

2D GEOELECTRICAL TOMOGRAPHY SURVEY AT A PROPOSED WASTEWATER TREATMENT PLANT SITE

Tsvetelin Petrov, Atanas Kisyov, Nikolay Stoyanov

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: at.kisyov@mgu.bg

ABSTRACT. Electrical Resistivity Tomography (ERT) is a modern non-invasive geophysical method widely used for investigating near-surface geological structures, as well as engineering and geological conditions. This paper presents the results of an ERT survey conducted at the site designated for the construction of the Devin Wastewater Treatment Plant, located on the left non-flooded terrace of the Devinska river, southeast of the town of Devin, Bulgaria. The main objective of the study was to characterise the geological section to a depth of 15–25 m using a non-invasive approach and to determine the spatial extent and thickness of the deposited construction waste. The survey was carried out along four geophysical profiles with a total length of 560 m using a four-electrode Wenner–Schlumberger array and a Terrameter SAS 1000 resistivity system. The acquired data were processed and interpreted using the RES2DINV software package, which enabled the determination of the true resistivity distribution within the subsurface. Interpretation of the results revealed three main resistivity zones. **Zone A** was interpreted as a layer of deposited construction waste characterised by resistivity values ranging from 80 to 450 Ωm and an average thickness of approximately 5.5 m. **Zone B** corresponds to highly weathered and water-saturated breccia-conglomerates exhibiting relatively low resistivity values, whereas **Zone C** represents relatively intact and weakly altered parts of the bedrock characterised by higher resistivity values. Several localised low-resistivity anomalies were also identified and interpreted as fine-grained, highly water-saturated materials. Analysis of the geoelectrical sections allowed estimation of the groundwater table, which at the time of the survey was located at depths ranging from 2–3 m to 12.5 m below the ground surface. The obtained results confirm the high effectiveness of the ERT method for engineering and geological investigations and provide reliable information on the subsurface structure of the site, essential for the design and construction of the Devin Wastewater Treatment Plant.

Key words: electrical resistivity tomography, ERT, engineering geology, construction waste, groundwater.

2D ЕЛЕКТРОТОМОГРАФСКО ПРОУЧВАНЕ НА ПРОУЧВАТЕЛНА ПЛОЩАДКА ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА ПРЕЧИСТВАТЕЛНА СТАНЦИЯ ЗА ОТПАДНИ ВОДИ

Цветелин Петров, Атанас Кисъв, Николай Стоянов

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Електротомографията (ERT) е съвременен неинвазивен геофизичен метод, широко използван за изследване на приповерхностния геоложки строеж и инженерногеоложките условия. В настоящата работа са представени резултатите от електротомографско проучване, проведено на площадката, определена за изграждане на Пречиствателна станция за отпадни води (ПСОВ) „Девин“, разположена в лявата незаливна тераса на р. Девинска, югоизточно от гр. Девин. Основната цел на изследването е по неинвазивен път да се диференцира геоложкия разрез до дълбочина 15–25 m и да се определят пространствените граници и дебелината на депонираните строителни отпадъци. Измерванията са проведени по четири геофизични профила с обща дължина 560 m чрез четириелектродна схема Wenner–Schlumberger, използвайки апаратура Terrameter SAS 1000. Получените данни са обработени и интерпретирани посредством програмния пакет RES2DINV, чрез който е определено разпределението на действителните електрични съпротивления в подповерхностното пространство. Интерпретацията на резултатите разкрива три основни електросъпротивителни среди. **Зона А** е интерпретирана като пласт от депонирани строителни отпадъци с електрично съпротивление от 80 до 450 Ωm и средна дебелина около 5,5 m. **Зона В** съответства на силно изветрели и водонаситени брекчоконгломерати, характеризирани се с по-ниски стойности на съпротивлението, а **Зона С** отразява относително здрави и слабо променени части от скалния масив с по-високи стойности на електричното съпротивление. Установени са и локални нискоомни аномалии, свързани с финообломъчни и силно водонаситени материали. Анализът на геоелектричните разрези позволява да бъде оценено и нивото на подземните води, което към момента на измерването се намира на дълбочина между 2–3 и 12,5 m под терена. Получените резултати потвърждават високата ефективност на метода ERT при инженерногеоложки проучвания и предоставят надеждна информация за строежа на площадката, необходима за проектирането и изграждането на ПСОВ „Девин“.

Ключови думи: електротомография, ERT, инженерна геология, строителни отпадъци, подземни води.

Въведение

Обект на електротомографското проучване е отредената площадка за изграждане на Пречиствателната станция за отпадни води (ПСОВ) „Девин“. Проучваният участък е разположен в лявата незаливна тераса на р. Девинска, на около 1 km югоизточно от гр. Девин – фиг. 1. Теренът е използван за насипване на строителни отпадъци, които заемат територия с площ около 5.35 декара. Насипаните материали са заравнени с лек наклон на юг до надморска височина между 688.5 и 691.5 m. В западна посока скатове на речната долина се издигат рязко до коти 710–730 m, а в посока към реката насипаните материали стръмно западат до естествените нива на речната тераса – около коти 675–680 m. Предполагамата дебелина на насипите не надхвърля 6–8 метра.

Основна цел на електротомографското проучване е по неинвазивен път в рамките на отредената за изграждане на

ПСОВ „Девин“ площадка да се диференцира геоложкия разрез до дълбочина 15–25 m, с акцент картиране на пространствените граници и определяне на дебелината на депонираните строителни отпадъци.

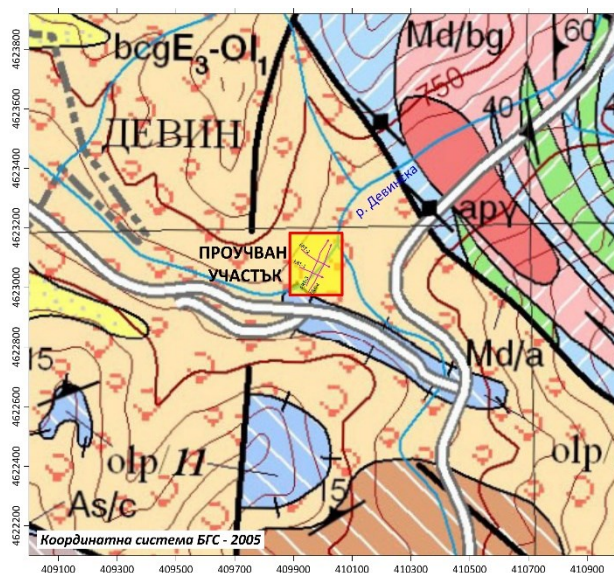
Геоложки строеж на района

В геоложкия строеж на проучвания участък и прилежащите му територии изцяло доминират скалите от състава на Задругата на полимиктовите брекчоконгломерати (bcgE₃-Ol₁) – фиг. 2. На тази геоложка единица в строежа участват брекчоконгломерати, конгломерати и по-рядко пясъчници (Саров и др., 2009). Брекчоконгломератите и конгломератите са полимиктови, гранит-олигомиктови и рядко мраморно-олигомиктови. Късовият състав включва освен преобладаващите кластити от гнайси също и мрамори, шисти, гнайси и амфиболити.

Големината на късовете варира в широк диапазон – от дребночакълни до валунно-блокови и блокови. Матриксът е гравийен до пясъчливо-гравийен, полимиктов, по-рядко с карбонатна компонента. Пясъчниците се срещат като неиздържани прослойки и лещи с дебелина до 1-2 m. В района на Девин дебелината на задругата достига до над 350-400 m. Възрастта ѝ се определя като късноеоценско-ранноолигоценска. В горната приповърхностна част скалите са много силно изветрели и напукани, на места частично до напълно дезинтегрирани. Дебелината на вторично променената зона варира от няколко метра до 10-15 m и повече.



Фиг. 1. Местоположение на проучвания участък (по снимка от Google Earth)



Фиг. 2. Геоложка карта на района (По Геоложка карта на България, М 1:50 000. Картен лист Девин – Саров и др., 2009)

Палеогенският седиментен комплекс е слабодоносен. Акумулираните в него подземни води са в хидравлична връзка с р. Девинска. Може да се предполага, че в границите на проучвания участък водните нива са на дълбочина 5-10 m под терена, а в бреговата зона и по-плитко от 1 m.

Методика на електротомографските изследвания

Електротомографията (Electrical Resistivity Tomography, ERT) е широко използван геофизичен метод за изследване и характеризиране на приповърхностните геоложки условия при геоложки, инженерногеоложки и екологични проучвания.

За изследване на особеностите на инженергеоложкия разрез се използва разнообразен набор от геофизични методи на проучване, в зависимост от конкретните задачи и от условията на терена (Tzankov and Demireva, 2013; Tomova, 2023; Stoyanov and Dimovski, 2020; Grigorova and Koprev, 2018, Milenkovic, 2025).

Принципи на електротомографията (ЕРТ)

При двумерната електротомография, измерването на съпротивления се извършва чрез въвеждане на електричен ток в земята с помощта на два захранващи (токови) електрода и регистриране на предизвиканата потенциална разлика в два приемни (потенциални) електрода. Най-често използваните схеми за разположение на електродите са Wenner, дипол-дипол, Wenner-Schlumberger, полюс-полюс и полюс-дипол.

За да се увеличи областта на хоризонтално покритие на системата, особено при ограничен брой електроди, се използва специална процедура на стъпковото преместване (“приплъзване”) на кабела. За целта след извършването на последователността на измервания, кабелът се придвижва по посока на единия край на профила на разстояние, кратно на единичното разстояние между електродите. Всички измервания, които включват електроди не припокриващи оригиналния край на профила се повтарят. Стъпковото преместване на кабела с примерна стъпка 2a се илюстрира на фиг. 3.

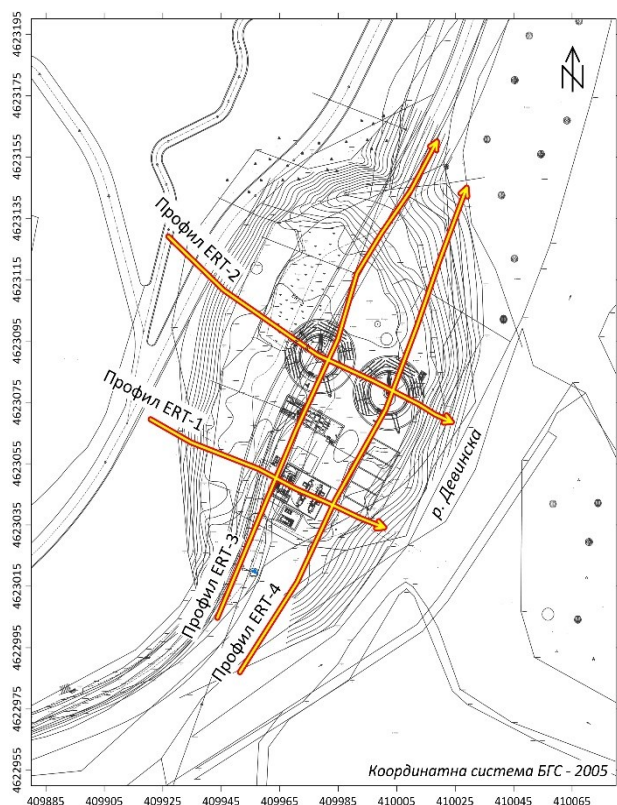


Фиг. 3. Принципна схема на стъпково преместване на кабела с примерна стъпка 2a

Теренни измервания

Проведените в рамките на настоящето проучване измервания са изпълнени по четири геофизични профила (фиг. 4) с обща дължина на профилите от 560 метра, а разстоянието между измервателните електроди е 5 m.

Измерванията са проведени по 4-електродна схема Wenner-Schlumberger, където са използвани две коси от 12 жилен кабел. Регистрацията е извършена с помощта на апаратура Terrameter SAS 1000 производство на шведската фирма ABEM. Данните от теренните измервания са интерпретирани с компютърна програма RES2DINV, с която е детерминирано разпределението на действителните електрични съпротивления в подповърхностното пространство.



Фиг. 4. Разположение на геофизичните профили ERT- 1, ERT- 2, ERT- 3 и ERT- 4 (геодезична снимка на терена към 2025 г.)

Обработка и интерпретацията на данните

Данните от полевите измервания се обработват с помощта на компютърна програма RES2DINV (Loke, 2001). Като входни данни в програмата се въвежда информация за положението на електродите на повърхността и за привидното съпротивление във всяка точка. На тази основа се съставя 2D модел на средата, като програмата автоматично поделва подповърхностното пространство на голям брой блокове. След това по метода на най-малките квадрати определя съпротивлението на всеки блок по такъв начин, че изчисленото привидно съпротивление от модела да съвпада възможно най-добре с измереното електрично поле (de Groot-Hedlin and Constable, 1990; Loke and Barker, 1996).

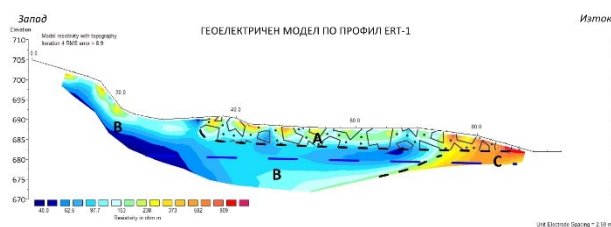
Като краен резултат програма RES2DINV дава реалното разпределение на електричните съпротивления в подповърхностното пространство.

Детерминираният геоелектричен модел се трансформира в геоложки на базата на:

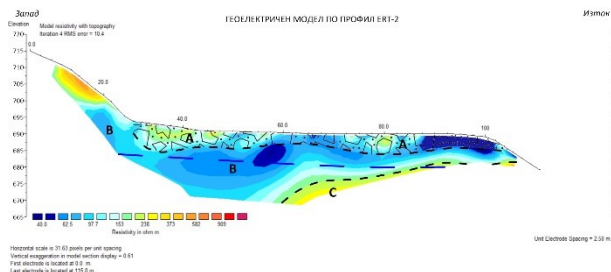
- обща информация за геоложките, инженерногеоложките, хидрогеоложките и техногенните условия в изследвания район;
- литературни данни за специфичните електрични съпротивления на различните типове скали (Keller and Frischknecht, 1966; Daniels and Alberty, 1975).

2.4. Резултати от измерванията

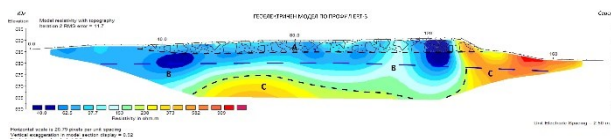
Получените по четирите профила геоелектрични разрези са представени на фиг. 5, фиг. 6, фиг. 7 и фиг. 8.



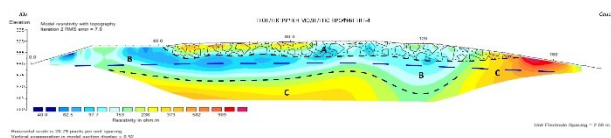
Фиг. 5. Зониране по електрично съпротивление в разреза по профил ERT-1



Фиг. 6. Зониране по електрично съпротивление в разреза по профил ERT-2



Фиг. 7. Зониране по електрично съпротивление в разреза по профил ERT-3



Фиг. 8. Зониране по електрично съпротивление в разреза по профил ERT-4

Заклучение

Комплексният анализ на получените от електротомографското проучване резултати (фиг.5, фиг. 6, фиг. 7 и фиг. 8) при отчитане на геоложката, хидрогеоложката и техногенна информация за изследвания район и резултатите от направените теренни огледи дава основание, изследваният разрез по четирите геофизични профила, да се представя от три електросъпротивителни среди (зони), картиращи пространствените граници на депонираните строителни отпадъци, пластове с различен литоложки състав и зони с различна водонаситеност:

1. **Първата електросъпротивителна среда (Зона А)** е установена в централните части на разрезите по профили ERT-1, ERT-2, ERT-3 и ERT-4, съответно в интервала от 38-мия до 90-тия метър по профил ERT-1, от 30-тия до 105-тия метър по профил ERT-2, от 32-рия до 138-мия метър по профил ERT-3 и от 41-вия до 150-тия метър по профил ERT-4. Стойностите на електрично съпротивление са в диапазона от 80 Ω m до 450 Ω m, рядко извън тези граници. Най-вероятно **Зона А** очертава пространствения обхват на депонираните

строителни отпадъци в разрезите по четирите профила. Дебелината на отпадъците по профил ERT 1, е най-често между 3.5 и 6.5 m, средно около 4.5 m; по профил ERT 2 – между 3 и 8.4 m, средно около 5 m; по профил ERT 3 – между 2-3 и 6 m, средно около 5.5 m; а по профил ERT 4 – между 2-3 и 8 m, средно около 6 m. Може да се приеме, че средната за площадката дебелина на **Зона А**, респ. на пласта от строителни отпадъци е около 5.5 m.

2. **Втората електросъпротивителна среда (Зона В)** се характеризира с относително ниски стойности на електричното съпротивление – от 30 Ωm до 180 Ωm . Най-вероятно тази зона картира горните части на неогенския скален комплекс, представени главно от силно изветрели и напукани брекчоконгломерати, на места частично дезинтегрирани, в основната си част водонаситени
3. **Третата електросъпротивителна среда (Зона С)** притежава относително високи стойности на електричното съпротивление в изследвания разрез по четирите профила – от 180 Ωm до 1000 Ωm , рядко повече. Най-вероятно тази зона картира слабозасегнати от вторични промени и относително по-здрави части на скалния комплекс, представени основно от брекчоконгломерати и конгломерати.

В първите две електросъпротивителни среди (**Зона А** и **Зона В**) са установени няколко аномални нискоомни зони, в които са регистрирани най-ниските стойности на електричното съпротивление – от 30 Ωm до 50 Ωm . Най-вероятно тези аномалии маркират участъци, в които доминират много дребно- и финозърнести материали или напълно дезинтегрирани подзони, с висока степен на водонаситяне.

Геоелектричните разрезии по четирите геофизични профила и регистрираните водни стоежи в р. Девинска предполагат, че в момента на измерването нивото на подземните води е на дълбочина от 2-3 до 12.5 m под терена, респ. около коти 176.5-182.5 m. На фиг. 5, фиг. 6, фиг. 7 и фиг. 8 предполагаемото разпределение на пиезометричните (водните) нива в скалния масив е представено с прекъсната синя линия.

Литература

- Саров, С., К. Найденов, Т. Железарски, И. Георгиева, Д. Иванова, Е. Войнова, А. Попов, Н. Марков, Р. Маринова. (2009). Обяснителна записка към геоложката карта на Република България М 1:50 000. Картен лист К-35-73-Г (Девин). МОСВ, БНГС, София, 63 с.
- Daniels, F., Alberty, R. (1975). *Physical Chemistry*. John Wiley & Sons, New York, USA, 687 p.
- de Groot-Hedlin, C and Constable, S. (1990) Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data. *Geophysics*, vol. 55, No. 12 (December 1990); pp. 1613-1624
- Griffiths, D. H., R. D. Barker. (1993). Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. – *Journal of Applied Geophysics*, 29, 211-226 p.
- Grigorova, M., I. Koprev. (2018). Application of electrical resistivity tomography for sand underwater extraction. – In: Proceedings of the 4th International Scientific Conference GEOBALCANICA. 15–16 May, North Macedonia, 15–20
- Keller, G., Frischknecht, F. (1966). *Electrical Methods in Geophysical Prospecting*. Pergamon Press, Oxford, 517 p.
- Loke, M.H. (2001). *A Practical Guide to RES2DINV Version 3.4*. Geotomo Software, Penang, Malaysia, 129 p.
- Loke, M.H., Barker, R.D. (1996). Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, 44, 131–152 p.
- Milenkovich, B. (2025). *Geophysical Monitoring for Sustainable Mining: Case Studies Using Electrical Resistivity Tomography*. Annual of the University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, Vol. 68/2025, pp 35 - 39, ISSN 2738-8808
- Stoyanov, N., Dimovski, S. (2020). Geoelectrical approach for differentiating the hydrogeological section in the study of a tailings pond site. In: Proceedings of the 6th International Scientist Conference. GEOBALCANICA
- Tomova, M. (2023). Geophysical techniques for monitoring of integrated mine waste storage facility: a case study of Southeastern Bulgaria. *Eurasia Proc. Sci. Technol. Eng. Math. (EPSTEM)* 26, 341–347
- Tzankov, Ch., Demireva, E. (2013). GPR through a Water Mirror Defining the Topography of a Bottom and the Depth of the Sediments beneath the Water Layer. 7th Congress of the Balkan Geophysical Society, Oct 2013, cp-362-0010. ISBN: 978-90-73834-55-2. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20131760>