

SAT-10.326-1-EEEE-03

Specific features when using energy installations from renewable sources in urban areas

Georgi Dimitrov, Ivan Milenov

Специфични особености при използване на инсталации за добив на енергия от възобновяеми източници в населените места

Георги Димитров, Иван Миленов

Abstract: The report presents the results of research on some specific features related to the use of renewable energy sources (RES) in urban areas. For the purpose of analytical research are used calculating models based on specialized software and Internet-based computing programs. The results of the calculations are presented in tabular and graphical form.

Key words: renewable energy sources, solar installations in urban areas, energy effects.

ВЪВЕДЕНИЕ

Населените места в Република България представляват основен потребител на енергия. Освен като ползватели на енергия тези територии разполагат и със значителен, неизползван към момента, потенциал за производство на енергия от възобновяеми източници /ВЕИ/. От приложимите в практиката ВЕИ, достъпни за използване в населените места са слънчевата, вятърната и отчасти геотермалната енергии. За оползотворяване на тези енергии се изграждат основно следните видове инсталации:

❖ **Фотоволтаични /PV/ инсталации** – При тях слънчевата радиация се преобразува в постояннотокова електрическа енергия от полупроводникови фотоелементи, която чрез инвертори се преобразува в трифазна или еднофазна променливотокова система с промишлена честота 50 Hz.

❖ **Термосоларни инсталации** – Тези инсталации се изграждат чрез използване на различни конструкции слънчеви колектори, които „улавят“ слънчевата енергия и я преобразуват в топлина, използвана най-често за загряване на вода за битово горещо водоснабдяване /БГВ/.

❖ **Вятърни генератори** – Вятърните електрически генератори превръщат кинетичната енергията на вятъра в електрическа енергия.

❖ **Геотермални системи с термопомпи** – Те представляват технологични съоръжения за оползотворяване на геотермалната енергия посредством термопомпени агрегати. Чрез тях се осигурява енергия за отопление и битово горещо водоснабдяване, спестявайки до 70% от разходите в сравнение с традиционните технологии.

У нас в населените места най-удачно се явява използването на слънчевата енергия, тъй като за изграждането на соларни инсталации върху сгради (административни, жилищни, производствени и др.) не се изискват специални разрешителни и обследвания за въздействието им върху околната среда.

В настоящият доклад са представени резултати от проведено аналитично изследване върху възможностите за по-широко използване на слънчевата енергия в населените места, с цел частично задоволяване на енергийните им потребности. Анализирани са и енергийните ефекти от разгледаните технически решения.

1. СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА

Един от начините за рационално използване на енергията от слънцето за частично задоволяване енергийните нужди на населените места, е чрез

инсталиране на фотоволтаични или термосоларни системи върху открити неизползваеми площи на сградите (покриви, козирки, части от фасади и др.), както и адаптиране на такива към други обекти на урбанизираните територии.

За максимално ефективно оползотворяване на енергията, генерирана от слънчевите инсталации е необходимо тя да се консумира веднага. Поради тази причина е важно да се познават режимите на енергийно потребление при различни по функционално предназначение сгради, както и други обекти на градската среда. Въз основа на проведени изследвания са определени часовите интервали с по-ясно изразено енергопотребление на характерни за населените места обекти.

Жилищни сгради - Енергийното потребление при тях основно се осъществява в часовите интервали 6:30÷8:30 часа и 17:30÷21:00 часа, като се наблюдава и лек пик в интервала 13:00÷14:30 часа.

Административни, офисни и промишлени сгради - При тях енергия се консумира основно в часовете между 8:30 и 18:00 часа.

Големи търговски центрове - Енергийно потребление при тези сгради се отличава с относителна равномерност в часовия интервал от 8:00 до 22:00 часа.

Улично и парково осветление - Режимът на енергийно потребление при тези осветителни уредби се характеризира с постоянен товар през тъмната част на денонощието. На годишна база този товар има продължителност ~4400 часа.

От приведените данни се вижда, че при нежилищните сгради режимът на потребление позволява добиваната енергия от слънцето да се използва веднага. При жилищните сгради е целесъобразно произведената от слънцето енергия да се отдава към електроразпределителната мрежа или да се акумулира под формата на топлина чрез загряване на вода за БГВ. Режимът на енергийно потребление на уличното и парковото осветление е точно противоположен на режима на генериране на енергия от слънцето. Енергийните потребности на тези уредби може да се задоволят индиректно, чрез изграждане на множество, адаптирани към градската среда, фотоволтаични инсталации, а произвежданата от тях енергия се продава [1].

2. АНАЛИЗ НА СЛЪНЧЕВИЯ ЕНЕРГИЕН ПОТЕНЦИАЛ И ИНСТАЛАЦИИТЕ ЗА ДОБИВАНЕ НА ЕНЕРГИЯ ОТ СЛЪНЦЕТО

За оценка на годишното слънчево облъчване е използвана интерактивна карта, разработена от Европейската комисия, използваща данни от фотоволтаичната географска информационна система (PVGIS) [4]. Резултатите за месечното среднодневно слънчево облъчване върху хоризонтална повърхност H_h и наклонени под оптимален ъгъл H_{opt} и под ъгъл 45° $H(45^\circ)$ повърхности, за регионите на София-град и град Русе, са показани в таблица 1. Ъгълът от 45° е избран от съображението, че той съответства на максимално разрешеният ъгъл за изграждане на покривни конструкции, а също така е близък по стойност до оптималния за България ъгъл на монтаж на слънчеви колектори за подгряване на вода.

Количеството електрическа енергия E_{PV} в kWh/год., която може да се добие от една фотоволтаична система с инсталирана мощност P_k , kWp, може приблизително да се изчисли по формулата [4]:

$$E_{PV} = 365 \cdot P_k \cdot r_p \cdot H_{h,j}, \quad (1)$$

където:

P_k е пиковата инсталирана мощност на фотоволтаичната система, kWp;

r_p – производителност на PV системата (типична стойност за сградно-интегрирани фотоволтаични системи е 0,75);

$H_{h,j}$ – годишна среднодневна стойност на слънчевото облъчване, kWh/(m².ден).

Количеството топлинна енергия Q_{th} в kWh/год., която може да се добие от една термосоларна система, може да се определи по методиката посочена в [3] отново с използване на данните за слънчевото облъчване (средно дневно или средно месечно) върху хоризонтална H_h повърхност с площ 1 m^2 .

Таблица 1

Месец	H_h , Wh/m ² /ден	H_{opt} , Wh/m ² /ден	$H(45^\circ)$, Wh/m ² /ден	Средна дневна температура, °C
Данни за региона на София-град				
Януари	1480	2230	2380	0.9
Февруари	2230	3040	3160	2.0
Март	3740	4590	4640	7.6
Април	4640	5040	4890	12.8
Май	5490	5440	5110	17.7
Юни	6260	5920	5460	20.9
Юли	6550	6370	5910	23.2
Август	5940	6300	6040	23.8
Септември	4300	5170	5170	19.0
Октомври	3040	4230	4410	13.7
Ноември	1870	2910	3120	8.2
Декември	1310	2060	2210	2.4
Средно за год.	3910	4450	4380	12.7
Данни за региона на град Русе				
Януари	1320	2000	2120	1.1
Февруари	2240	3180	3320	2.6
Март	3920	4940	5010	9.1
Април	5140	5670	5520	14.8
Май	6250	6200	5840	20.3
Юни	6920	6520	6040	23.7
Юли	6950	6720	6280	26.1
Август	6190	6620	6370	26.1
Септември	4430	5440	5450	21.2
Октомври	2950	4210	4390	15.3
Ноември	1680	2640	2820	9.9
Декември	1110	1730	1850	3.0
Средно за год.	4100	4660	4590	14.4

Необходимата енергия за загряване на вода с обем V_w , m³, от дадена начална до съответна крайна температура може да се определи по следната формула:

$$Q_w = \frac{(\rho \cdot c)_w \cdot V_w \cdot (\Theta_w - \Theta_o)}{\eta}, \quad (2)$$

където:

$(\rho \cdot c)_w = 1,161$ е обемно изразеният топлинен капацитет на водата, kWh/(m³·K);

V_w – обем на горещата вода за изчислителния период, m³;

Θ_w – температура на топлата вода, °C – (за изчисленията е избрана $\Theta_w = 60$ °C);

θ_0 – температура на студената вода, °C – (за изчисленията е избрана $\theta_0 = 10$ °C);
 η – коефициент на полезно действие на ел. бойлер – (за изчисленията $\eta = 0,95$).

Значително по-точни енергийни разчети могат да се направят с използване специализираните програмни продукти на фирми Valentin Software GmbH – Германия [5], Vela Solaris AG – Швейцария [6], PVsyst SA – Швейцария [7] и други.

За нуждите на настоящото изследване и с цел съпоставимост на резултатите, разчетите са направени за площ на соларните инсталации от 8 m², която съответства средно на 1 kWp мощност на фотоволтаичните инсталации и 2,5÷2,8 kW_{eff} топлинна мощност при термосоларните инсталации, като същите могат да бъдат мултиплицирани и за по-големи площи.

В таблици 2 и 3 и на фиг. 1 са показани резултати от симулационно изследване, на PV инсталации, изградени с фотоволтаични модули от кристален силиций.

Таблица 2

Годишно производство на електроенергия от фотоволтаична инсталация с PV модули от кристален силиций и мощност 1,00 kWp (обща площ на модулите ~8 m²) за гр. София

Регион София-град	Инсталация с PV модули от кристален силиций, 1kWp						
Географски координати 42° 41' 55" N; 23° 19' 10" E	Годишен добив на електрическа енергия от изградени върху терена/сградно интегрирани, kWh/год.						
Изложение\Ъгъл на монтаж	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
Юг	1100/1050	1120/1060	1140/1070	1150/1080	1150/1080	1140/1080	1130/1060
Изток	992/945	982/934	969/922	954/907	937/890	917/870	894/848
Запад	988/939	976/926	963/912	947/896	929/877	908/857	884/834
Югоизток	1070/1020	1090/1030	1090/1030	1090/1030	1090/1030	1080/1020	1070/1010
Югозапад	1070/1010	1080/1020	1090/1030	1090/1030	1080/1020	1080/1010	1060/996

Загуби в DC кабели и инвертори: 20%

Общи загуби в системата: 29,2% / 33,1%

Оптимален ъгъл на монтаж за посока „Юг“: 33°

Годишен добив от 1 kWp при оптимален ъгъл на монтаж: 1150 kWh / 1080 kWh

Таблица 3

Годишно производство на електроенергия от фотоволтаична инсталация с PV модули от кристален силиций и мощност 1,00 kWp (обща площ на модулите ~8 m²) за гр. Русе

Регион Русе	Инсталация с PV модули от кристален силиций, 1 kWp						
Географски координати 43° 50' 30" N; 25° 57' 50" E	Годишен добив на електрическа енергия от изградени върху терена/сградно интегрирани, kWh/год.						
Изложение\Ъгъл на монтаж	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
Юг	1130/1070	1150/1090	1160/1100	1170/1110	1170/1110	1170/1100	1150/1090
Изток	1020/972	1010/962	995/951	981/937	964/921	945/903	923/882
Запад	1010/968	1000/958	990/946	975/932	957/915	938/897	915/875
Югоизток	1100/1040	1110/1060	1120/1060	1120/1060	1120/1060	1110/1050	1100/1040
Югозапад	1100/1040	1110/1050	1120/1060	1120/1060	1110/1050	1110/1050	1090/1030

Загуби в DC кабели и инвертори: 20%

Общи загуби в системата: 30,5% / 34,3%

Оптимален ъгъл на монтаж за посока „Юг“: 34°

Годишен добив от 1 kWp при оптимален ъгъл на монтаж: 1170 kWh / 1110 kWh

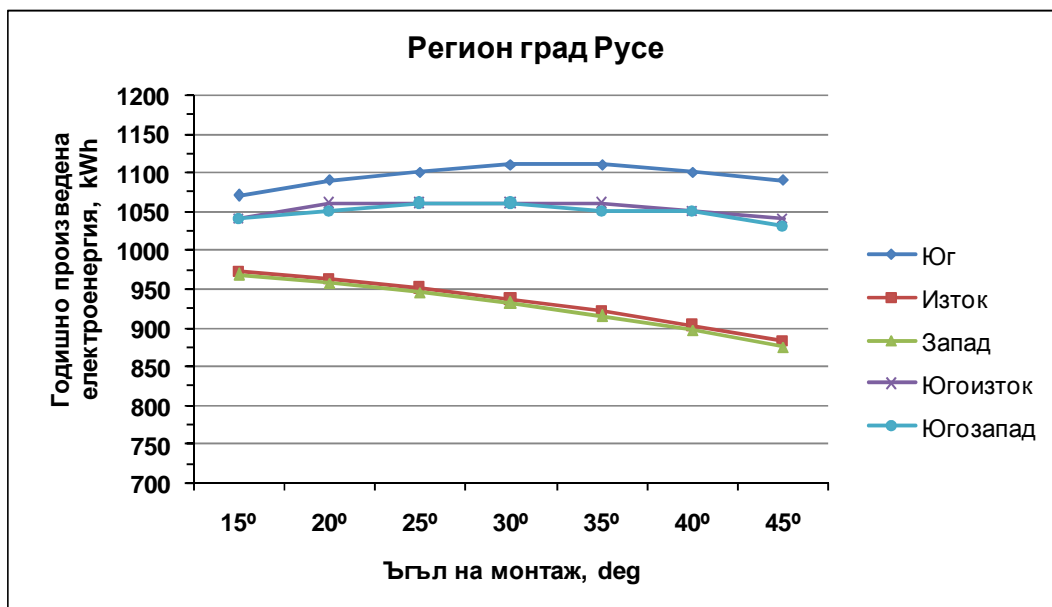
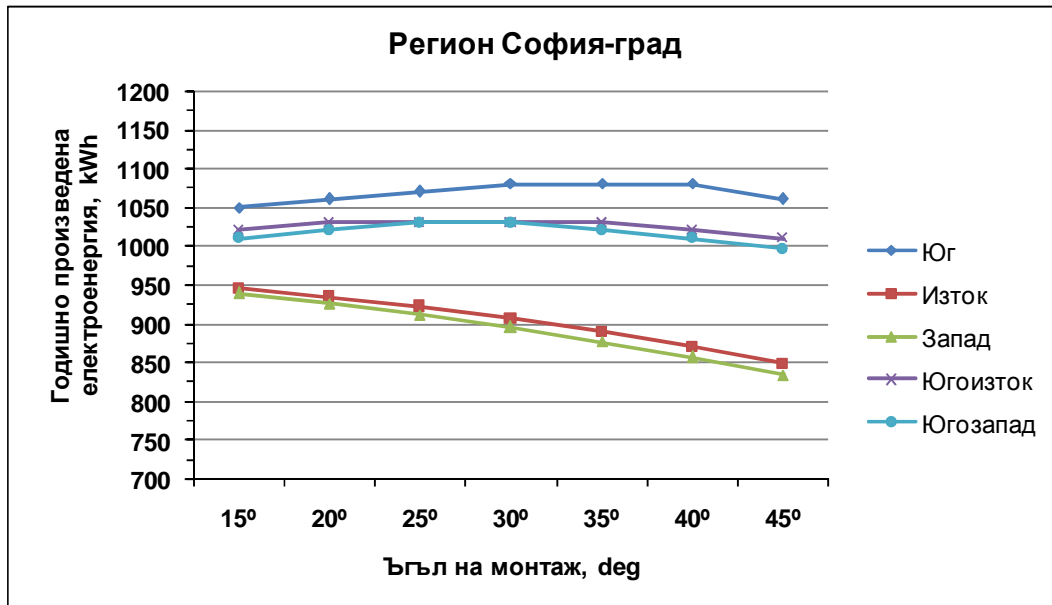
Въз основа на резултатите посочени в таблици 2 и 3 и диаграмите на фиг. 1 може да се направят следните изводи:

- Изграждането на фотоволтаични инсталации насочени в посоки изток и запад е не дотам удачно, тъй като при тях добивът на електрическа енергия е с около 10% по-нисък от оптималния и намалява с увеличаване ъгъла на монтаж. При останалите изложения отклоненията в са в границите 3÷5%.

- При равни други условия, производството на електрическа енергия от фотоволтаични инсталации слабо се влияе от географското им местоположение на територията на Република България (например PV инсталация монтирана в региона

на гр. Русе произвежда на годишна база с около 2÷3% повече електроенергия от идентична инсталация, изградена в гр. София).

- По-високите общи загуби при сградно интегрираните PV инсталации спрямо тези изградени върху терена се дължат на по-високата работна температура на модулите през пролетно-летните месеци, следствие по-лошото им охлаждане.



Фиг. 1. Годишно производство на електроенергия от сградно интегрирани PV инсталации при различни географски изложения и ъгъл на монтаж за регионите на гр. София и гр. Русе.

За проверка достоверността на данните, получени чрез използване на изчислителни модели, е проведено експериментално изследване. За целите на сравнителния анализ са използвани реални данни за произведената електрическа енергия от фотоволтаична инсталация, изградена през 2013 г. към лаборатория „Възобновяеми енергийни източници“ във ВТУ „Тодор Каблешков“. Инсталацията е изградена с 32 фотоволтаични модула Капека НВ105, изработени по хибридна технология от аморфен и микрокристален силиций, и е монтирана върху покрива на една от учебните сгради (Блок 1). Обща мощност на инсталацията е 3,36 kWp.

Модулите са свързани в два стринга по 16 бр., разположени върху източния и западния скат на покрива под ъгъл 26° [2]. Генерираната от PV инсталацията електрическа енергия директно се отдава към сградната електрическа инсталация.

Резултатите от изследването са показани в таблица 4, като данните за реално произведената енергия са осреднени за период от една година.

Таблица 4

Годишно производство на електроенергия от монтирана на покрива PV система с хибридни модули от аморфен и микрокристален силиций и мощност 3,36 kWp (2x20 m²)

PV система с хибридни модули – аморфен и микрокристален силиций 3,36 kWp						
Параметри	Резултати от изчислителния модел			Реално произведена електроенергия		
Географско изложение	Стринг 1 Изток	Стринг 2 Запад	Общо	Стринг 1 Изток	Стринг 2 Запад	Общо
Ъгъл на монтаж	26°	26°		26°	26°	
Инсталирана PV мощност, kWp	1,68	1,68	3,36	1,68	1,68	3,36
Годишен добив на ел. енергия, kWh/год.	1457	1412	2869	1411	1373	2784
Относителен дял на общите загуби в PV системата, %	32,4	33,1	32,8 (средно)	н.д.	н.д.	33,6 (средно)

Анализът на данните в таблица 4 показват разлика между симулацията и действително произведената енергия от около 3÷4%. Това отклонение е напълно приемливо, тъй като симулационният софтуер използва статистически бази от данни и не може да отчете реалните колебания на всички влияещи фактори.

В таблица 5 са показани резултати от симулационно изследване за енергийния ефект от използване на термосоларни инсталации. Изчисленията са проведени за инсталации изградени с плоскопанелни и вакуумнотръбни колектори с площ 8 m² при следните зададени параметри за потреблението: брой домакинства - 3 (10 лица) и среднодневно потребление на гореща вода (60°C) от едно лице 0,040 m³/ден.

Таблица 5

Годишен добив на енергия от монтирана на покрива термосоларна инсталация с плоскопанелни/вакуумнотръбни колектори (обща площ 8 m²)

Тип и площ на колектора	Плоскопанелен/вакуумнотръбен слънчев колектор с площ 8 m ²					
Регион	София-град			Русе		
Географско изложение	Юг	Югоизток	Югозапад	Юг	Югоизток	Югозапад
Ъгъл на монтаж	43°	30°	40°	44°	35°	40°
Годишен добив на енергия, kWh/год.	4000/4490	3500/4010	4130/4620	4560/5070	4350/4890	4650/5275
Дял на термосоларната система в енергията за БГВ, %	58/69	53/61	63/66	65/70	64/68	66/72

- Годишният добив на енергия (в случая топлинна) от термосоларни инсталации е около 3,5÷4,5 пъти по-висок от този на фотоелектричните инсталации.

- Географското местоположение и специфичните за региона климатични условия, влияят съществено върху добива на енергия от термосоларни инсталации.

5. ОСНОВНИ ИЗВОДИ

От проведеното изследване върху възможностите за по-широко използване на ВЕИ в населените места и в частност на слънчевата енергия, могат да се направят следните изводи:

- Фотоволтаичните инсталации могат да се използват успешно при общественно-обслужващите и промишлените сгради, тъй като при тях може лесно да се обвърже генерирането на електроенергия от соларните системи с нейното непосредствено потребление в тях. Технически това може да се реализира чрез присъединяването им към разпределителните електрически табла на тези сгради с използване на специализирани за целта контролери.

- При жилищните сгради с ниско и средно застрояване (сгради до пет етажа) много добри енергийни резултати се получават при използване на термосоларни системи за загряване на вода за битово горещо водоснабдяване. Според броя на домакинствата в тях, тези инсталации могат осигурят от 35÷65% от годишната енергия необходима за БГВ.

Като перспективно решение за задоволяване енергийните потребности за улично и парково осветление може да се разглежда и изграждането на фотоволтаични инсталации, архитектурно и инженерно адаптирани към териториите на населените места. Енергията произведена от тези PV централи през деня ще се подава към електроразпределителната мрежа ниско напрежение, като целта е балансът произведена-използвана електрическа енергия на годишна база да клони към нула [1]. За практическото реализиране на такива проекти е необходимо да се промени регулаторната рамка на КЕВР, която да даде възможност на общините чрез малки PV инсталации с мощност 15÷50 kWp да произвеждат и продават електрическа енергия през енергийната борса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Усвояването на енергийните ресурси, предоставени от възобновяемите енергийни източници, е средство за достигане на устойчиво енергийно развитие на регионите и минимизиране на вредните въздействия върху околната среда от дейностите в енергийния сектор. За постигане на по-значими резултати в тази насока е необходима промяна в редица нормативни документи, с цел стимулиране на инвестициите за изграждане на малки соларни инсталации за задоволяване индивидуалните енергийни потребности на различни обекти в населените места.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Василев Х., В. Георгиев, Презентация на проект „LED улично осветление с нулеви енергийни разходи”, ФНТС - 29.02.2016 г., София.
- [2] Миленов И., В. Димитров, Фотосоларна инсталация за научноизследователски цели, Научно списание „Механика, Транспорт, Комуникации”, бр. 3, том 11, 2013, ISSN 1312-3823.
- [3] Наредба № 7 от 2004 г. за енергийна ефективност на сгради, Министерство на регионалното развитие и благоустройството, посл. изм. ДВ. бр. 27, 31, 35 и 90 от 2015 г.
- [4] JRC European Commission, Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>.
- [5] Onlinerehner für Photovoltaik und Solarthermie Simulation, Valentin Software GmbH, Germany, <http://www.valentin.de/>.
- [6] Polysun – Simulation Software, Vela Solaris AG, Switzerland, <http://www.velasolaris.com>.
- [7] PVsyst user's manual, PVsyst SA, Switzerland, 2014, <http://www.pvsyst.com>

За контакти:

Ас. инж. Георги Димитров, катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане на транспорта”, Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”, тел.: 02 9709 374, GSM: 087 8898788, e-mail: dimitrov_gd@mail.bg

Проф. д-р инж. Иван Миленов, катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане на транспорта”, Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”, тел.: 02 9709 421, GSM: 088 8995286, e-mail: milenov55@abv.bg