

Факултет: Рударско-геолошки

(Број захтева)

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
Веће научних области техничких наука
(Назив већа научних области коме се захтев упућује)

(Датум)

ЗАХТЕВ**за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији**

Молимо да, сходно члану 46. ст.5. тач. 4. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, бр.131/06), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата

Бранкице (Лазо) Мајкић, дипл. инж. геологије
(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ Бранкица (Лазо) Мајкић, дипл. инж. геологије
(име, име једног од родитеља и презиме)

пријавио је докторску дисертацију под називом:

„СТАРЕЊЕ БУНАРА У АЛУВИЈАЛНИМ СРЕДИНАМА РАЗЛИЧИТОГ СТЕПЕНА ОКСИЧНОСТИ“

Научна област: Геолошко инжењерство

Студијски програм: Хидрогеологија

Универзитет је дана 04.02.2013. године својим актом под бр. 02 Број: 06-419/23-13 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

„СТАРЕЊЕ БУНАРА У АЛУВИЈАЛНИМ СРЕДИНАМА РАЗЛИЧИТОГ СТЕПЕНА ОКСИЧНОСТИ“

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата

Бранкице (Лазо) Мајкић, дипл. инж. геологије
(име, име једног од родитеља и презиме)

образована је на седници одржаној 23.05.2013. год. , одлуком факултета под бр. 1/127 , у саставу:

Име и презиме члана комисије

звање

научна област

1. др Зоран Стевановић, ред. проф. Водоснабдевање и менаџмент подземних вода

2. др Милан Димкић, ван. проф. ван. проф. Универзитета у Новом Саду – Факултет техничких наука Инжењерство
заштите животне средине

3. др Миленко Пушић, ред. проф. Водоснабдевање и менаџмент подземних вода

4. _____

5. _____

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 20.06.2013. .

ДЕКАН
Рударско-геолошког факултета

Прилог: 1. Извештај комисије са предлогом
2. Акт Наставно-научног већа факултета о усвајању извештаја
3. Примедбе дате у току стављања извештаја на увид јавности, уколико је таквих примедба било.

Проф. др Иван Обрадовић

На основу члана 30. Закона о високом образовању, члана 117. Статута Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду и члана 27. Правилника о студирању на докторским студијама и стицању звања доктора наука, Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на својој седници одржаној 20.06.2013. године, донело је

О Д Л У К У

1. Усваја се извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације **Бранкице Мајкић**, дипл. инж. геологије, под насловом *"Старење бунара у алувијалним срединама различитог степена оксичности"*, на који није било примедба.
2. Универзитет у Београду је дана 04.02.2013. године дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.
3. Рад из научног часописа са листе која је утврђена као релевантна за вредновање научне компетенције у одређеном научном пољу:
 - Dimkić M., Pušić M., Vidović D., Isailović V., Majkić B., Filipović N. (2011.) Numerical Model Assessment of Radial-Well Ageing, ASCE's Journal of Computing in Civil Engineering, Vol. 25, No. 1, pp.43-49, January/February 2011., ISSN (print): 0887-3801, IF (2011):1.371, Publisher: American Society of Civil Engineers
4. Именована ће бранити докторску дисертацију пред комисијом у саставу: др Зоран Стевановић, ред. проф.; др Милан Димкић, ванр. проф. Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду; др Миленко Пушић, ред. проф.
5. Докторска дисертација из става 1. ове одлуке подобна је за одбрану након добијања сагласности од Већа научних области техничких наука.
6. О термину одбране благовремено се обавештава стручна служба ради обављања претходних активности.

Д Е К А Н

др Иван Обрадовић, ред. проф.

Достављено:

- Већу научних области техничких наука
- Комисији
- Именованој
- Одељењу за студентска питања

**NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU
RUDARSKO-GEOLOŠKOG FAKULTETA
UNIVERZITETA U BEOGRADU**

Odlukom Nastavno-naučnog veća RGF od 23.05.2013, određeni smo za članove Komisije za pregled i ocenu doktorske disertacije kandidata **Brankice L. Majkić**, dipl. inženjera geologije, sa odobrenom temom pod nazivom „**Starenje bunara u aluvijalnim sredinama različitog stepena oksičnosti**“.

Na osnovu pregleda doktorske disertacije Komisija podnosi Nastavno-naučnom veću Rudarsko-geološkog fakulteta sledeći

I Z V E Š T A J
o urađenoj doktorskoj disertaciji

1. UVOD

Doktorska disertacija kandidata **Brankice Majkić**, dipl. inženjera geologije, pod nazivom „**Starenje bunara u aluvijalnim sredinama različitog stepena oksičnosti**“ napisana je na 301 stranici teksta formata A4, u okviru kojih je prikazano 117 slika i dijagrama, kao i 34 tabele. Spisak literature sadrži ukupno 227 korišćenih bibliografskih jedinica. Pored navedenog, disertacija u apendiksu sadrži još 5 većih grafičkih priloga – dve geološke i tri hidrogeološke karte područja koja su bila predmet analize. Disertacija je podeljena u 8 poglavlja. Priložen je i abstrakt rada na srpskom i engleskom jeziku, lista korišćenih skraćenica, biografija autora i 3 priloga.

Hronologija odobravanja teme disertacije:

Kandidatkinja je upisana na doktorske studije u školskoj 2007/08 u prvoj generaciji studenata na Departmanu za hidrogeologiju koji su studirali po novom programu usklađenim sa „bolonjskim“ principima. Na doktorskim studijama položila je sve Statutom i nastavnim planom predviđene ispite sa prosečnom ocenom 9.93. Zvanični predlog teme za izradu disertacije podnela je tokom novembra meseca 2012, mada se za predmetnu oblast i područje istraživanja opredelila još tokom izrade seminarskih radova na doktorskim studijama. Odlukom Nastavno-naučnog veća RGF određena je Komisija za ocenu podobnosti teme i kandidata u čijem su sastavu bili isti članovi kao i za izradu ovog izveštaja. Pozitivan izveštaj komisije od usvojen je na sednicama NNV RGF, a zatim i od strane Veća tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu (br 06-419/23-13 od 04.02.2013. godine). Za mentore su određeni prof dr Zoran Stevanović i prof dr Milan Dimkić.

Kandidatkinja je rad na izradi teze okončala aprila 2013. i NNV RGF je na svojoj sednici održanoj 23.05.2013, imenovalo Komisiju za pregled i ocenu doktorske disertacije koju čine potpisnici ovog Izveštaja.

Mesto disertacije u sistemu naučnih oblasti:

Disertacija po svom sadržaju pripada tehničkim naukama i naučnoj oblasti Geološko inženjerstvo. Uža tematska oblast je hidrogeologija (vodosnabdevanje i menadžment podzemnih voda), a dva specijalistička segmenta kojima se disertacija bavi su hidrogeologija aluvijalnih sredina (otvorenih hidrogeoloških struktura) i problemi eksploatacije podzemnih voda usled starenja bunara izazvani prevashodno kolmiranjem bunarskih filtera i prifiltarske zone.

Biografski podaci o kandidatu:

Brankica Majkić (udato Majkić – Dursun) rođena je 29. aprila 1980. godine u Kikindi. Prirodno-matematički smer gimnazije završila je u Kikindi 1999. godine. Diplomirala je na Rudarsko-Geološkom fakultetu u Beogradu sa prosečnom ocenom 9,15 na Smeru za hidrogeologiju, u junu 2005. Tokom studiranja u dva mandata birana je za studenta prodekana Rudarsko-Geološkog fakulteta (2002-2005), godine. Bila je član Veća studenata prodekana BU 2003-2005 godine; član Komisije Rektorata BU za izradu Zakona o studentskom organizovanju – 2003 godine; Član Radne grupe za reformu visokog obrazovanja 2003.-2005; Član Saveta Beogradskog Univerziteta, predstavnik studenata 2003-2004; Član Stalne komisije Beogradskog Univerziteta za zadužbine, fondacije i fondove 2004 godine; Član Saveta Rudarsko-Geološkog fakulteta u periodu 2004-2005 godine.

Učestvovala je u nastavi osnovnih studija Rudarsko-Geološkog fakulteta kao saradnik na predmetu Opšta hidrologija – školske 2008-09. godine.

Oktobra 2007. godine upisala je Doktorske studije iz oblasti Hidrogeologije na Rudarsko-geološkom fakultetu u Beogradu. U periodu od 2007-2012. usavršavala se i na Water Resources Institute, Bratislava, Slovačka; pohađala je kurs GISDATA Zagreb i kurs za upravljanje IPA projektima na Institutu za evropsku diplomatiju.

Nakon diplomiranja, tokom 2005. zaposlila se u Institutu za vodoprivredu “Jaroslav Černi” u Zavodu za naučno-istraživački rad i informatiku, gde i sada radi na naučnim i stručnim projektima vezanim za hidrogeologiju, hidrologiju, bilans površinskih i podzemnih voda i klimatske promene. Izabrana je u zvanje istraživač-saradnik.

Član je Internacionalne asocijacije hidrogeologa (IAH), Srpskog društva za zaštitu voda, Evropskog udruženja za Geonauke (European Geosciences Union, EGU) i Geological Society of America (GSA). Učestvovala je na brojnim domaćim i međunarodnim naučnim skupovima, na kojima je izlagala naučne radove iz oblasti hidrogeologije i hidrologije.

U okviru svoje naučno-istraživačke delatnosti učesnik je sledećih međunarodnih projekata: „Integrated water Management in the Nadela river basin“, 2006–2007 godine, koji su realizivale Vojvođanska Akademija Nauka i Umetnosti - VANU i Water Resources Institute, Bratislava (projekat finansiran iz fonda Bratislava – Belgrade), WMISS - „Uvođenje Vodoprivrednog informacionog sistema u Republici Srbiji“, koji su realizovale EPTISA International, DHI i

Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ 2007. – 2008. godine, a koji je finansiran sredstvima Evropskog fonda za rekonstrukciju EAR, kao i projekta „CC –WaterS“ - Climate Change and Impact on Water Supply, koji su realizovali Rudarsko-Geološki fakultet i Institut „Jaroslav Černi“ uz partnerske institucije iz EU. Ovaj projekat finansiran je iz IPA Fonda u periodu 2009-2012.

Učesnik je sledećih naučnih projekata finansiranih od strane Ministarstva prosvete i nauke: Projekta tehnološkog razvoja TR 22014 – „Uticaj stepena aerobnosti na zaštitu i korišćenje podzemnih voda u intergranularno poroznim sredinama u Srbiji“, (period realizacije 2008.-2010.), Tehnološki projekat TU 22005 – „Proučavanje ekstremnih hidroloških situacija – poplave i suše u Srbiji“ (period realizacije 2008.-2010.), projekta TR37005 – „Ocena uticaja klimatskih promena na vodne resurse Srbije“ (realizacija u toku) i projekta TR37014 - Metodologija ocene, projektovanja i održavanja izvorišta podzemnih voda u aluvijalnim sredinama u zavisnosti od stepena aerobnosti (realizacija u toku).

Takođe, učestvovala je u izradi većeg studija i istraživačkih projekata, u okviru posla kojim se bavi u Institutu za vodoprivredu „Jaroslav Černi“. Kao odgovorni obrađivač učestvovala je u projektu usko vezanim za temu doktorske disertacije „Starenje bunara i održavanje objekata“ (2010-2013.) koji je finansiralo Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede – Republička direkcija za vode. Pored ovog projekta radi na izradi geoloških, hidrogeoloških i klimatoloških podloga koji se koriste u privrednim i naučno-istraživačkim projektima.

2. OPIS DOKTORSKE DISERTACIJE

Disertacija je podeljena u osam poglavlja, sa prikazom glavnih podtema u sklopu realizovanih istraživanja kandidata. Prva četiri poglavlja predstavljaju opšti deo, dok su naredna uže specijalistička, vezana za dobijene konkretne rezultate i njihovo tumačenje.

Prvo, uvodno poglavlje ukratko daje uvid u značaj aluvijalnih sredina za vodosnabdevanje u Srbiji i objašnjava značaj istraživanja stepena oksičnosti sredine sa aspekta kolmiranja bunara. U uvodnom poglavlju dato je kratko obrazloženje procesa koji dovode do starenja bunara i nastalih posledica. U okviru ovog poglavlja definisani su i osnovni pojmovi koji se koriste u daljem tekstu same disertacije.

Drugo poglavlje predstavlja pregled glavne literature koja je korišćena u radu kandidata, kao i istorijski pregled istraživanja u predmetnoj oblasti u svetu i kod nas. Navedena literatura samo je deo publikovanih rezultata obzirom da razvoj različitih metoda, širenje dostupnosti tehnika i uređaja koji se koriste za ovu vrstu ispitivanja kako u laboratorijama tako i na terenu, uslovljavaju da je broj objavljenih radova u svetu sa ovom tematikom, izuzetno veliki.

Treće poglavlje obuhvata primenjene metode i primenjenu koncepciju istraživanja. Kroz algoritamske prikaze predstavljeni su koraci u sprovedenim istraživanjima i njihove međusobne veze. Multidisciplinarni pristup problematici uslovio je primenu različitih terenskih i laboratorijskih postupaka. U okviru ove celine dat je prikaz metoda i postupaka koji su primenjeni tokom istraživačkog rada. Izdvojene su i detaljno opisane:

1. Laboratorijske metode (metode ispitivanja hemijskog sastava podzemnih voda, mikrobiološke metode ispitivanja BART testovima, metoda skenirajuće elektronske

mikroskopije sa EDS-om, metoda ispitivanja difrakcijom x-zracima, fluorescencija x-zracima);

2. Terenske metode istraživanja: bušenje bliskih piježometara, metoda snimanja podvodnom kamerom, *in situ* merenja multiparametarskim sondama, merenja izdašnosti bunara hidrometrijskim krilom.

Četvrto poglavlje obuhvata prikaz geoloških, hidrogeoloških, hidroloških i klimatskih karakteristika odabranih test područja. Kratkim uvodom u poglavlje opisani su razlozi odabira konkretnih izvorišta, odnosno drenažnog sistema, na kojima je sprovedeno ispitivanje procesa starenja objekata i data ocena stepena oksičnosti sredine. Aluvijalne izdani, koje su primarno ispitivane, prihranjuju se infiltracijom padavina i rečnih voda, te je u okviru ovog poglavlja data analiza hidrometeoroloških uslova vezanih za odabrana tri područja istraživanja: dva u aluvijonu Velike Morave (Trnovče, Ključ) i jedno u aluvijonu Dunava (Kovin-Dubovac). Kandidatkinja je detaljno prikazala uslove uzorkovanja podzemnih voda za hemijsko-mikrobiološke analize i period kada je praćen režim rada bunara. Dve sušne godine značajno su uticale na izdašnosti ispitivanih bunara, ali su istovremeno omogućile da se u radu prezentiraju uočene razlike u stepenu oksičnosti sredine tokom hidrološki veoma vodne (2010. godina) i hidrološki sušnih godina (2011./2012. godina). U ovom poglavlju analizirana je i hidraulička veza reke i izdani koja je bitan preduslov za popunjavanje rezervi podzemnih voda. Posledice prekomernog bagerovanja šljunka i peska, u slivu Velike Morave i njihov uticaj na smanjeno prihranjivanje izdani iz reke, takođe su opisane u okviru ovog poglavlja. Geološka sredina, mineraloško-petrološki sastav vodonosnog sloja, povlate i podine, utiču na hidrohemijske karakteristike podzemnih voda. Sa tog aspekta detaljno su razmatrane geološke karakteristike u užoj i široj zoni analiziranih izvorišta. Za svako izvorište opisane su hidrogeološke karakteristike, a zatim je dat prikaz istorijata razvoja izvorišta, odnosno drenažnog sistema. Za bunare, koji su odabrani za ocenu brzine procesa starenja, date su karakteristike ugrađenih elemenata i dubine bunara.

Peto poglavlje obuhvata analize i rezultate kojima je određen stepen oksičnosti sredine. Na osnovu rezultata hemijskih analiza podzemnih voda i selekcije hemijskih parametara (pH, t, Eh, O_2 , NO_3^- , Mn(IV), Fe(II), Fe_{tot} , SO_4^{2-} , H_2S) izvršeno je definisanje preovlađujućih redoks procesa, a zatim je postupak dopunjen rezultatima mikrobioloških analiza gvoždevitih, sulfato-redukujućih, heterotrofnih i sluz-produkujućih bakterija. Kroz povezivanje dobijenih rezultata, u ovom poglavlju utvrđen je stepen oksičnosti sredine pojedinačno za svaki bunar i na kraju, za sva tri područja istraživanja. Na kraju ovog poglavlja, kandidatkinja je kroz diskusiju dobijenih rezultata, omogućila uvod u naredna poglavlja u kojima se bavi rezultatima istraživanja brzine hemijskog taloženja i vrste taloga koji se javlja u plitkim bunarima u aluvijalnim sredinama.

U okviru šestog poglavlja kandidatkinja detaljno razmatra rezultate analize bunarskih taloga. Poglavlje je započeto opisom vrsta kolmiranja (mehaničko, hemijsko i biohemijsko). Nakon uvoda u moguće vrste kolmiranja, detaljno su prikazani rezultati hemijsko-kristalografskih analiza. Kandidatkinja je sprovedla analize uzoraka, reprezenata različitih hidro-geohemijskih sredina, i radi komparacije obezbedila i dodatne uzorke sa još dve lokacije u aluvijalnim sredinama. Snimljeni bunari podvodnom kamerom na području Kovin-Dubovca nisu pokazali postojanje naslaga na filterskim konstrukcijama. Da bi se ispitale vrste taloga koje se formiraju u anoksičnim sredinama kandidatkinja je dodatno analizirala uzorke taloga iz drenova odabranih bunara beogradskog izvorišta i jedan talog iz bunara sa područja aluvijona Tisa (Knićanin-Čenta). Dobijene rezultate koristila je za upoređivanje sa talozima uzetim iz izlivne cevi drenažnog bunara Kovin-Dubovac odnosno sa talozima uzorkovanim iz bunara sa izvorišta

Trnovče. Za područje izvorišta Trnovče, na kome je kolmiranje izuzetno brzo, detaljno je analiziran proces taloženja: izračunata je brzina homogene hemijske oksidacije gvožđa pri trenutnim uslovima eksploatacije. Dobijene rezultate kandidatkinja je povezala sa rezultatima dobijenim prikazanim u petom poglavlju u kome je definisan stepen oksičnosti sredine. Na bunarima izvorišta Trnovče, koji imaju izražen problem sa kolmiranjem (za razliku od izvorišta Ključ), analizirane su promene izdašnosti u vremenu i efekti do sada primenjenih fizičko-hemijskih regeneracija bunara.

Sedmo poglavlje odnosi se na hidrauličke parametre koji pokazuju proces starenja bunara, izražen kroz lokalni hidraulički gubitak i njegovu promenu u vremenu. Kao osnovu za upoređivanje dobijenih rezultata za sračunate lokalne hidrauličke gubitke i njihovu kinetiku za bunare na Trnovču, Ključu i području Kovin-Dubovac, kandidatkinja koristi rezultate dobijene na odabranim bunarima beogradskog izvorišta. Ovim postupkom dodatno verifikuje i kalibriše uspostavljenu metodologiju. Na osnovu dobijenih rezultata o lokalnim hidrauličkim gubicima, daje doprinos dodatnim kriterijumima za dozvoljene ulazne brzine u bunare u zavisnosti od hidrohemijskih karakteristika podzemne vode i intenziteta parazitskih gubitaka. Za područja ispitivanja definisane su dozvoljene ulazne brzine u odabrane bunare, što je značajno kako sa aspekta obezbeđenja filtracione stabilnosti, tako i sa aspekta stepena oksičnosti sredine.

Poslednje poglavlje teze predstavljaju zaključci izvedeni na osnovu sinteze svih dobijenih rezultata. Tekstualni deo disertacije završava se spisom korišćenih literaturnih izvora. U appendeksu kandidatkinja je priložila pet izrađenih većih grafičkih priloga, i to: 1. Geološku kartu šireg područja Trnovča i Ključa, 2. Hidrogeološku kartu Trnovča, 3. Hidrogeološku kartu Ključa, 4. Geološku kartu područja Kovin-Dubovac i 5. Hidrogeološku kartu Kovin-Dubovac.

3. OCENA DOKTORSKE DISERTACIJE

Aktuelnost, originalnost i značaj:

Značaj istraživanja vezanih za eksploataciju voda iz aluvijalnih izdani ogleda se u činjenici da se za vodosnabdevanje u Srbiji dominantno koriste podzemne vode aluvijalnih izdani. Prema podacima *Vodoprivredne osnove Srbije* ukoliko se posmatraju potencijalne količine voda za vodosnabdevanje 2/3 ovih voda nalazi se u aluvijalnim izdanima. S druge strane, starenje bunara problem je koji redovno prati eksploataciju podzemnih voda u aluvijalnim intergranularnim sredinama. Ovaj proces utiče ne samo na smanjenje količine zahvaćenih voda već ima i značajne ekonomske posledice, koja se ogledaju pre svega u sredstvima potrebnim za investicione i za troškove održavanja vodozahvatnih objekata. Starenje bunara uzrokuje još jedan problem koji se ogleda u širenju izvorišta, neophodnom da bi se obezbedile dodatne količine vode. Nove lokacije bunara mogu uticati na privlačenje zagađenja iz zaleđa, zauzimanje dodatnih površina koje mogu biti u koliziji sa urbanističkim planovima, „ulaz“ u zone inundacije uključujući moguće povremeno plavljenje objekata. Disertacija je ukazala da bi se vode aluvijalnih izdani racionalno koristile, vek trajanja objekata produžio i smanjili troškovi održavanja postojećih izvorišta, poseban značaj ima istraživanje uticaja raličitih redoks kategorija podzemnih voda na procese koji dovode do starenja bunara.

Istraživanja oksičnosti sredine i uticaja hidrogeohemijskih i mikrobioloških karakteristika na brzinu kolmiranja bunara kod nas su započeta istraživanjima od strane Instituta za vodoprivredu

„Jaroslav Černi“, pod rukovodstvom prof. Dr Milana Dimkića. Višegodišnjim istraživanjima na beogradskom izvoristu podzemnih voda (od 2004. godine), problemi kolmiranja bunara i smanjenja izdašnosti objekata analizirani su sa multidisciplinarnog aspekta koji uključuje primenu geoloških, hidrogeoloških, hidroloških, hidrohemijskih i mikrobioloških metoda sa ciljem da se proces detaljno prouči i minimizira.

Brankica Majkić se istraživanjem procesa starenja bunara aktivno bavi od 2008. godine, u okvirima stručnih i naučnih projekata u Institutu za vodoprivredu „Jaroslav Černi“. U svom istraživačkom radu koristi savremene metode i postupke kojima analizira procese koji dovode do opadanja izdašnosti bunara. Paralelno radi na terenu vršeći uzorkovanja podzemnih voda, merenja i snimanja bunara i u laboratoriji vršeći analize uzetih uzoraka taloga. U interpretaciji rezultata koristi sve dostupne ulazne podatke analize hemijskog sastava voda i mikrobiološke podatke dobijene na osnovu praćenja BART testova, podatke terenskih merenja i analiza taloga najsavremenijim uređajima u Srbiji, da bi izvršila konačno određivanje stepena oksičnosti sredine i povezala ga sa procesima starenja bunara. Ovakav multidisciplinarni pristup zahtevao je da kandidatkinja tokom rada na tezi stečena znanja poveže i proširi sa novim iz drugih naučnih oblasti mikrobiologije, hemije i kristalografije.

Ova disertacija jedna je od prvih kod nas koje se bave problematikom veze između hidrogeohemijskih karakteristika aluvijalnih sredina (stepena oksičnosti) i procesa kolmiranja bunara. Aktuelnost teze ogleda se u tome da se ovom problemu pristupa sa posebnom pažnjom i u svetu naročito u poslednje dve decenije. Veći pomak u ovoj oblasti javlja se poslednjih petnaestak godina, pre svega u Nemačkoj i Americi. Kandidatkinja u svojoj tezi dopunjuje postavljene metodološke koncepte primenom najnovijih svetskih iskustava iz ove problematike. Njen multidisciplinarni prilaz problemu obuhvatio je primenu savremenih postupaka i metoda za analizu hemijsko-mikrobiološkog sastava podzemne vode, mineraloško-hemijskog sastava formiranih inkrustracija i određivanje dozvoljenih ulaznih brzina podzemne vode u bunare.

Kroz izvršene analize i njihovo tumačenje kandidatkinja daje originalne rezultate vezane za vrste minerala koji čine neorganski deo inkrustracija, brzinu njihovog formiranja i uslova u kojima se stvaraju. Vezujući rezultate dobijene za taloge u bunarima sa hidrohemijskim uslovima u podzemnoj sredini i brzinom ulaska vode u zonu bunarskog filtra B. Majkić daje doprinos utvrđivanju nastanka taloga u bunarima koji smanjuju njihovu produktivnost i dovode do problema u eksploataciji.

Sama tematika, određivanja brzine kolmiranja i vrsta taloga u zavisnosti od stepena oksičnosti sredine, privlači hidrogeologe obzirom da ima veliki praktični značaj i primenu. U tom smislu prikazani koncepti za utvrđivanje starenja bunara, razvijene metode i dobijeni rezultati pružaju dragocena iskustva svima koji se ili će se baviti problemima starenja bunara i vodosnabdevanja uopšte.

Dobijeni rezultati omogućavaju da se za analizirana izvorišta odrede nabolje metode regeneracije bunara u zavisnosti od vrste taloga i stepena kristalizacije, da se minimiziraju procesi kolmiranja bunara kroz definisane dozvoljene ulazne brzine i da se ocene pogodne lokacije za proširenje postojećih izvorišta koja su ispitivana u radu.

Kroz sam rad kandidatkinja pruža veliki doprinos hidrogeologiji aluvijalnih sredina na međunarodnom planu. Pored toga, dobijeni rezultati i stečena saznanja predstavljaju doprinos poznavanju procesa kolmiranja u aluvijalnim sredinama u Srbiji.

Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu:

Autorka disertacije u spisku na kraju rada navodi 227 referenci, uključujući i značajan broj studija, projekata i elaborata (fondovska dokumentacija) kao i web stranice koje je koristila pri radu.

Najznačajnije reference se odnose na fondovske studije i elaborate, urađene u okviru stručnih (2005 – 2010) i naučnih projekata (2008 –) u Institutu za vodoprivredu „Jaroslav Černi, pod rukovodstvom prof. M. Dimkića, koje su poslužile kao baza za izradu ove disertacije.

Sledi domaća literatura koja se bavi specifičnim problemima, ili karakteristikama konkretnih ispitivanih izvorišta.

Treću grupu radova predstavljaju radovi naših autora, koji se bave sličnom problematikom i objavljeni su u časopisima sa SCI liste, ili na međunarodnim skupovima.

Najveći broj literaturnih jedinica odnosi se na inostrane radove, koji su teorijskog karaktera, ili obrađuju problematiku formiranja taloga u bunarima putem laboratorijskih analiza i eksperimenata, odnosno bave se ispitivanjem uslova oksičnosti u zavisnosti od geohemijskih karakteristika sredina.

U spisku literature navode se sve važnije i referentne bibliografske jedinice za tematiku kojom se kandidatkinja bavi.

Analiza primenjenih naučnih metoda:

Izrađena doktorska disertacija prva je ove vrste na Beogradskom Univerzitetu u oblasti geologije i hidrogeologije aluvijalnih sredina, u čijoj su osnovi analize bazirane na određivanju stepena oksičnosti sredine i njihovoj vezi sa procesima starenja vodozahvata.

Brankica Majkić je odabrala logičan koncept rada na disertaciji koji je uključio većinu osnovnih naučnih metodskih postupaka. Obimna tema doktorske disertacije zahtevala je razvoj pojedinačnih postupaka za određivanje stepena oksičnosti sredine, potom razvoja koncepta po kome će se vršiti analiza formiranih taloga u bunarima i koncepta kojim se definišu lokalni hidarulički gubici i njihova kinetika, odnosno određuju dozvoljene ulazne brzine. Ovi raznovrsni koncepti sjedinjuju se u originalni prilaz izučavanju procesa kolmiranja bunara u aluvijalnim sredinama.

Kandidatkinja je u trećem poglavlju detaljno opisala metode korišćene u doktorskoj disertaciji. Obzirom da je tema multidisciplinarnog karaktera, u okviru posebnog poglavlja izloženi su primenjeni postupci. Ovo poglavlje obuhvata laboratorijske metode: hemijske analize podzemnih voda, mikrobiološku metodu primene BART testova sa detaljnim prikazom korišćenja 4 vrste komercijalnih testova kojima se utvrđuju grupe bakterija (gvožđevite, sulfato-redukujuće, heterotrofne i sluz-produkujuće bakterije), kao i laboratorijske metode sa postupcima pripreme

uzoraka taloga za hemijske i kristalografske analize (SEM-EDS metodu, XRF metodu, XRPD metodu). U okviru istog poglavlja detaljno je obrazložila primenjene terenske metode: *in situ* merenja hemijskih parametara multiparametrskim sondama, merenja nivoa i izdašnosti bunara i snimanja stanja unutrašnjosti bunara.

Složena koncepcija za utvrđivanje kako karakteristika izdani, tako s druge strane, kvantifikacija procesa starenja, zahtevala je postupan prilaz istraživanjima problema kolmiranja bunara:

- U početnom koraku Brankica Majkić je definisala hemijske parametre na osnovu kojih je korišćenjem softvera *An Excel Workbook for Identifying Redox Processes in Ground Water* v 1.0, razvijenog od strane USGS-a, preliminarno definisala stepen oksičnosti sredine. U narednom koraku modifikovala je i dopunila primenjenu metodologiju rezultatima BART testova koji su omogućili preciznije sagledavanje stepena oksičnosti sredine. Postojeću metodologiju USGS-a unapredila je korišćenjem pokazatelja mikrobiološke aktivnosti u bunarima, pri čemu je za četiri gore navedene grupe bakterija izvršila podelu prema uslovima oksičnosti sredine u kojima se one javljaju. Ovaj kombinovani metod prvi put je primenjen kod nas, a predstavlja i dopunu za postojeće metodologije dosada primenjivane u svetu.

- U narednom koraku kandidatkinja je savremenim dostupnim tehnikama analizirala taloge uzete iz bunara sa lokacija Trnovče i Kovin i dopunila ih uzorcima sa dve dodatne lokacije u aluvijonu Save i Tise (uzorci sa beogradskog izvorišta i područja naselja Knićanin-Čenta) kako bi definisala što veći broj minerala koji učestvuju u talozima u bunarima. Dobijene rezultate uporedila je sa prethodno definisanim stepenom oksičnosti sredine izводеći zaključke koje vrste minerala i kog su stepena kristalizacije nastaju u bunarima koji kaptiraju aluvijalne sredine. Takođe je analizirala vrste bakterija u talozima formiranim u bunarima izvorišta Trnovče, koji su karakteristični po formiranju redoks fronta.

- U sledećem koraku detaljno je razmatrala i proračunala brzinu formiranja bunarskih taloga na bunarima Trnovča nastalih kao posledica mešanja oksičnih i anoksičnih voda. Za ovu specifičnu lokaciju izvršila je analizu opadanja kapaciteta bunara od njihovog puštanja u rad i analizu do sada primenjenih mera fizičko-hemijskih regeneracija.

- Nakon izvršenih analiza vezanih za stepen oksičnosti sredine i taloge, kandidatkinja je primenila metodu razvijenu na beogradskom izvorištu podzemnih voda za proračun lokalnih hidrauličkih gubitaka i njihovu promenu u vremenu (KLHR). Dobijene rezultate sa tri odabrana područja istraživanja: izvorišta Trnovče i Ključ i drenažnog sistema Kovin-Dubovac, kandidatkinja je uporedila sa odabranim bunarima sa horizontalnim drenovima na beogradskom izvorištu podzemnih voda, za koje je ova metoda bila i kreirana. Kroz rad na ovoj tezi kandidatkinja je verifikovala metodu za određivanje LHR-a i primenila je na bunarima drugačijih konstrukcija (vertikalni bunari).

- Dobijene rezultate vezane za promenljiv deo parazitskih gubitaka nastalih usled kolmiranja filtra i prifiltarske zone bunara (starenja bunara), kandidatkinja je koristila u poslednjem koraku za definisanje dozvoljenog godišnjeg porasta depresije između bunara i bliskog pijezometra, a zatim je odredila dozvoljene ulazne brzine u bunare. Razmatrajući dopunske kriterijume, definisane istraživanjima na beogradskom izvorištu, svojim rezultatima je B. Majkić dala doprinos novijem sagledavanju hidrogeoloških, hidrohemijskih i mikrobioloških uslova koji vladaju u poroznoj sredini, a koji su u vezi sa dozvoljenim ulaznim brzinama u bunare, sve sa

ciljem da se proces kolmiranja bunara uspori. Na ovaj način je dala doprinos metodologiji utvrđivanja kriterijuma za definisanje dozvoljenih ulaznih brzina u bunare, koja, za razliku od do sada primenjivanog pristupa (koji sagledava samo aspekt filtracione stabilnosti), uključuje i procese starenja bunara.

- Kroz odabir različitih aluvijalnih sredina prema stepenu oksičnosti (jedne visoko oksične, jedne anoksične i jedne sredine karakteristične po pojavi redoks fronta) kandidatkinja je izvršila proveru postavljenog istraživačkog koncepta. Dodatnim analiziranjem taloga iz bunara koji kaptiraju aluvijon Save i Tise obezbedila je širi uvid u raznovrsne hemijsko-mikrobiološke uslove koji dovode do formiranja inkrustracija u plitkim bunarima. Kandidatkinja je vršila provere dobijenih rezultata obuhvatajući različite hidrološke uslove, različite režime rada bunara i različite periode godine, kako bi pouzdano ocenila faktore koji dovode do opadanja izdašnosti vodozahvatnih objekata.

Drugi vid provere dobijenih rezultata vezanih za hidrauličke analize vršila je kroz upoređenje dobijenih vrednosti sa podacima sa odabranih bunara beogradskog izvorišta podzemnih voda koji su prethodno publikovani. Na ovaj način dala je kritički osvrt na mogućnost primene metode za određivanje LHR i KLHR na drugim sličnim izvorištima u Srbiji.

Postavljene metode podrazumevaju dakle multidisciplinarno terensko, laboratorijsko i kabinetsko istraživanje koje se sprovodi kroz određene procedure sa krajnjim ciljem da se definiše brzina starenja vodozahvatnih objekata i koliko je moguće minimizira proces kolmiranja bunara.

Ocena primenljivosti i verifikacije ostvarenih rezultata:

Podzemne vode su izuzetno značajan resurs voda za vodosnabdevanje. Na osnovu podatka Vodoprivredne osnove Republike Srbije (2001) ukupno zahvatanje podzemnih voda na teritoriji države iznosi oko 23 m³/s. Geološka građa teritorije Republike Srbije uslovlila je formiranje i egzistenciju značajnih rezervi podzemnih voda. Kvalitet i kvantitet podzemnih voda varira u izuzetno širokim granicama. Činjenica je da je procenat zahvaćenih voda iz aluvijona veći od zahvatanja voda iz ostalih vodonosnih sredina. Procenjene količine podzemnih voda u aluvijalnim sredinama iznose 43,79 m³/s, što iznosi 65,23% ukupno procenjenih prirodnih rezervi podzemnih voda. Ove činjenice bile su od presudnog značaja za odabir lokacija istraživanja kandidatkinje. Odabrana su dva regionalna izvorišta vodosnabdevanja u slivu Velike Morave (Trnovče i Ključ), odnosno drenažni sistem Kovin-Dubovac koji je rezervisan Vodoprivrednom osnovom iz 2001. godine za formiranje budućeg regionalnog izvorišta za vodosnabdevanje Banata (Zrenjanin, Kikinda i druga naselja). Kandidatkinja je odabirom ovih lokacija, vodila računa da obuhvati širi dijapazon hidrobiogeohemijskih uslova na kojima će ispitati procese starenja bunara u različitim uslovima oksičnosti.

Dobijeni rezultati iz različitih hidrogeohemijskih sredina i njihovo poređenje sa rezultatima obimnih istraživanjima sprovedenih na beogradskom izvorištu podzemnih voda predstavljaju verifikaciju pomenutih metoda i postupaka za utvrđivanje brzine starenja bunara. Upoređenjem dobijenih rezultata kandidatkinje sa publikovanim rezultatima inostranih autora (poređenje sa dobijenim vrednostima brzine homogene hemijske oksidacije u uslovima eksploatacionog režima rada bunara Applina i Zhao; poređenjem rezultata analiza taloga sprovedenih od strane Houben-a

i Treskatisa) kandidatkinja dodatno verifikuje dobijene rezultate za bunare u aluvijonima većih reka u Srbiji.

Značaj dobijenih rezultata u određivanju stepena oksidnosti može imati primenu i u domenu zaštite podzemnih voda obzirom da se procesi transformacija kvaliteta vode na putu od reke do izdani odvijaju različito, u zavisnosti od toga da li je sredina oksidna ili anoksična.

Značaj dobijenih rezultata vezanih za formiranje taloga u bunarima odnosi se na primenu konkretnih mera regeneracije na svakom izvoru. Dobijena saznanja smanjuju greške pri određivanju potrebnih hemijskih sredstava za regeneraciju i povećavaju efekte ovog postupka. Na ovaj način vrši se i ušteda sredstava neophodnih za operaciju koja treba da obezbedi povećanje izdašnosti bunara. Dobijeni rezultati imaju i naučni značaj obzirom da su prvi put u Srbiji analizirani bunarski talozi kompleksnim postupkom što je omogućilo i nova saznanja o karakteru, formi i sastavu izučavanih inkrustracija.

Primenom navedenih metoda za proračun lokalnih hidrauličkih gubitaka i dozvoljenih ulaznih brzina, vodovodima se pruža mogućnost da u skladu sa raspoloživim sredstvima planiraju najbolji momenat za primenu regeneracija, da odrede broj drenova koji se mogu ugraditi da bi se dobile optimalne količine voda, da planiraju potreban broj bunara za dobijanje zadovoljavajućih količina vode, kao i da izdašnosti bunara u radu prilagode uslovima sredine kako bi usporili procese njihovog starenja.

Obzirom da javna komunalna preduzeća izdvajaju značajna sredstva za održavanje postojećih bunara kao i za bušenje novih objekata i ugradnju novih drenova, rezultati ove teze mogu da potpomognu optimalno i integralno upravljanje podzemnim vodama.

Ocena sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad:

Brankica L. Majkić već je afirmisana kao istraživač sa 31 objavljenim naučnim i stručnim radom. Od posebnog značaja su sledeći radovi kandidatkinje vezani za temu doktorske disertacije, koji su objavljeni u časopisima i na konferencijama:

Rad u časopisu sa SCI liste:

Dimkić M., Pušić M., Vidović D., Isailović V., **Majkić B.**, Filipović N. (2011.) ***Numerical Model Assessment of Radial-Well Ageing***, ASCE's Journal of Computing in Civil Engineering, Vol. 25, No. 1, pp. 43-49, January/February 2011., ISSN (print): 0887-3801, **IF (2011): 1.371**, Publisher: American Society of Civil Engineers

Domaća monografija:

Miloradov M., Prohaska S., Soro A., Majkić B., Đurić D. (2008.): ***Metodologija za izradu vodoprivrednog bilansa Vojvodine***, Izdavač monografije: Vojvođanska akademija nauka i umetnosti, Novi Sad, 248 st., 2008.

Ostali objavljeni radovi kandidata vezani za temu disertacije:

Dimkić M., Pušić M., Majkić-Dursun B., Obradović V. (2011.): ***Certain Implications of Oxidic Conditions in Alluvial Groundwater***, Journal of Serbian Water Pollution Control Society „Water Research and Management“, ISSN 2217-5237, Vol. 1, No. 2, p. 27-43, 2011.

Majkić-Dursun B., Radanović J., Vojt P. (2011.) ***Measurement of Characteristic Parameters of Wells Related With Its Aging***, 1st Danube - Black Sea Regional Young Water Professionals Conference „Innovations in the Field of Water Supply, Sanitation and Water Quality“, 14-15 June 2011, Bucharest, Romania, str. 20-26, 2011.

Dimkić M., Pušić M., Majkić-Dursun B., Obradović V. (2011.) ***Implications of Oxidic Conditions in Alluvial Groundwater***, IWA Specialist Groundwater Conference, 08-10 September 2011, Belgrade, Serbia, ISBN 978-86-82565-31-4, p. 15-30, 2011.

Majkić-Dursun B., Popović Lj., Miolski D., Anđelković O. (2012.) ***Efekti promene režima podzemnih voda na izvoru „Trnovče“ u periodu 2010-2011.***, 14. srpski simpozijum o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, 17.-20. maj 2012., Zlatibor, ISBN 978-86-7352-236-4, str. 87-91, 2012.

Obradović V., Majkić-Dursun B., Petković A., Dimkić M. (2012.) ***Prilog poznavanju prirode okera i pridruženih taloga***, 41. konferencija o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda “VODA 2012“, 5.-7. jun 2012., Divčibare, Izdavač: Srpsko društvo za zaštitu voda, ISBN 978-86-904241-9-1, str. 359-364, 2012.

Majkić- Dursun B., Popović Lj., Miolski D., Anđelković O. (2012). ***Effects of groundwater level declining on well ageing processes at 'Trnovče' water supply source***, Vodoprivreda 2012, vol. 44, iss. 4-6, pp. 181-187

* * *

Brankica L. Majkić jedna je od najperspektivnijih i veoma vrednih mladih naučnih radnika i treća koja je završila svoje studije na Rudarsko – Geološkom fakultetu po novom, akreditovanom programu doktorskih studija u naučnoj oblasti Hidrogeologija na RGF, i izradila doktorsku disertaciju. Kandidatkinja ima izuzetne predispozicije za praktični istraživački i naučni rad, koji će se i nadalje nadograđivati posebno u delu koji se tiče potrebne sistematizacije prikupljenih saznanja i njihove interpretacije naučnim metodama.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa:

Odabrani istraživački koncept, razvijene metode i dobijeni rezultati imaju značajan naučni doprinos koji se ogleda u interdisciplinarnom pristupu problemu starenja bunara. Ova teza prva je ovakvog tipa kod nas, pre svega zbog povezivanja hidrogeoloških karakteristika sredine sa hemijskim i mikrobiološkim karakteristikama, u cilju razumevanja procesa taloženja na filtrima bunara i prifilterskoj zoni. Rezultati teze predstavljaju originalan i nov pristup ovom problemu kod nas. Rad B. Majkić doprineo je razumevanju procesa koji dovode do opadanja kapaciteta

vodozahvata odnosno koji se odvijaju u podzemnoj sredini, neposrednoj blizini bunara u eksploataciji, kao i samim vodozahvatnim objektima.

Metodologija koja je razvijena kroz postupak izrade doktorske disertacije sa teorijskog aspekta ima značaj za buduća naučna istraživanja vezana za problematiku starenja bunara u sličnim uslovima.

Veze koje je kandidatkinja obradila između hemijskih parametara sredine i zavisnih bakterijskih grupa, dopunjuju softversko rešenje prikazano od strane Jurgens et al. (2009), unoseći novinu tačnijeg definisanja završetka redukcije gvožđa i početka procesa redukcije sulfata, a na osnovu podataka o aktivnosti sulfato-redukujućih bakterija u bunarima.

Naučni značaj teze ogleda se i u rezultatima ispitivanja taloga, koji su u saglasnosti sa najnovijim istraživanjima u svetu u ovoj oblasti.

Neki od ostvarenih konkretnih naučnih ciljeva ove disertacije su:

- Definisani stepeni oksičnosti i preovlađujući redoks procesi za dva aluvijalna regionalna izvorišta u slivu Velike Morave i jedan drenažni sistem u aluvijonu Dunava;
- Dopunjena metoda USGS-a kombinovanjem podataka o hemijskim karakteristikama sredine i broju i aktivnosti gvoždevitih, sulfato-redukujućih, heterotrofnih i sluz-produkujućih bakterija;
- Detaljne analize vrste, tipa i kristalografskih karakteristika taloga formiranih u bunarima koji kaptiraju aluvijalne sredine sa nekoliko lokacija u Srbiji sa definisanjem minerala i bakterija u talozima;
- Proračunata brzina homogene hemijske oksidacije koja dovodi do formiranja gvožđe oksid-hidroksida u uslovima eksploatacije podzemnih voda na izvorištu Trnovče;
- Dat je doprinos novoj metodi za određivanje dozvoljenih ulaznih brzina u bunare, koja koristi međusobnu zavisnost redoks-potencijala podzemnih voda i dozvoljenih ulaznih brzina;
- Proračunati lokalni hidraulički gubici u bunarima tri odabrane lokacije i proračun njihove kinetike na godišnjem nivou;
- Pružen doprinos poznavanju procesa oksido-redukcije u podzemnim vodama i procesa taloženja u bunarima;
- Kritička ocena hemijskih regeneracija koje su se do sada sprovodile na bunarima aluvijalnih izvorišta sa predlogom mera koje treba primeniti u zavisnosti od tipa i kristalizacije taloga

Kritička analiza rezultata istraživanja:

Polazna hipoteza kojom je B.Majkić započela svoja istraživanja, je da bunari stare različitom brzinom u oksičnim, mešano oksično-anoksičnim (sredinama redoks fronta) i anoksičnim sredinama. Zavisno od uslova u podzemnoj sredini, litoloških karakteristika, načina prihranjivanja i pražnjenja izdani i režima rada bunara, starenje objekata i formiranje taloga može biti potpuno različito. Brzina kojom će se bunari kolimirati posledica je kombinacije prirodnih faktora: hemijskog sastava vode, mineraloško-petrološko-geohemijskog sastava tla kroz koje voda cirkuliše, mikroorganizama prisutnih u vodi, gasnog sastava, redoks uslova, mineraloške potrošnje kiseonika na putu od reke do izdani, kao i faktora vezanih za samu

eksploataciju: režima rada bunara, tipa i vrste konstrukcije bunara, tipa izvorišta/drenaže, ulaznih brzina vode u bunar, načina ranije primenjene regeneracije (ako je izvedena).

U cilju rešavanja problematike kolmiranja bunara neophodno je izvršiti sistematsko prikupljanje i proučavanje obimnih literaturnih podataka vezanih kako za same procese oksido-redukcije tako i za sama područja istraživanja. Nedostatak kontinuiranog monitoringa eksploatacije vode i hemijskog sastava na izvorištima u Srbiji, kandidatkinja je prevazilazila sakupljanjem fondovskih podataka, kao i veoma obimnim terenskim istraživanjima i *in situ* merenjima.

Uvođenjem težinskih faktora, koji zavise od reakcija u BART testovima, B.Majkić deli grupe bakterija prema uslovima u kojima žive i povezuje ih sa dobijenim rezultatima hemijskih analiza podzemnih voda za čiju interpretaciju je koristila *open-source* softver razvijen od strane stručnjaka USGS-a. Dobijene veze između četiri grupe bakterija, koje utiču na procese starenja bunara (kolmiranje i koroziju), i definisanih preovlađujućih redoks procesa za svako ispitivano izvorište, pokazuju da je za tačnije određivanja stepena oksičnosti sredine neophodno kombinovati podatke hemijskih i mikrobioloških analiza. Interpretacijom ovih rezultata kandidatkinja došla do zaključaka vezanih za uslove koji u bunarima vladaju tokom eksploatacije. Kritički osvrt sadrži aspekte popunjavanja rezervi podzemnih voda, problema neadekvatnog režima rada bunara i uticaja prekomernog bagerovanja na gubitak hidrauličke veze reke i izdani, kao i njihovog zajedničkog uticaja na pojavu mešanja oksičnih i anoksičnih voda u zoni izvorišta Trnovče.

Statističkom obradom podataka zaključila je da izvorište Ključ predstavlja oksično izvorište gde se kao preovlađujući proces javlja redukcija kiseonika (81% obrađenih uzoraka), dok se na mikrolokaciji bunara Vb-2 javlja paralelni proces redukcije kiseonika i mangana što je kandidatkinja povezala sa podacima petrološkog sastava prisutnih sedimenata. Na izvorištu Trnovče karakteristično je, i izdvaja se po mešanju oksičnih i anoksičnih voda nastalih kao posledica obaranja nivoa podzemnih voda na čitavom području izvorišta. Od ukupnog broja analiziranih uzoraka u 66 % definisano je postojanje redoks-fronta (paralelna redukcija kiseonika i gvožđa) dok je 25% pokazivalo da su u periodu bunara iz rada podzemne vode anoksične. Visoke vrednosti rastvorenog gvožđa i visoke vrednosti kiseonika u bunarima uzrokuju brzu hemijsku oksidaciju i začepljavanje filtera. Područje Kovin-Dubovac karakteristično je po anoksičnoj sredini, bez prisustva rastvorenog kiseonika gde se kao preovlađujuća redoks reakcija javlja redukcija gvožđa i/ili sulfata. Kako je kandidatkinja raspolagala manjim brojem podataka o sadržaju sulfida u podzemnim vodama, ovaj problem kod preciznijeg definisanja stepena oksičnosti prevazišla je preko aktivnosti sulfato-redukujućih bakterija.

Dobijeni rezultati analiza taloga iz bunara pokazali su dobru vezu sa definisanim stepenom oksičnosti. U uslovima postojanja zone mešanja oksičnih i anoksičnih voda, kao dominantan talog na bunarskim filtrima, u potisnim cevovodima i na korpama pumpi, javlja se gvožđe-oksihidroksid niskog stepena kristalizacije (pretežno ferihidrit $\text{Fe}_5\text{HO}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) i manganovi oksihidroksidi takode niskog stepena kristalizacije, što je u skladu sa poznatim rezultatima sličnih istraživanja u svetu. U anoksičnim sredinama u kojima se javlja redukcija sulfata preovlađuju talozi metastabilnog tiospinela gvožđa greigita Fe_3S_4 , bernalita $\text{Fe}(\text{OH})_3$, monokliničnog sumpora S_8 , i stabilnijeg gvožđe oksihidroksida getita $\alpha\text{-FeOOH}$. Kao pokazatelj anoksičnih sredina dokazano je i prisustvo siderita $\text{Fe}(\text{CO})_3$. Analizom je pokazala da se magan ne javlja

udružen sa gvožđe-sulfidima u anoksičnim sredinama, što je u skladu sa činjenicom da se manganovi-oksihidroksidi javljaju pri većim oksidacionim potencijalima. Kandidatkinja je pokazala da „mladi“ talozi gvožđe oksihidroksida sorbiraju veće količine aresena (755-1315 mg/kg), dok je veće koncentracije nikla odredila u uzorcima koji sadrže getit, što je u skladu sa rezultatima koje su publikovali Tadesse (1997), Houben (2003), Houben i Treskatis (2007). U disertaciji je ukazano da se stariji više kristalizovani talozi teže uklanjaju, a da procenat uklonjenih taloga direktno zavisi od primenjenih hemijskih sredstava. Prikazom i analizom izvedenih regeneracija B.Majkić je ukazala na probleme česte primene neadekvatnih hemijskih sredstava u procesu čišćenja bunara.

Kandidatkinja je dala kritički osvrt na nemogućnost primene metode za određivanje ulaznih brzina u bunare u uslovima neadekvatnog režima rada bunara na izvoristu Trnovče gde se dinamički nivoi često nalaze unutar bunarskih filtera, što je posledica precrpljivanja izdani.

Očekivana primena rezultata u praksi i njihova promocija

Očekuje se da će primenjene metode dopunjene od strane B. Majkić i dobijeni rezultati imati veoma široku primenu u praksi hidrogeoloških istraživanja.

Dopunjena metoda, za određivanje stepena oksičnosti sredine prikazana u doktorskoj disertaciji, ima brojne prednosti:

- Koristi se mali broj hemijskih parametara, koji se mogu analizirati u gotovo svakoj hemijskoj laboratoriji, za određivanje stepena oksičnosti sredine ;
- Primenjeni BART testovi omogućavaju korišćenje od strane većeg broja korisnika (vodovodi, naučne institucije, privatne kompanije) uz relativno jednostavnu obuku i povezivanje sa dobijenim hemijskim kategorijama oksičnosti, čime je omogućeno da se dobiju relevantni mikrobiološki podaci neophodni za praćenje procesa starenja;
- Primenom dopunjene metode za određivanje stepena oksičnosti sredine moguće je definisati pogodne zone za proširenje izvorišta ili otvaranje novih kao i predikciju procesa koji će se odvijati u zoni bunara tokom perioda eksploatacije.

Dobijeni rezultati vezani za taloge u bunarima omogućuju:

- Odabir najboljih metoda regeneracije u zavisnosti od vrste minerala u talogu i stepena njihove kristalizacije;
- Ekonomske uštede kroz odabir hemijskih sredstava koji vrše najveći stepen razgradnje inkrustracija čime se produžava period između dva primenjena postupka i dugotrajnije povećava eksploatacioni kapacitet vodozahvatnih objekata;
- Očuvanje bunarskih konstrukcija kroz primenu manje agresivnih sredstava za otklanjanje naslaga, čime se produžava vek trajanja objekta;
- Sagledavanje brzine hemijske oksidacije i formiranja gvožđe oksihidroksida u uslovima postojanja redoks fronta, što omogućava nadležnim vodovodima da odaberu najpogodnije vreme za regeneraciju objekata.

Primenjena metoda za određivanje lokalnih hidrauličkih brzina (LHR) i njihove promene u vremenu (KLHR) omogućuju:

- jednostavan i kontinuiran proces praćenja povećavanja hidrauličkih gubitaka u bunarima, čime se omogućava praćenje procesa starenja bunara;
- ocenu brzine procesa koji dovode do opadanja kapaciteta vodozahvata;

- ocenu dozvoljene godišnje depresije između bunara i bliskog pijezometra koja se može definisati na upravljačkom nivou i kojom će se dobiti „dozvoljeno godišnje starenje bunara” u cilju da se ovaj proces minimizira i prilagodi novčanim sredstvima kojima raspolažu nadležni vodovodi;
- primenu nezavisno od tipa bunara (sa horizontalnim drenovima i vertikalnim bunarima);
- proračun dozvoljenih ulaznih brzina u bunare sa aspekta zadovoljenja i kriterijuma filtracione stabilnosti i kriterijuma vezanih za hidrogeohemijske uslove koji vladaju u poroznoj sredini;
- primenu metode u različitim oblastima eksploatacije podzemnih voda (vodosnabdevanju, eksploataciji geotermalne energije, navodnjavanju, odvodnjavanju poljoprivrednih površina).

Metode za određivanje stepena oksičnosti, proračun lokalnih hidrauličkih gubitaka i određivanje dozvoljenih ulaznih brzina u bunare, prikazane u disertaciji, potrebno je i nadalje dodatno testirati na većem broju različitih izvorišta formiranih u aluvijonima većih reka u Srbiji, koji se značajnije razlikuju prema geološkim, geohemijskim i hidrogeološkim karakteristikama. Takođe, potrebno je i nadalje analizirati uzorke taloga iz bunara iz različitih aluvijalnih sredina kako bi se što preciznije definisali procesi njihovog formiranja. Buduća istraživanja procesa formiranja taloga i rekristalizacije minerala pomoći će davanju uputstva nadležnim vodovodima o načinima regeneracija i njihovim efektima.

Prikazani postupak za određivanje dozvoljenih ulaznih brzina u bunare, potrebno je dalje poboljšavati tako što bi se tražila veza sa većim brojem hidrohemijsko-mikrobioloških parametara čime bi se omogućilo dobijanje opših zavisnosti koje mogu važiti i za druge hidrogeološke sredine (dublje zatvorene strukture, pukotinske sredine itd.).

Rad B.Majkić značajno podiže i tehničke standarde u hidrogeologiji, vodoprivredi, ali i u geonaukama uopšte. Primenjene metode detaljno prikazane u radu kandidatkinje, zahtevaće i ubuduće primenu ovakvog koncepta na rešavanju sličnih problema.

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Doktorska disertacija kandidatkinje Brankice L. Majkić, dipl. inženjera geologije, pod nazivom **Starenje bunara u aluvijalnim sredinama različitog stepena oksičnosti**, predstavlja dokumentovan, obiman i originalni naučno-istraživački rad iz domena geologije i hidrogeologije aluvijalnih sredina baziran na primeni najsavremenijih dostupnih metoda istraživanja.

Brankica Majkić, istraživač-saradnik u Institutu za vodoprivredu „Jaroslav Černi”, primenila je u svom radu multidisciplinarni pristup u istraživanju problema starenja bunara u aluvijalnim sredinama. Metode koje su primenjene i modifikovane za potrebe određivanja oksido-redukcionih uslova omogućuju pristupačno i ekonomski opravdano praćenje hidrohemijskih uslova u zoni bunara. Modifikovana metoda za određivanje stepena oksičnosti koja vezuje hemijske i mikrobiološke pokazatelje stanja u zoni bunara je neposredno primenjena na izvorištima Trnovče i Ključ i drenažnom sistemu Kovin-Dubovac, a analize su proširene uzorcima iz aluvijona Save i Tise.

Dobijeni rezultati potvrđuju tezu o vezi između uslova oksičnosti i stvaranja taloga u bunarima. Ovi rezultati omogućavaju da se u budućnosti na ispitivanim lokacijama primene mere regeneracije koje će doneti najbolje rezultate čime će se uštedeti finansijska sredstva, a sa druge

strane omogućiti povećanje izdašnosti objekata. Doktorska teza predstavlja doprinos određivanju dozvoljenih ulaznih brzina u bunare u zavisnosti od stepena oksičnosti sredine, čime su unaređeni postojeći kriterijumi koji su analizirali dozvoljene ulazne brzine samo na osnovu filtracione stabilnosti.

Ovom disertacijom B. Majkić pružila je značajan doprinos hidrogeologiji aluvijalnih izdani. Dobijeni rezultati i stečena saznanja predstavljaju novi doprinos poznavanju problema koji prate eksploataciju podzemnih voda u ovim sredinama. Metode prikazane u disertaciji naći će širu primenu i u rešavanju niza praktičnih problema u kojima je potrebno rešavanje problema kolmiranja bunara (različiti inženjerski, razvojni i ekološki istraživački projekti).

U periodu od odobravanja teme ove disertacije do danas kandidatkinja je objavila jedan naučni rad u časopisu sa SCI liste u kome se upravo bavi problemima starenja bunara, kao i šest radova u vodećim domaćim časopisima, stranim i domaćim konferencijama. Rezultati izvršenih ispitivanja, kao i prezentacija metoda na naučnim skupovima opravdali su predložene naučne postupke i potvrdili naučni značaj teze, kao i očekivanja da ponuđene metode i njihovi rezultati budu široko primenjeni u analizama opdanja izdašnosti vodozahvatnih objekata bunarskog tipa.

Komisija je sa zadovoljstvom zaključila, da doktorska disertacija kandidatkinje Brankice L. Majkić predstavlja značajan i originalni naučni doprinos oblasti geologije i hidrogeologije, da je u svemu izrađena u skladu sa standardima naučno-istraživačkog rada i propisima, te stoga predlaže Nastavno-naučnom veću Rudarsko-geološkog fakulteta da ovaj izveštaj prihvati, disertaciju stavi na uvid javnosti i uputi izveštaj Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu radi konačnog usvajanja, nakon čega će se pristupiti usmenoj odbrani pred komisijom u istom sastavu.

u Beogradu, 27. 05. 2013 godine.

Komisija za pregled i ocenu doktorske disertacije:

1. Dr Zoran Stevanović, red. profesor Rudarsko-geološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu

2. Dr Milan Dimkić, vanredni profesor Fakulteta tehničkih nauka, Univerziteta u Novom Sadu

3. Dr Milenko Pušić, redovni profesor Rudarsko-geološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu
