DOI: 10.48368/bgs-2025.1.n17

Възможности за комплексно използване на геофизични методи за изследване на геотермални източници на енергия в района Казичене – Равно поле

Ирина Иванова[1], *Зузана Каракашева*[1]

[1] Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", Катедра „Приложна геофизика", e-mail: karakasheva11234@abv.bg

Ключови думи: Софийско поле, геотермални източници, дълбочинни изследвания, геофизика, магнитотелурика

Резюме

В района на селата Казичене – Равно поле, част от Софийското седиментен басейн, са установени значителни геотермални ресурси с подходящи характеристики за балнеология, отопление и други директни приложения. Геоложките и хидрогеоложките условия, включително наличието на дълбоки и плитки водоносни хоризонти, определят високия потенциал на находището. За ефективното му проучване се препоръчва комплексно използване на геофизични методи, като за целта е предложен подходящ геофизичен комплекс. Комбинираният подход осигурява надеждна предварителна оценка на ресурса и подпомага планирането на сондажи и бъдещо устойчиво използване на геотермалната енергия в България.

Въведение

Геотермалната енергия е един от най-значимите възобновяеми енергийни ресурси. Тя използва топлината, съхранена в земните недра, и намира приложение както за отопление и балнеология, така и за производство на електроенергия. Нейното предимство е, че е непрекъснато достъпна, за разлика от други източници като слънчевата или вятърната енергия.

България разполага с благоприятни условия за използване на геотермална енергия. В страната има десетки находища на минерални и термални води, като едни от най-перспективните са в района на Софийското поле. Там се намира и находището „Казичене – Равно поле", което е добре известно и притежава ресурси с потенциално голямо значение за икономиката и енергетиката.

Настоящата работа има за цел да представи геоложките и хидрогеоложките особености на района и да посочи най-подходящите геофизични методи, приложими за изследване на конкретния обект.

Географски, геоложки и хидрогеоложки условия

Районът Казичене – Равно поле се намира в източната част на Софийското поле, като включва земите около селата Казичене, Равно поле и Кривина (фиг. 1). Теренът е равнинен, със средна надморска височина 550–600 метра, което улеснява изграждането на инфраструктура.

Геоложки, Софийското поле представлява грабен – потънала тектонска структура, ограничена от разломи. Запълнено е с плиоценски и кватернерни наслаги – пясъци, глини, чакъли и туфи. Под тях се разполагат палеогенски и кредни седименти, а още по-надълбоко – палеозойски метаморфити (Ангелов и др., 1995; Загорчев и др. 1994; Кацков и др. 1994; Янев и др. 1995;). Разломите са с голямо значение за хидрогеоложките условия, защото служат като канали за движение на подземни води и позволяват на термалните води да достигнат до по-плитки хоризонти.

От хидрогеоложка гледна точка находището „Казичене – Равно поле" е добре проучено и се състои от две основни водоносни тела: дълбоко и плитко (Пенчев и Величков, 2011).

Дълбокото находище се експлоатира чрез сондажи с дълбочина 600–1200 m. Температурата на водата е между 50 и 56°C, минерализацията е ниска – до 0,2 g/l. Дебитите варират, но общо позволяват значителна експлоатация. Химичният състав е хидрокарбонатно-натриев с наличие на флуор и силициев диоксид. Това прави водата подходяща както за отопление, така и за балнеолечение.

Плиткото находище е свързано с кватернерни седименти. Водите са по-хладни (25–35°C), но имат по-висока минерализация. Те също могат да се използват за отопление и за балнеологични цели, макар и в по-малък мащаб.

Геотермална енергия и нейното значение

Геотермалната енергия е резултат от топлината, съхранена в земните недра. Тя се дължи както на първичната топлина от образуването на Земята, така и на процесите на радиоактивен разпад. Средният геотермален градиент е 25–30 °C/km, но в райони с активна тектоника и разломи той е значително по-висок.

Има два основни начина за използване на геотермалната енергия:

- Пряко използване – за отопление на сгради, оранжерии, плувни басейни и за балнеолечение.
- Производство на електроенергия – възможно е при високи температури на водата (над 150°C).

В района на Софийското поле температурата е умерена, което прави находището особено подходящо за директни приложения – отопление на обществени и спортни сгради, плувни комплекси и спа центрове.

Геофизични методи за търсене на геотермални източници

Геофизичните методи са ключов инструмент в проучванията на геотермални ресурси, защото позволяват да се изследват недрата без масови сондажи (Kana, 2015). Основните групи методи са:

- **Температурни методи**: геотермално картиране – измерване на температурата в плитки сондажи или извори; сондажни термометрични изследвания – най-точният метод за определяне на температурата на различни дълбочини; изследване на топлопроводимост и топлинен поток – дава данни за геотермалния градиент и потенциала на района.
- **Електрични методи**: вертикално електрическо сондиране (ВЕС) – използва се за установяване на електропроводимостта на скалите; метод на собствените потенциал – регистрира естествени токове, свързани с движението на подземни води; магнитотелуричен метод – позволява проучвания до големи дълбочини и дава информация за проводимостта на различни хоризонти.
- **Индиректни методи**: магнитни измервания – помагат да се установят разломни зони и вулканични тела, които често са свързани с повишен топлинен поток; гравиметрични проучвания – дават информация за геоложката структура и разломите; сеизмични методи – предоставят най-подробна картина за строежа на недрата и разломната система.
- **Други методи**: дистанционни наблюдения – по сателитните и въздушните изображения се набелязват зони на вторични минерализации, свързани с геотермална активност, докато въздушната фотография и лидарното картографиране на терена осигуряват информация за повърхностни структурни характеристики, свързани с геоложките условия; гама спектрометрия – методът дава информация за количественото съдържание на естествените радиоактивни изотопи на K^{40}, U^{238} и Th^{232} в скалите, което е индикатор за алкалността им, от друга страна каротажната гама спектрометрия поделя относителните типове скали в сондажните изработки.

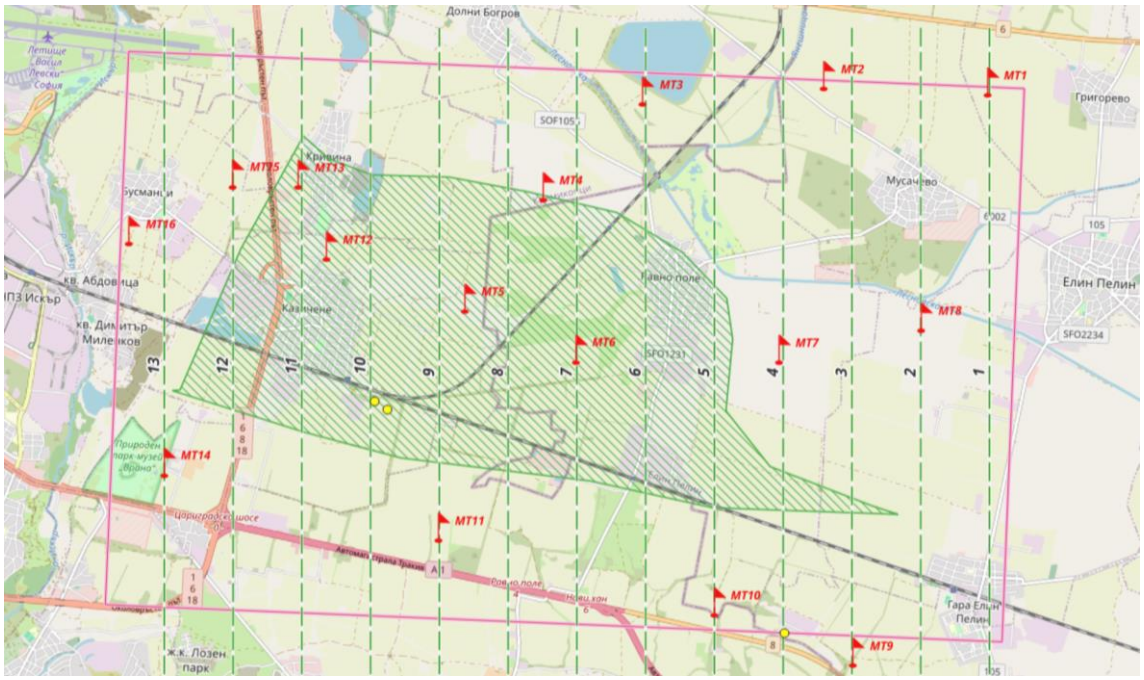
Посочените методи, изпълнени в подходящи комбинации (Georgsson, 2009) и съгласувани с теренните, геоложките и хидрогеоложки условия на даден обект осигуряват пълна предварителна представа за геотермалния потенциал, позволявайки правилното планиране и прокарване на сондажни изработки.

Проектен комплекс от геофизични методи

За надеждна оценка на геотермалния потенциал в района на Казичене – Равно поле е необходимо прилагането на комплекс от геофизични методи. Избрана е проектна правоъгълна площ с приблизителни размери 13 x 8 km (фиг. 1). Наличието на сондажни данни и възможността за петрофизични изследвания върху сондажния материал са значително предимство, тъй като позволяват определяне на физичните параметри (специфично електрическо съпротивление, електропроводимост, плътност, магнитна възприемчивост и др.) на термалния водоносен хоризонт и останалите пластове изграждащи разреза, респ. разликите между тях. Тези параметри служат за основа при количествената интерпретация на резултатите от геофизичните изследвания.

Магнитотелурични изследвания (МТ): Магнитотелуриката е особено подходяща за района Казичене – Равно поле, тъй като позволява проучване на дълбочини до няколко километра, чувствителна е към водонаситени и проводими зони като термалните водоносни хоризонти, осигурява картографиране на разломи и тектонски структури, независима е от сондажни данни и дава широкомащабна картина, а също така се комбинира отлично с други геофизични методи за надеждна интерпретация на геотермалната система. За достигане на необходимите дълбочини е целесъобразно прилагането на метода във вариант с регистриране на естествените телурични токове. При проектирането обаче трябва да се отчете силното смущаващо влияние на гъстата електропреносна мрежа и двете железопътни линии, пресичащи изследваната площ. Поради тези ограничения не е практично изпълнението на

измервания по равномерна мрежа от профилни линии. Подходящо решение е провеждането им точково, с осигуряване на относително постоянна гъстота на измервателните станции. На предварителен етап са определени 16 локации (фиг. 1).



Фигура 1. Граници на обекта, вкл. проекция на земната повърхност на представляваща интерес издигната блокова структура (зелена щриховка) с проектни геофизични измервания (магнитотелурика – червени флагчета, магнитометрия и гравиметрия – зелени пунктири)

Гравиметрични и магнитни изследвания: Поради ясната плътностна разлика между издигнатия блок и покриващите го седименти е целесъобразно изпълнението на гравиметрично картиране, комбинирано с наземна геомагнитна снимка (Йосифов, 2016). За подобни цели е по-подходящо извършването на аеромагнитометрия, но близостта с летище „Васил Левски“ (SOF) би затруднило изключително планирането на полетните мисии. Профилната мрежа и за двата метода е избрана да бъде през 1000 m с ориентация север – юг, като при необходимост е възможно сгъстяването ѝ до 500 m. По този начин са проектирани 13 профилни линии, по които да бъдат проведени гравиметричните и геомагнитните измервания (фиг. 1). Гравиметричните проучвания следва да бъдат извършени точково през 200 m чрез стандартна методика с опорни точки и контролни измервания. Наземната магнитометрия се провежда по профилните линии в режим на непрекъснат запис и с последващи корекции от локално разположена базова станция или по данни от геомагнитната обсерватория в Панагюрище (PAG).
Термално заснемане (инфрачервена термография): Високият температурен контраст между термалните води и околната среда създава предпоставки за заснемане с термокамера в инфрачервения диапазон, най-добре през нощта. Методът е особено ефективен при наблюдение на открити водни тела и басейни, където температурните аномалии се проявяват отчетливо. Ограничение е наличието на глинести пластове, които екранират част от сигналите. Използването на дрон е възможно, но тук отново трябва да се съобрази с близостта на летище София и съответните регулации.
Поради високата населеност на района и наличието на множество антропогенни източници на шум е необходим внимателен подход при анализа и интерпретация на данните, за да се избегнат грешни заключения.

Заключение

Районът Казичене – Равно поле е един от най-перспективните в България за развитие на геотермалната енергия. Наличието на дълбоки сондажи и води с умерена температура го правят подходящ за балнеолечение, отопление и спортни цели.

Геофизичните методи играят ключова роля при проучванията, защото осигуряват детайлна информация за геоложкия строеж и за движението на термалните води. Те позволяват по-точно прогнозиране и оптимално използване на ресурсите.
Развитието на геотермалната енергетика в България може да допринесе за енергийната независимост, да намали използването на изкопаеми горива и да осигури чист и възобновяем източник за бъдещите поколения.

Благодарности
Настоящото изследване е извършено с финансовата подкрепа на Европейския съюз чрез инструмента СледващоПоколениеЕС, проект „ГеотермПро“, Договор № ПВУ-47 от 06.12.2024 г. /BG-RRP-2.017-0013-C01/ по Механизма за възстановяване и устойчивост за изпълнение на инвестиция по C2I2 „Повишаване на иновационния капацитет на Българската академия на науките (БАН) в сферата на зелените и цифровите технологии“ от Плана за възстановяване и устойчивост.

Литература

Ангелов В, Илиев К, Хайдутов И, Сапунов И, Чумаченко П, Чунев Д, Цанков Ц, Маринова Р, Русанов И, Янев С (1995) Обяснителна записка към геоложката карта на България М 1:100000, к. л. Ботевград. С., ЕТ „Аверс“,117 с.

Загорчев И, Маринова Р, Чунев Д, Чумаченко П, Сапунов И, Янев С (1994) Обяснителна записка към геоложката карта на България М 1:100000, к. л. Перник. С., КГМР, Геология и геофизика, 92 с.

Йосифов Д, Радичев Р, Цанков Х (2016) Дълбочинни структури в Маданското рудно поле и тяхното металогенно значение. VIII Национална конференция по геофизика. София, 25 ноември 2016, Сборник доклади, 56-64. ISSN: 1314-2518.

Кацков, Н, Илиев К (1993) Обяснителна записка към геоложка карта на България, М 1:100000, к.л. Ихтиман. С., „Геология и г еофизика“ АД, 63 с.

Пенчев П, Величков В (2011) Находищата на минерални води в района на София. Българска асоциация по подземни води, 48 с. ISBN: 978-954-92780-1-9.

Янев С, Чунев Д, Цанков Ц, Тронков Д, Сапунов И, Чумаченко П, Хайдутов И, Петров П, Николов Т, Димитрова Р, Маринова Р, Русанов И, Герчева Я (1995) Обяснителна записка към геоложка карта на България, М 1:100000, к. л. София. С., КГМР, „Аверс”, 133 с.

Georgsson LS (2009) Geophysical Methods Used in Geothermal Exploration. In Short Course IV on Exploration for Geothermal Resources. Scientific Workshop, 16.

Kana JD, Djongyang N, Raïdandi D, Nouck PN, Dadjé A (2015) A review of geophysical methods for geothermal exploration. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 44: 87-95. ISSN 1364-0321

Opportunities for Integrated Application of Geophysical Methods in the Exploration of Geothermal Energy Sources in the Kazichene – Ravno Pole Area

Irina Ivanova[1], Zuzana Karakasheva[1]

[1] University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, Department of Applied Geophysics, e-mail: karakasheva11234@abv.bg

Keywords: Sofia Valley, geothermal sources, deep investigations, geophysics, magnetotellurics

Summary
In the Kazichene–Ravno Pole region, part of the Sofia Basin, significant geothermal resources with suitable characteristics for balneology, heating, and other direct uses have been identified. The geological and hydrogeological conditions, including the presence of both deep and shallow aquifers, indicate a high potential for the deposit. For thorough exploration, a comprehensive use of geophysical methods is recommended, and an appropriate geophysical complex has been suggested for this purpose. The combined approach offers a reliable preliminary assessment of the resource and supports planning for drilling and the sustainable future use of geothermal energy in Bulgaria.