



ПИРОТСКИ
39. ЗБОРНИК

2014

UDK 908 (497.11) (082)

ISSN 0554-1956

**ПИРОТСКИ
ЗБОРНИК
39**

ПИРОТ, 2014.

XLVI

ПИРОТСКИ ЗБОРНИК, 39
Годишњак радова

Издавач

Народна библиотека
Бранка Радичевића, 10
Пирот, тел. 010/313-744
E-mail: bibliopirotd@ptt.rs
www.nbpi.org.rs

За издавача

Надица Костић

Редакција

Мр Петар Ђорђевић
Драгољуб Златковић
Владица Тошић
Надежда Ћирић

Главни и одговорни уредник

Горан Николић

Лектор и коректор

Јован Васић

Секретар Редакције

Момчило Антић

САДРЖАЈ

Бошко Миловановић
Весна Ристић Вакањац
КЛИМА ПИРОТСКЕ КОТЛИНЕ.....9-20

Весна Ристић Вакањац
Бошко Миловановић
Борис Вакањац
Марина Чокорило Илић
КЛИМАТСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ И ТРЕНДОВИ
КЛИМАТСКИХ ПАРАМЕТАРА НА ТЕРИТОРИЈИ СТАРЕ
ПЛАНИНЕ.....21-38

Драгана Миличић
НАЛАЗИ РАКОВА КАМБРИЈУМСКЕ СТАРОСТИ
(CRUSTACEA, BRANCHIOPODA) НА ПОДРУЧЈУ ПИРОТА И
ОКОЛИНЕ.....39-50

Душан Поломчић
Весна Ристић Вакањац
Драгољуб Бајић
Марина Чокорило Илић
СИМУЛАЦИЈА РЕЖИМА КАРСТНЕ ИЗДАНИ ПРИМЕНОМ 3Д
ХИДРОДИНАМИЧКОГ МОДЕЛА НА ПРИМЕРУ ПИРОТСКЕ
КОТЛИНЕ И КАРСТНОГ МАСИВА СТАРЕ ПЛАНИНЕ.....51-70

Новица Живковић
ГОВОР ПИРОТА.....71-114

Горан Николић
ДРАМЕ ПИРОТСКИХ АУТОРА.....115-152

Давор Лазаревић
ПОСЛЕДИЦЕ ВЕЛИКОГ РАТА И ПИРОТСКИ КРАЈ.....153-174

Цветко Иванов

ДИЛЕМЕ О ПОЧЕТКУ РАДА ПРОГИМНАЗИЈЕ И ГИМНАЗИЈЕ
У ДИМИТРОВГРАДУ.....175-184

Арсеније Тодоровић

ТРАДИЦИОНАЛНА ГАСТРОНОМИЈА ПИРОТА И ЊЕНА
ПОЗИЦИЈА НА ТУРИСТИЧКОМ ТРЖИШТУ.....185-202

Драгољуб Златковић

МИКРОТОПОНИМИЈА СЛИВА ТОПЛОДОЛСКЕ РЕКЕ И
ТЕМШТИЦЕ.....203-240

ТЕХНИЧКО УПУТСТВО ЗА ИЗРАДУ РАДОВА.....241-250

РЕЦЕНЗЕНТИ.....251-252

CONTENTS

- Bosko Milovanovic**
Vesna Ristic Vakanjac
THE CLIMATE OF PIROT VALLEY.....9-20
- Vesna Ristic Vakanjac**
Bosko Milovanovic
Boris Vakanjac
Marina Cokorilo Ilic
CLIMATE CHARACTERISTICS AND TRENDS OF CLIMATE
PARAMETERS ON THE TERRITORY OF STARA PLANINA
MOUNTAIN.....21-38
- Dragana Milicic**
THE CAMBRIAN AGE CRUSTACEAN FINDINGS
(CRUSTACEA, BRANCHIOPODA) IN THE AREA OF PIROT
AND ITS SURROUNDINGS.....39-50
- Dusan Polomcic**
Vesna Ristic Vakanjac
Dragoljub Bajic
Marina Cokorilo Ilic
SIMULATION OF THE REGIME OF KARST WATERS BY 3-
DIMENSION HYDRODYNAMIC MODEL ON THE EXAMPLE
OF PIROT VALLEY AND KARST MOUNTAIN RANGE OF
STARA MOUNTAIN.....51-70
- Novica Zivkovic**
PIROT DIALECT.....71-114
- Goran Nikolic**
PLAYS WRITTEN BY PIROT AUTHORS.....115-152
- Davor Lazarevic**
CONSEQUENCES OF THE GREAT WAR AND PIROT
AREA.....153-174

Cvetko Ivanov DILEMMAS RELATED TO THE START OF WORK OF PRO- GRAMMAR SCHOOL AND GRAMMAR SCHOOL IN DIMITROVGRAD.....	175-184
Arsenije Todorovic TRADITIONAL GASTRONOMY OF PIROT AND ITS POSITION ON THE TOURIST MARKET.....	185-202
Dragoljub Zlatkovic MICROTOPONYMY OF THE BASIN OF TOPLDOLSKA AND TEMSTICA RIVER.....	203-240
TECHNICAL INSTRUCTIONS FOR STUDIES PREPARATION.....	241-250
REVIEWERS.....	251-252

Душан Поломчић*, Весна Ристић Вакањац, Драгољуб Бајић,
Марина Чокорило Илић, Универзитет у Београду, Рударско-
геолошки факултет, Департман за хидрогеологију, Београд

Dusan Polomcic, Vesna Ristic Vakanjac, Dragoljub Bajic, Marina
Cokorilo Ilic, Belgrade University, Faculty of Mining and Geology,
Hydrogeology Department, Belgrade

**СИМУЛАЦИЈА РЕЖИМА КАРСТНЕ ИЗДАНИ
ПРИМЕНОМ 3Д ХИДРОДИНАМИЧКОГ МОДЕЛА
НА ПРИМЕРУ ПИРОТСКЕ КОТЛИНЕ И
КАРСТНОГ МАСИВА СТАРЕ ПЛАНИНЕ**

**SIMULATION OF THE REGIME OF KARST
WATERS BY 3-DIMENSION HYDRODYNAMIC
MODEL ON THE EXAMPLE OF PIROT VALLEY
AND KARST MOUNTAIN RANGE OF STARA
MOUNTAIN**

Сажетак: Природни или експлоатациони режим карстних изданских вода најчешће се симулира применом стохастичких (хидролошких) модела који се карактеришу могућношћу симулације и прогнозе одређених процеса током времена, при чему се не анализирају услови у хидрогеолошкој средини. Последњих година, развојем софтвера омогућена је израда 3Д детерминистичких (хидродинамичких) модела кретања подземних вода у карстификованим стенским масама. На примеру карстног масива Старе планине и Пиротске котлине приказана је симулација једанаестогодишњег режима карстне

* dusan.polomcic@rgf.bg.ac.rs

издани. Као резултат изведене симулације одређени су елементи биланса ове издани, чије воде имају изузетан социоекономски значај у решавању регионалног водоснабдевања становништва.

Abstract: *Natural or exploitation regime of karst waters is usually simulated by the use of stochastic (hydrology) models which are characterized by the possibility of simulation and prognosis of certain processes in time, where the conditions in hydro-geological surroundings are not analyzed. In recent years, the development of software has enabled creation of 3-dimension deterministic (hydrodynamic) models of the movements of groundwaters in karstified rocky mountains. On the example of karst range of Stara Mountain and Pirot valley, the simulation of eleven-year regime of karst waters is presented. As the result of the simulation made, elements of the balance of these karst waters are determined having the significant social and economical importance in regional water supply.*

Кључне речи: карстна издан, хидродинамички модел, гранични услови, биланс подземних вода

Key words: karst waters, hydrodynamic model, border conditions, balance of underground waters

1. УВОД

Данас је у свету за потребе моделирања струјања подземних вода заступљена углавном метода коначних разлика. Доминира програмски пакет, познат под именом *Modflow*, чију су израду финансирале САД и Канада и који представља стандард у овим земљама. Постоји преко 50 верзија овог програма, које се међусобно разликују углавном према могућности задавања специфичних граничних услова и графичким могућностима. Тренутно се на Департману за хидрогеологију за ове потребе прорачуни спроводе коришћењем лиценцираног 64-битног програма *Groundwater Vistas 6.64*, верзија *Advanced (Environmental Simulations International, Ltd.)*, који се сврстава у сам светски врх програма ове врсте. Основне карактеристике овог програмског пакета су, поред онога што је речено: практично неограничени број и величина дискретизације струјног поља, како у плану, тако у вертикалном профилу, који је лимитиран само меморијским могућностима хардвера и потпуно графичко окружење, компатибилно са осталим програмима *Windows-a*. Прорачуни могу да се реализују у стационарним и

нестационарним условима струјања подземних вода, са константним или променљивим граничним условима (по простору и времену).

2. ИЗРАДА (ФОРМИРАЊЕ) ХИДРОДИНАМИЧКОГ МОДЕЛА

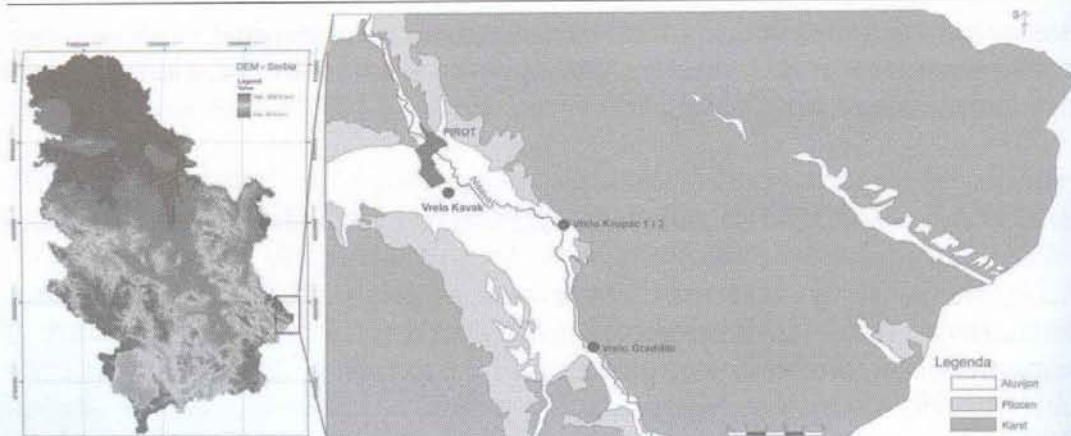
Иако је у нашим условима примена хидродинамичких модела у симулацији режима карстне издани веома скромна, у изради овог модела коришћена су страна и домаћа искуства (Field, 1997; Scanlon, Mace, Barret & Smith, 2003; Kovacs & Sauter, 2007; Поломчић, Стевановић, Ристић-Вакањац, Докмановић и Милановић, 2012; Поломчић, Драгишић и Живановић, 2013). Концепција израде хидродинамичког модела Пиротске котлине са карстним масивом Старе планине заснива се на симулацији тродимензионалног струјања подземних вода. За потребе израде овог модела на првом месту је било неопходно припремити подлоге (Поломчић, 2002) као што су:

- основна интерпретација улазних података,
- шематизација порозне средине,
- шематизација услова филтрације.

За избор концепције математичког модела, од пресудног значаја су били тип и карактеристике заступљених геолошких чланова, распрострањење водоносних и изолаторских слојева, филтрационе карактеристике порозне средине, услови, механизам и режим струјања подземних вода, као и жељени циљ. У конкретном случају, приступило се изради вишеслојевитог модела, са могућношћу аутоматске промене струјног поља, зависно од услова струјања.

2.1. ГЕОМЕТРИЈА И ДИСКРЕТИЗАЦИЈА СТРУЈНОГ ПОЉА ШИРЕГ ПОДРУЧЈА ИСТРАЖИВАЊА

Примењени хидродинамички модел обухвата Пиротску котлину са њеним ободом, односно карстни масив Старе планине. На слици 1 дат је приказ карстног масива Старе планине и део Пиротске котлине са локацијама најзначајнијих врела на којима је регистровано дренарање карстне издани.



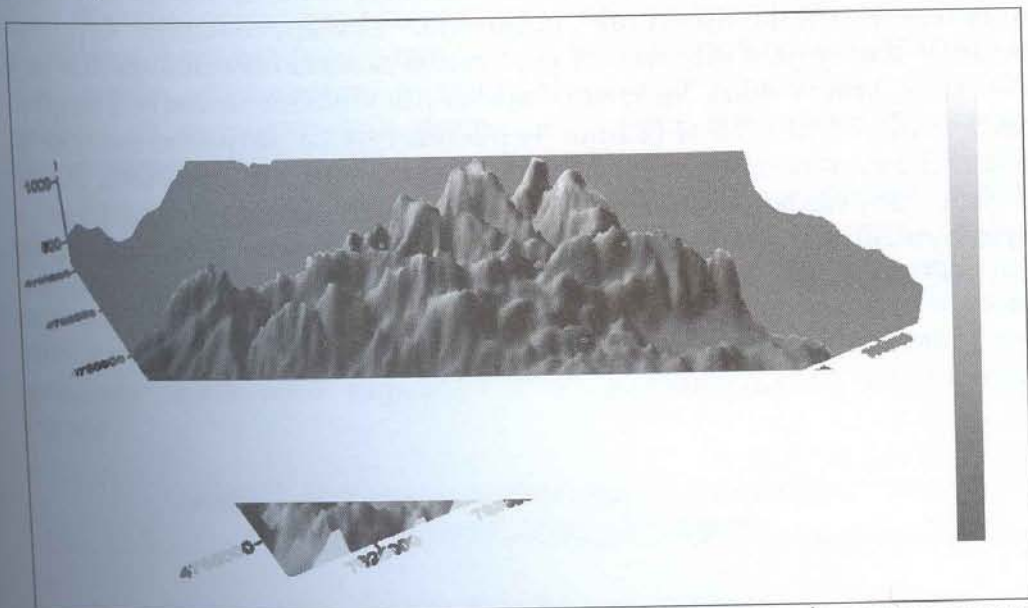
Слика 1 Географски положај и шематизована геолошка карта подручја Пиротске котлине и карстног масива Старе планине
 Figure 1 Geographical position and scheme geology map of Pirot valley and karst range of Stara Mountain

Истражно подручје карактерише мали степен истражености. Најбоље је истражен карстни масив Старе планине, док Пиротска котлина и јужне падине Влашке планине нису довољно истражене. На основу резултата истраживања током израде ОГК, лист К 34-34 Пирот, ОХГК СЦГ и малог броја истражних радова, закључено је да истражно подручје чине 3 хидрогеолошке целине: карстни масиви Старе планине и јужне падине Влашке планине које чине испуцали и карстификовани кречњаци (J_3 , K_1), плиоценски песак и шљунак Пиротске котлине (PIQ), алувијални седименти река Нишаве и Јерме (alQ) и слабије пропусне стене (K_1 , K_2 , P). У водоносним срединама формиране су одговарајуће издани: карстна, сложена збијена издан у плиоценским седиментима и збијена издан са слободним нивоом - алувијална издан.

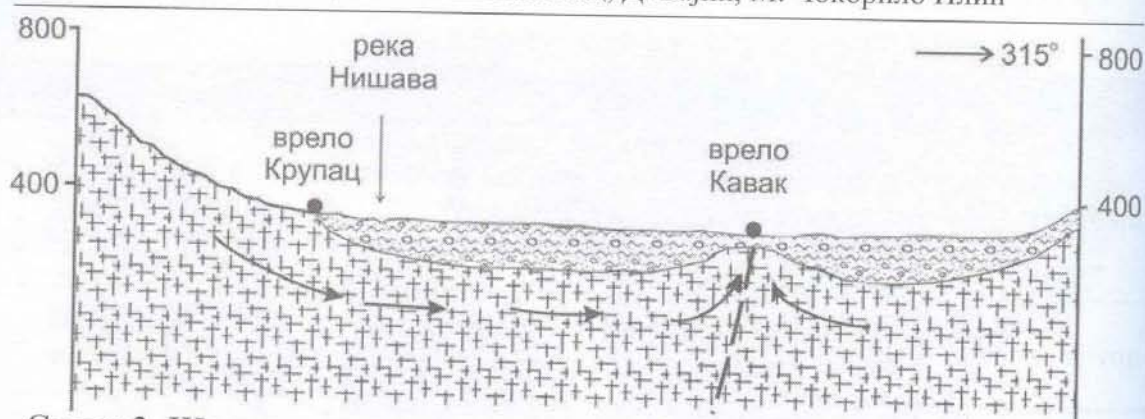
С обзиром на регионални карактер хидродинамичког модела и скромне резултате ранијих истраживања, издвојене хидрогеолошке целине представљају основу за шематизоване моделске слојеве. Сумирајући наведено, посматрано од површине терена, коресподентни слојеви модела и терена су:

Моделски слој	Литолошки чланови	Издан
први слој	приповршински комплекс алувијалних глиновитих, песковитих и шљунковитих седимената који бочно прелазе у плиоценске седименте или у карстификоване кречњаке	алувијална, плиоценска и карстна издан
други слој	плиоценски песковити седименти који бочно прелазе у карстификоване кречњаке	плиоценска и карстна издан
трећи слој	подински карстификовани кречњаци	карстна издан

Вертикално распрострањење литолошких чланова је одређено на основу ранијих истраживања. Алувијалне наслаге река Нишаве и Јерме имају максималну дебљину 10-15 м, плиоценски седименти до 100 м, а карстификовани кречњаци у којима је формирана издан максимално до 200 м испод плиоценских седимената. Поменуте дебљине хидрогеолошких целина су задаване у односу на површину терена, чији је 3Д приказ дат на слици 2. Као пример вертикалне шематизације слојева, на слици 3 је приказан шематски профил кроз Пиротску котлину.



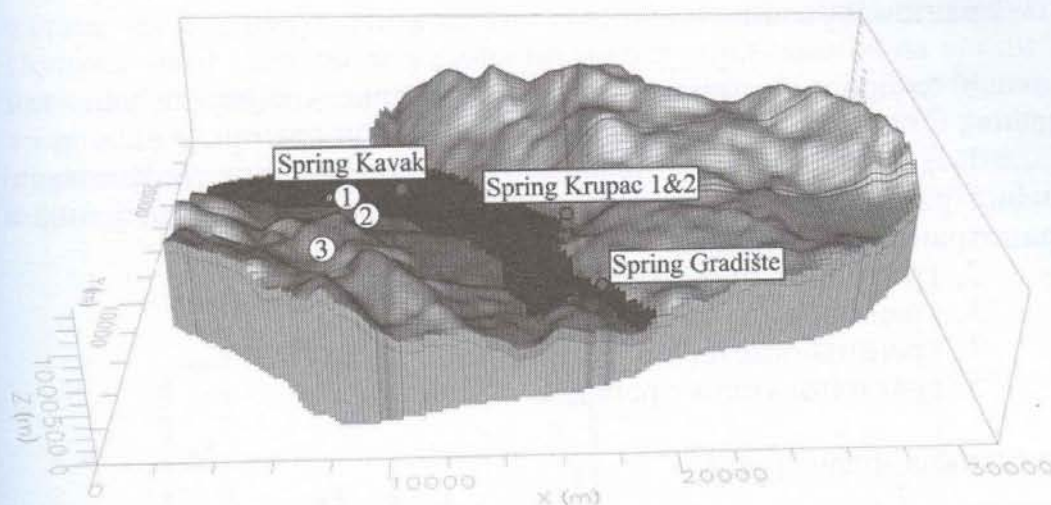
Слика 2 3Д елевациони модел површине терена подручја истраживања
 Figure 2 3-dimensional model of the terrain surface which has been under research



Слика 3 Шематски хидрогеолошки профил на потезу врело Крупац – врело Кавак (модификовано из Ристић Вакањац, Стевановић и Милановић, 2012)

Figure 3 Scheme hydrogeological profile of the area which includes the spring Krupac and the spring Kavak (modified from Ristic - Vakanjac, Stevanovic and Milanovic, 2012)

Основне димензије матрице којом је обухваћен изучавани терен су 31.4 км x 24 км, што обухвата простор од 753.6 км². Према основној концепцији моделирања применом методе коначних прираштаја која је овде примењена, броју шематизованих слојева одговара број њихових матрица. Матрице свих слојева су истих димензија у плану, тако да покривају целу површину шематизованог подручја. Дискретизација струјног поља у плану је изведена са основном величином ћелија 400 м x 400 м, која је у зони карстних врела погушћена мрежом квадрата димензија 25 м x 25 м (слика 4) респектујући потребне захтеве за обезбеђење нумеричке стабилности прорачуна (Поломчић, 2004). Терен обухваћен моделом је издељен мрежом квадрата и правоугаоника димензија 124 реда x 139 колоне и састоји се од 37.968 активних моделских ћелија.



Слика 4 3Д хидрогеолошки модел Пиротске котлине и карстног масива Старе и Суве планине са приказом просторне дискретизације
 Figure 4 3D hydrogeological model of Pirot valley and carst range of Stara and Suva Mountains with spatial discretization

Легенда 1. алувијална издан, 2. плиоцена издан, 3. карстна издан
 Captions 1. Alluvial aquifer 2. Pliocene aquifer 3. Karst aquifer

2.2. Филтрационе карактеристике порозне средине

Филтрационе карактеристике шематизованих моделских слојева су задаване преко вредности коефицијената филтрације и специфичне издашности издани. Наведени параметри порозне средине су задавани као репрезентативне вредности у свакој ћелији дискретизације.

Као додатна, негативна последица недостатка одговарајућих подлога, стоји чињеница да параметри ускладиштења нису одређени ни на једном истражном раду. У циљу превазилежања овог недостатка, искоришћена су страна искуства о вредностима ових параметара за присутне литолошке чланове. У табели 1 су приказане вредности параметара ускладиштења за сваки тип издани.

Табела 1 Вредности параметара ускладиштења
 Table 1 Values of storage parameters

Издан формирана у	Специфично ускладиштење (1/м)	Порозност (-)
Алувиону	0.000022	0.25
Плиоценским седиментима	0.000032	0.35
Карстним теренима	3.28e-07	0.28

2.3. Гранични услови

У хидродинамичком моделу Пиротске котлине и карстног масива Старе планине примењени су следећи гранични услови:

1. „вертикални биланс”, резултантна (ефективна) инфилтрација, као резултат разлике инфилтрације од падавина и евапотранспирације
2. гранични услов „река“
3. гранични услов са задатим протицајем
4. граница општег пијезометарског нивоа
5. гранични услов дренажа.

Ефективна инфилтрација

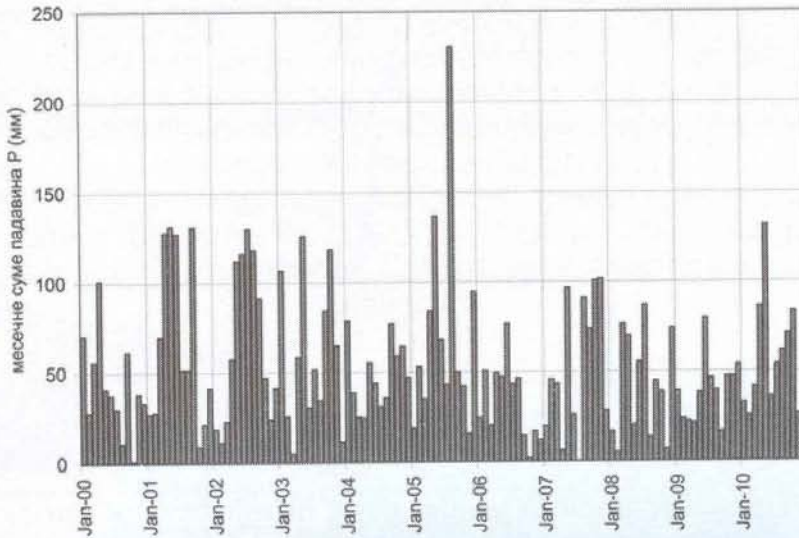
У укупном билансу подземних вода, тзв. „вертикални биланс” изучаваног подручја има значајан утицај, пре свега на карстну издан. Под вертикалним билансом овде се подразумева ефективна, резултантна инфилтрација. Ову величину чини сума инфилтрације од падавина, испаравања са нивоа подземних вода и евапотранспирација. Поред тога, од великог је значаја дубина до нивоа подземних вода, стање влаге, као и литолошки састав тла надизданске зоне. Као иницијална вредност ефективне инфилтрације за карстне терене узета је вредност од 50% падавина. Овај гранични услов је задат само у првом слоју модела. Као реперна станица анализираниог подручја узета је падавинска станица Дојкинци. На слици 5 приказане су месечне вредности падавина за период од 2000. до 2010. године регистрованих на поменутој падавинској станици.

Гранични услов „река“

Од површинских токова, на терену су присутне реке Нишава и Јерма. За задавање водостаја реке Нишаве коришћени су подаци са две хидролошке станице које се налазе на улазу (Суково) и излазу из подручја истраживања (Пирот). На слици 6 су приказане регистроване вредности водостаја на ове две станице за период 2000 - 2010. г. Режији реке Нишаве на нивоу средње месечних вредности су сагласни, о чему сведочи и коефицијент корелације који износи 0.84.

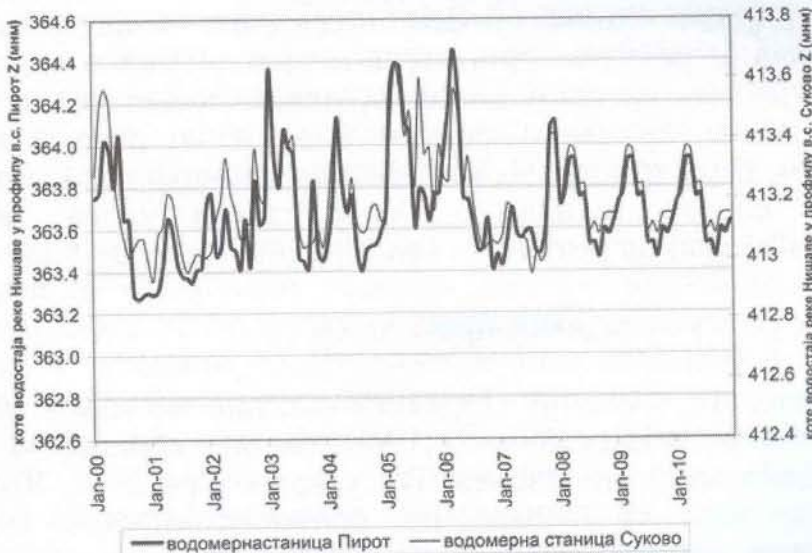
Хидродинамички модел садржи укупно 117 моделских ћелија у којима је задаван овај гранични услов. Вредности водостаја реке Нишаве у моделским ћелијама су аутоматски задаване као опадајуће вредности у линеарној зависности од водостаја регистрованог на хидролошкој станици Суково, све до

излаза из подручја модела (на хидролошкој станици Пирот). Положај овог граничног услова на моделу приказан је на слици 7. Река Јерма није задавана на моделу, како због непознавања хидролошког режима, тако и због процењеног минорног утицаја у дренарању карстне издани из масива Старе планине у Пиротску котлину.



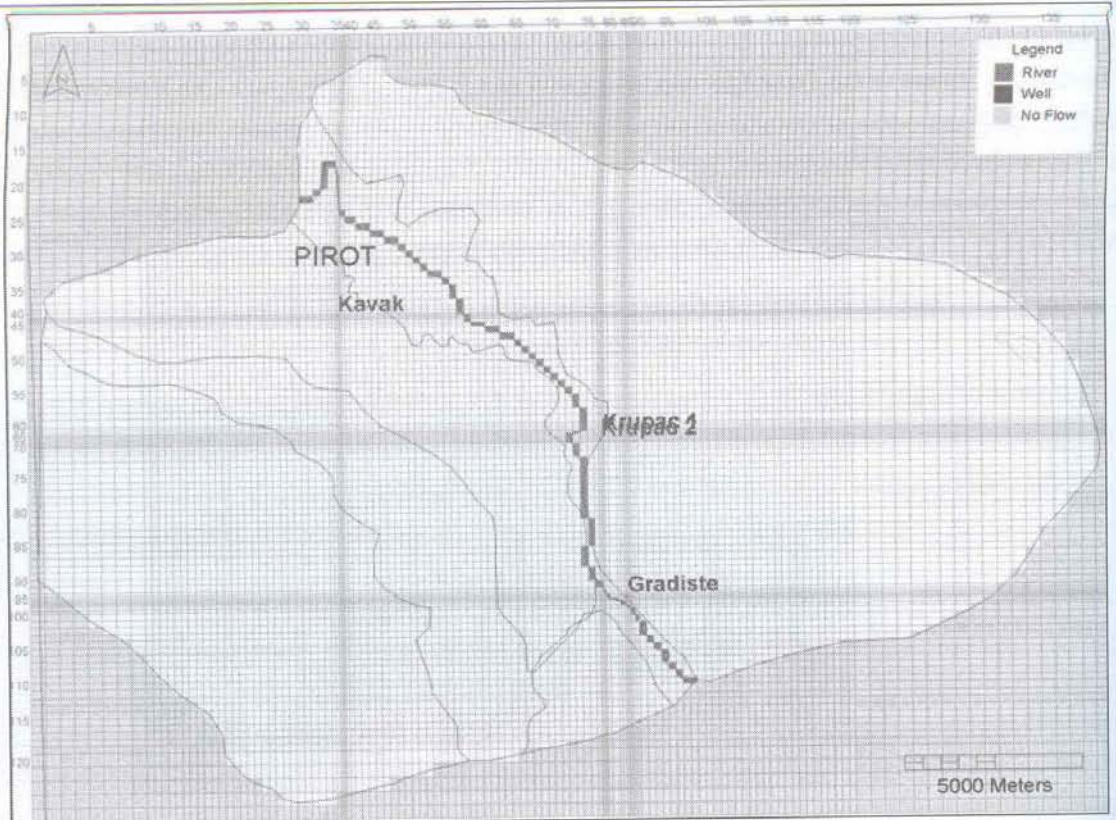
Слика 5 Месечне суме падавина регистроване на падавинској станици Дојкинци за период 2000 - 2010.г.

Figure 5 Monthly precipitation registered on the precipitation station Dojkinci for the period 2000-2010.



Слика 6 Дијаграм водостаја Нишаве на хидролошким станицама Суково и Пирот за период 2000 - 2010.г.

Figure 6 Diagram of water levels of the Nisava river in hydro-stations Sukovo and Piroto for the period 2000-2010.



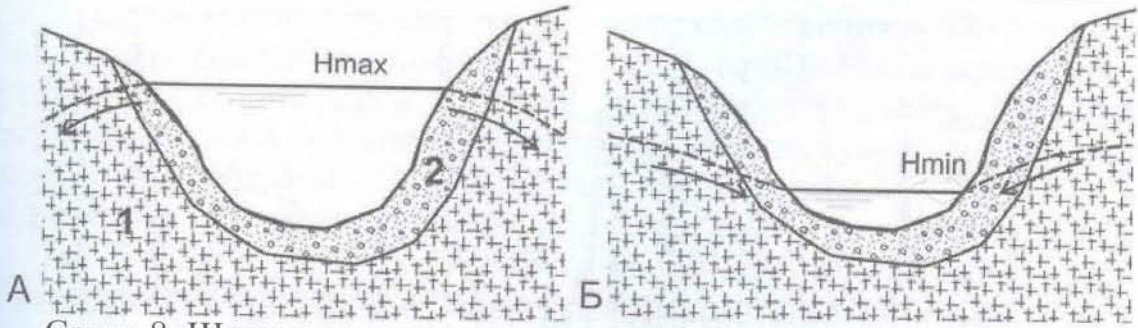
Слика 7 Приказ граничног услова река, ћелије без протицаја и мрежа дискретизације (у плану) за други моделски слој

Figure 7 Presentation of the boundary condition of rivers, cells without flow and the net of discretization (in the plan) for the second model layer

Смер кретања воде између реке и издани зависи од хипсометријског односа нивоа подземних вода у моделској ћелији, која је резултат прорачуна и задатог нивоа воде у реци. Уколико је ниво у реци виши од нивоа подземних вода, река „храни” издан, тј. смер кретања воде је из реке у издан. У супротном, река дренира издан, тј. смер кретања воде је из издани у речно корито (слика 8). Хидрауличка улога овог тока представља један од резултата калибрације модела.

Гранични услов са задатим протицајем

Генерално, у оквиру Пиротске котлине постоје 4 значајнија карстна врела, која се још од 1960. године користе за потребе водоснабдевања града Пирота. То су врело Крупац 1, Крупац 2 и Градиште, који се налазе на контакту карстне издани и плиоценских седимената, и врело Кавак, које се јавља у централном делу Пиротске котлине. Нажалост, иако су нека од њих у експлоатацији више од 50 година, осматрања режима ових врела су вршена само спорадично.

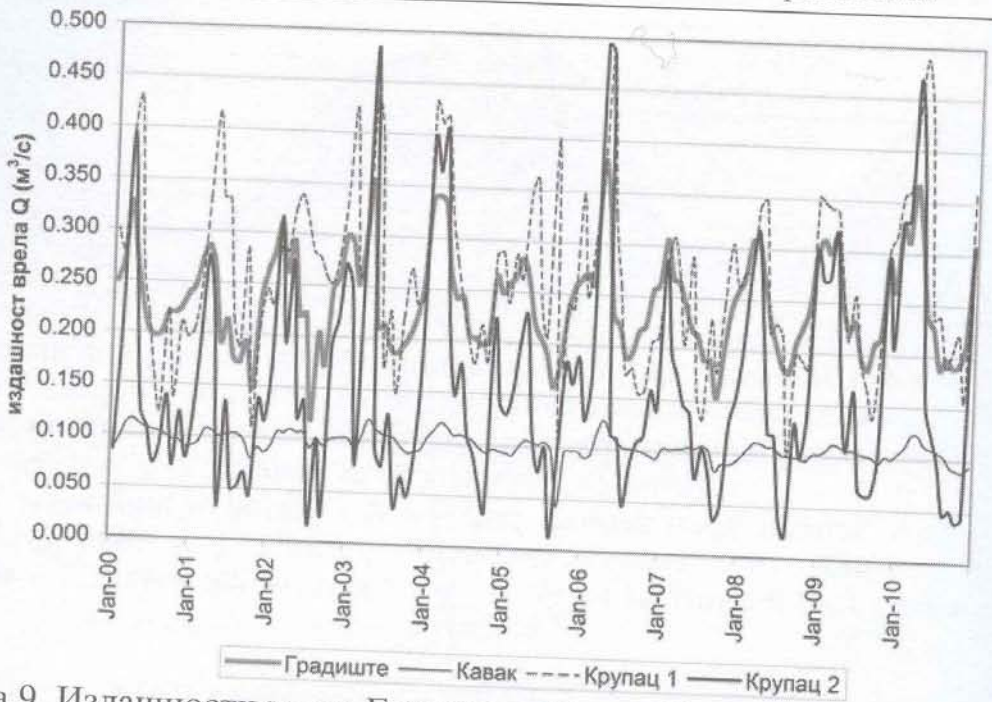


Слика 8 Шематски хидрогеолошки профили, А – период високих водостаја када површински ток прихрањује издан, Б – период ниских водостаја када издан прихрањује површински ток, 1 – карстни делови терена, 2 – алувијални седименти

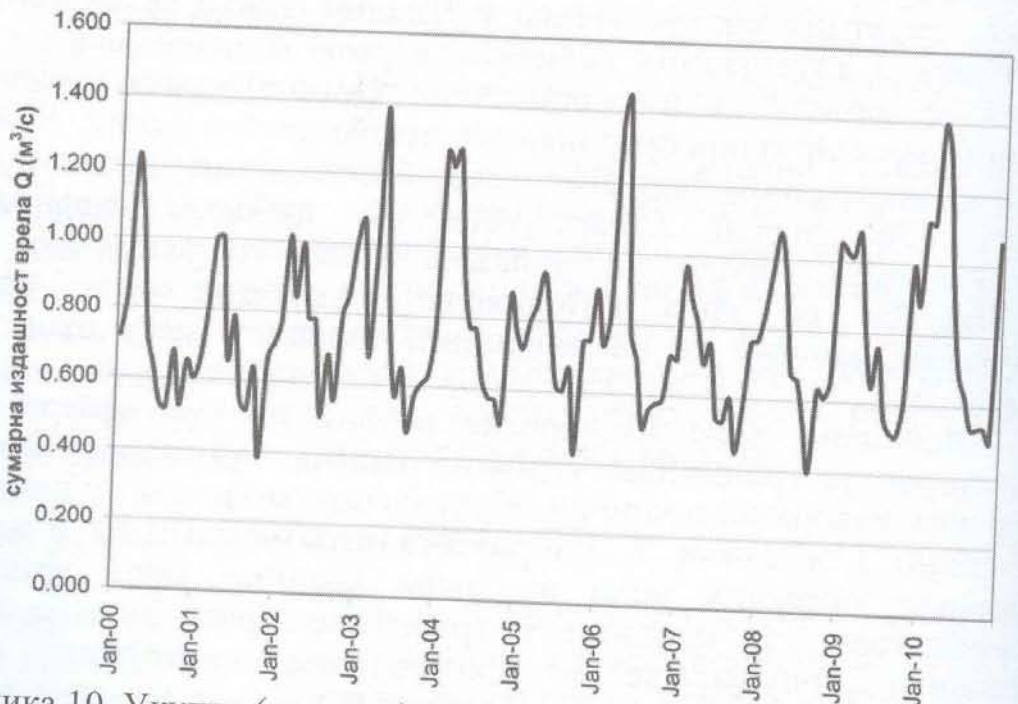
Figure 8 Scheme hydrogeology profiles, A – period of high water levels when the surface flow feeds the waters, B – period of low water levels when the waters feed the surface levels, 1 – karst parts of the terrain, 2 – alluvial sediments

Крупац 1 и 2 су међусобно удаљени свега 120 м, а заједно се налазе на око 10 км од центра града Пирота (слика 1 и слика 3). Врело Градиште се налази у селу Градишту по коме је и добило име (слика 1). Кота истицања овог врела је 414 м н. м. Зона истицања је у североисточном ободу Пиротског басена, смештена између карстних масива Тепош и Видлич. Јавља се на контакту кречњака и алувијалних седимената реке Нишаве, а воде овог врела се користе за водоснабдевање Пирота током критичних, сушних месеци, односно у просеку током лета и јесени. Кавак се јавља у централном делу Пиротског басена, на периферији самог града. Ова издан карактерише се дубоком сифоналном циркулацијом, врело је узлазног типа, а изданске воде, пробијајући се кроз плиоценске седименте дуж раседне структуре, јављају се на површини терена у виду овог врела (слика 3).

Истицање воде из карстне издани на сва четири врела симулиран је граничним условом задатог протицаја. Локације карстних извора на подручју обухваћеном моделом су приказане на слици 1 и слици 7. Из разлога што осматрања и мерења количина истеклих вода на овим врелима нису вршена у континуитету, за наведене потребе као прво било је нужно извршити попуњавање и продужавање постојећих низова истицања из карстних врела (осредњених на месечном нивоу). Попуњавање и продужавање постојећих низова извршено је коришћењем вишеструке линеарне корелације (Ристић-Вакањац, Стевановић и Милановић, 2012), а резултати ових прорачуна дати су на сликама 9 и 10.



Слика 9 Издашности врела Градиште, Кавак, Крупац 1 и 2 за период 2000 - 2010.г.
 Figure 9 Water levels of the spring Gradiste, Kavak, Krupac 1 & 2 for the period 2000-2010.



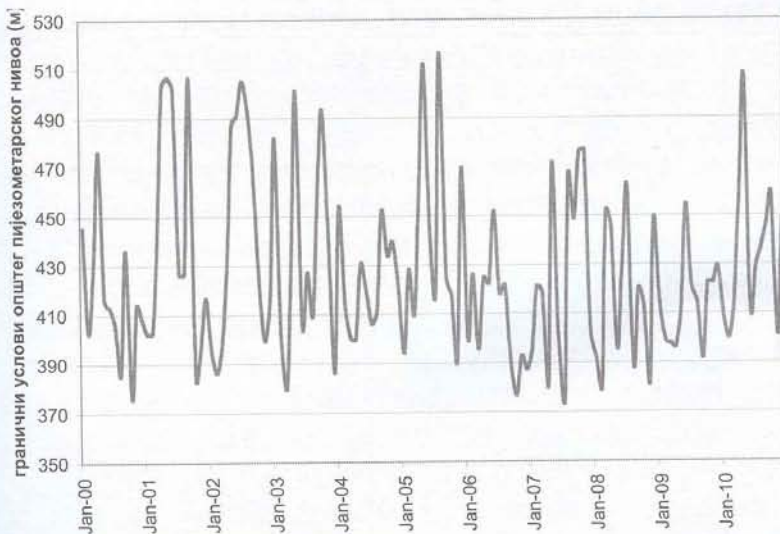
Слика 10 Укупна (сумарна) издашност врела Градиште, Кавак и Крупац 1 и 2 за период 2000 - 2010.г.
 Figure 10 Total water levels of the spring Gradiste, Kavak, Krupac 1 & 2 for the period 2000-2010.

Специјални случај овог граничног услова је када у моделској ћелији не постоји протицај ($q=0$). Овим граничним условом се симулира струјна контура ($\Psi=const$), односно водонепропусна граница или подручје које окружује модел, а за које нема података о распореду пијезометарског нивоа или протицаја.

Граница општег пијезометарског нивоа

Овим граничним условом се симулира утицај неког извора прихрањивања или дренарања који се налази ван подручја обухваћеног моделом. С обзиром да је моделом обухваћен део карстног масива Старе планине (Видлич), утицај подземног дотицаја у модел из правца севера и истока је симулиран овим граничним условом. Задан је само у трећем моделском слоју (слика 12).

Вредности пијезометарског нивоа који репрезентују овај тип граничног услова, као и вредност коефицијента у овим моделским ћелијама представљају један од резултата еталонирања модела. Свакако да вредности нивоа у овом граничном услову прате режим падавина, с обзиром на израђен утицај падавина на режим карстне издани. На слици 11 приказане су иницијалне вредности пијезометарског нивоа за овај гранични услов.



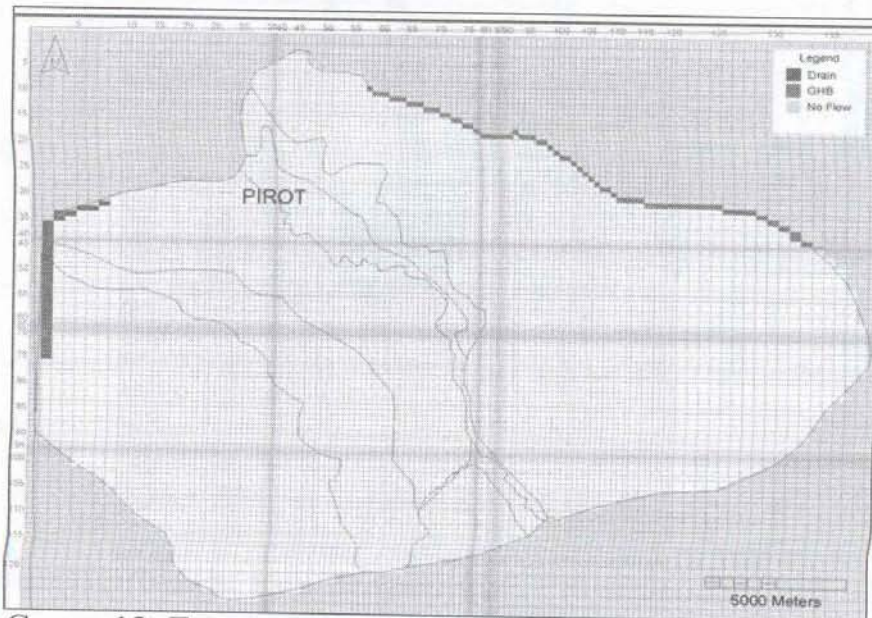
Слика 11 Вредности граничног услова општег пијезометарског нивоа заданих на северу и истоку

Figure 11 Values of General head boundary condition set on the north and east

Гранични услов дренажа

Дренажа као гранични услов је „изведена“ из граничног услова контуре са задатим пијезометарским нивоом. Дотицај у ову контуру је у зависности од филтрационих карактеристика саме дренаже, њених димензија, и разлике пијезометарског нивоа издани и задатог нивоа у самој дренажи. Предност овако задатог граничног услова огледа се у томе (што је једна од предности примењеног софтвера) што се у случају реално нижег нивоа подземних вода од задатог услова, овај гранични услов аутоматски искључује.

На основу ранијих сазнања, подземне воде из карстне издани формиране у јужном делу масива Влашке планине немају израженији утицај на Пиротску котлину. Спроведеним рекогносцирањем од стране Рударско-геолошког факултета, утврђено је да се подземне воде ове издани дренирају према Белој Паланци. Подземно отицање карстних вода из масива Влашке планине симулирано је преко граничног услова дренажа. С обзиром да нема квантитативних показатеља о величини дренирања ове издани, задавањем овог типа граничног услова покушало се да минимизира утицај подземног дотицаја с јужне стране у Пиротску котлину. Хидрауличке и геометријске карактеристике овог граничног услова представљају један од резултата калибрације модела. На слици 12 дат је приказ моделских ћелија у којима је задан овај тип граничног услова.



Слика 12 Гранични услови у трећем моделском слоју
Figure 12 Boundary conditions in the third model layer

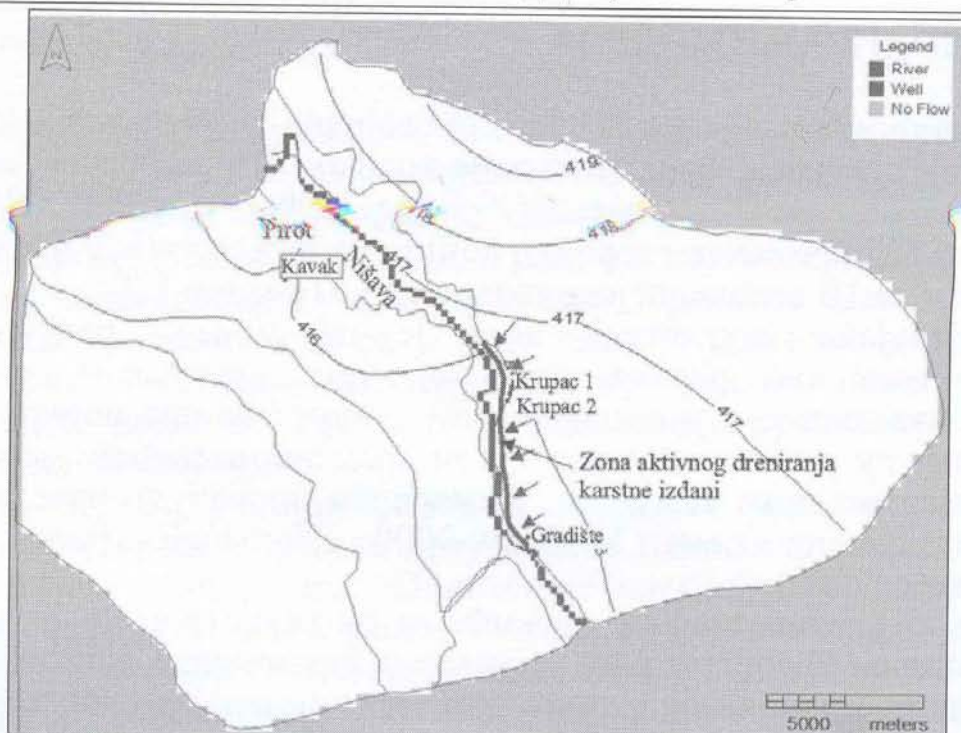
3. ЕТАЛОНИРАЊЕ МОДЕЛА

Еталонирање модела је спроведено у нестационарним условима струјања, са временским кораком од једног месеца за анализирани временски период (јануар 2000 - децембар 2010.г.) (укупно 132 временска корака), који је на нижем нивоу итерација подељен на 10 делова, неједнаког трајања (фактор 1.2).

Струјање подземних вода је на моделу рачунато и симулирано као реално струјање, под притиском, или са слободним нивоом, у свакој ћелији дискретизације појединачно, при чему су услови струјања током времена на моделу мењани у складу са реалним условима. Нумерички прорачуни изведени су на верзији програма Modflow-2000 (Harbaugh, Banta, Hill, McDonald, 2000).

Као улазни подаци коришћени су регистровани подаци о падавинама, водостају реке Нишаве и издашности четири врела. Вредности граничних услова општег пијезометарског нивоа и дренажа су задавани у нестационарном режиму и под доминантним утицајем режима падавина. Одсуство осматрачке мреже и података мониторинга о распореду пијезометарских притисака у Пиротској котлини и у карстном масиву Старе планине свакако да умањују поузданост хидродинамичког модела. Еталонирање модела је базирано на билансу карстне издани, према постојећим подацима. У циљу обезбеђења нових података за симулацију режима подземних вода, у првом реду карстне издани Старе планине, изведена су нова истраживања од стране Рударско-геолошког факултета у Београду (август, 2011), која су имала за циљ утврђивање количина вода које се из карстног масива Старе планине дренажују у реку Нишаву. Симултана мерења су извршена на неколико мерних профила. Утврђено је да се између водомерних профила Нишава 1 и Нишава 2, карстна издан дренажује у реку Нишаву у количини од 673 л/с у хидролошком минимуму. Резултати ових истраживања усмерили су и рад на еталонирању модела.

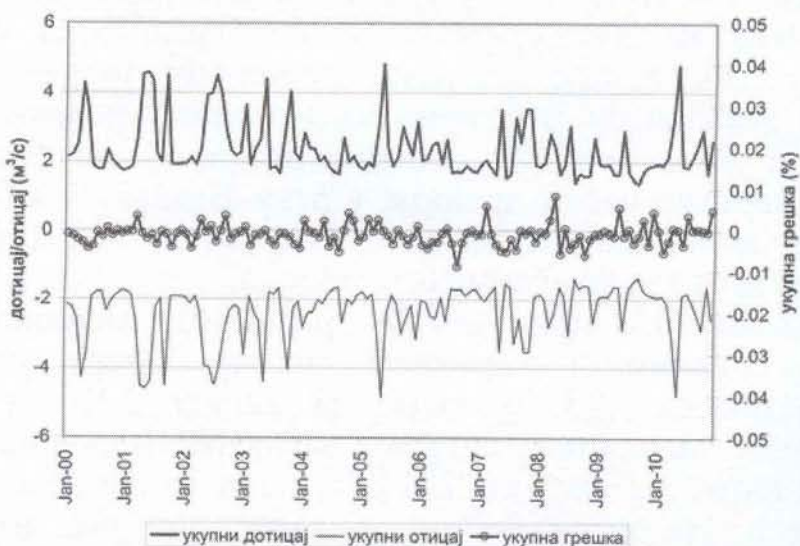
На слици 13 приказан је распоред хидроизохипси у Пиротској котлини и карстном масиву Старе планине за временски пресек 128, односно за август 2010. г, који по хидрометеоролошким параметрима одговара хидролошком стању Нишаве и Јерме из августа 2011. г, када је вршена симултана хидрометрија. На истој слици приказана је зона интензивног дренажања карстне издани, односно прихрањивања реке Нишаве на рачун карстних изданских вода.



Слика 13 Приказ хидроизохипси у Пиротској котлини и карстном масиву Старе планине за август 2010. г.

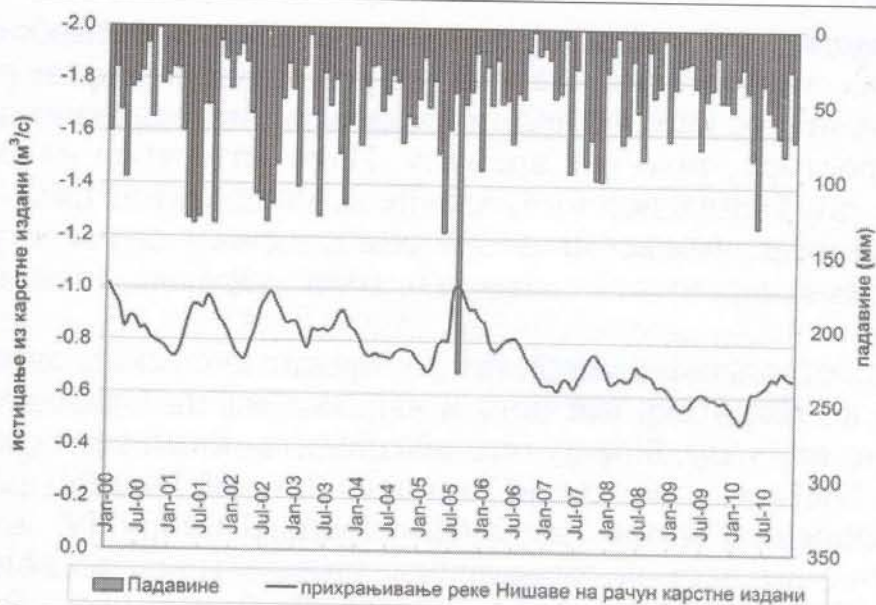
Figure 13 Presentation of hydroisohypsis in Pirot valley and karst range of Stara mountain for August, 2010.

Анализа биланса подземних вода изведена је за период за који је извршена нестационарна симулација режима подземних вода (јануар 2000 - децембар 2010. г.). Резултати анализе су приказани на сликама 14 и 15.



Слика 14 Приказ укупног дотицаја и отицаја из модела са грешком прорачуна за период јануар 2000. - децембар 2010. г.

Figure 14 Presentation of total inflow and outflow from the model with the error of calculation for the period January, 2000. - December, 2010.



Слика 15 Приказ падавина и прогнозног подземног дренарања вода карстне издани у масиву Старе планине за период јануар 2000 - децембар 2010.г.

Figure 15 Presentation of precipitation and forecast underground draining of karst water in the range of Stara Mountain for the period January, 2000.- December, 2010.

Са слике 14 може се уочити да по питању биланса подземних вода на подручју обухваћеном моделом постоји веома добра усаглашеност дотицаја и отицаја из модела. Грешка прорачуна (са аспекта биланса подземних вода) креће се у интервалу од свега -0.0088% до 0.0084% за цео анализирани период.

На слици 15 је приказана зависност величине падавина и дренарања карстне издани по пободу карстног масива Старе планине у реку Нишаву (без врела) у зони интензивног истицања означеног на слици 13. Уочава се брз одзив дренарања карстне издани на промене у интензитету падавина. Вредности подземног дренарања у периоду од јануара 2000. до децембра 2010. г. крећу се у интервалу од 500 до 1020 л/с. У августу 2010. ово истицање износи 670 л/с и одговара резултатима симултане хидрометрије на реци Нишави (673 л/с, август 2011.).

4. ЗАКЉУЧАК

Израђени хидродинамички модел је послужио за сагледавање утицаја најављених климатских промена које се огледају у смањењу падавина и сходно томе опадању издашности врела у карстном масиву Старе планине. Модел прате одређене

неизвесности, пре свега недовољно познавање распрострањења издвојених литолошких чланова у профилу, просторни распоред хидрогеолошких параметара, и распоред нивоа подземних вода, како у простору, тако и у времену. Иако оптерећен недостатком довољно поузданих подлога, израђени модел по питању биланса подземних вода има веома добру усаглашеност са регистрованим параметрима режима подземних вода карстне издани Старе планине.

За постављање квалитетнијих прогноза ефеката климатских промена на Пиротску котлину и карстни масив Старе планине у наредном периоду морају се обезбедити квалитетнији улазни подаци. Ово се, пре свега, односи на утврђивање распореда пијезометарских нивоа на анализираном подручју, потом на обезбеђење подлога за сагледавање распрострањења водоносних стена у дубини, и обезбеђење поузданијих вредности хидрогеолошких параметара издвојених литолошких чланова.

ЛИТЕРАТУРА

- Field, M. S. (1997). Risk assessment methodology for karst aquifers: (2) Solute-transport modeling. *Environmental Monitoring and Assessment*, 47 (1) 23–37.
- Harbaugh, A. W., Banta, E. R., Hill, M. C. & McDonald, M. G. (2000). *MODFLOW-2000: The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model. User Guide to Modularization Concepts and the Ground-Water Flow Process*. U.S. Geological Survey, Report number: 00-92
- Kovacs, A. & Sauter, M. (2007). Modeling karst hydrodynamics. In N. Goldscheider, D. Drew (Eds) *Methods in Karst Hydrogeology: IAH: International Contribution to Hydrogeology*, vol 26 (pp. 201–222) London, Taylor and Francis.
- Polomčić, D. (2002). Hydrogeological System Schematization Types for Hydrodynamic Modeling (in Serbian). In Ž. Radenković (Ed.) *Proceedings of 13th Yugoslavian Symposium on Hydrogeology and Engineering Geology, Herceg Novi* (pp. 389–396). Belgrade, Faculty of Civil Engineering Montenegro and Geozavod Beograd.
- Polomčić, D. (2004). The Influence of the Space and Time Discretization on the Correctness of the Hydrodynamic Model Results (in Serbian). *Bulletin of Geoinstitute*, 39, 197–209.
- Polomčić, D., Stevanović Z., Ristić-Vakanjac V., Dokmanović P. & Milanović S. (2012). An example of groundwater modeling to predict impact of climate change and to support optimization of a new intake.

European Geosciences Union General Assembly, 22-27 April 2012.

Book of Abstracts. Vienna, Austria.

(<http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2012/EGU2012-4971-1.pdf>)

Polomčić, D., Dragišić, V. & Živanović, V. (2013). Hydrodynamic modeling of a complex karst-alluvial aquifer: case study of Prijedor Groundwater Source, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina. *Acta Carsologica*, 42 (1), 93-107. doi: 10.3986/ac.v42i1.638

Ristić-Vakanjac, V., Stevanović, Z. & Milanović, S. (2012). Water resources assessment and availability in the test areas of IPA 1 – current stage and forecast. In Z. Stevanović, V. Ristić- Vakanjac, & S. Milanović (Eds), *CCWaterS Climate Changes and Impacts on Water Supply* (pp. 133-175). Belgrade, University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Department of Hydrogeology.

Scanlon, B. R., Mace, R. E., Barrett, M. E. & Smith B. (2003). Can we simulate regional groundwater flow in a karst system using equivalent porous media models?: Case study, Barton springs Edwards aquifer, USA. *Journal of Hydrology*, 276, 137–158.

Примљено/ Received on 02.09.2014.
Прихваћено/ Accepted on 09.09.2014.

ПИРОТСКИ ЗБОРНИК, 39

Корице
Grafonin, Пирот

Превод на енглески
Милица Андоновић

УДК обрада
Драгана Благојевић

Компјутерска обрада текста
Сања Ставрић

Штампа
Smart pres, Крупац

Тираж
300

*Штампање овог броја Пиротског зборника
финансира Општина Пирот.*

CIP – Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

908(497.11)(082)

ПИРОТСКИ зборник / главни и одговорни
уредник Горан Николић. – 1968 бр. 1.-
Пирот (Бранка Радичевића 10) : Народна
библиотека Пирот, 1968- (Крупац : Smart pres)
- 24 cm

Годишње.

ISSN 0554-1956 = Пиротски зборник
COBISS.SR-ID 9513730