



МЕРКИ ЗА НАМАЛЯВАНЕ НА ПОРОВОТО НАЛЯГАНЕ В РАЗЛОМНИТЕ ЗОНИ В СЕВЕРОИЗТОЧНИЯ И ИЗТОЧНИЯТ БОРД НА РУДНИК „АСАРЕЛ“

инж. Антоний Кисъв
antonykisyov@gmail.com

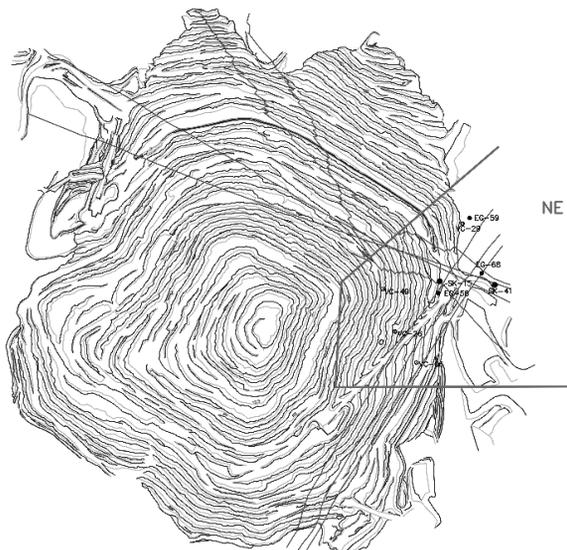
РЕЗЮМЕ

Голямата част от картираните разломни и пукнатини структури са запълнени с тектонска глина с ниска пропускливост и/или седиментна глина, която играе ролята на водоупори/водоноси. Тъй като вместващите скали на висящото и лежащото крила са силно напукани от минала тектонска активност, формирала разлома, съответните зони могат да действат като локални канали на потока на подземни води. След изграждането на отводнителни кладенци в тези зони, се наблюдава понижаване на относително високите пиезометричните нива и реакцията на намаляването на поровото налягане.

ABSTRACT

The majority of fault structures and fractures are generally infilled with a low permeability gouge and weathered tectonic or sedimentary clay which contribute to these structures behaving locally as barriers to the groundwater flow. As the hanging and footwall hosted rock is heavily fractured, due to the past tectonic activities, formed the faults, these fractures exhibit the role of groundwater flow along the fault. When the drain well was built in this zone, it was observed the drawdown of the comparatively high piezometric levels and reaction of the pore pressure decreasing.

Обща характеристика



Фиг. 1. Местоположение на изследваната зона

Рудник „Асарел“ е разположен в южния склон на Същинска Средна гора, в подножието на върховете Лисец (1386m) и Сивата грамада (1358m). Релефът в тази част на планината е средно - до нископланински със средна надморска височина от 685 m.

Рудника е разположен в твърдо-скална среда, изградена от пропилити, аргилизити и кварцити. Всеки един вид от тези скали представлява различна степен на хидротермална промяна на порфирните скали, които са описани по-долу.

- Пропилити - Метаморфозирали вулканични скали свързани с порфирно-медните орудявания. Обикновено са свързани с развитието и наличието на хлорит, албит, епидот и карбонатни минерали. Те са и основния скални тип който доминира в района на Асарел.

- Аргилизити - метасоматично променен гранатоид с преобладаващ минерален строеж от рода на глинести минерали. Тези скали са средно до

високи променени и обикновено са компактни. В случай на наличие на вода в тях, губят в голяма степен здравината си.

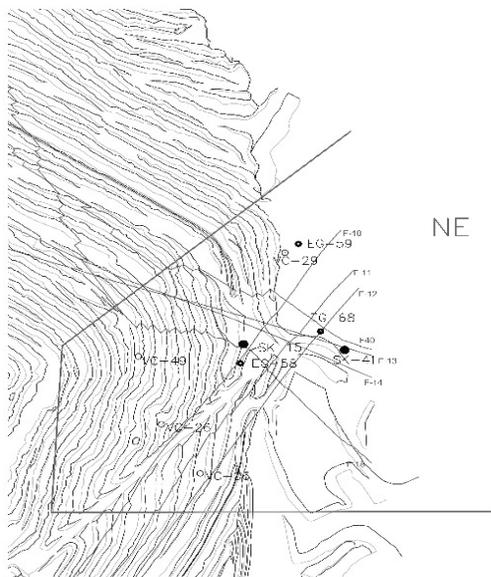
- Кварцити - кварц-серицитови променени гранатоиди, които са средно променени и формират



сравнително здрава скална единица.

Находището има сложен геолого-структурен строеж, което обуславя и усложнените геотехнически и хидрогеоложки условия в рудника. Скалите в находището са силно тектонски преработени, вследствие на което са образувани стрити (разтрошени) зони с дебелина от няколко метра до няколко десетки метра. В момента, дъното на рудника се намира на кота 555m, като северния борд достига кота 1165m, а южния – кота 915m. В рудника са картирани четиридесет разломни структури, които са засечени и в дълбочина от прокараните 79 броя проучвателни сондажа.

Характеристика на съществуващите разломи в изследваната зона:



Фиг. 2. Разпределение на разломните структури в изследваната зона

На фигура 2 е показано разпределението и местоположението на съществуващите разломни структури в изследваната зона. При повърхностна картировка и анализа на извадената ядка от проучвателните сондажи, бяха определени две очертаващи се зони:

- Разтрошена зона на скалната маса;
- Зона от относително компетентна скална маса;

Като разтрошена скалната маса се определя в границите с RQD между 0% и 35%, а компетентна скална маса в масива обхваща зона, в която стойността на RQD е над 35%.

В локалната зона съществуват седем основни разлома, с номерация FT-10, FT-11, FT-12, FT-13, FT-14, FT-18 и FT-40. В таблица 1 е представена характеристика на разломните структури от анализираната сондажна ядка от проучвателните сондажи.

Таблица 1

разлом №	Общ брой сондажи	пресечен от сондажи	максимална дебелина [m]	минимална дебелина [m]	средна дебелина [m]	Вид скална маса
FT-10	16	10	5.55	0.22	1.64	компетентна
		6	4.46	0.22	1.31	разтрошена
FT-11	13	5	1.49	0.14	0.98	компетентна
		8	3.58	0.68	1.88	разтрошена
FT-12	6	3	0.96	0.20	0.60	компетентна
		3	5.50	0.64	1.92	разтрошена
FT-13	7	3	1.22	0.32	0.63	компетентна
		4	1.25	0.40	0.83	разтрошена
FT-14	10	5	0.27	0.21	1.35	компетентна
		5	9.29	0.86	3.40	разтрошена
FT-18	60	21	5.10	0.08	1.31	компетентна
		39	5.26	0.21	1.80	разтрошена
FT-40	41	15	6.59	0.11	1.24	компетентна
		26	9.77	0.21	2.62	разтрошена



Хидрогеоложки изследвания

В разгледаната локална зона са прокарани 9 броя хидрогеоложки сондажи от различно естество – четири от тях са вертикални наблюдателни сондажи за следене на водно ниво (EG-58, EG-59, EG-68 и SK-15), три броя са вертикални сондажи оборудвани с датчици за порово налягане (VC-26, VC-29 и VC-49) и един брой водопонизителен сондажен кладенец (SK-41), показани на фиг. 2.

Направени са набор от опитни – филтрационни изследвания във хидрогеоложките сондажи, както следва:

- Експресни филтрационни опити (Slug tests)

Експресният филтрационен тест е полеви метод, който се ползва ориентировъчно за оценка на коефициента на филтрация на водоносни геоложки формации по данни от краткотрайно водочерпене или водоналиване в проучвателен хидрогеоложки сондаж.

В литературата съществуват редица методи за изчисляване коефициента на филтрация по данни от такива опити. За интерпретация на данните се ползва методика базираща се на аналитичното решение на Hvorslev, M.J. 1951. Уравнението на Hvorslev за несвършен пиезометър, който не е в контакт с непроницаема граница (водоупор) е както следва:

$$\ln(H_0) - \ln(H) = \frac{2K_r L t}{r_c^2 \ln\left(\frac{L}{2r_{we}} + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{2r_{we}}\right)^2}\right)}$$

(1)

$$r_{we} = r_w \sqrt{K_z / K_r}$$

(2)

където:

H - отместването на водното ниво (покачване/спадане) в момент t [L];

H₀ - първоначалното отместване на водното ниво при t = 0 [L];

K_r - радиалната (хоризонтална) хидравлична проводимост [L/T];

K_z - вертикалната хидравлична проводимост [L/T];

L - дължината на филтъра [L];

r_c - номиналният радиус на обсадната тръба [L];

r_w - радиусът на кладенеца [L];

t е изминалото време от началото на теста [T].

- Пакерни тестове (Lugeon tests);

Пакерният тест е полеви метод, който се ползва за оценка на средния коефициент на филтрация на скални формации. Провежда се чрез нагнетяване на вода в изолиран с пакери интервал от проучвателен сондаж чрез перфорирана тръба. Водата се нагнетява при няколко стъпки по отношение на налягането, с последващо измерване на дебита на водонагнетяване до достигане на квазистабелизиран режим на потока. Пакерните тестове за хидрогеоложки цели се провеждат на етапа на проучвателното ядрово сондиране. За обособяването на тестовите интервали се използват пакери, които се инсталират в необсаден сондажен ствол.

Използваната схема с един горен пакер се прилага по време на самото проучвателно ядрово сондиране. В този случай тестовият интервал се ограничава от пакера и забоя на сондажа. След провеждането на съответния пакерен тест, сондирането продължава, като се обособява следващият тестов интервал.

Коефициентът на филтрация се изчислява по формулата:

$$K = \frac{Q \ln\left(\frac{R_0}{R}\right)}{2\pi H L}$$

(3)

където:



K - коефициентът на филтрация [L];
Q - дебитът на нагнетяване;
 R_0 - радиусът на влияние (обикновено се приема $R_0 = L$);
R - радиусът на сондажа [L];
H - общият напор на нагнетяване [L];
L - дължината на тестовия интервал [L];
Уравнение (3) е валидно при:

$$\frac{L}{R} > 10$$

(4)

Стойността Lugeon се изчислява, както следва:

$$\text{Lugeon Value} = \frac{Q}{L} \times \frac{P_0}{P}$$

(5)

където:

P_0 - референтното налягане от 1 MPa (еквивалентно на 10 bar или 145 psi);

$P = 0.0981 \cdot H$ – общото налягане на нагнетяване, P е в bar, H – в m.

По интервално се обобщава типичното поведение на потока, в зависимост от съответната Люжон диаграма, представителната Люжон стойност по Houlsby (1976) и диаграмата поток-налягане, по Quiñones-Rozo, (2010)

В таблица 2 са описани условията, характерни за различните Люжон стойности, както и типичната точност за отчитане на тези стойности (по Quiñones-Rozo, 2010).

Таблица 2

Lugeon стойност	Пропускливост на скалата	Коефициент на филтрация (cm/sec)	Състояние на пукнатините на скалния масив	Точност на отчитане (Lugeons)
<1	Много ниска	$<1 \times 10^{-5}$	Много стегнати	<1
1-5	Ниска	$1 \times 10^{-5} - 6 \times 10^{-5}$	Стегнати	± 0
5-15	Умерена	$6 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-4}$	Някои са частично отворени	± 1
15-50	Средна	$2 \times 10^{-4} - 6 \times 10^{-4}$	Някои са напълно отворени	± 5
50-100	Високо	$6 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-3}$	Напълно отворени	± 10
>100	Много висока	$>1 \times 10^{-3}$	Гъста мрежа от отворени пукнатини или каверни	± 0

- Ерлифтни водочерпения по време на сондирането на вертикалния сондажен кладенец

При водочерпене с устойчив дебит на ерлифта за целия тестови период, за интерпретация на данните от възстановяването се ползва методът на Хорнер като се определя проводимостта на водоносния хоризонт (T).

При положение, че водочерпенето е проведено с неустойчив дебит на ерлифта за кратък период от време (до 10-15 min.), за интерпретация на данните от възстановяването се ползва Методиката за интерпретация на експресни филтрационни тестове (slug test). В този случай се определя средният коефициент на филтрация (k) в границите на тестовия интервал.

- Многостъпален хидравличен тест на кладенеца (Step drawdown test)

Този вид тестове се използват широко в хидрогеоложката практика за опитно изследване на вододобивната способност на сондажни кладенци. Въз основа на тях се решават няколко основни хидрогеоложки задачи:



- оценка на хидравличната ефективност на кладенеца при зададен дебит;
- оценка на продуктивността (технически възможния дебит) на кладенеца при допустимо понижение на водното ниво;
- ориентировъчна оценка на проводимостта на пласта.

Тестовите се провеждат при стъпаловидна промяна на дебита на водочерпене (Q) с последващо регистриране на изменението на понижението (s_w) в кладенеца, като функция на времето. Броят на стъпалата с постоянен дебит е минимум три, но за по-точно дефиниране на кривата $Q = f(s_w)$ е препоръчително същите да бъдат 5 – 6 и повече.

- Опитно водочерпене с постоянен дебит (Constant pumping test)

Опитните водочерпения се провеждат в подходящ участък, състоящ се от водочерпателен (централен) и няколко наблюдателни сондажи (пиезометри).

За интерпретация на данните от понижението на водното ниво по време на опитно водочерпене с постоянен дебит най-често се ползва класическият метод на Купър-Джейкъб (Cooper, H.H. and C.E. Jacob, 1946).

За интерпретация на данните от възстановяването на водното ниво след прекратяване на водочерпенето е използван класическият метод на Тейс (Theis Recovery Method) - по Kruseman, G.P. and N.A. de Ridder (1994).

Резултати от опитните изследвания проведени в североизточния и източният борд на рудник „Асарел“

В периода от 01/12/2024 година до 15/04/2025 година са направени редица наблюдения и изследвания в локалния борд на североизточната част на рудник „Асарел“, фиг.2. Прокаран е водопонизителен сондажен кладенец SK-41, който е с дълбочина 425m с кота на устието 934m като филтърната му част е с дълбочина между 24m и 410m под повърхността. Експлоатационния му дебит е 5.2 l/s (450 m³/d), статичното водно ниво е 81.43m, а динамичното му водно ниво е 193.65m. Понижението във водопонизителното съоръжение е 112.22m.

През 15/01/2025г поради техническа профилактика на цялостното помпено оборудване, експлоатационния режим на водопонизителния сондажен кладенец е преустановено. На фиг.3 и фиг. 4. се наблюдава мигновената реакция в почти всички наблюдателни сондажи и вертикални сондажи оборудвани с датчици за порово налягане:

Реакция на водните нива в масива и поровото налягане по данни от вертикални наблюдателни сондажи

- Вертикален наблюдателен сондаж EG-58

Пиезометричен сондаж EG-58 е с дълбочина от 200m с кота на устието от 916m. В този сондаж е инсталиран един пиезометър, разположен на дълбочина 170m (на кота 746masl). Графика на вариациите на водните нива в масива около пиезометъра са представени на фиг. 3. През периода на съществуване на сондажа, отчита мигновена промяна на водното ниво и влияние от водопонизителния кладенец. Разстоянието между двете съоръжения е 233m. При работещ режим на сондажния кладенец, наблюдателния сондаж поддържа водното ниво на дълбочина от 111.72m (кота водно ниво 804masl), след изкарването му от експлоатация почти моментално водното ниво се покачва на 73.32m (кота водно ниво 842masl). Понижението, което се обуславя от водопонизителното съоръжение е 38.4m.

- Вертикален наблюдателен сондаж EG-59

Пиезометричен сондаж EG-59 е с дълбочина от 200m с кота на устието от 971m. В този сондаж е инсталиран един пиезометър, разположен на дълбочина 170m (на кота 801masl). Графика на вариациите на водните нива в масива около пиезометъра, е представен на фиг. 3. През периода на съществуване на сондажа, не отчита промяна на водното ниво и не се влияе от водопонизителния кладенец. Разстоянието между двете съоръжения е 290m. Наблюдателния сондаж поддържа водното



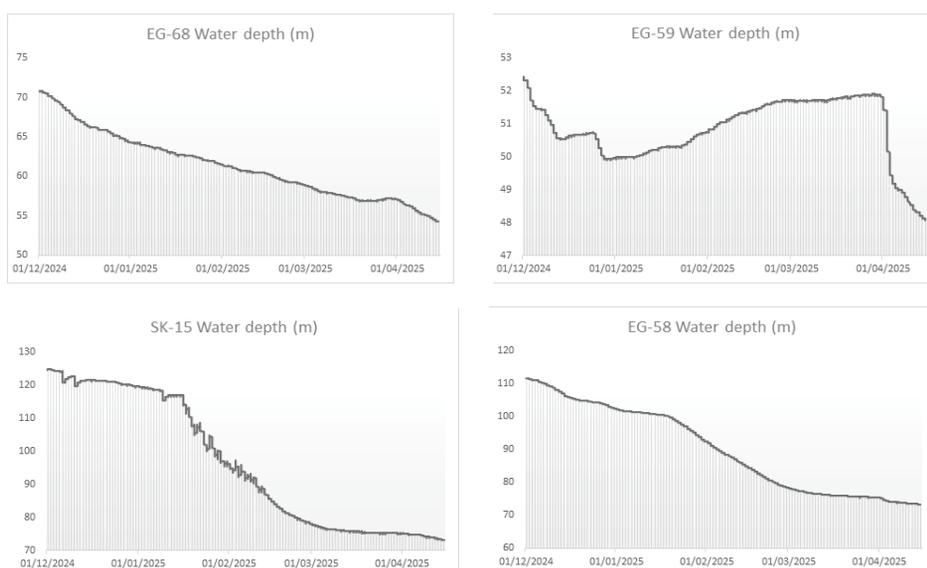
ниво на дълбочина от 48.08m до 52.42m (кота водно ниво 923-918masl), което показва, че промяната на водните нива е незначителна.

- Вертикален наблюдателен сондаж SK-15

Пиезометричен сондаж SK-15 е с дълбочина от 447m с кота на устието от 919m. В този сондаж е инсталиран един пиезометър, разположен на дълбочина 240m (на кота 679masl). Графика на вариациите на водните нива в масива около пиезометъра може да се види на фиг. 3. През периода на съществуване на сондажа, отчита мигновена промяна на водното ниво и влияние от водопонизителния кладенец. Разстоянието между двете съоръжения е 224m. При работещ режим на кладенец, наблюдателния сондаж поддържа водното ниво на дълбочина от 124.64m (кота водно ниво 794.36masl), след изкарването му от експлоатация почти моментално водното ниво се покачва на 73.13m (кота водно ниво 845masl). Понижението, което се обуславя от водопонизителното съоръжение е 51.51m.

- Вертикален наблюдателен сондаж EG-68

Пиезометричен сондаж EG-68 е с дълбочина от 200m с кота на устието от 935m. В този сондаж е инсталиран един пиезометър, разположен на дълбочина 170m (на кота 765masl). Графика на вариациите на водните нива в масива около пиезометъра може да се види на фиг. 3. През периода на съществуване на сондажа, не отчита промяна на водното ниво и не се влияе от водопонизителния кладенец. Разстоянието между двете съоръжения е 71.49m. Наблюдателния сондаж поддържа водното ниво на дълбочина от 70.84m до 54.25m (кота водно ниво 864-880masl), което показва, че промяната на водните нива е незначителна.



Фиг. 3. Реакция на водното ниво в масива по данни от вертикални пиезометрични сондажи EG-68, EG-59, SK-15 и EG-58

- Вертикален пиезометричен сондаж VC-26

Пиезометричен сондаж VC-26 е с дълбочина от 200m с кота на устието от 845m. В този сондаж са инсталирани два пиезометъра, разположени на дълбочина от 100m (на кота 745masl) и 150m (на кота 695masl). Графика на вариациите на поровото налягане в масива около пиезометрите може да се види на фиг.4. Пиезометрите са разположени в разтрошена скална маса. Този скален вид е силно напукан с RQD = 25% като 63% от пукнатините му са запълнени с глина. Тези пиезометри регистрират данни за поровото налягане в масива. През периода на съществуване на сондажа, датчиците на дълбочина от 100m и 150m постепенно увеличават поровото налягане в масива съответно от 247кPa до 319кPa и от 715кPa до 641кPa. Пиковият тренд за покачване на поровото налягане в района на пиезометричния сондаж VC-26 може да се обясни с влиянието на сондажния кладенец SK-41, който е в прекъснат експлоатационен режим през този период и се намират съответно на 448m от пиезометричния сондаж.



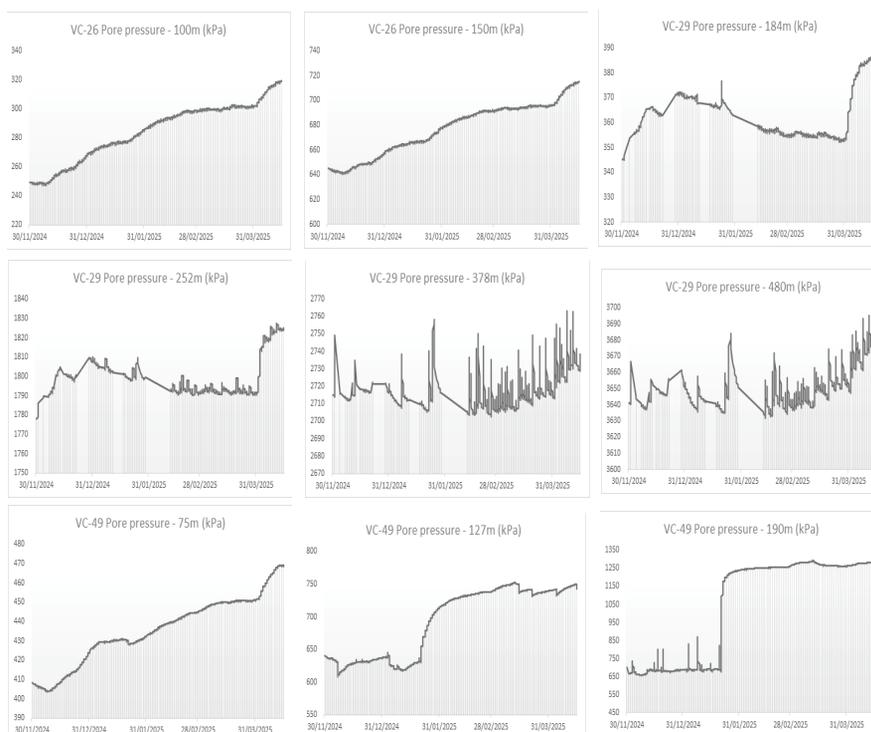
Като друга причина за отчетеното понижение на поровото налягане може да се посочи степента на напуканост на масива и количеството на отворените пукнатини, формиращи около 30% от всички картирани в изследвания участък.

- Вертикален пиезометричен сондаж VC-29

Пиезометричен сондаж VC-29 е с дълбочина от 500m с кота на устието 971m. В този сондаж са инсталирани четири пиезометъра, разположени на дълбочина от 184m (на кота 788masl), 252m (на кота 720masl), 378m (на кота 594masl) и 480m (на кота 492masl). Графика на вариациите на поровото налягане в масива около пиезометрите може да се видят на фиг.4. Четирите датчика са инсталирани в компетентна скална маса. От геотехническа гледна точка, скалите са с RQD = 61% като 58% от пукнатините са без пълнеж. През периода на съществуване на сондажа, горните три датчика повишават поровото налягане като на дълбочина 184m го повишава от 345кPa до 386кPa, на дълбочина 252m повишението е от 1777кPa до 1827кPa, на дълбочина 378m от 2703кPa до 2763кPa и на дълбочина 480m от 3632кPa до 3695кPa. На 281m от пиезометричния сондаж VC-29 е прокаран водопонизителен сондажен кладенец, които е в експлоатация от 01.12.2024 до 15.04.2025, като дълбочина на помпеното оборудване е между 369m и 386m под повърхността. До началото на януари, 2025г, поровото налягане в масива поддържа почти константни стойности във всички датчици, пропорционални на дълбочината на която са инсталирани. След този период се забелязва пиково повишение на поровото налягане в момента на спиране на работния режим на помпата във водопонизителния сондажен кладенец. Понижението на поровото налягане в масива в района на долните два датчика може да се обясни с дълбочината на споменатата по-горе филтърна чест на сондажния кладенец SK-41. Самите вариации в техните графики показват ритмичността на работа на помпата.

- Вертикален пиезометричен сондаж VC-49

Пиезометричен сондаж VC-49 е с дълбочина от 200m с кота на устието 779m. В този сондаж са инсталирани три пиезометъра, разположени на дълбочина от 75m (на кота 704masl), 127m (на кота 652masl) и 190m (на кота 589masl). Графика на вариациите на поровото налягане в масива около пиезометрите може да се видят на фиг.4. Четирите датчика са инсталирани в компетентна скална маса.



Фиг. 4. Реакция на поровото налягане в масива по данни от вертикални пиезо-метрични сондажи VC-06, VC-26, VC-29 и VC-49



От геотехническа гледна точка, скалите са с RQD = 66% като 71% от пукнатините са без пълнеж. През периода на съществуване на сондажа, трите датчика повишават поровото налягане като на дълбочина 75m го повишава от 403кPa до 469кPa, на дълбочина 127m го повишава от 609кPa до 752кPa и на дълбочина 190m от 657кPa до 1294кPa. На разстояние от 457m от пиезометричния сондаж VC-49 е прокаран водопонизителният сондажен кладенец. До началото на януари, 2025г, поровото налягане в масива поддържа почти константни стойности във всички датчици, пропорционални на дълбочината на която са инсталирани. След този период се забелязва пиково повишение на поровото налягане в момента на спиране на работния режим на помпата във водопонизителния сондажен кладенец.

Понижението на поровото налягане в масива в района на долните два датчика може да се обясни с дълбочината на споменатата по-горе филтърна чест на сондажния кладенец SK-41. Самите вариации в техните графики, показват ритмичността на работа на помпата.

Резултати и изводи

- От всички проведени опитно – филтрационните изследвания в обследвания участък от рудника, бяха получени следните резултати:
 - коефициентът на филтрация (k) - 0.0249 m/d;
 - проводимостта на пласта (T) - 13.4 m/d.

В следствие на получените резултати може да се стигне до заключението, че пропускливостта на скалния масив, е ниска до много ниска, като пукнатините варират от стегнати до много стегнати. На база на това може да се определи скалният масив като пукнатинно-жилен водоносен комплекс. Основния подземен отток се осъществява от разломните структури и техните нарушения.

- Водопонизителният сондажен кладенец SK-41 се намира между разломите FT-13 и FT-14. При работен експлоатационен режим на кладенеца се наблюдава реакция само при някои наблюдателни сондажи, оборудвани с датчици за порово налягане, както следва – EG-58, SK-15, VC-26, VC-49 и VC-29. Всички те се намират във висящото крило на разломи FT-13 и FT-14. Останалите мониторингови пунктове за следене състоянието на масива, които не индексират реакция, попадат във носещото крило на разломния комплекс.
- Впечатление прави Вертикален пиезометричен сондаж VC-29. Неговите два горни датчика попадат в носещото крило на FT-13 и за това реакцията е минимална. При долните два датчика, разположени на дълбочина от 378m и 480m, пресичат същия разлом, попадат вече във висящото крило и реакцията на масива е мигновена.
- За превантивни мерки за намаляване на поровото налягане в масива трябва непрекъснат режим на експлоатация във водопонизителния кладенец и максимално понижение на водното му ниво. При необходимост да бъде изграден допълнителен (спомагателен) водопонизителен сондажен кладенец във висящото крило на разломния комплекс, с което да се гарантира максимално понижение на водното ниво.

Литература:

1. Кърпаров К.,Кръстев М., Илчев Ст., Кисьов А., 2024, Актуализиран геотехнически доклад о модел на рудник „Асарел“, вътрешно фирмен доклад
2. Hvorslev, M.J. 1951. Time Lag and Soil Permeability in Ground-Water Observations, Bull. No. 36, Waterways Exper. Sta. Corps of Engrs, U.S. Army, Vicksburg, Mississippi, pp. 1-50
3. Houlby, A. 1976. Routine Interpretation of the Lugeon Water-Test. Q. J. Eng. Geol. Vol. 9, pp. 303-313
4. Quiñones-Rozo, Camilo. 2010. Lugeon test interpretation, revisited. In: Collaborative Management of Integrated Watersheds, US Society of Dams, 30th Annual Conference, S. 405–414
5. Zlotnik, V. 1994. Interpretation of slug and packer tests in anisotropic aquifers, Ground Water, vol. 32, no. 5, pp. 761-766