

## ИЗВЕДБА НА ПИЕЗОМЕТРИ ЗА ДЕФИНИРАЊЕ НА МОЖНИ ПАТИШТА НА ДВИЖЕЊЕ НА ШЕСТОВАЛЕНТЕН ХРОМ СО ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ НИЗ ЖЕДЕНСКИОТ МАСИВ КОН ИЗВОРОТ РАШЧЕ

Стојан Михаиловски<sup>1</sup>, Златко Илијовски<sup>1</sup>, Ивица Андов<sup>1</sup>, Војо Мирчовски<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Градежен Институт „Македонија“, Скопје, Република Северна Македонија

<sup>2</sup>Faculty of Natural and Technical Sciences, “Goce Delčev” University in Štip,  
Blvd. Blvd. Krste Misirkov 10-A, P.O. Box 210, 2000 Štip, Republic of North Macedonia  
geozlatko@gim.com.mk

**Апстракт:** Изведбата на два пиезометри во Жеденскиот карбонатен масив е со цел дефинирање на можни патишта на движење на  $\text{Cr}^{6+}$  со подземните води кон изворот Рашче. Изворот на загадување е индустриската депонија Југохром. Досега изведните пиезометри и испитувања поврзани со загадувањето со  $\text{Cr}^{6+}$  биле реализирани во неврзаните седименти и на контактот помеѓу Полошката котлина и Жеден, а сега се изведени пиезометри во Жеденскиот карбонатен масив и во правец на движење на подземните води. Индустриската депонијата Југохром се наоѓа на растојание од околу 30 km од градот Скопје, во зона на прихранување на изворот Рашче. На исток од депонијата на околу 100 m почнува Жеденскиот карбонатен масив, во кој се наоѓа карстен издан кој го прихранува изворот Рашче. Депонијата е резултат од работењето на комбинатот Југохром во периодот од 1955 до 2016. Помеѓу останатото во депонијата има количина од околу 350000 t бихроматно блато, кое во својот состав содржи  $\text{Cr}^{6+}$ . Депонијата континуирано продуцира загадување со  $\text{Cr}^{6+}$  во плитките подземни води во зоните на прихранување на изворот Рашче, односно неврзаните седименти од Долен Полог околу депонијата и низводно во реката Вардар, што е сериозна закана од можно загадување на подземните води во Женскиот карбонатен масив и изворот Рашче. За дефинирање на можните патишта на транспорт на хромот со подземните води низ Жеденскиот масив изведени се два пиезометри П-1 (длабок 220 m) и П-2 (длабок 435 m). Покрај останатите добиени резултати со ниванта изведба, од нив се земени примероци од вода за анализи. Резултатите од анализите покажаа дека, во однос на максимално дозволената концентрација (МДК) на  $\text{Cr}^{6+}$  (0,01 mg/l), во П-1 детектирана е концентрација на  $\text{Cr}^{6+}$  во граници на дозволеното (0,002 mg/l), додека во П-2 детектирана е за 3,6 пати зголемена концентрација на  $\text{Cr}^{6+}$  (0,036 mg/l).

**Клучни зборови:** шестовалентен хром, депонија, подземни води, загадување, Жеден, извор Рашче

## CONSTRUCTION OF PIEZOMETERS TO DEFINE POSSIBLE ROUTES OF MOVEMENT OF HEXAVALENT CHROMIUM WITH GROUNDWATER THROUGH THE ZHEDEN MASSIF TOWARDS THE SPRING RASHCHE

**Abstract:** The construction of two piezometers in the Zheden carbonate massif is aimed at defining possible routes of movement of  $\text{Cr}^{6+}$  with groundwater towards the spring Rashche. The source of pollution is the industrial landfill Jugohrom. So far, piezometers and tests related to  $\text{Cr}^{6+}$  pollution have been realized in the unbound sediments and at the contact between the Polog valley and Zheden, and now piezometers have been constructed in the Zheden carbonate massif and in the direction of groundwater movement. The industrial landfill Jugohrom is located at a distance of about 30 km from the city of Skopje, in the recharge zone of the Rashche spring. To the east of the landfill, at about 100 m, begins the Zheden carbonate massif, in which there is a karst aquifer that recharges the Rashche spring. The landfill is a result of the operation of the factory Jugohrom in the period from 1955 to 2016. Among the rest in the landfill there is a quantity of about 350,000 t bichromatic swamp, which contains  $\text{Cr}^{6+}$ . The landfill continuously produces  $\text{Cr}^{6+}$  pollution in the shallow groundwater in the recharge zones of the Rashche spring, ie the unbound sediments from Dolen Polog around the landfill and downstream in the river Vardar, which is a serious threat of possible groundwater pollution in the Zheden carbonate massif and the spring Rashche. Two piezometers P-1 (220 m in depth) and P-2 (435 m in depth) were constructed to define the possible routes of chromium

transport with groundwater through the Zeden massif. In addition to the other results obtained with their construction, water samples were taken for analysis. The results of the analyses showed that, in relation to the maximum permissible concentration (MPC) of  $\text{Cr}^{6+}$  (0.01 mg/l), in P-1 a concentration of  $\text{Cr}^{6+}$  was detected within the permissible limits (0.002mg/l), while in P-2 it is detected a 3.6-fold increase in  $\text{Cr}^{6+}$  concentration (0.036 mg/l).

**Key words:** hexavalent chromium, landfill, groundwater, pollution, Zheden, spring Rashche

## ВОВЕД

Истражуваниот терен се наоѓа во крајниот северозападен дел на Македонија (Слика 1). Во близина на депонијата, односно на исток од неа на растојание од околу 100 m почнува Жеденскиот карбонатен масив, во кој се наоѓа карстен водоносник, кој го прихранува изворот (врело) Рашче. Изворот Рашче е карстен извор со променлива вкупна издашност која се движи во рамките од 3,18 до 9,6  $\text{m}^3/\text{s}$  или средна 5,15  $\text{m}^3/\text{s}$  (податоци за 2007 до 2015 год., „Водовод“ – Скопје) што го прави изворот втор по големина во нашата држава. Околу 90% од населението од Скопје и Скопскиот регион, кој има околу 600.000 жители, и добар дел од стопанството потребите со вода ги задоволува од овој извор.

Шестовалентниот хром е еден од главните хемиски суровини кој во минатото често се користел во индустријата и поради тоа често е присутен во индустриски отпади, како што е случајот со депонијата Југохром. Помеѓу можните форми на хром, шестовалентниот е најтоксичен. Во изминатиот период се работени повеќе истражувања во Македонија кои ја опишуваат геологијата и хидрогеологијата на Полошката котлина вклучително и теренот околу индустриската депонија, а некои од нив се осврнуваат и на загадувањето со  $\text{Cr}^{6+}$  на подземните води од индустриската депонија Југохром во Јегуновце. (Кекиќ 1986, Радованович и др., 1989). Индустриската депонија во континуитет се до денес продуцира загадување на подземните води со  $\text{Cr}^{6+}$ . Во минатото се работени истражувања и технички решенија за прочистување на загадените води од депонијата со изведба на дренажни системи за зафаќање на контаминираните плитки подземни и процедни води со  $\text{Cr}^{6+}$  под депонијата и нивно прочистување во пречистителната станица во фабриката Југохром (Соро и др., 2001). Но, сепак проблемот со депонијата до денес не е трајно решен.

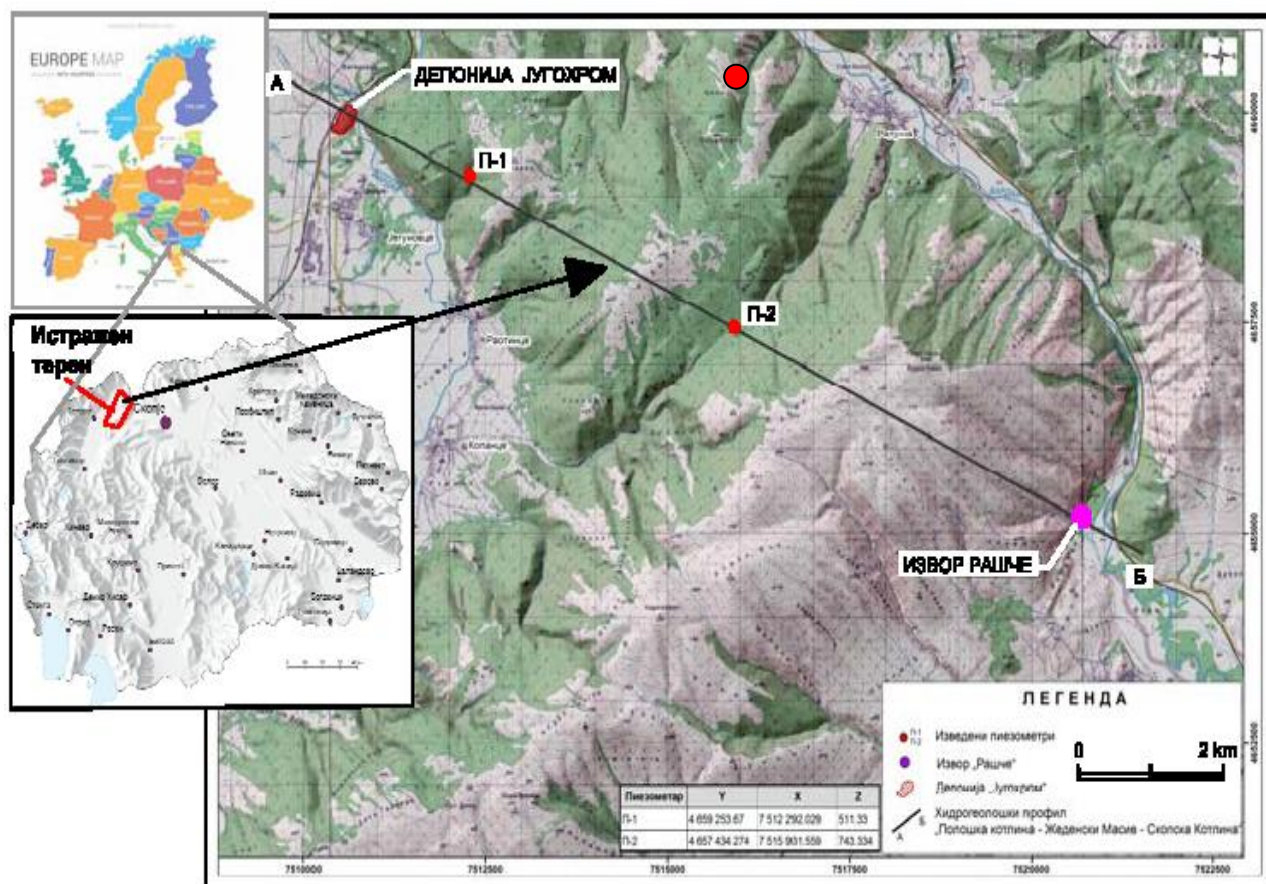
Исто така, во периодот од 2010 – 2015, за утврдување на содржината на  $\text{Cr}^{6+}$  во подземните и површинските води вршен е мониторинг на

подземни води околу индустриската депонија, околу фабриката Југохром како и на поширокиот простор околу Јегуновце (Архива на „Сил-мак“ или поранешен „Југохром“). Со овој мониторинг е одредено присуство на  $\text{Cr}^{6+}$  кое било над МДК ( $>0,01 \text{ mg/l}$ ). Во кругот на комбинатот содржината на  $\text{Cr}^{6+}$  се движела во рамките од 0,21 – 14,23 mg/l, додека во околината на депонијата загадувањето со  $\text{Cr}^{6+}$  било поголемо и содржината се движела во рамките од 0,03 – 1751,30 mg/l. Помеѓу последни истражувања за загадувањето со  $\text{Cr}^{6+}$  на подземните и површинските води од депонијата Југохром и за подетално утврдување на хидрогеолошките карактеристики на теренот околу депонијата во правец кон Жедескиот карбонатен масив се реализирани во текот на 2019 година (Илијовски и др, 2020). Со овие истражувања изведени се три истражни бунари и три пиезометри на просторот помеѓу депонијата и Жеден.

Со добиените резултати од анализите се констатирало дека најголемо загадување со  $\text{Cr}^{6+}$  кое е во рамките од 0,052 – 139,98 mg/l било регистрирано во близина на депонијата кај плитките подземни води односно кај водоносниците со слободно ниво. Кај артеските водоносници со субартеско ниво во некои од примероците, исто така, е регистрирано загадување со  $\text{Cr}^{6+}$  кое се движи од 0,017 – 0,041 mg/l. Од површинските води на река Вардар се направени две испитувања, пред и после депонијата. За седум пати зголемена концентрација на  $\text{Cr}^{6+}$  од 0,069 е констатирана после депонијата, а пред депонијата не било регистрирано  $\text{Cr}^{6+}$ . Но, досегашните испитувања за загадувањето со хром се однесувале на подземните води во пиезометри кои биле изведувани во близина на депонијата и на контактниот дел на Полошката котлина со Жеденскиот масив во неврзаните седименти. Со цел одредување на можните патишта на транспорт на хромот со подземните води низ Жеденскиот масив, во периодот февруари-мај 2021 изведени се два длабоки пиезометри во самиот Жеден (Слика 1). Изработени се и хемиски анализи на

примероци од води во постоечките пиезометри и ново изведените пиезометри на Жеден (П-1 и

П-2). Резултатите од изведба на пиезометрите и анализите се презентирани во овој труд



Сл. 1. Географска позиција на истражуваниот терен

## 2. ИСТОРИЈАТ НА СТВАРАЊЕ И КАРАКТЕРИСТИКИ НА ДЕПОНИЈАТА ВО ЈЕГУНОВЦЕ

Идустриската депонија е резултат на работењето на хемиско металуршкиот комбинат поранешен „Југохром“ или денешен „Силмак“, во периодот од 1955 год. до 2016 год. кога имало производство на феролегури, феросилициум и силициум за потребите на металната индустрија, како и производство на натриум бихромат за потребите на хемиската и кожарската индустрија. Моментално во фабриката нема никаква активност на производство. Во периодот од 1955 до 1994 како резултат на производниот процес на натриум бихромат се создавало хроматно блато кое на почетокот било депонирано во кругот на фабриката, а покасно било однесено на денешната депонија и таму било продолжено со депонирање на депонијата се до 1987 год., како чисто бихроматно блато, а од 1987 до 1994 год.

било мешано со металуршка шлага. Депонијата зафаќа површина од околу 7 ha, со висина од 30 m, просечна околу 23 m. Волуменот на депонијата изнесува околу 1 200 000 m<sup>3</sup>, со депонирано бихроматно блато од околу 350 000 t. Остатокот на материјал е металуршка шлага, градежен шут, комунален отпад од фабриката и околните населени места. Бихроматното блато во својот состав содржи Na<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> 2.1% од кој 0,7% во вид на Cr<sup>6+</sup>, а содржината на Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> изнесува 5%.

Самата депонија е лоцирана на првата речна тераса на р. Вардар и многу блиску до карстниот масив Жеден, поради што депонијата претставува сериозен потенцијален ризик фактор по однос на загадувањето на Жеденскиот карстен водоносник, од каде извира изворот Рашче (Слика 2). Истата претставува една од 16-те врели точки (односно големи загадувачи) во Македонија.



Денес голем проблем е подолготрајното нефункционирање на пумпната станица под депонијата, а како резултат на тоа исц-едокот од

депонијата со висока содржина на  $\text{Cr}^{6+}$  се прелева и истекува директно во р. Вардар и кон Жеденскиот масив (Слика 2).



Сл. 2. Исцедок од депонијата со содржина на  $\text{Cr}^{6+}$  во непосредна близина на р. Вардар и Жеден

### 3. ГЕОЛОШКИ И ТЕКТОНСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ПОШИРОКАТА ОКОЛИНА

Според геотектонската реонизација на Македонија, истражуваниот терен припаѓа на Западно-македонската зона, а претставува дел од крајниот североисточен дел на Полошкиот неотектонски грабен (Арсовски, 1997). Пиезометрите П-1 и П-2 се изведени во рамките на Жеденскиот карбонатен комплекс. Тој претставува релативно издигната морфоструктурна единица помеѓу Полошката и Скопската депресија со максимална надморска висина од околу 1260 м.н.в.. Изграден е од тријаски мермеризирани варовници, со дебелина од 900 m и површина околу 133 km<sup>2</sup>. Со околните тектонски единици контактира преку крупни раседи. Од североисточна и источна страна е ограничен со Радушкиот блок, од југоисточната со Скопскиот неоген басен, од јужна страна со Сувогорскиот

блок, додека на запад е ограничен со Полошката неотектонска депресија. Полошката Котлина претставува типичен двостран грабен исполнет со горно миоценско-плиоценски седименти претставени со чакалесто-песокливи и глиновити седименти. Овие седименти во реонот на Долен Полог се со моќност до 600 m. (Думурџанов Н., 2008). Подземните води во оваа котлина се акумулирани во неогени (миоцен-плиоцен) и квартерни неврзани седименти.

Според хидродинамичките карактеристики на нивото, подземните води се јавуваат во водоносни слоеви со слободно ниво и водоносни слоеви со артеско-субартеско ниво. Плиоценските седименти на површината се покриени со квартерни седименти, освен на потегот село Јегуновце - с. Орешје - с. Вратница, каде се среќаваат на површината. Квартерните седименти се вени со езерски, флувиоглацијални, пролувијални и алувијални седименти. Основата на Полошката

котлина и нејзините периферни планински делови се изградени од палеозојски и мезозојски карпи (Петковски П. и др. 1985). Палеозојските карпи воглавно се претставени со зелени шкрилци, хлоритепидот-серицит-кварцни шкрилци, албитхлорит-епидот-серицитски и други шкрилци, графитични шкрилци, а од еруптивните карпи застапени се гранитите, кои најчесто се ушкрилени.

Мезозојските карпи главно се претставени од: варовници, аргилошести, песочници, дунисти, харбургити, серпентинити и други. Основата на седиментите е изградена од метаморфозирани дијабази, палеозојски шкрилци и карбонатни карпи.

Индустриската депонијата е лоцирана на првата речна тераса на р. Вардар, односно на влезот на р. Вардар во Дервенската клисура.

#### 4. ХИДРОГЕОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ПОШИРОКАТА ОКОЛИНА

Хидрогеолошката градба на пошироката околина на истражниот терен е прикажана на Слика 3 (Илијовски, 2013; Петковски и др., 1985; Јанчевски и др., 1982). Врз основа на извршени голем број на истражувања, добиени се доста детални податоци за хидрогеолошките карактеристики за истражниот терен. Истражниот терен, од хидрогеолошки аспект регионално не претставува една хидрогеолошка целина, туку е поврзан со околните структури. Во зависност од застапените типови на порозност во карпестите маси на пошироката околина на Жеден застапени се следните типови на водоносници/издани:

1. Збиен тип на водоносници,
2. Карстно-пукнатински тип на водоносници,
3. Пукнатински тип на водоносници и
4. Терени без водоносници.

**Збиен тип на водоносници со слободно ниво** е формиран во неврзаните седименти на Полошката котлина од терциерна и квартерна старост, кои се одликуваат со интергрануларна порозност. Во рамките на овие водоносници според издашноста може да се издвојат следните типови на водоносници:

*Водоносниците со слаба водопрпусност и водоносност* - се формираны во заглинетите делувивјални и пролувивјални седименти по ободите на Полошката котлина и во варовничката глиновита дробина која се јавува во некои раседни зони по ободот на котлината, односно во кон-

такната зона на Жеденскиот масив со Полошката котлина. Овие терени спаѓаат во класа 11 и се карактеризираат со коефициент на филтрација  $K_f = 0,086 - 0,86$  m/den, коефициент на трансмисивност  $T = 15 - 50$  m<sup>2</sup>/den и издашноста на бунари  $Q_{bun} = 0,5 - 2$  l/s.

*Водоносници со средна водопрпусност* - Формирани се во пролувивјалните седименти изградени од чакал и песок како и глиновити чакалести седименти кои се јавуваат по ободните делови на Полошката котлина. Овие терени спаѓаат во класа 12 и се карактеризираат со  $K_f = 0,86 - 8,6$  m/den,  $T = 50 - 300$  m<sup>2</sup>/ден и  $Q_{bun} = 2 - 10$  l/s.

*Водоносници со средна до висока водопрпусност и водоносност* - Овие водоносници се формирани во современите алувивјални седименти и квартално езерските и алувивјално - терасните седименти.

*Современи алувивјални седименти* - кои се изградени од разногранулирани песоци и чакали, наместа глиновити се јавуваат по течението на реката Вардар. Овие седименти спаѓаат во класа 13 и се карактеризираат со  $K_f = n \times 10^{-4}$  m/s,  $T = 30 - 1500$  m<sup>2</sup>/ден и  $Q_{bun} = 10 - 25$  l/s.

*Квартално-езерските и алувивјално терасните седименти* - ја покриваат целата Полошка котлина до длабочина од околу 20-30 m. Кај овие седименти промената на литолошките единици е многу честа, како во хоризонтален, така и во вертикален профил, поради што и се јавува разлика во коефициентите на филтрација. Спаѓаат во класа 12, 13 и генерално се карактеризираат со  $K_f = 8,64 - 86,4$  m/den,  $T = 50 - 1500$  m<sup>2</sup>/ден и  $Q_{bun} = 5 - 25$  l/s.

Движењето на подземните води во Полошката Котлина е со генерален правец од подножјето на Шар Планина кон р. Вардар, како и од Долен Полог кон Жеденскиот карбонатен масив и изворот Рашче. Нивоата на подземна вода во средишните и источните делови на котлината се доста плитки, односно 2 - 5 m.

**Водоносници со субартеско и артеско ниво.** Со последните реализирани истражувања со изведба на истражни бунари и пиезометри на теренот помеѓу депонијата Југохром и Жеденскиот масив во неврзаните седименти од Полошката Котлина потврдено е присуство на збиен тип на водоносници со слободно ниво и водоносници со артеско и субартеско ниво (Илијовски и др. 2020). Во хидрогеолошки аспект артеските водоносници се врзани за комплексот на водопрпусни и водонепрпусни

горно плиоценски езерски седименти на просторот од Долен Полог.

Генерално, седментите на овој терен се карактеризираат со  $Kf = n \times 10^{-4} - n \times 10^{-5}$  m/den,  $T = 50 - 300$  m<sup>2</sup>/den. Исто така, со дупчење констатирана е варовничка глиновита дробина на контактот Жеденскиот масив со неврзаните седименти. Тие се слабо до водонепропусни, со коефициент на филтрација во рангот  $Kf = n \times 10^{-7}$  m/s.

**Карстно-пукнатински тип на водоносник** е формиран во рамките на тријаските карбонатни карпи од кои е изграден Жеденскиот масив. Жеденскиот карстен водоносник е од исклучително значење поради изворот Рашче, кој извира на тектонската граница помеѓу Жеденскиот масив и Скопската котлина. Овие карбонатни карпи се карактеризираат со интензивна и длабока карстификација и тоа значително подлабоко од кота 300, на која истекува водата преку изворот Рашче. (Кекиќ, 1986). Овие терени припаѓаат на класа 33, каде и се изведени пиезометрите П-1 и П-2 во Жеденскиот масив, и се карактеризираат со издашност на извори  $Q_i < 2500$  l/s и коефициент на подземно истекување  $q_{sp} = 10$  l/s/km<sup>2</sup>. Останатите карбонатни карпи спаѓаат во класа 31, 32.

**Пукнатински тип на водоносници** – во средно издашни терени (класа 42).

Во ова група припаѓаат Радушките ултрабазити (дунитски перидотити и серпентинити), со кои Жеден е ограничен на североисток. Литолошките единици на Радушкиот масив се карактеризираат со голема испуканост поради интензивната тектоника со поголеми и помали раседи. Ваквите перидотитски маси во длабочина може да претставуваат значаен хидрогеолошки колектор со можност за акумулирање на значајни количини на подземна вода. Се одликуваат со средна водопропусност, потоа издашност на бунари  $Q_{bun.} = 2 - 10$  l/s, издашност на извори  $Q_{izv.} = 2 - 10$  l/s и коефициент на подземно истекување  $q = 1.5$  l/s/km<sup>2</sup>.

**Пукнатински тип на водоносници** – во слабо издашни терени (класа 60) се јавуваат во околните планински масиви околу Полошката котлина, во палеозоиските цврсти карпи во кои спаѓаат кристалестите шкрилци со понизок кристалинитет и еруптивните карпи, кои според

хидрогеолошката функција се слабо водопрпусни. Водоносници се застапени само локално и плитко под површината на теренот, во длабина овие средини се безводни, освен во зони со тектонски и раседни структури.

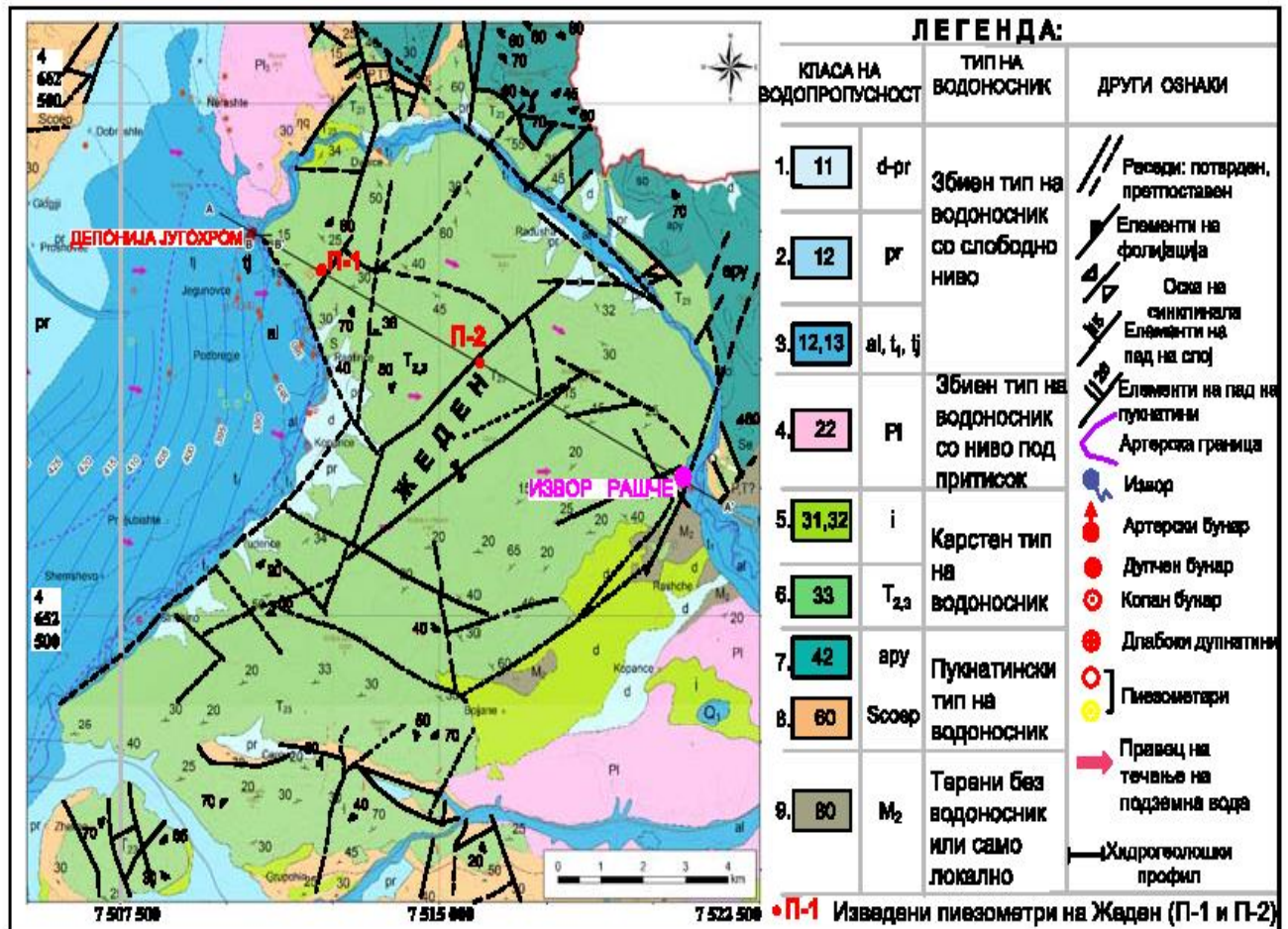
Овие средини се безводни, освен во зони на тектонските – раседни структури.

Овие терени се карактеризираат со  $Q_i < 2$  l/s,  $q = 0,2$  l/s/km<sup>2</sup>. Како терени без водоносници се издвоени миоценските седименти (лапорци, глини, песочници), како дел од Скопската котлина, кои имаат функција на бариера на истекување на подземните води од Жеденскиот масив

## 5. ИЗВЕДБА НА ПИЕЗОМЕТРИ НА ЖЕДЕН (П-1 И П-2)

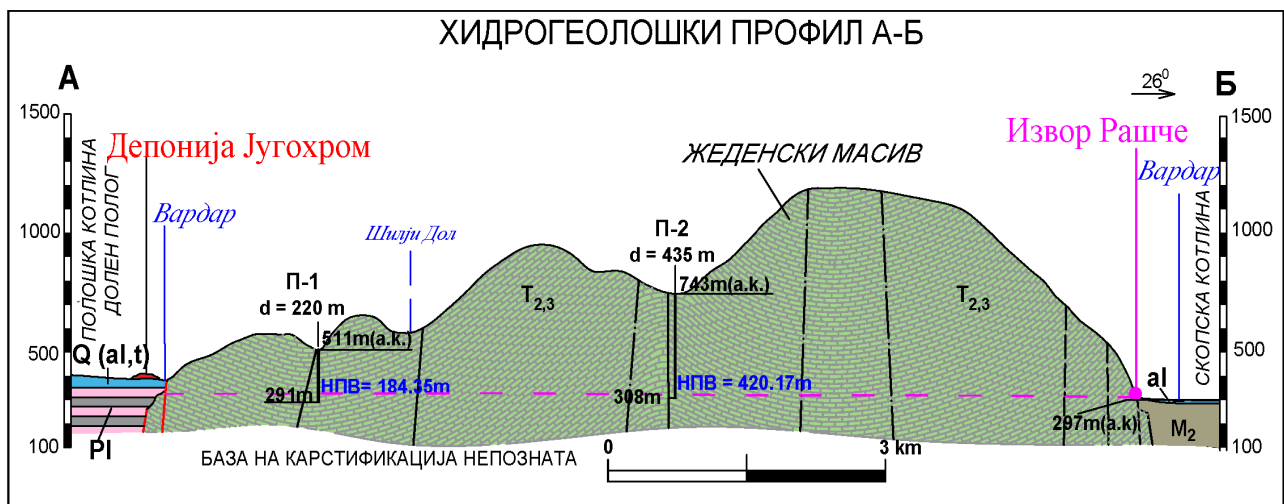
Со цел дефинирање на можни патишта на движење на шестовалентниот хром, потоа натамошно следење на евентуално негативно влијание на депонијата Југохром врз квалитетот на подземните води на изворот Рашче, како и следење на промената на ниво на подземна вода, изведени се два длабоки пиезометри во масивот Жеден (Слики 1, 3 и 4). Дупчењето на истражните дупнатини и вградувањето на пиезометарите П-1 и П-2 се реализираше во периодот од февруари – мај 2021 год. Претходно, на двете локации изведени се припремни работи (пристапни патишта, рамнење на теренот, поставување на дупчачка гарнитура, ископ на базенти, обезбедување на техничка вода за дупчење и др.). За дупчење на пиезометрите, користена е машина тип *Mustang 9 – F4*. После завршеното дупчење на секоја од истражните дупнатини до крајна длабочина, беше извршено фотографирање и картирање на јадрото. Кон зацевување на пиезометрите беше пристапено после завршеното дупчење до крајна длабочина и тоа: П-1 до 220.00 m и на П-2 до 435.00 m, односно од 0.00 m до крајна длабочина истражните дупнатини се зацевени со челични поцинковани полни и филтерски цевки со дијаметар  $\varnothing 2''$  (П-1 = 220.00 m и П-2 = 435.00 m). Перфорирани цевки се поставени на интервал 202 – 214 m, кај П-1 и 417 – 434 m кај П-2. Перфорацијата е извршена со кружни отвори со дијаметар  $\varnothing 3$  mm и со процент на перфорација од 8%. Техничките карактеристики од изведба на пиезометрите се прикажани во Табела 4..





Сл. 3. Хидрогеолошка карта на пошироката околина на Жеден

- 1) Неврзани карпи со слаба водопропусност,
- 2) Неврзани карпи со средна водопропусност,
- 3) Неврзани карпи со средна до висока водопропусност,
- 4) Неврзани или слабо врзани карпи со средна до висока водопропусност,
- 5) Карбонатни карпи со средна до висока водопропусност,
- 6) Жеденски карбонатен масив со многу голема водопропусност и карстифицираност,
- 7) Ефузивни и други цврсти карпи со средна водопропусност,
- 8) Цврсти карпи со слаба водопропусност до водонепропусни,
- 9) Терени без водоносници или само локално



Сл. 4. Хидрогеолошки профил – Полошка Котлина-Жеденски масив-Скопска Котлина (\*Легендата е иста како во слика 3)



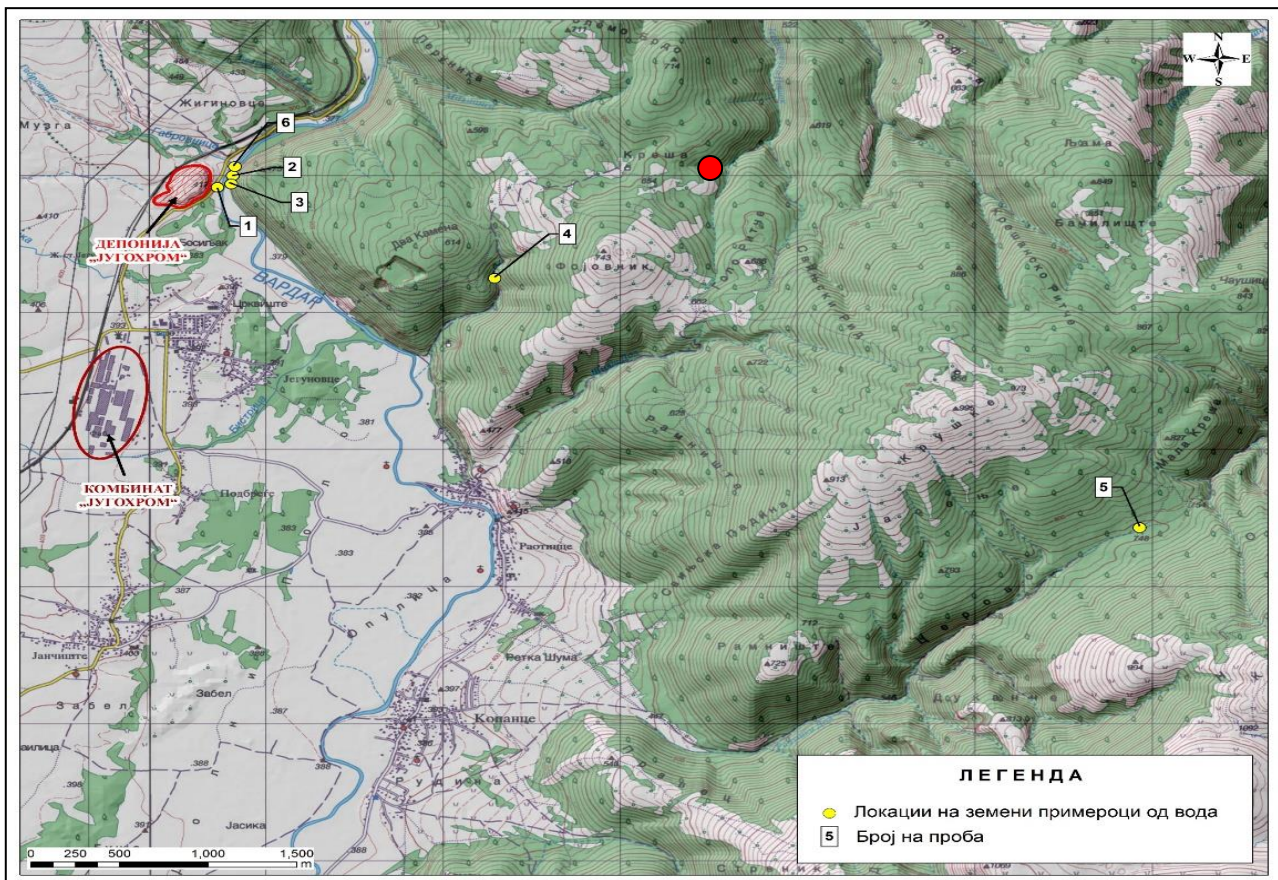
Табела 4

Технички карактеристики на пиезометрите П-1 и П-2

Технички карактеристики	П-1	П-2
Координати	7512292, 4659253	7515931, 4657434
Длабина на дупчење (m)	220	435
Завршен пречник на дупчење (mm)	96	96
Вградена конструкција (m)	220	435
Пречник на конструкција (mm)	2"	2"
Тип на конструкција	челични поцинковани цевки	
Полни цевки (m)	202	417
Филтерски цевки (m)	12	17
Таложник (m)	6	1
Засип од гранулиран чакал (m)	210	425
Цементација (m)	10	10
Ниво на подземна вода [m]	184,35 апс.кота 291	420,17 апс.кота 308

Освен одредување на литолошкиот состав на јадрото, со нивната изведба е дојдено до нови сознанија за апсолутна кота на подземна вода во карбонатниот масив Жеден, одреден е хемискиот состав на водата и се создадени услови за

иден мониторинг, односно мерење на ниво на подземна вода (НПВ) и температура, како и редовно земање на примероци од вода за одредување на квалитет на подземните води во карстиот водоносник (Слика 4)..



Сл. 5. Карта со приказ на локациите од каде се земени примероците од вода



## 6. ЗЕМАЊЕ НА ПРИМЕРОЦИ ОД ВОДА ЗА АНАЛИЗИ И ДОБИЕНИ РЕЗУЛТАТИ

За дефинирање на квалитетот на подземна и површинска вода и дефинирање на можни пастишта на транспорт на хромот во зона на депонијата и во Жеден, беа земени примероци од води за изработка на периодични физичко-хемишки анализи и анализи за одредување на содржината на  $\text{Cr}^{6+}$ . За таа цел еднократно земени беа 5 примероци од подземни води и 1 примерок од површинска вода или вкупно 6 примероци од репрезентативни локации, прикажани на Слика 5. Примероци од води за анализи се земени на локација помеѓу депонијата Југохром и Жеден, и тоа:

– од ново изведените пиезометри на Жеден (П-1 и П-2),

– од цевка 3/4'' која спроведува контаминирана вода од под депонијата,

– од постоечки истражен бунар ИБ-2 и пиезометар П-1 УХМР, помеѓу депонијата и Жеден и

– еден примерок од површинска вода од река Вардар веднаш после депонијата. Физичко-

хемишките анализи од води беа изработени во Институтот за јавно здравје – Скопје, додека анализите за одредување на содржината на шестовалентен хром беа изработени во Секторот за санитарна контрола при Водовод и Канализација – Скопје

Во табелата 5 се прикажани податоци за локациите од каде се земени примероците од води, потоа добиените вредности за содржината на  $\text{Cr}^{6+}$  во нив, како и за колку пати е зголемена концентрацијата на  $\text{Cr}^{6+}$  во однос на МКД.

На слика 6, графички се прикажани содржините на  $\text{Cr}^{6+}$ , и нивна споредба со МДК за  $\text{Cr}^{6+}$ , според македонскиот стандард на водата за пиење (0,01 mg/l).

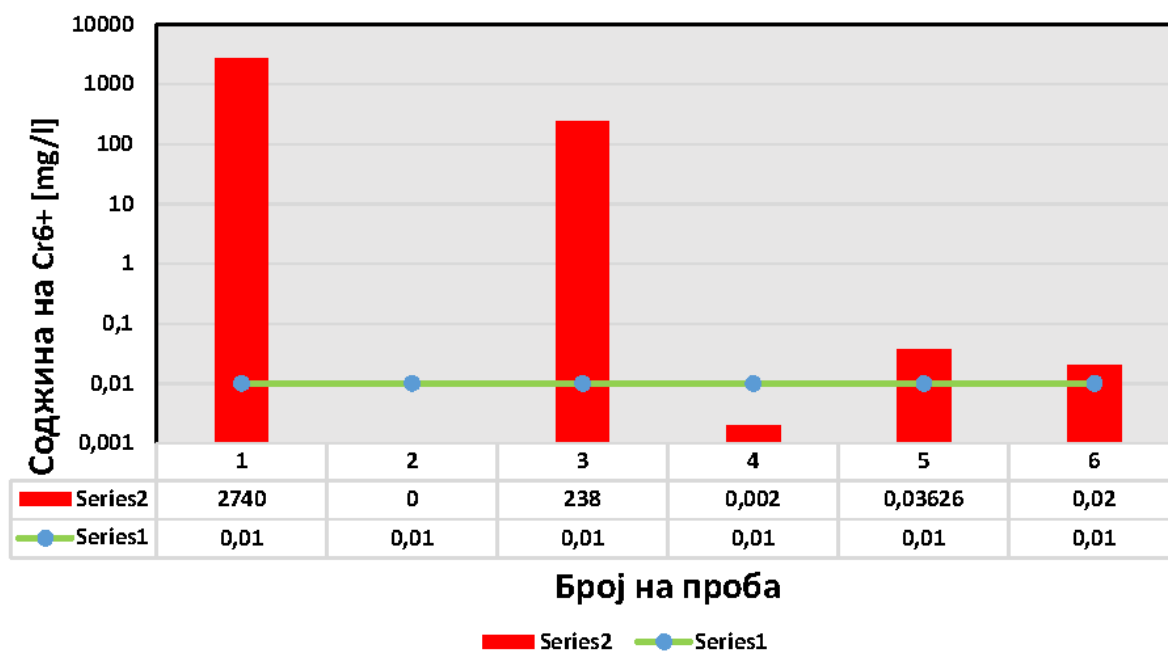
Од табелата и дијаграмот може да се види дека кај повеќето од примероците од води се одредени зголемени концентрации на  $\text{Cr}^{6+}$  во однос на МДК. Врз основа на извршените анализи и просторниот распоред на локациите, од кои се земени примероците од води, може да се заклучи дека најголемо загадување со  $\text{Cr}^{6+}$  во однос на МДК се јавува во близина на депонијата.

Т а б е л а 5

Содржина на  $\text{Cr}^{6+}$  во примероците од вода

	Бр. на проба	Локација на земена проба	Координати		Длабочина на воден објект (m)	Содржина на $\text{Cr}^{6+}$ (mg/l)	Колку пати е зголемена конц. на $\text{Cr}^{6+}$ во однос на МДК *
			Y	X			
Подземна вода	1	Цевка затворена со вентил $\varnothing 3/4''$	7 510 728	4 659 917	/	2740.0	274000
	2	Истражен бунар ИБ - 2	7 510 813	4 660 002	65	н.д.	/
	3	Пиезометар П - 1 УХМР	7 510 805	4 659 942	6	283.0	28300
	4	Пиезометар П - 1, Жеден	7 512 292	4 659 253	220	0.002	/
	5	Пиезометар П - 2, Жеден	7 515 931	4 657 434	435	0.03626	3.6
Површинска вода	6	Река Вардар, после депонија	7 510 825	4 660 070	/	0.02	2

\*Броевите со црвено означуваат вредности над максимално дозволени концентрации-МКД (0.01 mg/l)



Сл. 6. Графички приказ на содржината на Cr<sup>6+</sup> во примероците од вода, 2021

Енормно големи концентрации на Cr<sup>6+</sup> се одредени во проба бр. 1 (од табелата) со концентрација на Cr<sup>6+</sup> = 2740 mg/l или 274000 пати поголема концентрација во однос на МДК. Овој примерокот од вода, проба бр. 1, е земен од цевка со вентил ø3/4'', која поминува под депонијата и ги зафаќа процедурните води од депонијата. Исто така, големи концентрации на Cr<sup>6+</sup> се одредени кај плитките подземни води, односно проба бр. 3 во пиезометар П-1 УХМР (длабина 6 m) со концентрација на Cr<sup>6+</sup> = 283 mg/l или 28300 пати поголема концентрација во однос на МДК. Овој пиезометар се наоѓа помеѓу р. Вардар и Жеден. Зголемени концентрации на Cr<sup>6+</sup> се јавуваат и кој примерокот од вода бр. 5 кој е земен од пиезометар П-2 на Жеден, со концентрација на Cr<sup>6+</sup> = 0.03626 mg/l или за 3.6 пати поголема концентрација во однос на МДК, додека во проба бр. 4, земена од пиезометар на Жеден П-1, детектирана е содржината на Cr<sup>6+</sup> која е во граници на дозволеното (0.002 mg/l).

Кај примерокот бр. 6 земена од реката Вардар под депонијата добиена е содржина на Cr<sup>6+</sup> = 0,02 mg/l, односно за 2 пати поголеми од дозволените. Содржина на Cr<sup>6+</sup> не е детектирана само во проба бр. 2, земена од истражен бунар ИБ-2, кој е со длабочина од 65 m и се наоѓа помеѓу реката Вардар и Жеден, што е резултат на хидрогеолошките карактеристики на теренот.

## 7. ПРЕДЛОГ ЗА МОНИТОРИНГ И ПРЕПОРАКИ ЗА НАТАМОШНИ АКТИВНОСТИ

### 7.1. Предлог за мониторинг

Потребно е да се направат повеќе анализи за содржината на Cr<sup>6+</sup> во подземните води од изведените пиезометри на Жеден, во времетраење од минимум 1 година, со цел сегашниве добиени вредности за содржина на Cr<sup>6+</sup> да бидат веродостојни. Иако со овие еднократно земени примероци од вода од двата пиезометри на Жеден и одредените содржини за Cr<sup>6+</sup> не може да се донесат целосни заклучоци, сепак тие даваат индикативни податоци за содржина на Cr<sup>6+</sup> во подземната вода на Жеденскиот масив. Ваквата состојба наметнува потреба да ново изведените пиезометри на Жеден (П-1 и П-2) да влезат во набљудувачката мрежа на Водовод – Скопје и на нив да се прави редовен мониторинг. Предлагаме да се мери нивото на подземна вода, температура и да се земаат примероци од вода за физико-хемиски анализи и одредување на содржина на Cr<sup>6+</sup> на секои 3 (три) месеци или 4 (четири) пати во текот на годината. Исто така, значајно е да се следи НПВ, температура и квалитетот на водите во останатите пиезометри лоцирани помеѓу депонијата Југохром и Жеденскиот масив.

Препорачуваме сите податоци од мерење на НПВ, температура и од изработените анализи од водите на П-1 и П-2, како и во пиезометрите помеѓу депонијата и Жеден, да се евидентираат во една база на податоци и да се изготвуваат на секои три месеци извештаи од мерење на НПВ, температура и резултати од следење на квалитетот на подземните води во пиезометрите.

### 7.2. Предлог за натамошни активности

Претходни истражувања и испитувања опфатени во повеќе студии, како и сегашните истражувања и добиените резултати презентирани во овој труд, укажуваат на опасноста од миграција на  $\text{Cr}^{6+}$  со подземните води низ Жеденската акумулација (издан), а со тоа и потенцијална можност од загрозување на квалитетот на водата на изворот Рашче.

Сето ова наведува на заклучок дека состојбата со депонијата Југохром треба да се реши што поскоро. Во таа насока, како следно, препорачуваме да се изработи *Студија со можни решенија за трајно надминување на опасноста од негативно влијание на депонијата Југохром врз квалитетот на подземните води на Жеден кои го хранат изворот Рашче.*

Во студијата потребно е да се пристапи кон разработка на можни санациони решенија за трајно елиминирање на штетните влијанија врз почвата и подземните води од депонијата, како и од комбинатот Југохром.

Треба да се потенцира дека било кое решение да се понуди тоа треба да го спречи понатамошното излужување на  $\text{Cr}^{6+}$  и негово движење кон подземните води и реката Вардар. Добиеени се резултати за зголемена содржина на  $\text{Cr}^{6+}$  во анализата од 14.04.2021 год., земена од површинска вода на р. Вардар низводно од депонијата (проба бр. 6), а зголемена концентрација на делот после депонијата, е потврдена и со други порано изработени анализи. Поради тоа значајно е да се спомене дека системот за зафаќање на дренажни контаминирани води, како и прочистителната станица во кругот на Југохром, работат периодично и само делумно ја исполнуваат целта за која се наменети. Бидејќи трајното решавање на проблемот со депонијата Југохром е комплексен и истиот ќе потрае, затоа како краткорочна и најитна мерка се препорачува реконструкција на дренажниот систем и прочис-

тителната станица и нивно ставање во беспрекорно исправна и функционална состојба со работење 24/7.

Активностите поврзани со трајно решавање на проблемот со депонијата и комбинатот, треба да ги содржи следните задачи, односно фази:

(1) Изработка на проектна задача со јасно дефинирани барања

(2) За да се реализира проектната задача, потребно е да се изработи проектна документација редоследно по сите нивоа од студија до финален проект за изведба.

(3) Ревизија на проектната документација;  
(4) Избор на компетентен изведувач по однапред дефинирани критериуми;

(5) Избор на надзор за следење на реализација на работите;

(6) Реализација на работите;

## 8. ЗАКЛУЧОЦИ

Досегашниот квалитетот на водата на изворот Рашче е добар, но е под сериозна закана од загадување од индустриската депонија Југохром. Депонијата продуцира неконтролирано и постојано истекување на  $\text{Cr}^{6+}$  во реката Вардар и во зоните на прихранување на изворот Рашче. Со цел да се допринесе за утврдување на можна миграција на  $\text{Cr}^{6+}$  со подземните води низ Жеденскиот масив, беа изведени два длабоки пиезометри П-1 и П-2. Од пиезометрите еднократно беа земени примероци од вода за изработка на физичко-хемиски анализи и анализи за одредување на содржина на  $\text{Cr}^{6+}$ . Добиеените резултати покажуваат дека во пиезометарот П-2 на Жеден, е одредена концентрација на  $\text{Cr}^{6+} = 0.03626 \text{ mg/l}$  или 3.6 пати поголема концентрација во однос на лимитот со МДК, додека кај пиезометарот П-1 содржината на  $\text{Cr}^{6+}$  е во граници на дозволеното ( $0.002 \text{ mg/l}$ ). За да се донесат сигурни и реални заклучоци во однос на можна миграција на хромот со подземните води, од депонијата Југохром во Жеденската акумулација, потребно е да се земаат повеќекратно примероци од вода од П-1 и П-2 и да се изработат физичко – хемиски анализи со одредување на содржина на  $\text{Cr}^{6+}$ , и тоа во подолг временски период од минимум 1 година. Предлагаме мониторинг на квалитетот, НПВ и температура на подземните води во П-1 и П-2 и останатите пиезометри во зона на депонијата, како и реката



Вардар, да се вршат на секои три месеци во годината. Депонијата Југохром е потребно што е можно поскоро да се отстрани, а загадените подземни води и почва во зона на депонијата и комбинатот Југохром да се стават во процес на ремедијација и целиот простор да биде рекултивиран.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Арсовски М. (1997): Тектоника на Македонија. Универзитет „Св. Кирил и Методиј-Скопје“- Факултет за рударство и геологија – Штип.
- [2] Петковски П., Поповски С. (1985). Толкувач за ОГК за лист Качаник 1:100 000. Геолошки завод, Скопје. Геолошки завод Скопје.
- [3] Јанчевски Ј., Галабов К., Темкова В., (1982). Толкувач за ОГК за лист Скопје 1:100 000. Геолошки завод Скопје.
- [4] Думурџанов Н., Серафимовски Т., Burchfiel С.В. (2008): Генеза и литостратиграфија на неогенските и плестоценските басени во Македонија. Прв конгрес на геолозите на Р. Македонија. Ст. 29-52. Охрид
- [5] Кекиќ А. (1986): „Геологија и хидрогеологија на Полошката котлина и потеклото на водата на изворот Рашче“. Геолошки завод, Скопје.
- [6] Илијовски З. (2013): Хидрогеолошка карта на Р. Македонија во размер 1: 300 000.
- [7] Илијовски З., Михаиловски С., Ивица А., Макешоска М., Лефков Д. (2020): Студија за редифинирање на хидрогеолошката состојба на подземните води на просторот меѓу депонијата во Јегуновце и р. Вардар во контекст на заштита на изворот Рашче. Градежен Институт на „Македонија“, Скопје.
- [8] Илијовски З., Михаиловски С., Ивица А., Макешоска М. (2019): Експертиза за ажурирање на границите на заштитните зони на изворот Рашче и определување на мерки на заштита. Градежен Институт „Македонија“ – Скопје.
- [9] Радованович М., Павлович Д., Чукич З., Димитриович В., Јовашевич Д., Кецкаревич Д. (1989): Студија санација погона Југохрома и депоније хроматног муља на садржај хрома у подземној води и води реке Вардар. Институт за водопривреду „Јарослав Черни“ – Белград.
- [10] Соро А., Хиба Б., Цурич Д., Јевтич Г., Попович Л., Сбркота Д. (2001): Главни пројекат за хватања за пречишћавање отпаднх вода, књига 1, Технолошко – хидрограѓевински део, Институт за водопривреду “Јарослав Черни” – Београд, 2001 г.
- [11] Илијовски З., Михаиловски С., Ивица А. (2021): Финален Извештај од изведба на пиезометри (П-1 и П-2) за дефинирање на можните патишта на транспорт на хром со подземните води низ Жеденскиот масив кои го хранат изворот Рашче. Градежен Институт „Македонија“ – Скопје.
- [12] Годишни извештаии за работењето на „Водовод и канализација“ – Скопје, 2007-2015
- [13] Извештаии од мониторинг на пиезометри, 2010-2015. Архива на „Силмак“ – Јегуновце.
- [14] Правилник за квалитетот и здравствената исправност на водата за пиење. Службен весник на СРМ бр. 5/1984.