

ПРОЦЕНА НА РАНЛИВОСТА ОД ЗАГАДУВАЊЕ НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ ВО ВОДОНОСНИКОТ ГРДОВСКИ ОРМАН СО ПРИМЕНА НА МЕТОДИТЕ "GOD" И "AVI"

Војо Мирчовски, Дарко Пижов, Ѓорѓи Димов

¹Институт за геологја, Факултет за природни и технички науки,
Универзитет „Гоце Делчев“, во Штип,
бул. „Гоце Делчев“, 89, 2000 Штип, Република Северна Македонија
darko.132298@ugd.edu.mk

Апстракт: Методите за проценка на ранливоста на подземните води се повеќе се применуваат во светот заради потребата за заштита на подземни води од надворешна контаминација, со цел задржување на квалитетот на водата. Изработката на картите на ранливост претставува основа за воспоставување на превентивни мерки за заштита на подземните води. Во овој труд се прикажани резултатите добиени со примена на GOD и AVI-метода, за одредување на степенот на ранливост од загадување на водоносникот Грдовски Орман. AVI-методата користи два параметри за проценка: дебелина на незаситената зона и коефициентот на филтрација на надводносните седименти, а GOD-методата користи три параметри: тип на водоносник, литологијата на надводносната, зона и длабочина на подземната вода. Проценката на ранливоста е одредувана врз основа на податоците добиени од 12 издупчени бунари, кои се користат за водоснабдување на градот Кочани. Со методот AVI е одреден индекс на ранливост со екстремно висока (<1), до висока ранливост (1 – 2), додека според GOD-методата индексот на ранливост се движи во интервал од средна до висока ранливост (0,4 - 0,6).

Клучни зборови: подземни води, ранливост, метод GOD, метод AVI, филтрација, водоносник, интергрануларна порозност, Грдовски орман

ASSESSMENT OF THE GROUNDWATER VULNERABILITY OF POLLUTION IN THE AQUIFER GRDOVSKI ORMAN WITH THE APPLICATION "GOD" AND "AVI" METHOD

Abstract: Groundwater vulnerability assessment methods are increasingly used worldwide due to the need to protect groundwater from external contamination in order to maintain water quality. The preparation of vulnerability maps is the basis for establishing preventive measures for groundwater protection. This paper presents the results obtained by applying the GOD- and AVI-method for determining the degree of vulnerability to pollution of the aquifer Grdovski Orman. The AVI method uses two parameters for estimation: the unsaturated zone thickness and the filtration coefficient of the aquifers, and the GOD method uses three parameters: the type of aquifer, the lithology of the aquifer, the zone and the depth of the groundwater. The vulnerability assessment is determined based on the data obtained from 12 drilled wells, which are used for water supply of the city of Kočani. The AVI - method determines a vulnerability index with extremely high (<1), to high vulnerability (1 – 2), while according to the GOD - method, the vulnerability index ranges from medium to high vulnerability (0.4 – 0, 6).

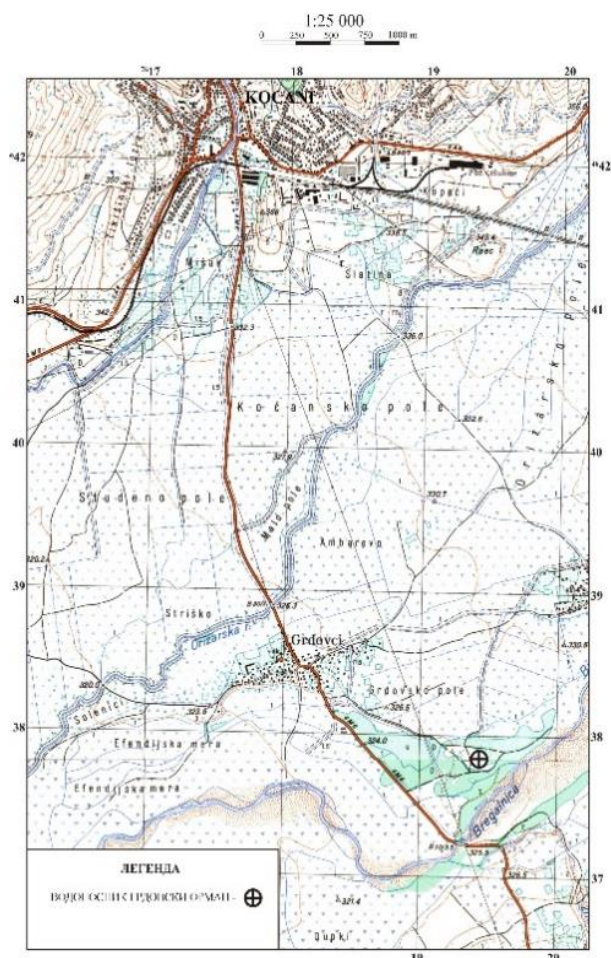
Key words: groundwater, vulnerability, GOD-method, AVI-method, filtration, aquifer, intergranular porosity, Grdovski Orman

ВОВЕД

Водоносникот Грдовски Орман се наоѓа на 4 km јужно од градот Кочани во непосредна близина на селото Грдовци (Слика 1).

Целокупното водоснабдување на градот Кочани како и на неколку околни селки населби

се врши со подземни води од водоносникот Грдовски Орман. Водоносникот спаѓа во групата на отворени до полузатворени хидрогеолошки структури. Тој е формиран во алувијалните седименти на реката Брегалница изградени од песокливо чакалести седименти кои се карактеризираат со интергрануларна порозност.



Сл. 1. Географска положба на истражуваниот терен

Прихранувањето на водоносникот во најголем дел се врши со водата на реката Брегалница со која е во директна хидраулична врска, а во помал дел се храни и со водите кои потекнуваат од атмосферските талози. Директната хидраулична врска на водоносникот со водата од реката Брегалница, плиткото ниво на подземните води, близината до урбанизирана средина во која се наоѓаат поголем број на антропогени загадувачи, како и близината на околните обработливи земјоделски површини кои интензивно се обработуваат и третираат со хемиски препарати претставуваат потенцијална можност од загадување на подземните води на водоносникот Грдовски Орман. Максималната количина на вода која се експлоатира од водоносникот изнесува 245 l/s.

Концептот за осетливоста на подземните води од загадување првично е претставен од Францускиот научник Margat, (Vrba & Zarogozes, 1994). Идејата била да се одреди степенот на осетливост на подземните води од загадување, во зависност од геолошките, хидролошките и

хидрогеолошките карактеристики на истражуваниот терен.

За одредување на степенот на ранливост на подземни води од водоносникот Грдовски орман се користени GOD и AVI методата. Овие методи досега не се применувани на просторот на Република Македонија, но имаат широка употреба во светски рамки: (Rukmana et al., 2020), (Boufekane et al., 2013), (Nugraha, 2020) (Knouz, et al., 2017), (Putranto et al., 2017), (Saheed, 2017), (Thomas et al., 2018), (Connell L. D., Daele G. V. D., 2003), (Lasserre F. Razack., Banton, M. O., 1999):

Споменатите методи се користени според податоците кои се добиени од 12 бунари кои се изработени за водоснабување: B-15, B-16, B-17, B-18, B-19, B-20, B-21, B-22, B-23, B-24, B-6, B-7.

Зоната на истражување ги опфаќа првата и дел од втората заштитна зона воспоставени околу бунарскиот систем, со претпоставка дека нема поголеми промени во хидрогеолошките карактеристики на теренот на тој простор.

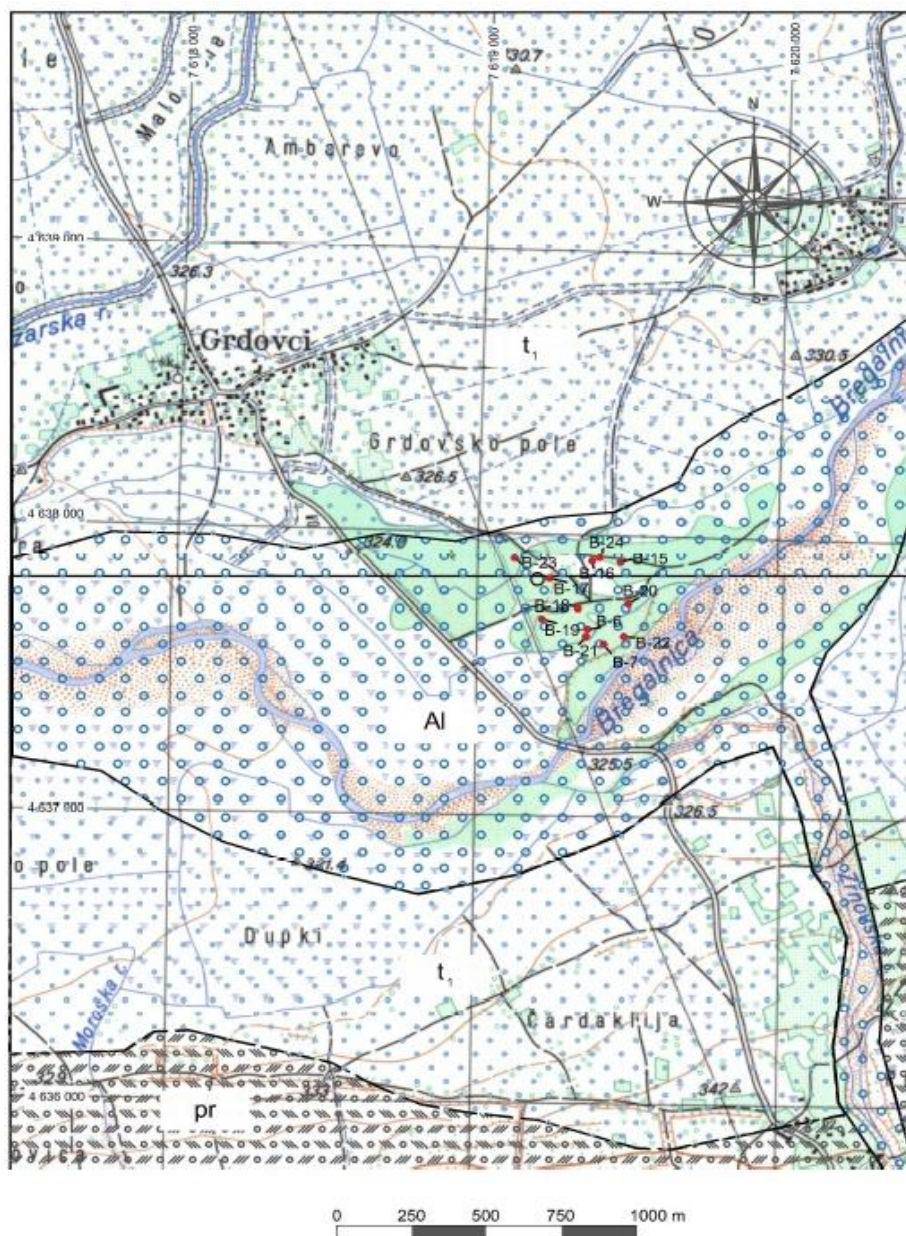
ГЕОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ

Според (Ракичевик et al., 1967) поблиската околина на истражниот простор е изградена од седиментни карпи од квартерна старост, кои на овој простор се претставени од пролувиум (pr), пониски речни тераси (t_1) и алувиум (al). (Слика 2).

Пролувијалните седименти се среќаваат по јужните и југоисточните ободни делови на истражниот простор. Изградени се од слабо обработени и необработени парчиња на магматски и метаморфни карпи придружени со чакали, суглини и песоци.

Пониските речни тераси се јавуваат на левата и десната страна покрај коритото на реката Брегалница на височина од 5 до 10 m од коритото и зафаќаат најголем дел од истражниот простор. Изградени се во најголем дел од глини, суглини, супесоци и чакали.

Алувијалните седименти се среќаваат по долината на реката Брегалница. Изградени се од чакали и песоци, кои водат потекло од карпите низ кои течат водите од сливот на оваа река. Тие се често измешани и несортирани при што во горните токови на реките преовладуваат делумно обработени материјали, а во долните токови обработен и поситен материјал.



ЛЕГЕНДА НА КАРТИРАНИ ЕДИНИЦИ

Квартер	Симбол	Описание
Al	Blue circles	Алувиум
t	Green circles	Стара речна тераса
pr	Orange circles	Пролувиум

ЛЕГЕНДА НА СТАНДАРДНИ ЗНАКОВИ

- Геолошка граница: Утврдена, претпоставена
- Експлоатациони бунари

Сл. 2. Геолошка карта на пошироката околина на водоносниот Грдовски Орман

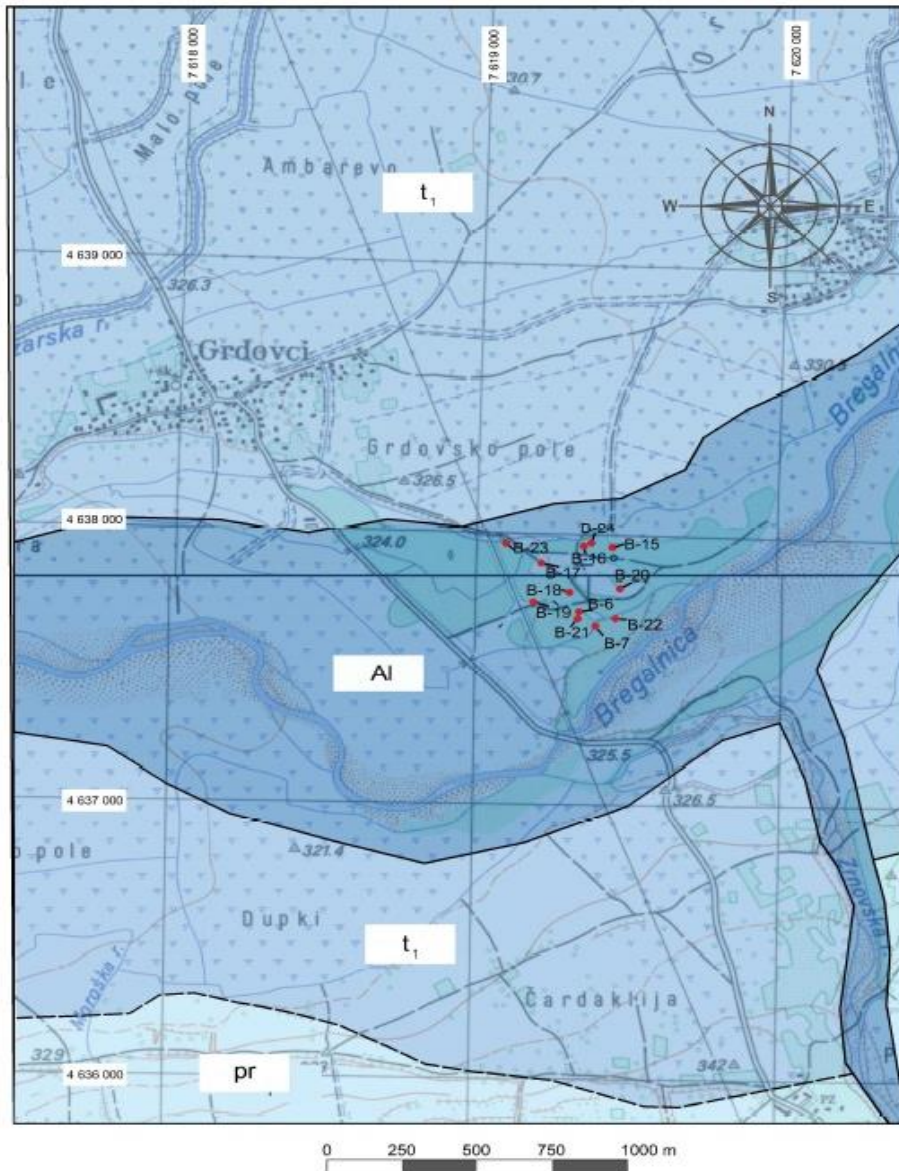
Во тектонски поглед пошироката околина на истражуваното подрачје припаѓа две крупни геотектонски единици и тоа Српско-македонски масив и Вардарска зона, (Арсовски, 1997). Овие две единици се разделени со раседна структура од регионален карактер, која на СЗ се губи во

Кратовско-Злетовската вулканска област, а на ЈИ во Кочанската котлина. Формирањето на склопот на теренот, односно структурните форми е условено со тектонските движења кои се случиле за време на претпалеозоиските, херцинската и алпската орогенеза.

ХИДРОГЕОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ

Според податоците на (Мирчевски et al., 2008), според структурниот тип на порозност на карпите кои го изградуваат истражуваниот простор се издвоени збиен тип на водоносници, а

според хидрогеолошката функција на литолошките членови се издвоени добро водопропустливи средини во кои спаѓаат алувијалните седименти и седиментите од пониските речни тераси и средно водопропустливи средини изградени од пролувијалните седименти (Слика. 3).



ЗБИЕН ТИП НА ВОДОНОСНИЦИ

- Добро водопропустливи средини
- Al Алувиум
 - t₁ Стара речна тераса
- Средно водопропустливи средини
- pr Пролувиум

ЛЕГЕНДА НА СТАНДАРДНИ ЗНАКОВИ

- Геолошка граница: Утврдена, претпоставена
- Експлоатациони бунари

Сл. 3. Хидрогеолошка карта на пошироката околина на водоносникот Грдовски Орман

Водоносникот Грдовски Орман претставува водоносник со слободно ниво, формиран во колекторска средина од квартерни алувијални и речно терасни седименти изградени од разногранулирани песоци и чакали кои се карактеризираат со интергрануларна порозност.

Според податоците од истражните дупчења (Ангелов, 1994), водоносната средина се простира до длабочина од 44 до околу 50 m. Под водоносната средина имаме изолаторска средина изградена од плиоценски езерски седименти чија точна дебелина не е утврдена. Овие седименти се изградени воглавно од глиновити седименти измешани со мал процент од песок и чакал.

Прихранувањето на водоносникот со вода во најголем дел се врши со водата на реката Брегалница со која е во директна хидраулична врска, а со еден дел се храни и со водите кои потекнуваат од атмосферските талози и од околните водоносници кои се наоѓаат на повисоко хипсометриско ниво.

Дебелината на каптираните слоеви се движи во границите од 31 до 41,6 m.

Нивото на подземната вода во бунарите е од 2,97 – 3,75 m.

Поединечниот капацитет на бунарите се движи од 15 – 40 l/s.

Вкупниот капацитет на бунарите кои се во експлатација изнесува 262 l/s.

Врз основа на гранулометриските испитувања е утврдено дека покривните седименти се изградени од две литолошки средини. Првата е изградена од песок и чакал со коефициент на филтрација $K_f = 52$ m/ден, а втората е изградена од песок со присуство на чакал и прашина со коефициент на филтрација од $K_f = 0.42$ m/ден.

Водоносната средина е изградена од песок и чакал и има коефициент на филтрација од $K_f = 95$ m/ден.

МЕТОДИ НА ИСТРАЖУВАЊЕ

GOD-метода

GOD-методата се применува за водоносниците со интергрануларна порозност и најчесто се применува за брза проценка на ранливоста на водоносниците, во случаите кога на располагање имаме мал број на податоци. Оваа метода е предложена од Foster, (1987) и е базирана само на три параметри. Ранливоста на водоносникот

се утврдува со емпириски пристап, според формулата:

$$GOD \text{ index} = Ca \times Cl \times Cd$$

Каде што:

Ca = тип на водоносник,

Cl = литологија на незаситената, надводносна зона,

Cd = длабочина на подземната вода во водоносникот

GOD-индексот за ранливоста на водоносникот се добива со множење на добиените резултати од трите параметри:

GOD-индексот е поделен на пет класи (Табела 1).

Со помош на софтверот Arcgis, врз основа на добиените податоци се добива графички приказ на ранливоста со употреба на алатката IDW (inverse distance weighthning).

Вредноста на секој GOD-параметар за степено на ранливост на подземните води варира во зависност од литологијата.

Т а б е л а 1

Индекс на ранливост со GOD-метода

Индекс на ранливост	Класа на ранливост
00 – 0,1	Многу ниска
0,1 – 0,3	Ниска
0,3 – 0,5	Средна
0,5 – 0,7	Висока
0,7 – 1,00	Многу висока

AVI-метода

AVI-методата (Aquifer Vulnerability Index), (Индекс на ранливост на водоносникот), е предложена од (Stempvoort et al., 1993). Оваа метода на прво место ја става незаситената надводносна зона, која ја смета како најзначајна средина во поглед на транзитирањето на загадувачот кон водоносникот, (McLay et al., 2001); (Hardelauf et al., 2004).

Одредување на индексот на ранливост со оваа метода е според два параметри: дебелина на секој седиментен слој над водоносната зона (d), и коефициент на филтрација (K_i), на секој седиментен слој од надводносна зона, (Stempvoort

et al., 1993). Индексот на ранливост се пресметува според формулата:

$$C = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{K_i}$$

каде што:

d_i – дебелина на надводноносната зона (заштитна покривка),

K_i – коефициент на филтрација, на секој седиментен слој од надводноносната зона,

C – хидраулична резистентност (отпорност),

n = седиментни слоеви над водоносникот.

AVI-индексот е поделен на пет класи во интервал од <1 до 4> (Табела 2).

Т а б е л а 2

Индекс на ранливост со AVI-метода

Хидраулична резистентност (години)	Индекс $\log c$	Класа на ранливост
0 – 10	< 1	Екстремно висока
10 – 100	1 – 2	Висока
100 - 1000	2- 3	Средна
1000 – 10 000	3 - 4	Ниска
> 10 000	>4	Многу ниска

Параметарот C ја претставува резистентноста во однос на вертикалното процедување кон водоносникот, (Kruseman & De Ridder, 1990).

Со помош на софтверот Arcgis, се добива графички приказ на ранливоста, со употреба на алатката IDW (inverse distance weighthning).

Вредноста на секој GOD-параметар за степенот на ранливост на подземните води во областа на истражувањето варира во зависност од литологијата.

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Истражниот терен опфаќа простор од првата и дел од втората заштитна зона воспоставени околу бунарскиот систем, кои се изградени од алувијални и речно терасни седименти (Слика 2).

Седиментите од надводноносната зона се изградени од песоливо прашиности песоци и

песокливи чакали. Дебелината на овие седименти се движи од 3 до 3,5 m, во зависност од позицијата на теренот (Табела 3).

Нивото на подземните води кое е добиено од експлоатационите бунари се движи во интервалот од 2,52 до 3,8 m (Табела 4, Слика 5).

Т а б е л а 3

Дебелина на надводносни седименти

Број	Локација	Дебелина на покров. седим. (m)
1	В-15	3,5
2	В-16	3,5
3	В-17	3,5
4	В-18	3,4
5	В-19	3,4
6	В-20	3,5
7	В-21	3,4
8	В-22	3,4
9	В-23	3,5
10	В-24	3,5
11	В-6	3,4
12	В-7	3,4

Т а б е л а 4

Ниво на подземни води

Број	Локација	Ниво на подземни води(m)
1	В-15	3,3
2	В-16	3
3	В-17	3
4	В-18	3,8
5	В-19	2,9
6	В-20	3,5
7	В-21	3,6
8	В-22	3,6
9	В-23	2,5
10	В-24	3,2
11	В-6	3,5
12	В-7	3,6

Коефициентот на филтрација на надводноносните седименти во бунарите се движи од 0,42

m/ден, за песошлиците прашиности песоци, додека за песошливите чакали изнесува 52,0 m/ден (Табела 5). (Мирчовски, 2012). Од прикажаните податоци може да се види се заклучува

дека прашиностите седименти со присуство на глинена компонента игра улога во успорувањето на транспортот на контаминентот до водоносникот.

Т а б е л а 5

Коефициент на филтрација Жна надводноните седименти

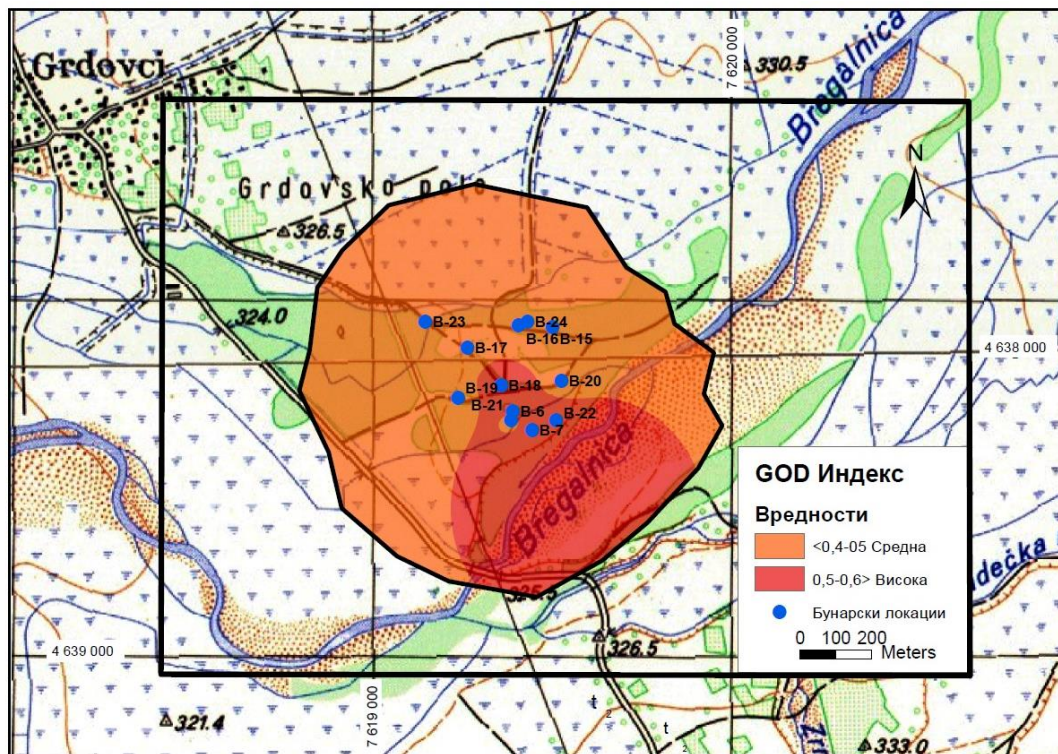
Број	Литологија	Коефициент на филтрација (m/ден)
1. В-15	Песошливо прашиности песоци	0,42
	Песошливи чакали	52,0
2. В-16	Песошливо прашиности песоци	0,42
	Песошливи чакали	52,0
3. В-17	Песошливо прашиности песоци	0,42
	Песошливи чакали	52,0
4. В-18	Песошливо прашиности песоци	0,42
	Песошливи чакали	52,0
5. В-19	Песошливо прашиности песоци	0,42
	Песошливи чакали	52,0
6. В-20	Песошливо прашиности песоци	0,42
	Песошливи Чакали	52,0
7. В-21	Песошливо прашиности песоци	0,42
	Песошливи чакали	52,0
8. В-22	Песошливо прашиности песоци	0,42
	Песошливи чакали	52,0
9. В-23	Песошливо прашиности песоци	0,42
	Песошливи чакали	52,0
10. В-24	Песошливо прашиности песоци	0,42
	Песошливи чакали	52,0
11. В-6	Песошливо прашиности песоци	0,42
	Песошливи чакали	52,0
12. В-7	Песошливо прашиности песоци	0,42
	Песошливи чакали	52,0

GOD-индексот за ранливоста на водоносникот Гровски Орман според трите параметри (тип на водоносник, литологијана на надводносна зона, ниво на подземна вода) се движи во интервал од средна до висока ранливост од 00,4 до 0,6). Картата на ранливост според GOD-методата изработена врз основа на наведените параметри е прикажана на Слика 4.

Високиот индекс на ранливост најмногу се должи на високиот коефициент на филтрација на надводноните седименти кој се движи во интервал од 0,42 до 52,0 m/ден, како и високото

ниво на подземни води кое се движи во интервал од 3,5 до 3,8 m. Овој издвоен дел изнесува 32,7 % од вкупно опфатениот простор со истражувањето и ги опфаќа бунарите В-6, В-7, В-18, В-21 и В-22.

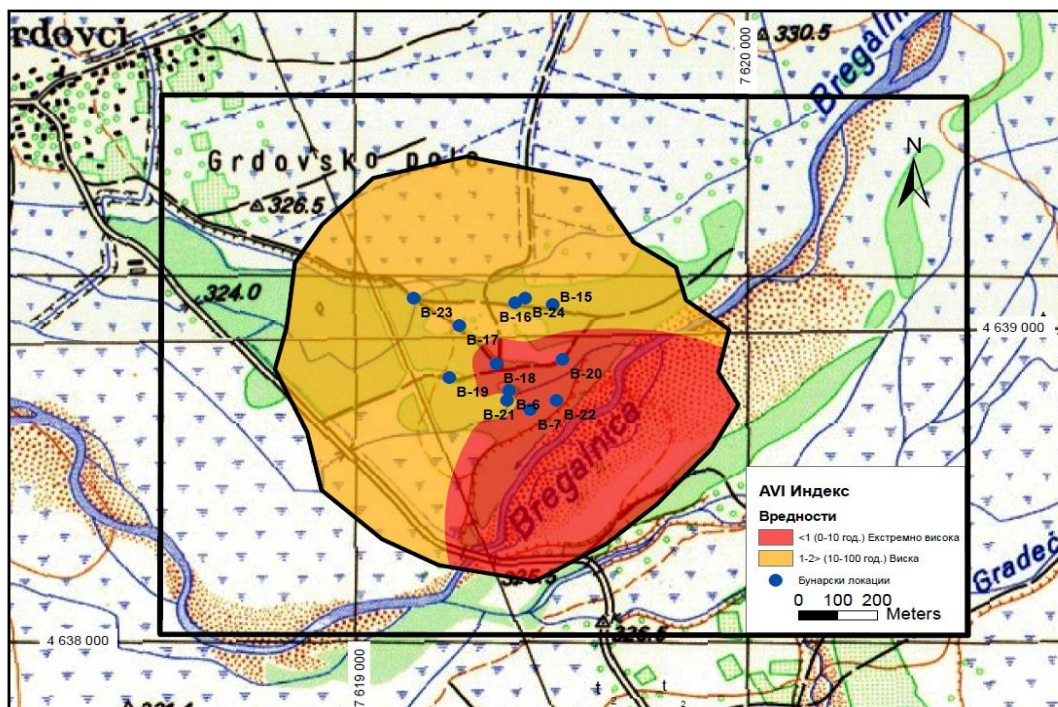
Индексот со средната ранливост (0,4 - 0,5) зафаќа поголем простор од вкупниот простор опфатен со истражувањето и тој изнесува 67,3 % . Во овој дел со средна ранливост влегуваат експлоатционите бунари: В-15, В-16, В-17, В-19, В-20, В-23 и В-24.



Сл. 4. Карта на ранливост според GOD – метода за водоносникот Грдовски Орман

Водоносникот Грдовски Орман со AVI – методата според двата параметри (ниво на подземни води и коефициент на филтрација) е со екстремно висока ранливост со вредност <1, до

висока ранливост со вредност во интервал од 1 до 2. Картата на ранливост според AVI – методата изработена врз основа на наведените параметри е прикажана на Слика 5.



Сл. 5. Карта на ранливост според AVI – метода за водоносникот Грдовски Орман

Екстремно високиот индекс на ранливост најмногу се должи на високиот коефициент на филтрација на надводноносните седименти кој се движи во интервал од 0,42 до 52,0 м/ден, како и малата дебелина на надводноносните седименти која се движи во интервал од 3,5 до 3,8 м. Овој издвоен дел изнесува 36,5 % од вкупно опфатениот простор со истражувањето и ги опфаќа бунарите В-6, В-7, В-18, В-20 и В-22.

Индексот со висока ранливост од 1 до 2 зафаќа поголем простор од вкупниот простор опфатен со истражувањето и тој изнесува 63,5 %. Во овој дел со средна ранливост влегуваат експлоатационите бунари: В-15, В-16, В-17, В-19, В-21, В-23 и В-24.

ЗАКЛУЧОК

Пресметаниот индекс на ранливост на водоносникот Грдовски Орман според GOD- и AVI-методата е сличен и тој се движи во рамките од средно до екстремно висока ранливост.

Овој водоносник според своите хидрогеолошки карактеристики спаѓа во групата на лесно ранливи отворени до полузатворени хидрогеолошки структури и направените пресметки со двете методи покажуваат дека дебелината на надводноносните седименти, длабочината на подземната вода и коефициентот на филтрација на надводноносните седименти не овозможуваат доволна природна заштита од евентуалното загадување кое би дошло од површината на теренот.

Според изнесените карактеристики можеме да заклучиме дека подземните води акомулирани во алувијалните седименти на водоносникот Грдовски Орман се наоѓаат во геолошка средина која е високо ранлива на загадување.

За зачувување на квалитетот на подземните води од водоносникот Грдовски Орман потребно е да се преземат соодветни превентивни мерки за строга санитарна заштита од надворешни антропогени влијанија поради опасност од контаминација, бидејќи овој водоносник е од големо значење за водоснабдување на градот Кочани.

ЛИТЕРАТУРА

Ангелов, В., (1994): Извештај за изведба на длабока (СХД – 2') истражна дупнатина во лежиштето Грдовски Орман – Кочани. Градежен институт Македонија Скопје.

Арсовски, М., (1997): *Тектоника на Македонија*. Универзитет Кирил и Методиј Скопје, Рударско Геолошки Факултет - Штип.

Vrba J., Zaporozec A., (1994): Guidebook on mapping groundwater vulnerability. IAH International Contributions to Hydrogeology, 16, Heise, Hannover, Germany.

Bantar T. S. Rukmana., Wterman S. Bargawa., Tedy A. Cahyadi., (2020): *Assesment of groundwater vulnerability using GOD method*.

Boufekane Abdelmadjid., Saighi Omar., (2013): *Assessment of groundwater pollution by nitrates using intrinsic vulnerability methods: A case study of the Nil valley groundwater (Jijel, North-East Algeria)*. Laboratory of Geo-Environment, Faculty of Earth Sciences and Country Planning, University of Sciences and Technology, Houari Boumediene (U.S.T.H.B), El Alia, BP 32, Bab Ezzouar, 16111 Algiers, Algeria.

Connell L. D., Daele G. V. D., (2003): A quantitative approach to aquifer vulnerability mapping; *J Hydrol*, **276** (1–4): pp. 71–88.

Foster, S., (1987): *Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability, Pollution Risk and Protection Strategy: International Conference, 1987, Noordwijk Aan Zee, the Netherlands Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants*. Netherlands Organization for Applied Scientific Research, The Hague, 69-86.

Nugraha et al., (2020): Nugraha. U. Gumilar., Lumban, Karit., Priyo, Gaol., Bakti, H. Hartanto., (2020): *Aquifer vulnerability: Its protection and management – a case study in Pangkalpinang city, Indonesia*. Reseach center for geotechnology, Indonesian institute of Sciences, Bandung 40135, Indonesia.

Hardelauf, M., Herbst, H. H., Vanderborcht R., Vanderborcht J., Vereecken H., (2004): Pesticide fate at regional scale: Development of an integrated model approach and application. *Phys. Chem. Earth*, **30** (8–10) (2005), pp. 542–549.

Kruseman G. P., De Ridder, J. M., (1990): *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*. ILRI Publication 47, 377 p.

Lasserre F. Razack., Banton, M. O., (1999): A GIS-linked model for the assessment of nitrate contamination in groundwater. *J Hydrol*, **224**(3–4):pp. 81–90.

Мирчовски, В., (2012): *Хидрогеолошки карактеристики и ранливост од загадување на водоносникот Грдовски Орман кај Кочани*. Институт за геологја, Факултет за природни и технички науки, Универзитет „Гоце Делчев“, во Штип. Магистерски Труд.

McLay, C., Dragden, R., Sparling, G., Selvarajah, N., (2001): Predicting groundwater nitrate concentrations in a region of mixed agricultural land use: A comparison of three approaches; *Environ Pollut* 115:191–204.

Knouz, Najat., Bachaoui, El Mostafa., Boudhar, Abdelghani., (2017): *Cartography of intristic aquifer vulnerability to pollution using GOD method: Case study Beni Amir groundwater, Tadla, Morocco*. Laboratory of Remote Sensing and GIS applied to Geosciences and Environment, University Sultan Moulay Slimane, Faculty of Science and Technology, PB 523, Beni Mellal, Morocco.

- Putranto, T. T., Hidajat W. K., Susanto, N., (2017): Developing groundwater conservation zone of unconfined aquifer in Semarang, Indonesia, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 55.
- Rukmana, T. S., Bantar, W. S., Bargawa T. A. C., (2020): *Assesment of groundwater vulnerability using GOD method.*
- Ракиќевик, Т., Думурџанов, Н., Петковски, П., (1976): *Толкувач за основната геолошка карта на СФРЈ, 1: 100 000, лист Штуп.* Геолошки завод, Скопје.
- Stempvoort, D. V., Ewert, L., Wassenaar, L., (1993): Aquifer vulnerability index: A gis – compatible method for groundwater vulnerability mappng. *Canadian Water Resources Journal*, **18**:1, 25–37.
- Saheed, A. O., (2017): *An overview of aquifer vulnerability;* Unit for Sustainable Water and Environment Civil Engineering Department Central University of Technology Bloemfontein, South Africa.
- Thomas. T, Putranto, T. T., Yusrizai, M. B. S (2018): *Determining the groundwater vulnerability using the aquifer vulnerability index (AVI) in the Salatiga groundwater basin in Indonesia.*