

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА PV СИСТЕМИ ЗА БИТОВО ГОРЕЩО ВОДОСНАБДЯВАНЕ

Атанас Иванов Йовков, Силвия Лецковска
Камен Сейменлийски, Радостин Долчинков, Радослав Симионов
Бургаски свободен университет

ENGINEERING ACTIVITIES IN IMPLEMENTATION OF NATIONAL AND EUROPEAN LEGISLATION IN THE FIELD OF ENERGY EFFICIENCY

Atanas Ivanov Yovkov, Silviya Letskovska
Kamen Seymenliyski, Radostin Dolchinkov, Radoslav Simionov
Burgas Free University

Abstract: *This report presents an analysis of the results obtained from a study of the efficiency of photovoltaic systems for domestic hot water supply. The performance of a solar photovoltaic water heating system with direct coupling of a photovoltaic array to a DC resistive heating element is studied and compared with a solar photovoltaic system. The analysis was carried out under the same climatic conditions for both systems.*

Keywords: *PV, Photothermal, Domestic hot water supply, Energy efficiency.*

Въведение

Значителното намаляване на разходите за фотоволтаична (PV) технология през последното десетилетие отвори нов пазар с прости слънчеви системи за нагряване на вода, комбиниращи PV модули и електрически нагревателни елементи с постоянен ток (DC). Публичното изследване показва значителна липса на публикации за фотоволтаичната технология, предназначена само за загряване на вода. От друга страна, съществуват редица патентовани конфигурации на фотоволтаични системи за отопление на вода. Простите фотоволтаични водонагревателни системи с оптимизирано, но фиксирано съпротивление на натоварване на DC резистивен нагревателен елемент не се нуждаят от допълнителен блок за управление [1,2,3,4].

Освен фотоволтаичните системи за нагряване на вода, съществуват конвенционални слънчеви фототермални системи за нагряване на вода, които могат да се считат за зряла технология, въпреки непрекъснатите изследователски дейности. През последните десетилетия затоплянето на вода с използване на фотоволтаично-термични (PV-T) колектори е широко изследвано. Моделирани и тествани са различни конструкции на PV-T колектори и системи. Статията анализира годишната енергийна ефективност на фотоволтаична система за нагряване на вода. Сравнява нейната производителност с конвенционална слънчева система за гореща вода с фототермични плоски колектори, работещи при идентичен товар с гореща вода и климатичните условия. Сравнението на дадени слънчеви системи за нагряване на вода по никакъв начин не отчита икономическите параметри (инвестиционни разходи, цена на енергията, лихвен процент и т.н.), които зависят от страната и областта на приложение [5,6,7].



1. PV и фототермална системи за битово горещо водоснабдяване

Двете изследвани слънчеви системи за загряване на вода са анализирани експериментално. Фототермичната система използва един конвенционален плосък колектора с активна колекторна площ $2,7 m^2$. Фотоволтаичната система е изградена от 6 бр. монокристални PV модула, всеки с пикова мощност 375 Wp. Двете слънчеви системи за загряване на вода са включени към еди и същ слънчев резервоар (обем 100 l, дневни топлинни загуби 1,4 kWh/ден). Основните параметри на слънчевите системи за загряване на вода са посочени в Таблицы 1 и 2. Резервоарът за топла вода (бойлер) има тръбен топлообменник, както и DC нагревателен елемент с номинална мощност 2 kW. Резервоарът за съхранение не е оборудвани с допълнителен резервен нагревател. Ориентацията и наклона на слънчевия колектор и фотоволтаичните модули са еднакви: ориентация 15° на изток (от юг) и наклон 30° . По този начин са осигурени идентични климатични условия за двете тествани системи.

Фотоволтаичните системи за гореща вода, разгледани в анализа, комбинират фотоволтаичните модули за генериране на постоянен ток, който се използва за електрически нагревателни елементи, потопени в резервоара за гореща вода. Фотоволтаичните модули са електрически генератори с нелинейни токово-волтови (I-V) характеристики. Произведената електрическа мощност на PV масива се влияе значително от слънчевата радиация, по-малко от температурата на околната среда, но така или иначе зависи от свързания електрически товар (съпротивление на натоварване). Фигура 1 показва характеристиките на фотоволтаичния масив, сглобен от 8 поликристални модула, свързани последователно с пикова мощност 2 kWp.

ELECTRICAL SPECIFICATIONS			
STC rated output (P_{mp})*	370 Wp	375 Wp	380 Wp
Rated voltage (V_{mp}) at STC	33.98 V	34.28 V	34.51 V
Rated current (I_{mp}) at STC	10.89 A	10.94 A	11.01 A
Open circuit voltage (V_{oc}) at STC	40.75 V	41.05 V	41.34 V
Short circuit current (I_{sc}) at STC	11.35 A	11.42 A	11.49 A
Module efficiency	20.0%	20.3%	20.5%
Rated output (P_{mp}) at NMOT	275.9 Wp	279.6 Wp	283.4 Wp
Rated voltage (V_{mp}) at NMOT	31.68 V	31.96 V	32.18 V
Rated current (I_{mp}) at NMOT	8.71 A	8.75 A	8.81 A
Open circuit voltage (V_{oc}) at NMOT	38.31 V	38.59 V	38.87 V
Short circuit current (I_{sc}) at NMOT	9.13 A	9.19 A	9.24 A
Temperature coefficient (P_{mp})	- 0.34%/°C		
Temperature coefficient (I_{sc})	+0.04%/°C		
Temperature coefficient (V_{oc})	- 0.27%/°C		
Nominal module operating temperature (NMOT)	44±2°C		
Maximum system voltage (IEC/UL)	1500V _{oc}		
Number of diodes	3		
Junction box IP rating	IP 68		
Maximum series fuse rating	20 A		

Фигура 1.

За да се поддържа PV матрицата при условия на максимална изходна мощност, съпротивлението на натоварването трябва да варира и да се адаптира към действителните условия на работа на PV масива. Въпреки този факт, евтините фотоволтаични бойлери, налични днес на пазара, често пропускат всяко MPP проследяващо устройство и използват PV масива, директно свързан към DC електрически нагревателен елемент с фиксирана стойност на съпротивлението на натоварване, оптимизирана от гледна точка на годишната производителност.

Слънчевата фототермална система за топла вода е изпълнена с плосък слънчев топлинен колектор с принудителна циркулация. Основните параметри на слънчевия фототермичен колектор, са показани в Фигура 2.

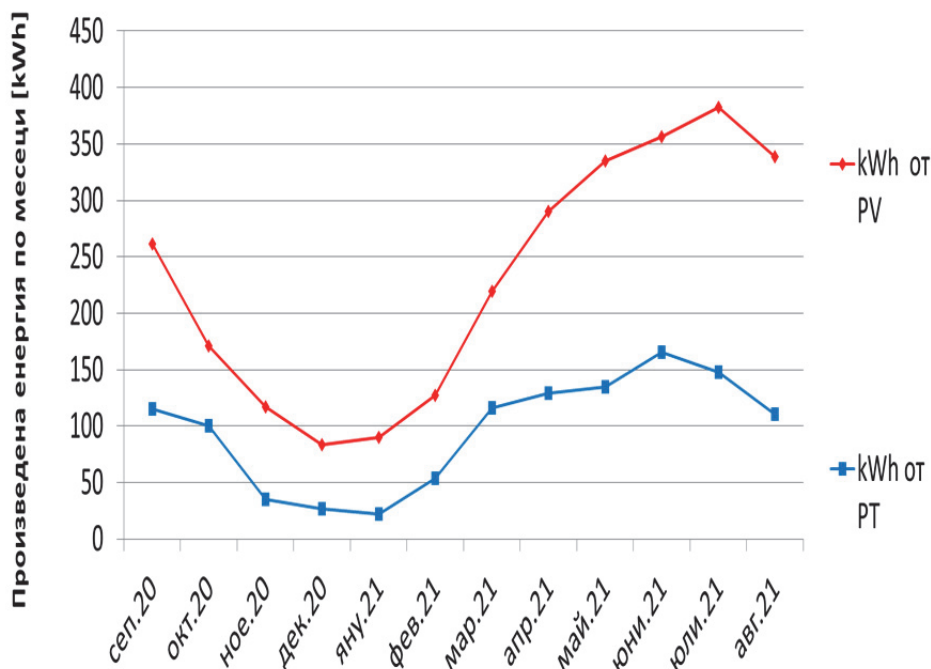
Локация	Средна температура на околната среда [°C]	Общо облъчване на Юг хоризонтално kWh/m ² г.	Общо облъчване на Юг с наклон 30° kWh/m ² г.	Лъчево облъчване на Юг с наклон 30° kWh/m ² г.
Смолян	13.9	1662	1864	1163

Фигура 2.

Дебитът на колекторния контур се счита за 40 l/h.m² колекторна площ. Колекторния контур се състои от медни тръби 18 × 1 mm с обща дължина 30 m, оборудвани с топлоизолация с дебелина 19 mm. Свързан с тръбен топлообменник, потопен в долната част на резервоара за слънчева вода, идентичен с резервоара, използван в PV система за гореща вода. Тръбният топлообменник е с площ 1 m². Номиналният специфичен топлинен капацитет на топлообменника се счита за 170 W/K. Моделът на резервоара за слънчева вода отчита също влиянието на дебита, температурната разлика и средната температура върху топлопреносния капацитет на топлообменника. Докато слънчевата фракция се увеличава с голяма площ на слънчевите колектори, годишните специфични топлинни печалби намаляват. Това се дължи на значителна зависимост на добива на слънчевия колектор от работната температура. По-голямата колекторна площ, осигуряваща по-високи абсолютни енергийни печалби в резервоара за съхранение, води до по-високи средни работни температури на слънчевата система и по този начин по-ниска ефективност на колектора и по-висока загуба на тръбопровода на колектора. Излишните печалби на слънчева топлина през лятото, особено присъстващи при слънчев климат поради големия колектор, водят до по-лоша използваемост на системата и допълнително намаляване на специфичните печалби на топлина.

2. Експериментален анализ

Експерименталните тестове на слънчевите системи започват през септември 2020 г. до края на Август 2021г. Резултатите от експерименталните тестове са показани на Фигура 1 и за двете слънчеви системи за загряване на вода. Годишните топлинни печалби на фототермалната система са 1156 kWh/г. Годишните топлинни печалби на фотоволтаична система са 2770 kWh/г.(Фигура 3).

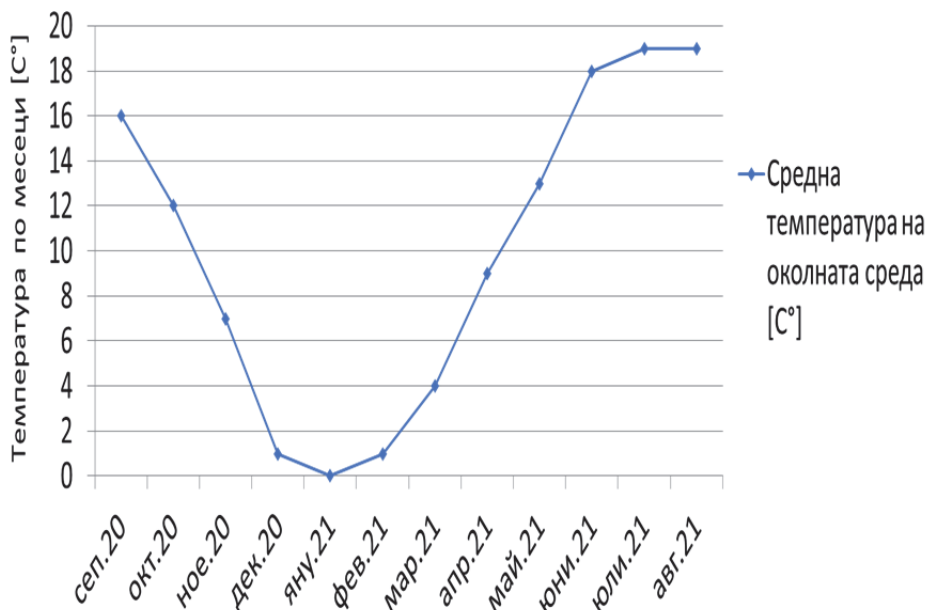


Фигура 3.

И двата изследвани резултата са в съответствие със стойностите, представени графично на Фигура 1, (като се има предвид мощността на фотоволтаичния масив 2,18 kWp) от Фигура 1 и от Фигура 2 (като се има предвид площта на колектора 2,7 m²).

3. Дискусия

Когато се сравнява производителността на слънчевите системи за отопление на вода, общата ефективност на системата може да се приеме като параметър, който показва търсенето на системата от наличната площ на покрива и зависимостта на годишните специфични топлинни печалби от годишното падащо слънчево облъчване за всички изследвани алтернативи (размер, климат). Съотношението на тези количества води до обща ефективност на системата. Фигура 4 показва силното влияние на температурата на околната среда върху производителността на фототермалната система за топла вода. Географското разположение на инсталациите е в гр. Смолян. Характерен с много слънчеви дни, но ниски средногодишни температури.



Фигура 4.

Ефективността на фотоволтаичните водонагревателни системи зависи само от използваемостта на производството на фотоволтаични масиви за отопление на водата. Излишните печалби на топлина през летния сезон, които не могат да бъдат използвани, влошават общата ефективност на системата.

Производителността на слънчевите топлинни системи е много по-зависима от условията на работа. Докато генерирането на електроенергия от PV масива е независимо от температурата на резервоара за съхранение, генерирането на топлина от слънчевия топлинен колектор намалява с температурата на резервоара, тъй като пряко влияе върху работната температура на флуида на колектора и по този начин на топлинните загуби на слънчевия колектор и колекторния контур.

Сравнението на общата ефективност на системата ясно показва, че слънчевата топлинна система изисква около 3 до 6 пъти по-малко покривна площ за отопление на водата, отколкото фотоволтаичната система за отопление на водата.

4. Заключение

Изследвани са слънчеви фотоволтаични системи за нагряване на вода, базирани на директно свързване на фотоволтаична матрица към DC резистивни нагревателни елементи, потопени в резервоар за гореща вода. Оптималната стойност на устойчивостта на фиксирано натоварване зависи от климата, особено от годишното ниво на слънчево облъчване. Общата годишна ефективност на PV системите за отопление на вода е от 35% до 60%. Тези стойности обаче са драстично по-високи от ефективността на слънчевата фототермална система за идентично натоварване с топла вода и климатични условия. Въпреки факта, че ефективността на слънчевата фототермална система се влияе от оразмеряването повече от PV отоплителната система, ефективността



на PV е повече от 2 пъти по-висока. Теоретичният анализ е потвърден чрез експериментални тестове на слънчевите системи за нагряване на вода.

От изследването на двете системи, резултатите показват, че Фотоволтаичната система за топла вода има по-висока производителност от Фототермалната. Сравнението на производителността на двете технологии доказва, че ниската температура на околната среда влияе отрицателно и намалява ефективността на фототермалната система. Динамиката и прецизността на управление на Фотоволтаичната система са много по-високи отколкото при Фототермалната инсталация, поради инертните процеси в нея. Предимство на Фототермална система е, че изисква около 3 до 6 пъти по-малко покривна площ за отопление на водата, отколкото фотоволтаичната система.

Използвана литература:

- [1] A. H. Fannery and B. P. Dougherty, „Photovoltaic solar water heating system,” Tech. Rep., United States Patent 5293447, 1994.
- [2] S. L. Thomasson, „PV water heating system,” Tech. Rep., United States Patent US 20090214195, 2008.
- [3] M. Newman and G. Newman, „Solar photovoltaic water heating system,” Tech. Rep., United States Patent US 20140153913, 2014.
- [4] Eldar Zaerov – USING PEROVSKITE IN THE PRODUCTION OF SOLAR ENERGY, Yearbook BFU 2018, ISSN: 1311-221X, pp.255-260
- [5] Мацанков М., Краткосрочно прогнозиране на електрическите товари, Издателство на ТУ – София 2019 г. ISBN: 978-619-167-357-5
- [6] Мацанков М., М. Иванова, Енергиен одит за изграждане на хибридна система, Известия на ТУ – Сливен, № 1, 2019 г. ISSN 1312-3920, стр. 40 – 43
- [7] Елдар Заеров, ПОВИШАВАНЕ НА ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТТА НА СЛЪНЧЕВИ ПАНЕЛИ С ПЛОСКИ РЕФЛЕКТОРИ, INCREASE SOLAR PANEL PERFORMANCE WITH FLAT REFLECTORS, БСУ - ГОДИШНИК Том XLIV, 2021, с.290-296, ISSN: 1311-221X