

Факултет Рударско-геолошки

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

(Број захтева)

Веће научних области техничких наука
(Назив већа научне области коме се захтев упућује)

(Датум)

ЗАХТЕВ**за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације за кандидата на докторским студијама**

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 162/11-пречишћени текст, 167/12, 172/13 и 178/14), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације:

„Хидродинамичка анализа процеса старења бунара са хоризонталним дренажним на београдском изворишту

подземних вода“

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ

Геолошко инжењерство**ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:**

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:

Ђорђевић (Милосав) Божовић, дипл. инж. геологије

2. Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):

Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет

3. Година дипломирања: 2005.

4. Година уписа на докторске студије: школска 2014/15.

5. Назив студијског програма докторских студија:

Хидрогеологија

Обавештавамо вас да је Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду
(назив надлежног тела факултета)

на седници одржаној 22.10.2020. године размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације јер садржи оригиналну идеју и да је од значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.

ДЕКАН

Рударско-геолошког факултета

Проф. др Зоран Глигорић

Прилог

1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем.
2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације.
3. Електронска верзија

На основу члана 181. став 6. Статута Универзитета у Београду и члана 175. став 6. Статута Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду на својој седници одржаној 17.09.2020. године, донело је

О Д Л У К У

Одобрава се продужење рока за завршетак докторских студија на лични захтев **Ђорђији Божовићу, дипл. инж. геологије**, на студијском програму Хидрогеологија, највише до троструког броја школских година потребних за реализацију студијског програма.

Д Е К А Н

др Зоран Глигорић, ред. проф.

Достављено:

- Ментору
- Именованом
- Одељењу за студентска питања

На основу члана 40. Закона о високом образовању, члана 181. Статута Универзитета у Београду, Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на својој седници одржаној 22.10.2020. године, донело је

О Д Л У К У

1. Усваја се извештај Комисије за оцену подобности теме, кандидата и ментора предложене теме докторске дисертације **Ђорђија Божовића, дипл. инж. геологије.**
2. Одобрава се именованом израда докторске дисертације под насловом *„Хидродинамичка анализа процеса старења бунара са хоризонталним дренажима на београдском изворишту подземних вода“.*
3. За ментора се именује др Душан Полочичић, ред. проф.
4. Сагласност на предлог теме докторске дисертације из ове одлуке даје Веће научних области техничких наука.

Д Е К А Н

др Зоран Глигорић, ред. проф.

Достављено:

- Већу научних области техничких наука
- Ментору
- Именованом
- Одељењу за студентска питања

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: Др Душан Поломчић

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. **Polomčić D.**, Gligorić Z., Bajić D., Cvijović Č. (2017). A Hybrid Model for Forecasting Groundwater Levels Based on Fuzzy C-Mean Clustering and Singular Spectrum Analysis. *Water* 9(7): 541. DOI: 10.3390/w9070541 A special issue of *Water* "Modeling of Water Systems" (ISSN 2073-4441) MDPI AG Basel, Switzerland. Impact Factor 2.056
2. Bajić D., **Polomčić D.** & Ratković J. (2017). Multi-criteria decision analysis for the purposes of groundwater control system design. *Water Resources Management*, DOI: 10.1007/s11269-017-1777-4; Print ISSN 0920-4741; Online ISSN 1573-1650. IF 3.214
3. **Polomčić D.**, Bajić D., Ratković J. (2018). Assessment of Historical Flood Risk to the Groundwater Regime: Case Study of the Kolubara Coal Basin, Serbia. *Water* 2018, 10(5), 588. MDPI AG Basel, Switzerland. DOI: 10.3390/w10050588. EISSN 2073-4441. Impact Factor 1.832
4. **Polomčić D.**, Gligorić Z., Bajić D., Gligorić M., Negovanović M. (2019). Multi-Criteria Fuzzy-Stochastic Diffusion Model of Groundwater Control System Selection. *Symmetry* 2019, Volume 11(5), 704, pp 1-16. doi:10.3390/sym11050705. MDPI AG, Basel, Switzerland. ISSN 2073-8994; CODEN: SYMMAM. Impact Factor: 2.143
5. Božović Đ., **Polomčić D.**, Bajić D. & Ratković J. (2020). Hydrodynamic analysis of radial collector well ageing at Belgrade well field. *Journal of Hydrology* 528 124463 pp 1-13. Elsevier. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2019.124463 ISSN: 0022-1694. Impact Factor: 4.405

Обавештавамо вас да је Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета
(назив надлежног тела факултета)

на седници одржаној 24.09.2020. године размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације јер садржи оригиналну идеју и да је од значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. Др Зоран Глигорић,
редовни професор

- Прилог
1. Одлука Наставно-научног већа о прихватању теме и одређивању ментора
 2. Извештај Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације

Напомена: Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и у једном писаном примерку за архиву Универзитета

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Рударско-геолошки факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Ђорђија Божовића за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 1/344 од 18.09.2020. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Ђорђија Божовића за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Хидродинамичка анализа процеса старења бунара са хоризонталним дренажима на београдском изворишту подземних вода“.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

ЂОРЂИЈЕ БОЖОВИЋ (Београд, Република Србија, 1981), дипл. инж. геологије, запослен у ЈКП „Београдски водовод и канализација“. Дипломирао 2005. на Рударско-геолошком факултету, на Департману за хидрогеологију, у Београду.

Гимназију „Стојан Церовић“ завршио у Никшићу. Високо образовање стекао на смеру за хидрогеологију Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на ком је 2005. године дипломирао са просечном оценом 8,26. Од 2014. године је студент докторских академских студија на Департману за хидрогеологију матичног факултета.

Школске 2014/15. године Ђорђевић Божовић, дипл. инж. геол. уписан је на докторске академске студије студијског програма Хидрогеологија на Рударско-геолошком факултету на Департману за хидрогеологију.

Кандидат је положио испите предвиђене програмом акредитованих докторских академских студија потребне за пријаву теме докторске дисертације. До сада је остварио укупно 135 ЕСПБ и просечну оцену 10. Положени испити су:

Р. бр.	Назив предмета	Оцена	ЕСПБ
1	Специјална поглавља из хидрогеолошких истраживања и менаџмента хидрогеолошких масива	10	20
2	Семинар 1	10	5
3	Практични истраживачки рад	10	15
4	Самостални публиковани рад 1	10	5
5	Седиментациони системи	10	10
6	Семинар 2	10	5
7	Студијски истраживачки рад 1	10	5
8	Специјална поглавља из захвата и одрживог коришћења маломинерализованих вода	10	20
9	Специјална поглавља из хидрогеологије животне средине	10	15
10	Пројекат докторске дисертације	10	5
11	Студијски истраживачки рад 2	10	5
12	Рад са <i>SCI</i> листе	10	15
13	Самостални публиковани рад 2	10	5
14	Студијски истраживачки рад 3	10	5

Докторске студије уписао је 2014. године на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду. Положио је укупно 13 испита (од 17) предвиђених програмом докторских студија Рударско-геолошког факултета, са просечном оценом десет (10). У септембру 2019. године положио је испит „Пројекат докторске дисертације“. Овом приликом установљена је комисија и усвојен назив теме докторске дисертације. За Ментора докторске дисертације под називом „Хидродинамичка анализа процеса старења бунара са хоризонталним

дреновима на београдском изворишту подземних вода“ предложен је Проф. др Душан Поломчић.

1.2. Сечено научноистраживачко искуство

Радни однос започиње 2005. године у Институту за водопривреду „Јарослав Черни“ (Заводу за водоснабдевање, канализацију и заштиту вода). Био је ангажован на пројектима у области експлоатације и заштите подземних вода, заштите од штетног утицаја подземних вода, питањима смањења капацитета водозахватних објеката, подлогама за изградњу различитих привредних објеката и др. Значајнији пројекти у којима је учествовао су:

1. Елаборат о зонама санитарне заштите изворишта подземних и површинских вода водоснабдевања града Београда – општина Пећинци.
2. Елаборат о зонама санитарне заштите изворишта подземних и површинских вода водоснабдевања града Београда.
3. Главни пројекат утискивања дренова на бунару РБ–1 у Обреновцу, 2012.
4. Пројекат примењених геолошких истраживања за израду Идејног и Главног пројекта магистралног гасовода „Јужни ток“ на територији Републике Србије, 2012.
5. Елаборат о зонама санитарне заштите изворишта воде за пиће насеља Гај, 2012.
6. Студија „Старење бунара и одржавање објеката“, 2011.
7. Идејни и Главни пројекат надвишења касета „А“ и „Б“ депоније пепела ТЕ „Колубара“ у Великим Црљенима до коте 116,0 мнм и системи заштите, 2009–2011.
8. Студија утицаја ХЕ „Бердап I“ у режиму рада до 70,30 мнм код ушћа Нере на извориште београдског водовода изграђеног до успостављања режима, II Б и II Ц фаза, 2005–2011.
9. Пројекат мониторинга београдског изворишта подземних вода, 2011.
10. Елаборат о хидродинамичком моделу подземних вода београдског изворишта, 2011.
11. Студија: Београдско извориште подземних вода – стање и правци развоја, 2005–2010.

Учествовао је у изради техничког решења „Методологија са математичким моделом за оцену капацитета локације бунара са хоризонталним дреновима београдског изворишта“, 2010. (урађеног за Министарство пољопривреде,

шумарства и водопривреде Републике Србије и ЈКП „Београдски водовод и канализација“).

Ангажован је на пројекту Министарства науке и технолошког развоја Републике Србије: „Методологија оцене, пројектовања и одржавања изворишта подземних вода у алувијалним срединама у зависности од степена аеробности“ (евиденциони број: 37014).

Радни однос је наставио у ЈКП „Београдски водовод и канализација“ (Сектор за развој, пројектовање и инвестиције, Служба за развој изворишта подземних вода). Ангажован је на изради пројеката утискивања нових дренажа на бунарима, питањима заштите ресурса подземних вода у границама изворишта, имплементацији савремених метода математичког моделирања режима подземних вода и др.

Значајнији пројекти и активности у којима је учествовао су:

1. Израдио више нумеричких хидродинамичких модела којима су обухваћени различити делови терена изворишта подземних вода Београда (делови Макиша, Доњег поља, Новог Београда, Аде Циганлије, Јакова и Бољеваца), за потребе израде техничке документације обнављања водозахватне функције бунара са хоризонталним дренажима, заштите квалитета подземних вода и заштите од негативног утицаја високих нивоа подземних вода.
2. Идејни пројекат и Пројекат за извођење санације бунара РБ–1м на изворишту подземних вода Београда, 2019.
3. Руководио извођењем хидрогеолошких истраживања у зони бунара са хоризонталним дренажима РБ–17, за потребе обезбеђења подлога за пројектовање утискивања нових дренажа, 2017–2018.
4. Руководио извођењем 30 пијезометара на изворишту подземних вода Београда у циљу обезбеђења подлога за пројектовање ревитализације бунара са хоризонталним дренажима, као и мониторинга режима нивоа и квалитета подземних вода, 2017.
5. Идејни пројекат и Пројекат за извођење санације бунара РБ–7м на београдском изворишту подземних вода, 2016.
6. Главни пројекат израде цевастог бунара Б–105 у оквиру „Јужне натеге“ на Макишком пољу, 2014.
7. Главни пројекат израде цевастог бунара Б–114 у оквиру „Северне натеге“ на Макишком пољу, 2014.

Учествовао је на више домаћих и међународних научних и стручних скупова:

1. XVII Конгрес геолога Србије, 17–20. мај 2018., Врњачка Бања.

2. Форум вода 2016, 16–18. новембар 2016., Београд [предавање „Примери експесних загађења издани београдског изворишта подземних вода и шта смо научили на њима“, eng. *Examples of Accidental Contamination of Belgrade Groundwater Source and Lessons Learned*].
3. XV српски симпозијум о хидрогеологији са међународним учешћем 14–17. септембар 2016., Копаоник.
4. XIV српски симпозијум о хидрогеологији са међународним учешћем 17–20. мај 2012., Златибор.
5. *IWA Specialist Groundwater Conference*, 08–10 September 2011, Belgrade, Serbia.
6. *CC–WaterS – Climate change and impacts on water supply, 1st Student Training Course „Water Supply in a Changing Environment“*, 04–08 October 2010, Nyíregyháza, Hungary.
7. *Balkans Regional Young Water Professionals Conference*, 29–30 April 2010, Belgrade, Serbia.
8. *Groundwater Management In The Danube River Basin And Other Large River Basins*, 07–09 June 2007, Belgrade, Serbia.

Пријавио је учешће на XVI Симпозијуму о хидрогеологији са међународним учешћем (18–22. новембар 2020., Златибор).

Члан је Српског геолошког друштва.

Докторанд, Ђорђије Божовић, је учествовао на више конгреса и научних скупова у земљи и иностранству, аутор је и коаутор више стручних и научних радова.

Публиковани радови:

1. **Божовић Ђ.**, Поломчић Д., Бајић Д., (2020). Идентификација узрока и динамика пораста хидрауличких отпора на бунарима са хоризонталним дренажним системима путем хидродинамичког моделирања. 16. српски симпозијум о хидрогеологији са међународним учешћем (*рад у поступку рецензије*)
2. **Божовић Ђ.**, Поломчић Д., Бајић Д., (2020). Методологија израде 3D концептуалног хидрогеолошког модела за потребе хидродинамичког моделирања бунара са хоризонталним дренажним системима. 16. српски симпозијум о хидрогеологији са међународним учешћем (*рад у поступку рецензије*)
3. **Божовић Ђ.**, Поломчић Д., Бајић Д., (2020). Преглед хидродинамичких истраживања бунара са хоризонталним дренажним системима нумеричким методама. *Водопривреда* (*рад прихваћен за публикавање*)

4. **Божовић Ђ.**, Поломчић Д., Бајић Д., Ратковић Ј., (2020). Hydrodynamic analysis of radial collector well ageing at Belgrade well field. *Journal of Hydrology*, 582. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2019.124463
5. Поломчић Д., Бајић Д., Ратковић Ј., **Божовић Ђ.**, (2019). Симулација режима и квантификација биланса подземних вода применом хидродинамичке анализе: пример површинског копа „Јаковачка Кумша“. *Техника*, 70, 5, 56–65
6. Ђурковић М., Поломчић Д., **Божовић Ђ.**, (2019). Примена „будимпештанске“ методе ревитализације бунара са хоризонталним дренажима. 19. међународна конференција Водоводни и канализациони системи, 29–31. мај 2019, Јахорина
7. **Божовић Ђ.**, Поломчић Д., Бајић Д., Ратковић Ј., (2018). Дефинисање оптималног капацитета бунара са хоризонталним дренажима у условима неповољног хемијског састава подземних вода (пример изворишта Београда). XVII Конгрес геолога Србије, 18–20. мај 2018., Врњачка Бања, 433–438
8. Зарић Ј., Митриновић Д., Анђелковић О., **Божовић Ђ.**, Димкић М., (2018). Упоредна анализа резултата гранулометријских анализа добијених на основу две методе бушења на локацији бунара РБ–44 на београдском изворишту. XVII Конгрес геолога Србије, 18–20. мај 2018., Врњачка Бања, 468–472
9. Поломчић Д., Бајић Д., Ратковић Ј., **Божовић Ђ.**, (2018). Примена хидродинамичког моделирања при избору система заштите изворишта од загађења. XVII Конгрес геолога Србије, 18–20. мај 2018., Врњачка Бања, 499–504
10. **Божовић Ђ.**, Поломчић Д., Бајић Д., (2016). Characteristic groundwater level regimes in the capture zones of radial collector wells and importance of identification (case study of Belgrade Groundwater Source). *Геолошки анали Балканског полуострва*, 77
11. Поломчић Д., **Божовић Ђ.**, Бајић Д., (2016). Hydraulic characterization of laterals as applied to selected radial collector wells at Belgrade Groundwater Source. *Геолошки анали Балканског полуострва*, 77
12. **Божовић Ђ.**, Поломчић Д., Бајић Д., (2016). Хидродинамичка анализа оправданости утискивања нових дренажа на већој дубини на бунарима београдског изворишта подземних вода. *Водопривреда*, 221–233
13. **Божовић Ђ.**, Поломчић Д., Бајић Д., (2016). Предлог санације бунара са хоризонталним дренажима на београдском изворишту подземних вода. 15. српски симпозијум о хидрогеологији са међународним учешћем, 14–17. септембар 2016., Копаоник, 501–506
14. **Божовић Ђ.**, Поломчић Д., Бајић Д., (2016). Иновирана „будимпештанска“ метода ревитализације бунара са хоризонталним дренажима и могућности њене примене на београдском изворишту подземних вода. *Техника*, 67, 5

15. **Божовић Ђ.**, Полоччић Д., Бајић Д., (2015). Хидродинамичка симулација и анализа режима подземних вода под утицајем бунара са хоризонталним дренама (пример београдског изворишта). Техника, 66, 5, 777–786
16. Гаудењи Т., Стејић П., **Божовић Ђ.**, Ненадић Д., (2015). Pleistocene vs. Holocene sediments of the Serbian segment of the Sava River. 2nd International Congress of Stratigraphy STRATI 2015, 19–23 July 2015, Graz
17. Опарушић И., **Божовић Ђ.**, (2012). Дефинисање девијације дрена на бунарима београдског изворишта подземних вода. 14. српски симпозијум о хидрогеологији са међународним учешћем, 17–20. мај 2012., Златибор, 75–79
18. Слимак Т., Урошевић У., Димкић М., **Божовић Ђ.**, (2012). Анализа рањивости подземних вода на делу простора београдског изворишта. 14. српски симпозијум о хидрогеологији са међународним учешћем, 17 – 20. мај 2012., Златибор, 341–346

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Ђорђије Божовић је положио све испите предвиђене програмом акредитованих докторских академским студија, на студијском програму Хидрогеологија, са просечном оценом 10, а који су предуслов за пријављивање теме дисертације. Усавршавање је обављала и похађајући организоване курсеве у Србији и иностранству. Резултате својих досадашњих истраживања је више пута публиковао на научним скуповима и у часописима националног и међународног значаја.

2. Предмет и циљ истраживања

Захваљујући значајном распрострањењу и дебљини водоносних наслага, као и хидрауличкој вези са сталним површинским водотоком, издани збијеног типа, квартарне старости, алувијалне генезе, формиране у низијским теренима доњих делова тока већих река представљају један од најзначајнијих извора снабдевања становништва и индустрије пијаћом водом. У оваквим природним условима, рад изворишта подземних вода је заснован на принципу обалске филтрације, док су бунари са хоризонталним дренама чест избор типа водозахватног објекта.

Непосредни предмет истраживања у оквиру израде докторске дисертације је извориште подземних вода Београда, чија је издан формирана у алувијалној равни реке Саве, коју представља водоносна средина комплексне генезе, изражено хетерогеног литолошког и гранулометријског састава, просторно

изражених разлика у хидрогеолошким одликама депонованих седимената, као и неповољног хемијског и микробиолошког састава подземних вода. Истовремено, предмет истраживања су бунари са хоризонталним дренажним, као сложени тип водозахватног објекта, заједно са процесима интензивног старења присутним на њима.

Са 99 изграђених бунара са хоризонталним дренажним, на којима је до данас утиснуто око 900 дренажа, београдско извориште подземних вода је једно од највећих изворишта овог типа на свету. Са просечним садржајем гвожђа у захваћеним подземним водама од око 2 mg/l (у дијапазону од 0,5 до готово 7 mg/l), старење бунара на београдском изворишту је било суштински неизбежно и као такво пратило рад водозахватних објеката од самог почетка њихове изградње.

Старење бунара представља скуп сложених процеса који се одвијају на филтерској конструкцији и у прифилтерској зони бунара, који доводе до нарушавања водозахватне способности бунара, праћене интензивирањем хидрауличног режима рада и континуираним опадањем капацитета, све до потпуног престанка рада бунара. Старење бунара обухвата два суштински различита процеса – корозију и колмирање.

Док се корозија бунара манифестује деградацијом материјала од којег је изграђена филтерска конструкција, колмирање доводи до смањења порозности прифилтерске зоне и филтерске конструкције бунара услед таложења продуката механичког, хемијског или микробиолошког порекла. Корозија и колмирање могу постојати самостално, а могу бити, као у случају већег дела првобитно формираних дренажа на бунарима изворишта Београда, истовремено присутни на једном водозахватном објекту.

У периоду између 2005. и 2008. године на пет бунара на београдском изворишту су утиснути нови дренажи. Будући да су првобитни дренажи били израђени од челика подложног деловању корозије, нови дренажи су израђени од нерђајућих легура. Адекватним избором материјала се превентивно деловало на елиминисање корозије, тако да је колмирање једини вид старења дренажа на обновљеним бунарима.

У складу са постојећим степеном научног сазнања у области бунара са хоризонталним дренажним, заједно са процесима опадања капацитета бунара у сложеним хидрогеолошким условима, израда предложене докторске дисертације треба да обухвати реализацију хидродинамичке анализе која ће дати одговор на питање репрезентативности досадашњих закључака и ставова у погледу познавања узрока и динамике процеса старења дренажа на београдском изворишту подземних вода. Додатно, реализација предметних истраживања треба да резултира предлогом нове методологије представљања бунара са хоризонталним дренажним на хидродинамичким моделима.

Циљ предложених истраживања је:

- Да се реализацијом савремене хидродинамичке анализе, кроз израду тродимензионалног нумеричког хидродинамичког модела, симулацијом нестационарних услова режима подземних вода, поуздано идентификују узроци старења и детаљно квантификују промене отпора на дренажима на примеру једног од обновљених бунара на београдском изворишту подземних вода. Наведени циљ истраживања је од значаја за оцену ваљаности функционалне зависности између пораста отпора на дренажима са индикаторима процеса колмирања дренажа.
- Предметна истраживања треба да обухвате критичку анализу различитих до сада коришћених приступа у симулацији бунара са хоризонталним дренажима, која би резултирала предлогом оптималне, хидраулички репрезентативне и хидродинамички ефикасне методологије хидродинамичких истраживања овог типа водозахватног објекта и процеса њиховог старења. Овај аспект представља други циљ предложених истраживања.
- У погледу хидродинамичког аспекта хидрогеолошких истраживања бунара са хоризонталним дренажима, истраживања ће обухватити анализу оптималног степена дискретизације истражног простора обухваћеног моделом у плану и профилу, као и дискретизације временског периода обухваћеног симулацијом режима нивоа подземних вода на формираном математичком моделу. Потреба за овим видом анализе произилази из изражено тродимензионалног карактера струјања подземних вода у зони бунара са хоризонталним дренажима, тј. просторно променљивих градијената нивоа издани. Испитивањем утицаја дискретизације времена, на моделу ће нарочито бити разматран утицај водостаја реке Саве, будући да она представља главни извор прихрањивања издани анализираног изворишта.
- Завршни корак у предложеним истраживањима биће прогнозирање квантитативних елемената биланса подземних вода у условима рада групе бунара, при чему ће бунари бити анализирани са прогнозираним обновљеним дренажима и оптималним капацитетом појединачног дрена, тј. бунара у целини. Предмет ове анализе је проистекао из потребе да се на хидродинамичком моделу хидраулички реално симулира и анализира рад групе бунара, уместо досадашње праксе детаљног испитивања само једног, одабраног бунара. Као претходни корак у спровођењу анализе, биће потребно да се на хидродинамичком моделу изврши симулација оствареног режима нивоа издани за одређени протекли период.

Извод дела литературних извора релевантних за истраживање хидродинамичког моделирања бунара са хоризонталним дренажима са процесима старења

- Babac D., Babac P., 2008. Bunari sa horizontalnim drenovima, teorija, praksa, primeri proračuna. Balby International, Beograd
- Bakker M., Kelson V.A., Luther K.H., 2005. Multilayer Analytic Element Modeling of Radial Collector Wells. *Groundwater*, 43(6)
- Bear J., 1972. Dynamics of fluids in porous media. Dover, New York
- Bear J., Cheng A.H.-D., 2010. Modeling groundwater flow and contaminant transport. Springer
- Božović Đ., Polomčić D., Bajić D., 2015. Hidrodinamička simulacija i analiza režima podzemnih voda pod uticajem bunara sa horizontalnim drenovima (primer beogradskog izvorišta). *Tehnika*. 66 (5)
- Božović Đ., Polomčić D., Bajić D., 2016. Hidrodinamička analiza opravdanosti utiskivanja novih drenova na većoj dubini na bunarima beogradskog izvorišta podzemnih voda. *Vodoprivreda*, 48 (282–284)
- Božović Đ., Polomčić D., Bajić D., Ratković J., 2018. Definisanje optimalnog kapaciteta bunara sa horizontalnim drenovima u uslovima nepovoljnog hemijskog sastava podzemnih voda (primer izvorišta Beograda). XVII Kongres geologa Srbije, 18 – 20. maj 2018., Vrnjačka Banja
- Božović Đ., Polomčić D., Bajić D., Ratković J., 2020. Hydrodynamic analysis of radial collector well ageing at Belgrade well field. *Journal of Hydrology*. 582. doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.124463
- Dimkić M., Pušić M., 2008. Well-ageing indicators, with special reference to Belgrade groundwater source, in: Dimkić, M., Brauch, H.-J., Kavanaugh, M., (Eds.), *Groundwater Management In Large River Basins*. IWA Publishing, London
- Dimkić M., Pušić M., 2014. Correlation Between Entrance Velocities, Increase in Local Hydraulic Resistances and Redox Potential of Alluvial Groundwater Sources. *Journal of Serbian Water Pollution Control Society „Water Research and Management“*, 4 (4)
- Dimkić M., Pušić M., Obradović V., Djurić, D., 2011. Several natural indicators of radial well ageing at the Belgrade Groundwater Source, part 2. *Water Science & Technology*. 63 (11)
- Dimkić M., Pušić M., Vidović D., Isailović V., Majkić B., Filipović N., 2010. Numerical Model Assessment of Radial-Well Ageing. *ASCE's Journal of Computing in Civil Engineering*. 25 (1)
- Dimkić, M., Pušić, M., Obradović, V., Kovačević, S., 2012. The effect of certain biochemical factors on well clogging under suboxic and mildly anoxic conditions. *Water Science & Technology*. 65 (12)
- Haitjema H., Kuzin S., Kelson V., Abrams D., 2010. Modeling flow into horizontal wells in a Dupuit–Forchheimer model. *Groundwater*, 48(6)
- Hantush M.S., 1964. Hydraulics of Wells. *Advances in Hydroscience*, 1

- Hantush M.S., Papadopoulos I. S., 1962. Flow of ground water to collector wells. *Journal of the Hydraulics Division*, 88 (5), 1962
- Houben G., Treskatis C., 2007. *Water Well Rehabilitation and Reconstruction*. The McGraw-Hill, New York
- Houben G., Wachenhausen J., Guevara C., 2018. Effects of ageing on the hydraulics of water wells and the influence of non-Darcy flow. *Hydrogeology Journal*, 6
- Houben G.J., 2003. Iron oxide incrustations in wells. Part 1: genesis, mineralogy and geochemistry. *Applied Geochemistry*, 18
- Houben G.J., 2006. The Influence of Well Hydraulics on the Spatial Distribution of Well Incrustations. *Ground Water*. 44 (5)
- Hunt H., Schubert J., Ray C., 2002. Conceptual Design of Riverbank Filtration Systems. In: Ray C., Melin G. and Linsky R.B. (Eds.), *Riverbank Filtration Improving Source-Water Quality*, Springer, Dordrecht
- Ismail W.M.Z.W., Yusoff I., Rahim B-e.E.A., 2012. Simulation of horizontal well performance using Visual MODFLOW, *Envir. Earth Sci.*, 68
- Kelson V., 2012. Predicting Collector Well Yields with MODFLOW. *Groundwater*, 50(6)
- Lee E., Hyun Y., Lee K., 2010. Numerical modeling of groundwater flow into a radial collector well with horizontal arms. *Geoscience Journal*, 14(4)
- Lee E., Hyun Y., Lee K.-K., Shin, J., 2012. Hydraulic analysis of a radial collector well for riverbank filtration near Nakdong River, South Korea. *Hydrogeology Journal*, 20(3)
- Milojević M., 1961. Interference of radial collector well adjacent to river bank. *Symposium of Intern. assoc. of scientific hydrology*, Athens
- Milojević M., 1963. Radial collector wells adjacent to the riverbank. *Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 89(6)
- Mohamed A., Rushton K., 2006. Horizontal wells in shallow aquifers: Field experiment and numerical model. *Journal of hydrology*, 329(1-2)
- Moore R., Kelson V., Wittman J., Rash V., 2011: A Modeling Framework for the Design of Collector Wells. *Groundwater*, 50(3)
- Munson B.R., Young D.F., Okiishi T.H., Huebsch W.W., 2009. *Fundamentals of fluid mechanics*. sixth ed., Wiley, New York
- Park E., Zhan H., 2002. Hydraulics of a finite-diameter horizontal well with wellbore storage and skin effect. *Advanc. in water resources*, 25(4)
- Patel H.M., Eldho T.I., Rastogi A.K., 2010. Simulation of radial collector well in shallow alluvial riverbed aquifer using Analytic Element Method. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 136(2)

- Polomčić D., Božović Dj., Bajić D., 2016. Hydraulic characterization of laterals as applied to selected radial collector wells at Belgrade Groundwater Source. *Geološki anali Balkanskog poluostrva*, 77, 33–42
- Pušić M., Dimkić M., 2016. Primer analize uticaja propusnosti rečnog dna i međusloja izdani na strujanje podzemnih voda ka bunaru. 15. srpski simpozijum o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, 14–17. septembar 2016., Kopaonik
- Pušić M., Dimkić M., 2017. Comparative assessment of radial collector well elements with a new approach. *Geološki anali Balkan. poluost.*, 78
- Pušić M., Dimkić M., Vidović D., Dotlić M., Oparušić I., 2012. Analiza uticaja nekih hidrogeoloških parametara na početni kapacitet bunara sa horizontalnim drenovima. *Vodoprivreda*, 44 (258-260), 175-180
- Ray C., Grischek T., Schubert J., Wang, Z., Speth T.F., 2002. A perspective of riverbank filtration. *J. Am. Water Works Assoc.*, 94(4)
- Rushton K.R., 2006. *Groundwater Hydrology: Conceptual and computational models*. John Wiley & Sons Ltd., England
- Rushton K.R., Brassington F.C., 2013. Hydraulic behaviour and regional impact of a horizontal well in a shallow aquifer: example from the Sefton Coast, northwest England (UK). *Hydrogeo. Jour.*, 21
- Rushton K.R., Brassington F.C., 2013. Significance of hydraulic head gradients within horizontal wells in unconfined aquifers of limited saturated thickness. *Journal of Hydrology*, 492(7)
- van Beek C.G.E.M., 2011. *Cause and Prevention of Clogging of Wells Abstracting Groundwater from Unconsolidated Aquifers*. IWA Publishing, London
- van Beek C.G.E.M., 2018. Well–screen and well–head clogging by hydrous ferric oxides. *Hydrogeology Journal*, 26 (8)
- van Beek C.G.E.M., Breedveld R.J.M., Juhász-Holterman M., Oosterhof A., Stuyfzand P.J., 2009. Cause and prevention of well bore clogging by particles. *Hydrogeology Journal*, 19
- Wang Q., Zhan H., 2016. Intrawellbore kinematic and frictional losses in a horizontal well in a bounded confined aquifer. *Water Resources Research*, 53(1)
- Yeh H–D., Chang Y.–C., 2013. Recent advances in modeling of well hydraulics. *Advances in water resources*, 51

3. Полазне хипотезе истраживања

Питање поуздане идентификације присуства, генезе и утицаја хидрауличких отпора на интензивну динамику старења бунара са хоризонталним дренажима београдског изворишта на којима су пре једне деценије утиснути нови дренажи стоји у темељу истраживања предложених у оквиру израде докторске дисертације. У досадашњим истраживањима бунара са хоризонталним дренажима на београдском изворишту, анализа процеса старења новоформираних дренажа је спровођена квантификавањем промене коефицијента локалног хидрауличног отпора аналитичким путем, односно коефицијента пропусности дренажа нумеричким путем (на хидродинамичком моделу). На основу ранијих ставова о хидрауличким отпорима на новим дренажима пет анализираних (обновљених) бунара, истраживања предложена у оквиру израде докторске дисертације су заснована на следећим хипотезама:

- У претходним хидродинамичким истраживањима процеса старења бунара коришћен је принцип хидраулички еквивалентних карактеристика дренажа, због чега резултати досадашњих истраживања не дају основ за идентификацију оних вредности филтрационих карактеристика прифилтерске зоне нових дренажа које могу указати на појаву почетних отпора на њима.
- Задавање реалнијих геометријских карактеристика дренажа на хидродинамичком моделу ће омогућити дефинисање реалнијих хидрауличких карактеристика дренажа, а међу њима и оних критичних – које ће указати на евентуално присуство почетних отпора на дренажима (на примеру анализираног бунара).
- Однос филтрационих карактеристика прифилтерске зоне дренажа непосредно по њиховом формирању и филтрационих карактеристика седимената порозне средине на коти утиснутих дренажа биће посматран у светлу репрезентативног показатеља механичког колмирања дренажа као евентуалног узрока присуства почетних отпора на њима.
- Један од основних циљева истраживања је да се утврди да ли су и у којој мери укупни отпори на новим дренажима резултат две, генетски различите, врсте колмирања – механичког и биохемијског. Овакво схватање старења бунара би суштински значило да су на дренажима постојали почетни хидраулички отпори, који су током времена рада бунара увећавани хемијским колмирањем, тј. таложењем гвожђа у прифилтерској зони.
- Пораст почетних вредности отпора на дренажима бунара биће посматран као ефекат смањења порозности филтерског засипа и филтерских цеви, што ће се на формираном хидродинамичком моделу представити смањењем вредности филтрационих карактеристика прифилтерске зоне дренажа током анализираног времена рада бунара. Додатно, анализираће се и зависност динамике колмирања дренажа од режима експлоатације бунара, који ће бити изражен преко улазних брзина подземних вода у дренаже.

- Једна од претпоставки је да међу утицајима од значаја на режим нивоа издани, експлоатациони режим рада бунара и процес старења дренажа, нарочиту улогу имају хидролошки услови, тј. различити водостаји реке Саве. Утицај реке Саве, као доминантног извора прихрањивања издани београдског изворишта, биће представљен детаљном дискретизацијом водостаја на моделу.
- У односу на досадашња хидродинамичка истраживања, у предложеним истраживањима биће примењен приступ који подразумева да се динамика напредовања старења бунара анализира симулацијом континуалног рада бунара, уместо симулације повремено вршених опита тестирања бунара.

У циљу хидродинамичке анализе старења бунара, хидродинамичким моделом биће обухваћени сви они фактори који постоје у реалним условима истраживаног терена, који могу имати утицај на појаву старења дренажа и њен мање или више интензиван развој током рада бунара и експлоатације подземних вода.

Имајући у виду да су код нових дренажа, утиснутих у периоду од 2005. до 2008. године, дренажи формирани према Пројсак методи, која подразумева уградњу филтерског засипа око филтерских цеви, у оквиру истраживања ће се анализирати приступ према ком прифилтерску зону представља уграђени филтерски засип, односно, да је њена дебљина еквивалентна дебљини омотача засипа. Самим тим, на хидродинамичком моделу биће квантификоване реалне, уместо хидраулички еквивалентних карактеристика пропусности дренажа.

Прифилтерска зона је има изузетан значај за хидрауличку ефикасност бунара уопштено, односно дренажа у конкретном случају предложене теме докторске дисертације. Било да је формирана од природног геолошког материјала издани (као тзв. обратни филтер) или вештачком уградњом материјала (филтерског засипа), она често има одлучујући утицај на рад бунара. Стога је питање дебљине прифилтерске зоне од пресудног утицаја за концепт хидрауличког представљања дренажа на моделу. Дакле, једна од хипотеза предложених истраживања је и та да постоји значајна разлика у наведеним приступима симулације дренажа у смислу њихове репрезентативности, која може имати утицаја на идентификацију узрока старења бунара, тј. дренажа, и динамику развоја процеса током времена експлоатације.

Један од аспеката хидродинамичке анализе који ће бити разматран у оквиру истраживања биће и приступ задавања граничног услова пијезометарског нивоа на спољним контурама модела. Истраживања ће подразумевати задавање временски променљивих нивоа подземних вода, измерених у осматрачким објектима током дужег анализираног периода. Локација задавања граничног услова биће одређена на основу положаја расположивих пијезометара који се налазе у залеђу водозахватних објеката. За потребе дефинисања вредности нивоа издани између два теренска мерења, биће извршена анализа градијента нивоа издани од реке и бунара према залеђу, путем конструкције пијезометарског

профила и корелације нивоа подземних вода у пијезометрима са водостајима реке Саве.

Имајући у виду да се издан београдског изворишта одликује израженим литолошким променама у плану и у профилу, често и на сасвим малом простору (у оквиру простора лепезе дренажа једног бунара), као и да дренажи имају значајне девијације у односу на хоризонталну раван (због чега се у реалним условима заправо ради о суб–хоризонталним дренажима), на хидродинамичком моделу дренажи одабраног бунара биће представљени у складу са утврђеном вертикалном девијацијом. Последица просторно хетерогене литолошке грађе и закривљених дренажа је та да су дренажи по правилу утиснути у два или више литолошких слојева. У претпостављеним условима, када се филтрационе карактеристике, тј. хидрогеолошке карактеристике слојева значајније разликују, или када су они раздвојени слабије пропусним међуслојем, експлоатација подземних вода резултира формирањем комплексног режима нивоа издани. Претпоставка је да се еквипотенцијалне линије у тим условима значајније разликују у оквиру појединих слојева, што условљава спровођење детаљне хидрогеолошке шематизације издани, како би литостратиграфски слојеви били представљени адекватним слојевима на хидродинамичком моделу.

4. Научне методе истраживања

Један од најважнијих и најкомплекснијих поступака у процесу дефинисања хидрогеолошких услова терена за изградњу бунара са хоризонталним дренажима, дефинисања техно–економски оптималног техничког решења утискивања дренажа (на новим или постојећим бунарима), као и квантитативне анализе експлоатационог режима издани и процеса старења дренажа јесте реализација нумеричке хидродинамичке анализе. Из разлога комплексних хидрогеолошких услова београдског изворишта подземних вода, заједно са техничким карактеристика водозахватних објеката, који укључују:

- сложен литофацијални састав седимената издани и просторно хетерогене хидрогеолошке одлике седимената, које треба идентификовати калибрацијом хидродинамичког модела;
- утицај присуства слабије пропусних седимената поводња, тзв. међуслојева, на хидрауличке услове рада водозахватног објекта, на услове експлоатације подземних вода у смислу анализе струјања, на хидродинамички режим издани и на прихрањивање зоне бунара из правца реке Саве;

- квалитет хидрауличког контакта реке и седимената издани у којима је корито непосредно усечено, као и утицај различитих хидролошких услова на интензитет прихрањивања издани;
- евентуални утицај других тела површинских вода (канала, рукаваца или Савског језера) на режим издани;
- утицај рада бунара на пијезометарске нивое у залеђу бунарског низа и величину прихрањивања из правца залеђа;
- хидрауличке карактеристике постојећих дренажа на бунарима, као и њихову промену током времена експлоатације на рачун напредовања процеса старења;
- анализу утицаја рада групе бунара;
- дефинисање оптималне коте формирања нових дренажа, заједно са њиховом дужином, пречницима и правцима утискивања;
- хемијски и микробиолошки састав подземних вода, као основ за дефинисање почетних хидрауличких карактеристика и оптималог почетног капацитета појединачног дрена;

Јединствена метода истраживања којом се могу симулирати и евалуирати ефекти свих наведених, али и других утицаја, јесте савремена хидродинамичка анализа путем израде нумеричког хидродинамичког модела режима анализираног дела издани.

Израда хидродинамичког модела треба да резултира квантификавањем потенцијалности локације одређеног бунара са хоризонталним дренажима у погледу расположивих количина подземних вода које се могу захватити на датој локацији, оптималним условима експлоатације и режима рада бунара имајући у виду старење бунара, као и дефинисањем техно-економски оптималне конфигурације водозахватних делова конструкције бунара.

Истраживања ће бити реализована симулацијом оствареног режима подземних вода на хидродинамичком моделу, на којем ће дренажи и механизам захватања подземних вода бити представљени геометријски и хидраулички реално. Симулацијом остварених услова режима подземних вода биће дефинисана промена хидрауличких карактеристика дренажа током вишегодишњег периода рада једног од ревитализованих бунара.

У циљу анализе режима нивоа издани у зони бунара са хоризонталним дренажима, потребно је располагати одређеним информацијама о:

- техничким карактеристикама и стању отворених дренажа (њиховој актуелној дужини извођењем подводног снимања, оријентацији у плану, вертикалној закривљености, конструктивном стању филтерских цеви, присуству седимената водоносне средине у унутрашњости дренажа и др.),

- нивоима подземних вода у шахту бунара и капацитету бунара,
- осцилацијама нивоа подземних вода у осматрачким објектима адекватне конструкције и положаја у односу на дренаже,
- основним показатељима хемијског састава захваћених подземних вода (првенствено садржају гвожђа и вредности редокс потенцијала).

У оквиру планираних истраживања, поред хидродинамичке анализе, биће коришћене научне методе и поступци који припадају области геолошких и хидрогеолошких истраживања, док ће се за потребе сагледавања процеса старења бунара користити резултати хидрохемијских и микробиолошких испитивања подземних вода. Добијени резултати биће анализирани статистичким и геостатистичким методама уобичајеним у хидрогеолошким истраживањима. Од геолошких истраживања, нарочито значајно ће бити коришћење методе литолошке идентификације и литостратиграфске паралелизације, просторног повезивања сродних чланова на основу резултата израде истражних бушотина, односно картирања језгра бушотина и лабораторијског испитивања гранулометријског састава узорака набушених седимената, дефинисања хипсометријског положаја у профилу кварталних наслага, генетских услова стварања и др.

Будући да се ради о већем броју различитих података и информација о водоносној средини, у сврху спровођења хидрогеолошке шематизације простора биће израђена база података, у наменском софтверу за реализацију различитих 2D и 3D анализа и интерпретација резултата геолошких истраживања.

Идентификација и анализа режима нивоа издани у зони експлоатације подземних вода преко бунара са хоризонталним дренажима је репрезентативан приступ претходног сагледавања потенцијала локације бунара у погледу расположивих количина подземних вода, као и обезбеђења услова за правилан избор објеката на којима је оправдано извршити утискивање нових дренажа. Стога ће истраживања која се предлажу у оквиру предметне докторске дисертације укључити и дефинисање карактеристичног хидродинамичког режима нивоа издани у зони утицаја рада одабраног бунара.

Бунар који ће бити предмет истраживања биће одабран имајући у виду неопходне услове за спровођење хидрауличке анализе стања дренажа. Наиме, предложена истраживања ће бити заснована на ставу да је неопходан услов за изучавање процеса старења и квантификовање хидрауличких отпора на дренажима постојање репрезентативних објеката за осматрање режима нивоа подземних вода. Репрезентативним осматрачким објектима биће сматрани пијезометри израђени у зони лепезе дренажа (пожељно је непосредно уз дренаже), који имају филтер мале дужине, чији положај у профилу издани одговара коти утиснутих дренажа. Евентуално присуство почетних хидрауличких отпора на дренажима, као

и промена отпора током времена експлоатације биће испитивана и квантификована на тродимензионалном хидродинамичком моделу.

5. Очекивани научни допринос

Очекује се да ће научни допринос предложене дисертације бити остварен кроз резултате предложених истраживања, која треба да пружи нова сазнања везана за комплексне процесе филтрације подземних вода под утицајем рада бунара са хоризонталним дренажима, изграђеним у сложеним хидрогеолошким условима, чији дренажи су угрожени дејством различитих видова старења. Најзначајнији очекивани резултати су:

- Пружање одговора на питање репрезентативности критеријума биохемијског колмирања дренажа, који на основу резултата ранијих истраживања представља тренутно једини приступ разумевања старења бунара београдског изворишта.
- Идентификација евентуалног присуства две генетски различите врсте колмирања и прецизно дефинисање пораста отпора на дренажима током времена рада бунара, уз испитивање у којој мери су евентуални почетни отпори на новим дренажима ограничили њихову хидрауличку функционалност у погледу захватања подземних вода.
- У склопу хидродинамичких истраживања присуства иницијалних хидрауличких отпора на дренажима, биће испитивана и њихова генеза. Генеза почетних отпора ће укључити анализу усклађености гранулометријских карактеристика уграђеног филтерског засипа и димензија отвора на филтерској конструкцији са гранулометријским карактеристикама седимената издани депонованих на коти и дуж траса утиснутих дренажа, што би био први покушај тумачења узрока колмирања те врсте у предметној области.
- Истраживањима везаним за утврђивање узрока и динамике старења дренажа на бунарима београдског изворишта, биће развијена нова методологија примењеног хидродинамичког моделирања бунара са хоризонталним дренажима која би, на националном и међународном нивоу, промовисала репрезентативнији и свеобухватнији приступ симулације овог типа водозахватног објекта у односу на концепције присутне у предметној области истраживања, укључујући и аспект старења бунара.
- За потребе израде концептуалног модела, биће израђен детаљни 3D хидрогеолошки модел. Његова израда ће укључити литостратиграфску и хидрогеолошку шематизацију депонованих кластита, заједно са геометријом

усецања корита реке Саве у седименте издани, из чега ће проистећи темељна основа за сагледавање квалитета хидрауличког контакта реке и издани, као основе за анализу услова прихрањивања водоносне средине.

- Симулација групе бунара на хидродинамичком моделу према предложеној методологији реалног хидрауличког представљања дренажа, омогућиће сагледавање интерференције утицаја рада бунара у зависности од њиховог режима експлоатације, али и од природних услова терена (у првом реду значајнијег распрострањења слабије пропусних седимената међуслоја и пропусности седимената присутних на дну корита реке). Анализа рада групе бунара са детаљним представљањем локалних хидрогеолошких услова у зони сваког од објеката, биће први покушај те врсте у предметној научно–истраживачкој области.
- На основу научног предвиђања резултата, може се очекивати да ће предложена симулација оствареног режима нивоа издани анализираног дела београдског изворишта подземних вода резултирати предлогом методологије свеобухватног дефинисања оптималног капацитета бунара са хоризонталним дренажима на београдском изворишту подземних вода, али и служити као теоријски основ применљив и на другим теренима који се одликују неповољним хидрохемијским и хидрогеолошким условима.

Дефинисање хидрауличких карактеристика дренажа и анализа старења путем квантификовања вредности филтрационих карактеристика прифилтерске зоне дренажа, допринеће бољој оцени остварених ефеката извођења радова на формирању дренажа путем њиховог квантитативног изражавања. Примењеном концепцијом биће омогућено доношење адекватних препорука у погледу управљања режимом рада бунара (нпр. избегавање интензивирања режима експлоатације бунара путем повећања снижења радног нивоа) или мера одржавања бунара (нпр. препознавања адекватног тренутка за спровођење регенерације дренажа).

Од нарочитог значаја је спровођење хидродинамичке анализе у стандардним рачунарским програмима и кодовима, који су доступни истраживачима у области предметних истраживања, како би добијени резултати могли бити верификовани, коришћени и унапређивани даљом применом на различитим извориштима и теренима широм света. Комплексност услова присутних на београдском изворишту у погледу стратификације издани, хидрогеолошких одлика депонованих седимената, режима нивоа издани, услова прихрањивања издани, конструктивних карактеристика водозахватних објеката, представљаће основ за препоруку нове методологије симулације бунара и софтверских алата који ће бити коришћени у оквиру предложених истраживања.

Коначно, формирани хидродинамички модел дела изворишта биће могуће даље унапређивати сукцесивним укључивањем околних бунара, у складу са резултатима анализе адекватног степена дискретизације простора модела у

плану и профилу за репрезентативно представљање услова водоносне средине и самих бунара, све док у нарастајући простор модела не буду укључени сви водозахватни објекти једног дела београдског изворишта (нпр. Доњег поља и Макиша; Новог Београда са Адом Циганлијом и бунарима уз Савско језеро на Макишу). Могућности употребе таквог модела (или више модела за простор целог изворишта Београда) биле би велике, како са аспекта управљања радом водозахватног система подземних вода, са аспекта заштите ресурса подземних вода од загађења, тако и утицаја експлоатације подземних вода на остале садржаје и активности присутне или планиране на простору изворишта.

6. План истраживања и структура рада

Истраживања предвиђена предметном дисертацијом биће реализована етапно, по фазама које произилазе из постављених циљева истраживања.

1. фазу представља прикупљање релевантних резултата научних истраживања и сазнања у области бунара са хоризонталним дренажним, на националном и међународном нивоу. Активности у оквиру ове фазе ће обухватити изучавање до данас примењених концепција симулације бунара, са закључцима о предностима и ограничењима у сваком анализираном случају примењених граничних услова и дискретизације простора у зони бунара. Систематизација и анализа резултата досадашњих истраживања биће извршена хронолошки, како би се у оквиру докторске дисертације могао приказати ток нарастања научног сазнања у предметној области и у таквом контексту позиционирала предложена истраживања.

2. фаза обухвата формирање и калибрацију хидродинамичког модела дела терена београдског изворишта подземних вода. За потребе формирања модела биће извршено прикупљање, систематизација, анализа и синтеза расположивих података о хидрогеолошкој средини и водозахватном објекту чијом интеграцијом настаје модел. У првом реду, реч је о:

- геолошкој грађи истражног простора одабраног дела изворишта (што укључује резултате извођења истражних бушотина са анализама гранулометријског састава),
- хидрогеолошким одликама и филтрационим карактеристикама седимената издани (прелиминарно задатих на моделу на основу литолошког/гранулометријског састава и досадашњих истраживања, а репрезентативно идентификованих у поступку калибрације модела),

- хидролошким условима реке Саве и других површинских водних тела, заједно са подацима о геометрији корита,
- нивоима издани регистрованим у пијезометрима на простору обухваћеном моделом,
- подацима о режиму рада бунара (радним нивоима и капацитетима бунара),
- подацима о конструктивним и функционалним карактеристикама дренажа, заједно са историјатом њиховог одржавања,
- подацима о хемијском и микробиолошком саставу подземних вода, међу којима су најзначајнији садржај двовалентног и укупног гвожђа, редокс потенцијал подземних вода, број и активност бактерија које инхибирају колмирање.

Нарочит значај за истраживања у овој фази има дефинисање хидрауличких карактеристика, тј. пропусности дренажа на бунару који је предмет детаљних испитивања, од самог почетка његовог укључења у водозахватни систем београдског изворишта, као и њихова промена током целог периода обухваћеног хидродинамичком анализом. Претпоставља се да ће на основу примене предложене концепције континуалне симулације и анализе оствареног режима нивоа подземних вода у оквиру хидродинамичких истраживања на моделу бити омогућено пружање одговора на питање које чини полазну хипотезу предметних истраживања – питање узрока и динамике старења дренажа, односно границе репрезентативности и актуелности критеријума биохемијског колмирања бунара, који је постојећи модел за разумевање процеса старења бунара на београдском изворишту.

Активности у оквиру 2. фазе треба да резултирају предлогом оптималног начина представљања дренажа на хидродинамичким моделима (у смислу хидрауличног механизма експлоатације подземних вода, квантификовања реалних вредности хидрауличких карактеристика дренажа, примењеног граничног услова и степена дискретизације)

3. фазу истраживања представљаће анализа оптималног, хидраулички репрезентативног начина симулације бунара са хоризонталним дренажима на хидродинамичким моделима. У оквиру овог дела истраживања биће анализирана примена различитих граничних услова за симулацију дренажа, било хидраулички еквивалентним, било хидраулички реалним приступом. Као завршни корак ове фазе биће детаљно представљен поступак примене предложене концепције задавања дренажа на моделима, заједно са методологијом испитивања узрока и ефеката старења дренажа, на примеру предметног обновљеног бунара.

4. фаза обухвата даљу експлоатацију хидродинамичког модела у циљу утврђивања оптималног степена дискретизације истражног простора у плану и профилу, нарочито уже зоне бунара и аспекта утицаја дискретизације простора на одабране граничне услове којима се представљају дренажи, као и дискретизације временског периода обухваћеног симулацијом режима подземних вода.

5. фаза је завршни корак у оквиру експерименталног дела истраживања. Она обухвата симулацију свих бунара обухваћених хидродинамичким моделом, као реалних бунара са хоризонталним дренажима, у складу са предложеном методологијом симулације дренажа и њиховог старења из 3. и 4. фазе истраживања.

У првом кораку, на моделу ће бити симулирани елементи режима подземних вода оствареног и регистрованог у анализираном временском периоду, док ће у другом кораку бити извршена анализа очекиваних, хипотетичких услова експлоатације након што на свим бунарима обухваћеним моделом буду утиснути нови дренажи и у њима задат оптималан режим експлоатације уважавајући процесе старења. Стога, 5. фаза предложених хидродинамичких истраживања треба да резултира предлогом методологије дефинисања оптималног капацитета бунара са хоризонталним дренажима на београдском изворишту, на примеру групе бунара обухваћених моделом.

6. фаза подразумева синтезу свих резултата добијених истраживањима у оквиру појединих фаза, њихову дискусију и повезивање у јединствен научно–истраживачки резултат и допринос, са предлогом правца даљих хидродинамичких истраживања. Ова фаза биће реализована кроз израду и одбрану предложене докторске дисертације.

7. Структура докторске дисертације

Структура докторске дисертације је усклађена са циљевима истраживања, постављеним хипотезама, очекиваним резултатима и научним доприносом, концепцијом и планом рада. У наставку је дат прелиминарни садржај дисертације, док ће финални облик ће зависити и бити прилагођен добијеним резултатима и закључцима:

- I Уводна разматрања
- II Теоријски део
 - 1. Хидраулички механизам експлоатације подземних вода преко бунара са хоризонталним дренажима
 - 2. Приказ досадашњих хидродинамичких истраживања старења бунара са хоризонталним дренажима
- III Експериментални део
 - 1. Анализа експлоатационог режима нивоа издани у зони бунара са хоризонталним дренажима
 - 2. Израда 3D хидрогеолошког модела истражног простора
 - 3. Израда концептуалног хидродинамичког модела
 - 4. Шематизација простора модела и временског периода обухваћеног анализом
 - 5. Почетни и гранични услови хидродинамичког модела
 - 6. Калибрација модела
 - 6.1 Реконструкција режима рада анализираног бунара
 - 6.2 Анализа режима нивоа издани у зони анализираног бунара
 - 6.3 Идентификација репрезентативних вредности филтрационих карактеристика седимената издани и наслага дна површинских водних тела (реке Саве, канала, језера)
 - 6.4 Квантификовање хидрауличких карактеристика дренажа током времена
 - 6.5 Анализа резултата дефинисања пропусности дренажа и промене отпора на рачун старења
 - 6.6 Анализа евентуалног присуства и генезе почетних отпора на дренажима
 - 6.7 Анализа старења бунара у зависности од индикатора колмирања дренажа
 - 7. Анализа режима подземних вода под утицајем рада групе бунара са хоризонталним дренажима и ефеката старења бунара
 - 8. Дефинисање оптималног капацитета бунара са хоризонталним дренажима на београдском изворишту подземних вода
 - 9. Прогнозирање квантитативних елемената биланса подземних вода на анализираном делу изворишта у условима рада групе бунара са новим дренажима
 - 10. Закључак
- Литература

Имајући у виду актуелно стање водозахватних објеката и експлоатације подземних вода на изворишту Београда, које је оправдано сматрати крајњим тренутком за покретање интензивне кампање обнављања бунара у циљу

заустављања тренда смањења учешћа подземних вода у укупном снабдевању пијаћим водама, значај спровођења предложених хидродинамичких истраживања се може посматрати као научно–истраживачки напор у правцу очувања изворишта подземних вода Београда као једног од највећих ове врсте у свету и једног од најзначајнијих водопривредних објеката у земљи.

Очекује се да ће спроведено истраживање указати да хидродинамичка анализа услова и ефеката рада бунара са хоризонталним дренажима треба бити утемељена на перманентном уважавању карактеристичне просторне хетерогености литолошког састава алувијалних кластита, филтрационих карактеристика седимената водоносне средине, хемијског састава подземних вода присутних у конкретним условима терена у којима се ови објекти изводе, као и хидраулички репрезентативног начина представљања дренажа и њиховог старења на хидродинамичким моделима.

8. Закључак и предлог

На основу приложене документације кандидат Ђорђевић Божовић, дипл. инж. геологије, запослен у ЈКП „Београдски водовод и канализација“, испуњава Законом предвиђене услове за рад на докторској дисертацији.

Комисија сматра да предложена тема докторске дисертације под називом **„Хидродинамичка анализа процеса старења бунара са хоризонталним дренажима на београдском изворишту подземних вода“** може имати научан допринос у оквиру хидрогеологије. Допринос у области фундаменталних сазнања у хидрогеологији огледа се у новом приступу код спровођења хидродинамичке анализе комплексних процеса филтрације подземних вода под утицајем рада бунара са хоризонталним дренажима изграђеним у сложеним хидрогеолошким условима, чији дренажи су угрожени дејством различитих процеса који изазивају њихово старење. Развијен методолошки приступ хидрауличке идентификације присуства две генетски различите врсте колмирања омогућавају прецизно дефинисање пораста хидрауличког отпора на дренажима током рада бунара, а примењена методологија реалног хидрауличког представљања дренажа на детаљним 3D хидродинамичким моделима водозахватних објеката добила је међународну афирмацију публикавањем у водећем међународном часопису из области хидрогеологије, категорије M21a.

Према предмету обраде, примењеној методици истраживања и очекиваним резултатима, докторска дисертација припада ужој научној области “Хидрогеологија”. Комисија предлаже Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду да одобри израду докторске дисертације под називом **„Хидродинамичка анализа процеса старења бунара**

са хоризонталним дренажима на београдском изворишту подземних вода“
кандидата Ђорђија Божовића, дипл. инж. геологије.

За ментора на изради ове дисертације предлаже се др Душан Полочић, редовни професор на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду, који испуњава све услове дефинисане важећим прописима Универзитета.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Др Душан Полочић, редовни професор
Универзитета у Београду
Рударско-геолошки факултет

Др Драгољуб Бајић, доцент
Универзитета у Београду
Рударско-геолошки факултет

Др Весна Ристић Вакањац, редовни професор
Универзитета у Београду
Рударско-геолошки факултет

Др Зоран Никић, редовни професор
Универзитета у Београду
Шумарски факултет