

ЕЛЕКТРОТОМОГРАФСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ В РАЙОНА НА ЗОГРАФСКИЯ МАНАСТИР В СВЕТА ГОРА, АТОН

Стефан Димовски, Николай Стоянов, Християн Цанков, Атанас Кисъов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София; dimovski@mgu.bg, nts@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Проведеното геофизично проучване демонстрира ефективността на електротомографските методи при комплексното изследване на различни хидрогеоложки и инженерногеоложки проблеми. Съставените по данни от изпълнени *in situ* измервания са трансформирани в модели на подповърхностното пространство. Моделите картират границите на пластовете и зони с различни петрографски белези, с различна степен на изветряне или, както и с различна водонаситеност или водообилност. По този начин са решени някои много важни практически задачи, свързани с проектите за укрепване на фундаментите на манастира и за автономното му водоснабдяване. С първия модел е определена дебелината на антропогенния слой (строителния насип) в непосредствена близост до манастирските стени, а с втория е направена предварителна оценка на хидрогеоложките условия и перспективите за увеличаване добива на подземни води.

ELECTROTOMOGRAPHIC SURVEYING IN THE REGION OF THE ZOGRAF MONASTERY ON MOUNT ATHOS

Stefan Dimovski, Nikolay Stoyanov, Christian Tzankov, Atanas Kisiov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; dimovski@mgu.bg, nts@mgu.bg

ABSTRACT. The performed geophysical surveying reveals the efficiency of the electrotomographic techniques for a complex study of different problems in the field of hydrogeology and engineering geology. The geoelectrical sections, created on the basis of data from the performed *in situ* measurements, are transformed into subsurface models. These models are mapping the boundaries of layers and zones having different petrographic characteristics, distinct degree of weathering or fissuration, as well as divergent water saturation or aquiferous properties. In this way are solved some important practical problems, connected to the design of the activities related to reinforcing of monastery foundations, as well as to its autonomic water supply. The first model is used for determination of the thickness of the anthropogenic layer (the construction embankment) near the monastery walls. With the second model is made a preliminary assessment of the hydrogeological conditions and the possibility for an increase of the groundwater supply.

Въведение

Зографският манастир е основан през X век, но днешният му архитектурен облик е резултат на реализираното мащабно строителство в периода от средата на XVIII до края на XIX. През тези години основен генератор за неговия възход са щедрата дарителска дейност, възрожденския дух и православния ентузиазъм на българското население. През втората половина на XX век, обаче, липсата на интерес на българската държава към проблемите на обителта и нищожните средства от дарения са причина за драматичното занемаряване на сградния фонд и затихващия живот зад манастирските стени. В последните 10-15 години нов период в историята на манастира бележат активните действия на работещите за неговото възстановяване държавни и обществени организации, частни лица и фирми.

Наскоро започналите на територията на обителта строително-ремонтни работи срещат много сериозни затруднения от отсъствие на информация за дълбочината на фундаментите на манастирските стени, наличието и дебелината на антропогенните насипи, литоложките

характеристики, вторичните промени и водонаситеността на геоложката основа. Друг много голям проблем в момента е и намирането на допълнителен източник за автономно водоснабдяване на манастира. Първи стъпки за решаването на тези задачи са извършените от нашия екип електротомографски изследвания. Полевите измервания са направени в края на 2011 г. Те са съсредоточени в два проучвателни участъка. Първият обхваща района и прилежащите площи на манастирския комплекс, а вторият участък е предварително определен по общи хидрогеоложки белези като перспективен за добив на подземни води.

Геоложка характеристика

В регионален план Атонският полуостров е изграден основно от интрузивни, метаморфни и вулкански скали с палеозойска и мезозойска възраст. Кватернерната покривка е много тънка, среща се като отделни петна и главно в понижените части на силно пресечения релеф.

Районът на Зографския манастир и прилежащите му територии е изграден от мрамори, двуслюдени и

биотитови гнайси, амфиболити, алтернации от амфиболити и гнайси и др. (Kockel, Mollat, 1978). Границите и повърхностното разпространение на тези литоложки разновидности, както и разположението на по-важните открити и предполагаеми разломи са илюстрирани на фигура 1. На същата фигура е посочено и местоположението на проучвателни участъци №1 и №2, в които са проведени елетротомографските изследвания.



Фиг. 1. Геоложка карта в района на Зографския манастир (по Геоложката карта на Гърция, М 1:50000, лист Атонски полуостров)

Проучвателен участък №1

В геоложкия разрез на участъка и прилежащите му площи доминиращо присъствие имат палеозойските мрамори, изграждащи горния мраморен хоризонт на Кердилийската формация от Сърбомакедонския масив. Мраморите са грубозърнести, дебелопластови, с прослойки от амфиболити, бели до синкави на цвят. На различни хипсометрични нива и части в мраморния комплекс са вместили мезозойски силове, дайки и апофизни тела от Хилендарския тип гранодиорити. Скалният масив е блоково разломен. В най-горната си част блоковете са силно напукани и изветрели, а в дълбочина пукнатините затихват и са привързани главно към тектонските нарушения.

Полегатите скатове и понижените части на терена са припокрити с делувиялни глини и почвен слой с дебелина до 1-2 m. В долините на по-големите реки са формирани малки алувиални тераси, изградени от едрокъсови, грубосортирани материали.

В района на манастирския комплекс през вековете са натрупвани различни по генезис, дебелина и плътност антропогенните наслаги. В това число попадат останките на вече несъществуващи по-стари съоръжения и сгради, строителни насипи, импровизирани депа за отпадъци или специално изгражданите почвено-глинести насипи при терасирането на стръмните скатове на запад от манастирските стени. Към т.нар. "културен слой" следва да

бъдат отнесени тунелите и катакомбите под манастира, част от които са полуразрушени или под нивото на подземните води.

Проучвателен участък №2

Районът е с несложен геоложки строеж. Изграден е изцяло от двуслюдените и биотитовите гнайси от състава на Вертискоската формация от Сърбомакедонския масив. Двуслюдените гнайси са тъмно сиви или кафяви, финно-до среднозърнести, монотонни, с локални преходи към лещовидни и очни гнайси. Биотитовите гнайси са сиви до кафеникави, финнозърнести. В приповърхностните части на разреза метаморфните скали са силно напукани и вторично променени. Зоната на регионалната напуканост е около 15-20 m и повече. В дълбочина скалите са здрави.

Хидрогеоложки условия

В района на Зографския манастир и прилежащите му територии се отделят две основни хидрогеоложки формации, имащи голямо стопанско значение за неговото автономно водоснабдяване.

Водоносна формация в мраморите. Формирана е в блоково разломения и напукан скален комплекс от палеозойски мрамори и мезозойски интрузиви. Подземните води са пукнатинен тип, безнапорни до слабо напорни и незащитени от повърхностни замърсители. Нивата са установени на около 5-10 m от терена, като ниските стойности са привързани към понижените участъци на терена. Проводимостта на формацията е около 30-40 m²/d. Подхранването е от инфилтрация, от малки реки с постоянен или временен отток, както и от дренажите се от гнайсовия комплекс води. Основен замърсител в района е реката, заустваща отпадните води на манастирския комплекс. На юг от манастира, на по-ниска кота и в близост до същата река е изграден тръбен кладенец ТК (вж. фиг. 1) с дълбочина 107 m и експлоатационен ресурс около 2-3 l/s. Кладенецът обезпечаваша значителна част от необходимите за битови цели и за напояването на манастирските имоти водни количества, без да може да ги покрие напълно. Резултатите от направените химични анализи в периода 2008-2009 г. преди и след направеното прочистване на кладенеца показват повишено съдържание на манган в подземните води, което ги прави непригодни за питейни цели (по непубликувана информация на фирма Водоканалпроект АД Пловдив). По тази причина и предвид потенциалната опасност от замърсяване на водоноса с отпадни води, желанието на монасите е питейното водоснабдяване да се осигурява от друг водоизточник, за който подобна опасност не съществува.

Водоносна формация в гнайсите. Формирана е в зоната на регионалната напуканост на палеозойския гнайсов комплекс. Подземните води са пукнатинен тип, безнапорни по характер. Подхранването е от инфилтрация на валежи и от скатови води. В района на проучвателен участък №2 и западно от него водоносната формация се дренира от голям брой низходящи извори с дебит около и под 0.2 l/s. Макар и незащитени, отсъствието на повърхностни замърсители в зоната на тяхното подхранване е причина подземните води да са чисти и пригодни за пиене. Впрочем, основната част от питейното водоснабдяване на манастира понастоящем се обезпечаваша от каптираните

извори. За съжаление, добиваното от тези извори водно количество е недостатъчно и това е главната причина за провежданите през последните години хидрогеоложки проучвания с цел търсене на допълнителни водни ресурси в района. Част от тези проучвания е и изпълненото от нашия екип електротомографско изследване в участък №2.

Методика и инструменти на изследването

За предварително изясняване на инженерногеоложките и хидрогеоложките условия в обсега на двата проучвателни участъка е използван метода на 2D проучване (електротомография) по схемата полюс-дипол. Полевите измервания са направени по профили посредством голям брой свързани към многожилен кабел електроди (Griffiths, Baker, 1990). Използвана е 4-електродна схема Wenner-Schlumberger. Регистрацията е извършена с помощта на апаратура Terrameter SAS 1000, производство на шведската фирма ABEM.

При обработката на полевите данни е използвана компютърната програма RES2DINV (Loke, 2001). Програмата дава разрез на реалното разпределение на електричните съпротивления в подповърхностното пространство, който позволява точно да се диференцират пространствените граници между различните литоложки разновидности, както и зоните с различна водообилност.

Преходът от геоелектрични в инженерногеоложки или хидрогеоложки модели се прави като при последващата интерпретация на получените с програмата геоелектрични разрези се отчита и събраната при стандартното проучване обща информация за конкретните геоложки, хидрогеоложки и антропогенни условия.



Фиг. 2. Местоположение на геофизичните профили в проучвателен участък №1 – Манастирски комплекс (по Горската карта М 1:5000, район Зографски манастир)

Анализ и интерпретация на данните от полевите измервания

Главните цели на проведените в края на 2011 г. електротомографски изследвания са:

- да се определят дебелините на антропогенните насипи и водонаситеността на геоложката основа в проучвателен участък №1 (манастирския комплекс);
- да се определи дебелината на зоната на регионалната напуканост, респ. границите на водоносната формация

в гнайсите в проучвателен участък №2 (в зоната на подхранване на каптаж “Ватопедска майка”).

Електротомографски разрези в участък №1

Проведените геоелектрични измервания в проучвателен участък №1 са изпълнени по пет профила (ГФ-3, ГФ-4, ГФ-5, ГФ-6 и ГФ-7), чието разположение е представено на фиг.2. Профилите са с обща дължина 552 m, като профил ГФ-3, ГФ-4 и ГФ-7 са дълги по 69 m, профил ГФ-5 е с дължина 230 m, а профил ГФ-6 е с дължина 115 m. Интерпретираните с компютърна програма RES2DINV данни от полевите измервания, респ. детерминираното разпределение на действителните съпротивления в геоелектричните разрези по петте профила, са представени на фигури 3-7.

Анализът на илюстрираните на тази фигура резултати от електротомографията позволява да се направят следните по-важни изводи:

- Електричното съпротивление на разновидностите (средите), които изграждат изследваната част от подповърхностното пространство варира в широки граници – от 15 Ωm до около 1000 Ωm и повече.
- Разнообразието в стойностите на съпротивленията и сложните пространствени граници на детерминираните електросъпротивителни среди е обусловено от отчетливата хетерогенност на геоложката основа в съчетание с изключителното разнообразие на антропогенната покривка, включваща много и различни по геометрия и състав насипи, подземни съоръжения, фундаменти и пр.
- Най-обобщено геоелектричните разрези по петте геофизични профила се представят от седем електросъпротивителни среди, маркиращи няколко зони и подзони с различен генезис, състав, литоложки белези и степен на водонаситеност:

Първата електросъпротивителна среда (Зона 1.1) е със стойности на електричното съпротивление не по-високи от 120 Ωm . Тя се установява в горните части на разрезите по профили ГФ-3, ГФ-4 и ГФ-5. По косвена информация за антропогенния слой и от данни от направените огледи в манастира в тази зона попадат две подзони. Първата подзона 1.1.1 най-вероятно картира насипите от строителни и битови отпадъци в района на Банското (източното) крило на манастира (вж. фиг. 2, 4 и 5). Дебелината на тези насипи варира в диапазона от 4-5 до около 20 m. Втората подзона 1.1.2 (вж. фиг. 3) вероятно обобщено очертава антропогенния неводонаситен (сух) слой покрай вътрешните стени на западното крило. В състава на този 5-6 m дебел слой попадат каменната настилка на вътрешния двор и намиращите се под него подземни тунели и катакомби.

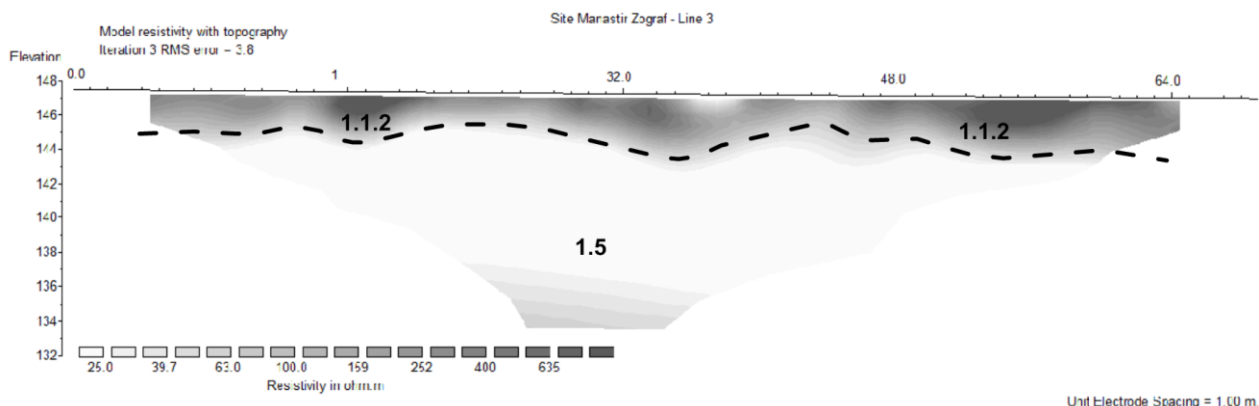
Втората електросъпротивителна среда (Зона 1.2) се характеризира с малко по-високи стойности на електричното съпротивление от 40 Ωm до 160 Ωm . Установена е в горните части на разрезите по профили ГФ-6 и ГФ-7, а дебелината ѝ се изменя в границите от 6-7 до 15-16 m (вж. фиг. 2, 6 и 7). Най-вероятно картира почвените и глинесто-каменните насипи в терасирания западен склон на манастирския комплекс.

Третата електросъпротивителна среда (Зона 1.3) има много високо съпротивление – над 350 Ωm .

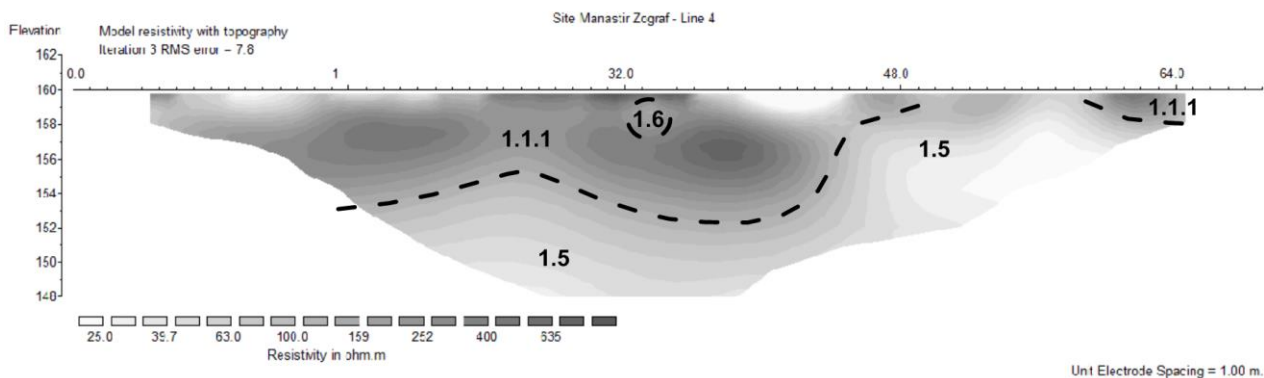
Оформя малки петна в горната централна част на профили ГФ-6 и ГФ-7. Много вероятно е да маркира фундаментите на събирателния водоем с обем 300 m³.
Четвъртата електросъпротивителна среда (Зона 1.4) се характеризира с доста високи електрични съпротивления – над 160 Ωm. Напълно е възможно тя да картира здравите до слабонапукани неводоносители части на мраморния скален комплекс.

Петата електросъпротивителна среда (Зона 1.5) притежава едни от най-ниските съпротивления в изследваните разрези – от 15 Ωm до 120 Ωm. Най-вероятно тази зона очертава границите на водоносната формация в мраморите.

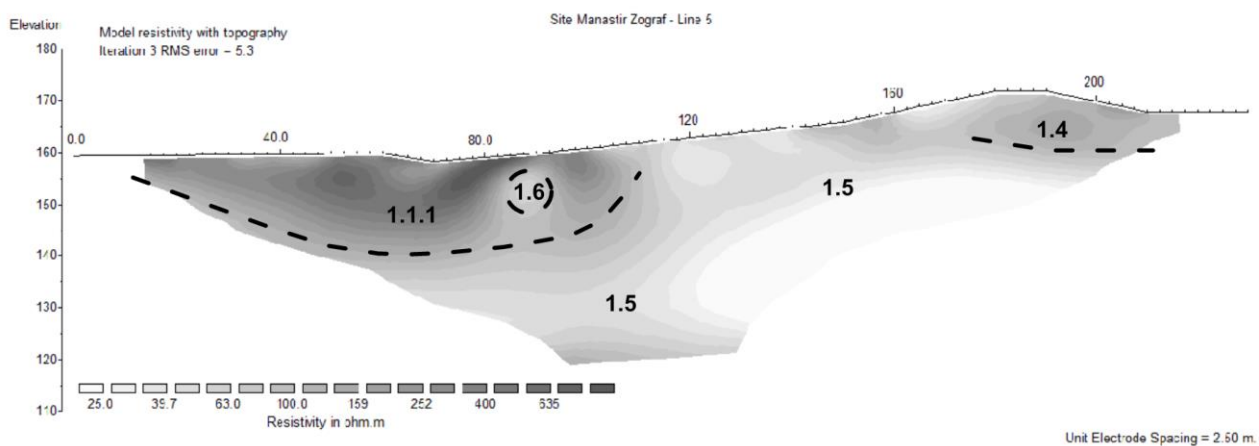
Шестата електросъпротивителна среда (Зона 1.6) представлява малка кръгова нискоомна форма в наспите, установени в разрезите по профили ГФ-4 и ГФ-5. Вероятно картира тръбопровод.



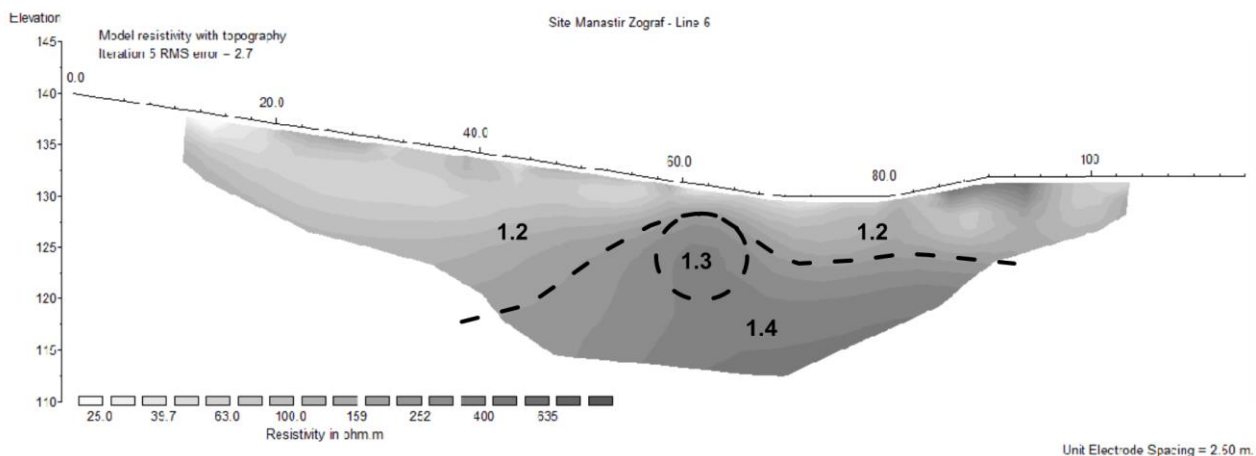
Фиг. 3. Разпределение на електричното съпротивление в разреза по профил ГФ-3



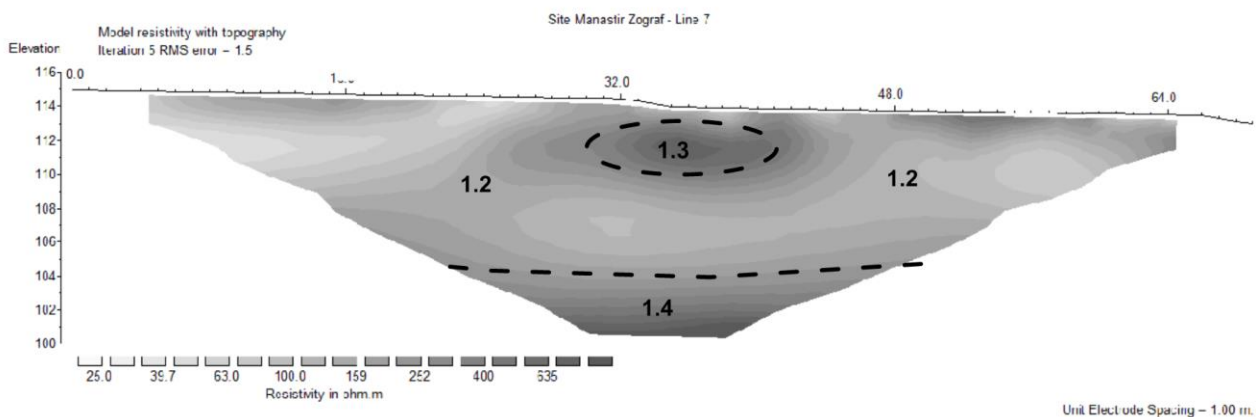
Фиг. 4. Разпределение на електричното съпротивление в разреза по профил ГФ-4



Фиг. 5. Разпределение на електричното съпротивление в разреза по профил ГФ-5



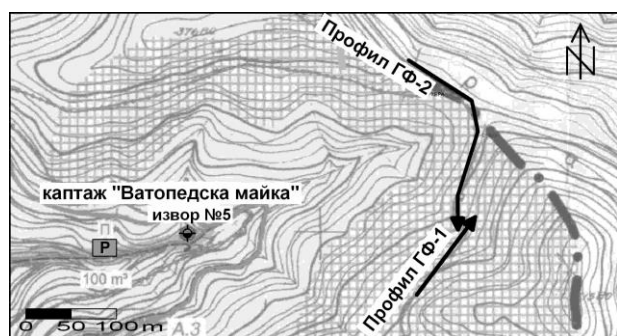
Фиг. 6. Разпределение на електричното съпротивление в разреза по профил ГФ-6



Фиг. 7. Разпределение на електричното съпротивление в разреза по профил ГФ-7

Електротомографски разреза в участък №2

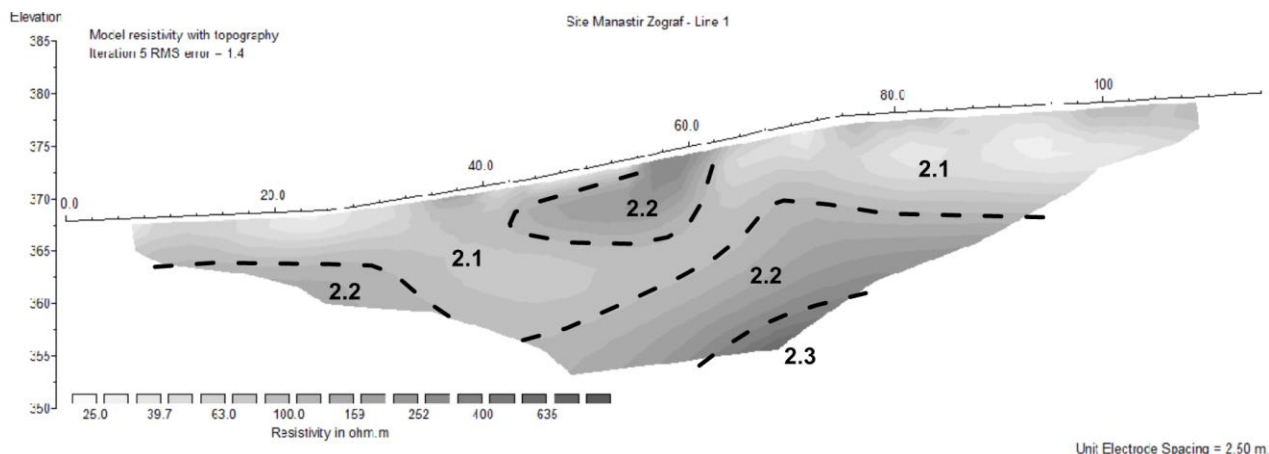
Геоелектричните измервания в проучвателен участък №2 са проведени по два профила (ГФ-1 и ГФ-2), чието разположение е представено на фигура 8. Профилите са с обща дължина 345 m. Дължината на профил ГФ-1 е 115 m, на профил ГФ-2 – 230 m. Получените с програма RES2DINV геоелектричните разреза по тези профили, са представени на фигури 9 и 10.



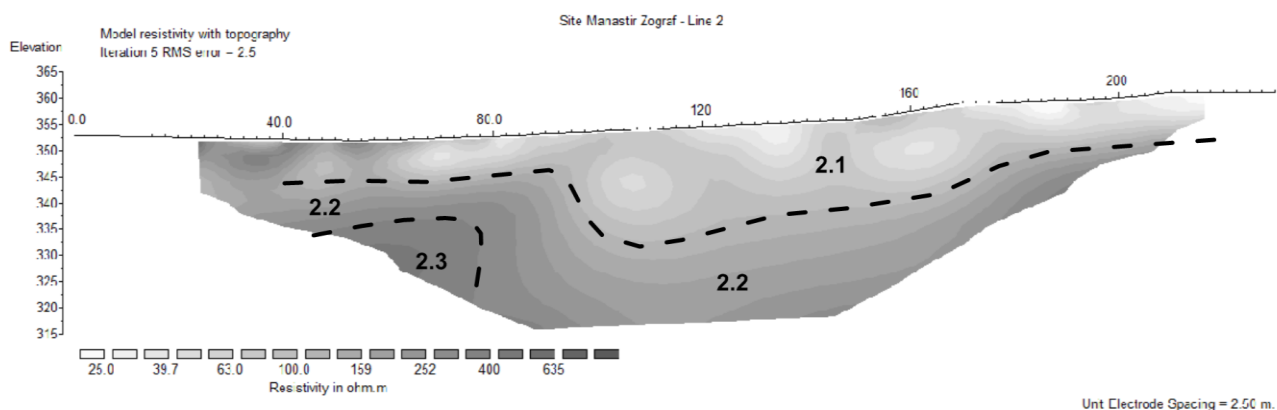
Фиг. 8. Местоположение на геофизичните профили в проучвателен участък №2 (по Горската карта М 1:5000, район Зографски манастир)

Анализът на резултатите от електротомографията дава основания да се направят следните констатации:

- Геоелектричният разрез по двата профила е сравнително добре издържан по разпределение на електричното съпротивление в дълбочина.
- Електричното съпротивление на средите, изграждащи изследвания хидрогеоложки разрез се изменя в относително широк диапазон – от 20 Ωm до 850 Ωm и повече.
- Най-обобщено геоелектричните разреза се представят от три електросъпротивителни среди, маркиращи зони с различна степен на напуканост и водообилност:
Първата електросъпротивителна среда (Зона 2.1) се характеризира с най-ниските електрични съпротивления – не по-големи от 100 Ωm . Вероятно тази зона картира горните силно напукани и водообилни части от зоната на регионалната напуканост в гнайсовия комплекс. В разреза по профил ГФ-1 дебелината на зона 2.1 се изменя в границите от 5 до 12 m, а в разреза по профил ГФ-2 е в диапазона от 7 до 23 m.
Втората електросъпротивителна среда (Зона 2.2) притежава доста по високи съпротивления – от 100 Ωm до 400 Ωm . Тя вероятно очертава долните по-слабо напукани и слабо водообилни части от зоната на регионалната напуканост. Дебелината ѝ варира в по-широки граници – от 8 до 30 m.
Третата електросъпротивителна среда (Зона 2.3) е с най-високи съпротивления – над 400 Ωm . Най-вероятно тази зона маркира здравия скален масив.



Фиг. 9. Разпределение на електричното съпротивление в разреза по профил ГФ-1



Фиг. 10. Разпределение на електричното съпротивление в разреза по профил ГФ-2

Литература

- Димовски, С. 2010. *Електротомографски изследвания на геоложката среда*. Дисертация, С., МГУ "Св. Иван Рилски", 387 с.
- Димовски, С., Н. Стоянов, Ч. Гюров. 2007. Ефективност на електротомографията за детайлно геоелектрично картиране на приповърхностния геоложки разрез. – *BULAQUA (БУЛАКВА)*, 4, 47-55.
- Стоянов, Н. 2003. *Оценка и прогнозиране на замърсяването на подземните води от депа за твърди битови отпадъци*. Дисертация, С., МГУ "Св. Иван Рилски", 215 с.
- Стоянов, Н. 2004. Метод за дефиниране на локални геоелектрични критерии за оценка на замърсяването на подземните води. – *BULAQUA (БУЛАКВА)*, 4.
- Daniels F., R. A. Albery. 1966. *Physical Chemistry*. John Wiley and Sons.

- Griffiths, D. H., R. D. Barker. 1993. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. – *J. Applied Geophysics*, 29, 211-226.
- Keller, G. V., F. C. Frischknecht. 1966. *Electrical Methods in Geophysical Prospecting*. Pergamon Press, Oxford.
- Kockel, F., H. Mollat. 1978. *Geological Map of Greece. M1:50000. Peninsula of Athos Sheet. (Vatopedhiou Monastery Athos)*. Publ. Department of Geological Maps of I.G.M.R.
- Loke, M. H. 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.
- Loke, M. H., R. D. Barker. 1996. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. – *Geophysical Prospecting*, 44, 131-152.