

Използване на фотоволтаична енергия за собствени нужди за Образователен център за извънкласни дейности и култура

T. Радева

Use of Photovoltaic Energy for Own Needs for an Educational Center for Out-Of-Class Activities and Culture

T. Radeva

Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Electrical Engineering (FEE), Technical University of Sofia, 8 Kliment Ohridski Blvd., 1756 Sofia, Bulgaria, tania_rr@abv.bg, t_radeva@tu-sofia.bg

Key Words: Photovoltaic systems; solar power generation; educational institutions; design engineering; energy management.

Abstract. The solar modules that are produced have a rather fragile structure and must therefore be mechanically protected on both sides. For this purpose, a so-called sandwich structure is used, in which the photovoltaics are placed on a solid base and covered with a transparent upper protective layer. The coefficient of thermal expansion of the materials of the upper and lower protective layers must be the same and, moreover, comparable to that of the photovoltaic cell and the bonding resin used. Currently, the most widely used materials are glass and plastic. Photocells sealed under glass have the advantage that they do not change their optical, mechanical and electrical properties during prolonged outdoor operation. Polymers cannot prevent the penetration of moisture, so they are only suitable when the photovoltaics and metal contacts are protected by an anti-corrosion coating. Plastics are lighter than glass, but they have the effect of aging with prolonged exposure to atmospheric conditions, which strongly affects their qualities. The upper transparent protective layer allows easy cleaning of the solar cells, but during their installation, they must be placed in such a way as to avoid their heavy contamination and the retention of snow on them. This is practically achieved by the southern orientation of the panels and their placement at an angle corresponding to the latitude of the site, as well as taking into account the season of operation. Some panels are oriented to the southwest so that they can produce the necessary energy for the afternoon maximum. For most locations, a slope angle close to horizontal will provide the most energy year-round. The cells used today have an efficiency of 3-20% in converting solar energy into electricity. A photovoltaic generator is a set of modules that convert solar energy into direct current (DC) electricity. It consists of a module formed by several photovoltaic cells, connecting several such modules form a panel, and several panels connected together form an array. Connecting several arrays electrically in parallel forms a photovoltaic generator or photovoltaic park. By connecting a certain number

of photovoltaic cells in parallel and in series, any desired power can be obtained. The main element of the photovoltaic generator is the photovoltaic cell, where the conversion of solar radiation into flowing electric current takes place. The present work presents a practical task of a photovoltaic energy system for a public educational building. The purpose of the case study is to provide technical measures to improve the energy efficiency of the building, according to the technical specification and the current regulations. Public school buildings are mainly used during the daylight hours, where solar energy will be used for self-consumption.

Въведение

Слънчевите модули, които се произвеждат, имат доста крехка структура и затова трябва да бъдат защитени механично и от двете им страни. През последните години са насочени значителни усилия за разработването на фотоволтаични панели [3-5,15]. Слънчевите клетки привлякоха голямо внимание поради тяхното леко тегло, тънкост и преносимост [5,16].

Фотоволтаичните системи за образователни обществени центрове обикновено са проектирани да консумират произведената електрическа енергия и да покриват собственото потребление на сградата през деня [7-10]. Целта на разглежданата задача е да се осигурят технически мерки за подобряване на енергийната ефективност на сградата след обследване за енергийна ефективност и изготвяне на доклад съгласно техническата спецификация и действащата нормативна уредба. Обществени образователни сгради се използват главно през светлата част на деня [11-13], където слънчевата енергия ще се използва за собствена консумация. Прави

се анализ на профила на потребление на енергия за обществени сгради и оценката на ежедневна база показва оптималните изисквания за такива системи.

За повечето места ъгълът на наклона, близък до хоризонталния, ще осигури най-много енергия през цялата година. Факторите, които определят мощността, са следните:

- Коефициент на полезно действие на клетките.
- Устойчивост на натоварване.
- Слънчева радиация.
- Клетъчна температура.
- Засенчването на една или всички клетки на модула.

Коефициентът на полезно действие е зададен още при производството им: използваните днес елементи имат ефективност 3-20% при преобразуването на слънчевата енергия в електричество.

Изложение

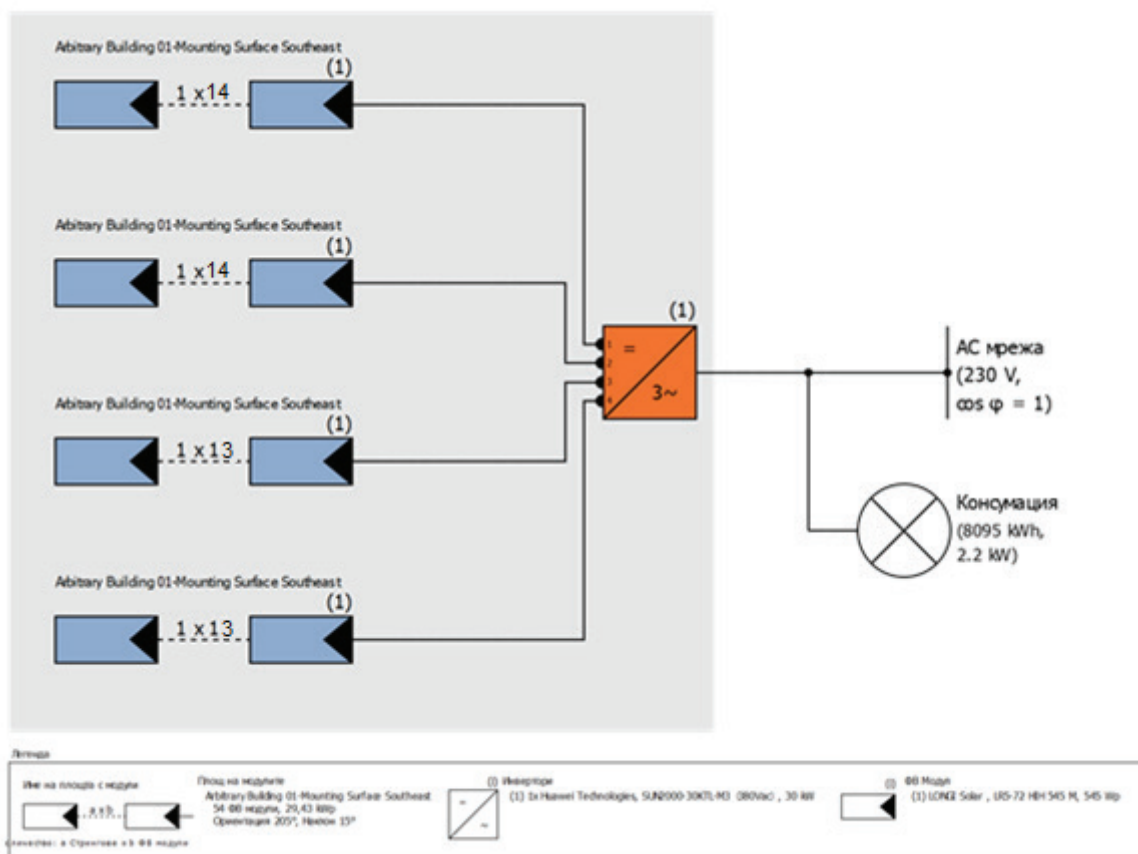
Изграждане на фотоволтаична електроцентра-ла с обща инсталирана мощност 29.43 kWp върху покрива на сградата за собствени нужди

- Заявената максимална генерирана електрическа мощност е 29.43 kWp;
- Фотоволтаични модули: 54 броя фотоволтаични монокристални модули LUXR ECO LINE HALF CELL M144/525-545 с мощност 545 Wp;
- Инвертори: 1 брой трифазен соларен инвертор HUAWEI SUN2000-30KTL-M3 Smart PV Controller;
- Монтажна конструкция: носеща алуминиева конструкция за монтаж на фотоволтаичните модули върху покрив, наклон 27.6 °С.

Целта на проекта е да се предвидят мерките за подобряване на енергийната ефективност на сградата ЕСМ С3 [1-2] съгласно съставената техническа спецификация и действащите нормативни документи.

При изпълнение на открити и видими електрически инсталации използваните материали трябва да отговарят на нормативните технически изисквания, да бъдат подбирани цветово така, че да подхождат на останалите инсталации и оборудване и да бъдат съгласувани.

На *фиг. 1* е представено разположението на фотоволтаичните модули по стрингове и е въведена консумацията на обекта; симулацията е направена с програмен продукт PV* SOL premium 2022 (R4).



Фиг. 1. Разположение на фотоволтаични модули, създадени с PV* SOL premium 2022 (R4)

Прогноза за производство: мощност на PV генератор 29.43 kWp. Специален годишен добив 1306.7 kWh/kWp
 Коэффициент на продуктивност (PR) 83.18%. Ограничение на добива поради засенчване 2.5%/година.

Фотоволтаичен генератор (АС мрежа) 38 456 kWh/година. Ограничение на износа на електрическа енергия в точката на присъединяване 0 kWh/година.

Емисиите на CO₂ спестяват 18 420 kg/година.

Ниво на самозадоволяване 67.9%.

Табл. 1. Предоставена консумация на електрическа енергия по фактури за сградата

Месец	Дни	Средномесечна температура на външния въздух		2017 г. Електрическа енергия	
		°C	Денгр.	kW	Лева с ДДС
1	31		623.3	1 232	309.63
2	28		434.0	1 448	359.46
3	31		359.6	1 155	294.32
4	19		191.9	1 043	272.66
5				718	200.94
6				961	242.73
7				1 078	457.32
8				98	35,41
9				98	57,85
10	7		40.6	126	40,9
11	30		300.0	69	44,8
12	31		390.6	69	44,8
Общо			2 340	8 095	2 360.82

Резултати от симулацията

Резултати

Общо за системата

Табл. 2. Технически параметри на фотоволтаичната централа

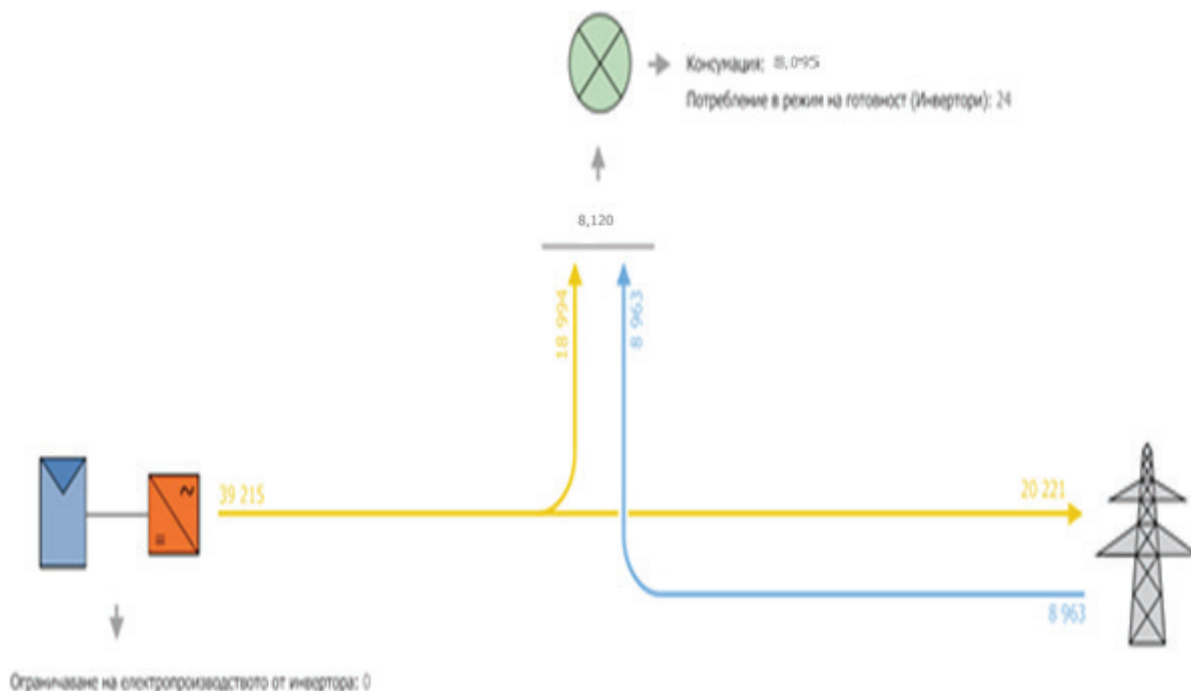
Пикова мощност на централата	29.43 kWp
Климатични данни спрямо местоположението	Благоевград
Специфичен годишен добив	1306.7 kWh/kWp
Произведена енергия от ФЕЦ за една година	38 456 kWh/year
Производителност	83.18 %

Диаграма на енергийния поток

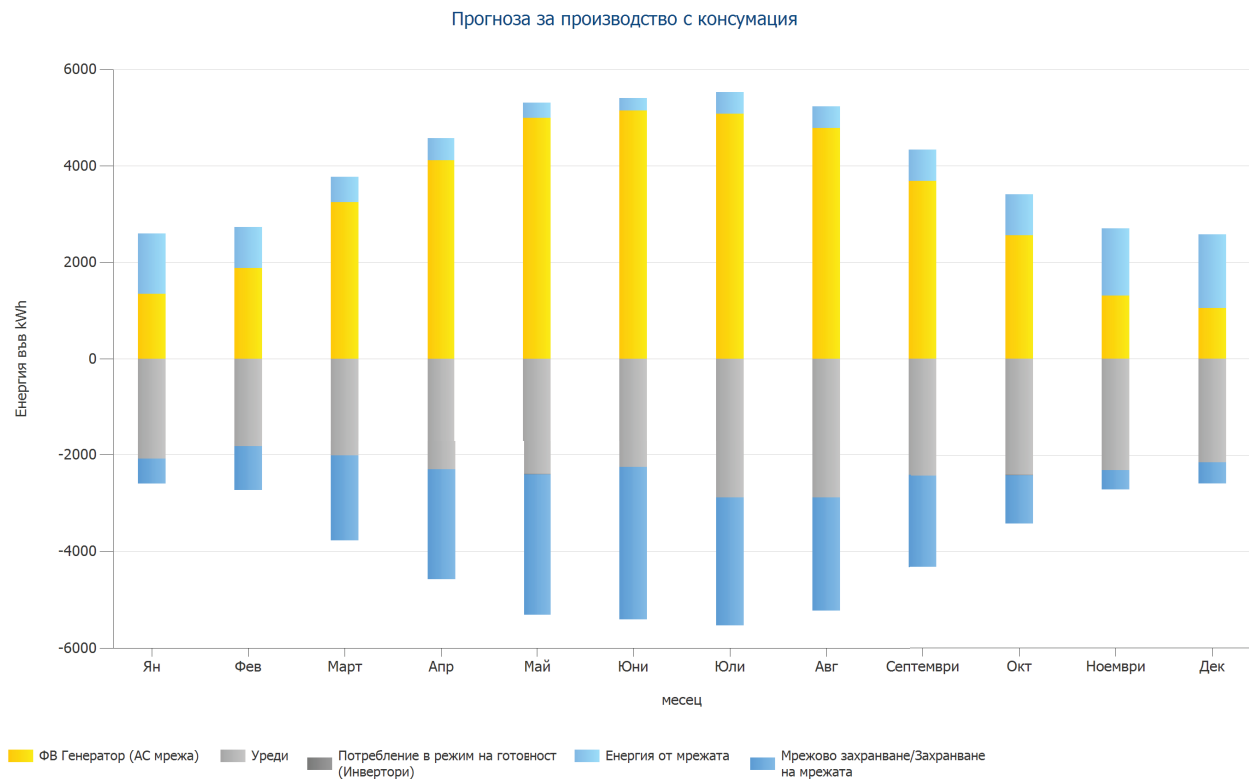
От направената симулация се представя енергийният поток на консумираната енергия от мрежата и фотоволтаичната система.

На фиг. 3 е представено прогнозното производство на фотоволтаичната система и консумацията на сградата. Прогнозната графика показва в жълто производството на фотоволтаичната централа по месеци. Сивият цвят е местната консумация в сградата, а синият цвят е енергията, която се използва от електрическата мрежа за покриване на недостатъчната енергия при ежедневна консумация.

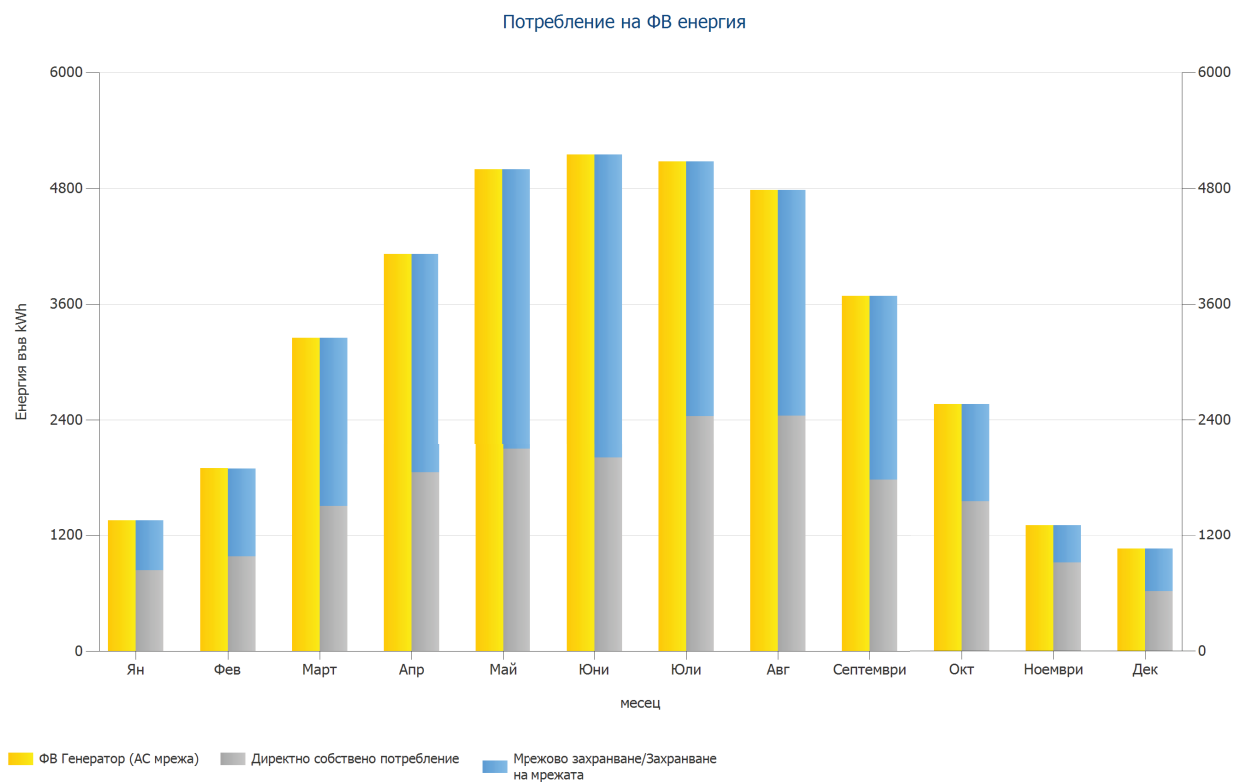
Консумацията на енергия, произведена от фотоволтаичната система, е представена на фиг. 4. Месечната лентова графика прави сравнение каква част от енергията, произведена от фотоволтаичната система (в жълт) по месеци от годината ще се използва от местния потребител (в сиво) и от мрежата (в синьо).



Фиг. 2. Енергиен поток



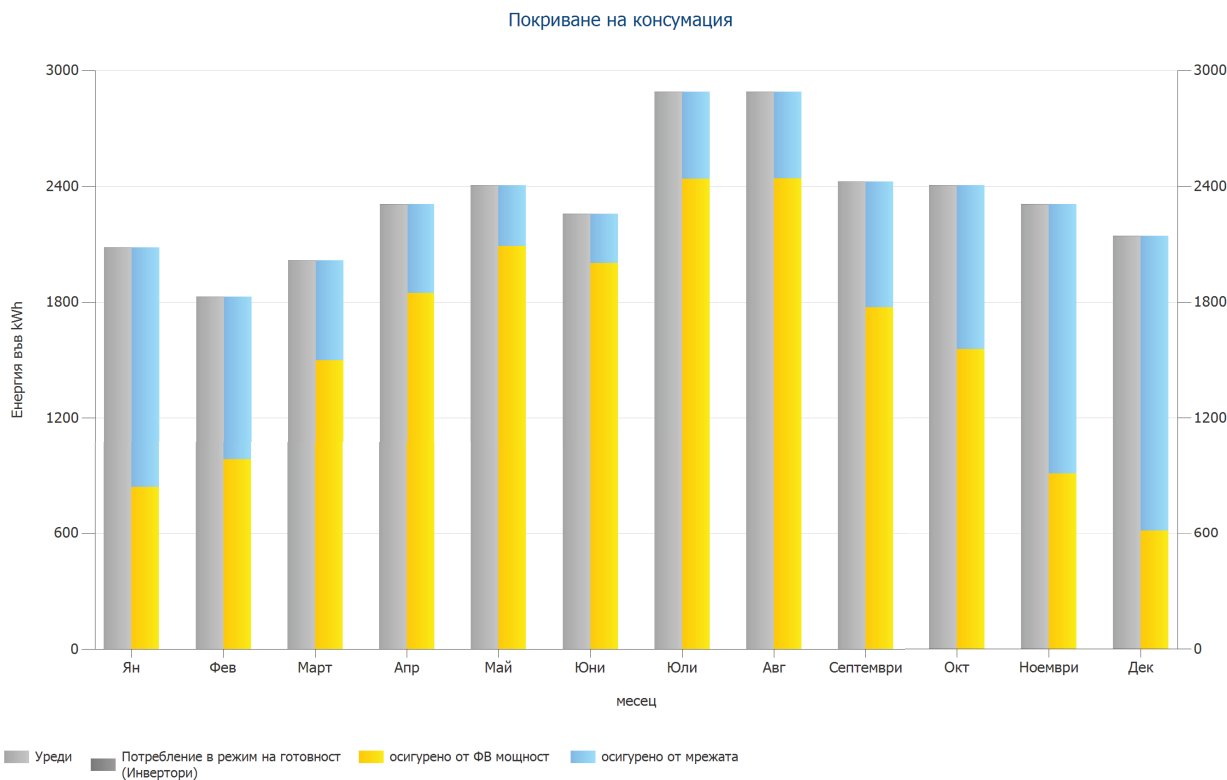
Фиг. 3. Прогноза за производство с консумация



Фиг. 4. Потребление на енергия от ФЕЦ

Резултатите от потреблението на енергия и покриването от фотоволтаичната система са представени на *фиг. 5*. Последната графика показва консумацията на сградата (в сиво), какво е настоящото съотношение, покрито от фотоволтаичната система. Наблюдава се, че от март системата покрива над 60% и повече процента от потреблението и малка част се допълва от електрическата мрежа. През зимните месеци производството на системата от ноември до февруари може да покрие 1/3

от потреблението на сградата. Силовият фотоволтаичен инвертор е снабден с комуникация блок за събиране и предаване на оперативна информация. Информация за производителността, текущото производство на електрическа енергия, текущото състояние на фотоволтаичната система, историята на грешките и други индикатори може да се предава от тип LAN интерфейс към локален Ethernet мрежа или дистанционно през отворената интернет мрежа.



Фиг. 5. Покриване на консумацията

Схема на разположение и свързване на фотоволтаичните модули на покрива на Образователен център за извънкласни дейности и култура

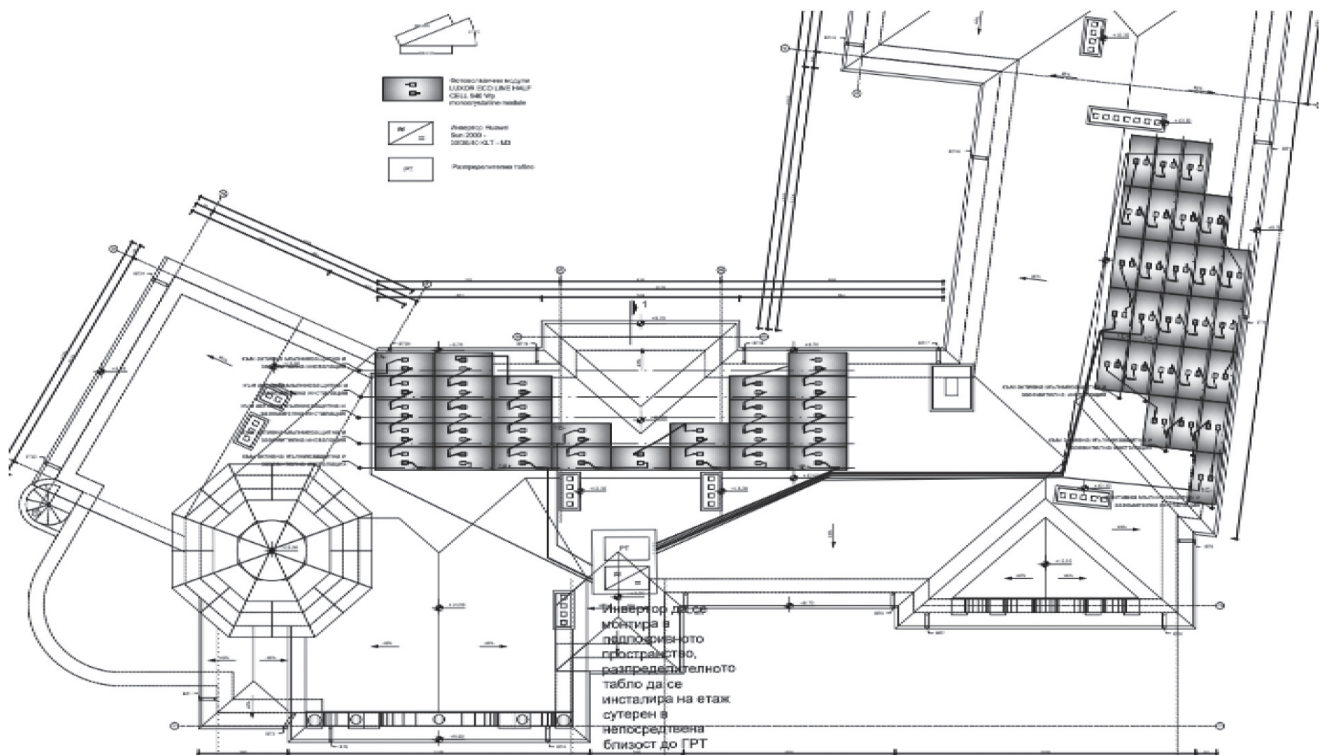
Крайното местоположение и схемата на свързване на фотоволтаичните модули на покрива на училището е представено на *фиг. 6*. Фотоволтаичните модули, използвани в проекта, са: 54 фотоволтаични монокристални модула LUXR ECO LINE HALF CELL M144/525-545 с мощност 545 Wp. Проектът използва инвертори: 1 трифазен соларен инвертор HUAWEI SUN2000-30KTL-M3 Smart PV контролер.

Има голяма разлика в оптималните ъгли за летния и зимния сезон. Затова е необходимо да се намери оптималният ъгъл на модулите спрямо хоризонта, при който се постига максимален годишен добив. Този ъгъл трябва да е съобразен с разстоянието между редовете на модулите, за да няма засенчване дори и през зимните месеци, когато ъгълът на слънцето е най-малък – ъгъл 28 граду-

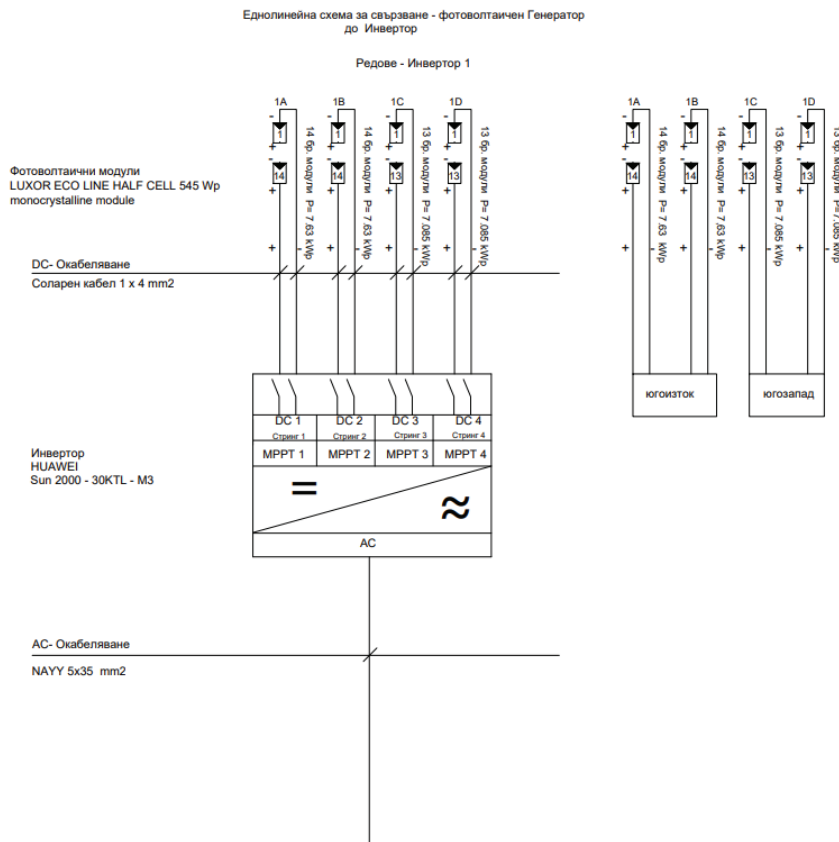
са. Трябва също да се вземе под внимание и наклонът на покрива. На *фиг. 6* е показано местоположението на всеки стринг от фотоволтаичната система и връзката към инвертора и главното табло на обекта и характеристиките на самите панели.

На *фиг. 7* е представена еднолинейната схема на фотоволтаичните панели, разположени по стрингове до инвертора. Съответно инверторът има четири MPPT входа, на които са свързани първите два входа – 14 броя панели, трети и четвърти вход съответно по 13 броя панели.

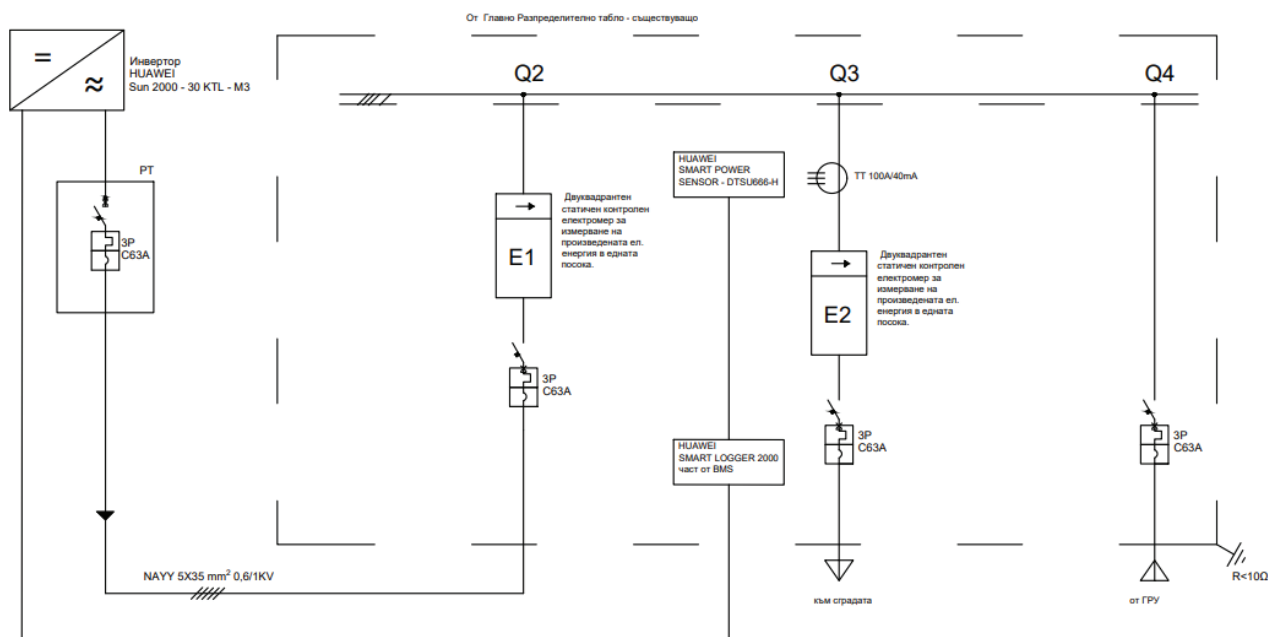
Устройството интелигентен измервателен уред/ smart power sensor следи производството на произведената електрическа енергия и тази, консумирана от обекта чрез токови трансформатори, монтирани на фазите в разпределението табло за електромер (*фиг. 8*). Контролерът интелигентен измервателен уред ще ограничи производството на системата в рамките на тока и енергията, консумирана от потребителя.



Фиг. 6. Разположение и свързване на фотоволтаични панели на покрива на Образователен център за извънкласни дейности и култура



Фиг. 7. Еднолинейна схема на обекта – фотоволтаични панели по стрингове до инвертор



Фиг. 8. Еднолинейна схема на табло – с ограничение консумация само за собствени нужди

Заклучение

Инсталацията е за собствени нужди, не връща електрическа енергия към електроснабдителната система и не се присъединява към електроразпределителната мрежа.

Предложената и проектирана фотоволтаична централа за Образователен център за извънкласни дейности и култура с цел намаляване на потреблението на електроенергия е много практична. Така сградата повишава

енергийната ефективност и намалява месечните разходи за фактуриране.

Разходът за енергия на сградата е основно през деня, когато производството от ФЕЦ е с най-високо качество.

Ограничението до 30 kWp е с цел лесно свързване към електрическата мрежа (ограничение от електроразпределителните дружества). При по-висока мощност е необходимо допълнително разрешение и възможност за отказ за присъединяване.

Таблица 3

ЕСМ Енергоспестяващи мерки	Спестена крайна енергия		Инвестиция	Срок на откупуване	Редуцирани емисии CO ₂
	Енергиен ресурс	kWh/a	лева	Години	t/y
Изграждане на фотоволтаична система за собствени нужди	Електрическа енергия	38 000	50 000	6.9	44.84

Моделното изследване на енергопотреблението в сградата е извършено на основата на метода съгласно БДС EN ISO 13790. Методът е реализиран с програмнен софтуерен продукт EAB Software. Софтуерният продукт е предоставен само на сертифицирани лица след придобиване на удостоверение за професионална квалификация № ЕС 854/21, април 2011 г. „Обследване за енергийна ефективност и сертифициране на сгради“.

Обследването е извършено в периода октомври 2021 г. – ноември 2021 г. Към днешна дата за подобен вид инвестиция срокът на откупуване ще бъде по-кратък спрямо увеличението на електроенергийните ресурси.

Енергийни изчисления			
Име на проекта:	МУЦ		
Марка:	Изграждане на фотоволтаична централа		
Общо инвестиции:	50 000 BGL		
Енерг. източник 1:	☑ 1		
Икономии kWh/година:	38 000 kWh/година	0,190 BGL/kWh	= 7 220 BGL
Икономии kW:	0 kW	*	= 0 BGL
Енерг. източник 2:	☑ Не		
Икономии kWh/година:	0 kWh/година	*	= 0 BGL
Икономии kW:	0 kW	*	= 0 BGL
Общ икономии:	7 220 BGL		
Годишна ЕБ П:	0 BGL		
Нето икономии:	7 220 BGL		
Икономически живот:	10 Година		
Макс. срок изплащане:	10 Година (За изчисление на макс. инвестиция)		
Реален лихвен %:	2,88%		
Рентабилност:			
Срок на откупуване:	6,9	<input type="checkbox"/>	Мярка за реконструкция
Срок на изплащане:	7,8	<input type="checkbox"/>	Рентабилна мярка
Вътр. норма на възвръщаемост:	7,3 %	<input type="checkbox"/>	Мерки по вътрешния микроклимат
Нетна сегашна стойност:	11.952		
Коеф. на нетна сегашна стойност:	0,24		
Максимална инвестиция:	61.921		

Литература

1. Наредба № Е-РД-04-1 от 22.01.2016 г. за обследване за енергийна ефективност, сертифициране и оценка на енергийните спестявания на сгради.
2. Наредба № 15/2005 г. за технически правила и нормативи за проектиране, изграждане и експлоатация на обектите за производство, пренос и разпределение на топлинна енергия.
3. Winther-Jensen, B., F. C. Krebs. High-conductivity Large-area Semi-transparent Electrodes for Polymer Photovoltaics by Silk Screen Printing and Vapour-Phase Deposition. – *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90, 2006, 123-132.
4. Lungenschmied, C., G. Dennler, H. Neugebauer, S. N. Sariciftci, M. Glatthaar, T. Meyer, A. Meyer. Flexible, Long-lived, Large-area, Organic Solar Cells. – *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91, 2007, 379-384.
5. Li, G., R. Zhu, Y. Yang. Polymer Solar Cells. – *Nature Photonics*, 6, 2012, 153-161.
6. Wong, W. S., A. Salleo. Flexible Electronics: Materials and Applications. – *Springer Science & Business Media*, 2009.
7. Hambrick, J. and D. Narang. High-penetration PV Deployment in the Arizona Public Service System, Phase 1 update. 38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2012, 1-4.
8. Primorac, M., D. Šljivic, Z. Klaić, K. Fekete and B. Nakomčić-Smaragdakis. Microgrid Energy Management System in a Public Building. International Conference on Smart Systems and Technologies (SST), 2016, 103-108.
9. Martirano, L., S. Rotondo, M. Manganelli and M. Kermani. A Smart Microgrid for Buildings of the Public Administration. IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 2020, 1-4.
10. Martyanov, A. S., D. V. Korobov and E. V. Solomin. Simulation Model of Public Street Lighting Provided by a Photovoltaic Converter and Battery Storage. International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2017, 1-5.

11. Oviedo-Cepeda, J. C., F. Z. Amara and A. K. Athienitis. Model Predictive Control Horizon Impact Over the Flexibility of a Net Zero Energy Building. IECON 2021 – 47th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2021, 1-6.
12. Jimenez, D., L. M. Carrasco, R. Eyra, A. G. Marsinach and O. Perpignan. Architectural Integration of Grid Connected Photovoltaic Systems for Schools in Coslada. 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Proceedings of 2003, 2370-2374.
13. Iatcheva, I., M. Dimitrova, N. Petkova. 3D Modelling of Electric Field in Vicinity of 400 kV Power Line. – *International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering (COMPEL)*, 37, 2018, 4, 1545-1555, ISSN: 0332-1649, SCOPUS, Web of Science, IF=0.9, SJR=0.268.
14. Young, M. The Technical Writer's Handbook. Mill Valley, CA, University Science, 1989.
15. Tanev, T., R. Stanev. Modeling of Photovoltaic Power Plant Electricity Generation Using Machine Learning Methods. 17th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2021 – Proceedings, DOI: 10.1109/ELMA52514.2021.9503066 ISBN: 9781665435826.
16. Tanev, T., R. Stanev. Mathematical Model of Battery Storage Installed in Photovoltaic Power Plant. 21st International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies, SIELA 2020 – Proceedings, Art. No. 9167155, DOI:10.1109/SIELA49118.2020.9167155 ISBN: 9781728143460.

За контакти:

Гл. ас. д-р инж. **Татяна Радева**
Катедра „Електроенергетика“
Технически университет – София
tania_rr@abv.bg, t_radeva@tu-sofia.bg

ФНТС ВИ ПРЕДЛАГА

КОМПЛЕКСНИ УСЛУГИ:
Специалисти-консултанти за разработване на проекти, свързани с технологични иновации, финансова политика, патентна защита и др...
Федерацията на научно-техническите съюзи ще ви осигури конферентни и изложбени зали, симултанна техника, отлични възможности за провеждане на вашите събития, промоции, коктейли.
Спестете време, средства и енергия като се възползвате от комплексните услуги на Федерацията и удобните зали от 14 до 300 места, в центъра на София.

ЗАПОВЯДАЙТЕ ПРИ НАС!



Зала №4

Зала	брой места	дни		почивни и празнични дни	
		до 12 часа	до 14 часа	над 14 часа	над 14 часа
Зала №1 (85 кв. м)		119 лв.	225 лв.	310 лв.	390 лв.
Зала №2 (40 места)		109 лв.	205 лв.	290 лв.	340 лв.
Зала №3 (90 места)		180 лв.	275 лв.	350 лв.	425 лв.
Зала №4 (300 места)		385 лв.	495 лв.	495 лв.	595 лв.
Зала №105 А (54 места)		99 лв.	195 лв.	290 лв.	340 лв.
Зала №108 (14 места)		69 лв.	89 лв.	105 лв.	135 лв.
Зала №109 (до 26 места)		72 лв.	95 лв.	130 лв.	175 лв.
Зала №302 (14 места/		65 лв.	89 лв.	120 лв.	165 лв.
Зала №312 (до 25 места)		72 лв.	95 лв.	130 лв.	175 лв.
Зала №315 (14 места)		69 лв.	89 лв.	105 лв.	135 лв.

Цените са без ДДС и са в сила от 01. 01. 2019 г.!

София, 1000, ул. „Г. С. Раковски“ №108
Национален дом на науката и техниката
тел: 02/ 987 72 30 БЕЗПЛАТНО, факс: 02/ 987 93 60