



Приложение на метод ERT за изследване на скалния масив по проектното трасе на тунелни съоръжения

Атанас Кисъов¹, Богдана Миленкович¹, Николай Стоянов²

¹ Минно-Геоложки Университет „Св. Иван Рилски“, катедра Приложна геофизика, e-mail: at.kisyov@gmail.com

² Минно-Геоложки Университет „Св. Иван Рилски“, катедра Хидрогеология и инженерна геология, e-mail: nts@mgu.bg

Ключови думи: приложна геофизика, метод ERT, тунелни съоръжения, автомагистрала „Струма“

Резюме

Проектирането на тунели и други подземни инженерни съоръжения изисква много добро познаване на геоложката среда, особено при наличие на силно напукани и тектонски нарушени скални масиви. Проведените от нашия екип изследвания показват, че в тези случаи с голям успех може да се използва неинвазивният електросъпротивителен метод ERT (Electrical Resistivity Tomography). Ефективността на метода е илюстрирана с резултатите от геофизично проучване на скалния масив по проектното трасе на пет полутунела на автомагистрала „Струма“ в района на гр. Кресна, Югозападна България. Изследвана е горната част на разреза, представен основно от изветрели палеогенски гранити от Севернопиринския плутон в обхвата на активната Струмска разломна зона. Диференцирани са пространствените граници на няколко електросъпротивителни среди, картиращи зони с различен генезис, степен на изветряне, напукване и тектонски нарушения на скалния масив по трасето на тунелните съоръжения.

Въведение

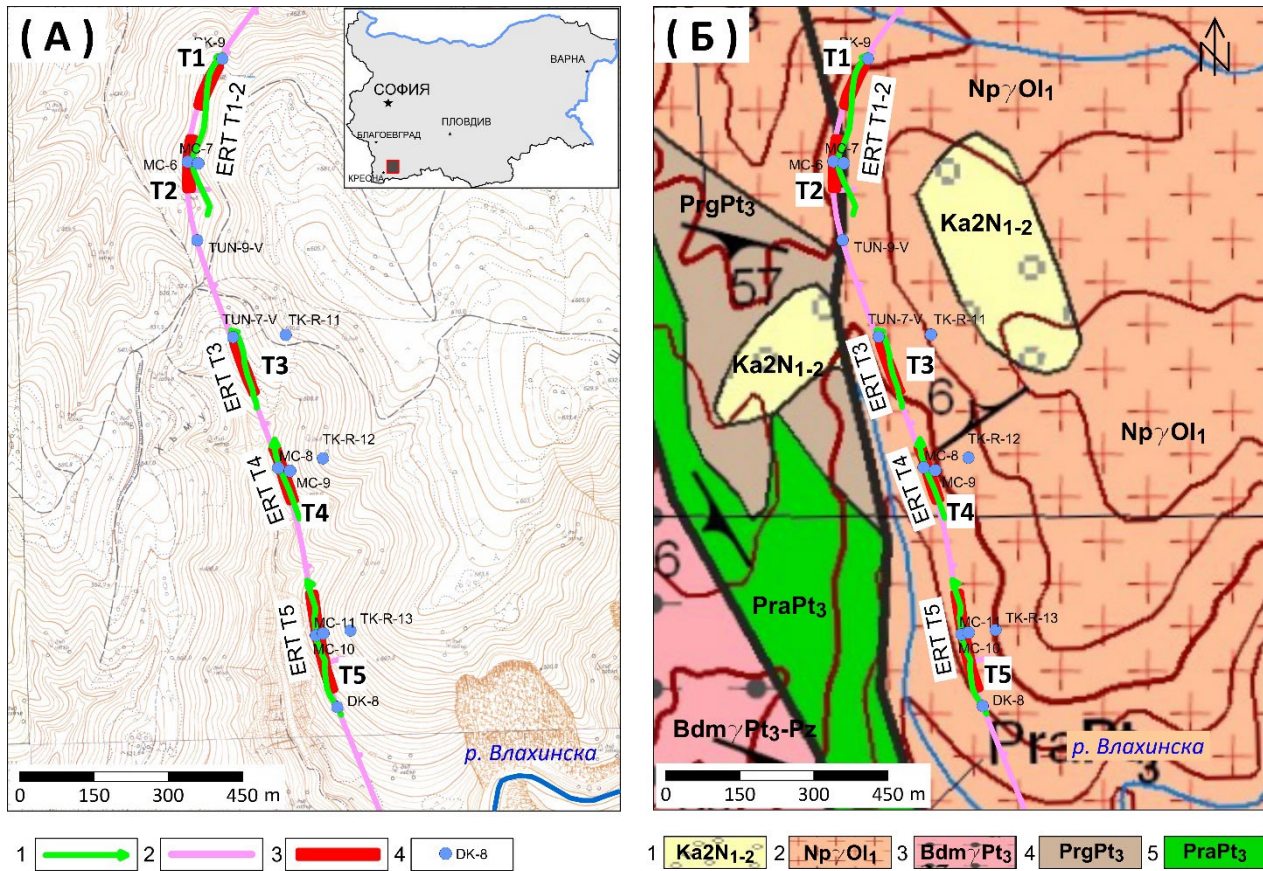
През последните две десетилетия метод ERT се утвърди като един от най-ефективните методи за изследване на приповърхностния геоложки разрез. Комплексното му прилагане с проучвателно сондиране или други методи и техники за изследване значително повишава неговата възможност за пространствено картиране границите на геоложки или хидрогеоложки единици от различен ранг, карстови, напукани или тектонски зони, зони с различна водонаситеност, зони с различна степен на техногенно или природно замърсяване, свлачищни участъци, археологически обекти и т.н. (Dimovski et al. 2007, 2017a, 2017b; Dimovski and Stoyanov 2018; Benderev et al. 2021; Kisyov and Stoyanov 2024; Кисъов и др. 2024; и много други). В настоящата статия са представени резултатите от проведеното проучване на скалния масив по метод ERT за предварителна оценка на геолого-тектонските условия за изграждане на пет тунелни съоръжения (полутунели) по проектното трасе на АМ „Струма“, ЛОТ 3.2.2 в участък „Крупник-Кресна“.

Характеристика на изследвания обект

Проучваният участък е разположен в северозападното подножие на Пирин планина, на около 4 km североизточно от гр. Кресна. Проектното трасе минава по левия стръмен скат на дълбоко дере с временен отток, което се зауства в р. Влахинска (Фиг. 1А). Надморската височина варира между 430 и 520 m. Теренът е неравен, с наклон от север на юг – към р. Влахинска. Обект на изследване е горната приповърхностна част на геоложкия разрез до дълбочина около 20-25 m. В геоложкия строеж на участъка доминират палеогенските интрузивни скали от състава на Севернопиринския плутон *NpyQl1* (Фиг. 1Б). Представени са основно от равномернозърнести биотитови гранити, които плавно прехождат в гранодиорити и кварцмонцитни (Милованов и др. 2009а). Скалите са левко- до мезократни, средно- до равнозърнести с масивна текстура. Главни скалообразуващи минерали са плагиоклаз, калиев фелдшпат, кварц и биотит. Акцесорни минерали са апатит, циркон, аланит, магнетит и редки зърна зелен амфибол. В тектонско отношение, проучваният участък попада в Струмската разломна зона. По данни на Милованов и др. (2009) Струмският разломен сноп е с ширина около 8-10 km, в който главните нарушения са с посока предимно С-СЗ. Северната част на проучваното трасе се пресича от голям разлом, който е отбелязан и на геоложката карта М 1:50000 (Фиг. 1Б). В обхвата на проучвания участък горната част на интрузивния комплекс е много силно изветрял, грусирал и дезинтегриран. В основната си част масивът е силно засегнат от тектонски процеси, което



се проявява с локални зони на катаклаза, дезинтегрирани зони с глинесто-песъчлива матрица, зони с крехко до пластично променен гранит, тектонски заглинени зони и зони на брекчиране.



1 – Геофизичен профил ERT №; 2 – Проектно трасе на АМ „Струма“; 3 – Проектен полутунел №; 4 – Проучвателен сондаж №

1 – Калиманска свита Ka2N1-2; 2 – Севернопирински плутон NpγOl1; 3 – Будилски метагранитоиди BdmγPt3-Pz; 4 – Пределски метаморфен комплекс PrgPt3; 5 – Пределски метаморфен комплекс PraPt3.

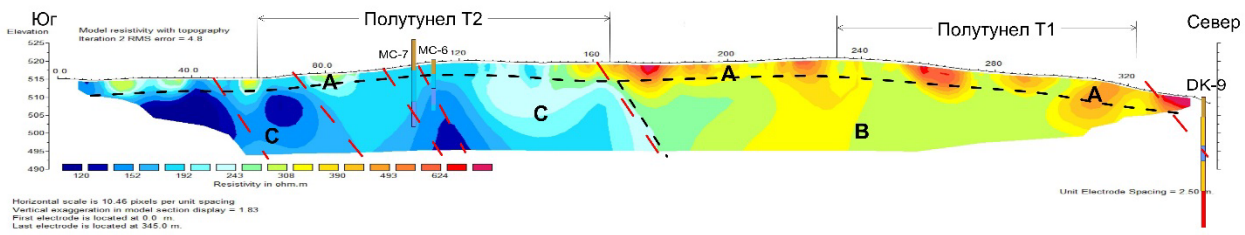
Фигура 1. (А) Местоположение на геофизичните профили, проектните полутунели и проучвателните сондажи (по Топографска карта М 1:5000); (Б) Геоложка карта в района на проучвания участък (по Геоложката карта на Р България М 1:50000, к.л. Берово и Кресна - Милованов и др. 2009б)

Методика и инструменти

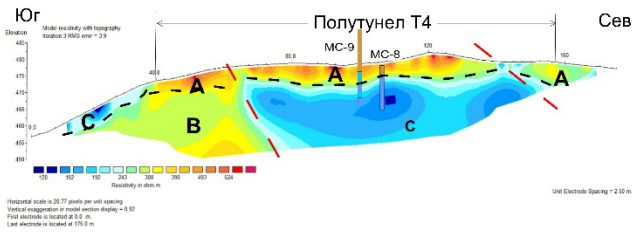
Изследването на приповърхностния разрез в скалния масив е проведено по метод ERT. Теренните измервания са изпълнени по четири геофизични профила (ERT T1-2, ERT T3, ERT T4 и ERT T5) с обща дължина 990 m, разположени по протежението на планираните пет полутунела (T1, T2, T3, T4 и T5) в изследвания участък от магистралното трасе от km 389+100 до km 399+100. Използвани са две коси от 12 жилин кабел с разстояние между електродите 5 m. Измерванията са проведени по 4-електродна схема Schlumberger. Регистрацията е извършена с апаратура Terrameter SAS 1000. Данните са интерпретирани с компютърна програма RES2DINV (Loke 2001). Геоелектричните разрези са трансформирани в геоложки модели при отчитане на информацията за регионалните геолого-тектонски условия, данните от проведеното по сондажно проучване и таблични данни за специфичните електрични съпротивления на скалите (Daniels and Alberty 1975). Получените геоложки модели на скалния масив в приповърхностния разрез по проектното трасе на петте полутунела са представени на Фиг. 2. Локациите на проучвателните сондажи са посочени на Фиг. 1 и 2.



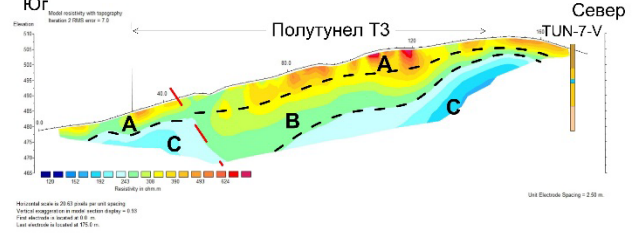
РАЗРЕЗ ПО ПРОФИЛ ERT T1-2



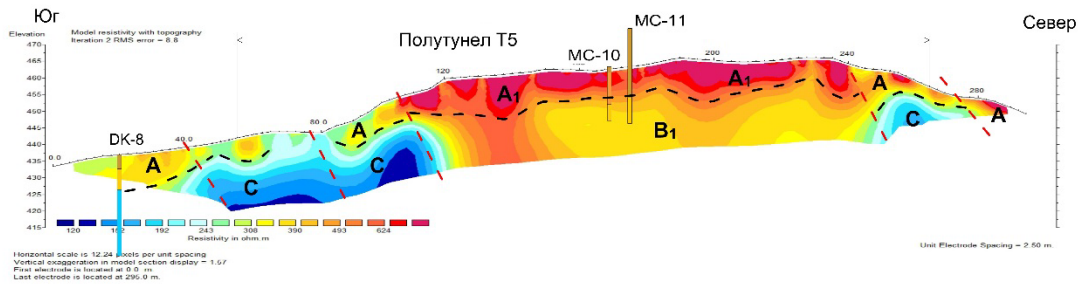
РАЗРЕЗ ПО ПРОФИЛ ERT T4



РАЗРЕЗ ПО ПРОФИЛ ERT T3



РАЗРЕЗ ПО ПРОФИЛ ERT T5



- Зона А (150-600 Ohm.m) - гранит, силно изветрял до грусирал, на места с локално запазена структура
- Зона А1 (450-950 Ohm.m) - гранит, много силно изветрял, с разрушена структура и дезинтегриран до дребни и по-едри скални късове
- Зона В (250-450 Ohm.m) - гранит, умерено изветрял, с локални зони на катаклаза, на места разрушени зони с глинесто-песъчлива матрица
- Зона В1 (250-600 Ohm.m) - гранит, силно напукан, с локални зони на катаклаза, разломени, на места със зони на тектонска фолиация и брекчиране
- Зона С (120-250 Ohm.m) - катаклазирани зони, крехко до пластично изветрял гранит, тектонски заглинени зони и зони на брекчиране
- - - - - предполагаеми разломи

Фигура 2. Геоложки модели на скалния масив по проектното трасе на тунелните съоръжения на АМ „Струма“, ЛОТ 3.2.2 в участък „Крупник-Кресна“. Зониране по електрично съпротивление.

Дискусия

Комплексният анализ на получените резултати дава основание да се направят следните по-важни обобщения и изводи относно диференцираните в скалния масив електросъпротивителни среди (зони) – виж Фиг. 2. *Първата електросъпротивителна среда (Зона А)* е установена почти повсеместно в горната част на изследвания разрез по четирите геофизични профила. Отсъства единствено в първите 40 m на профил ERT T4 и централните части на профил ERT T5 – в интервала между 105-тия и 240-тия метър. Характеризира се с широк диапазон на електричното съпротивление – от 150 до 600 Ohm.m. Най-вероятно картира площно издържана зона от силно изветрелите и грусирани гранити в приповърхностната част на интрузивния масив, които на отделни места са с локално запазена структура. Дебелината на тази зона варира в границите от 3 до 8 m, средно около 5 m. *Втората електросъпротивителна среда (Зона А1)* има по-високи стойности на електричното съпротивление - от 450 до 950 Ohm.m и повече, които впрочем са най-високите за изследвания разрез. Обхваща горната част от разреза по профил ERT T5 в интервала между 160-тия до 240-тия метър. Най-вероятно Зона А1 очертава много близък по генезис със Зона А вторично променен участък в интрузивния масив, където гранитът е много силно изветрял, с разрушена структура и дезинтегриран до дребни и по-едри скални късове. В случая регистрираните много по-високи съпротивления се дължат на слабата дисперсност на материалите и отсъствието и/или ограниченото количество на дребнозърнести и глинести фракции. Дебелината на Зона А1 е в границите от 5,0 до 12,5 m, по-често около 9-10 m. *Третата*



електросъпротивителна среда (Зона В) се характеризира с електричното съпротивление в диапазона от 250 до 450 Ohm.m. Обхваща части от разреза по профил ERT T1-2 – от 160-тия до 345-тия метър, по профил ERT T3 – от 45-тия до 175-тия метър и по профил ERT T4 – от 10-тия до 60-тия метър. Тази зона вероятно очертава границите на относително по-слабо променените части на скалния масив, които по данни от сондажната ядка са изградени от слабо до умерено изветрял гранит. Тук са установени и локални зони на катаклаза, на места разломени и частично дезинтегрирани зони с глинесто-песъчлива матрица. Пространствените граници на Зона В имат сложна геометрия, предпоставена от много активната тектоника и простирането на предполагаемите субвертикални разломи. *Четвъртата електросъпротивителна среда (Зона В1)* е с малко по-високи от характерните за Зона В стойности на електричното съпротивление - от 250 до 600 Ohm.m. Това се дължи вероятно на по-ниското присъствие на дребнозърнести и глинести фракции в изветрелите и тектонски нарушените части на скалния масив. По данни от сондажните проучвания може да се предполага, че Зона В1 картира слабо до умерено изветрели и напукани гранити с локални зони на катаклаза, частично разломени, зони на тектонска фолация и зони на брекчиране. Установена е единствено в централната част на разреза по профил ERT T5, между два субвертикални разлома, непосредствено под Зона А1. *Петата електросъпротивителна среда (Зона С)* има най-ниските за изследвания разрез електрични съпротивления – между 90 и 250 Ohm.m. Обхваща по-дълбоките части на приповърхностния разрез в различни интервали по четирите профила, съответно по профил ERT T1-2 – от 10-тия и до 180-тия метър, по профил ERT T3 – от 15-тия до 60-тия и от 70-тия до 160-тия метър, по профил ERT T4 – от 10-тия до 40-тия и от 60-тия до 150-тия метър, ERT T5 – от 25-тия до 110-тия метър и от 240-тия до 280-тия метър. Най-вероятно Зона С картира силно засегнати от вторични променени участъци в интрузивния масив, където част от скалите са дезинтегрирани и разложени до глина. По данни от сондажните ядки се предполага, че в тези граници попадат катаклазирани зони, крехко до пластично изветрял гранит, тектонски заглинени зони и зони на брекчиране.

Литература

- Кисъв А, Миленкович Б, Стоянов Н (2024) Прилагане на метод ERT за картиране на стари депа за отпадъци и предизвиканото от тях замърсяване на подземните води. БГД 85(3): 293-296.
- Милованов П, Петров И, Вълев В, Маринова А, Климов И, Синьовски Д, Ичев М, Приставова С, Илиева Е (2009а) Обяснителна записка към геоложката карта на Република България М 1:50 000. Картен лист К-34-82-Г (Берово) и К-34-82-В (Кресна). МОСВ, БНГС, София, 76 pp.
- Милованов П, Петров И, Вълев В, Климов И, Маринова А, Желев В, Синьовски Д, Ичев М, Илиева Е (2009б) Геоложка карта на Република България М 1:50 000. Картен лист К-34-82-Г (Берово) и К-34-82-В (Кресна). МОСВ, БНГС, София.
- Benderev A, Mitev A, Hlebarov G, Valtchev S, Vasilev I, Grigorov A (2021) 4D investigation of water infiltration in waste dumps using electrical resistivity. *Geologica Balcanica*, Sofia, 50(2): 53-68.
- Daniels F, Alberty R (1975) *Physical chemistry*. JWS Inc., NY, USA, 687 pp.
- Dimovski S, Stoyanov N, Gyurov C (2007) Efficiency of electrotomography surveying for detailed geoelectrical mapping of near-surface geological section. *BULAQWA*, 4: 47-55. ISSN 1312 3912.
- Dimovski S, Stoyanov N, Tzankov C, Kisyov A (2017a) A geophysical approach for mapping of abandoned mining workings and unconsolidated zones in coal mining areas. *J. of Min. and Geol. Sc.*, 60(I): 99-103.
- Dimovski S, Stoyanov N, Tzankov C, Kisyov A (2017b) Application of electrical resistivity tomography for studying fissure-karst water-bearing complexes. *Proc. 9th Congress of the Balkan Geophysical Society*, 5-9 Nov., Antalya, Turkey, Paper 44018.
- Dimovski S, Stoyanov N (2018). Application of the ERT method at a landslide site characterized by presence of high TDS levels in groundwater. *Procs of the 9th National Conference in Geophysics*, 30th November 2018, Sofia, 96-103 (on CD).
- Kisyov A, Stoyanov N (2024) Application of the ERT method for mapping landslide bodies in tectonically disrupted rock masses. *12th Congress of the Balkan Geoph. Society*, May 2024, v 2024, EAGE, 1-5.
- Loke M (2001) *A practical guide to RES2DINV ver. 3.4; Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least-squares method*. Geoelectrical Imaging 2-D & 3D. Geotomo Software. Penang, Malaysia, 129 pp.