



## Ефективност на електротомографските изследвания за детайлно геоложко картиране по трасето на проектирана галерия (рудник “Елаците”)

Стефан Шанов<sup>1</sup>, Иван Василев<sup>2</sup>, Злати Василев<sup>2</sup>, Марлена Янева<sup>1</sup>, Константин Костов<sup>1</sup>, Габриел Николов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Геологически институт при БАН, 1113 София, ул. Акад. Г.Бончев, бл. 24; s\_shanov@geology.bas.bg

<sup>2</sup> “Елаците-Мед” АД, гр. Етрополе; vasilev\_iv@mail.bg

**Ключови думи:** електротомография, предизвикана поляризация, геоложки разрез

*Effectiveness of the electrical tomography studies for detailed geological mapping along the route of designed gallery (open pit “Elacite”). Stefan Shanov, Ivan Vasilev, Zlati Vasilev, Marlena Yaneva, Konstantin Kostov, Gabriel Nikolov*

The study presents the results from the studies along the route of the future mining gallery for draining and preventing from pollution the waters from the local river Negarshitsa at the western part of the open pit “Elacite” for copper ore mining (Central Balkan Mountain area). The aim of the study was the clarification of the geological and tectonic conditions at the area along the gallery. Because the difficult relief, the important soil and vegetation cover, as well as the impossibility for preliminary tracing of the profiles, the only effective geophysical method was the 2-D electrical tomography. This electrical resistivity method is applicable for detecting covered fault structures and for mapping the rocks according to their electrical properties. Additionally applied method was the “induced polarization”, based on the fact that after switching off of the DC power, the charged rocks are not losing their potential immediately. The decreasing of the potential is slow for the rocks with high conductive minerals (as ore bodies). If the electrical conductivity is related to fluids (ion conductivity), the polarization is missing. The used equipment was Terrameter – ABEM SAS 1000. The distance of 5 m between the electrodes and the measuring scheme (Schlumberger) allowed to get information to 75 m depth from the surface along the executed profiles. The geophysical processing was done with the software Res2Dinv. Corrections for the topography were included as well. The final result from the geophysical interpretation gives the necessary information for the rock diversities that will be crossed by the gallery and the related facilities, as well as for the fault structures in the area, the thickness of the deluvial cover and the thickness of the weathered rocks layers beneath the soil. A detailed geological map along the route of the future gallery has been created.

### Увод

Настоящото изследване представя резултатите от геофизичните проучвания по трасето на проектирана минна галерия на хоризонт 1060 в западната част на концесионната площ на рудник “Елаците”. Съоръжението е водоулавящо за предпазване на водите на местния речен отток (р. Негърщица) от замърсяване, свързано с минно-добивната дейност. Бъдещите водохващания (траншеи) на проектната минна изработка, където ще влизат чистите води, ще се намира в левият приток на р. Негърщица на проектна кота 1175, а изхода на проектна кота 1030 в левият бряг на р. Нещгърщица, след участъка с насипища и руднични съоръжения. Проектната минната изработка ще заобикаля участъка с насипища, за да се избегне евентуалното проникване на замърсени от тях води в изработката.

Целта на изследването бе изясняването на геоложките условия по трасето на проектираното водоулавящо съоръжение. При условията на планински релеф и невъзможност за предварително прокарване на просека, единственият ефективен геофизичен метод за подобен тип условия и при закрит, от геоложка гледна точка, терен е електротомографията.

### Геоложка обстановка

Медно-порфирното находище “Елаците” се разполага в южните покрайнини на *Западно балканската структурно-металогенна зона*, в съседство със *Средногорската зона*. Счита се, че е образувано през *Ларамийско време* във връзка със среднокисел магматизъм (Антонов, 1976). Районът на находището е изграден основно от три вида скали: *палеозойски метаморфен комплекс* (филити и др., контактно променени филити - петнисти шисти и хорнфелзи), *гранодиорити* и съпътстващата ги жилна фаза от дайкови скали, и процепващите горните два комплекса *горнокредни дайкови скали*. В структурно геоложко отношение са установени 5 системи разломи (Василев и др., 2007):

**А. Северозапад-югоизточни нарушения (Система Е – Елашка).** В тази група попадат най-добре изявените разломи на находището Разлом 1 и Разлом 2 (Елаци 1 и Елаци 2 по Ж.Иванов и кол. – непубликувани данни от геоложки доклади). Освен тях са установени и други разломи от същата група. Нарушенията имат отсед-възседен характер със посока  $110 - 130^{\circ}$  и наклон  $75 - 85^{\circ}$  на юг.

**Б. Полегати разломни нарушения (Система А - субгоризонтални).** Те са характерни за източния и югоизточния борд на рудника. Най-добре изявените нарушения от тази група са развити по границата на гранитоидите с контактните шисти. Характерни белези на тези нарушения са също субекваториалното простиране и малкия наклон на юг (от  $10^{\circ} - 20^{\circ}$  до към  $60^{\circ}$ ).

**В. Система М (меридионална)** е представена от снопове субпаралелни разседи с посока  $160 - 180^{\circ}$  и стръмен наклон на изток или на запад. В преобладаващата си част нарушенията представляват разседни пукнатини, често отворени, праволинейни, с тънки зони до 5 - 6 см на стриване и милонитизация.

**Г. Субекваториални, /изток-западни/ нарушения** - навсякъде изток-западните нарушения са маркират от широки до няколко десетки см зони на катаклаза и милонитизация, често с тектонска глина. Посоката им е  $85 - 95^{\circ}$ , наклон  $75 - 90^{\circ}$  на юг.

**Д. Североизток-югозападни нарушения** - това е група от разломи, установени в източните бордове на рудника (описвани като Пристанищенски разломи – Калайджиев и др., 1984). Те са представени от субвертикални или стръмни  $75 - 85^{\circ}$ , с наклон на юг разломи с посока  $40 - 60^{\circ}$  и дебелина 20 - 30 см.

## Методика на електротомографските изследвания

За детайлното картиране на приповърхностния геоложки разрез се използва разнообразен набор от геофизични методи на проучване, в зависимост от конкретните задачи и от условията на терена. Широко приложение намират електросъпротивителните методи. При настоящите изследвания е използван съвременен подход за геоелектрично проучване, който е насочен към картиране в двумерно пространство (2-D електротомография) с постоянен ток. Предимството му пред останалите електросъпротивителни методи е в детайлността при измерванията по дължината на профилните линии и получаване на геоелектричен разрез в дълбочина по профила.

Допълнителен метод е “методът на предизвиканата поляризация”. Той се основава на факта, че при изключване на захранващия ток, зареденият скален масив не губи веднага потенциала си. Спадът на потенциала е толкова по-бавен, колкото е по-високо съдържанието на електропроводящи минерали (например, различни рудни минерали). Ако проводимостта на скалите е йонна, т.е. носители са различни флуиди, на-често вода по разломи и пукнатини, то поляризация отсъства. Апаратурата автоматично измерва, след зададен предварително интервал (в ms), остатъчното потенциално електрично поле (V/V) в скалния масив.

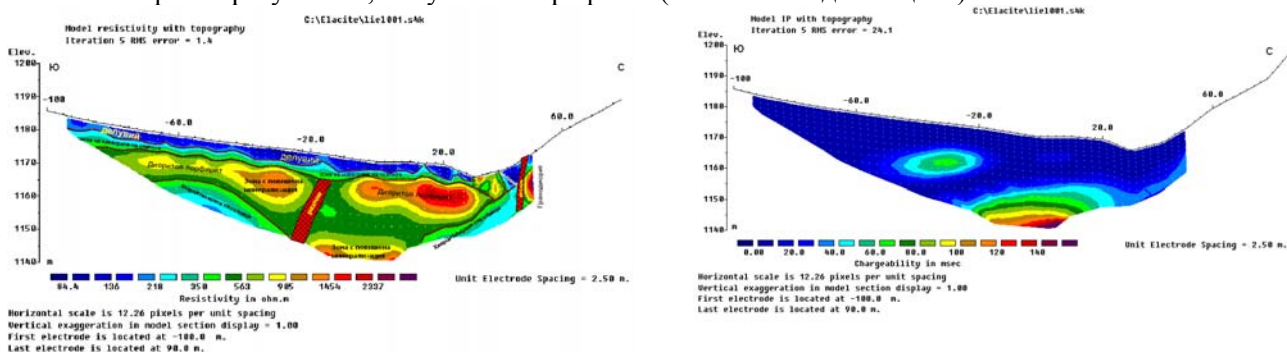
Данните се записват в апаратурата в текстов файл и могат да се експортират в преносим компютър за предварителна обработка още при полеви условия. Пълният комплект апаратура използвана при изследванията включва: Terrameter – ABEM SAS 1000; селектор на електроди – ES 10-64С; многожилни кабели (4 бр. x 21 електрода, всеки с дължина 100 m); преносим компютър; електроди и свързващи кабели (между основния кабел и електродите).

При настоящите изследвания е използвана основно схема Шлюмберже. Общата дължина на измерените профили е 1400 m. Разположението на профилите спрямо оста на проектираната галерия е показано на геоложката карта на фиг. 3. Разстоянието между електродите е 5 m, като само за най-крайните 100-метрови сегменти от профилите това разстояние е 10 m (използван е стандартът на въведената в апаратурата схема). Тази схема обезпечава построяване на геоелектричен разрез до дълбочина 75 m по профила.

Геофизичната интерпретация е извършена с програма Res2Dinv. Програмата използва съвременна система за моделно изчисляване на стойностите на привидното електрическо съпротивление и предизвиканата поляризация, както и нелинейна оптимизация по метода на най-малките квадрати са използваните техники за инверсното преобразуване. Програмата поддържа и работи както с метода на крайните разлики, така и с метода на крайните елементи за моделирането. Предвидена е и възможност за софтуерно „сгъстяване” на електродите, т.е. интерполационно намаляване наполовина разстоянието между електродите. Резултатът се получава след серия от итерации и сравнявания на степента на сходство между измерените стойности и инверсните изчисления на привидното електрическо съпротивление от блоковия модел. Получава се картина на измерения псевдоелектричен разрез по привидно съпротивление, на моделния псевдоелектричен разрез по привидно съпротивление и моделния геоелектричен разрез по специфично съпротивление. Последният може да се покаже и самостоятелно с реална топография по дължината на профила в изолинии на електрическото съпротивление. По същия начин се получава и разрез по предизвикана поляризация. Този резултат подлежи на геоложка интерпретация.

## Резултати от изследванията

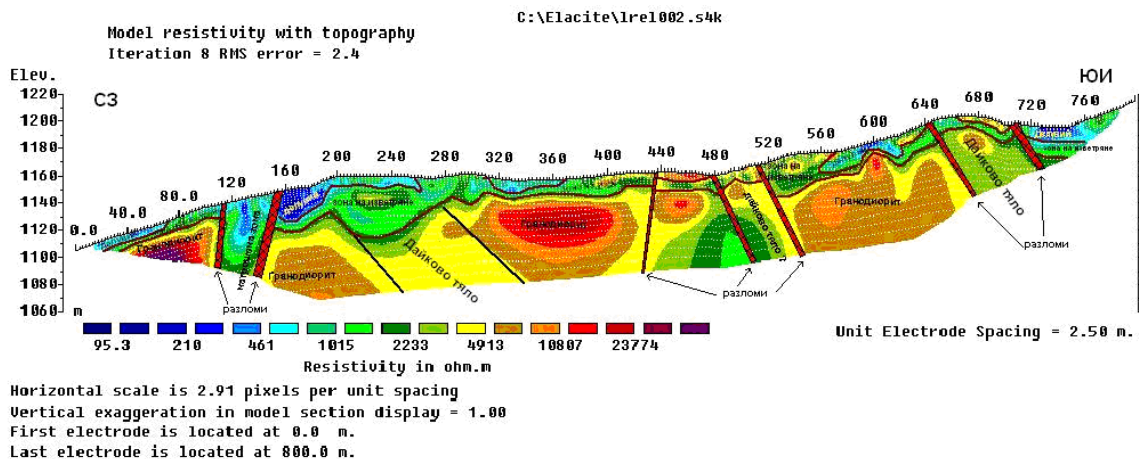
Електротомографските изследвания по трите профила около трасето на галерията показва ефективността на метода. Като пример за използване на електрическото съпротивление и на поляризационните характеристики за намаляване на нееднозначността на геофизичната интерпретация е показан на фиг. 1 резултатът, получен по Профил 1 (зоната на водохващане).



Фиг. 1, а. Електротомографски разрез по Фиг. 1, б. Електротомографски разрез по предизвикана поляризация. Профил 1.

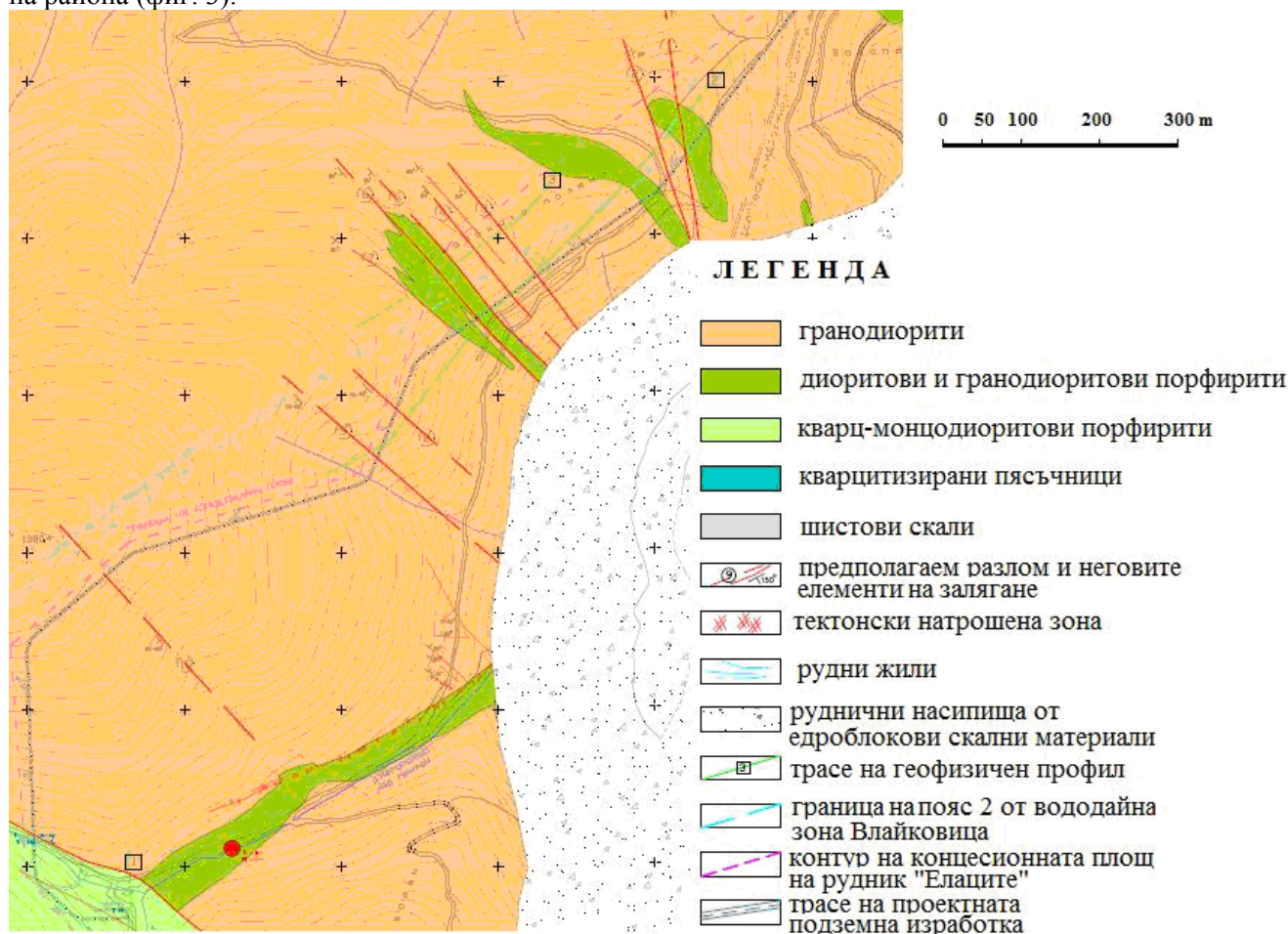
Поляризационните характеристики на скалите по профила (фиг. 1, б) недвусмислено показва за наличието на зона с повишена рудна минерализация в зоната  $-60$  до  $-20$  m спрямо центъра на профила (южно от центъра). Под това тяло се появява слой с по-ниски електрически съпротивления, който може да се идентифицира като кварцитизовани пясъчници юрска възраст. Добре е изразен наклонен на север контакт в дълбочина между скални блокове с различно електрическо съпротивление. Има разлом с наклон към юг на  $10$  m южно от центъра на профила ( $-20$  на фиг. 1), който размества минерализираната зона и, вероятно, юрските кварцови пясъчници, появяващи се отново на дълбочина около  $15$  m под руслото на реката. Към  $50$  m северно спрямо центъра се маркира и разлом със слаб наклон на юг непосредствено в левия бряг на пресечената от профила речна долина. Той практически определя и контакта между диоритовите порфири и кварцовите пясъчници под тях с гранодиоритите на юг. Делувиалната покривка по профила е средно около  $5$  m, а под нея има изветрителен слой вариращ по дебелина от  $1-2$  m до към  $5$  m. Делувиалната покривка и изветрителният слой са по-дебели в зоната на северния разлом, което може да бъде индикация и за неговата по-млада възраст.

Особено важен е резултатът, получен по Профил 2. Профилът е с дължина  $800$  m и практически покрива максимално трасето на проектираната галерия (фиг. 2). Като цяло, основната скална разновидност по този профил са гранодиоритите. Те се характеризират с много високи електрически съпротивления, достигащи до десетки хиляди ом.м. Процепени са от разломи и дайкови тела, които се характеризират с електрически съпротивления, които са на порядък по-ниски. Разломите са стари структури, по електрическите си характеристики не показват да са водопроводящи. Някои от дайките са свързани с разломи, както тази между  $645$  и  $720$  метър по профила. Особено силно изявена е разломната зона между  $110$  и  $160$  метър по профила. Практически това е натрошена зона между два добре изразени разлома, към която се е развил дълбок до над  $10$  m делувиален джоб между  $160$  и  $200$ -тия метър. Изветрителната зона варира от  $2-3$  до към  $20$  m (между  $240$  и  $280$ -ия метър). Делувиалната покривка е силно променлива, до незначителна, представена от натрошен и гротирал скален материал с ниско водно съдържание.



Фиг. 2. Изчислителен модел по електрическо съпротивление по дължина на Профил 2.

Третият профил е успореден на Профил 2 и послужи за пространствена корелация на геоложките тела и разломните структури около трасето на проектираната галерия и построяване на геоложка карта на района (фиг. 3).



**Фиг. 3.** Геоложка карта около трасето на проектираната галерия, построена с използването на информацията от наличната документация, геоложки маршрути и геофизичните изследвания.

### Заклучение

Резултатите от електротомографските изследвания дават необходимата информация за разломни структури и дебелините на делувия и изветрителната зона на скалите както в района на водоулавянето (Профил 1), така и по дължина на трасето на основната минна галерия (Профили 2 и 3). Особено важни за бъдещите минни дейности по прокарване на галерията са засечените разломни нарушения. По Профили 2 и 3 те се корелират добре пространствено и могат да бъдат екстраполирани до дълбочината на бъдещата галерия.

### Литература

- Калайджиев, С., Г. Хаджийски и К. Ангелов. 1984. Структурни условия за локализацията на медно-порфирното находище Елаците. – Сп. БГД, 43, 3, 247-257.
- Антонов, М., 1976. Строеж на Етрополския навлак. Сп. БГД, 37, 1.
- Василев, З. и др., 2007. Геоложки строеж на находище "Елаците". Нови данни от експлоатационните работи. Геоложка конференция, Варна, 2007.
- RES2DINV ver. 3.57 for Windows 98/Me/2000/NT/XP/Vista, 2008. Rapid 2-D Resistivity & IP inversion, using the least-squares method. Geotomo Software, Penang, MALAYSIA, 148 p.