

**ФАКТОРИ, ВЛИЯЕЩИ ВЪРХУ ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТТА
НА ФОТОВОЛТАИЧНИТЕ ЦЕНТРАЛИ
(НАУЧНА СТУДИЯ)**

доц. д-р инж. Силвия Лецковска, доц. д-р инж. Камен Сейменлийски
инж. Радослав Симионов
Бургаски свободен университет

**FACTORS AFFECTING THE PRODUCTIVITY
OF PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS
(SCIENTIFIC STUDY)**

Assoc. Prof. Eng. Silviya Letskovska, Assoc. Prof. Eng. Kamen Seimenliyski
Eng. Radoslav Simionov
Burgas Free University

Abstract: *Solar energy production has many advantages. The construction of a solar plant is relatively quick, the photovoltaic modules are characterized by easy installation and connection. It is not difficult to match the location of a solar power plant with the infrastructural characteristics of a given area. An advantage of modular solar power generation capacities over traditional power plants is their ability to be expanded step by step in accordance with the increase in consumption. Photovoltaic plants do not pollute the air and water and preserve the ecological balance in nature.*

Despite the many advantages, conventional type photovoltaic plants also have a number of disadvantages, the most significant of which are short production times based on day length and long periods of decline in production based on seasonal changes. These shortcomings have a significant impact on the efficiency of production and, despite the preferential prices for purchasing the produced electrical energy, in some cases significantly reduce the effect of applying such technologies for energy extraction from renewable energy sources. The study of some of these processes is the subject of the present publication.

Key words: *Conventional type photovoltaic plants, solar plant, PV-System, seasonal changes.*

Резюме

Производството на слънчева енергия има много предимства. Изграждането на една слънчева централа става сравнително бързо, фотоелектрическите модули се отличават с лесен монтаж и свързване. Не е трудно да се съобрази местоположението на една слънчева електроцентрала с инфраструктурните особености на даден район.

Предимство на модулните слънчеви електрогенериращи мощности пред традиционните електроцентрали е възможността им да се разширяват поетапно в съответствие с нарастването на консумацията. Фотоволтаичните централи не замърсяват въз-

духа и водите и запазват екологичното равновесие в природата. Въпреки многото предимства, фотоволтаичните централи от конвенционален тип имат и редица недостатъци, най-съществения от които е краткото време на производство на база на дневната продължителност на слънчевото греене и продължителни периоди на спад в производството на база на сезонни изменения. Тези недостатъци оказват съществено влияние върху ефективността на производството и въпреки преференциалните цени за изкупуване на произведената електрическа енергия в някои случаи намаляват значително ефекта от прилагането на такива технологии за добив на енергия от възобновяеми енергийни източници. Изследването на част от тези процеси е обект на настоящата студия.

Въведение

През последните години учените от цял свят са насочили усилия към разработването и реализирането на технологии за добив на енергия от така наречените „възобновяеми източници“. Слънчевата енергетика е клон на науката и технологиите, който разработва научните основи, методите и техническите средства за използване на енергията на слънчевата радиация на Земята и в космоса за производство на електрическа, топлинна или други видове енергия и определя областите и мащабите на ефективното използване на слънчевата енергия. За фотоволтаичните електрически централи, които се предвижда да бъдат изградени върху покривни и фасадни конструкции, преференциалните цени за изкупуване на произведената електрическа енергия са определени с Решение № Ц-17/01.07.2022 г. на КЕВР за периода 01.07.2022 г. ÷ 30.06.2023 г. (Табл. 1).

Таблица 1.

Цена и елементи на цената	лв./MWh (без ДДС)	%
ФтЕЦ с инсталирана мощност до 5 kWp, монтирани на покриви и фасади		
Цена, в т.ч.	201.35 лв.	100.00%
за експлоатационните разходи	36.88 лв.	18.32%
за разходи за амортизации	109.48 лв.	54.37%
за възвръщаемост	54.99 лв.	27.31%
ФтЕЦ с инсталирана мощност над 5 kWp до 30 kWp, монтирани на покриви и фасади		
Цена, в т.ч.	168.24 лв.	100.00%
за експлоатационните разходи	26.84 лв.	15.95%
за разходи за амортизации	94.15 лв.	55.96%
за възвръщаемост	47.25 лв.	28.09%

С Решение № Ц-17/01.07.2022 г. КЕВР утвърди цена в размер на 5,26 лв./MWh без ДДС, за достъп до електропреносната мрежа за производители на електрическа енергия от възобновяеми източници с динамично променяща се генерация (слънчева и вятърна енергия), присъединени към електропреносната и електроразпределителните мрежи.

На 01.07.2022 г. с решение № Ц-19/01.07.2022 г. на КЕВР бяха утвърдени окончателни цени в сектор „Електроенергетика” за новия регулаторен период 1.07.2022÷30.06.2023 г.

След отчитане на всички ценообразуващи елементи и при прилагане на методиката за ценообразуване, средно претегленото увеличение на цената на електроенергията за потребителите на регулиран пазар за цялата страна достигна 8,00%.

В решението е утвърдена цена за „задължения към обществото“ в размер на 0,00 лв./MWh без ДДС, приходите от която се събират от фонд „Сигурност на електроенергийната система“ /ФСЕС/.

В тази цена са включени разходите по изкупуването на електрическата енергия от производители от възобновяеми енергийни източници, които продават на преференциални цени, разходите по изкупуване на енергията от когенерация и разходите по дългосрочните договори.

В решението на регулатора за цената на електроенергията от 1.07.2022 г. са отчетени няколко значими фактора, които са настъпили след извършените предварителни разчети и са довели до промени – основната причина за повишението на цените на електроенергията са повишените разходи на фонд „Сигурност на електроенергийната система“ за компенсиране на електроенергията, произвеждана от топлофикационните станции и заводските централи.

Причината за нарасналите разходи на тези енергийни дружества са повишените цени на закупуването от тях първично гориво – природен газ, както и на въглеродните емисии.

Съгласно действащото законодателство с решението на КЕВР прогнозната пазарна цена за базов товар от 1.01.2022 г. се измени от 293,37 лв./MWh на 430,94 лв./MWh.

В Табл. 2. са показани цените на електрическата енергия по групи производители.

Таблица 2.

Електрическа енергия, произведена от	Цена (лв./MWh)
Слънчеви централи	395,67
Вятърни генератори	440,21
Водоелектрически централи с инсталирана мощност до 10 MW	381,23

Република България, като член на ЕС, съобразявайки се с Протокола от Киото, последователно въвежда различни дългосрочни стимули и преференции за използването на възобновяемите енергийни източници (ВЕИ).

1. Системи за производство на електроенергия от PV системи

Има няколко основни вида системи за запазване чрез слънчева енергия. Първият вид са самостоятелните системи (*PV Stand-Alone System*).

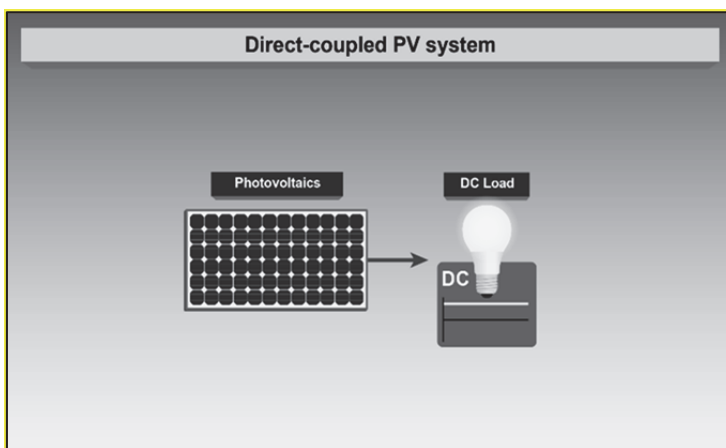
Самостоятелните системи, както подсказва названието им, са енергийни системи, проектирани да работят независимо от мрежов източник на електроенергия. Тези системи могат да се запазват от различни енергийни източници: вятър, вода, слънце, геотермална енергия или от изкопаеми горива и обикновено съдържат някаква форма на технология за съхранение на енергия. Тези системи са проектирани да работят на място, на което да използват наличните енергийни източници [1].

Това е важно особено за отдалечени места без връзка с мрежата или за места, където самата мрежа по своята същност е ненадеждна. Самостоятелните системи могат да са директно свързани с консуматора или да имат акумулаторна батерия.

Самостоятелните фотоволтаични системи са добър вариант на дистанционни станции за зареждане на електрически превозни средства, т.к. тези превозни средства се използват все повече през последните години.

Най-простият тип самостоятелна фотоволтаична система е директно свързана система, при която DC изходът на фотоволтаичния модул или масив е директно свързан към DC товар (Фиг. 1).

Тъй като няма съхранение на електрическа енергия (батерии) в директно свързаните системи, товарът работи само по време на слънчева светлина, което прави тези конструкции подходящи за обичайни приложения като вентилационни вентилатори, водни помпи и малки циркулационни помпи за слънчеви термални системи за отопление на вода.



Фиг. 1. Фотоволтаичен модул, директно свързан към товар.

Създаването на акумулаторни батерии с увеличен капацитет и преносимост на база на технологии, базирани на литий, създава условия самостоятелните системи да се разглеждат като подобни на мини-мрежи. Тези системи, по същество самостоятелни, които работят като мрежа, могат да осигуряват енергия от множество източници за общност, отделена от мрежата.

Това вероятно в бъдеще ще намира все по-голямо приложение, тъй като отчитането на неблагоприятното въздействие на изкопаемите горива върху околната среда

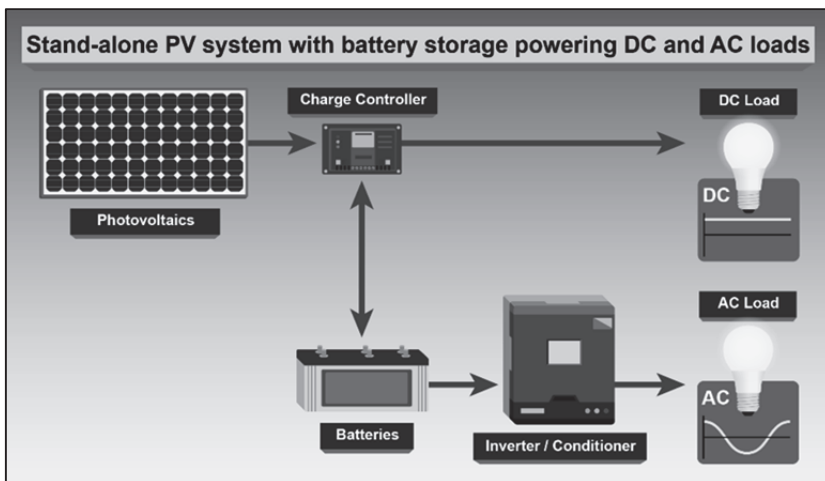
и нарастващите разходи за електроенергия водят да това самостоятелната фотоволтаична система да се доказва като по-евтина алтернатива.

Концепцията за мини мрежи е от голямо значение, тъй като означава, че цели общности могат да се захранват автономно. Това, което е по-важното обаче, е възможността цели квартали или малки населени места, които в момента са свързани към традиционната мрежа, да се отделят и да работят независимо използвайки фотоволтаична, вятърна, геотермална или водна енергия, където е възможно, с връзка към мрежата като резервно захранване, увеличавайки надеждността на системата.

В много самостоятелни фотоволтаични системи батериите се използват за съхранение на енергия.

Скоросен пример за преход към мини мрежи на квартали, свързани с мрежата, е опитът на AusNet за изключване на четиринадесет сгради в предградие на град Мелбърн и осигуряване на енергия единствено чрез съоръжения за съхранение на енергия от фотоволтаици в батерии, с намерението да се демонстрира функционално самообслужване на поддържаща мини мрежа – Фиг. 2 [1].

Много села в Централна Европа са станали напълно независими от електрическата мрежа чрез „общностна слънчева енергия“, финансов инструмент, в който самата общност инвестира в разполагане на слънчева, вятърна и акумулаторна енергия, за да осигури своите енергийни нужди, независимо от мрежата. Това се оказва много успешно в региони в Германия, където много от търговците на електроенергия се концентрират с непреодолимото нарастване на енергията, добита от слънчевата и вятърната енергия.



Фиг. 2. Самостоятелна фотоволтаична система с акумулаторна батерия.

Вторият вид система (*PV System with Battery*) осигурява електрозахранване и при липса на слънчева радиация, тъй като тази система има акумулатор и зарядно устройство. Акумулаторите осигуряват възможности за пълно разреждане и консумация на сравнително малък ток продължително време.

Съществуват разновидности без и с инвертор, като най-подходящи са оловните и никел-кадмиевите акумулатори. Тези системи имат разнообразно приложение: за осветление на дворове и градини; на знаци и информационни табла по пътищата; за от-

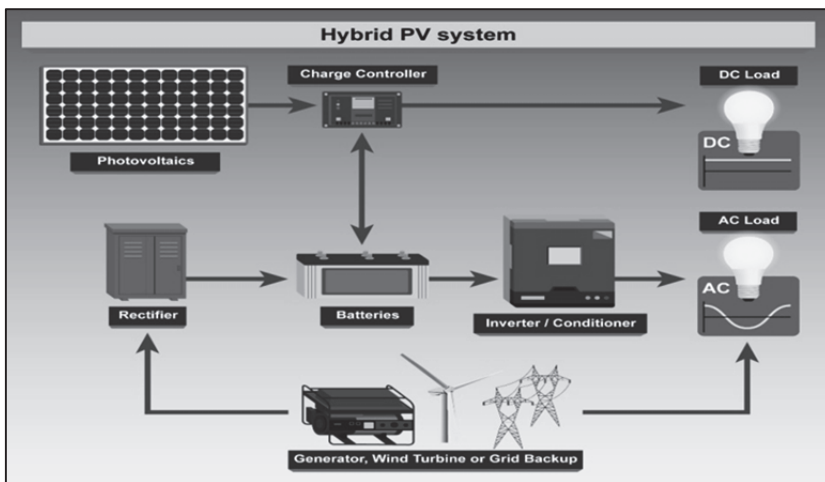
далечени места – вили, хижи; за маломощни радио-, телевизионни и GSM предаватели; за междинни станции на комуникационни мрежи.

Батериите на фотоволтаичните системи са подложени на чести процеси на зареждане и разреждане [2]. Оловно-киселинната батерия с дълбоко разреждане обикновено се използва за фотоволтаични приложения. Оловно-киселинните батерии тип гел се използват за места, където се изисква работа без поддръжка.

За преносими приложения се използват никел-кадмиеви или никел-метални хидридни батерии. Животът на батериите варира от 3 до 5 години. Продължителността на живота зависи от циклите на зареждане/разреждане, температурата и от други параметри.

Батериите за фотоволтаични приложения трябва да бъдат проектирани да отговарят на следните характеристики: ниска цена; висока енергийна ефективност; дълъг живот; лесна поддръжка, здрава конструкция; добра надеждност и по-малко саморазреждане; широк диапазон на работната температура.

Фотоволтаичните самостоятелни или хибридни системи за генериране на електроенергия трябва да съхраняват електрическата енергия в батерии по време на слънчево греене, за да осигурят непрекъснато захранване на товара при различни условия на околната среда. Ефективността на фотоволтаичната система зависи от дизайна на батерията и работните условия и поддръжката на батерията.



Фиг. 3. Хибридна система с дизелов двигател.

Третият вид са системите с генератор, които освен акумулатор имат генератор с дизелов двигател, който се включва се автоматично при разреждане на акумулатора [2].

В световен мащаб има изолирани райони, където достъпът до електрическа мрежа е твърде скъп. Малки и средни дизелови генератори се използват за осигуряване на електрическа енергия в тези изолирани райони.

Дизеловите генератори имат ниска първоначална цена, но високи разходи за експлоатация и поддръжка. Дизеловият генератор замърсява околната среда, като произвежда 3 kg CO₂ газ за всеки литър дизелово гориво (Фиг. 3).

Разновидност са хибридните системи, обикновено с по-голяма мощност, в които генераторът се включва при повишаване на консумацията дори през деня.

Последният, вероятно най-масово използван вид са системите, свързани към електрическата мрежа (*PV Connected to Utility Grid*).

Фотоволтаичната система, свързана с мрежата, е тази, при която фотоволтаичните панели или масив са свързани към електрическата мрежа чрез инверторен модул, което им позволява да работят паралелно с електрическата мрежа. Те не само ползват енергия от мрежата при недостатъчна слънчева радиация, но могат да ѝ доставят такава срещу заплащане, като задължително използват инвертори.

Пример затакава система е StecaGrid500, която работи с фотоволтаични панели с максимална мощност 625 W и осигурява напрежение 220 V. Възможно е и съвместно свързване на няколко инвертора за осигуряване на мощност до 3,9 kW.

Свързаните към електрическата мрежа интерактивните фотоволтаични системи са проектирани да работят паралелно и взаимно свързани с нея. Основният компонент в свързаните към мрежата фотоволтаични системи е инверторът или блокът за кондициониране на мощността (PCU). PCU преобразува постояннотоковото захранване, произведено от фотоволтаичната матрица, в променливотоково захранване в съответствие с изискванията за напрежение и качество на захранването на електрическата мрежа и автоматично спира захранването на мрежата, когато електрическата мрежа не е захранена. Създава се двупосочен интерфейс между изходните вериги за променлив ток на фотоволтаичната система и електрическата мрежа, обикновено на разпределителен панел на място или обслужващ вход.

Това позволява променливотоковото захранване, произведено от фотоволтаичната система, да доставя електрически товари на място или да захранва мрежата, когато изходът на фотоволтаичната система е по-голям от търсенето на натоварване на място.

През тъмната част на денонощието и по време на периоди, когато електрическите натоварвания са по-големи от изхода на фотоволтаичната система, балансът на мощността, необходим за натоварванията, се получава от производителя на енергията. Тази функция за безопасност се изисква във всички свързани към мрежата фотоволтаични системи и гарантира, че фотоволтаичните системата няма да продължи да работи и да се връща обратно в електропреносната мрежа, когато мрежата е изключена за обслужване или ремонт [3].

Основното предимство на свързаната към мрежата фотоволтаична система е нейната простота, относително ниски разходи за експлоатация и поддръжка, както и намалени сметки за електроенергия. Недостатъкът обаче е, че трябва да се инсталират достатъчен брой слънчеви панели, за да се генерира необходимото количество мощност.

Тъй като системите, свързани с мрежата, вкарват своята слънчева енергия директно обратно в мрежата, скъпите резервни батерии не са необходими и могат да бъдат пропуснати в повечето проекти, свързани с мрежата. Също така, тъй като този тип фотоволтаична система е постоянно свързана към мрежата, консумацията на слънчева енергия и изчисленията на размерите на слънчевия панел не са необходими, което дава широк набор от опции, позволяващи например, система от едва 1,0 kWh, монтирана на покрива, да спомогне за намаляване на сметките за електроенергият или много по-голям масив, монтиран на земя, да елиминира напълно сметките за електричество [4, 5].

През последните години обаче броят на домовете, захранвани със слънчева енергия, свързани към местната електрическа мрежа, се е увеличил драстично. Тези фотоволтаични системи, свързани към мрежата, имат слънчеви панели, които осигуряват

част или дори повечето от нужди от енергия на дома през деня, като същевременно са свързани към местната електрическа мрежа през нощта.

Предимство на тънкослойната технология за производство на фотоволтаични панели е ниската им цена. Освен това, при този тип панели се наблюдава малък спад на производителността при нагриване, те работят отлично при разсеяна светлина.

При същите условия фотоволтаичните панели с кристална структура са ниско ефективни, независимо че максималната им производителност за единица площ е до два пъти по-висока от тази на некристалните модули. Затова кристалните силициеви модули се използват в съчетание с насочващи ги към слънцето системи и допълнително охлаждане, което оскъпява инсталациите.

Тези особености на различните видове фотоволтаични панели трябва да се отчитат, като за всеки фотоволтаичен проект е необходимо да се формулират оптимални технически и инвестиционни решения [6, 7, 8, 9].

Фотоволтаичните системи може да са предназначени за самостоятелно хранване без акумулатори. Тези тип системи са подобни на тези за отдаване на електричество, с тази разлика, че не позволяват връщане на енергия в мрежата. Това се постига чрез добавяне на допълнително устройство към инвертора, което ограничава връщането на енергия в случаите, когато има голямо производство на енергия от фотоволтаичните и малка консумация от електрическите уреди [10, 11].

При фотоволтаични системи с превключване между два източника консуматорите се хранват основно с енергия от панелите. Ако тя не е достатъчна, се добавя енергия и от акумулатори.

Ако инверторът бъде претоварен или зарядът на акумулаторите падне под определено ниво, системата автоматично превключва към външна мрежа (в случай, че такава е налична). Системата изчаква претоварването да отпадне или акумулаторите да възстановят заряда, след което обратно превключва на хранване от инвертора. Оставен е малък запас от енергия, който може да се ползва като UPS функционалност за ограничено време в зависимост от натоварването на системата.

Постигането на максимално количество произведена електроенергия зависи от правилния подбор на типа фотоволтаичните панели. От значение са:

- Технологията на производство на фотоволтаичните панели;
- Доброто съотношение между общата и дифузната слънчева радиация за конкретно географско място;
- Спектралните енергийни характеристики;
- Вземането на решение относно необходимостта от използване на концентратори на слънчевата светлина.

При изграждане на електрическа централа, предназначена единствено за производство и продажба на електроенергия, акумулаторната батерия би могла да отсъства. Обикновено системата включва батерия с малък капацитет, която осигурява непрекъсваемо оперативно напрежение.

При слънчевите централи товарът на постоянноковите шини се интерпретира като собствени нужди на централата. В този случай не е необходимо инверторът да е обратим. Поставят се обаче много по-сериозни изисквания към качеството на променливотоковата електроенергия, която той осигурява.

Направените пазарни прогнози свидетелстват, че в бъдеще броят на фотоволтаичните системи по покривите и фасадите на сградите непрекъснато ще се увеличава [12, 13, 14].

Когато консумацията е малка и има достатъчно слънчева светлина, енергията от фотоволтаичните панели ще се отдава в електрическата мрежа, а в часовете на върхово потребление ще се консумира енергия от мрежата. През нощта инверторът, работещ в изправителен режим, ще осигурява подзаряд на батерията. Техническите проблеми, възникващи при работа на голям брой подобни маломощни разпределени генератори, в момента са обект на сериозно изследване [15, 16, 17].

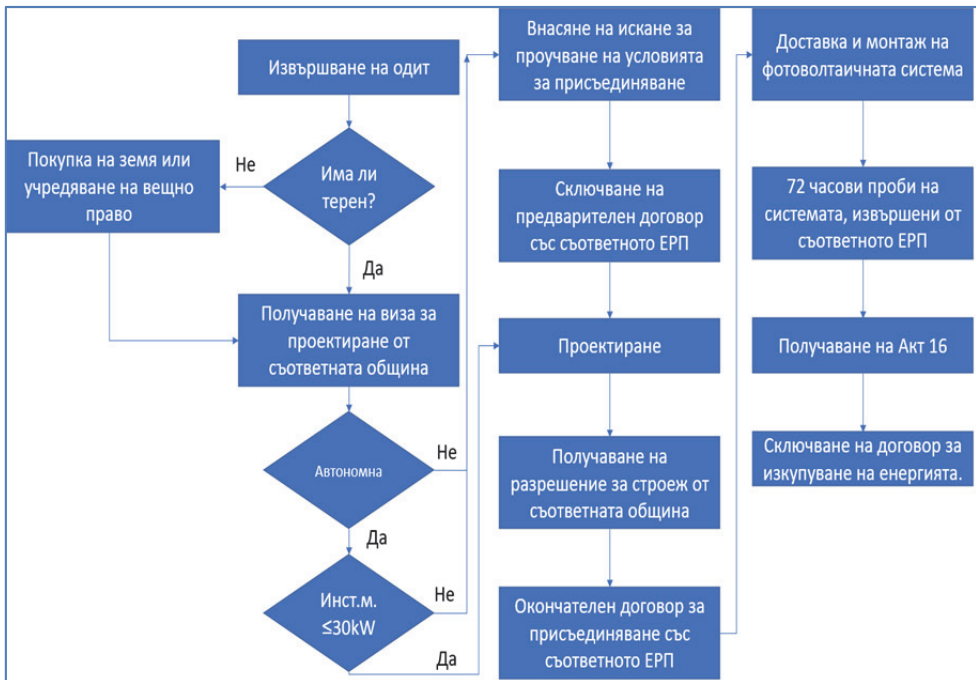
От особена важност е да бъдат оптимизирани не само на енерготехническите, но и инвестиционно-икономическите параметри на всеки проект. Затова такива проекти се разработват в четири фази.

II. Алгоритъм за изпълнение на фотоволтаични проекти

2.1. Техническа оценка

При извършване на този вид оценка трябва да бъдат изяснени основни въпроси, свързани с:

- Вида на проекта;
- Източниците на финансиране;
- Факторите, ограничаващи изпълнението на проекта;
- Очакваното количество генерирана електрическа енергия.



Фиг. 4.

При тази оценка е особено важен резултата от слънчевия одит (Фиг. 4).

Първата фаза изисква анализ и сравнение на количеството на слънчевата радиация за място с определени географски координати с известни многогодишни статис-

тически данни за слънчевото греене в дадения район. Това е т.н. слънчево енергиен одит (Соларен одит).

За целта се вземат под внимание данните за средногодишното количество на слънчево греене за България и средногодишния ресурс на слънчевата радиация.

Другите фактори, влияещи в най-голяма степен на количеството произведена електрическа енергия са наклона на фотоволтаичните модули и тяхната ориентация. Тези фактори не бива да се считат за маловажни, защото именно те се вземат под внимание при монтажа на фотоволтаичните панели. От тях до голяма степен зависи дали и колко електроенергия ще произведа фотоволтаичната електроцентрала. Тези параметри са различни за различните географски ширини.

Спектралният състав на слънчевото греене и интензивността на всяка отделна честотна лента от слънчевите лъчи (вълни) имат съществено значение за оптималния избор на фотоволтаичните панели. Не по-малко важно е да се определи прозрачността на атмосферата за слънчевата светлина, както и промяната на достигащата до земята слънчева енергия при различен наклон на слънчевите лъчи.

Когато слънчевата радиация е ориентирана под ъгъл, различен от 90° , тя преминава през по-голяма атмосферна маса, в сравнение със случаите, когато попада пряко върху фотоволтаичните панели под прав ъгъл спрямо повърхността им (когато лъчите от слънцето са насочени пряко към центъра на земното кълбо и мислено преминават през панела).

Друг съществен елемент на слънчево-енергийния одит е определянето на съотношението на пряката слънчева и дифузната слънчева радиация, падаща върху конкретна географска област. То е от решаващо значение за избора на оптимални следящи слънцето системи.

Модулите се монтират на фиксирани или на въртящи се конструкции (платформи). За средните географски ширини се използват по-малки платформи, в рамките на $10 \div 20 \text{ m}^2$. Чрез сезонно ръчно променяне на наклона на фотоволтаичните модули средногодишната им производителност може да се увеличи в рамките на $4 \div 10 \%$ в зависимост от географските координати на мястото на разполагането им.

При системи, които осигуряват ежедневно следене на слънцето (от изток, през юг, до запад) производителността може да се увеличи с до 30% за много райони от територията на България.

При допълнително използване на плоски слънчево-концентриращи системи годишната производителност на конвенционалните фотоволтаични панели може да се увеличи над два пъти.

Втората по важност стъпка е дали има терен за изграждане на фотоволтаична централа. При липса на терен за изграждане на фотоволтаична централа, вариантите са закупуване на терен, учредяване на вещно право (право на строеж) или дългосрочен наем на такъв. При възможност е препоръчително в договора да се впише клауза, която не позволява бъдещо изграждането на сгради, съоръжения и инфраструктура, които могат да засенчат фотоволтаичните панели, респективно, да намалят производството на електроенергия.

След получаване на виза за проектиране от съответната община и в зависимост от вписаните в нея параметри, са формулира инвестиционното намерение според предвидената мощност, както и това, дали системата ще бъде автономна или не.

При изграждане на неавтономна централа, на която мощността надвишава 30 kW , е необходимо внасяне на искане за проучване на условията за присъединяване към електро разпределителната мрежа в съответното електроразпределително дружество.

След това е необходимо да се сключи предварителен договор с електроразпределителното дружество, обслужващо района, в който ще се изгражда фотоволтаичната централа.

В случай, че се изгражда атономна фороволтаична централа с мощност до 30 kW се внася искане за проучване на условията за присъединяване към електроразпределителната мрежа в съответното електроразпределително дружество и предварителен договор с електроразпределително дружество не е необходим.

Следващите стъпки при изграждане на фотоволтаичната централа са проектиране, получаване на разрешение за строеж от съответната община, сключване на окончателен договор с електроразпределително дружество, обслужващо района, в който ще се изгражда фотоволтаичната централа.

След приключване на част от административното изграждане на фотоволтаичната централа, започва физическото изграждане. Доставка се необходимото оборудване, монтира се и след приключване на монтажа се извършват 72 часови проби от съответното електроразпределително дружество.

При успешно изпитване на системата се издава удостоверение за въвеждане в експлоатация. Въвеждането в експлоатация е основание за включване на окончателен договор за изкупуване на произведената електроенергия.

2.2. Оценка на законовата осъществимост и планиране на сроковете на изпълнение на фотоволтаичните проекти

Оценката на законовата осъществимост изисква съобразяване с нормативната уредба в България. Следва се набор от административни и разрешителни процедури, през които преминава инвестиционното предложение.

2.3. Структура на работните пакети

Има голям брой дейности, определящи последователността при изпълнение на проекта, такива като:

- Определяне на вида и мощността на фотоволтаичната централа;
- Определяне на мястото на изграждане и типа на терена;
- Придобиване право на строеж и начин на присъединяване;
- Условия на експлоатация;
- Използването на произведената енергия (за собствени нужди или за продажба) и др.

При наличие на съоръжения ниско напрежение мощности до 400 kW се присъединяват на ниво ниско напрежение, при мощности над 400 kW всички централи се присъединяват на ниво средно напрежение 20 kV, като изграждането на трафопоста е за сметка на инвеститора.

2.4. Определяне на сроковете за изпълнение

Целта е да се определи продължителността на всяка от предвидените дейности, като се търсят начини за оптимизиране на сроковете за изпълнение и се сведе до минимум времето, през което произведената енергия няма да може да се използва или да носи доходи.

Финансовата оценка на фотоволтаичните проекти изисква определянето/прогнозирането на следните входящи икономически величини:

- Инвестиционни разходи (разходи за придобиване);

- Разходи, свързани с предварителните проучвания, проектирането, закупуването на фотоволтаичните модули и спомагателни елементи, доставката на оборудването и съоръженията, използваната земя (при наземни проекти);
- Разходи за строителството, монтаж, присъединяване към мрежата и пускане в експлоатация на централата, както и разходите за управление и администрация.

Инвестиционните разходи формират основния разходен компонент на тези проекти (около 80÷90% от всички разходи).

Тяхното планиране е особено важно, тъй като имат дългосрочен ефект върху резултатите от проекта и е целесъобразно периодът на дейностите, свързани с капиталови разходи, да се минимизира.

Основните приходи, които могат да бъдат получени след изграждане на фотоволтаичната система, са следните:

- Приходи от продажба на електрическата енергия по преференциална цена – при проектите за продажба на електроенергия на мрежовия оператор (при малки инсталации до 30 kWp) това са основните годишни постъпления. Размерът на приходите се определя от генерираната електроенергия, размера на нетното специфично производство, въз основа на което са определени преференциалните цени, и от фиксираната от КЕВР цена на изкупуване, действаща към датата на сключване на договора. Цената на енергията не се изменя за срока на договора за изкупуване, като след изтичането му преференции не се предоставят. Годишното електропроизводство зависи основно от технико-икономическите характеристики на фотоволтаичната централа и от природните условия;
- Приходи от продажбата на произведената енергия по цени и при условия, регламентирани в договора за доставка на електроенергия. Тона са приходи от проектите за продажба на електроенергия на свободния пазар. Размерът на приходите зависи главно от договорните клаузи и от генерираното количество електроенергия;
- При проектите за собствено потребление годишните икономии се равняват на спестените разходи за електроенергия от други ресурси, в т.ч. разходи за гориво, транспортни разходи, годишен еквивалент на инвестиционните разходи за изграждане на инфраструктура, намалените разходи за пренос и разпределение на енергията и др.

Независимо от вида на фотоволтаичната централа към текущите приходи е препоръчително да се отчетат и спестените въглеродни и други вредни емисии.

Дисконтовият фактор (нормата на възвръщаемост на инвестицията в %) зависи от множество фактори, сред които очакваната доходност без рисковите инвестиции, риска на конкретния проект, финансовия климат в страната, дела на собствения и заемния капитал в общия финансов ресурс, изискванията на конкретния инвеститор, нормата на възвръщаемост на алтернативни проекти и др.

Анализът показва, че основните видове фотоволтаични панели, които се използват за изграждане на фотоволтаичните централи в България са следните:

- Suntech STP250S-20/Wd – 250 Wp;
- Q-Cells Q.Base 230 – 230 Wp;
- Suntech STP180S-24/Ac – 180 Wp;
- Kaneka K 60 – 60 Wp; Sulfurcell SCG50-HV – 50 Wp;

- Sunflower SF 175M – 175 Wp;
- Sanyo HIP-205 NHE 5 – 205 Wp;
- Suntech STP180-24/Ac – 180 Wp;
- Sinski PV SPV195M-24 – 195 Wp;
- JinkoSolar JKM-235P – 235 Wp;
- PhonoSolar PS250M-20/U.

Остатъчна стойност на модулите следва да бъде предвидена в размера на крайния паричен поток по проекта – те могат да бъдат рециклирани и материалите използвани отново.

По данни на Българската фотоволтаична асоциация в един кристален модул има средно 16.6 kg стъкло и 2.3 kg алуминий, а при продажбата на рециклираните материали приходът, който може да се генерира, надвишава сумата от 2,000 €/t.

Тъй като изходните данни, използвани при оценката на икономическата ефективност на фотоволтаичния проект, имат прогнозен характер и техните стойности крият определена степен на вероятност и риск, необходимо е интегриране на рисковата компонента в анализа на инвестиционното решение.

III. Изследване годишната производителност на PV-централи с различна инсталирана мощност

Изследването на производителността на панелите се проведе при наблюдение на производствените параметри на няколко фотоволтаични централи, изградени в различни географски райони на територията на Република България с обща инсталирана мощност 80 kWp, 1203 MWp.

3.1. Фотоволтаична система тип ON-GRID с обща инсталирана мощност 80 kWp (област Стара Загора).

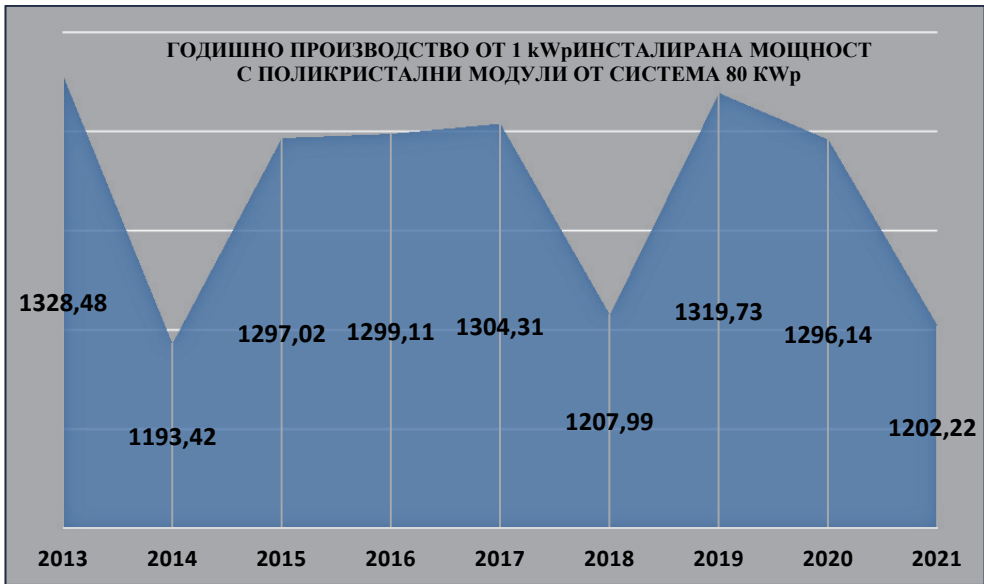
Централата е в експлоатация от 07.01.2013 г.

Централата е изградена с помощта на 320 броя поликристални фотоволтаични модули от типа Suntech STP250S-20/Wd с мощност 250 Wp всеки. Монтажът е изпълнен върху стационарна земна конструкция, която е ориентирана на юг (190°).

Ъгълът на монтаж на модулите е 20°. Панелите са обединени в стрингове, които са свързани към пет броя мрежови инвертори тип SMA Sunny Tripower 15000TL-10.

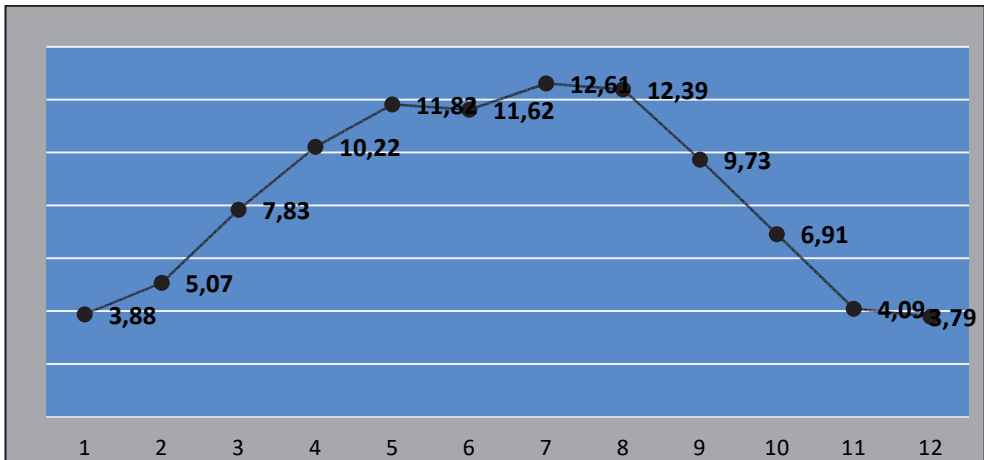
Ефективността на модулите достига до 15.4% благодарение на усъвършенствана клетъчна технология.

Антирефлекс хидрофобният слой е с по-високо поглъщане на светлината и задържане на минимално количество повърхностен прах, има отлична производителност при условия на по-слаба слънчева радиация.



Фиг. 5. Годишно производство от 1 kWp инсталирана мощност на фотоволтаична централа с поликристални модули от система 80 kWp.

Модулите са сертифицирани да издържат на силен вятър (3800 Pa) и сняг (5400 Pa). Работният им температурен диапазон е в граници -40 °C - +85 °C.



Фиг. 6. Месечно производство на електроенергия в проценти спрямо общото производство.

На Фиг. 5 е представена производителността на централата по години в относителни единици. Видно е, че производството на електроенергия е силно зависимо от климатичните и часови фактори.

3.2. *Фотоволтаична система тип ON-GRID с обща инсталирана мощност 1203 MWp (гр. Пазарджик).*

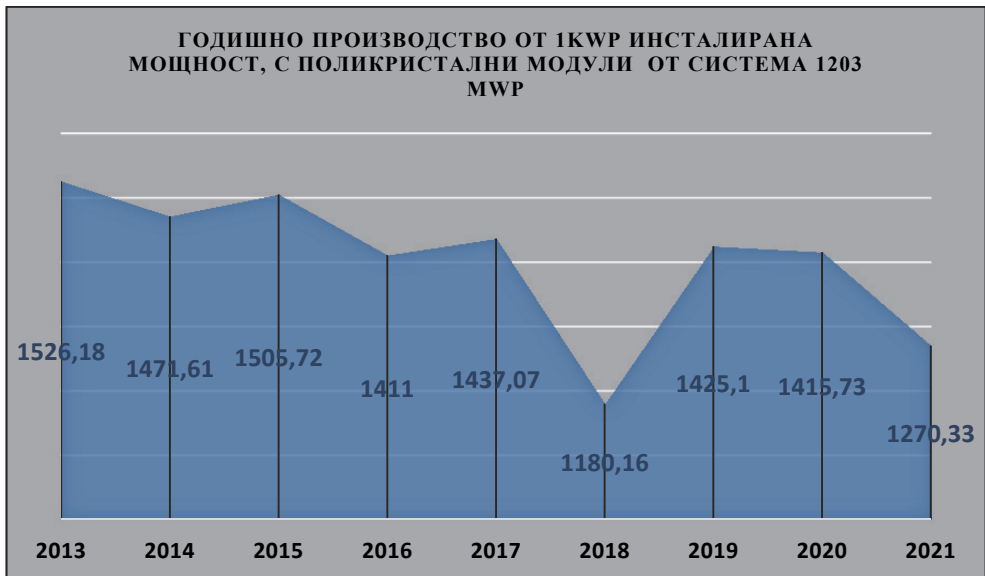
Фотоволтаичната централа е изпълнена с помощта на 5232 броя монокристални фотоволтаични модули с мощност 230 Wp, тип Q-Cells Q.Base 230.

Централата е в експлоатация от 10.11.2012 г.

Модулите са монтирани на стационарна земна конструкция, която е ориентирана на ЮГ (182°). Ъгълът на монтаж на модулите е 23°.

Фотоволтаичните панели са групирани в стрингове, които са свързани към два централни инвертора тип SMA Sunny Central 500 CP.

Фотоволтаичните панели Q-Cell Q.BASE 230 Wp имат висока производителност при условия на слаба осветеност, съвместими са с всички мрежови инвертори, тествани са срещу сняг и вятър с натоварвания до 5400 Pa, имат закалено стъкло и устойчива на огъване рамка. Дългосрочна устойчивост на атмосферни влияния се гарантира с интегрирани дренажни отвори в рамката. Работният им температурен диапазон е в граници -40 °C - +85 °C.

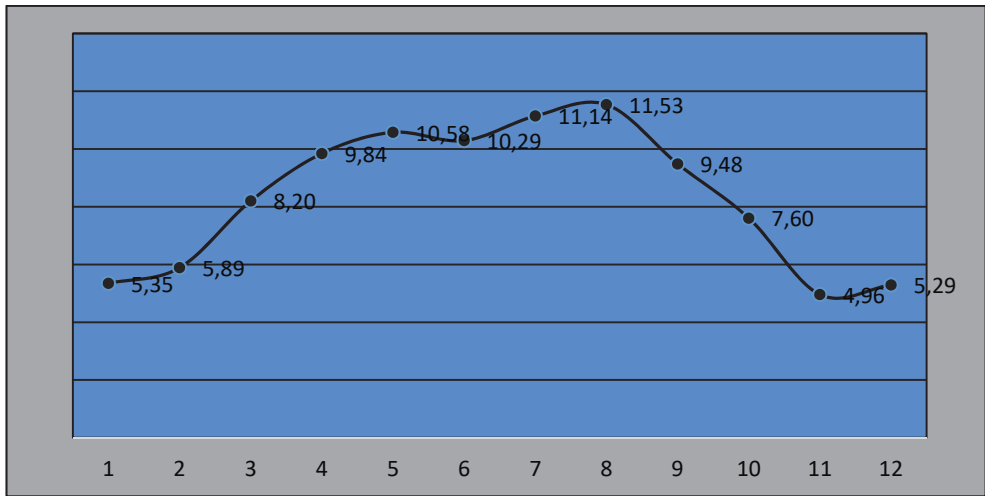


Фиг. 7. *Годишно производство от 1 kWp инсталирана мощност на фотоволтаична централа с монокристални модули от система 1203 MWp.*

На Фиг. 7 е представена производителността на централата по години в относителни единици. От нея се вижда, че производството на електроенергия е силно зависимо от климатичните и часови фактори. Освен това се наблюдава обща тенденция на спад на производителността през годините.

На Фиг. 8 е показано месечното производство на фотоволтаичната централата в проценти общото производство.

Видно е, че производството на електроенергия силно зависи от климатичните условия. Най-малко електроенергия е произведена през месец ноември, а най-много – през месец август.



Фиг. 8. Месечно производство на електроенергия на система 1203 MWp в проценти спрямо общото производство.

3.3. Фотоволтаична система тип ON-GRID с обща инсталирана мощност 60 KWp (гр. Габрово).

Централата е изградена с 370 броя панели, различни по тип, основно монокристални:

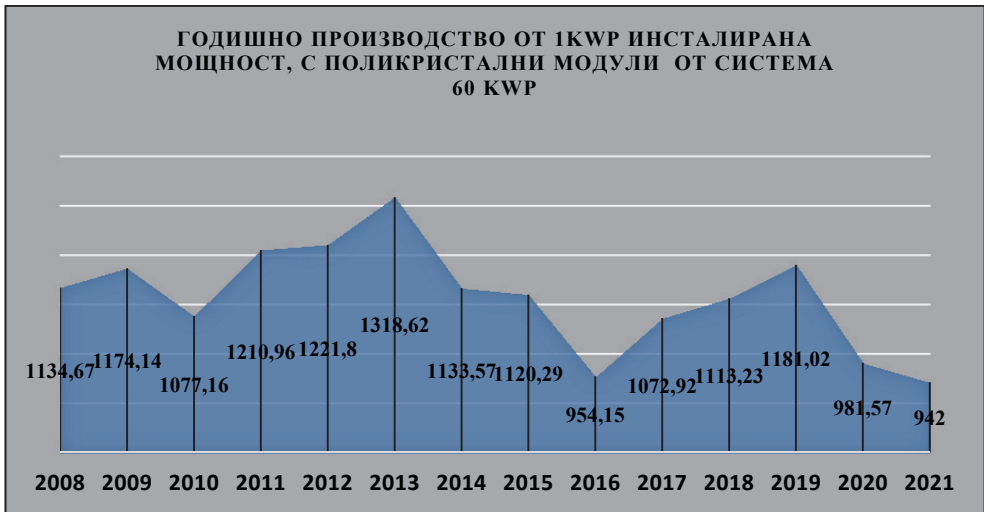
- 95 x Suntech STP180S-24/Ac;
- 48 x Kaneka K 60;
- 16 x Sulfurcell SCG50-HV;
- 7 x Sunflower SF 175M;
- 18 x Sanyo HIP-205 NHE 5;
- 6 x Suntech STP180-24/Ac;
- 180 x Sinski PV SPV195M-24.

Фотоволтаичните модули са монтирани на стационарна земна конструкция, която е ориентирана на юг (174°). Ъгълът на монтаж на модулите е 30°.

Панелите са групирани в стрингове, които са свързани към четири броя мрежови инвертори тип SMA Sunny Tripower 15000TL-10.

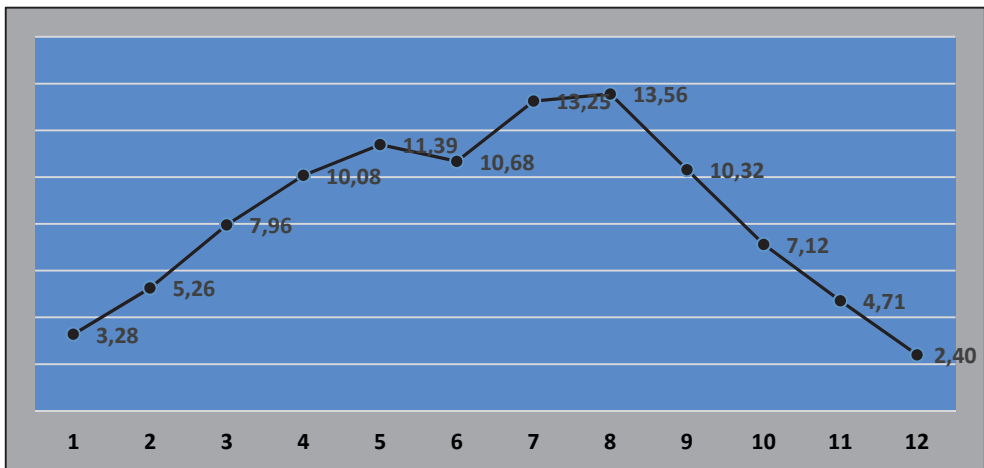
Централата е в експлоатация от 10.01.2008 г.

На Фиг. 9 в относителни единици е представено производството на електроенергия по години. От нея се вижда, че производството на електроенергия е силно зависимо от климатичните и часови фактори. Освен това се наблюдава обща тенденция на спад на производителността през годините.



Фиг. 9. Годишно производство от 1 kWp инсталирана мощност на фотоволтаична централа, изпълнена с различни по тип панели с мощност 60 KWp.

На Фиг. 10 е представено месечното производство на фотоволтаичната централа в проценти спрямо общото производство. Видно е, че производството на електроенергия силно зависи от климатичните условия, като най-слабия месец е декември, а най-силният – месец август.



Фиг. 10. Месечно производство на електроенергия на централа с мощност система 60 KWp в проценти спрямо общото производство.

3.4. Фотоволтаична система тип ON-GRID с обща инсталирана мощност 3288 kWp (гр. Димитровград).

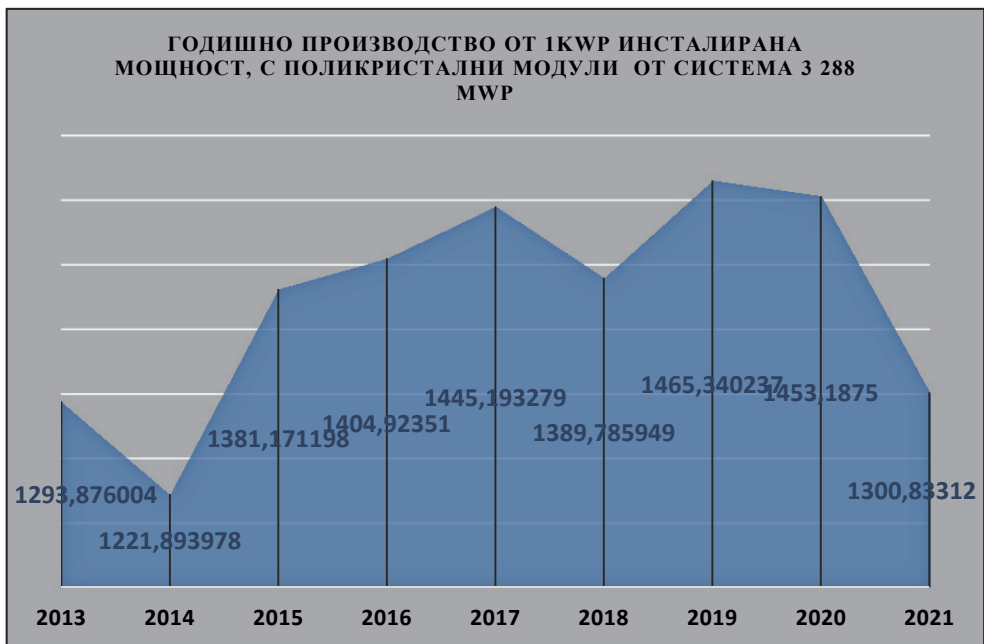
Централата е в експлоатация 2013 г.

Изпълнена е с помощта на 13992 броя поликристални фотоволтаични модули с мощност 235 Wp, тип JinkoSolar JKM-235P. Модулите са монтирани на стационарна земна конструкция, която е ориентирана на юг. Ъгълът на монтаж на модулите е 28°.

Фотоволтаичните панели са групирани в стрингове, които са свързани към централни инвертори.

На Фиг. 11 е показана производителността на централата по години в относителни единици. От нея се вижда, че производството на електроенергия е силно зависимо от климатичните и часови фактори.

При тази централа се наблюдава обща тенденция към увеличаване на производството, която се дължи на подмяна на част от панелите с по-ефективни.



Фиг. 11. Годишно производство от 1 kWp инсталирана мощност, с поликристални модули от система 3288 MWp.

IV. Изследване на дневната продължителност на работа на фотоволтаична централа

Обект на изследването е фотоволтаична централа, инсталирана в околностите на гр. Бургас. Централата е предназначена за задоволяване на собствени нужди за битова консумация, както и нуждите на търговски обект.

Изградена е от 40 броя поликристални фотоволтаични модули 250 Wp, тип PhonoSolar PS250M-20/U.

Модулите са монтирани на покрив. Ориентацията на фотоволтаичните панели следва тази на скатове на покрива, съответно изток/юг/запад.

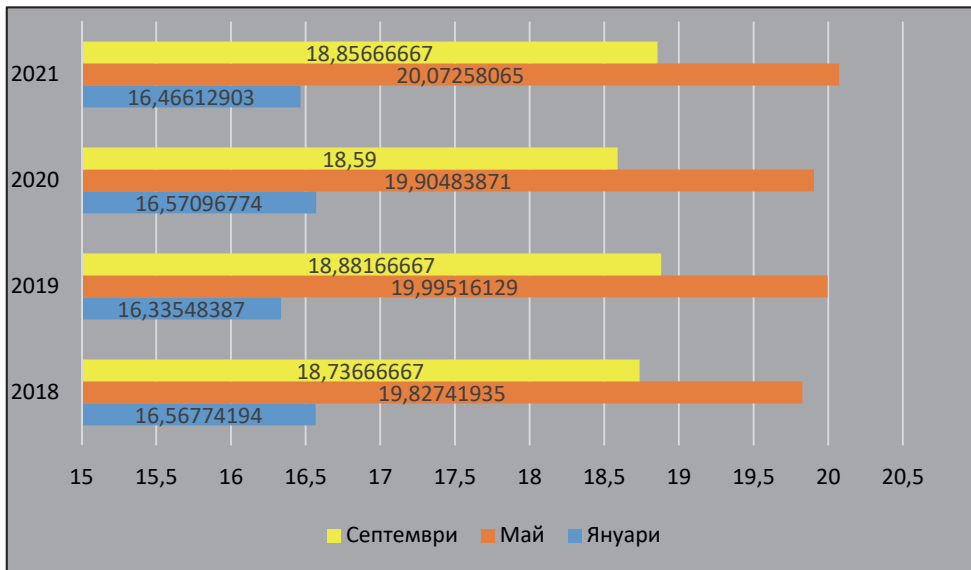
Ъгълът на монтаж на модулите е 32°.

Разстоянието между панелите и керемидите на покрива е в рамките на 120 mm. Панелите са групирани в стрингове, които са свързани към мрежов инвертор с мощност 10 kW, тип Fronius Symo 10.0-3-M.

Началото на експлоатация на системата е от 2018 г.

4.1. Изследване на дневната продължителност на работа на фотоволтаичните панели.

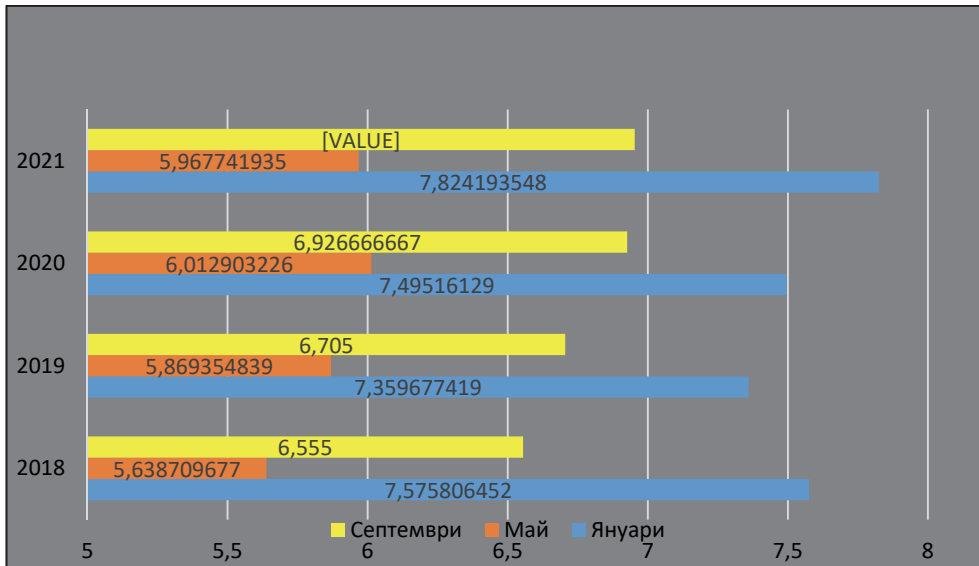
При изследването бяха установени часовете, при които централата стартира работа за три месеца, за период от четири години (Фиг. 12).



Фиг. 12. Изменение на началния час на работа на фотоволтаичните панели.

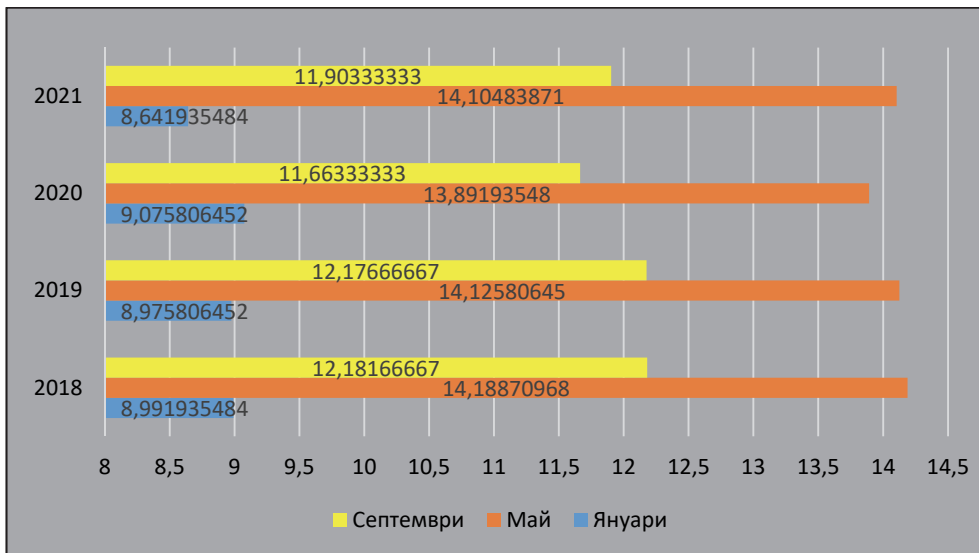
Климатичните промени през последните години рефлектират и върху производството на електроенергия от фотоволтаични централи.

През изминалата година се наблюдава сравнително по-късен час на започване на производство на електроенергия спрямо предходните години.



Фиг. 13. Изменение на крайния час на работа на фотоволтаичните панели.

На Фиг. 14 е представена усреднената продължителността на работния часови диапазон на панелите за няколко години.



Фиг. 14. Изменение продължителността на работния часови диапазон.

Интересен факт се наблюдава при анализа на продължителността на работния часови диапазон. За последната година име повишаване на работния диапазон през месеците май и септември спрямо предходната година, а спрямо 2018 и 2019 г. се наблюдава спад на продължителността на работния часови диапазон.

Друг интересен факт е, че през изминалата 2021 г. се наблюдава най-ниска продължителност на работа в зимния период, спрямо предходните 3 години.

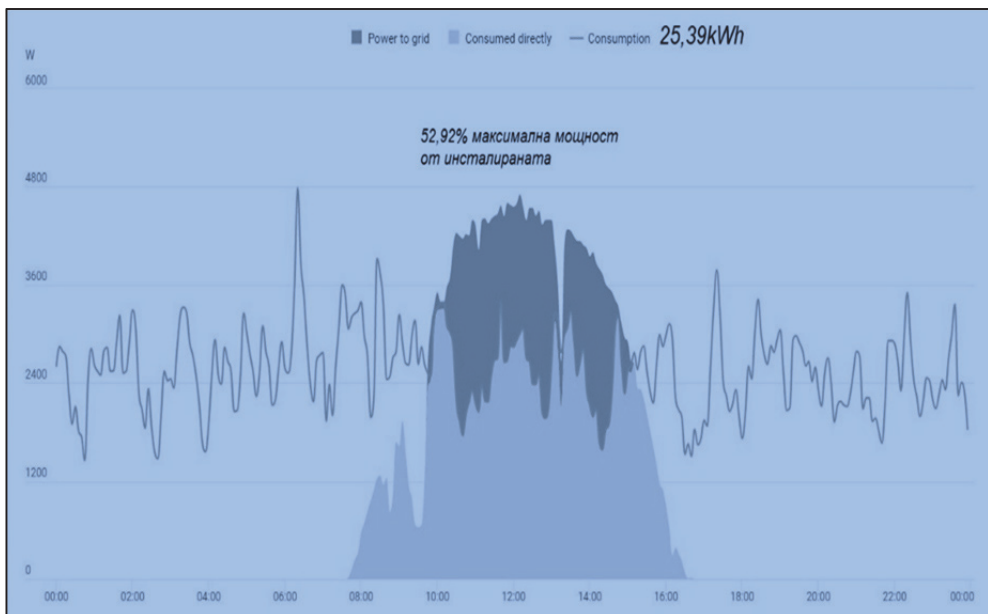
Направеният анализ на получените резултати показва леко изменение през годините в посока на намаляване на часовия работен диапазон, респективно, увеличаване на часа на стартиране и намаляване на часа на приключване на ефективната работа на панелите.

4.2. Изследване на дневната отдадената мощност от фотоволтаичната централа.

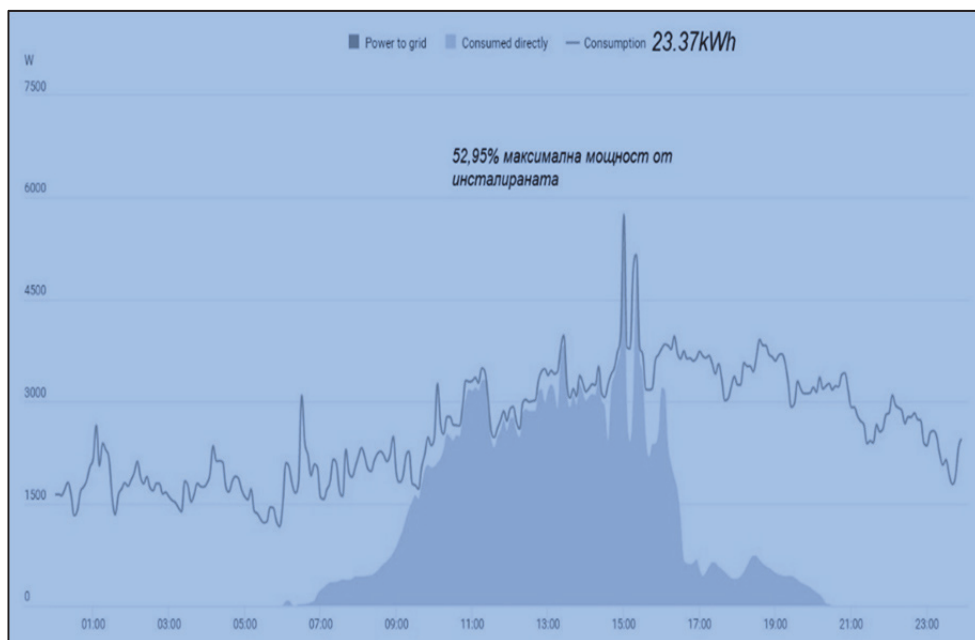
За изследването бяха избрани характерни дати:

- 08.01.2020 г. – на тази дата е измерена най-ниската температура за годината;
- 21.06.2020 г. – на тази дата светлата част на деня е била с най-голяма продължителност;
- 1.7.2020 г. – на тази дата централата е произвеждала най-много енергия;
- 31.07.2020 г. – на тази дата е измерена най-високата температура за годината;
- 31.10.2020 г. – на тази дата централата е произвеждала най-малко енергия;
- 21.12.2020 г. – на тази дата светлата част на деня е била с най-малка продължителност.

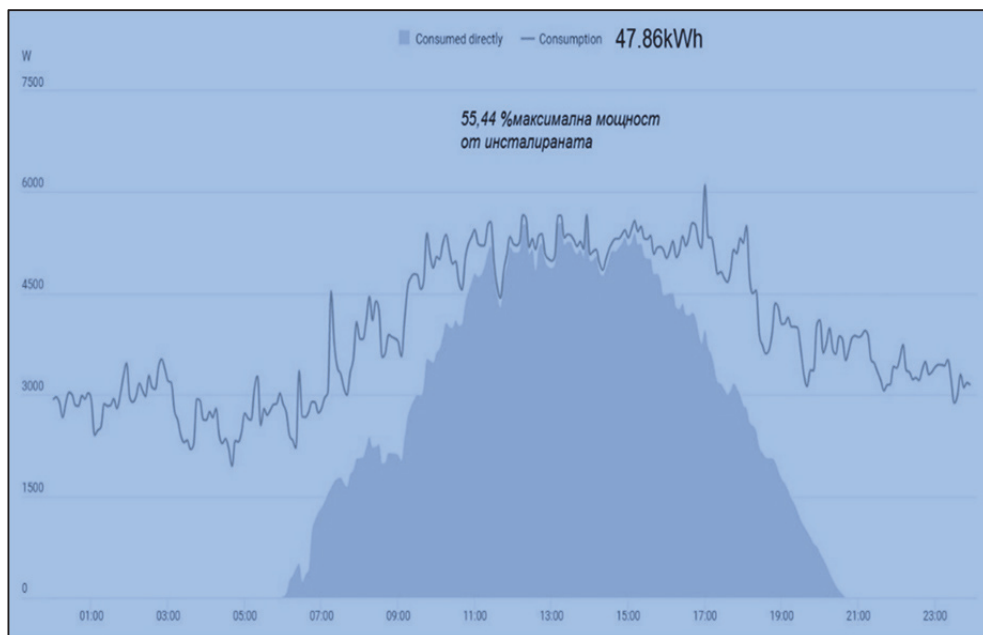
Резултатите от изследването са показани на Фиг. 15÷20.



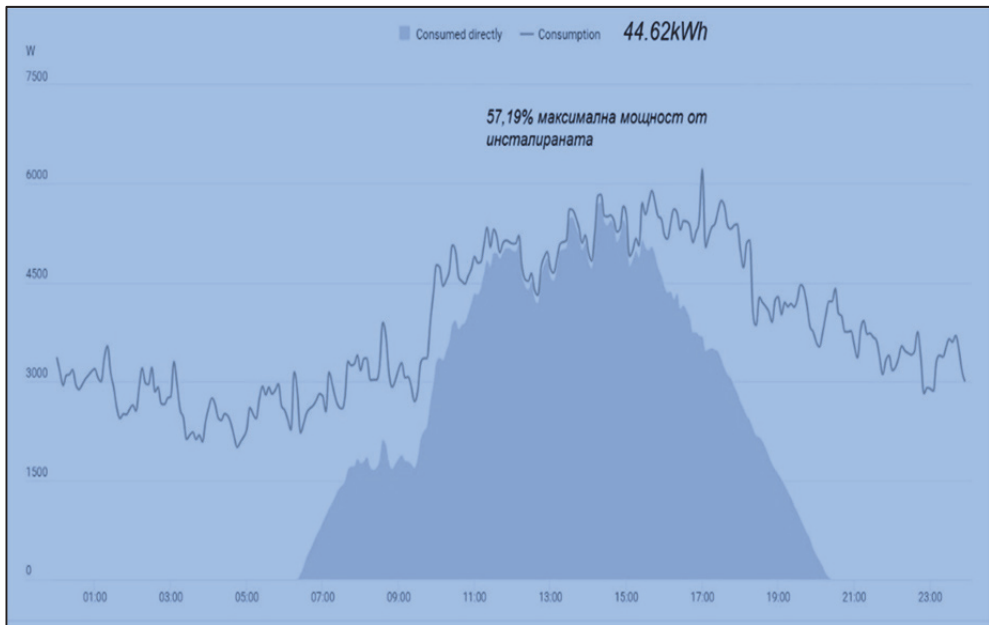
Фиг. 15. Получена мощност от централата – контролен ден: 8.01.2020 г.



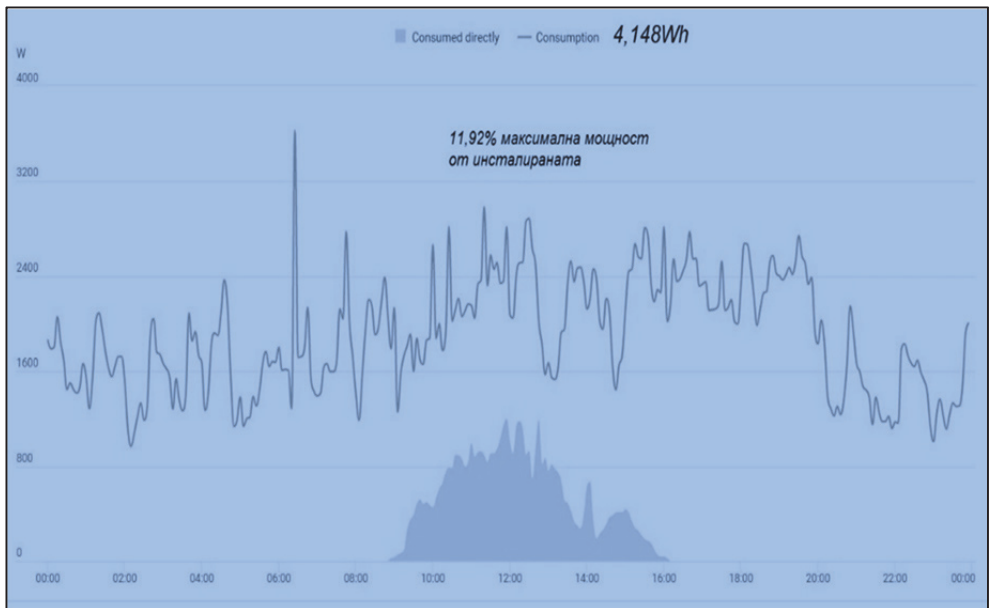
Фиг. 16. Получена мощност от централата – контролен ден: 21.06.2020 г.



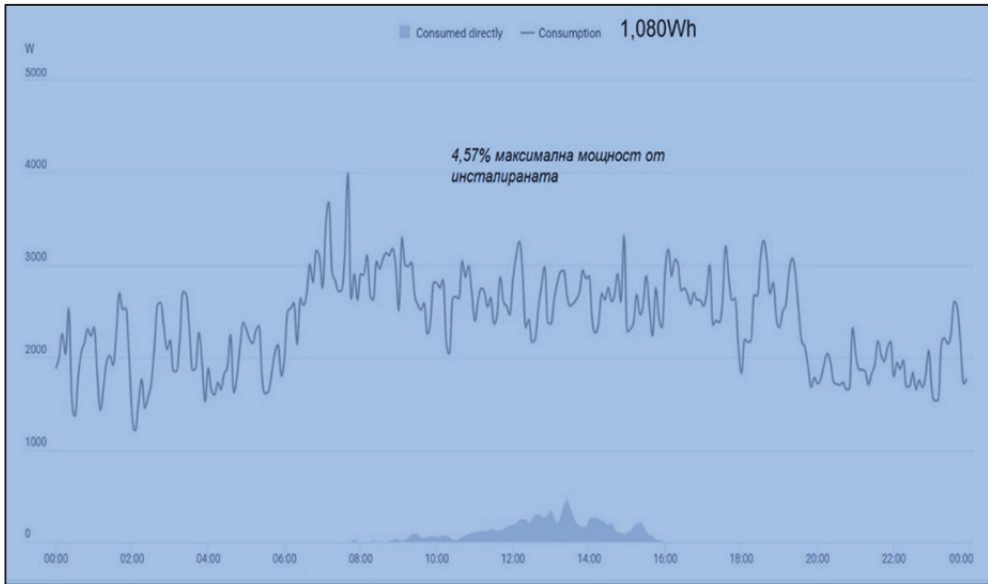
Фиг. 17. Получена мощност от централата – контролен ден: 01.07.2020 г.



Фиг. 18. Получена мощност от централата – контролен ден: 31.07.2020 г.

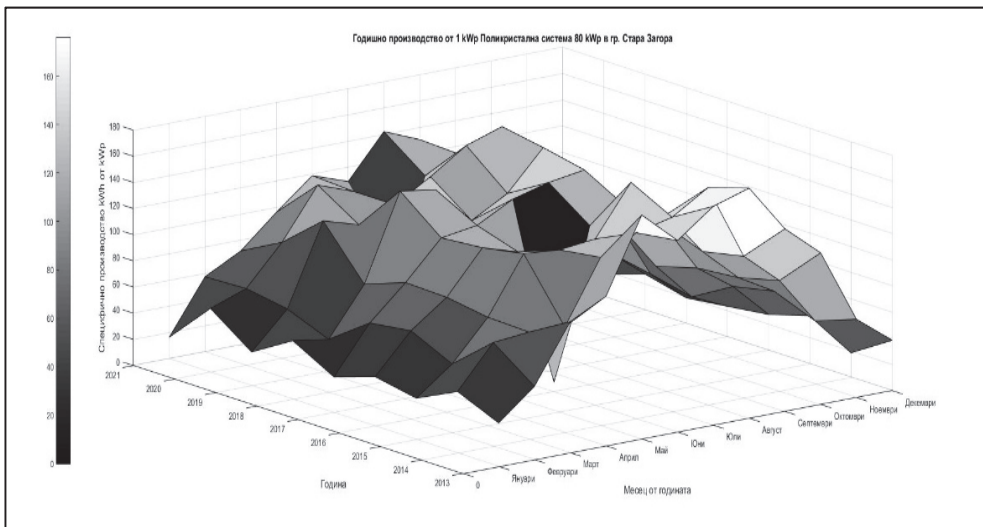


Фиг. 19. Получена мощност от централата – контролен ден: 31.10.2020 г.



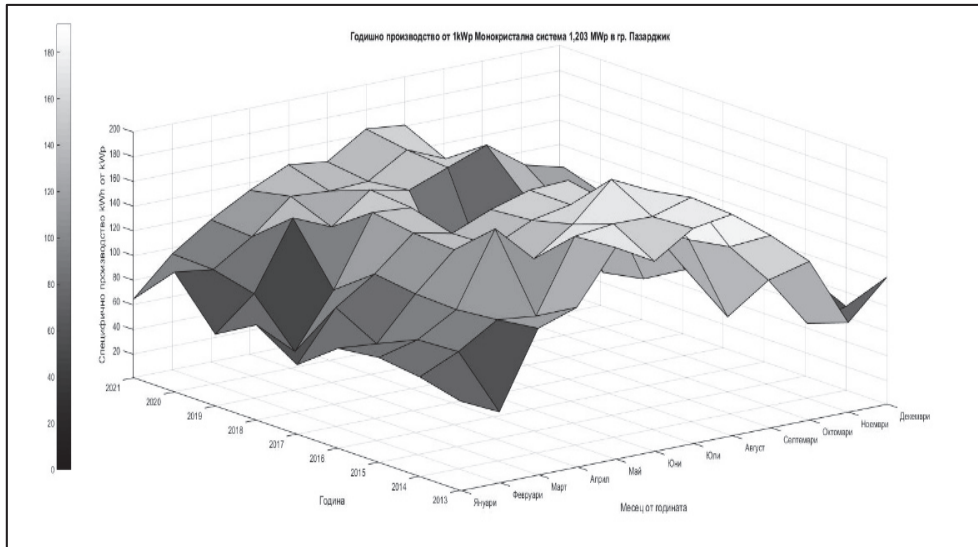
Фиг. 20. Получена мощност от централата – контролен ден: 21.12.2020 г.

Изследвано е и общото производство за един и същи период на две фотоволтаични централи, изградени с фотоволтаични панели, произведени по различна технология.



Фиг. 21. 3D графика на годишно производство от 1 kWp поликристални панели от система 80 kWp, монтирана в Стара Загора.

На Фиг. 21 са представени получените резултати от производството на електроенергия по месеци, за периода 2013÷2021 г. за фотоволтаична централа монтирана в гр. Стара Загора. Централата е изградена с помощта на поликристални панели.



Фиг. 22. 3D графика на годишно производство от 1 kWp монокристални панели от система 1203 MWp, монтирана в Пазарджик.

На Фиг. 22 са представени получените резултати от производството на електроенергия, по месеци, за периода 2013÷2021 г. за фотоволтаична централа, монтирана в гр.Пазарджик. Централата е изградена от монокристални панели.

Фиг. 21 и Фиг. 22 показват годишната промяна на производителността на фотоволтаични централи, изградени от различен тип модули – поликристални и монокристални.

Видно е, че и при двете централи се наблюдава минимално стареене на панелите, като то е по-силно изразено при централата с монокристални панели.

За да може да се установи дали тази тенденция ще се запазва, необходимо е наблюдението върху работата на фотоволтаичните централи да се проведе за по-дълъг експлоатационен период [18, 19].

Заключение

От направените проучвания и практически изследвания може да се направят следните изводи:

- Производството на електроенергия от фотоволтаичните централи силно зависи от климатичните, метеорологични и сезонни условия. Това означава, че производството на електроенергия и количеството на електроенергията, подавана към системата, трудно могат да бъдат планирани. На производството от фотоволтаични централи не може да се разчита като на производство от структурно определящи централи;
- Ефективността на изследваните панели се запазва в известен период от време с тенденция на намаляване във времето;
- Анализът и получените практически резултати показват наличие на интензивно стареене при монокристални модули, поради влошаване на характеристиките на проводящите повърхности;

- При изследване на температурната зависимост на производството на електроенергия се наблюдава по-добра производителност на монокристалните панели при слънчево и хладно време, докато при поликристалните панели при слънчево и горещо време производителността се запазва;
- Ефективността и производителността на фотоволтаичните централи зависи и от това до колко коректно е спазена технологията при проектиране и начин на монтаж на панелите;
- Ефективността на работа и минимизирането на загубите от фотоволтаични централи зависи и от правилният подбор на стринговото напрежение и коректната настройка на инвертора.

Получените резултати показват, че при производството на електроенергия от фотоволтаични централи е необходимо да се работи в три основни направления:

- Удължаване на часовото време за работа на централата, например, чрез монтаж на панели, ориентирани в различни географски посоки и под различен ъгъл;
- Присъединяване на консуматори чрез интелигентни системи за управление на енергийните потоци, така че енергията да се консумира приоритетно в момента на нейното добиване;
- Разработване и внедряване на технологии за акумулиране на свръхпроизведената енергия.

Чрез разработването и внедряване на такива технологии, може значително да бъде повишена ефективността на добив на енергия от фотоволтаични централи.

Използвана литература:

- [1]. Решение № Ц-17 от 01.07.2022 г. На Комисията за енергийно и водно регулиране
- [2]. Решение № Ц-19 от 01.07.2022 г. На Комисията за енергийно и водно регулиране
- [3]. Standalone PV Systems: Past, Present & Future, GSES Technical Papers, 2015 Global Sustainable Energy Solutions Pty Ltd. All Rights Reserved. <https://www.gses.com.au/>
- [4]. Manimekalai Ponnusamy, An Overview of Batteries for Photovoltaic (PV) Systems, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 82 – No 12, November 2013
- [5]. <https://energyresearch.ucf.edu/consumer/solar-technologies/solar-electricity-basics/types-of-pv-systems/>
- [6]. Долчинков Р., Пенка Георгиева, Ефективност на системи за слънчево проследяване, Годишник БСУ, том XXVII, ISBN 1311-221-X, стр. 243-255, 2012.
- [7]. Долчинков Р., Георгиева П., Светодиодно осветление с вятърна и слънчева енергия, Електронно списание за компютърни науки и комуникации, бр.1, ISSN 1314-7846, стр. 48-57, 2012.
- [8]. Долчинков Р., Механизми и машини във ВЕИ, Електронно списание на ЦИТН за компютърни науки и комуникации, бр. 3, ISSN 1314-7846, стр. 31-42, 2013.
- [9]. Мацанков М., Краткосрочно прогнозиране на електрическите товари, Издателство на ТУ – София 2019 г. ISBN: 978-619-167-357-5.
- [10]. Matsankov M., M. Ivanova, Selection of optimal variant of hybrid system under conditions of uncertainty, The 2nd International Conference on Electrical Engineering

- and Green Energy Roma, Italy, June 28-30, 2019, SCOPUS <https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2019/41/contents/contents.html> и https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2019/41/e3sconf_ceede18_01007/e3sconf_ceede18_01007.html
- [11]. Мацанков М., Д. Иванов Прогнозиране на електрическите товари в балансиращи групи в пазара на електроенергия, Известия на ТУ – Сливен, № 1, 2019 г. ISSN 1312-3920, стр. 54 – 57
- [12]. Мацанков М., М. Иванова, Енергиен одит за изграждане на хибридна система, Известия на ТУ – Сливен, № 1, 2019 г. ISSN 1312-3920, стр. 40 – 43
- [13]. Eldar Zaerov, Use Of Perovskit In Solar Energy, Yearbook BSU 2018, Volume XXXVIII ISSN: 1311-221X, p. 255 - 260.
- [14]. Eldar Zaerov, Study of the potential for hydrogen production with photovoltaic power plant and fuel cell Yearbook BSU 2015, volume XXXI ISSN: 1311-221X, p. 36 – 39
- [15]. 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
- [16]. Ginko Georgiev; Hristian Panchev; Rumens Kirov, Research on the Impact of Regulator Functions of Power Transformers on Power Losses in Electrical Supply Systems, 17th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), 1-4 July 2021, Publication Year: 2021, Page(s):1 – 4, DOI: 10.1109/ELMA52514.2021.9503015, Electronic ISBN:978-1-6654-3582-6, USB ISBN:978-1-6654-3581-9
- [17]. Ginko Georgiev, Hristian Panchev, Ilian Iliev, Rumens Kirov, Analysis and Practical Application of the Regulatory Requirements for Coasts Power Stations in Port Complexes, 17th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), 1-4 July 2021, Publication Year: 2021, Page(s):1 – 4, DOI: 10.1109/ELMA52514.2021.9502980, Electronic ISBN:978-1-6654-3582-6, USB ISBN:978-1-6654-3581-9
- [18]. Gyurov, V., Iliev, I., Kirov, R., Georgiev, G, Study on Possibilities for Improvement of Energy Efficiency of Power Transformers in Electric Distribution Networks, Proceedings of the 9th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering, „Elektroenergetika 2017”, pp. 263-267, Kosice, 2017, ISBN: 978-80-553-3195-9
- [19]. Панчев Р. К., Георгиев Г. А., Киров Р. М., Панчев Х. И, Изследване на влиянието на качеството на електрическата енергия върху надеждността на електрическите съоръжения и системи, INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE 16-17 November 2018, GABROVO, ISSN 1313-230X, том 1, ISSN 1313-230X, с.37-41