

## Приложение Б: Избор на геотермални зони

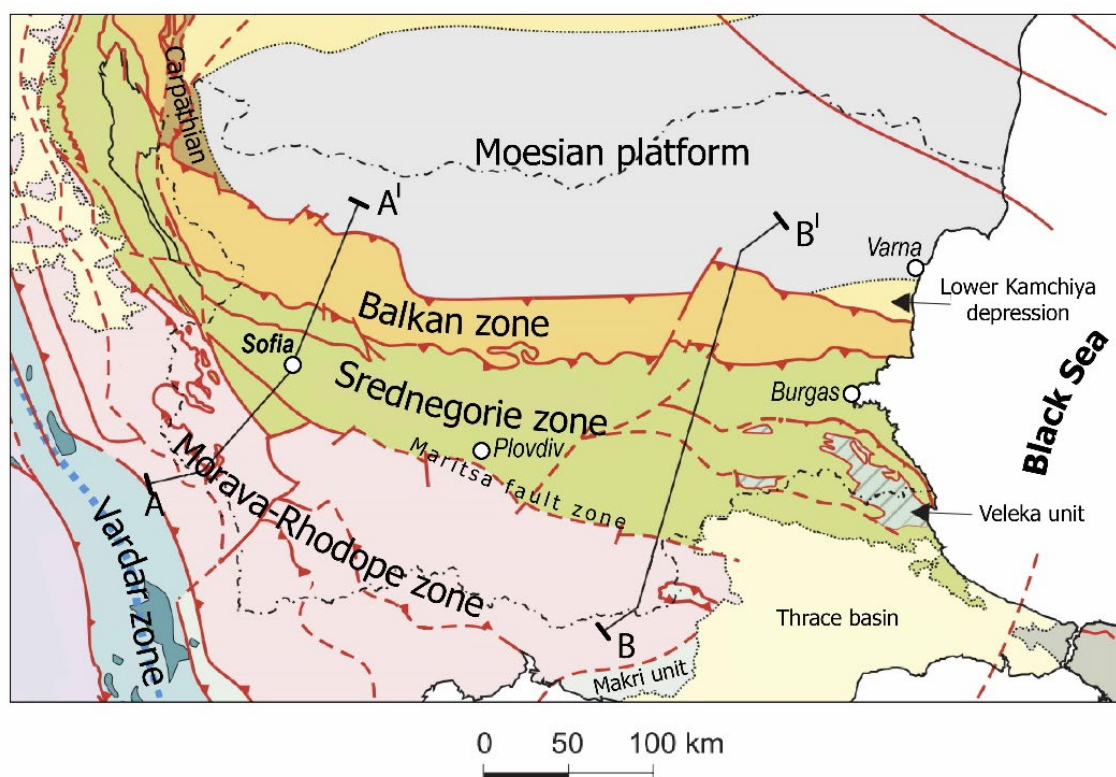
### 1. Геоложка, хидрогеоложка и геотермална рамка на България

#### 1.1. Геология

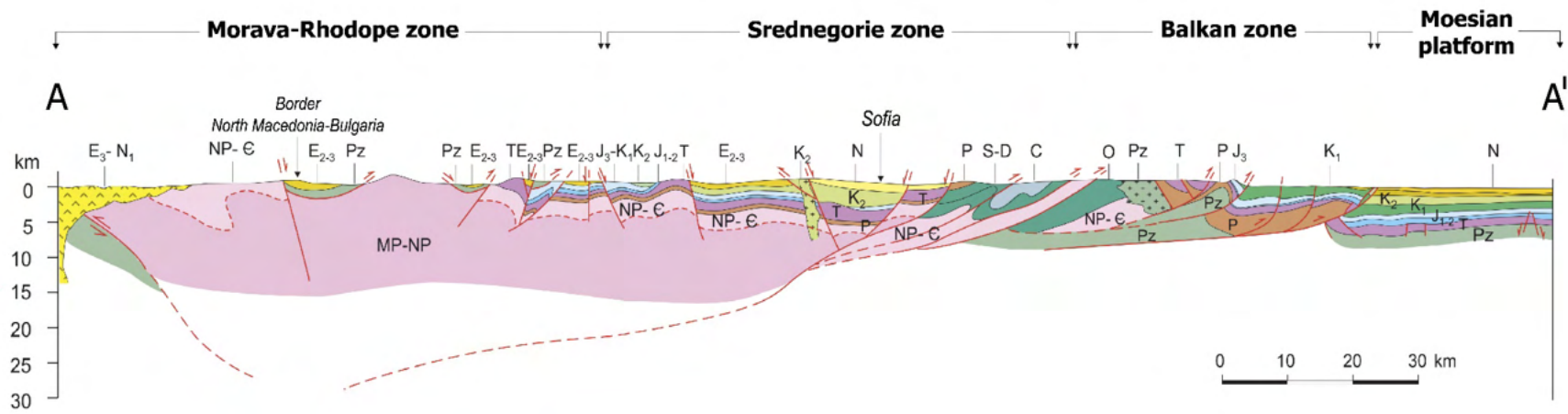
Територията на България обхваща части от две големи геоложки области: северната част на Алпийския орогенен пояс на Балканите и неговата предна част, съставена от Мизийската платформа в Северна България ( Фигура 1).

Алпийският орогенен пояс се състои от преобладаващо северно граничащи навлачни пластове и гънкови структури, образувани чрез множество компресионни събития в Горен Триас, Средна Юра, Средна Креда, Горна Креда и Среден Еоцена, последвани от разширение на кората, колапс на орогена и развитие на Кайнозойски интраорогенни басейни.

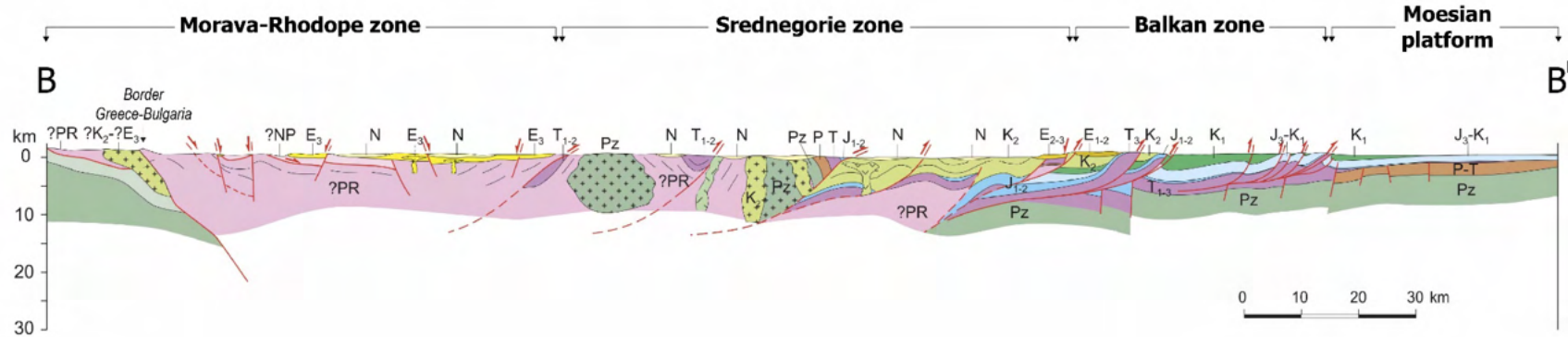
В алпийския пояс на територията на България се разграничават две орогенни системи: Карпатската и Балканската система. Карпатската орогенна система е разположена предимно под дебела покривка от Неогенски и Кватернерни отложения и е слабо разкрита само в най-северозападна част на България (Загорчев и др., 2009). Балканската орогенна система заема голяма част от територия на България между Мизийската платформа и Карпатската орогенна система на север и Вардарската зона на югозапад и юг. Подразделя се на три основни тектонски зони: Балканска, Средногорска и Моравско-Родопска ( Фигура 1).



Фигура 1- Тектонска схема на централната част на Балканския полуостров (от Загорчев и др., 2009). Вж. профили А-А' и В-В' на фигури 2 и 3.



Фигура 2- Профил А-А' през Западна България (от Загорчев и др. 2009)

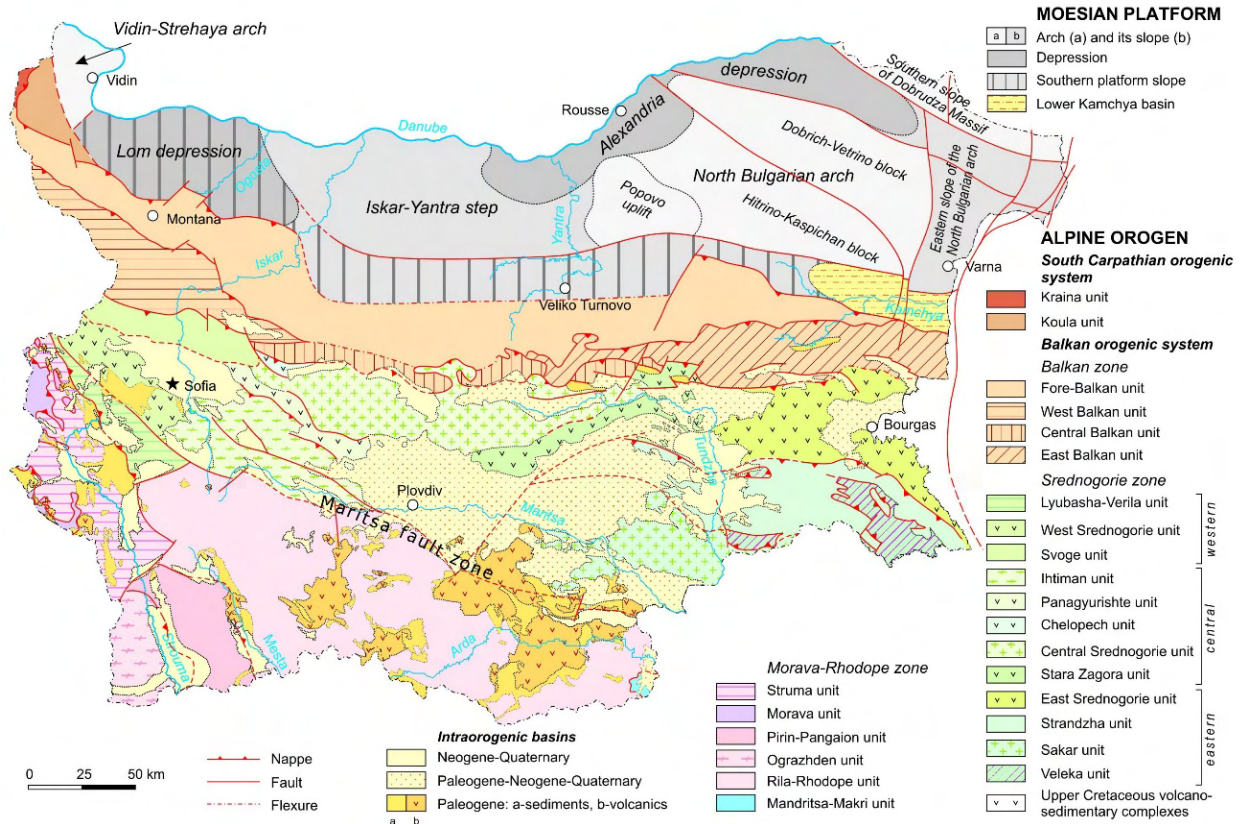


Фигура 3- Профил В-В' през Изт очна България (от Загорчев и др. 2009)

Балканската зона формира външните северни части на Алпийския ороген. Северната ѝ граница представлява сложна система от флексури в северна посока над Мизийската платформа. Южната граница на Балканската зона, зоната на Средногорието, също представлява система от граничеци на север Средно-Еоценски разломи и навлаци, покрити до голяма степен от Кайнозойски отлагания. Според Загорчев и др. (2009), типичните характеристики на Балканската зона са: (1) широко разпространение на Триаски и Юрско-Долнокредни платформени карбонати, преобладаващи от Мизийската платформа; (2) развитие на Горноюрско-Долнокредни и Горнокредно-Палеооценски флишови асоциации; (3) почти пълна липса на Мезозойски магмени образувания; (4) основни и крайни компресионни събития към края на Среден Еоцен, предшествани от Горна Креда, Средна Креда и слаби Триаски деформации.

Средногорската зона заема централната и югоизточната част на България. Нейната северна граница с Балканската зона проследява граничеците на север Средно-Еоценски обратни разломи и навлаци, докато южната ѝ граница е по протежение на Моравско-Родопската зона и се определя от система от разломи, известна като Маришка разломна зона ( Фигури 1, 2, и 3). Тази зона е разделена на три основни сегмента: западен, централен и източен, разграничени от тяхната тектонична еволюция ( Фигура 4). Въпреки тези различия, зоната на Средногорието показва общи геоложки и структурни характеристики, като: (1) основата е представена от Докамбрийски метаморфни скали, локално покрити от Неопротерозойско-Камбрийски диабаз-филитоиден комплекс и Палеозойски метаседименти и метавулкани; (2) широко разпространение на Мезозойски седименти, по-специално Горнокредна вулкано-седиментна последователност; (3) наличие на Палеозойски гранитоидни плутони; (4) големи площи от зоната на Средногорието са покрити с Кайнозойски наслаги.

Моравско-Родопската зона включва няколко тектонски единици, като Струмска, Моравска, Пирин-Пангайон, Огражден, Рило-Родопи и Мандрица-Макри ( Фигура 4). Въпреки че тези единици са с относително независима тектонска еволюция преди Горна Креда, Загорчев и др. (2009) ги обединяват в една основна зона поради следните общи характеристики: (1) широко изложени висококачествени метаморфни фундаментни комплекси, както обикновено се срещат във вътрешните части на орогенните пояси; (2) чести Къснокредни и Терциерни интрузивни формирания; (3) развитие на изолирани Палеогенски басейни, запълнени от континентални и плитски морски седименти и междинни вулканични скали; (4) основни компресионни деформации от Средна Креда, последвани от Горна Креда - Терциерно разширение; (5) удебелена континентална кора (50-52 km) в централните части на зоната, изтъняваща до 34-37 km в направление от югоизток към северозапад.



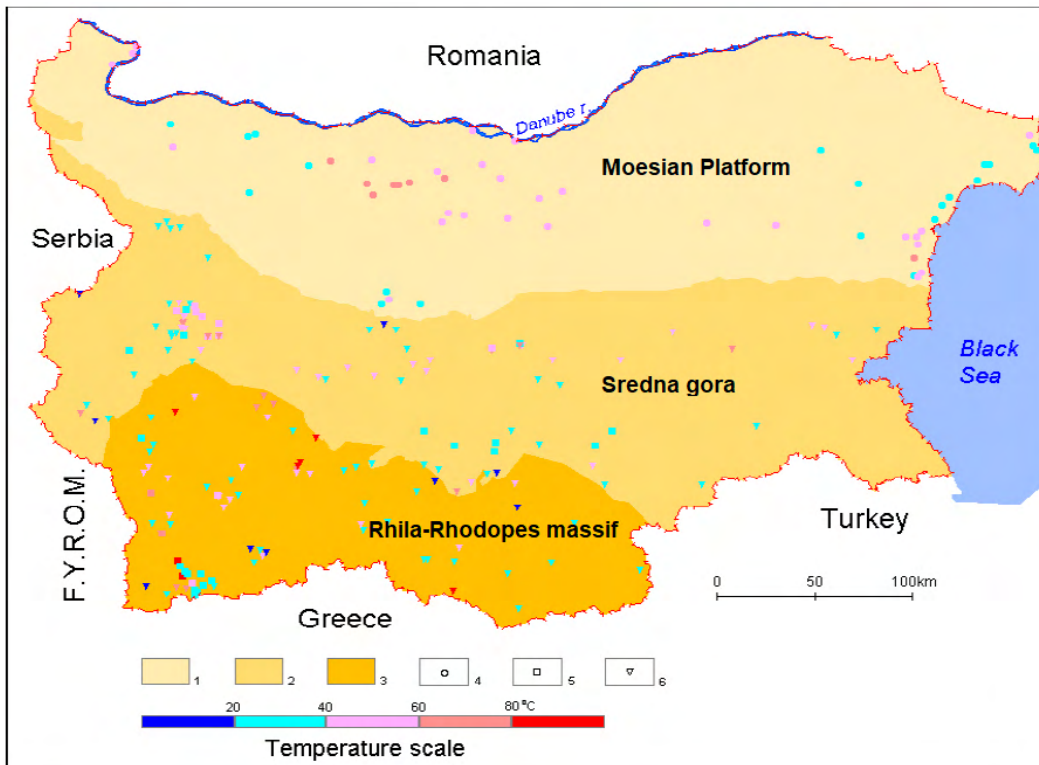
Фигура 4 - Тектонска схема на България, показваща основни тектонски единици и единици от по-нисък ранг (от Загорчев и др. 2009).

Превод на текст на графиката: Intraorogenic basins - Вътрешни орогенни басейни; Neogene-Quaternary - Неоген-Кватернер; Paleogene-Neogene-Quaternary - Палеоген-Неоген-Кватернер; Paleogene: a-sediments, b-volcanics - Палеоген: а-седименти, b-вулканити; Morava-Rhodope zone - Моравско-Родопска зона; Struma unit - Струмска единица; Morava unit - Моравска единица; Pirin-Pangaion unit - Пиринско-Панагайска единица; Ograzhden unit - Огражденска единица; Rila-Rhodope unit - Рило-Родопска единица; Mandritsa-Makri unit - Единица Мандрица-Макри. Alpine orogen - Алпийски ороген; South Carpathian orogenic system - Южнокарпатска орогенна система; Kraina unit - Крайна; Koala unit - Коала; Balkan orogenic system - Балканска орогенна система; Balkan zone - Балканска зона; Fore-Balkan unit - Предбалкан; West Balkan unit - Западен балкан; Central Balkan - Централен балкан; Srednogorie zone - Средногорска зона Lyubasha-Verila unit - Любаша-Верила; Western Srednogotie unit - Западно Средногорие; Svoge unit - Своре; Ihtiman unit - Ихтиман; Panagyurishte unit - Панагюрище; Chelopech unit - Челопеч; Central Srednogorie unit - Централно Средногорие; Stara Zagora unit - Стара Загора; East Srednogorie unit - Източно Средногорие; Strandzha unit - Странджа; Sakar unit - Сакар; Veleka unit - Велека; Upper Cretaceous volcano-sedimentary complexes - Вулкано-седиментни комплекси от Горна Креда.

Мизийската платформа е доминирана от обширни структури от положителни (сводови издигания) и отрицателни (депресии), които са разделени на хорстови и грабенови блокове, както е показано от тектонската схема на Фигура 4. Геоложият разрез на Мизийската платформа на територията на България е представен от леко нагънат Палеозойски фундамент, покрит от субхоризонтален Горен Палеозой, Мезозой и Кайнозой, главно плиткоморски теригенно-карбонатни и карбонатни алтернации с дебелина до 7-8 km (Фигура 2 и Фигура 3).

## 1.2 Хидрогеология и геотермия

България е разделена на три големи зони с различни хидрогеоложки характеристики: Мизийска платформа, Средногорска зона и Рило-Родопски масив (Фигура 5).



Фигура 5 – Основни хидрогеоложки единици на България (от Бояджиева и др., 2010).

Легенда: 1. Мизийска платформа (стратифицирани резервоари); 2. Средна гора, включително Балканската зона (слоести резервоари, пукнатинно-разломни резервоари); 3. Рило-Родопски масив (предимно пукнатинно-разломни резервоари); 4. Основни сондажи и разкриване на пластове (стратифицирани) резервоари в района на Мизийската платформа; 5. Хидротермални води в пукнатинно-разломни резервоари в Южна България; 6. Хидротермални води от стратифицирани резервоари в Южна България.

В рамките на дебелата седиментна покривка на Мизийската платформа, има водоносни пластове с дебелина до 1000 m, изградени от варовикови и доломитови седименти и представляват проводими хидротермални системи с висока проводимост в резултат на разломна напуканост и карстификация. В тези водоносни хоризонти са прокарани стотици дълбоки сондажи за проучване на нефт и газ (някои от тях с дълбочина над 6000 m). На забоя (дъното) на някои сондажи (Видин, Сланотрън, Плевен и др.) температурата на водоносния хоризонт достига над 100°C. Съобщава се обаче, че дълбоките подземни води се характеризират с висока соленост (обща минерализация), което възпрепятства използването им. Повече от 2000 от тези кладенци (проучвателни и експлоатационни) са изведени от експлоатация и са циментирани, за да се избегне смесването на дълбоки солени води (обща минерализация до 150 g/l) с прясни води, съдържаща се в по-плитките водоносни хоризонти (Пенев и Щерев, 2000; Христов и др., 2019).

Сложната геоложка структура на Средногорската зона определя хетерогенния характер на хидрогеоложките условия, при която комбинация от нестратифицирани (разломно-пукнатинни), стратифицирани (субхоризонтално-седиментни) и смесени водоносни системи се намират в напукани масиви от интрузивни и метаморфни скали, вулкано-седиментни отложения от Горна Креда, и пост-орогенни Неоген-Кватернерни грабени, запълнени с теригенни отложения. Термалните

води, срещащи се в тази зона, са изцяло с метеорен произход, с много ниска минерализация (обикновено под 1 g/l), а температурата им варира между 25 и 100°C (Пенев и Щерев, 2000).

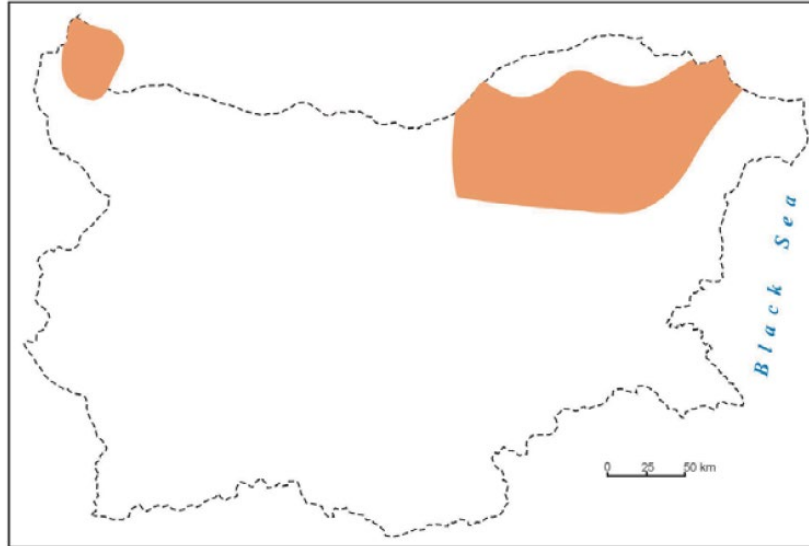
Рило-Родопската зона е изградена основно от Докамбрийски метаморфни и гранитни скали, раздробени от плътна система от сеизмично активни разломи. Появата на термални води в този регион често се свързва с големи разломи, по които метеорните води, които са проникнали и са се затоплили в дълбочина, се движат възходящо и на повърхността образуват естествени геотермални извори. В някои случаи движещата се възходящо термална минерална вода се натрупва в сравнително плитки водоносни хоризонти с неконсолидирани седименти (т.н. вторични резервоари), отложени в падините на грабени. По-редки са случаите, в които карстифицирани варовикови и мраморни седименти стават вторични колектори на термални води. В много от геотермалните находища в Рило-Родопската зона са прокарани сондажи за увеличаване на дебита на термалната минерална вода. Солеността (общата минерализация) на повечето естествени геотермални извори и сондажи е по-ниска от 1 g/l (Христов и др., 2019).

## **2. Геотермални ресурси на Мизийската платформа и Предбалкана**

Атласът на геотермалните ресурси в Европа (Европейска комисия, 2002) описва регионалните хидротермални водоносни хоризонти, разкрити в Мизийската платформа и Предбалканската зона. През последните 20 години са направени много малко допълнителни проучвания и сондажи, поради което Атласът все още е основният източник на информация за геотермалните ресурси в региона на Северна България. Идентифицирани са три основни водоносни хоризонта, както е обобщено по-долу. Те се намират в карбонатни седименти и се характеризират предимно с висока обща минерализация и много ограничено подхранване; следователно те се интерпретират като статични хидрогеотермални системи (Щерев и Загорчев, 1996). Въпреки това има наблюдения, че някои части от по-плитките водоносни хоризонти на брега на Черно море имат незначителен естествен отток и ниска соленост на водата, което е индикация за наличието на локално метеорно (от валежи) подхранване.

### ***2.1 Девон-Карбонов (Живет -Турнейски) водоносен хоризонт***

Това е най-дълбокият и най-малко проучения геотермален резервоар в Мизийската платформа и вероятно се простира върху голямата част от основата на платформата. Фигура 6 показва неговото текущо предполагаемо разпространение, на дълбочини вариращи между 2500 m и 6000 m, формиран в гъста (до 1800 m) последователност от варовици и доломити, вероятно водопропускливи на някои нива, поради вторична доломитизация и карстификация. Това изглежда се потвърждава, поне в локален мащаб, от стари нефтени и газови кладенци, просондирани на брега на р. Дунав, близо до Гомотарци (северозападно от Видин) и близо до Шумен, които са достигнали пропускливи и продуктивни нива в такива седименти. Температурата на водоносния хоризонт варира от 50°C до 150°C в зависимост от дълбочината на пласта.

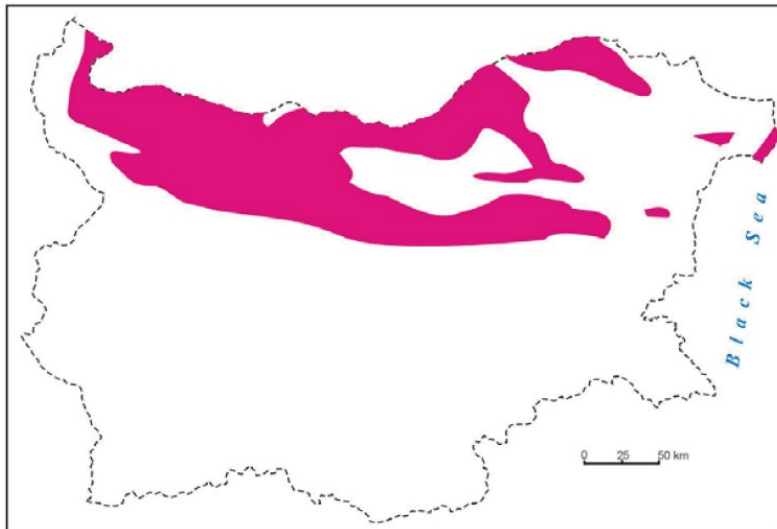


**Фигура 6 — Мест оположение на Средно-Горно Девонски Карбонат ни водоносни хоризонт и в Северна България (Щерев и Георгиев, 2011).**

Информацията, с която разполагаме днес и литостратиграфския състав и структура на девонско-карбоните седименти предполагат, че този водоносен хоризонт съдържа големи обеми геотермални солени подземни води. Щерев и Георгиев (2011) отбелязват че Средно-Горните Девонски водоносни хоризонти, представени на Фигура 6, са с приблизителна възстановима топлинна енергия между 5 и 25 GJ/m<sup>2</sup> и с температура на водата между 50 и 150°C (Европейска комисия, 2002).

## ***2.2 Средно-Къснот риаски (Анизийско-Карнийски) водоносен хоризонт***

Варовиците и доломитите от Анизийска до Карнийска възраст (Дойренциска Формация) образуват потенциален резервоар на термални разсоли с варираща дебелина между 100 и 800 m, разположени на дълбочини между 1500 m и 4000-5000 m. Температурата на водоносния хоризонт варира от 40°C до 140°C в зависимост от дълбочината на пласта. Този карбонатен комплекс е широко разпространен ( Фигура 7) и е добре проучен от гледна точка на площ, литостратиграфия и структурни характеристики; въпреки това, хидрогеоложките и геотермалните му характеристики са по-малко изучени и се нуждаят от допълнително проучване (Европейска комисия, 2002 г.).



*Фигура 7 – Мест оположение на Средно-Горно Триаски карбонат ни водоносни хоризонт и в Северна България (Щерев и Георгиев, 2011).*

Щерев и Георгиев (2011) описват Средно-Горно Триаски водоносни хоризонти, представени на Фигура 7, с оценена възстановима топлинна енергия между 1 и 10 GJ/m<sup>2</sup> с температура на водата между 40 и 140°C.

### ***2.3 Водоносен хоризонт от Горна Юра и Долна Креда (Малмваланжски водоносен хоризонт )***

Малмваланжският водоносен хоризонт е най-добре проученият и значим геотермален резервоар в България. Характеристиките му са документирани подробно в Атласа на геотермалните ресурси в Европа, както и от други автори, включително и в скорошни проучвания, които оценяват геотермалния му потенциал в централния регион на Северна България (Гергинов и др., 2022; Траянова и др. , 2020 г.).

Водоносният хоризонт е разположен на дълбочина между 800 m и 3000 m и се простира на 11 000 km<sup>2</sup> в цяла Северна България, подразделен на две основни зони с отличителни характеристики, съответно дефинирани като Дунавска и Черноморска зона.

#### **Малмваланжски водоносен хоризонт – Дунавска зона**

Тази част от малмваланжския водоносен хоризонт се състои от три зони в западната част на Мизийската платформа и зоната на Предбалкана, съответно Видин, Враца и Плевен (вж. Фигура 8 и Фигура 9), които съдържат геотермални резервоари с температури, вариращи между 40°C и 90-100°C. Разпространението и характеристиките на геотермалния резервоар в тези три области са проучени до различна степен.

Характеристиките на малмваланжския водоносен хоризонт в района на Видин и Враца са слабо проучени, поради което разпространението и характеристиките, представени на Фигури 8 и 9, са ориентировачни и се основават главно на предположения.

Горната част на геотермалния водоносен хоризонт в района на Видин прогресивно се задълбочава от 300 m дълбочина в северната му част до 1300 m в южната му част и е с дебелина около 900 m. Пиезометричното ниво е между 5 m и 15 m (над земната повърхност) по брега на река Дунав, максималната температура на резервоара се очаква да бъде около 60°C, като общата минерализация на подземните води е доста висока със стойности до 50-60 g/l. По предварителна оценка, геотермалните ресурси в тази област са оценени на  $5,9 \times 10^{18}$  J (Европейска комисия, 2002 г.).

В района на Враца геотермалният водоносен хоризонт е разположен на значителна дълбочина от 1000-2100 m, задълбочава в направление югоизток и е с дебелина около 1000 m. Температурата варира от 50 °C до 90 °C, като тя е по-висока в източната му част, където геотермалният резервоар е по-дълбок. Другите характеристики на водоносния хоризонт са слабо проучени, както и не е ясно разпространението му в източна посока ( Фигура 8). Геотермалните ресурси са предварително оценени на  $4.7 \times 10^{18}$  J (Европейска комисия, 2002).

Районът на Плевен геотермалният водоносен хоризонт има по-голямо разпространение и е отчетен от Европейската комисия (2002 г.) като най-важния район за развитие на геотермалните ресурси в България. Геотермалният водоносен хоризонт е разположен на дълбочина 600-2400 m, като общата му дебелина варира между 600 и 800 m в северната и централни части и нараства до 1000-1200 m по западната и южната граница на района. Температурата и общата минерализация на геотермалните подземни води също нарастват в направление от североизток към югозапад, в съответствие с дълбочината и дебелината на водоносния хоризонт, от 30°C до 90°C и 1 g/l до 20-25 g/l. Изглежда, че има известно подхранване с прясна вода (метеорна) в по-плитката североизточна част на този водоносен хоризонт. Пиезометричното ниво достига и дори надвишава земната повърхност (нивото на терена) в зоните по поречието на река Дунав, като в южната част на района на Плевен, разположена по-високо, то се намира на 50 m до 200 m под нивото на терена (Европейска комисия, 2002 г.). Многото тестове и сондажи в района на Плевен показват значителен потенциал на малмвалжанския водоносен хоризонт, особено формациите до Дриново (доломити и доломитни варовици с дебелина до 600 m), които са особено водопропускливи. Според предварителните оценки, на Европейската комисия (2002 г.), дублет от кладенци<sup>1</sup> в района на Плевен може да произведе между 40 l/s и 190 l/s термална минерална вода и 10 до 30 MWth топлинна енергия. Геотермалните ресурси в региона са оценени на  $59 \times 10^{18}$  J. Геотермалният потенциал на района около Плевен е оценен от Петров и др. (1998) като се разграничава ресурса, който може да бъде извлечен от конвенционални кладенци (включително наличен и потенциален топлинен капацитет), и този, който може да бъде експлоатиран от дублети от кладенци<sup>2</sup>, отчитайки приблизителен потенциал от 1052 MWth, от които 792 MWth съответстват на дублети от кладенци, приемайки крайна температура на водата от 15°C. Същите данни впоследствие са валидирани и отчетени от COWI (2005 г.).

---

<sup>1</sup> Дублетът е двойка кладенци, едно извличане и едно инжектиране, използвани за извличане на геотермална енергия от подповърхностния хоризонт

<sup>2</sup> Броят на дублетите са оценени на база 1000 m разстояние между кладенците и дублетна дренажна площ от 25 km<sup>2</sup>

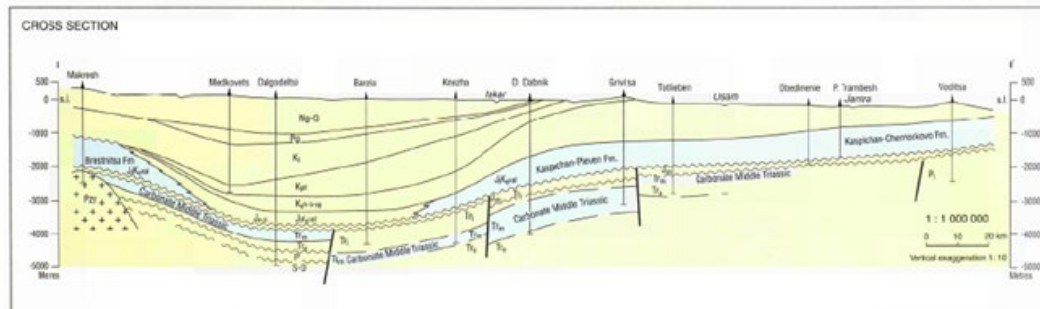
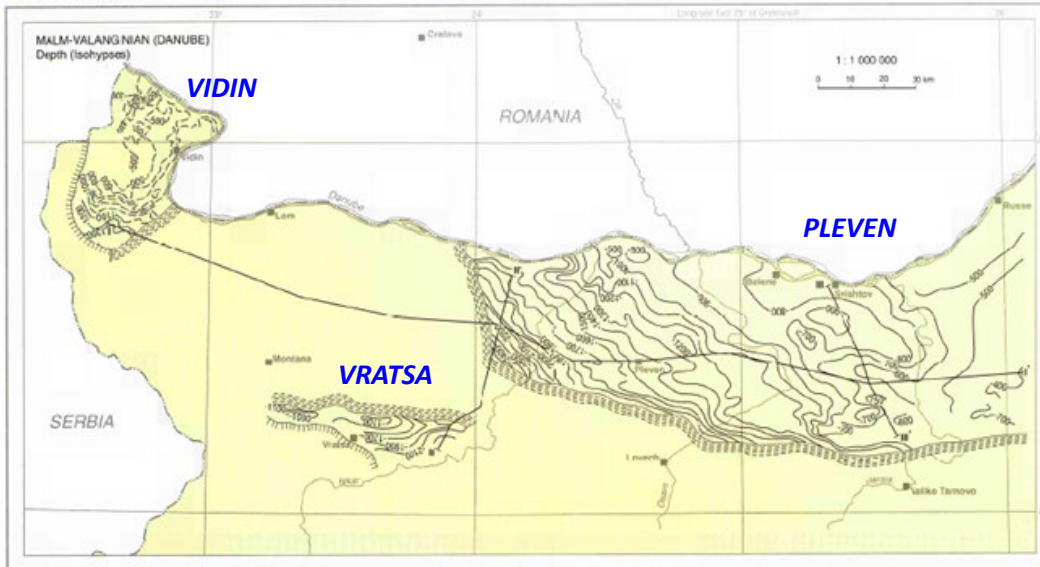
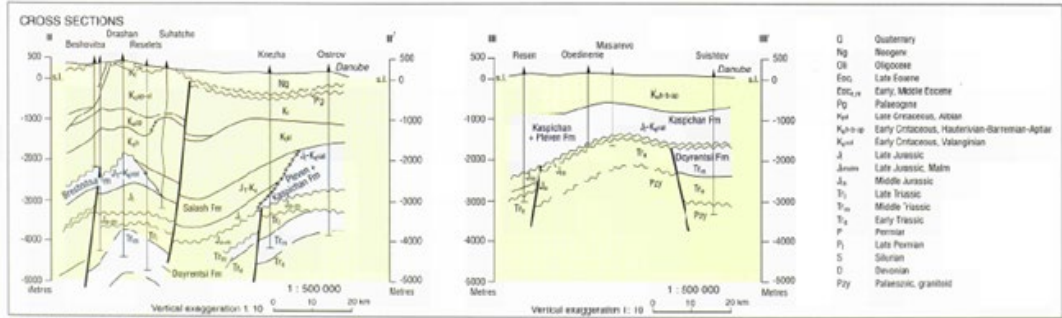
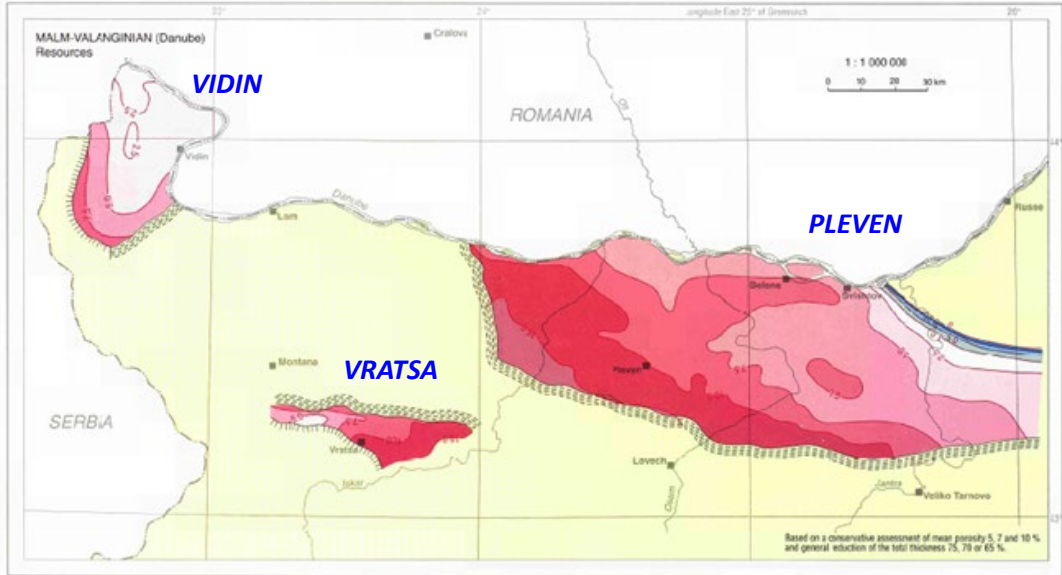
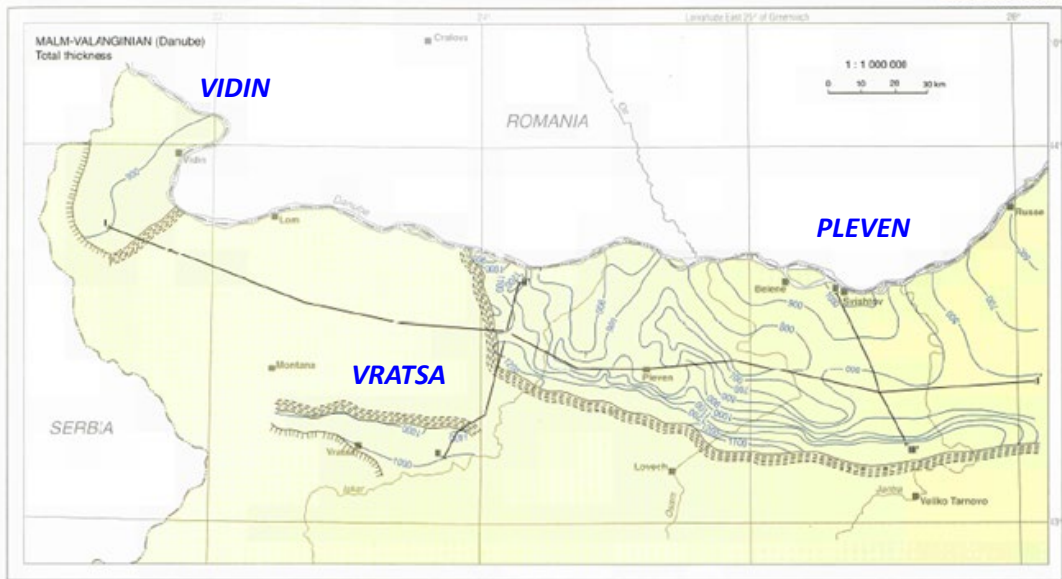


PLATE 11



Фигура 8 - Малм-валанжински водоносен хоризонт, Дунавска зона. Карт и на дълбочината до горната част на резервоара, температурата, общата минерализация на водата и напречното сечение посока изток-запад (от Европейската комисия, 2002 г.; модифицирано).





Фигура 9 - Малм-валанжски водоносен хоризонт , Дунавска зона. Карт и на общат а дебелина на резервоара, геот ермалнит е ресурси и северно-южнит е профили (от Европейскат а комисия, 2002 г.; модифицирани).

Неотдавнашна, по-подробна оценка на потенциала на геотермалните ресурси на малмваланжския водоносния хоризонт в района на Плевен е публикувана от Гергинов и др. (2022). Това изследване обхваща района между река Искър на запад и река Янтра на изток, обхващащо градовете Свищов, Плевен и Ловеч, и се основава на анализ на данни от около 250 дълбоки сондажи за нефт и проучвания за газ ( Фигура 10).



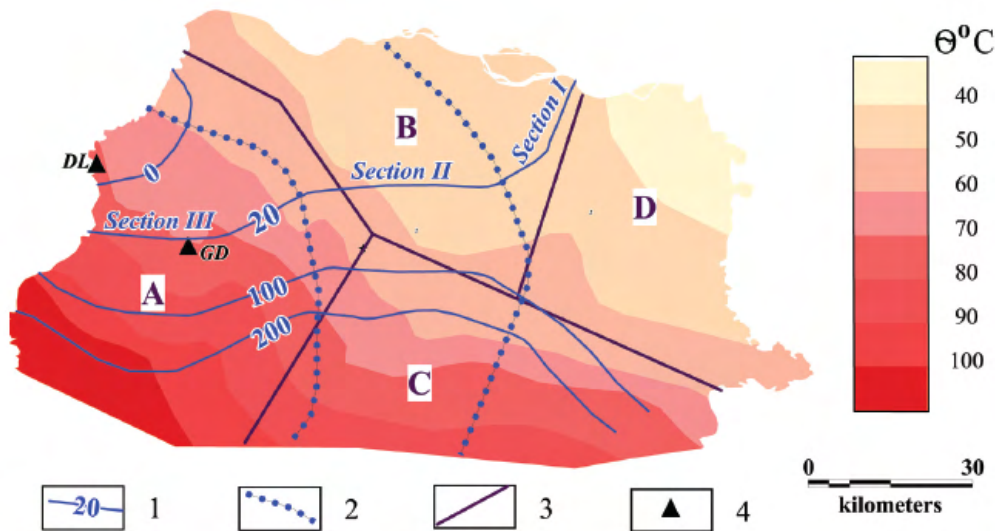
Фигура 10 - Карт а на малмваланжския водоносен хоризонт , по оценка на Гергинов и др. (от Гергинов и др., 2022)

Гергинов и др. (2022) оценяват извлекаемите топлинни запаси в изследвания район чрез прилагане на метода на дублетните кладенци, разработен от Геологическия институт към Българската академия на науките с цел да се оценят топлинните запаси в България (Петров и др., 1998). В сравнение с по-горе споменатата оценка, изготвена за Атласа на геотермалните ресурси в Европа (Европейска комисия, 2002 г.), тази подобрена оценка взема предвид измерените хидродинамични свойства на водоносния хоризонт, с цел да се оценят действителните дебити на кладенеца, които могат да бъдат получени в условия на реална експлоатация. Основните параметри и резултати, представени от Гергинов и др. (2022) са обобщени по-долу.

- Разпределението на температурата в горната част на водоносния хоризонт и екипотенциалните линии са показани на Фигура 11, където изследваната област е разделена на 4 блока (А, В, С и D) с относително еднакви свойства. Таблица 1 представя

средните стойности на температурата, проводимост на пласта , хидравличния градиент и термалните водни ресурси, оценени в 3 секции, показани на Фигура 11 (I, II и III). Стойностите за проводимост на пласта, представени в Таблица 1, са сред малкото данни от този тип, налични в прегледаната литература.

- Както вече беше посочено от Европейската комисия (2002), основният малмваланжски водоносен хоризонт се намира в карбонатни седименти (варовици и доломити), характеризиращи се с висока проводимост на пласта , произтичаща от палеокарстови процеси, настъпили по време на седиментационна пауза след Валанжинската епоха. Въпреки това Гергинов и др. (2022) отчитат намаляване на проводимостта на пласта с дълбочината, така че ресурсът на водоносния хоризонт е по-нисък в най-дълбоките му части, които са с по-висока температура.
- Нивото на подземните води е предимно под повърхността на земята (което изисква изпомпване през кладенец), с изключение на североизточната зона близо до река Дунав, където е близо до нивото на земята (вижте Фигура 11).



Sections and blocks for evaluating the heat potential of the Upper Jurassic–Lower Cretaceous aquifer: 1, equipotential lines; 2, section boundary; 3, block boundary; 4, geothermal power plant (GD – Gorni Dabnik, DL – Dolni Lukovit).

Фигура 11 - Карт а на т емпер урат а в горнат а част на малмваланжския водоносния хоризонт и карт а на еквипот енциалнит е линии (еквивалент ен общ напор на пресна вода) (от Герфинов и др., 2022).

Забележка: ГД-Горни Дъбник да се чет е ДД-Долни Дъбник.

Превод на текста на таблицата: Участъци и блокове за оценка на топлинния потенциал на водоносния хоризонт от Горна Юра и Долна Креда: 1. еквипотенциални линии; 2. граници на участъка; 3. граници на блока; 4. Геотермална елестростанция (ГД Горни Дъбник, ДЛ Долни Луковит)

Таблица 1- Малмваланжски водоносен хоризонт . Средни ст ойност и на т емперат ура, проводимост на пласт а, хидравличен градиент и възобновяеми водни ресурси (Q) по участ ъци (от Гергинов и др., 2022). Вижт е мест оположеният а на Фигура 11.

Section	Temperature °C	Transmissivity m <sup>2</sup> /d	Hydraulic gradient –	Renewable resources L/s
I	50	1500	0.0003	110
II	55	140	0.003	530
III	65	40	0.4	740
			Σ Q	1380

Превод на текста на таблицата: Section - Участък; Temperature-Температура; Transmissivity- Проводимост на пласта; Hydraulic gradient -Хидравличен градиент; Renewable resources-Възобновяеми ресурси.

- Таблица 2 изброява за всеки от 4-те блока, посочени на Фигура 11, очакваната средна температура на водоносния хоризонт, дебелина, добив от сондажен дублет и общ добив. Постоянно дублетно разстояние от 1 km е използвано от Гергинов и др. (2022), с понижение на нивото на водата в експлоатационните кладенци в диапазона от 5 до 30 m..

**Таблица 2 - Малмваланжски водоносен хоризонт . Средни стойности и на температура и дебелина на водоносния хоризонт ; изчислен индивидуален и общ добив от дублет и на сондажи по блокове (от Гергинов и др., 2022). Вижте местоположенията на Фигура 11.**

Block	Temperature °C	Thickness m	Individual yield L/s	Total yield L/s
A	65	900	7	6300
B	50	700	20	25 000
C	70	1100	10	8000
D	45	800	30	22 500

Забележка: Общият брой на дублетите е 3700, съответствието е 900, 1250, 800 и 750 за отделните блокове А, В, С и D (вижте местоположенията на Графика 11).

Превод на текста на таблицата: Block- Блок; Temperature-Температура; Thickness-Дебелина; Individual yield-Индивидуален добив; Total yield-Общ добив

- Таблица 3 представя извлечената топлинна енергия, изчислена за 4-те блока (А, В, С и D), посочени във Фигура 11. За справка, еквивалентното избегнато потребление на изкопаеми горива при цени на суровия петрол през 2021 г., също са включени в Таблицата. Огромно количество топлинна енергия, която може да бъде извлечена, и съответните годишни разходи за петрол, които могат да бъдат избегнати, са в основата на подхода на оценката изготвена от Гергинов и др., (2022), което предполага обхващане на целите блокове в редовна мрежа от производствени и повторно инжекционни кладенци, възпроизвеждащи 5-точков модел на кладенците.

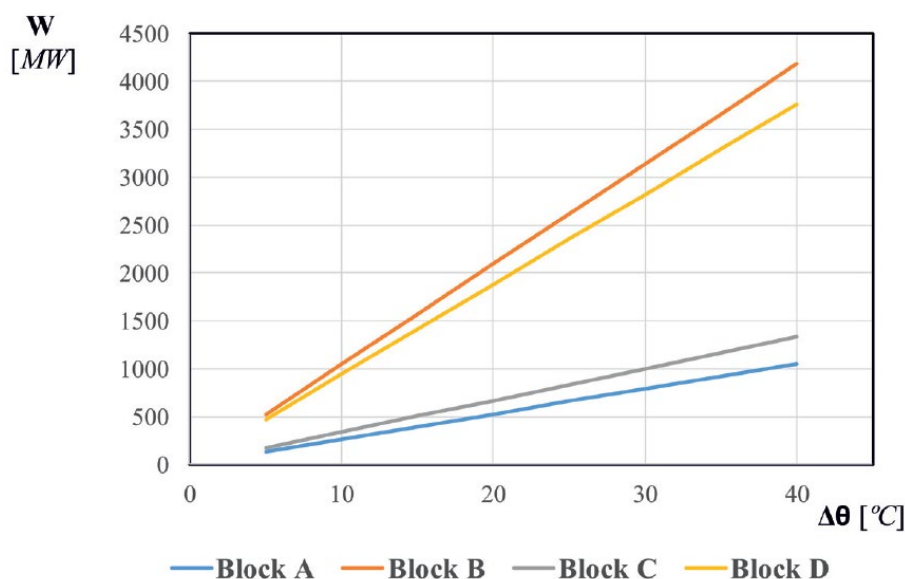
**Таблица 3 – Малмваланжски водоносен хоризонт . Извлекаема топлинна енергия (за година) по блокове при спад на температурата до 15°C (от Гергинов и др., 2022). Вижте местоположенията на Фигура 11**

Section	Thermal energy TJ	Equivalent fuel t	Price* USD
A	41 543	992 427	70 462 317
B	115 399	2 756 785	195 731 735
C	58 029	1 386 264	98 424 744
D	89 022	2 126 660	150 992 860
Total	303 993	7 262 136	515 611 656

\* At 71\$/t average crude oil price in 2021

Превод на текста на таблицата: Section- Участък; Thermal energy – Топлинна мощ; Equivalent fuel-Еквивалентно гориво; Price-Цена

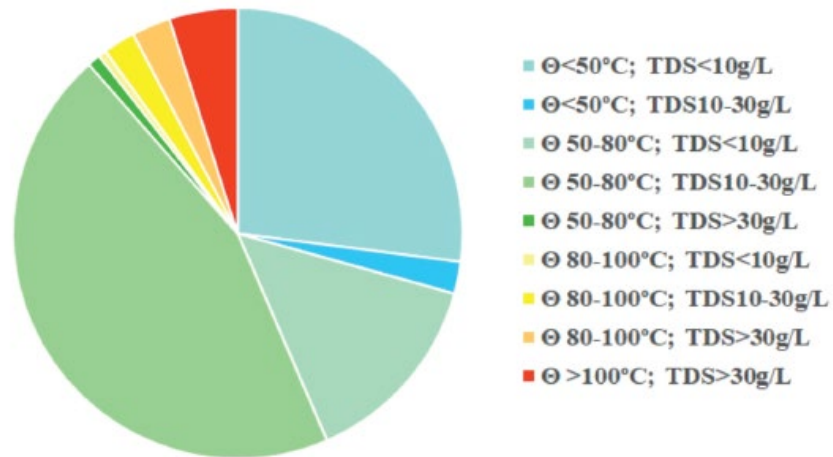
Топлинната мощност от 4-те блока като функция от температурния спад е показана на Фигура 12. Най-високата топлинна мощност се получава от блокове В и D поради по-високия дебит на дублета, оценен за тези блокове (вж. Таблица 2).



Фигура 12– Извлекаема топлинна мощност от 4-те блока А до D като функция на температурния спад (Гергинов и др., 2022).

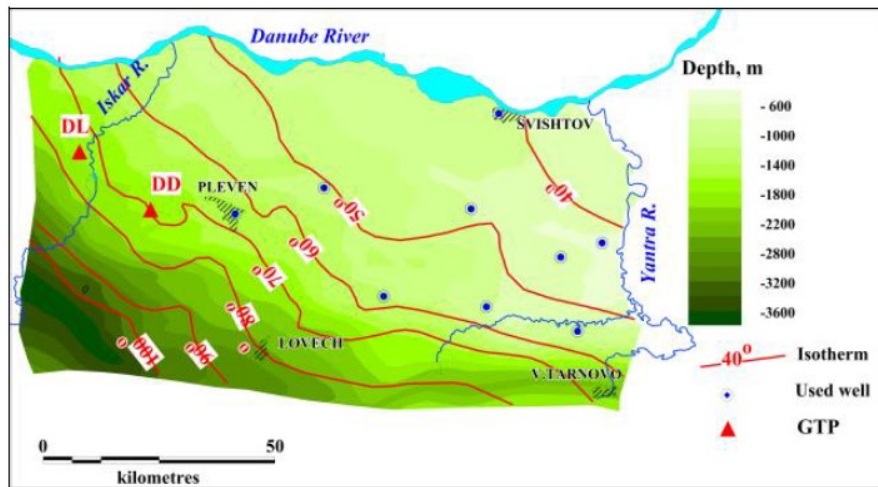
Стойностите на топлинната мощност, оценени от Гергинов и др. (2022 г.), представени на Фигура 12, не може да се сравни директно с оценката от 792 MWth на Петров и др. (1998), изготвена преди това за района на Плевен, поради различни допускания в изчисленията. Докато предполагаемото разстояние между кладенеците е еднакво и в двете проучвания ( $D = 1000 \text{ m}$ ), при Петров и др. (1998) изчисленията на извлечената енергия се отнасят за крайна температура от  $15^{\circ}\text{C}$ , с двойна дренажна площ от  $25 \text{ km}^2$ . Гергинов и др. (2022) не уточняват площта на дублетния дренаж в своята публикация, но като се има предвид броят на дублетните кладенци и повърхността на различните блокове, обект на тяхното изследване (вж. Фигура 11 и Таблица 2), се предполага средна площ на дублетния дренаж от  $3 \text{ km}^2$ . Ако приемем представения на Фигура 12 спад на температурата от  $20^{\circ}\text{C}$ , топлинната мощност за 4-те блока, изследвани от Гергинов и др. (2022), е около  $5180 \text{ MWth}$ . Като се има предвид разликата в дублетната дренажна площ, използвана от Гергинов и др. (2022) спрямо Петров и др. (1998) (т.е.  $3 \text{ km}^2$  срещу  $25 \text{ km}^2$ ), съответната топлинна мощност, изчислена от Гергинов и др. (2022) е около  $622 \text{ MWth}$ , малко по-малко от 80% от оценката на Петров и др. (1998), но е все още в същия порядък, което се счита за разумна оценка за топлоенергийния потенциал на района на Плевен.

Гергинов и др. (2022) също оценяват химичните характеристики на запасите от термални минерални води на малмваланжинския водоносен хоризонт в района на Плевен. Фигура 13 показва разбивката на запасите от термална вода, като се има предвид температурата и минерализацията на водата (TDS). Повечето от запасите принадлежат към 3 основни класа, а именно  $T < 50^{\circ}\text{C}$  и  $\text{TDS} < 10 \text{ g/L}$ ,  $T = 50\text{-}80^{\circ}\text{C}$  и  $\text{TDS} < 10 \text{ g/L}$  и  $T = 50\text{-}80^{\circ}\text{C}$  и  $\text{TDS} = 10\text{-}30 \text{ g/L}$  (Фигура 13). Това показва, че значителна част от запасите от термална вода са разсоли с обща минерализация над  $10 \text{ g/L}$ , чието използване в топлинни процеси трябва да бъде разгледано на база оценка на техния мащабен и корозионен потенциал.

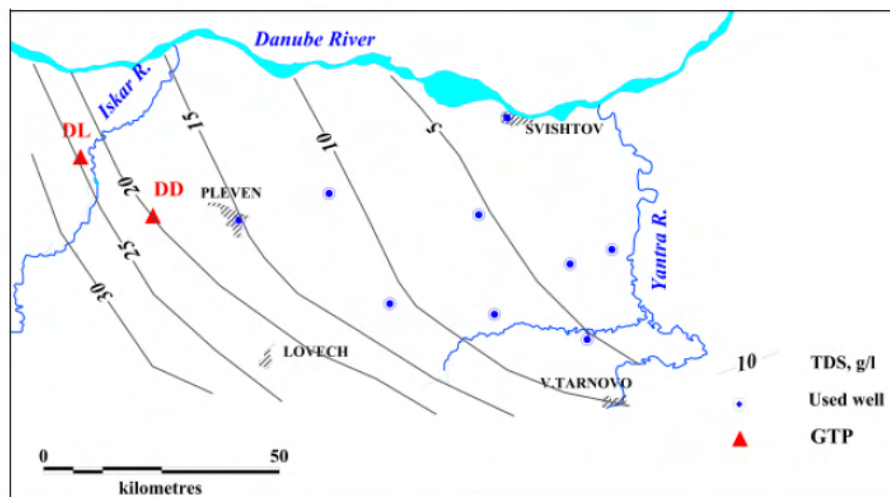


*Фигура 13- Разбивка (в %) на запасите на базата температура на подземната вода и общите разтворени твърди вещества (TDS) в малмвананжския водоносен хоризонт (Гергинов и др., 2022).*

Допълнителни данни за малмваланжския водоносен хоризонт в района на Плевен предоставят Траянова и др. (2020), които публикуват карта на разпределението на температурата и дълбочината до повърхността на водоносния хоризонт (Фигура 14) и разпределението на общата минерализация (TDS) в горната част на водоносния хоризонт (Фигура 15).



Фигура 14 - Карта на температурите и дълбочината на горната част на малмваланжинския водоносен хоризонт с местоположенията на сондажи, използвани в миналото и геотермални инсталации (GTP: DD = Долни Дъбник, DL = Долни Луковит) (Траянова и др., 2020 г.)



Фигура 15 - Карта на разпределението на общата минерализация (TDS) на малмваланжинския водоносен хоризонт и местоположенията на сондажи, използвани в миналото и на геотермални центри (GTP: DD = Долни Дъбник, DL = Долни Луковит) (Траянова и др., 2020 г.)

### Малмваланжски водоносен хоризонт- Черноморска (Варненска) зона

Черноморската част на малмваланжския водоносен хоризонт е разположена около Варна, по черноморското крайбрежие и на югозападния склон на Северобългарското сводово издигане (вж. Фигура 4). Това е част от артезиански басейн, съдържащ динамичен водоносен хоризонт с вода с ниска обща минерализация от метеорен произход и с температури на водата, вариращи между 25°C и 65°C. Коефициентът на водопроводимост на водоносния хоризонт се увеличава в направление от север на юг от 0,02 до 0,14 m<sup>2</sup>/s. Азотът е преобладаващият разтворен газ, с изключение на района на Северното Черноморие, където водите съдържат разтворен метан. Общият естествен отток в термалната и крайбрежната част на басейна е оценен на 3,45 m<sup>3</sup>/s, като 1,2 m<sup>3</sup>/s е уловен в сондажни кладенци на дълбочина 800- 1800 m ( Фигури 16 и 17) (Европейска комисия, 2002 г. ).

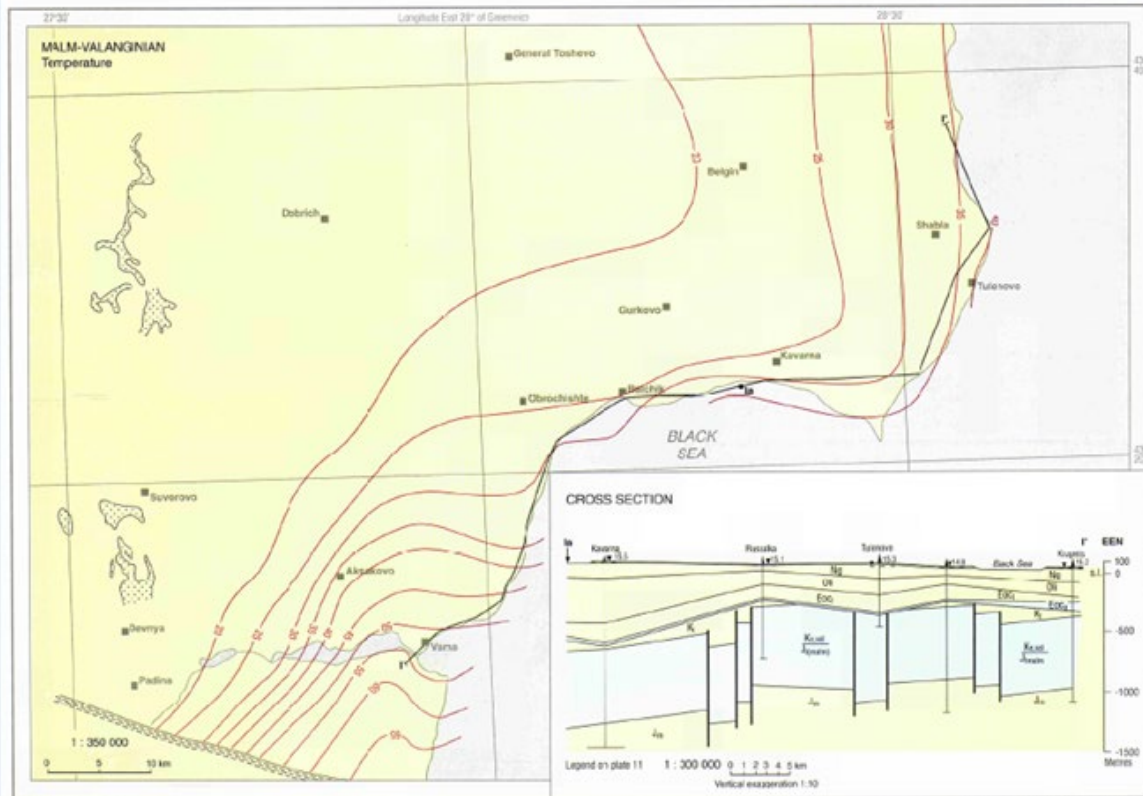
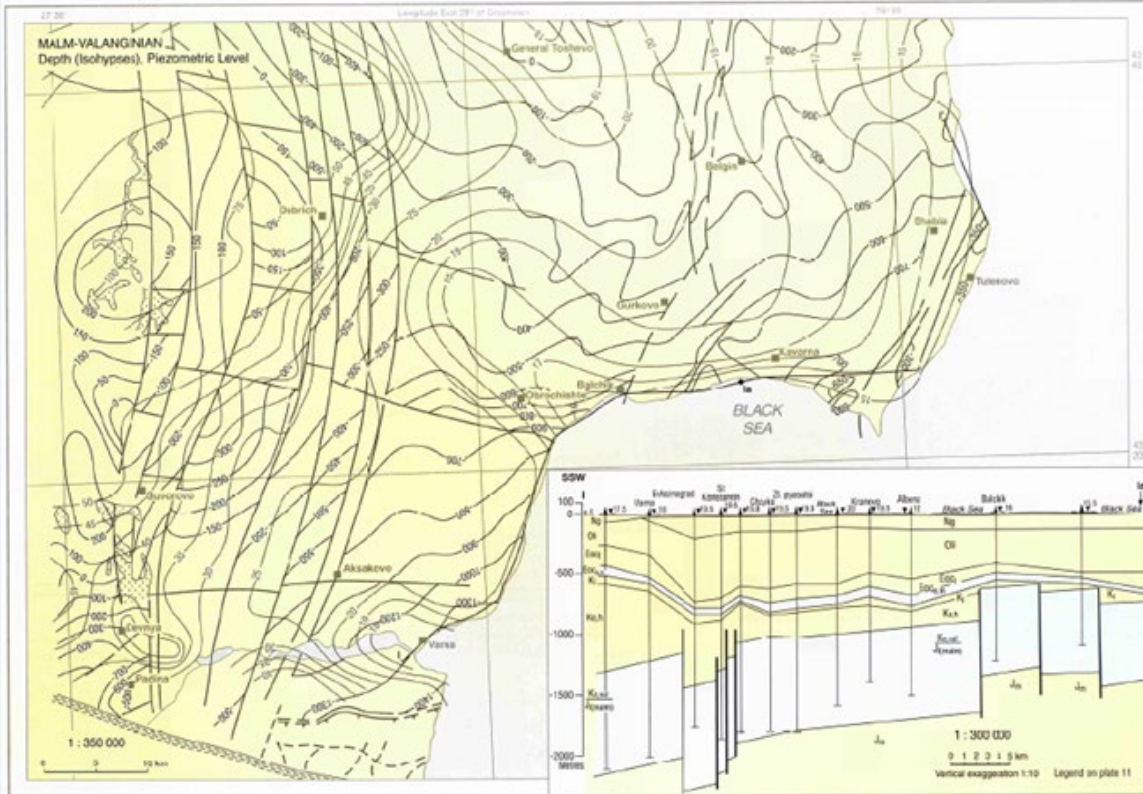


PLATE 12





**Фигура 17- Малмваланжски (Черноморски) водоносен хоризонт . Карт и на общат а дебелина на резервоара, геот ермалнит е ресурси и напречнит е профили от изт ок-запад, разположени близо до Варна (Европейска комисия, 2002).**

Въпреки значителната дълбочина на резервоара (> 800-1000 m), температурата на водоносния хоризонт не надвишава 65°C. Най-горещата му част (50-65°C) обхваща Варна и района непосредствено на юг от града. Съобщава се, че това се дължи на конвективно охлаждане и пренасяне на топлина към естествени зони на заустване в Черно море. Следователно, оценката на геотермалните ресурси, отчетена в Атласа на геотермалните ресурси в Европа за тази зона на малмваланжския водоносния хоризонт е ограничена до приблизително до  $2.9 \times 10^{18} \text{J}$  (Европейска комисия, 2002).

В допълнение към оценката на геотермалните ресурси чрез дублетния модел за извличане на топлина, Атласът на геотермалните ресурси в Европа също така дава оценка на извличаната топлинна енергия, използвайки естествения регионален дебит. Тази оценка е направена, като се приема, че естественият поток на водоносния хоризонт се дренира от кладенци, разположени по крайбрежната част на Черно море, където се предполагат най-високите температури (район около Варна – вж. Фигура 16) (Европейска комисия, 2002 г.). Получената оценка на топлинния потенциал е 289 MWth. Подобни резултати (217 MWth) са представени по-рано и от Петров и др. (1998) и впоследствие са валидирани и отчетени от COWI (2005).

### 3. Геотермални ресурси на Централна и Южна България

Както беше споменато по-горе (Раздел 1.2), геотермалните ресурси в Централна и Южна България са с геоложки и хидрогеоложки условия, които са различни от тези в Северна България, където обширни седиментни образувания съдържат големи, предимно субхоризонтални геотермални водоносни хоризонти. Вместо това геотермалните системи в Централна и Южна България са локализираны, по протежение на големи разломни зони и свързаните с тях тектонски депресии, запълнени от по-млади теригенни седименти. Това са динамични (с активен водообмен) хидротермални системи с дълбока конвективна циркулация на метеорни води по разломни/напукани скали и карстифицирани варовикови и мраморни образувания. Възходящи потоци от геотермални води, затоплени в дълбочина и ограничени в рамките на разломи достигат повърхността и образуват горещи извори или относително плитки водоносни хоризонти в съседните падини на грабена.

Геотермалните системи в Централна и Южна България обикновено показват следните характеристики:

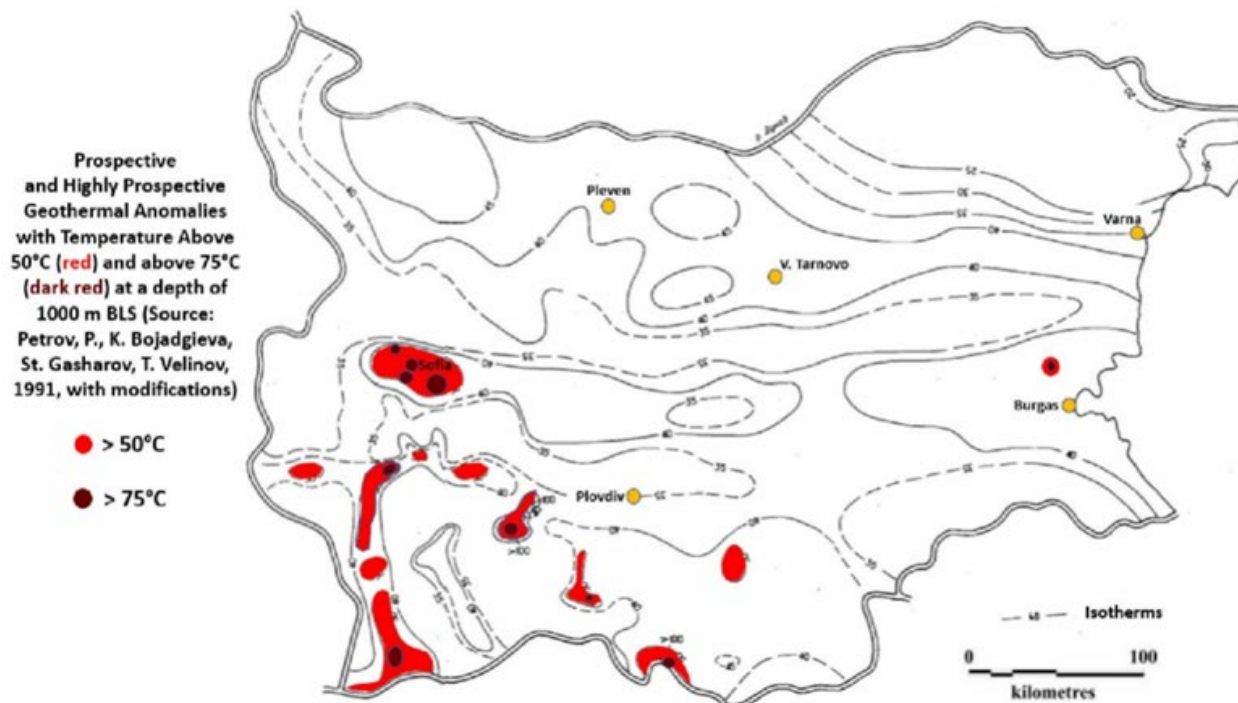
- Геоложката среда е съставена предимно от магмени (стари вулкани и интрузиви) и метаморфни скали, характеризиращи се с резки вертикални вариации, които са склонни да ограничават разпределението на вторичната пропускливост и предотвратяват до голяма степен страничната екстраполация на наличната информация.

- Основните цели на проучването разчитат на идентифицирането на благоприятна структурна обстановка (т.е. пресичане на разломи, разширени тектонични характеристики и т.н.), които могат да създадат адекватна пропускливост чрез фрактуриране (вторична пропускливост).
- Въпреки че има сондажи в някои геотермални зони в Южна България, те са сравнително плитки и предоставят ограничени данни за подземните ресурси недостатъчни за изготвяне на комплексни оценки на топлинните и хидравличните условия на потенциални и перспективи геотермални ресурси.

Като се има предвид тази ситуация, критериите, използвани в настоящия доклад за идентифициране и характеризирание на геотермалните зони в Централна и Южна България, се основават най-вече на идентифицирането на обещаващи структурни характеристики, повърхностни доказателства за хидротермална активност (горещи извори) и геотермални данни от плитки кладенци разпръснати в района, често в близост до повърхностни термални прояви, сондирани с цел да се увеличи дебита на термална минерална вода. Тази информация е събрана от литературни източници, проверени за надеждност.

Основните източници на информация, използвани за тази оценка, са проучванията, проведени от Петров и др. (1998) за хидрогеоложките ресурси в България, каталога на геотермалните данни от Бояджиева и Гашаров (2001), Атласа на геотермалните ресурси в Европа, публикуван от Европейската комисия (2002), както и изготвените доклади за геотермалните зони в Централна и Южна България от проекта на Министерството на енергетиката за устойчиво използване на геотермалните ресурси в България (COWI, 2005). Последните документи включват данни за геотермалните ресурси, със списък на приоритетните области, списък на наличните кладенци и дебита на кладенците, както и подробни казуси за проекти за развитие в различни геотермални обекти.

Фигура 18 илюстрира разпределението на геотермални аномални зони на база температурна карта на дълбочина 1000 m. Следва да се отбележи, че основните геотермални аномалии се намират в Югозападния регион на България, в Моравско-Родопската тектонска зона (вж. Фигура 4).



Фигура 18- Идентифициране на макро-зони, предствляващи геотермален потенциал в Централна и Южна България (модифицирано от Христов, 2023, модифицирано от Петров и др., 1991).

Превод на текста на графиката: Обещаващи и много обещаващи геотермални аномалии с температури над 50°C (в червено) и над 75°C (тъмочервено) на дълбочина 1000 м (източник: Петров, Бояджиева, Гашаров, Велинов 1991, с модификации)

Петров и др. (1998) представят количествена (или полу-количествена) оценка на капацитета на извлекаемия ресурс за известните геотермални зони в Южна България (район Рила-Родопи, вж. Таблица 5). Тези данни бяха последователно прегледани и валидирани от COWI (2005). След 2005 г. не са извършвани допълнителни оценки и актуализации.

Петров и др. (1998) изчисляват топлинната мощност ( $P$ ) за всяка геотермална зона, като разглежда два случая, единият с охлаждане на термалната вода до 40°C, а другият до 15°C, отчитайки съответната топлинна енергия ( $Q_0$ ), извлечена за една година и еквивалентната избегната консумация на гориво (ако приемем, че се използва петрол) (Таблица 5). Топлинната мощност е оценена на база известния дебит и температура на термалната вода, дренирана от извори и съществуващи сондажи. Това се отчита от Петров и др. (1998) като „налични“ или „оперативни“ ресурси, които следва да се приемат като минималните стойности на действителния топлинен потенциал. Авторите считат наличната информация за неподходяща за определяне на разширението и граничните условия на геотермалните резервоари, което да позволи оценка на общите ресурси на термална минерална вода. Вероятно, по-големи ресурси биха били налични след просондиране на повече и по-дълбоки кладенци.

Таблица 2 –Налични геотермални ресурси в Рило-Родопския масив (от Пет ров и др., 1998).

Hydrothermal areas	Total flow rate	Water temperature	Thermal power and Thermal Energy produced in 1 year				Equivalent fuel	
			P		Q <sub>d</sub>		θ'40°C	θ''15°C
			θ'40°C	θ''15°C	θ'40°C	θ''15°C		
			L/s	°C	kW (kJ/s)	TJ/365d	t/365d	
<b>Osogovo</b>								
Kyustendil basin	62	19-75	4,621	9,331	145.6	293.7	3,478	7,016
<b>Rhodope massif</b>								
Struma graben	180	18-98	16,990	69,032	536	1,072	12,908	25,488
<b>Local Grabens</b>								
Razlog basin	105	25-55	3,389	15,073	139	475	3,313	11,334
Gotsedelchevsky basin	161	17.6-44	-	9,259	-	291.7	-	6,969
<b>Western and Eastern Rhodopes</b>								
Northern Rhodope slopes and the southern parts of G. Thrace	190	18-47	544	8,610	17.1	270.8	409	2,258
Chepinska valley	159	27-95	12,532	27,106	395	908	9,437	21,703
Bratsigov basin	3.3	18-24	-	55	-	1.7	-	42
The valley of the Vacha river	113	20-72	1,469	7,689	46.3	286.2	1,106	9,641
The Chepelarska river valley	2.6	22-29	-	122	-	3.8	-	92
Gorna and Malka Arda and Erma river	25	22-89	4,102	5,201	97.8	164	2,337	3,918
Ex. Rhodope structural depressions	58	18-57	2,009	6,222	63.4	195.8	1,514	4,686
<b>Total:</b>	<b>1059</b>	<b>18-95</b>	<b>45,656</b>	<b>157,700</b>	<b>1,440.2</b>	<b>3,962.7</b>	<b>34,502</b>	<b>93,147</b>

Забележка: Еквивалентното гориво се изчислява, като се приема, че изгарянето на 1 t петрол отделя 4,186x10<sup>2</sup> TJ топлина

Превод на текста на таблицата: *Хоризонтално (горен ред): Hydrothermal areas - хидротермални зони; Total flow rate – общ дебит; Water temperature – температура на водата; Termal power and Termal energy produced in 1 year – топлинна мощност и топлиноенергия произведена за 1 година; Equivelant fuel – еквивалентно гориво. Вертикално (колона в ляво): Осогово; Кюстендилски басейн; Родопски масив; Грабен на Струма; местни грабени, Разложки басейн, Гоцеделчевски басейн, западни и източни Родопи. Северен склон на Родопите и южни части на Тракия; Чепинска котловина; Братциговски басейн; долината на река Въча; долината на река Чепеларска; Горна и Малка Арда и Ерма река; Структурни вдлъбнатини (депресии) в Родопите.*

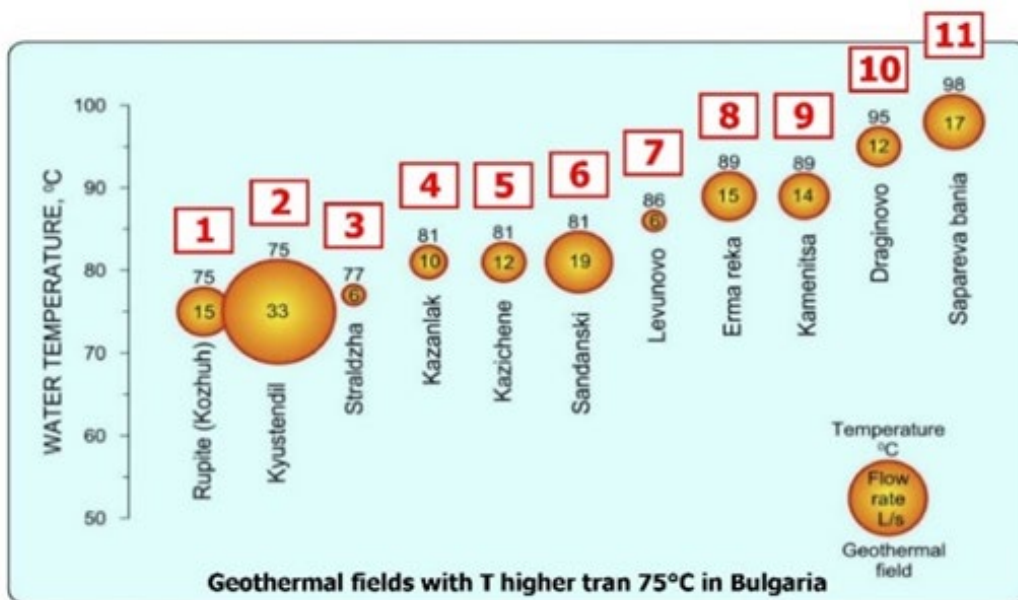
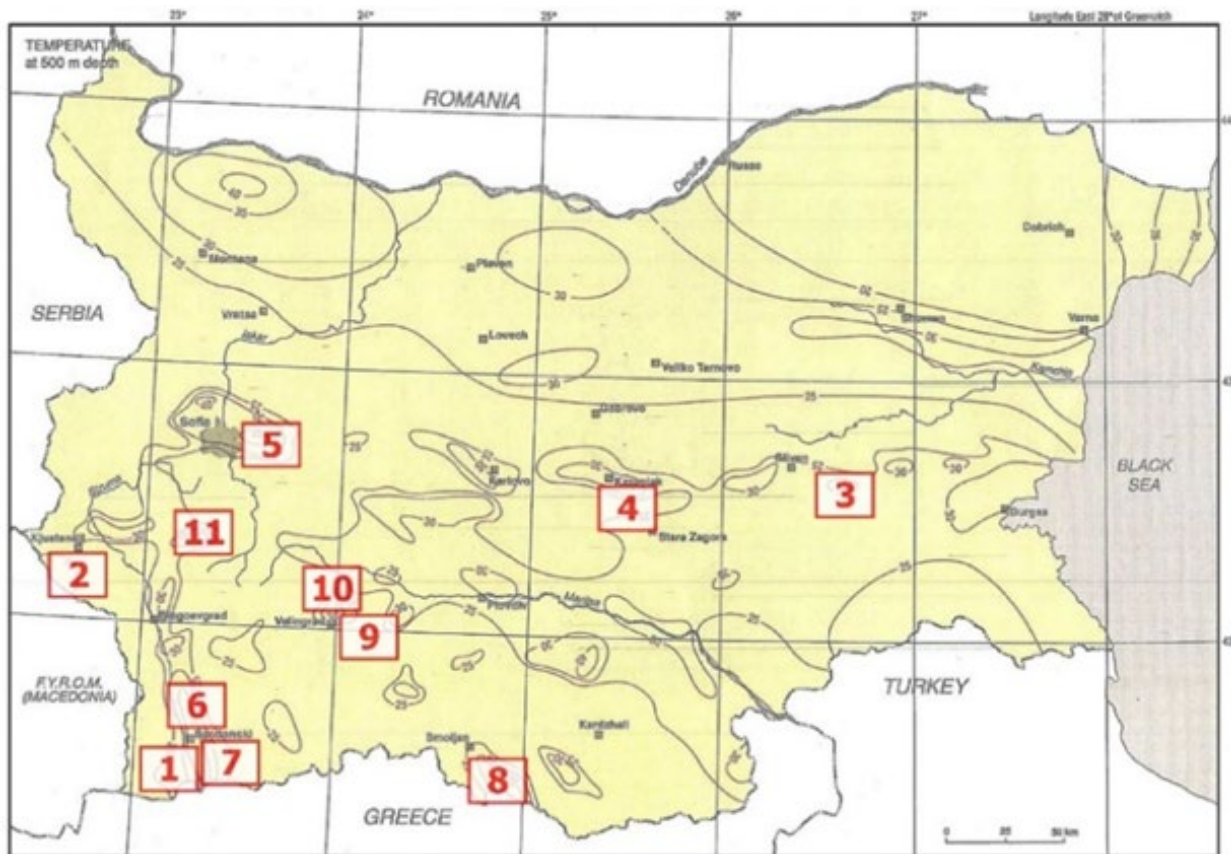
Фигура 19 представя основните геотермални обекти в Централна и Южна България, където се отчитат температури над 75°C (до 98°C) от повърхностни горещи извори и/или кладенци, просондирани на сравнително малка дълбочина (100-700 m). Както вече беше отбелязано на Фигура 18, повечето от тези обекти се намират в Югозападна България, с изключение на обектите Казанлък (4) и Стралджа (3), както и някои топлинни аномалии, докладвани в района на Пловдив, които се намират в Централно-източния регион на България. Наличната информация за термални обекти в Централна Източна България е оскъдна и не позволява сравнение и класификация с районите в Югозападна България

Като се има предвид представеното по-горе и след оценка, на база информацията от литературните източници, перспективите за геотермалните ресурси и съответния напредък в познанията и характеризирането на геотермалните системи, следните четири области са предложени като най-

обещаващи за по-нататъшно проучване и развитие в Централен и Южен регион на България (Фигура 20):

- Софийски басейн
- Район на долината на река Струма (включително Кюстендил и Сапарева баня)
- Чепинска котловина (района на Велинград)
- Ерма река (Златоград)

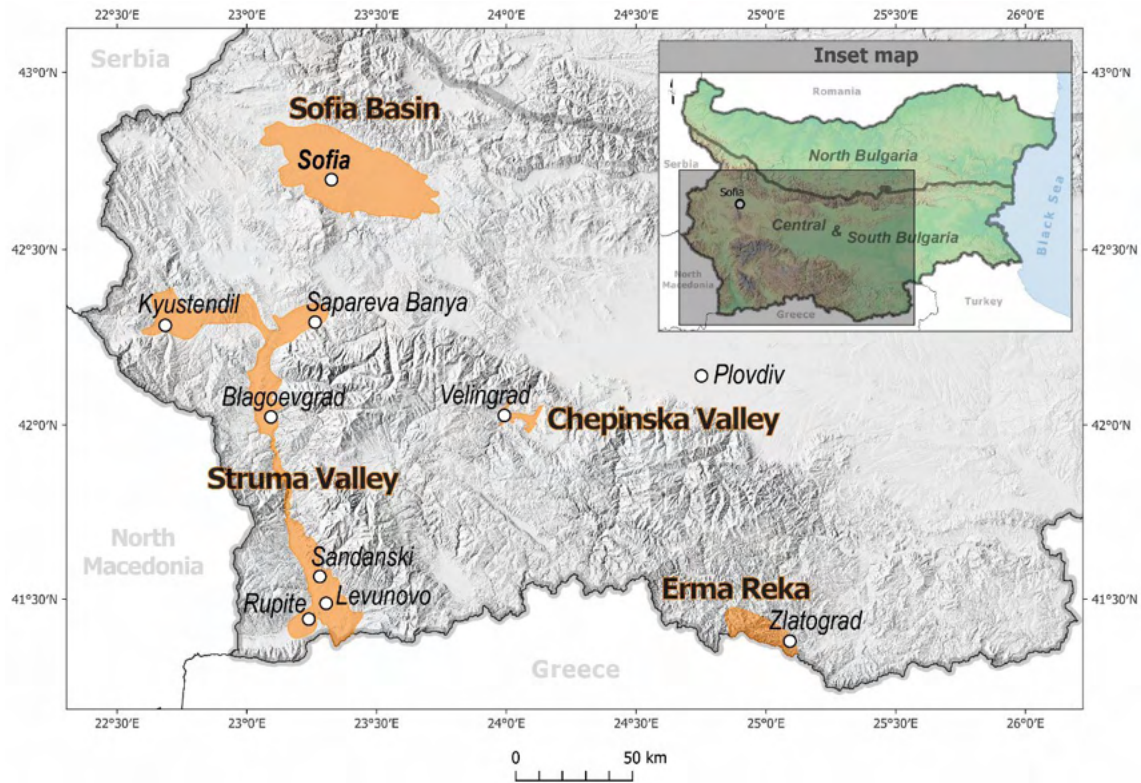
Основните характеристики на тези области са описани по-долу.



Фигура 19 - Температурна карта на 500 м дълбочина и местоположение на геотермални обекти с измерена температура над 75°C (от Христов, 2021).

Превод на текста на графиката: (текст вертикално в ляво) Water temperature- температура на водата; (текст хоризонтално отдолу) Geothermal fields with T higher than 75°C in Bulgaria - Геотермални находища с температура на

водата над 75°C в България; (текст вертикално в дясно) Temperature-Температура; Flow Rate l/s- Дебит л/с; Geothermal zone - Геотермална зона.



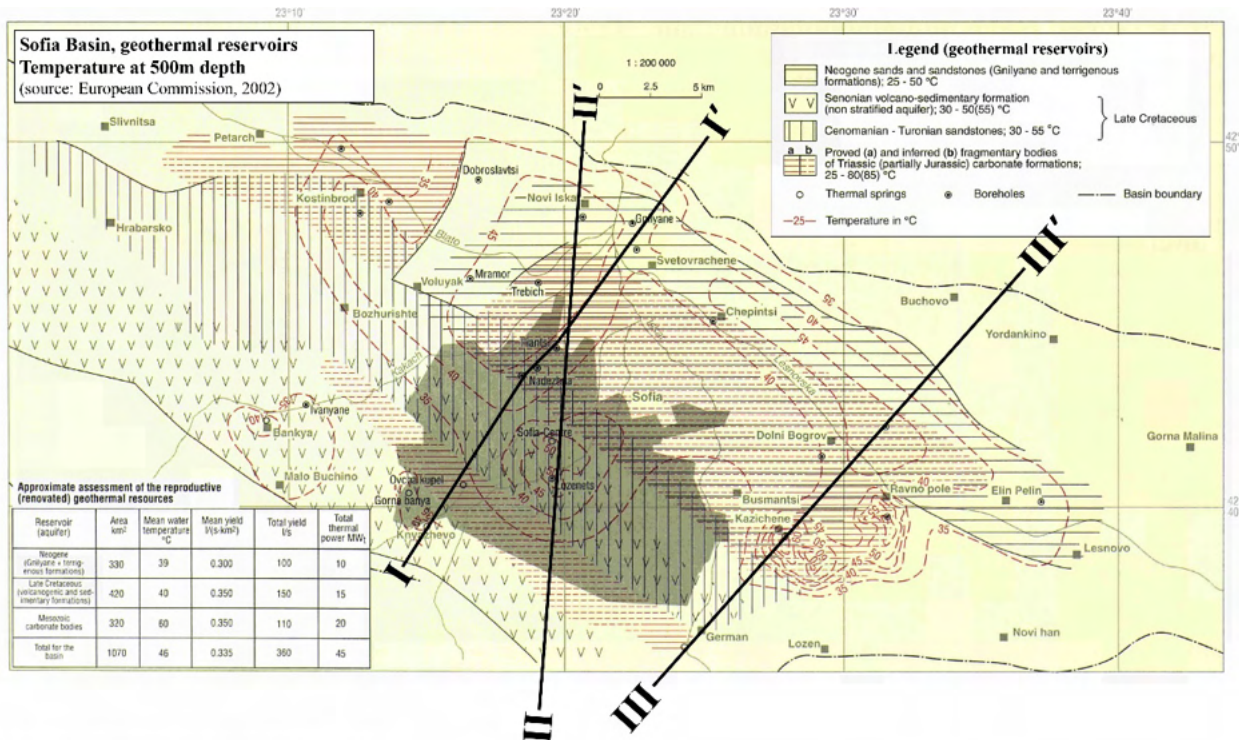
Фигура 20 –Предложени най-обещаващите геотермални зони в Централна и Южна България (от белязани в оранжево).

## Софийски басейн

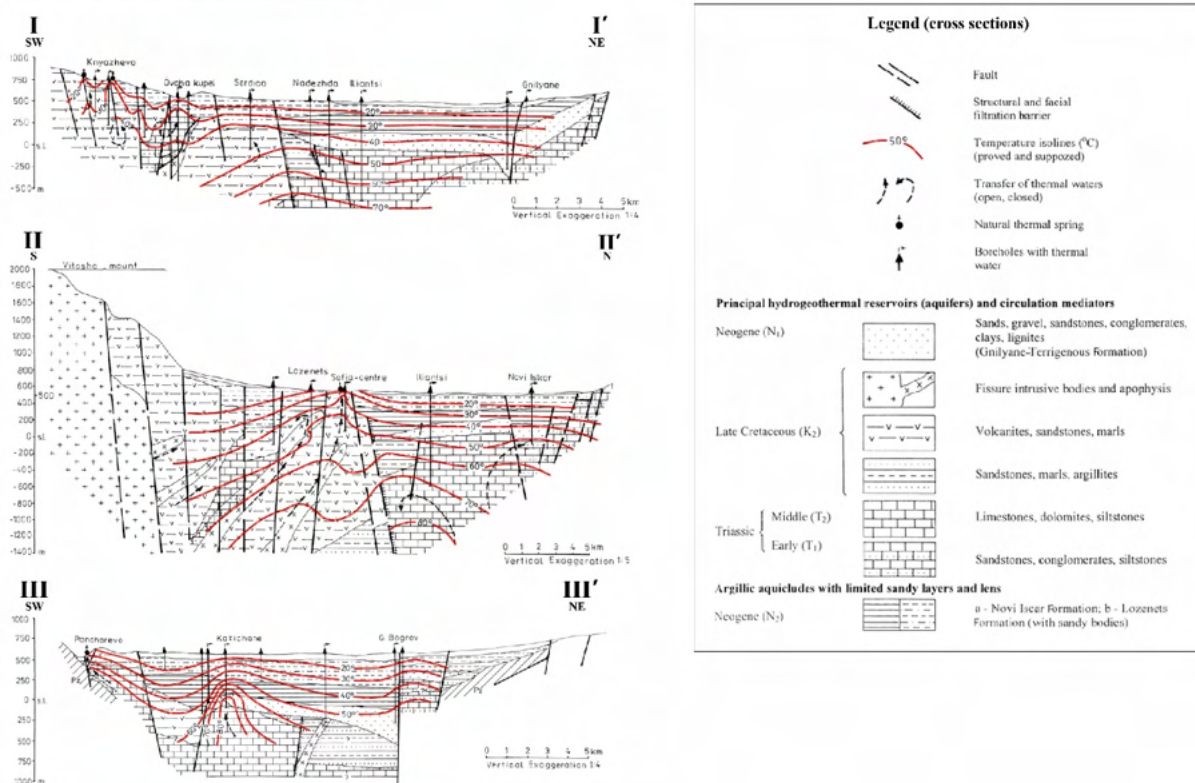
Град София и местностите в непосредствена близост лежат върху широк структурен басейн (грабенова структура), запълнен от Неогенски и Кватернерни седименти, отложени върху фундамент от Мезозойски и Палеозойски скали. Районът на София е известен като район с геотермални ресурси поради многото естествени горещи извори, използвани още от Римската епоха за термални минерални бани и водоснабдяване. Кладенци са просондирани в по-ново време за извличане на води от геотермални водоносни хоризонти на дълбочини предимно в диапазона от 300 – 750 m, както в рамките на пясъците и чакълестата формация на Неогенския грабен, така и в основния фундамент, съставен от вулканогенно-седиментни скали от Горна Креда и изолирани Триаски варовици и доломити от Горна Юра. Термалната вода се движи възходящо в рамките на басейна през различни стратиграфски нива и резервоари, контролирани от активни (неотектонски) разломни структури, литофациални прозорци, вулканични и интрузивни магмени тела. Възходящ/конвективен ефект се наблюдава в геометрията на разпределението на температурата в напречните сечения (Европейска комисия, 2002; Щерев, 2004- вж Графика 20).

Повечето термални минерални води в Софийския басейн са с метеоритен произход с много ниска обща минерализация (TDS), въпреки че значителна площ в северната част на басейна съдържа термални води с по-висока минерализация на  $\text{HCO}_3$  и  $\text{SO}_4$  (2-5 g/l).

Температурата на геотермалната вода варира между 30 -40 °С до 60 - 80 °С, в зависимост от дълбочината на циркулация в геотермалната система и местоположението на точките на оттичане по отношение на основните зони на възходящ поток ( Фигура 20). Най-високата температура на подземна вода, измерена досега в Софийската котловина, е 81°С, отчетена в 686-метровия сондаж Р-1хг (R-1), намиращ се в Казичене, в източните покрайнини на София (югоизточната част на басейна).



### Simplified cross sections through the Sofia hydrogeothermal basin (source: Shterev, 2004)



Фигура 21 – Карт а на геот ермалнит е резервоари в Софийския басейн (Европейска комисија, 2002) и геолошки напречни разреди (профили) от Щерев (2004).

Превод на текста на графиката: Sofia Basin, geothermal reservoirs temperature at 500 m depth – Софийски басейн, геотермални резервоари, температура на 500 м дълбочина. Легенда (таблица в дясно) Neogene sands and sandstones (Gnilyne-Terrigeneous Formation) 20-50С - Неогенски пясъци и пясъчници (Гнилянска-теригенна формация) 20-50С; Sedonian volcano-sedimentary formation (non stratified aquifer) 30-50 (55) С- Сенонска вулcano-сeдиментна формация (неслоест водоносен пласт) 30-50 (55) С; Cenomanian Turonian sandstones 30-55 С – Ценомански туронски пясъчници 30-55 С; ; Late Cretaceous - Горна Креда; proved (a) and (b) inferred fragmentary bodies of Triassic (particularly Jurassic) carbonate formations 20-80 (85) С - доказани (а) и (b) предполагаеми фрагментарни тела от Триаски (особено Юрски) карбонатни образувания 20-80 (85) С; Thermal springs- Термални извори, boreholes - сондажи, Basin boundary - граница на басейна. Таблица в ляво: Approximate assessment of the reproductive (renovated) geothermal resources - Приблизителна оценка на възпроизводствените (обновените) геотермални ресурси. Горизонтално (горен ред): Reservoir (aquifer) - Резервоар (водоносен хоризонт); Area km<sup>2</sup> - Площ km<sup>2</sup>; Mean water temperature C - Средна температура C; Mean yield l/s km<sup>2</sup> - Среден добив л/с km<sup>2</sup>; Total yield l/s – общ добив; Total thermal power MWth - Обща топлинна мощност MWth. Вертикално (лява колона): Neogene (Gnilyne-Terrigeneous formations) - Неоген (Гнилянски -теригенни образувания); Late Cretaceous (volcanogenic and sedimentary formations) - Горна Креда (вулканогенни и седиментни образувания); Mezoaic carbonate bodies – Мезозойски карбонатни тела; Total for the basin - Общо за басейна.

Превод на текста на графиката: Simplified crosssections through the Sofia hydrothermal basin - Опростени напречни профили през Софийския хидротермален басейн. – текст на легендата (таблицата в дясно): Fault - Разлом; Structural and facial filtration barrier - Структурна и лицева филтрираща бариера; Temperature isolines C (proven and supposed) - Температурни изолинии C (доказано и предполагаемо); Transfer of thermal waters (open, closed) - Пренос на термални води (отворен, затворен); Natural thermal spring - Естествен термален извор; Boreholes with thermal water - Сондажи с минерална вода;; Principal hydrothermal reservoirs (aquifers) and circulation mediators - Основни хидротермални резервоари (водоносни басейни) и циркулационни проводими зони; Neogene (N1) – Неоген (N1); sands, gravel; conglomerates, clays, lignites (Gnilyne-Terrigeneous Formation) - Пясъци, чакъл; конгломерати, глини, лигнитни въглища (Гнилянска-теригенна формация); Late Cretaceous (K2) - Горна Креда (K2); Fissure intrusive bodies and apophysis -Пукнатинни интрузивни тела и апофизи; Volcanites, sandstones, marls - Вулканити, пясъчници, мергели; ;Sandstones, marls, argillites - Пясъчници, мергели, аргилити; Triassic Middle (T2) Early (T1) - Среден Триас (T2) Долен (T1); Limestones, dolomites, siltstones - Варовици, доломити, алевролити; Sandstones, conglomerates, siltstones - Пясъчници, конгломерати, алевролити; Argillic aquicludes with limited sandy layers and lens – Аргилитови водоупори с ограничени пясъчни слоеве и лещи; Neogene (N2) - Неоген (N2) a- Novi Iskar Formation - а- Новоискърска свита; b- Lozenetz Formation (with sandy bodies); б- Лозенецка свита (с пясъчни тела).

Оценка на геотермалния потенциал за района на Софийския басейн е представена в Атласа на геотермалните ресурси в Европа (Европейска комисия, 2002) и други автори, като показва стойности от по-нисък диапазон, тъй като по същество се основава на сумата от дебита на термалните минерални води използвани/измерени в геотермални извори и съществуващи сондажи. Според Петров и др. (1998), използваният/измерен общ дебит на термална подземна вода е 360 l/s. Щерев (2004) и Щерев и Георгиев (2011) отчитат налична/разкрита в момента топлинна мощност на Софийския басейн от 48 MWth, което леко се различава от по-ранната оценка на Европейската комисия (2002), която посочва топлинна мощност от 45 MWth.

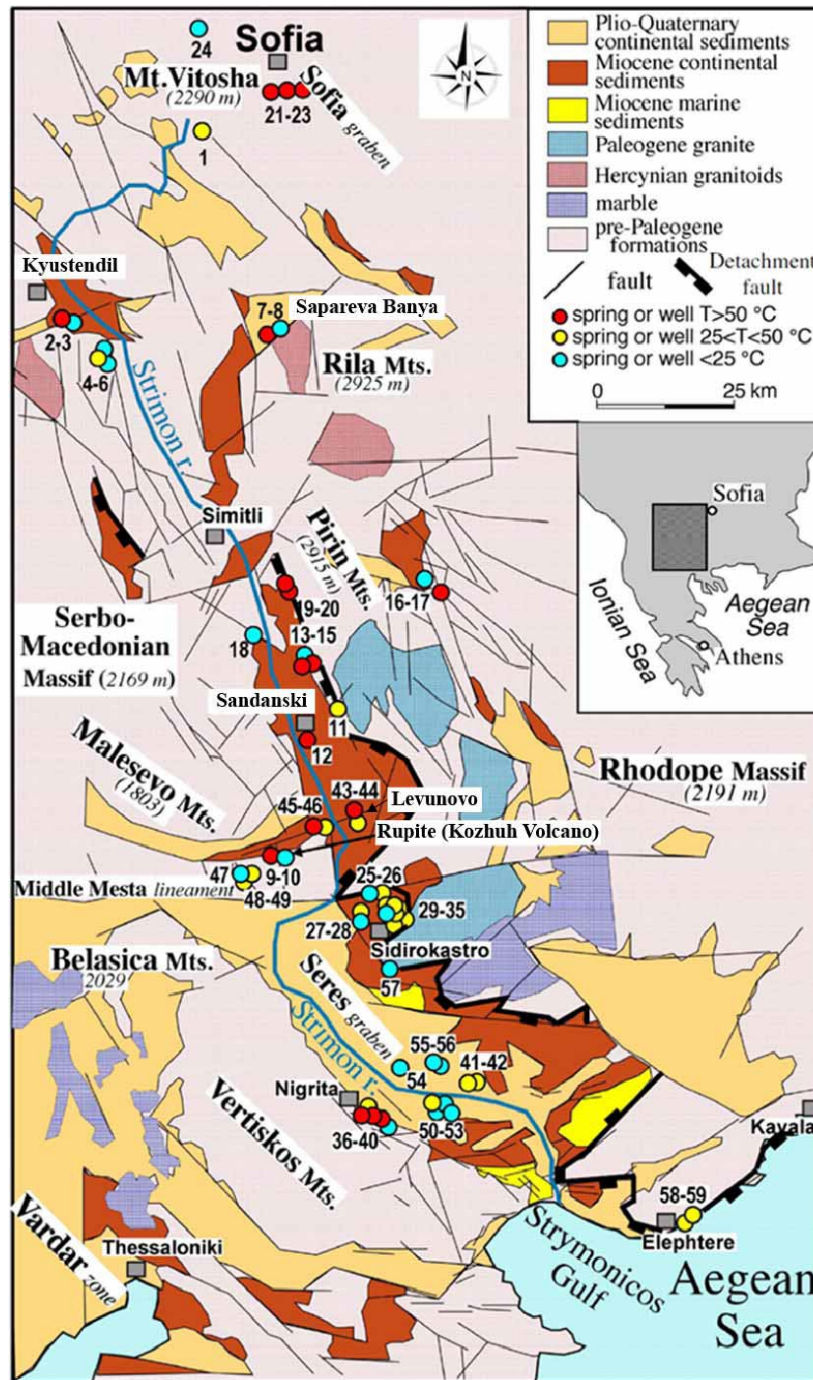
## Долината на река Струма

За целите на настоящия доклад геотермалната зона на долината на река Струма обхваща различни геотермални обекти, разположени в и в близост до Струмската тектонска депресия, включително тези в Кюстендил и Сапарева баня, които макар географски да не са в долината на река Струма, са в съседство с нея на север и са свързани по подобен начин с големи разломи и грабенови структури.

Геотермалната система на река Струма е разположена в гранитно-метаморфни фундаментни скали и в Неогенските седименти на рифтова долина, разположена в северозападна и югоизточна посока, която започва в югозападна България (Струмска рифтова долина или комплекса на Струмския грабен) и продължава на юг в Гърция (Щерев и др., 1995). Обширни деформации от Неогена и Кватернера, с големи вертикални размествания (до 3,5 km), подпомагат дълбоката инфилтрация и циркулация на метеорни води, които зареждат дълбините на няколко сектора по долината на река Струма с геотермална енергия. Повечето от геотермалните резервоари в тази област са ограничени по протежение на разломни системи; но порести резервоари на термални води са открити и в Неогенските седименти в най-южната част на Струмския грабен (т.е. при Сандански – Фигура 22). Някои от тези порести резервоари се запазват от геотермални води, движещи се възходящо по протежение на основните разломи.

Според Петров и др. (1998) над 40 обекта с термални прояви има в долината на река Струма на българска територия, но само половината от тях се характеризират с геохимичен анализ на термални води и геоложка информация. Основните термални зони в долината на река Струма, от юг на север, се намират в близост до населените места Рупите, Левуново, Сандански, Сапарева баня и Кюстендил (Фигура 22). Основните им характеристики са обобщени, както следва:

- Рупите: (Кожух) разпръснати извори и кладенци ВН-1961 (дълбочина 177 m); ВН (500 m дълбочина); и ВН-1980 (246 m); по-висока измерена температура 75°C и общ наличен дебит 15 l/s.
- Левуново: разпръснати топли извори и кладенци ВН-1, ВН-3 (дълбочина 152 m); по-висока измерена температура 86°C и общ наличен дебит 6 l/s.
- Сандански: извор “Перилото” и кладенец ВН-1 (дълбочина 700 m); по-висока измерена температура 81°C и наличен дебит 19 l/s.
- Сапарева баня: два извора и кладенец Nr. 1 (дълбочина 460 m); по-висока измерена температура 98°C и общ наличен дебит 17 l/s.
- Кюстендил: разпръснати топли извори и кладенци ВU и МС-5, с максимална температура 75°C и 33 l/s наличен общ дебит.



Фигура 22- Геоложка схематична карта на долината на река Струма с главни извори/кладенци и съотв. температурни зони (от Минсал и др., 2023 - модифицирано от Щерев и др., 1995).

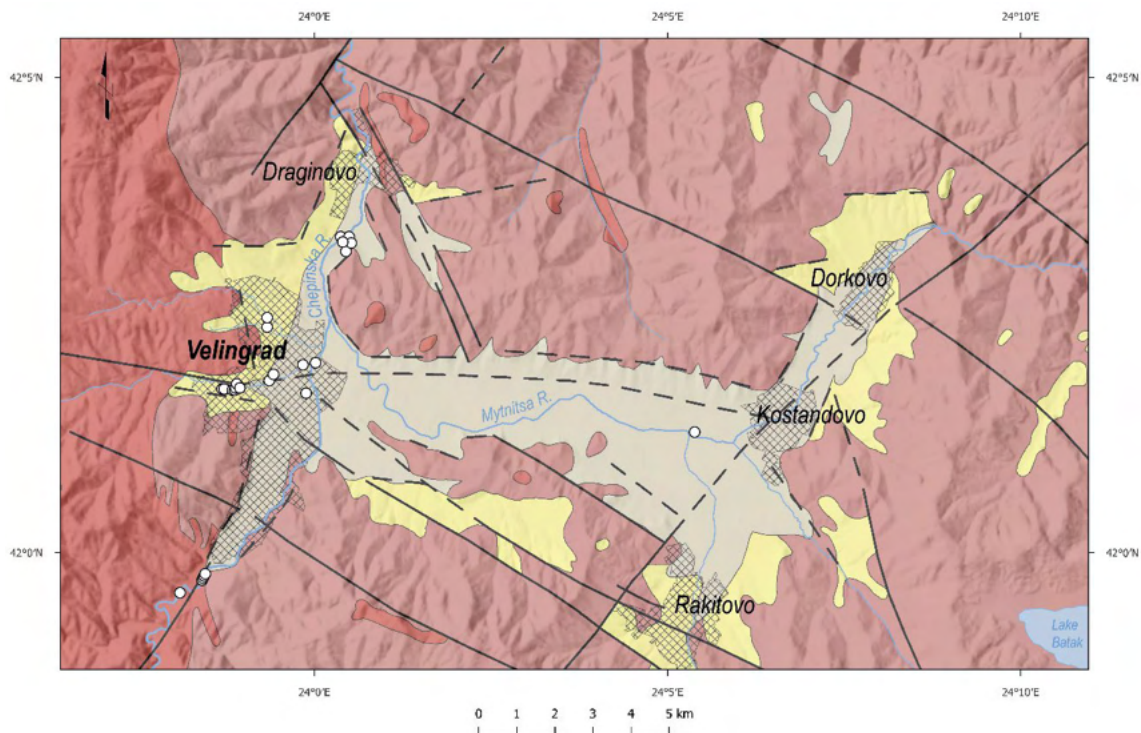
Превод на текста на графиката: Plio- Quaternary continental sediments- Плио-Кватернерни континентални седименти; Miocene continental sediments- Миоценски континентални седименти; Miocene marine sediments- Миоценски морски седименти;;Paleogene granite- Палеогенски гранит; Hercynian granitoids marble- Мрамор от херцински гранитоиди; pre-Paleogene formations- Допалеогенски образувания; fault – разлом detachment fault-откъснати разломи; spring or well – извор или кладенец.

Общият дебит на термалните извори и кладенци в района на долината на река Струма е изчислен в оценката на Европейската комисия (2002 г.) на 950 l/s, което съответства на 236 MWth топлинна мощност (което би означавало среден температурен спад от около 60°C). Съществено различни стойности за долината на река Струма и Кюстендил са отразени в оценката на Петров и др. (1998), която отчита 242 l/s и 78,4 MWth (при крайна T от 15°C) (вж Таблица 5). Същите тези данни бяха последователно анализирани и докладвани от COWI (2005).









### **Чепинска котловина**

Тази геотермална зона обхваща град Велинград и близките населени места Драгиново и Ракитово. Разположен е в пресечната точка на две основни грабенови структури (едната с североизточно направление, а другата се разпростира в източно и западно направление), които образуват падината на Чепинската котловина, през която преминава и едноименната река ( Фигура 23). Откритите геоложки образувания в тази област са фундаментни скали (метаморфозиран милонит гнайс, липтинит и мрамори, навлизащи от Палеозойски гранит и пегматитов гранит от Горна Креда) и Неогенски седименти (пясъчници, алевролити, и конгломерати), отложени в структурите на основния грабен. Проводимостта на скалите на основата е доста висока поради обширната тектонска деформация.

Основните геотермални прояви се срещат в (или в близост) до градовете Велинград, Драгиново и Ракитово. Повече от 30 сондажа са прокарани на различни дълбочини (50-600 m) и има много горещи извори разпръснати из цялата област. Температурите варират между 37 и 94°C с общ дебит около 150 l/s. Съответната топлинна мощност е 27,1 MWth (Петров и др., 1998; COWI, 2005).



### Legend

 - Sedimentary deposits (Q)	 - Igneous rocks (Pz)	 - Fault	 - Borehole
 - Sedimentary deposits (N-Q)	 - Basement rocks (pC)	 - Inferred fault	 - Town area

Sources: Geological map of Bulgaria 1:100000 (K-34-072 Velingrad, K-35-061 Pazardzhik, K-34-084 Belitsa, K-35-073 Rakitovo), GEOFUND database, MoEW database, Catalogue of Geothermal Data of Bulgaria, Copernicus DEM, OpenStreetMap

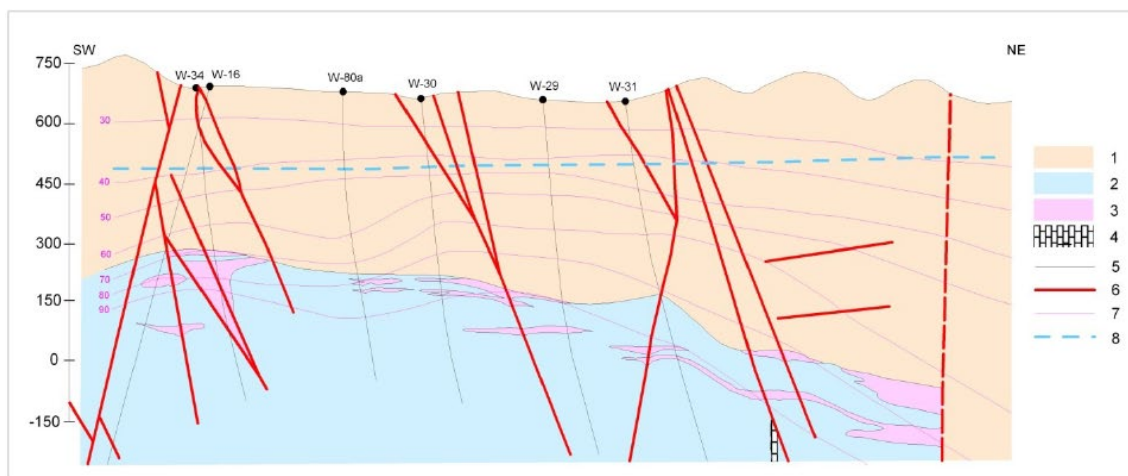
**Фигура 23 – Опрост ена геоложка карт а на Велинградския грабен. Извлечено от Кацков и Димитрова (1988), Кацков и Маринова (1988), Кожухаров и др. (1988) и Кожухаров и др. (1989)**

Превод на текста на графиката: Legend- Легенда; Sedimentary deposits (Q)- Седиментни отложения (Q); Sedimentary deposits (N-Q)- Седиментни отложения (N-Q); Igneous rocks (Pz)- Магматични скали (Pz); Basement rocks (pC)- Основни скали (pC); Fault- Разлом; Inferred Fault – Предполагаем разлом; Borehole- Сондаж; Town area- Градски район

## Ерма река

Геотермалната зона Ерма река се намира в южната част на България, близо до гръцката граница, на около 12 км северозападно от град Златоград, в близост до находище на оловно цинкова руда, открито през 1955 г. и което все още е в експлоатация, макар и с намалено производство (Бендерев и др. 2015).

Води с температура до 90 °C са открити по време на минни дейности в силно карстифицирано мраморно тяло, вградено в гнайсов комплекс (състоящ се предимно от амфиболити и гнайси) на дълбочина 450 m бл. (вж. Фигура 24). Отбелязано е, че мраморното тяло се простира върху повърхност от около 25-30 km<sup>2</sup>, като е ограничено на запад и север от големи разломи и пресичано от множество разломни системи (Бендерев и др., 2015). В рудното находище са прокарани около 60 сондажа с дълбочина до 1500 m, пресичащи огромни пещерни образувания. Фигура 25 показва температурния контур при +450 m н.в. (Тенева-Георгиева и др., 2005).



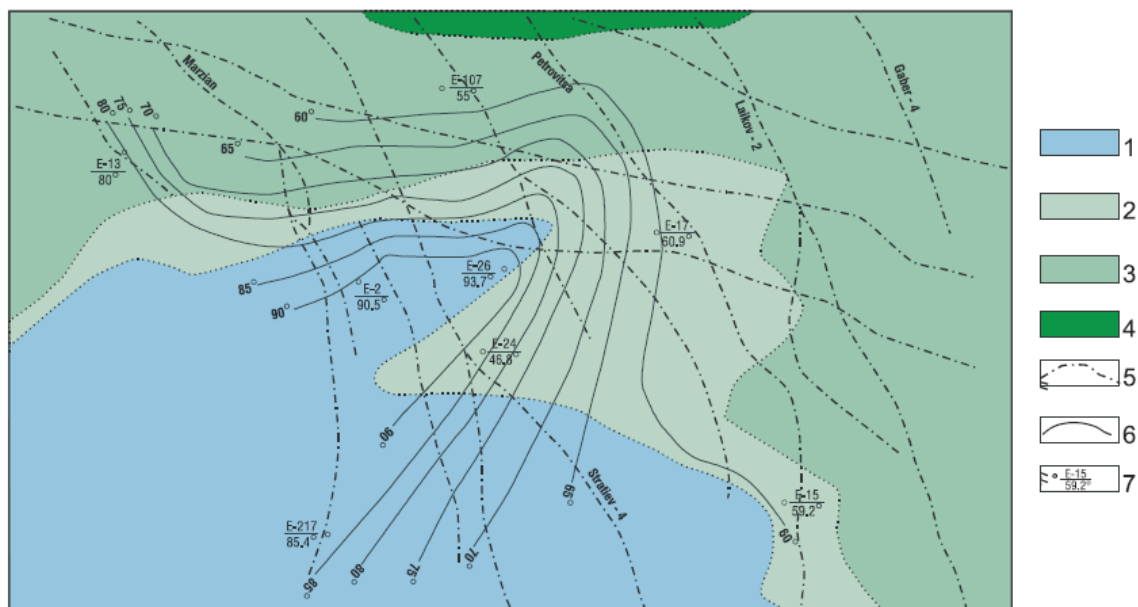
**Фигура 24 – Геоложки разрез по протечение на хидротермален резервоар Ерма река, включително изотерми (от Бендерева и др., 2015 – в литературния източник не е представено местоположение на напречното сечение)**

Легенда: 1. Амфиболити, гнайси; 2. Мрамори; 3. Кварцови зони и Рудни зони; 4. Пещери; 5. Геоложки граници; 6. Разломи; 7. Температурни изотермии, °C; 8. Пиезометрично водно ниво (m); W-# кладенци.

Следва да се отбележи, че учените от Минно-геоложкия университет, с които екипа се срещна по време на посещението си в България през декември 2023 г., споменаха, че температури от 130 °C са измерени в кладенец с дълбочина 1000 m в района на Ерма река. Местоположението на кладенеца не е съобщено. Такава температурна стойност би била в съответствие с геотермометъра от силициев диоксид, изчислен в това проучване (вижте Приложение В)

Термофлуидите в района на Ерма Река имат относително ниска соленост, с обща минерализация (TDS) между 0,6 и 1,6 g/l и състав на Na(Ca)-HCO<sub>3</sub>(SO<sub>4</sub>) (Бендерева и др., 2015). Водният обем, съдържащ се в мраморното тяло, е от порядъка на 200 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Тестовите за изпомпване, проведени в няколко кладенеца, разкриха проводимост от 60 до над 2000 m<sup>2</sup>/d и коефициент на филтрация от 5 до над 100 m/d. Тези данни показват геотермален резервоар с много благоприятни хидрогеоложки условия и потенциално обещаващи температури.

Топлинна енергия от около 15 MWth е изчислена от Петров и др. (1998), която впоследствие е съобщена и от COWI (2005).



**Фигура 25 – Температурна карта на геотермалната система в района на Ерма река на кот +450 m н.в. (от Тенева, Георгиева и др., 2005 – в географската справка за картата липсва в литературния източник)**  
 Легенда: 1. Гранит-гнайси; 2. Биотитни гнайси; 3. Московски гнайси; 4. Мрамори; 5. Разломи; 6. Изотерми; 7. Кладенец – номер и измерена температура/

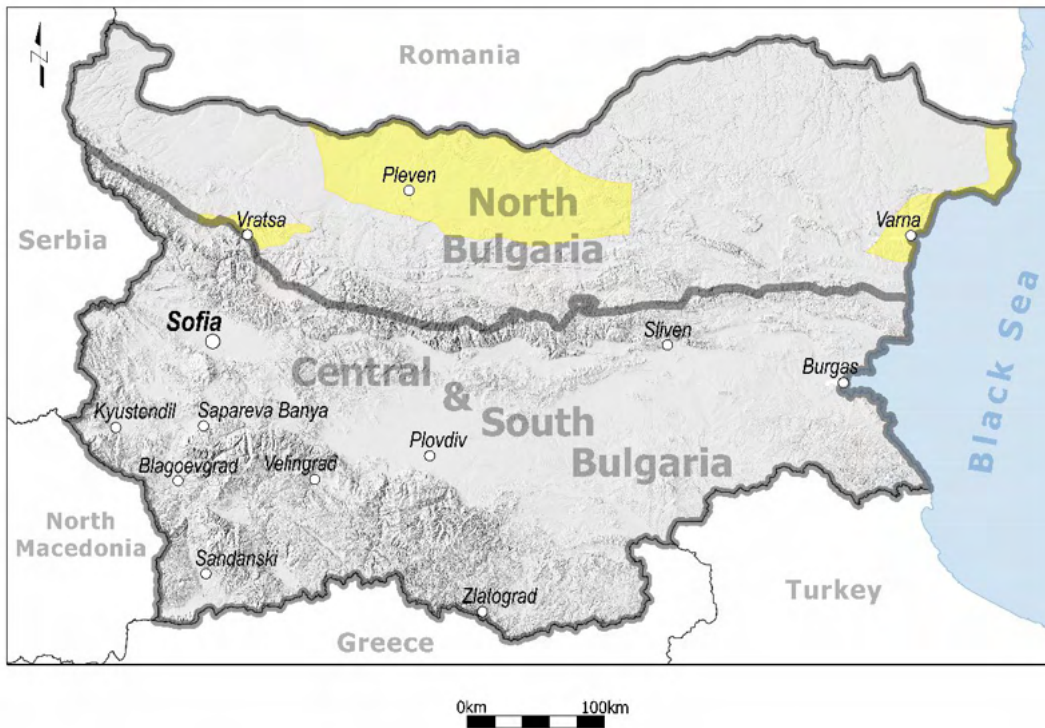
#### 4. Обобщение на предложените приоритетни геотермални райони в България

##### 4.1 Приоритетни геотермални райони в Мизийската платформа и Предбалкана

Сред трите водоносни хоризонта, идентифицирани в Северна България, най-дълбоките от Девон-Карбоновата и Средна-Горна Юрска епохи са слабо известни, поради малкия брой сондажи в района свързани с проучвания за находища на нефт и газ. В допълнение, въпреки че в тези водоносни хоризонти флуидите биха били с по-високи температури от около 150°C, тяхното използване ще е възпрепятствано от високите разходи за просондиране на дълбоки геотермални кладенци на дълбочини от 4000-6000 m и от високата предполагаема соленост (обща минерализация) на флуидите в дълбоките геотермални резервоари, предполагащи потенциални проблеми с котлен камък и корозия. По тази причина е разумно да се съсредоточат първоначалните усилия за геотермално развитие върху по-известния и по-малко рисков Малмваланжски водоносен хоризонт.

Настоящият доклад анализира по-обещаващите зони на Малмваланжския водоносен хоризонт в Мизийската платформа и Предбалканската зона, на база данните за температурата и оценките на извличаната топлинна енергия на единица повърхност, според Атласа на геотермалните ресурси в Европа (Европейска комисия, 2002). Идентифицирани са областите с най-обещаващите геотермални ресурси в Северна България в краткосрочен план, както следва (Фигура 26):

- **Плевен** (централна част от Малмваланжския водоносен хоризонт в Мизийската платформа).
- **Варна** (част от Малмваланжския водоносен хоризонт, прилежащ към северното черноморско крайбрежие).
- **Враца** (малка част от Малмваланжския водоносен хоризонт, разположен в западната част на Предбалкана).



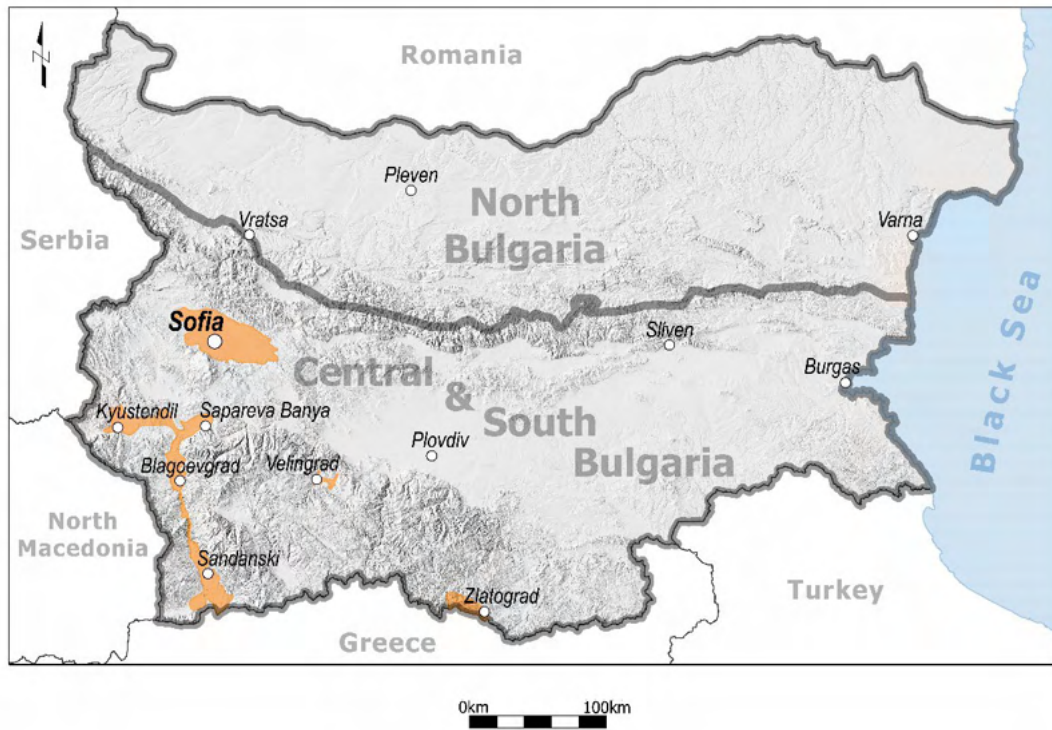
Фигура 26 – Най-обещаващи геотермални зони в Северна България (маркирани в жълт о).

#### 4.2 Приоритетни геотермални райони в Централна и Южна България

Набелязани са по-обещаващите геотермални зони в Централна и Южна България, имайки предвид основните структурни характеристики, температурните аномалии в геотермалните извори и сондажните кладенци, и наличните данни за топлинна мощност от съществуващи кладенци и естествени горещи извори.

Въз основа на прегледа на наличните данни, следните геотермални зони са предложени като най-обещаващи в Централна и Южна България (Фигура 27):

- **Софийски басейн** (район на град София и околностите, по-специално Казичене)
- **Чепинска долина** (градовете Велинград, Драгиново, Ракитово и близките местности в Чепинската долина)
- **Долината на Струма** (градовете Сандански, Рупите, Сапарева баня, Кюстендил и Благоевград и близките райони в тектонския разлом на река Струма).
- **Ерма река** (гр. Златоград и близките райони, включително рудник в района на Ерма река).



Фигура 27 – Най-обещаващи геотермални зони в Централна и Южна България (маркирани в оранжево).

## Подробна библиография

Загорчев И., Дъбовски Ц., Николов Т., Будуров К., Димитрова Е., Иванов М., Каменов Б., Методиев Л., Минковска В., Рускова Н., Сапунов И., Синьовски Д., Василев Е. (2009). Геология на България, том II. Българска академия на науките Геологически институт "Акад. ул. Димитров".

Кацков Н., Димитрова Р. (1988). Предприятие за геофизични проучвания и геолошко картиране. Геоложка карта на България 1:100000: К-34-072 (Велинград).

Кацков Н., Маринова Р. (1988). Предприятие за геофизични проучвания и геолошко картиране. Геоложка карта на България 1:100000: К-34-084 (Белица).

Кожухаров Д., Кацков Н., Димитрова Р. (1989). Геологически институт „Страшимир Димитров“ БАН, Предприятие за геофизични проучвания и геолошко картиране и СУ „Св. Климент Охридски“. Геоложка карта на България 1:100000: К-35-061 (Пазарджик).

Кожухаров Д., Димитрова Р., Кацков Н. (1988). Геологически институт “Страшимир Димитров” Българска академия на науките и предприятие за геофизични проучвания и геолошко картиране. Геоложка карта на България 1:100000: К-35-073 (Ракитово).

Бояджиева К., Христов Х., Христов В., Бендерев А., Тошев В., Бароков К. (2010). България – Геотермален Актуализиран Доклад. Доклади Световен геотермален конгрес 2010 г., Бали, Индонезия, 25-29 април 2010 г.

Пенев И., Щерев К. (2000). Геотермални ресурси и използване на геотермална енергия в България. Доклади Световен геотермален конгрес 2000 г. Кюшу-Тохоку, Япония, 28 май – 10 юни.

Христов В., Денева Б., Вълчев С., Колев С., Бендерев А. (2019). Използване на геотермална енергия, Актуализация за България (2014-2018). Европейски геотермален конгрес 2019. Хага, Холандия, 11-14 юни 2019 г.

Христов В., Стоянов Н., Вълчев С., Колев С., Бендерев А. (2019). Използване на нискоенталпийна геотермална енергия в България. 2-ра Международна геотермална конференция.

ЮР конферентна серия: Наука за Земята и околната среда 249 (2019)

Европейска комисия (2002 г.). Атлас на геотермалните ресурси в Европа. Генерална дирекция „Изследвания“. Редактори: Сузана Хуртер и Ралф Хенел. Публикация № EUR 17811 на Европейската комисия.

Щерев К., Загорчев И. (1996). Минерални води и хидрогеотермални ресурси в България. GeoJournal 40.4, стр. 397-403.

Щерев К., Георгиев Г. (2011). Минерални води и хидрогеотермални ресурси в България. 2-ри семинар за споделяне на знания на CGS Европа Естествени аналози. 17-19 октомври 2011 г., Мария Лаах, Германия.

Гергинов П., Стоянов Н., Вълчев С., Бендерев А. (2022). Топлинен потенциал на горноюрско-долнокредния водоносен хоризонт в Централна Северна България: състояние и перспективно използване. Преглед на Българското геолошко дружество, кн. 83, част 1, 2022 г., стр. 39–49.

Траянова М., Хаслингер Е., Улидал С., Кинер П., Атанасова Р., Бендерев А. (2020). Възможности за използване на високоминерализираните води в Централна България като източник на топлинна енергия въз основа на опита на Австрия. Българско химическо съобщение, 52 (Специален брой С), с. 72–78.

COWI (2005). Идентифициране на ключови бариери пред използването на националните геотермални ресурси в България и казуси на място във Велинград, Сапарева баня и други геотермални отоплителни системи. Междинен отчет том II – Приложения.

Петров П., Боджаджиева К., Гашаров С., Велинов Т. (1991). България (Национален доклад). В: Геотермален атлас на Европа (обяснителен текст), Eds. E. Hurtig, V.Cermak, R.Haenel и V. Zui, Hermann Naack Verlagsgesellschaft GmbH, стр.16-18.

Христов В., Бендерев А., Стоянов Н., Антонов Д., Траянова М., Колев С. Геотермална актуализация за България (2014-2018). Доклади Световен геотермален конгрес 2020+1. Рейкявик, Исландия, април-октомври 2021 г.

Щерев К. (2004). Хидрогеотермалния басейн на Софийски грабен (България). Геология на околната среда (2004) 46:651–660.

Щерев К., Георгиев Г. (2011). Минерални води и хидрогеотермални ресурси в България. 2-ри семинар за споделяне на знания на CGS Европа Естествени аналози. 17-19 октомври 2011 г., Мария Лаах, Германия.

Щерев К., Загорчев И., Щерев Д. (1995). Геотермални ресурси и системи в рифтовата долина на Струма (Стримон) (България и Гърция). Прог. Световен геотермален конгрес 1995 г., Флоренция, Италия, 18-31 май 1995 г., том 2, стр. 1185-1191.

Минсал, А., Васели О., Марчев, П., Тази, Ф. (2023). Геохимия на термалните извори и свързаните с тях газове по долината на река Стримон (България и Гърция). Journal of Geochemical Exploration 252.

Кацков Н., Димитрова Р. (1988). Предприятие за геофизични проучвания и геолошко картиране. Геоложка карта на България 1:100000: К-34-072 (Велинград).

Кацков Н., Маринова Р. (1988). Предприятие за геофизични проучвания и геолошко картиране. Геоложка карта на България 1:100000: К-34-084 (Белица).

Кожухаров Д., Кацков Н., Димитрова Р. (1989). Геологически институт „Страшимир Димитров“ БАН, Предприятия за геофизични проучвания и геолошко картиране и СУ „Св. Климент Охридски“. Геоложка карта на България 1:100000: К-35-061 (Пазарджик).

Кожухаров Д., Димитрова Р., Кацков Н. (1988). Геологически институт “Страшимир Димитров” Българска академия на науките и предприятия за геофизични проучвания и геолошко картиране. Геоложка карта на България 1:100000: К-35-073 (Ракитово).

Бендерев А., Атанасова Р., Андреев А., Христов В., Бояджиева К., Колев С. (2015). Хидрохимични характеристики на геотермален резервоар Ерма река (Южна България). Доклади Световен геотермален конгрес 2015, Мелбърн, Австралия, 19-25 април 2015 г.

Бендерев А., Атанасова Р., Андреев А., Христов В., Бояджиева К., Колев С. (2015). Хидрохимични характеристики на геотермален резервоар Ерма река (Южна България). Доклади Световен геотермален конгрес 2015, Мелбърн, Австралия, 19-25 април 2015 г.