

ТЕХНОЛОГИЧНИ ОСОБЕНОСТИ И ПАРАМЕТРИ НА МАЛКА БИНАРНА ГЕОТЕРМАЛНА ТЕЦ С НИСКОТЕМПЕРАТУРЕН ТОПЛИНЕН ИЗТОЧНИК

ИНЖ. АНА БОРИСОВА - редовен докторант ТУ-София
ПРОФ. Д-Р ИНЖ. ДИМИТЪР ПОПОВ - ТУ-София

Дълбоко под повърхността на земята непрекъснато се генерира и натрупва огромно количество топлина, известна като геотермална енергия. Този процес протича в резултат на радиоактивен разпад на елементи от земното ядро (уран, торий, калий), както и на движението на земни пластове [1]. В научната общност е установено мнението, че този енергиен източник има потенциал на съществуване милиарди години при редовно използване на топлинната му енергия. Поради тази причина геотермалната енергия се числи към възобновяемите енергийни източници [2]. При това тя няма периодичния или случаен характер на възникване - използване, както е при слънчевата и вятърната енергия. Най-разпространеният метод за утилизация на геотермалната енергия е насочен към усвояване на местата на естествено освобождаване на геотермалната енергия във вид на термални извори - хидротермални източници, или да се сондира за тях. Хидротермалната енергия има редица приложения, като най-важните са производство на електрическа енергия и отопление.

ТЕХНОЛОГИИ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА ЕЛЕКТРИЧЕСТВО ОТ ГЕОТЕРМАЛНА ЕНЕРГИЯ

Геотермалната електрическа централа не се различава в основния си принцип на функциониране от една конвенционална ТЕЦ, т.е. в нея се реализира термодинамичният цикъл на Ренкин. Започва се с улавяне или производство на работно тяло под формата на пари с високо налягане и температура, които задвижват турбина, свързана с електрогенератор. След това парите се охлаждат и втечняват в кондензатор. Използват се три основни вида системи за преобразуване на геотермалната енергия - системи, работещи със суха наситена или прегрята пара, системи с бързо преобразуване на геотермална вода под налягане в суха наситена пара в специален апарат, наречен разширител (флаш системи) и бинарни системи, както и комбинирани варианти. Първите две са традиционни и широко разпространени в по-старите

централи, а бинарните са по-нови технологии и навлизат в употреба през последните години. Изборът на метод се предопределя от температурата и налягането на геотермалния флуид (вода или пара) [3].

При това, възможността за производство на електрическа енергия зависи от три основни характеристики на геотермалното находище: температура и дебит на водата, както и пропускливост на скалната формация.

В **табл. 1** са обобщени технологиите за производство на електрическа енергия според температурата на флуида на повърхността на хидротермалното находище.

Геотермалните ТЕЦ с прегрята или суха наситена водна пара са класическа и добре усвоена технология. В парната турбина директно се преработва пара, генерирана в хидротермалния резервоар. Парата преминава през филтрация, насочва се към турбина, като отработилата пара се охлажда, конден-

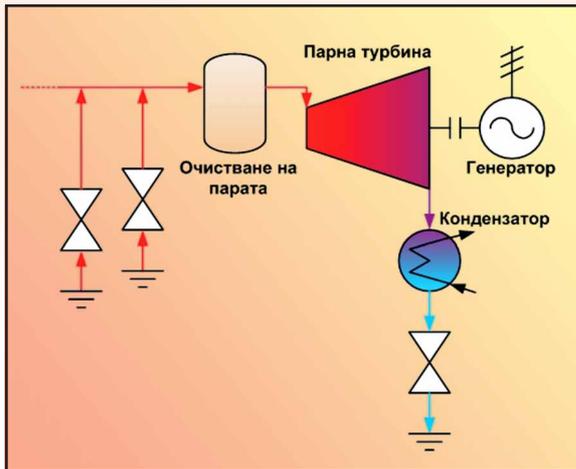
Таблица 1. Геотермални технологии за производство на електрическа енергия

Температура	Технология за производство на електрическа енергия
Над 180°C (пара)	Геотермална централа с парна турбина
150-200°C (вода)	Геотермална централа с разширител с едно ниво на налягане
200-230°C (вода)	Геотермална централа с разширител с две нива на налягане
Под 150°C (вода)	Геотермална бинарна централа

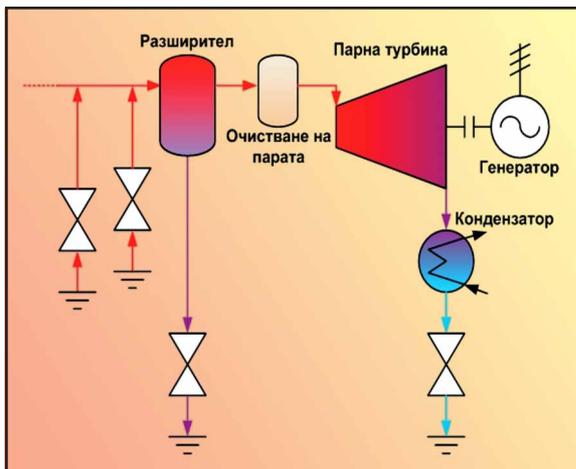


зира и инжектира обратно в подземния резервоар - **фиг. 1**. Предпоставката за реализация на този цикъл е наличието на източник с подходящи температура и налягане. Това ограничава приложимостта на технологията. Още един недостатък е директното използване на флуида - създават се условия за корозия на оборудването и изпускане на разтворените в него вредни газове в околната среда.

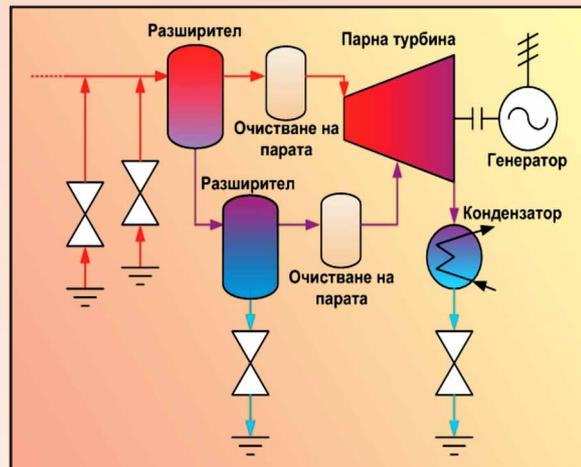
Геотермалните ТЕЦ с разширител към момента са най-разпространени в световен мащаб. В тях се използват геотермални източници с висока температура (поне 150°C) и налягане. Извлечената от подземния резервоар вода преминава през сепаратор (по същество разширителен съг) с по-ниско налягане - **фиг. 2**. Мигновено част от водата се изпарява и флуидът се разделя на парна и



Фиг. 1 Геотермална ТЕЦ с прегрята или суха наситена водна пара



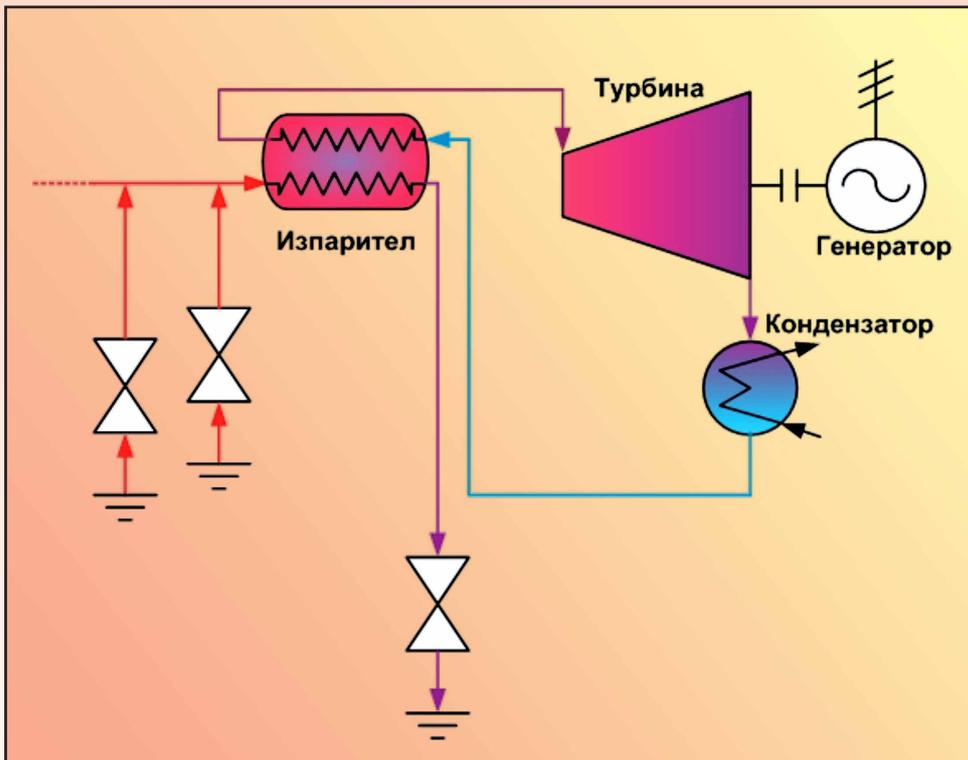
Фиг. 2 Геотермална централа с разширител с едно ниво на налягане



Фиг. 3 Геотермална централа с разширител с две нива на налягане

водна фаза. Наложила се е и схема с два сепаратора като във втория водата е с по-ниско налягане - **фиг. 3**. Водната фаза се инжектира обратно, а парната се използва за задвижване на парна турбина. Недостатъците на схемите са сходни с предходната технология, но при тези централи топлинният капацитет на водата се използва по-пълно.

Бинарните геотермални ТЕЦ използват двуконтурна технология и могат да оползотворят геотермални ресурси с вода с температура по-ниска от 100°C. Работят на основата на органичен цикъл на Ренкин. Водата от геотермалния резервоар, представляваща първия флуид в системата, се изпомпва до повърхността, преминава през топлообменник (изпарител), където загрева и изпарява втори флуид, и след това се инжектира обратно в резервоара. За вторичен се подбира подходящ органичен флуид с ниска температура на кипене, примерно 30°C при атмосферно налягане. Когато напусне изпарителя, бинарният флуид е в газообразно състояние с високо налягане и се използва за задвижване на турбина. След като напусне турбината, постъпва в кондензатор и се втечнява преди да се насочи отново към изпарителя. Когато хидротермалният източник е с температура над 160°C, водата се използва в няколко последователни инсталации (каскадно генериране на енергия). Бинарните системи не използват пряко геотермалния флуид в електрогенериращите части. Така рискът от корозия и замърсяване е по-малък - **фиг. 4**.

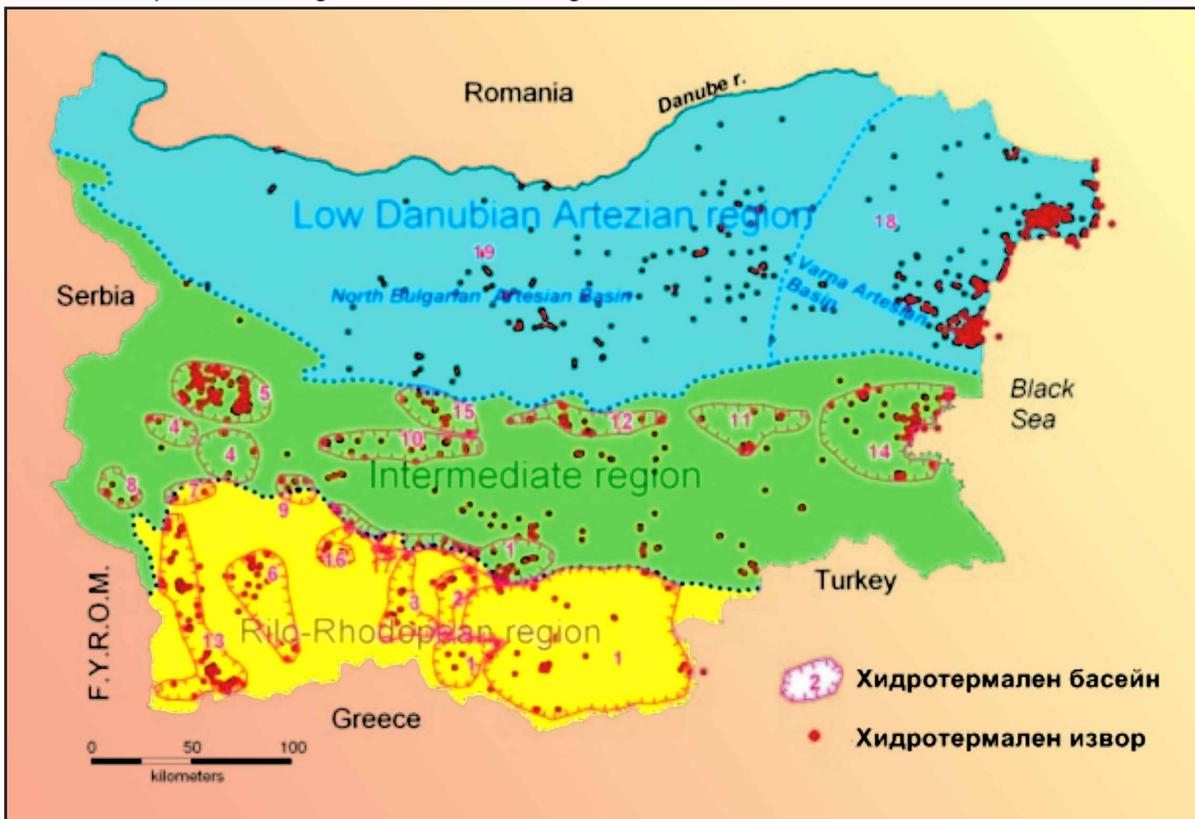


Фиг. 4
Геотермална
бинарна
центра

ГЕОТЕРМАЛНИ РЕСУРСИ В БЪЛГАРИЯ

Страната ни е богата на нископотенциални геотермални находища. У нас има над

840 проучени находища с температура до 103°C в около 140 обекта, **фигури 5 и 6**. Общо в страната са регистрирани 136 броя топли



Фиг. 5 Разположение на хидротермалните ресурси на територията на България

минерални извора с различен дебит и температура. Характерна особеност на термалните ни води е, че те са слабо минерализирани, с малък дебит (0,5 l/s - 478 l/s) и ниска температура (от 20°C до 101,4°C).

Тези характеристики на потенциала преопределят начина на използване на геотермалната вода у нас. Енергийният потенциал на геотермалната вода намира приложение за покриване на здравно-хигиенни нужди, комунално-битови, топлофикационни и промишлени нужди, за климатизация и в селското стопанство. Според проучвания само 18 % от геотермалната енергия на България се използват, а едва 6 % от минералните ни извори са разкрити [Българска геотермална асоциация 2009].

Последните по-сериозни проучвания за оползотворяване на геотермалния потенциал на страната са насочени, както всички досега, единствено към използването им за отопление. Разгледани са два геотермални извора - Сапарева баня [5] и Ерма река [6]. Основен недостатък на отоплителното приложение на геотермалната енергия е ниският коефициент на използване на инсталациите - три-четири месеца годишно. Не са правени проучвания за приложението на ге-

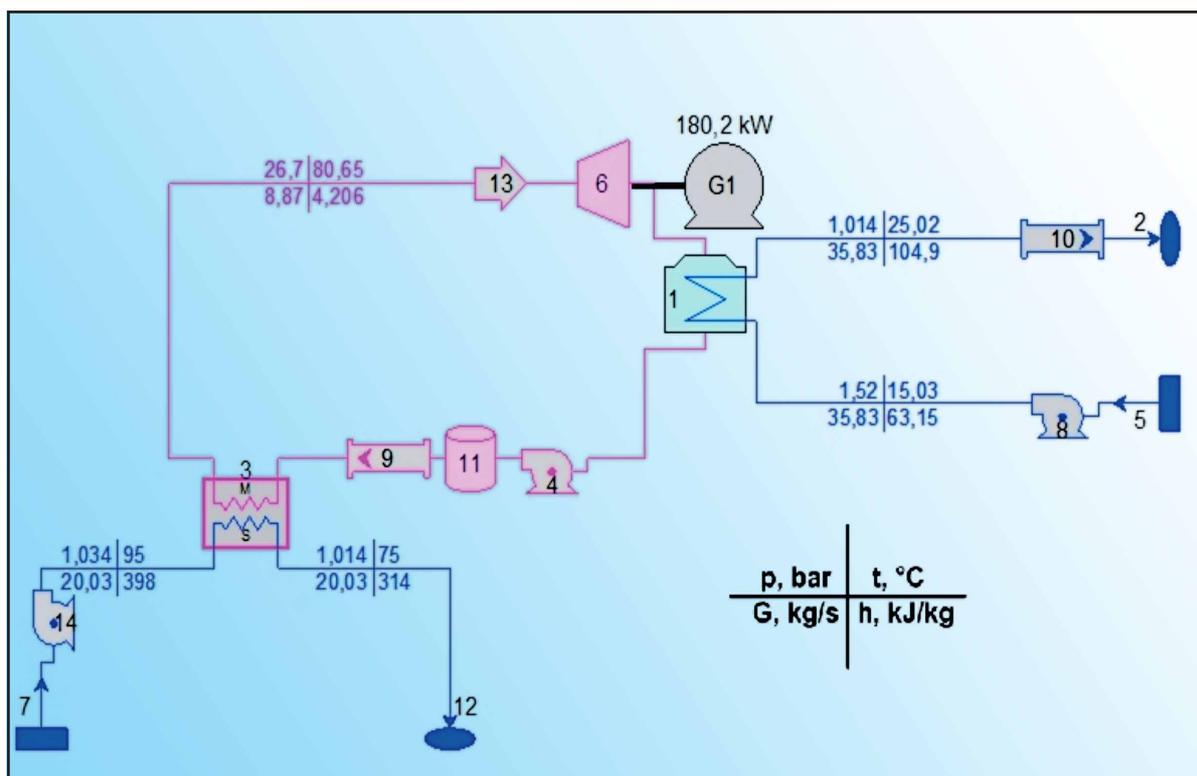
отермалната енергия в електропроизводството. Настоящото изследване има за цел да предложи технология, насочена точно към преодоляване на тази празнота.

Изхождайки от проведените досега проучвания, потенциално подходящи за производство на електрическа енергия, са няколко находища в нашата страна. Те имат следните температури на термалните води:

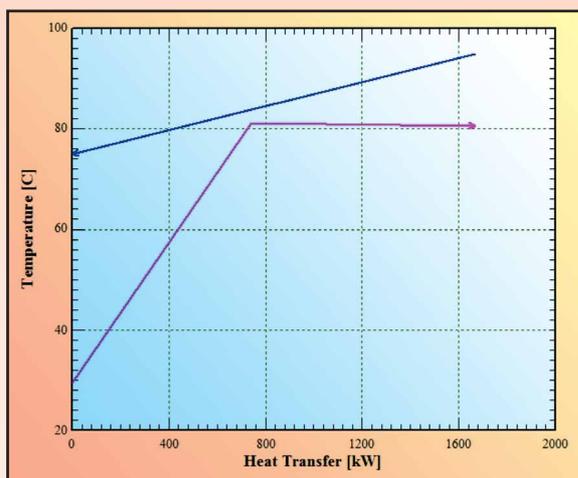
- Сапарева баня - 96°C;
- Ерма река - 89°C;
- Велинград - 77°C;
- Сангански - 75°C;
- Левуново - 85°C;
- Рупите - 85°C.

ТОПЛИННО ПРЕСМЯТАНЕ НА БИНАРНА ГЕОТЕРМАЛНА ТЕЦ С ОРГАНИЧЕН ЦИКЪЛ НА РЕНКИН

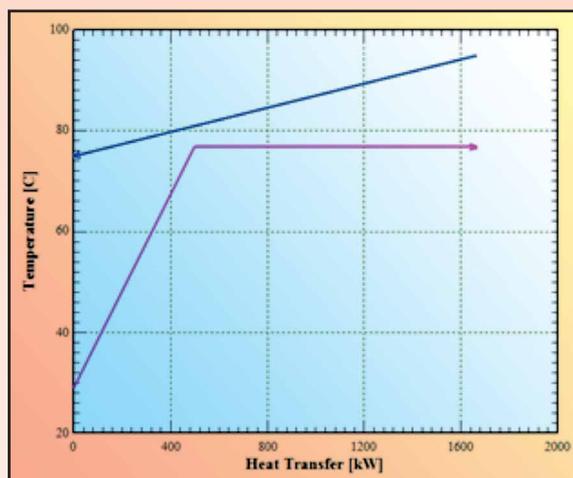
Въз основа на разгледаните технологии и с оглед на геотермалния потенциал на България се извърши топлинно пресмятане на малка бинарна геотермална ТЕЦ с органичен цикъл на Ренкин. Инсталацията се състои от изпарител, в който се подава гореща вода от геотермален източник, тя отдава част от своята топлинна енергия и изпарява флуид с ниска температура на кипене, като след това водата се връща в източ-



Фиг. 6 Модел на бинарна геотермална ТЕЦ в симулационна среда Thermoflex



Фиг. 7 TQ-диаграма на процеса в изпарителя - Вариант 1 (работен флуид $C_2H_2F_4$)



Фиг. 8 TQ-диаграма на процеса в изпарителя - Вариант 2 (работен флуид $C_3H_3F_3$)

		Бинарна геотермална ТЕЦ	
		Вариант 1	Вариант 2
Температура на термалната вода, вход изпарител	°C	95	95
Налягане на термалната вода, вход изпарител	bar	1,034	1,034
Температура на термалната вода, изход изпарител	°C	75	75
Налягане на термалната вода, изход изпарител	bar	1,014	1,014
Дебит на термалната вода	kg/s	20	20
Температура на бинарния флуид, вход изпарител	°C	29,46	29,08
Налягане на бинарния флуид, вход изпарител	bar	27,23	7,344
Температура на бинарния флуид, изход изпарител	°C	80,65	76,37
Налягане на бинарния флуид, изход изпарител	bar	26,7	7,2
Дебит на бинарния флуид	kg/s	8,87	7,52
Температура на охлаждащата вода, вход кондензатор	°C	15	15
Температура на охлаждащата вода, изход кондензатор	°C	25	25
Налягане в кондензатора	bar	7,23	1,7
Дебит на охлаждаща вода	kg/s	35,83	35,77
Електрическа мощност, нето	kW	151,9	155,6
Нетен електрически коефициент на полезно действие	%	9,028	9,257

Табл. 2 Основни параметри на бинарна геотермална ТЕЦ



ника. Изпареният флуид от своя страна се разширява в подходяща турбина, която задвижва електрически генератор. Флуидът след това кондензира и под напора на помпа се връща за повторно изпарение.

Беше създаден математически модел на енергопреобразуващата инсталация, като за целта бе използван специализирания за подобни цели софтуерен продукт Thermoflex на фирмата Thermoflow Inc, **фиг. 6**.

Бяха разгледани два потенциално подходящи работни флуида:

- Тетрафлуороетан ($C_2H_2F_4$) с температура на входа на турбината $80^\circ C$ и налягане 26.7 bar - Вариант 1;
- Пентафлуоропропан ($C_3H_3F_5$) с температура на входа на турбината $76^\circ C$ и налягане 7.2 bar - Вариант 2.

Наляганията на свежата пара са подбрани с оглед постигане на максимален к.п.г. на енергопреобразуването. Дебитът на водата от геотермалния източник е фиксиран на 20 kg/s с температура $95^\circ C$. В изпарителя тя се охлажда до $75^\circ C$ и се връща в геотермалния източник с оглед предотвратяване на изтощаването му. Тази температура е минимално възможната с оглед поддържане на положителен температурен напор във всички части на топлообменника. Процесът в изпарителя е показан в TQ-диаграма, **фигури 7 и 8**.

След синтезиране на двата модела и проведените симулационни изследвания бяха получени следните резултати, **табл. 2**.

ИЗВОДИ

Най-подходяща технология за производство на електроенергия при наличие на нискотемпературен хидротермален източник с относително малък дебит е бинарната геотермална ТЕЦ. За приложението ѝ е важно да се подбере подходящ работен флуид, за да може да се използва най-пълно топлинният потенциал на находището. Двата пресметнати и представени по-горе варианти имат почти еднаква ефективност, но при Вариант 2 налягането на бинарния флуид е значително по-ниско, което предопределя по-ниски масо-габаритни характеристики на съоръженията,

респективно по-ниска цена на оборудването.

Също така основно изискване е да се намери оптималният баланс при експлоатация на находището. Перспективен вариант за нискотемпературно находище е комбинация между изграждане на отоплителна инсталация (която в общия случай е с много голям срок на възвръщаемост на инвестицията) и малка ТЕЦ, която да оползотворява ресурса извън отоплителния сезон. Така би се постигнало максималното му използване и по-бързо възвръщане на инвестицията за изграждане на добивните съоръжения.

Представеното изследване може да послужи при обосновката на проект на изграждане на демонстрационна геотермална ТЕЦ в България.

БЛАГОДАРНОСТИ

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са извършени в изпълнение на работната програма на научно-изследователски проект в помощ на докторанти № 151ПД0011-02 на тема "Математично моделиране на хибридни електроцентрали с възобновяеми енергийни източници" в ТУ-София.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kreith, F., D. Y. Goswami Handbook of Energy Efficiency and Renewable Energy, Taylor and Francis Group, 2007.
- [2] Ghosh, T. K., M. Prelas Energy Resources and Systems, vol. 2 Renewable Resources, Springer, 2012.
- [3] Динкова, В. Геотермална енергия - Решения от недрата на Земята, сп. Енергетика, брой 6, 2012.
- [4] Българска Геотермална Асоциация, Термалните води в България - ресурси и експлоатация 2009.
- [5] COWI, ЕкоПро Консулт - Предварително проучване за изграждане на геотермална отоплителна централа в Сапарева баня, Министерство на Енергетиката и Енергийните ресурси, юни 2005
- [6] COWI, ЕкоПро Консулт - Предварително проучване за изграждане на геотермална отоплителна централа в Златоград на база геотермално находище Ерма река, Министерство на Енергетиката и Енергийните ресурси, юни 2005