarski fakultet
Prof. Dr **Milan Radulović**
Univerzitet Crne Gore, Građevinski fakultet
Prof. Dr **Jugoslav Nikolić**
Republički hidrometeorološki zavod Srbije
Prof. Dr **Miloš Stanić**
UB Građevinski fakultet
Prof. Dr **Petar Milanović**, u penziji
Univerzitet u Mostaru, Građevinski fakultet
Mr. **Vesna Tahov**, dipl. inž. geol.
Geološki zavod Srbije

Prof. Dr **Nataša Ravbar**, viša znan. savetnica
Inštitut za raziskovanje krasa, Postojna
Dr **Kostadin Jovanov**, dipl. inž.
Geološki zavod Republike S. Makedonija
Dr **Romeo Eftimi**, dipl. inž., u penziji
Nezavisni istraživač, Albanija
Prof. Dr **Iulian Popa**
Facultatea de Geologie și Geofizică
Universitatea din București
Dr **Milovan Rakijaš**, dipl. inž. geol.
Hidrogeorad d.o.o.
Dr **Vladimir Beličević**, dipl. inž. geol.
Energoprojekt Hidroinženjering AD
Dr **Tanja Petrović Pantić**, naučni saradnik
Geološki zavod Srbije
Dr **Branislav Petrović**, naučni saradnik
UB Rudarsko-geološki fakultet
Dr **Veljko Marinović**, naučni saradnik
UB Rudarsko-geološki fakultet
Dr **Brankica Majkić Dursun**, dipl. inž. geol.
Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi”

UREĐIVAČKI ODBOR:

Predsednik
Doc. Dr **Ljiljana Vasić** ☎0000-0001-9140-5748
UB Rudarsko-geološki fakultet

Članovi:

Prof. Dr **Ivana Vasiljević** ☎0000-0002-0549-2652
UB Rudarsko-geološki fakultet
Prof. Dr **Nevenka Đerić** ☎0000-0002-5141-898X
UB Rudarsko-geološki fakultet
Prof. Dr **Tina Dašić** ☎0000-0002-4679-3101
UB Građevinski fakultet

TEHNIČKI ODBOR:

Srđan Stefanović, master inž. geol.
Agencija Background, Pirot
Petar Vojnović, master inž. geol.
UB Rudarsko-geološki fakultet
Milica Stepanović, master inž. geol.
UB Rudarsko-geološki fakultet
Jovana Mladenović, master inž. geol.
UB Rudarsko-geološki fakultet
Natalija Radosavljević, master inž. geol.
UB Rudarsko-geološki fakultet
Hristina Petrova, master inž. geol.
UB Rudarsko-geološki fakultet

Eugène Katansao Pyabalo, mast. inž.
UB Rudarsko-geološki fakultet
Kodjovi Zondokpo, mast. inž.
UB Rudarsko-geološki fakultet
Maša Vulović, dipl. inž. geol.
UB Rudarsko-geološki fakultet
Aleksandar Tanasković, dipl. inž. geol.
UB Rudarsko-geološki fakultet
Jovana Lončar, student
UB Rudarsko-geološki fakultet

ORGANIZATOR SIMPOZIJUMA:

*UNIVERZITET U BEOGRADU
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU*

u saradnji sa

SRPSKIM GEOLOŠKIM DRUŠTVOM

SAVEZOM INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE

DRUŠTVOM GEOLOŠKIH INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE

NACIONALNIM KOMITETOM IAH

MULTILATERALNIM CENTROM, PIROT

POKROVITELJI:

***MINISTARSTVO NAUKE, TEHNOLOŠKOG RAZVOJA I INOVACIJA
REPUBLIKE SRBIJE***

GRAD PIROT

SPONZORI:

JP „VODOVOD I KANALIZACIJA“ PIROT
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU, RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET

BEOGEOAQUA D.O.O.

TAŠ GRUPA

AQUA PRO ENERGY D.O.O.

CENTAR ZA HIDROGEOLOGIJU KARSTA

TURISTIČKA ORGANIZACIJA PIROT

IBIS-INŽENJERING D.O.O.

STRATING D.O.O.

GECO-INŽENJERING D.O.O.

FREATIKA

AGENCIJA ZA MARKETING BACKGROUND

Uvodna reč organizatora

Poštovane kolegice i kolege,

nakon samo dve godine od održavanja XVI Srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, ponovo imamo priliku da se družimo na ovom veoma značajnom skupu za hidrogeologe. Razlog „ubrzanja“ održavanja Simpozijuma je zapravo ponovno uspostavljanje dvogodišnjeg razmaka održavanja Srpskog simpozijuma o hidrogeologiji i Geološkog kongresa Srbije. Objašnjenje za ovakav korak leži u tome da je prethodni Simpozijum, prema uspostavljenoj dinamici od 2012. godine (Zlatibor), preko 2016. godine (Kopaonik), trebalo da se održi 2020. godine, ali je usled globalne pandemije korona virusa (COVID-19), došlo do njegovog pomeranja na 2022. godinu, kada je i održan na Zlatiboru. Upravo iz iznetih razloga, a uz veliki trud i zalaganje organizatora zarad ponovnog uspostavljanja dvogodišnjeg niza sa Kongresom geologa Srbije, XVII Srpski simpozijum o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem se održava ove godine od 2.10.-6.10. 2024. godine u Pirotu.

Kroz XVII Simpozijum će se na neki način izvršiti retrospektiva prethodnih Simpozijuma, počevši od 1971. godine do 2024. godine, sa ciljem da se sublimira i prikaže položaj hidrogeologije kao nauke i struke, kako u Srbiji, regionu, pa i šire. Počevši od prvog Simpozijuma koji je održan u Herceg Novom 1971. godine, preko ostalih Simpozijuma održavanih širom bivših Republika Jugoslavije, kao i tad i sada je jedini usko stručni skup koji za cilj ima izlaganje naučnih i tehničkih dostignuća iz oblasti izučavanja podzemnih voda i prikaz izuzetne važnosti ovih istraživanja za sva moderna i razvijena društva.

Kao specijalni poklon Organizatora skupa, svim učesnicima skupa će na raspolaganju biti skenirani zbornici radova Simpozijuma (Sveske Hidrogeologija) od 1971. godine zaključno sa ovim poslednjim Simpozijumom koji se održava u Pirotu ove godine.

Zahvaljujući kolegama koji su do sada dali značajan doprinos, a kroz veliko zalaganje i trud u održavanju prethodnih Simpozijuma, danas je ovaj Simpozijum ponovo jedan od najznačajnijih događaja, kako hidrogeološke, tako i cele geološke struke u Srbiji i regionu.

Za ovaj XVII-ti Simpozijum, iako sa kratkim rokom za pripremu i organizaciju samog događaja i za animiranje kolega da pripreme i pošalju radove, pristigao je veliki broj radova, kako iz Srbije, tako i iz regiona, pa i šire. Na Simpozijumu će biti prezentovano više od 90 radova iz svih grana hidrogeologije, sa preko 200 autora i koautora radova, što je i dokaz uspešnosti i dobre reputacije ovog skupa, sa nadom da se tako nastavi i predstojećim godinama. Uz ove podatke, posebno je važno naglasiti da će na svečanom otvaranju ovogodišnjeg Simpozijuma biti izloženi plenarni referati kolega hidrogeologa iz svih 6 država bivše SFRJ, kao prilog i osvrt na položaj i budućnost značaja hidrogeologije.

Svi prihvaćeni radovi koji su prošli recezentski postupak su svrstani u 6 tematskih sesija:

1. Vodosnabdevanje i upravljanje vodnim resursima
2. Zaštita podzemnih voda
3. Mineralne vode i njihovo iskorišćavanje
4. Geotermalna energija
5. Hidrogeološka istraživanja u hidrotehnici, rudarstvu i građevini
6. Studentski radovi

Podela na ovakve tematske grupe u najvećoj meri utiče aktuelnost hidrogeologije u određenim oblastima vezanim za održivo upravljanje ovim dragocenim resursom od koga zavise kako stanovništvo, tako i različite grane privrede u Srbiji i regionu, što najbolje ilustruju plenarna predavanja koja su sastavni deo Simpozijuma i zbornika radova.

Ovaj XVII-ti Srpski simpozijum o hidrogeologiji je organizovan pod pokroviteljstvom Grada Pirota i JKP „Vodovod i kanalizacija“ Pirot i uz podršku Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije.

Takođe, veliku zahvalnost dugujemo i kompanijama koje su sponzorisale ovaj naučni skup: Departman za hidrogeologiju, BeoGeoAqua d.o.o., Taš grupa, Aqua Pro Energy d.o.o., Ibis-Inženjering d.o.o., Strating d.o.o., GECO-Inženjering d.o.o., FREATIKA, CKH, TO Pirot, Background.

Praksa koja je zaživela na XV Simpozijumu, o učestvovanju kolega iz regiona i šire i time doprinela da ovaj skup dobija i značajne međunarodne okvire, se pojačava i na ovom skupu. Izuzetno nam je zadovoljstvo da ove godine možemo poželeti dobrodošlicu u grad Pirot kolegama iz Republike Srpske i Federacije BiH, Crne Gore, Hrvatske, Slovenije, Severne Makedonije, Bugarske, Mađarske, Rusije, Poljske, SAD i Togo-a.

Veliku zahvalnost za organizovanje ovako velikog skupa u veoma kratkom vremenskom roku izražavamo Generalnom sekretaru simpozijuma prof. dr Vesni Ristić Vakanjac, Predsednici uređivačkog odbora Doc. dr Ljiljani Vasić, Članovima Organizacionog odbora: dr Branislavu Petroviću, naučnom saradniku i dr Veljku Marinoviću, naučnom saradniku. Takođe, zahvalnost izražavamo i Članovima Tehničkog odbora Srđanu Stefanoviću i Petru Vojnoviću, kao i svim dragim kolegama i studentima, članovima Tehničkog, Organizacionog i Naučnog odbora koji su pomogli da se ovaj skup održi.

U ime organizatora skupa želimo vam lep boravak u Pirotu.

U Pirotu, oktobar 2024. godine.

Predsednik Organizacionog odbora
Prof. dr Saša Milanović



Predsednik Naučnog odbora
Prof. dr Dušan Polomčić



SOFTVERSKIE KOMPONENTE ZA PRE I POST PROCESING PODATAKA MATEMATIČKOG MODELIRANJA STRUJANJA PODZEMNIH VODA

SOFTWARE COMPONENTS FOR PRE- AND POST-PROCESSING OF MATHEMATICAL MODELING DATA FOR GROUNDWATER FLOW

Vesna Tripković¹, Vladimir Lukić¹, Goran Jevtić¹ i Milenko Pušić¹

¹Institut za vodoprivredu Jaroslav Černi, Jaroslava Černog 80, 11226 Beograd. E-mail: vesna.tripkovic@jcerni.rs, vladimir.lukic@jcerni.rs, goran.jevtic@jcerni.rs, milenko.pusic@jcerni.rs

APSTRAKT: Matematička simulacija toka podzemnih voda uključuje ručne i zamorne postupke pre- i post-procesinga (prethodne i naknadne) obrade. Procesi u toku obrade podataka su formirani kao trilogija: pre- (priprema podataka i postavka konceptualnog i numeričkog modela), procesing (kalibracija i simulacija) i post-procesinga (analiza i prikaz rezultata). Hidrogeološki podaci su dramatično porasli u snazi i obimu tokom poslednjih nekoliko godina. Potrebni su inovativni, inteligentni i autonomni naučni pristupi da se ispituju veliki skupovi podataka koji postepeno postaju široko dostupni. U ovom radu demonstriramo pre- i post procesing podataka na studiji za simulaciju uticaja Dunava na dinamiku toka podzemnih voda na nekoliko branjenih područja koristeći baze podataka i softverske komponente razvijene na Institutu za vodosnabdevanje Jaroslav Černi (IJČ). HidroGeloški informacioni sistem (HGIS) koji nudi objekte za analizu i modeliranje podzemnih voda dizajniran je u Srbiji za sliv Dunava, Save i Tise. Skladištenje prostornih podataka i nizova vremenskih serija, prikaz i izlazni podaci koji se odnose na bušotine, pijeometre, bunare i izvore, uključujući administrativne informacije, stratigrafske zapise, nivoe vode i druge hidrogeološke informacije uključeni su u bazu podataka. U zoni od interesa (branjena područja Dunava, Save i Tise) sada postoji ukupno 8027 objekata. Izrada studije je razvila sistematski i efikasan tok rada kako bi se ublažio opterećenje modela i obrade podataka, omogućavajući istraživačima da se usredsrede na aspekte primene rezultata kalibracije i simulacije.

Ključne reči: baza podataka, softverske komponente, procesing, podzemna voda

ABSTRACT: Mathematical groundwater flow simulation involves manual and tedious pre-processing and post-processing procedures. Processes during work are formed as a trilogy: pre- (preparation of data and setup of conceptual and numerical model), processing (calibration and simulation) and post-processing (analysis and display of results). Hydrogeological data has grown dramatically in power and scope over the past few years. Innovative, intelligent and autonomous scientific approaches are needed to examine the large data sets that are gradually becoming widely available. In this paper, we demonstrate pre- and post-processing of data on a study to simulate the impact of the Danube on groundwater flow dynamics in several riparian areas using databases and software components developed at the Jaroslav Černy Water Institute (JČWI). A HydroGeological Information System (HGIS) that offers facilities for the analysis and modelling of groundwater has been designed in Serbia for the Danube, Sava and Tisza basins. Storage of spatial and timeseries data, display and output data related to boreholes, piezometers, wells and springs, including administrative information, stratigraphic records, water levels and other hydrogeological information have been included in the database. In the zone of interest (riparian areas of the Danube, Sava and Tisza) there are now a total of 8027 objects. The design of the study developed a systematic and efficient workflow to alleviate the model and data processing burden, allowing the researchers to focus on the application aspects of the calibration and simulation results.

Key words: database, software, components, processing, groundwater

UVOD

Ogromni i komplikovani skupovi podataka postali su dostupni, što zahteva upotrebu veoma modernih, inteligentnih i kompjuterizovanih pristupa za njihovo proučavanje. U prethodnoj deceniji, količina hidrogeoloških podataka je rasla ubrzano. S obzirom na ogroman napredak u prikupljanju i interpretaciji podataka, hidrogeolozi su tek sada počeli da shvataju revolucionarni potencijal ovih podataka. Ovaj rad predstavlja kreativni način za sticanje, strukturiranje, analizu i izdvajanje informacija iz hidrogeoloških podataka, kao i inovativne primene softverskih strategija koje imaju ogromne izgleda za hidrogeološka istraživanja. Modeliranje komplikovanih hidrogeoloških sistema je moguće zahvaljujući

upotrebi moćnih kompjuterskih okvira, koji omogućavaju formulisanje prognoza za duže vremenske periode.

Da bi rešili probleme ranjivosti, uticaja klimatskih promena, kvaliteta, transporta štetnih hemikalija u podzemne vode, hidrogeolozi su pribegli modeliranju. Simulacija proticaja podzemnih voda se koristi za razumevanje dinamičkih procesa podzemnih voda kao osnove za kvantitativnu analizu i upravljanje resursima podzemnih voda. Upotreba matematičkog modeliranja u suštini može se opisati kao proces prevođenja situacije iz stvarnog sveta u matematički model gde ovaj reprezentativni model omogućava predviđanje i tumačenje idealne situacije u stvarnom svetu (Cirillo *et al.* 2016).

Feelders *et al.* (2000) u svom radu navodi da je za proces pre procesinga potrebno između 70% i 80% vremena, posebno kada je potrebno mnogo agregacija. Operacije koje se izvode u procesu pre procesinga ili predobrade mogu se svesti na dve glavne porodice tehnika, gde Gibert *et al.* (2008) navodi: Tehnike detekcije (DT) za otkrivanje nesavršenosti u skupovima podataka i Tehnike transformacije (TT) usmerene na dobijanje skupova podataka kojima je lakše upravljati.

Ovaj rad daje ilustraciju sticanja, analize, sistematizacije i izdvajanje znatnog obima informacija iz šireg obilja hidrogeoloških podataka u cilju izrade i korišćenja modela podzemnih voda. Odabran je primer rada sa bazama podataka i softverskih komponenti za modele podzemnih voda na kojima je analiziran uticaj Dunava na režim podzemnih voda u njegovom priobalju, u zoni prostiranja akumulacije HE "Đerdap 1", po različitim scenarijima rada sistema odbrane od podzemnih voda i promenjiva stanja nivoa površinskih tokova. Rezultati su izloženi u "Studiji uticaja HEPS "Đerdap 1" na priobalje" Instituta za vodoprivredu "Jaroslav Černi" (IJČ, 20024).

METODOLOGIJA

Proces matematičkog modeliranja se može grubo predstaviti kao skup tri faze:

1. obrada ulaznih podataka i priprema modela,
2. izrada i kalibracija modela, kao i prognozni proračuni,
3. obrada dobijenih rezultata.

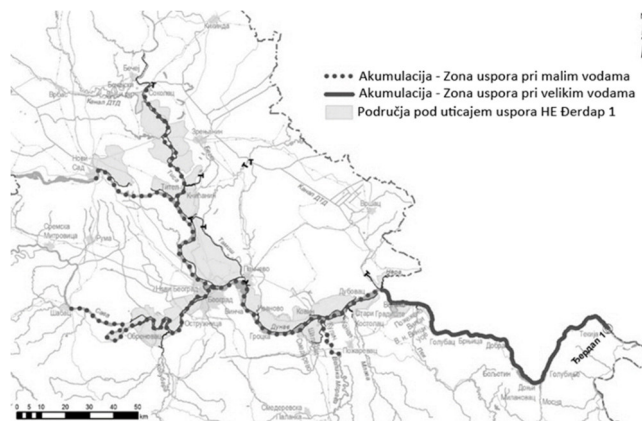
Svaka od ove tri faze ima svoje karakteristike i zahteva specifična znanja.

U prvoj fazi, prethodnoj obradi podataka i pripremi modela, izražena je potreba za klasičnim geološkim, posebno hidrogeološkim znanjem. Ova faza obuhvata proces otkrivanja i ispravljanja (ili uklanjanja) netačnih zapisa iz skupa podataka, ili odnosi se na identifikaciju netačnih, nepotpunih, irelevantnih delova podataka, a zatim modifikaciju, zamenu ili brisanje podataka što poboljšava njihov kvalitet, otklanja neslaganja i osigurava da su podaci tačni, dosledni i pouzdani.

Druga faza zahteva prevashodno razumevanje hidraulike podzemnih voda i poznavanje korišćenog softvera. Kalibracija modela predstavlja složeni optimizacioni postupak u kome je potrebno odrediti takve parametre modela pri kojima će davati rezultate najpribližnije merenim vrednostima. Načelni principi izbora parametara koji se menjaju u procesu kalibracije mogu se definisati, ali se svakom modelu (zadatku) mora posebno pristupiti. Njihova konkretizacija zavisi od opštih prirodnih uslova egzistencije i strujanja podzemnih voda (opšteg geološkog sklopa terena, zastupljenih litoloških članova, hidrogeoloških uslova, režima podzemnih voda, itd.). Takođe se sprovode proračuni koji su usmereni ka tehničkim rešenjima. Ovde se prema potrebi, definišu različite varijante, uvode nove karakteristike graničnih uslova, a rezultati obrađuju tražeći optimum.

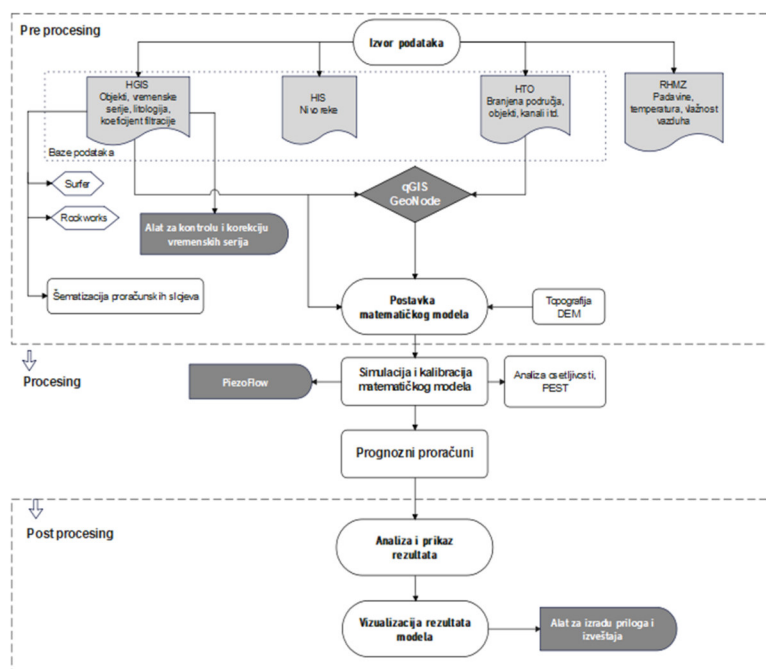
Treća faza u najširem smislu deluje kao most koji vodi numeričke rezultate do produktivnih inženjerskih zaključaka. Kroz naknadnu obradu kreiraju se smisleni vizuelni prikazi, grafikoni i rezultati, koji pomažu da se bolje razumeju predstavljene informacije.

Studijom uticaja IJČ (2024) obuhvaćen je široki prostor priobalja akumulacije HE „Đerdap 1“, sa branjenim oblastima sa sistemima zaštite od uspora. Priobalje akumulacije Hidroenergetskog plovidbenog sistema (HEPS) HE „Đerdap 1“ (Slika 1) ima različite karakteristike u zoni uticaja, koje su odredile veličinu i način zaštite od usporanih voda Dunava i pritoka. U skladu sa prostornim karakteristikama i formiranim sistemima zaštite, u priobalju akumulacije HEPS „Đerdap 1“, izdvojeno je 45 branjenih oblasti.



Slika 1. Priobalje akumulacije HE „Đerdap 1
Figure 1. Riparian areas of the HEPS Iron Gate I

Razvijeni procesi obrade podataka i hidrodinamičkog modeliranja podzemnih voda, čine trilogiju (pre processing, procesing i post processing), predstavljenu na slici 2.



Slika 2. Dijagram toka za izradu matematičkog modela. Legenda: HGIS – Hidrogeološki informacijski sistem (platforma i baza hidrogeoloških podataka), HIS - Hidrološki informacijski sistem (platforma i baza hidroloških podataka, HTO – baza Hidrotehničkih objekata, RHMZ – Republički Hidrometeorološki zavod

Figure 2. Flow chart for pre- and post-processing of mathematical modeling data. Legend: Hydrogeological Information System (platform and database of hydrogeological data), HIS - Hydrological Information System (platform and database of hydrological data, HTO - database of Hydrotechnical facilities, RHMS - Republic Hydrometeorological Service

Paralelno sa razvojem HGIS-a izrađene su i prateće softverske komponente (aplikacije) i to:

- Alat za kontrolu i korekciju vremenskih serija,
- Alat za praćenje kalibracije,
- Alat za izradu priloga,

svi razvijeni u okviru Instituta za vodoprivredu „Jaroslav Černi“. Pored MODFLOW-a (GW Vistas) koji se koristio u svrhu modeliranja, za postizanje različitih ciljeva umrežavanja, podešavanja, ili vizualizacije podataka, korišćeni su komercijalni paketi ArcGIS ili qGIS, zatim RockWorks i Surfer.

PRE I POST PROCESING PODATAKA

Skupovi prostornih i vremenskih podataka su prethodno obrađeni pre nego što su korišćeni u svrhe modeliranja. Procedure uključene u obradu podataka objašnjene su u nastavku i kroz sliku 2.

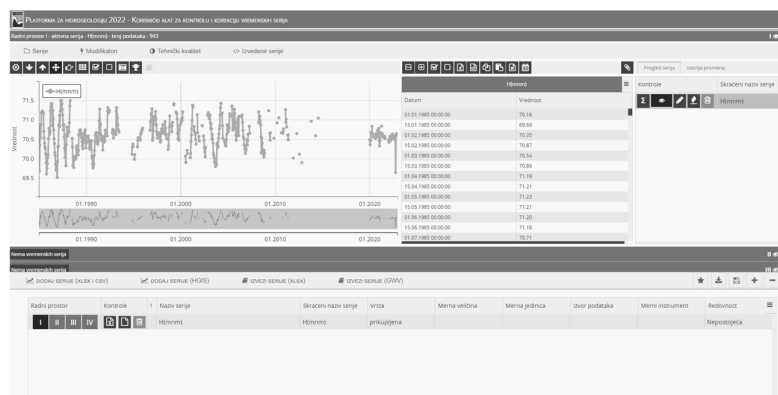
Pre processing

Prikupljanje podataka za branjena područja je sprovedena kroz HGIS bazu. U priobalju Dunava, Save i Tise za sada postoji ukupno 8027 objekata (bušotina sa litološkim opisom kartiranih jedinica). HGIS je definisan kao sistem unosa, skladištenja, manipulacije, vizuelizacije i distribucije podataka. Razvoj i primena HGIS-a je izložena u radu Lukić *et al.* (2022).

GeoNode je sistem za upravljanje geoprostornim sadržajem, platforma za upravljanje i objavljivanje geoprostornih podataka, implementiran u qGIS. On omogućava korisnicima da dele podatke i kreiraju interaktivne mape. Alati za upravljanje podacima ugrađeni u GeoNode omogućavaju integrisano kreiranje podataka, metapodataka i vizuelizaciju mapa. Svaki skup podataka u sistemu može se javno deliti, ili ograničiti na samo određene korisnike. GeoNode preuzima objekte iz HGIS i HTO baze.

Korišćenje qGIS softvera podrazumeva: preuzimanje podataka sa GeoNode i pripremu podataka; iscrtavanje granica modeliranog područja; izrada DEM-a (digitalni model elevacije); iscrtavanje graničnih uslova i izradu fajlova u vidu "shapefile" za unos u MODFLOW. Za slučaj branjenih područja, originalni DEM je preuzet sa portala Copernicus.

Alat za kontrolu i korekciju vremenskih serija služi za pregled, promenu i analizu vremenskih serija, podataka zabeleženih tokom nekog vremenskog perioda (Slika 3). U alatu su podržane manuelne i automatske izmene vrednosti podataka. Omogućen je rad sa više vremenskih serija, kao i njihova paralelna obrada. Podaci, odnosno serije za rad u ovom alatu se uvoze iz eksterne excel/cvs datoteke. Nakon pregleda ili korekcije podataka, serije se izvoze u formatu koji podržava MODFLOW. Ovaj alat nalazi primenu u analizi (i korekciji) podataka nivoa podzemnih voda, čije su merene (sirove, izvorne) vrednosti često opterećene greškama različitog porekla.



Slika 3. Primena Alata za kontrolu i korekciju vremenskih serija
Figure 3. Application of Time series control and correction tool

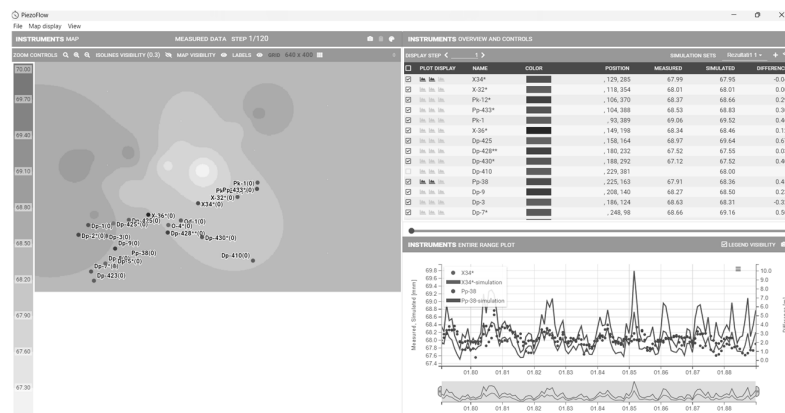
Koristili smo softverski program Surfer za interpolaciju podataka povlate i vodonosne sredine, kao i koeficijenta provodljivosti dobijenih iz bušotina HGIS baze.

RockWorks je korišćen za prikaz bušotina eksportovanih iz HGIS baze, kao i interpolaciju kontinuiranih stratigrafskih površina koje, kada su naslagane, stvaraju 3D stratigrafski model.

Processing

Korisnički alati razvijaju se sa ciljem lakog upravljanja merenim podacima i matematičkim modelima od strane korisnika sistema.

Alat za praćenje kalibracije (PiezoFlow) omogućava brzi prikaz i analizu merenih i računskih pijezometarskih nivoa i proticaja hidrodinamičkog proračuna, tj. omogućava upoređivanje različitih rezultata kalibracije. Namena softvera jeste prikaz prostornog rasporeda pijezometara, uvidom u srednje i apsolutne razlike merenih i računskih vrednosti u svakom koraku simulacije, kao i u čitavom proračunu svih pijezometara zajedno, preko dijagrama (Slika 4). Korišćenjem funkcija alata, korisnik može brzo i jednostavno da prilagodi grafički prikaz podataka potrebnoj analizi problematike uređenja podzemnih voda pomenutog prostornog obuhvata.



Slika 4. Primena PiezoFlow.
Figure 4. Application of PiezoFlow.

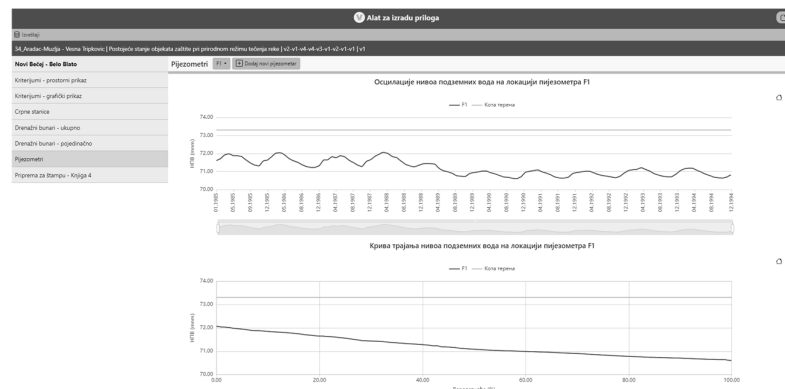
Post procesing

Za potrebe hidrodinamičkih analiza, izvršeni su proračuni za različite dispozicije sistema za odbranu od visokih nivoa podzemnih voda i za različite režime tečenja u rekama. Hidrodinamičke analize su vršene pomoću matematičkih modela, kako bi se sveobuhvatno sagledali uticaji izmena na području priobalja Dunava nakon izgradnje brane i akumulacije.

Za potrebe izrade Studije uticaja razvijen je korisnički alat za pregled rezultata prognoznih proračuna od 37 godina, sa analizom stanja na dnevnom nivou promena. Formirane su 3 proračunske šeme:

1. priobalje, sa postojećim stanjem objekata zaštite, u postojećem režimu rada HE „Đerdap 1“ (sa kotom 70,30 m njm kod ušća Nere),
2. priobalje, sa postojećim stanjem objekata zaštite, u prirodnom režimu tečenja Dunava i
3. priobalje, sa pretpostavljenim stanjem objekata zaštite, u prirodnom režimu tečenja Dunava.

Na slici 5 dat je prikaz Alata za izradu priloga koji omogućava pregled rezultata jedne od proračunskih šema i automatski generisanim izveštajem u word-u.



Slika 5. Primer primene Alata za izradu priloga.
Figure 5. Example of the application of the attachment creation tool.

ZAKLJUČAK

Ovaj rad je uspostavio tok procesa obrade podataka tj. trilogije opšte namene za koji se očekuje da će se koristiti kao smernice za modeliranje toka podzemnih voda. Svaki proces u toku rada koristi komercijalni softver, samostalno razvijene softverske komponente kako bi ispunio svoj cilj i proizvodi datoteke podataka u skladu sa specifičnim najsavremenijim formatom podataka.

LITERATURA:

Cirillo M., Pelesko J. A., Felton-Koestler M. D., Rubel L. 2016: *Perspectives on modeling in school mathematics Annual Perspectives in Mathematics Education 2016: Mathematical Modeling and Modeling Mathematics* (Electronic materials vol 1) ed Hirsch C and McDuffie A (Sweden: National Council of Teachers of Mathematics) chapter 1 p 3

- Feelders A., H. Daniels, Holsheimer M. 2000: *Methodological and practical aspects of data mining*, Information & Management, 37(5), 271-281. [http://dx.doi.org/10.1016/S03787206\(99\)00051-8](http://dx.doi.org/10.1016/S03787206(99)00051-8)
- Gibert K., Izquierdo J., Holmes G., Athanasiadis I., Comas J., Sànchez-Marrè M. 2008: *On the role of pre and post-processing in environmental data mining*, International Congress on Environmental Modelling and Software - 4th Biennial Meeting, pp. 1937-1958, Barcelona, Spain
- Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi" (IJČ). 2024: *Studija uticaja HEPS "Đerdap 1" na priobalje*, Beograd
- Lukić V., Pušić M., Tripković V., Jevtić G., Stojanović B., Mrđa T., Bačanić V., Marinković A. 2022: *Softverska inovacija u prikupljanju, obradi i skladištenju hidrogeoloških podataka*, XVI Srpski hidrogeološki simpozijum sa međunarodnim učešćem, str. 455-460, ISBN 978-86-7352-380-4, 28.09.-02.10.2022., Zlatibor, Izdavač: Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu