

Универзитет “Св. Кирил и Методиј” во Скопје



Машински факултет - Скопје



Блерина Биљикбаши

**МОДЕЛИРАЊЕ И ОПТИМИЗАЦИЈА НА ФОТОНАПОНСКИ
СИСТЕМИ ЗА ИНДУСТРИСКИОТ СЕКТОР**

- Докторска дисертација –

Скопје, 2023

Блерина БИЉИКБАШИ

**МОДЕЛИРАЊЕ И ОПТИМИЗАЦИЈА НА ФОТОНАПОНСКИ СИСТЕМИ ЗА
ИНДУСТРИСКИОТ СЕКТОР**

Ментор:

Проф. д-р Ристо Филкоски
Машински факултет,
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје

Комисија:

Проф. д-р Доне Ташевски, претседател
Машински факултет,
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје

Проф. д-р Ристо Филкоски, член
Машински факултет,
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје

Вон. проф. д-р Игор Шешо, член
Машински факултет,
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје

Проф. д-р Антон Чаушевски, член
Факултет за електротехника и информациски технологии,
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје

Проф. д-р Сабрије Османај, надворешен член
Факултет за електротехника и компјутерско инженерство,
Универзитет „Хасан Приштина“, Приштина

ТЕХНИЧКИ НАУКИ - МАШИНСТВО

Датум на одбрана:

Датум на промоција:

М-р Блерина Биљикбаши, дипл. инж.

МОДЕЛИРАЊЕ И ОПТИМИЗАЦИЈА НА ФОТОНАПОНСКИ СИСТЕМИ ЗА ИНДУСТРИСКИОТ СЕКТОР

Апстракт

Обновливите извори на енергија претставуваат атрактивна опција за покривање на голем дел од сегашните и идните енергетски потреби и за намалување на негативното влијание од процесите на енергетска конверзија врз околината. Сончевата енергија може да се смета за чист извор на енергија, а нејзината употреба може да задоволи значителни енергетски барања врз основа на количеството енергија што Земјата континуирано ја добива од Сонцето. Примарната мотивација за работа на оваа тема е да се даде придонес на планот на развој и оптимизација на фотонапонски (ФН) системи преку дефинирање методологија за оптимизација на систем во реални услови, со специфична намена за функционирање во рамките на индустриска компанија, во координација со другите енергетски и технолошки постројки и инсталации. Појдовна претпоставка во истражувањето е дека со правилна идентификација на главните фактори од кои зависат енергетската ефикасност, факторот на искористување на капацитетот и вкупното производство на електрична енергија, може да се влијае врз нивните вредности и да се планира и да се спроведе оптимизација на компонентите и на системот во целина. Целта е да се спроведе анализа на специфични системи кои се исклучок од основните методи за проектирање на ФН системи и да се изнајдат начини за нивна оптимизација за да се постигнат подобри перформанси.

Во дисертацијата е претставено моделирање на ФН систем со мал капацитет, со примена на софтверски и аналитички методи, поддржано со реални податоци добиени од мониторинг систем. ФН систем се состои од 88 монокристални модули со 310 Wp и инвертер од 25 kW, поврзан на мрежа, инсталиран во индустриски производствен погон во близина на Сува река, Косово. Податоците за работата на системот се снимени во периодот од 1 јули 2021 до јуни 2022 година, при што се следени следниве параметри: актуелно производство на енергија, вкупен принос, просечна генерирана моќност, директна потрошувачка на енергија за сопствени потреби, енергија што се внесува во енергетската мрежа, енергија што се зема од енергетската мрежа и енергетска покриеност која системот ја постигнува за потребите на фабриката како и други. Во текот на 2021 година, најголемо месечно производство имало во текот на јули, 2811,86 kWh, додека специфичниот енергетски принос изнесувал 445,1 kWh/kWp. Просечната производна моќност во текот на јули била 16,6 kW, додека најголем степен на исполнување на барањата за енергија од ФН системот има во мај со 87 %. Според очекувањата, врз основа на географската положба и климатската зона, најдобри перформанси на системот се постигнуваат во летните месеци, додека најниските се во зимскиот период. Производството на енергија од ФН системот овозможува дел од потребната енергија на компанијата се покрива со сопствено производство, каде што најголем пораст на трошоците за енергија има во текот на јули со 309 €/kWh, додека најнизок во текот на декември, 67,8 €/kWh. Август се карактеризира со голема покриеност на трошоците од 84

%, додека најмала покриеност, 16%, има во декември. По оптимизирањето на системот се менуваат параметрите на ефикасноста на производство на електричната енергија од ФН системот, па во новата состојба најголемо е производството во август со 4368,7 kWh, додека месец со најмало производство е декември со 1775,8 kWh. Оптимизацијата влијае на тоа во некои месеци да има зголемување на произведената енергија, но во други и намалување на производството. Порастот на производството по оптимизацијата е најголем во декември, со 87,02 %, додека најголемото намалување со 10,14 % е во јуни. Вкупниот годишен пораст на производството на електрична енергија со оптимизација на ФН системот изнесува околу 500 kWh. Намалувањето на производството на енергија во летните месеци се јавува поради пораст на температурата во PV модулите, што влијае за намалување на нивните перформанси и на системот во целина.

Клучни зборови:

Обновлива енергија, Сончева енергија, фотонапонски (ФН) систем, просечна излезна моќност, покриеност на енергија, потрошувачка на енергија, енергија кон мрежа, енергетска ефикасност

Blerina Bylykbashi, M.Sc., Mech. Eng.

MODELING AND OPTIMIZATION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS FOR THE INDUSTRIAL SECTOR

Abstract

Renewable energy sources represent an attractive option for covering a large part of current and future energy needs and for reducing the negative impact of energy conversion processes on the environment. Solar energy can be considered a clean source of energy, and its use can meet significant energy demands based on the amount of energy that the Earth continuously receives from the Sun. The primary motivation for working on this topic is to contribute to the plan of development and optimization of photovoltaic (PV) systems by defining a methodology for optimization of a system in real conditions, with a specific purpose for functioning within an industrial company, in coordination with other energy and technological plants and installations. The starting assumption in the research is that with the correct identification of the main factors on which the energy efficiency depends, the capacity utilization factor and the total electricity production, it is possible to influence their values and plan and implement the optimization of the components and the system as a whole. The goal is to conduct an analysis of specific systems that are an exception to the basic methods for designing PV systems and to find ways to optimize them to achieve better performance.

The dissertation presents the modeling of a PV system with a small capacity, using software and analytical methods, supported by real data obtained from a monitoring system. The PV system consists of 88 monocrystalline modules with 310 W_p each, and a 25 kW grid-connected inverter installed in an industrial production facility near Suva Reka, Kosovo. Data on the operation of the system were recorded in the period from July 2021 to June 2022, during which the following parameters were monitored: current energy production, total yield, average generated power, direct energy consumption for own needs, energy entered into the energy network, energy that is taken from the energy network and energy coverage that the system achieves for the needs of the plant as well as others. During 2021, the highest monthly production was during July, 2811,86 kWh, while the specific energy yield was 445.1 kWh/kW_p. The average production power in July was 16.6 kW, while the highest degree of fulfillment of energy requirements from the photovoltaic system was in May, in the amount of 87 %. As expected, based on the geographical location and climate zone, the best system performance is achieved in the summer months, while the lowest is in the winter period. The production of energy from the PV system means that part of the company's required energy is covered by its own production, where the highest increase in energy costs occurred during July with 309 €/kWh, while the lowest during December, 67.8 €/kWh. August is characterized by a high-cost coverage of 84 %, while the lowest coverage, 16 %, is in December. After optimizing the system, the parameters of the efficiency of electricity production from the PV system are changed, so in the new state, the highest production is in August with 4368.7 kWh, while the month with the lowest production is December with 1775.8 kWh. The optimization affects that in some months there is an increase in the produced energy, but in others a decrease in production. The increase in production after optimization is the largest in December, with 87.02 %, while the largest decrease with 10.14 % is in June. The total

annual increase in electricity production with optimization of the PV system amounts to about 500 kWh. The decrease in energy production in the summer months occurs due to an increase in temperature in the PV modules, which affects their performance and the system as a whole.

Keywords:

Renewable energy, Solar energy, photovoltaic (PV) system, average power output, energy coverage, energy consumption, energy-to-grid, energy efficiency

Содржини

Листа со слики.....	10
Листа со табели.....	13
Кратенки.....	14
Листа на симболи	15
1. Вовед.....	17
1.1. Мотивација и значење.....	25
1.2. Дефинирање на проблемот и работна хипотеза	26
1.3. Цели на истражувањето	28
1.4. Краток преглед на дисертацијата.....	28
2. Теоретски подлоги и литературен преглед на релевантни истражувања.....	30
2.1. Сончевата енергија како клучен обновлив извор.....	30
2.2. Сончево зрачење	33
2.3. Спектар на електромагнетно зрачење	34
2.4. Фотонапонски технологии.....	38
2.4.1. Фотонапонски ќелии	39
2.4.2. Монокристални ќелии.....	40
2.4.3. Поликристални ќелии	41
2.4.4. Ќелии со тенок филм.....	42
2.5. Карактеристики на фотонапонски ќелии	43
2.6. Фотоволтаични модули.....	46
2.7. Фотонапонски низи	48
2.8. Фотоволтаични системи.....	49
2.9. Искористување на сончевата енергија и нејзини придобивки.....	55
2.10. Некои аспекти на применливост на сончевата енергија во индустријата.....	57
2.11. Преглед на литература.....	58
2.12. Научна иновација.....	68
3. Методологија на истражувањето	70
3.1. Презентација на моделирачки и експериментални/мерни алатки и процедури....	72
3.2. Еквивалентен електричен модел.....	74

3.3.	Енергетски перформанси на фотонапонски систем.....	76
3.3.1.	Енергија на низата.....	77
3.3.2.	Нето излезна енергија од низата.....	77
3.3.3.	Ефикасност на низата.....	77
3.3.4.	Енергија на мрежата.....	78
3.3.5.	Нето излезна енергија на PV системот.....	78
3.3.6.	Ефикасност на системот.....	78
3.3.7.	Максимална моќност на соларните ќелии.....	79
3.3.8.	Факторот на полнење.....	79
3.4.	Карактеристични параметри на фотонапонска електроцентрала.....	79
3.4.1.	Принос на низата.....	80
3.4.2.	Финален принос.....	80
3.4.3.	Референтен принос.....	81
3.4.4.	Однос на перформанси.....	81
3.4.5.	Загуби на низата.....	81
3.4.6.	Системски загуби.....	82
3.4.7.	Фактор на капацитет.....	82
3.4.8.	Ефикасност на системот.....	82
3.5.	Проценка на аголот на поставување на панелите.....	83
3.6.	Типична метеоролошка година.....	85
3.7.	SWOT анализа.....	94
3.8.	Осврт кон некои аспекти на влијанието врз околината.....	96
3.9.	PV*SOL премиум софтвер.....	97
4.	Приказ на систем за реализација на практичниот дел од истражувањето.....	99
4.1.	Идентификација на локацијата.....	99
4.2.	Сончев потенцијал на Косово.....	101
4.3.	Опис на PV системот.....	106
5.	Резултати, оптимизација и дискусија.....	111
5.1.	Метеоролошки услови.....	111
5.2.	Енергетски карактеристики на фотоволтаичниот систем.....	130
5.3.	Енергија кон мрежата.....	138

5.4. Енергија од мрежата.....	139
5.5. Финансиска анализа	142
5.6. Оптимизација на PV системот.....	145
5.7. Локални и глобални аспекти на влијание врз околината	149
6. Заклучоци и препораки за понатамошна работа	151
6.1. Заклучоци.....	151
6.2. Насоки за понатамошна истражувачка работа	154
7. Референци	156

Листа со слики

Слика 1. 1. Енергетски ресурси

Слика 1. 2. Ослободување на стакленички гасови за време на проширувањето на електраните [7]

Слика 2. 1. Потрошувачка на енергија во светот во минатото и проекција за наредните години.

Дијаграмо е заснован врз податоци на U.S. Energy Information Administration

(<https://www.texasgateway.org/resource/79-world-energy-use>)

Слика 2. 2. Учество на одделни ресурси во снабдувањето со примарна енергија во светот од 1971 до 2018 година (во милиони тони еквивалентна нафта - Mtoe), според IEA

Слика 2. 3. Електромагнетен спектар на сончево зрачење [9]

Слика 2. 4. Дозрачена енергија до горните слоеви на атмосферата (жолта боја) и енергија што доаѓа до површината на Земјата (црвена боја)

Слика 2. 5. Приказ на напречен пресек и функционална шема на фотонапонска ќелија (а) и принцип на создавање електрична енергија во полупроводник (б) (Модифицирано според [12])

Слика 2. 6. Монокристална ќелија [15]

Слика 2. 7. Поликристална ќелија [16]

Слика 2. 8. I-V карактеристики на фотоволтаични ќелии [17]

Слика 2. 9. I-V и P-V PV карактеристики на фотоволтаични ќелии [18]

Слика 2. 10. Карактеристики на фотоволтаична ќелија при константна температура и променливо сончево зрачење [19]

Слика 2. 11. Карактеристики на фотоволтаична ќелија при променливи разлики во температурата и постојано зрачење [19]

Слика 2. 12. Промена на карактеристиките на панелот во зависност од сончевото зрачење [22]

Слика 2. 13. Влијанието на температурата на фотоволтаичниот панел [22]

Слика 2. 14. Блок дијаграм на основен фотоволтаичен систем поврзан со мрежа [23]

Слика 2. 15. Структура на фотоволтаична низа [24]

Слика 2. 16. Дизајни на фотоволтаични системи [25]

Слика 2. 17. Самостоен фотоволтаичен систем [27]

Слика 2. 18. Дијаграм на фотоволтаичен систем поврзан со мрежа [28]

Слика 2. 19. Начини на поврзување на фотоволтаични системи [19]

Слика 2. 20. Инсталирани фотонапонски капацитети, 2010 - 2020 [55]

Слика 2. 21. Зголемување на капацитети на обновливи извори на енергија низ годините [56]

Слика 2. 22. Производни капацитети од обновливи извори на енергија во различни региони [56]

Слика 2. 23. Учество на обновливи извори на енергија [56]

Слика 2. 24. Потенцијал на сончева енергија во Југозападна Европа [57]

Слика 2. 25. Уделот на обновливи извори на енергија во земјите од Западен Балкан (во %) [58]

Слика 2. 26. Вкупен фотоволтаичен капацитет инсталиран до крајот на 2020 [60].

Слика 3. 1. Општа методологија и пристап за развој на истражувањето

Слика 3. 2. Шема на делови и приклучоци на ФН системот

Слика 3. 3. Математички модел за анализа на фотонапонски систем

Слика 3. 4. Еквивалентно коло на PV ќелија [62]

Слика 3. 5. Вредностите на P50 и P90 претставени во дијаграм на Гаусова нормална дистрибуција: (а) P50; (б) P90 [71]

Слика 3. 6. Вредностите на P50, P75, P90 и P99 претставени во дијаграм на Гаусова нормална дистрибуција [72]

Слика 3. 7. Месечно сончево зрачење според P50 и P90

Слика 3. 8. Веројатност за појава на одредена амбиентна температура за P50 и P90

Слика 3. 9. Графички приказ на главните компоненти на SWOT анализата за случај на фотонапонски (PV) систем

Слика 3.10. Структура на софтверот PV*SOL премиум

Слика 4.1. Глобално хоризонтално зрачење во Европа [79]

Слика 4. 2. Директна нормална ирадијација во Европа [79]

Слика 4. 3. Потенцијал за производство на електрична енергија од PV системи во Европа [79]

Слика 4. 4. Глобално хоризонтално сончево зрачење во Косово [80]

Слика 4. 5. Директна нормална ирадијација во Косово [80]

Слика 4. 6. Електричен потенцијал на фотонапонски системи во Косово [80]

Слика 4. 7. ФВ систем

Слика 4. 8. Пресек на монокристалниот модул [81]

Слика 4. 9. Поставените панели како и начинот на нивното поврзување

Слика 5. 1. Сончев азимут и сончева патека [83]

Слика 5. 2. Промена на сончевата ирадијација врз хоризонтална рамнина во текот на денот

Слика 5. 3. Месечна промена на сончевата ирадијација врз хоризонтална површина во текот на јуни

Слика 5. 4. Промена на сончевата ирадијација врз хоризонтална површина во текот на годината - просечни средни вредности по месеци

Слика 5. 5. Часовна покриеност со одреден интензитет на дозрачена енергија на хоризонтална површина за секој ден во текот на годината

Слика 5. 6. Часовна распределба на дифузното сончево зрачење на хоризонтална рамнина во текот на денот

Слика 5. 7. Дневна промена на дифузното нормално зрачење на хоризонтална рамнина во текот на јуни

Слика 5. 8. Средно дифузно сончево зрачење врз хоризонтална површина по месеци за период од една година

Слика 5. 9. Дифузно зрачење, изразено како број на часови дневно во текот на годината со покриеност со одреден интензитет на дифузно сончево зрачење

Слика 5. 10. Дневна промена на хоризонталното глобално зрачење

Слика 5. 11. Промена на глобалното сончево зрачење во текот на јуни

Слика 5. 12. Промена на глобалната радијација врз хоризонтална површина во текот на една година

Слика 5. 13. Број на часови со одреден интензитет на глобално сончево зрачење врз хоризонтална површина во текот на годината

Слика 5. 14. Промената на годишното зрачење на хоризонтална рамнина, дифузното зрачење и глобалното зрачење на хоризонталната рамнина

Слика 5. 15. Промена на дневно зрачење изразено како PV потенцијал

Слика 5. 16. Промена на месечното глобално зрачење изразено како PV потенцијал во јуни

Слика 5. 17. Промена на глобалното PV зрачење во текот на годината изразена преку средното глобално зрачење по месеци

Слика 5. 18. Дневна должина (во часови на ден) и соодветната вредност на глобалното PV зрачење во текот на годината

Слика 5. 19. Вкупен излезен PV потенцијал по месеци во текот на една година [69]

Слика 5. 20. Промена на дневното глобално зрачење кон PV модулот (во W/m^2)

Слика 5. 21. Дневна промена на глобалното зрачење кон модулот во текот на еден месец (јуни)

Слика 5. 22. Промена на глобалното зрачење кон модулот по месеци, во текот на една година

Слика 5. 23. Број на часови дневно во текот на годината со одредена вредност на глобалното инцидентно зрачење на модулот

Слика 5. 24. Дневна промена на температурата на околината

Слика 5. 25. Дневна промена на температурата на околината во текот на месецот (јуни)

Слика 5. 26. Годишна промена на средната температура на околината

Слика 5. 27. Промена на температурата на околината и температурата на површина на модулот

Слика 5. 28. Часови во текот на годината со различни амбиентни температури

Слика 5. 29. Промена на просечната брзина на ветерот во текот на годината

Слика 5. 30. Генерирана енергија од PV системот во одделни месеци

Слика 5. 31. Напон во точката на максималната моќност (MPP) во текот на еден месец

Слика 5. 32. Промена на MPP напонот во текот на годината

Слика 5. 33. Генерирана енергија (DC) во текот на еден ден

Слика 5. 34. Дневна промена на генерирана DC енергија во текот на еден месец (јуни)

Слика 5. 35. DC енергија генерирана во текот на одделни месеци во период од една година

Слика 5. 36. Однос на перформанси (сооднос на перформанси - ПР) по инвертер

Слика 5. 37. Енергија произведена од ФВ системот во текот на една година изразена преку производството во одделни месеци

Слика 5. 38. Финален енергетски принос (издашност) по месеци во текот на една година

Слика 5. 39. Промена на просечната моќност на системот во период од една година

Слика 5. 40. Производство на енергија, директна потрошувачка и енергија испорачана на мрежата

Слика 5. 41. Процент на искористена енергија во самиот објект произведена од фотоволтаичниот систем

Слика 5. 42. Вкупна потрошувачка на енергија, енергија директно потрошена од производството на ФВ систем и енергија од мрежата

Слика 5. 43. Покриеност на потребите за енергија на фабриката со PV системот и од електричната мрежа

Слика 5. 44. Покривање на енергетските потреби на фабриката со PV системот

Слика 5. 45. Средна вредност на MPP (максимална точка на моќност- MPP) за фотонапонскиот систем по месеци во период од една година

Слика 5. 46. Влупни трошоци за енергија и редуцирани трошоци како резултат на работата на PV системот, по месеци за период од една година

Слика 5. 47. Намалување на трошоците за електрична енергија (во %) по месеци, во период од една година

Слика 5. 48. Тек на инвестицијата

Слика 5. 49. Генерирана енергија од PV системот по оптимизацијата

Слика 5. 50. Влијанието на оптимизацијата врз произведената енергија (во %)

Листа со табели

Табела 3. 1. Типична метеоролошка година за градот Приштина [76]

Табела 3. 2. Резултати за интензитет на сончево зрачење и температура на околината според методите P50 и P90

Табела 4. 1. Главните параметри на PV модулите [81]

Табела 4. 2. Главните параметри на инверторот [82]

Табела 5. 1. Месечни и годишни оптимални агли на наклон (β_{opt} во $^{\circ}$) за градот Сува река

Табела 5. 2. Расчленување на емисиите на гасови од стакленички животниот циклус за соларни PV (% од вкупниот број)

Табела 5. 3. Емисија на стакленички гасови од PV панели

Кратенки

- AC – Алтернативна (наизменична) струја
- CdTe – Кадмиум телуриум
- CIS – Бакар индиум галиум селенид
- CFS – Кумулативни функции на дистрибуција
- DC – еднонасочна струја
- DSC – Термочувствителни соларни ќелии и други органски ќелии
- IEA – Меѓнародна агенција за енергија (International Energy Agency)
- IR – Инфрацрвена
- PV – Фотоволтаичен (фотонапонски)
- RES – Обновливи извори на енергија
- UV – Ултравioletово
- TMY – Типична метеоролошка година
- α -Si – Аморфен силициум

Листа на симболи

Симбол	Единица	Опис, значење
A_A	m^2	Површина на низа
CF	-	Фактор на капацитет
D_{EA}	kWh	Нето излезна енергија од низа
D_{EG}	kWh/kW _p	Нето излезна енергија
E_{AC}	kWh	АС (наизменична) излезна енергија
E_{AE}	kWh	Енергија на низа
E_{DC}	kWh	DC (еднонасочна) излезна енергија
E_{GE}	kWh	Енергија на мрежата
FF	-	Фактор за полнење
FS	-	Статистика на Финкелштајн-Шафер
FS_i	-	FS статистика за индекс
H_R	kW/m ²	
H_t	kWh/m ²	Глобално сончево зрачење
I	A	Струја, јачина на струја
I_D	A	Струја низ диодата
I_L	A	Струја иницирана од фотонот
I_{MPP}	A	Струја во точка на максимална моќност
I_S	kWh/m ²	Инцидентна (паднувачка) радијација (паднувачко зрачење)
I_{SC}	A	Струја на краток круг (кратка врска)
I_{SH}	A	Струја на шантот
k	-	Константа на Болцман
L_C	%	Capture losses
L_S	%	Системски загуби
N	-	Број на денови во месецот
n	-	Број на дневни читања за еден месец
P	W	Моќност
PC	kWh/kW _p	Капацитет на постројка

P_{in}	W	Влезна моќност
P_{MPP}	W	Моќност во точка на максимална моќност
PR	-	Сооднос на перформанси
q	W	Полнеж на електронот
R_s	Ω	Отпор во серија
R_{SH}	Ω	Отпор на шант
T	$^{\circ}\text{C}$	Апсолутна температура
V	V	Напон
V_{MPP}	V	Напон во точка на максимална моќност
V_{OC}	V	Напон на отворен круг
w_i	-	Тежински индекс (индекс за пондерирање)
Y_a	kWh/kW	Принос на низа
$Y_{a,d}$	kWh/kW	Дневен принос на низа
$Y_{a,m}$	kWh/kW	Месечен просечен принос на низа
Y_f	kWh/kW	Краен принос
$Y_{f,d}$	kWh/kW	Дневен конечен принос
$Y_{f,m}$	kWh/kW	Месечен конечен принос
Y_r	kWh/kW	Референтен принос
δ_i	-	Апсолутна разлика помеѓу долгорочниот и кандидатскиот месец на x_i
η	-	Ефикасност
α	-	Фактор на квалитет на диодата
η_A	-	Ефикасност на низата
η_{LOSS}	-	Коефициент на загуби
$\eta_{PV,m}$	-	Месечна ефикасност на PV модул
η_{PV}	-	Ефикасност на PV модул
η_{PV}	-	Ефикасност на PV модул
η_{inv}	-	Ефикасност на инвертерот
η_{sys}	-	Ефикасност на системот

1. Вовед

Енергијата може да се дефинира на неколку начини. Општо земено, таа ја претставува способноста на некое тело да врши работа, што е вообичаен термин кој се користи во науката за да се дефинира енергијата. Во поширока и поцелосна смисла, енергијата може да се дефинира како способност да се врши работа, да се генерира топлина и да се емитува светлина. Енергијата е основа на животот на современиот човек и е присутна во сите домени на неговата дејност. Таа претставува двигател на индустрискиот развој во светот и е услов за остварување на економскиот раст и на севкупниот општествен развој на земјите, што на крајот резултира со зголемување на благосостојбата на луѓето. Значи, енергијата е еден од основните предуслови за постоење на форми на живот какви што ги знаеме.

Една од клучните карактеристики на енергијата е нејзината конвертибилност од една во друга форма. Постојат различни форми на енергија, како што се гравитациона енергија, кинетичка енергија, топлинска енергија, електрична енергија, хемиска енергија, енергија на зрачење, нуклеарна енергија итн. Формите на енергија можат да се класифицираат во различни категории и да се поделат според различни карактеристики. Сите овие форми на енергија може да се користат, директно или преку еден или повеќе процеси на конверзија на енергија, за да се задоволат барањата за енергија во зависност од нивниот потенцијал [1].

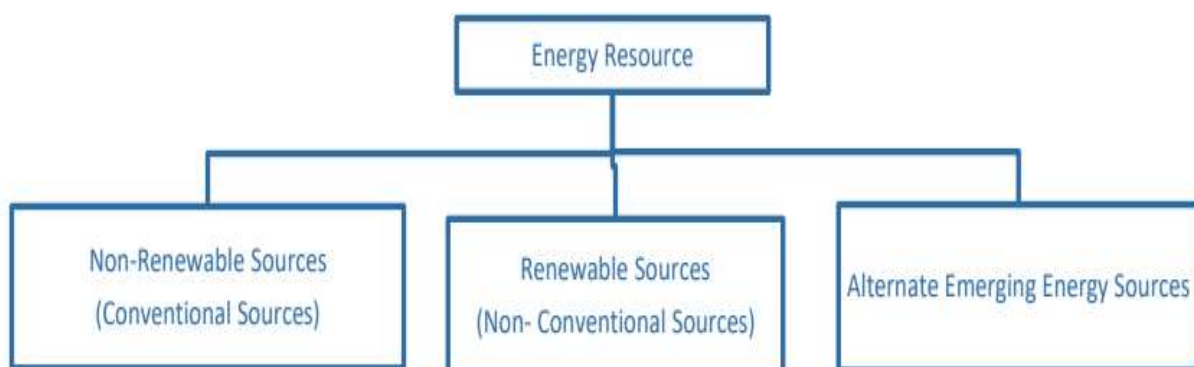
Во денешно време, енергијата е неизоставна влезна компонента за сите економски активности и влијае на подобрување на животот на луѓето и на сите општествени активности. Всушност, целата инфраструктура на животот се потпира врз користење енергија во една или друга форма. Развојот на една нација во сегашно време во голема мера е дефиниран од нејзините енергетски потреби и начинот на кој таа ги покрива барањата за енергија. Во глобалната потрошувачка на енергија, околу 24 % се користат за транспорт, околу 40 % од вкупниот износ се користи за индустриски активности, околу 30% за домашни потреби (во резиденцијалниот сектор) и останатите 6 % се користат во земјоделството.

Со секој ден, се повеќе се забележува нееднаквост во потрошувачката на енергија во развиените и индустријализираните земји во однос на земјите во развој. Околу или дури и над две милијарди луѓе во земјите во развој немаат пристап до енергетската мрежа што сочинува значителен дел од вкупното население во светот (од околу осум милијарди). Приближно три милијарди луѓе во светот зависат од фосилни горива за греење и готвење [2].

Меѓу најкритичните прашања на современата енергетска наука се наметнуваат подобрувањето на енергетската ефикасност во сите сектори и зголемувањето на примената на обновливите извори на енергија. Во наредните години и децении,

примената на енергијата на Сонцето, ветерот, биомасата и другите обновливи извори на енергија се очекува значително да порасне и да игра важна улога во снабдувањето со енергија и на тој начин да влијае за ублажување на негативните ефекти на енергетскиот сектор врз животната средина. Обновливите извори на енергија претставуваат практично неисцрпни ресурси, кои се обновуваат за краток временски период. Меѓутоа, за нивно поголемо навлегување во енергетскиот сектор и посериозно учество во енергетските биланси на државите, потребно е континуирано да се работи на научен план за унапредување на технологиите за нивна употреба и решавање на голем број сериозни техничко-технолошки (инженерски) прашања поврзани со складирањето на енергија, балансирањето на енергетските системи, преносот и дистрибуцијата во околности на висока варијабилност и (повремено) прекини при производство на електрична енергија и други прашања.

Енергијата, како што беше кажано претходно, најчесто се дефинира како способност на телото да врши работа. Подетално, промените на енергијата за време на процесите на конверзија се опишани со двата главни закони на термодинамиката. Потрошувачката на примарна енергија во изминатите децении е во постојан пораст, со кратки периоди на мала стагнација, предизвикана од различни причини. Така, според Меѓународната агенција за енергија IEA (Key World Energy Statistics 2020, Statistics report, IEA, August 2020), светската потрошувачка на примарна енергија во 1973 година била 6098 Мтое (милиони тони еквивалент на нафта), а во 2018 година пораснала до 14282 Мтое. Сличен растечки тренд може да се очекува и во наредниот период, со оглед на зголемените потреби за економски развој на многу земји и региони во светот. Енергетските ресурси вообичаено се дефинираат како материјали или супстанции кои можат да се користат за производство односно за генерирање на енергија. Енергетските ресурси ги претставуваат сите горива и други материјали кои можат да бидат подложени на процеси на енергетска конверзија и на тој начин да се доведат до форма погодна за крајна употреба, како топлинска енергија, електрична енергија или друга форма способна за вршење на која било дејност. Општо земено, овие извори на енергија можат да се класифицираат во три групи, слика 1.1.



Слика 1. 1. Енергетски ресурси

Обновливите извори на енергија се сметаат за најдобра опција за покривање на голем дел од сегашните и идните потреби за енергија и за намалување на загадувањето на животната средина од процесите на енергетска конверзија.

Резервите на конвенционалните извори на енергија се во ограничени количини и на многу локации низ светот тие се во фаза на истрошување. Во принцип, овие извори на енергија се познати како загадувачи на животната средина и нивното користење, иако тоа се прави со децении, има негативно влијание врз животната средина и врз животот на луѓето, иако е факт дека постојат технологии за значително намалување на таквото штетно влијание. Овие ресурси се наоѓаат во различни делови на светот, но сепак распространетоста е нерамномерна, така што некои земји се одликуваат со големи резерви на одредени видови фосилни горива. Во суштина, поради повеќе причини, засега нивната употреба за производство на енергија е поекономична во споредба со обновливите извори. Рамката на фосилните извори на енергија вклучува: различни видови јаглен, нафта и природен гас [3].

Тврдите горива од типот јаглени (лигнит, кафеав јаглен, камен јаглен, антрацит и др.) се состојат од органски дел, минерален дел и влага. Органската компонента се состои од комплексни органски соединенија со висока содржина на јаглерод, водород, кислород, сулфур и азот. Минералниот дел се состои од силикати (претежно алуминиумски силикати), сулфиди (претежно железен сулфид - пирит), карбонати (калциум, магнезиум и железо карбонат), сулфати, метални оксиди итн. Во термичкото инженерство одлично се разработени и развиени различни технологии за ефикасно користење на цврсти горива, па дури и такви со најнизок квалитет. Освен тоа, добро познати се методи за значителна редуција на емисиите на штетни материи од согорување на фосилни горива, вклучувајќи и јаглен. Од неодамна повеќе внимание се посветува на таканаречените чисти енергетски технологии за користење на јаглен. Иако за време на согорувањето на јагленот може да се минимизира емисијата на азотни и сулфурни оксиди, ослободувањето на јаглерод диоксид не може да се елиминира. Исто така, процесите на отстранување на азотни и сулфурни оксиди често се мошне скапи и комплексни. Поради тоа и овие технологии, иако го ублажуваат, не го елиминираат влијанието на локално и глобално ниво што доаѓа од употребата на јаглен [4].

Единственото природно течно гориво е суровата нафта, која е создадена со распаѓање и фосилизација на животинскиот и вегетативниот свет. Суровата нафта е геолошки постара од јагленот и претставува смеса од различни јаглеводородни соединенија, кислород, сулфур, азот и нечистотии. Во составот на органската маса на нафтата, јаглеродот е застапен со 83 - 87 %, водородот со 11 - 14 %, кислородот со 0,1 - 1,0 %, азот со 0,05 - 1,5 % и сулфурот со 0,1 - 3 %. Содржината на влага обично е до 2 %, а содржината на минерали е од 0,1 до 0,3 %. За разлика од другите природни горива, суровата нафта ретко се користи директно како гориво и мора да биде подложена на

преработка. Со фракционална дестилација на масло се добиваат различни течни горива (бензин, дизел гориво, керозин, мазут, металуршки масла итн.), разни масла за подмачкување итн. Резервите на нафта се наоѓаат во одредени региони во кората на Земјата помеѓу карпестите слоеви. За искористување на овој извор на енергија се врши дупчење до резервоарите за нафта и таа се извлекува со помош на соодветни пумпни инсталации.

Гасно гориво кое најчесто се користи во енергетските капацитети е природниот гас. Гасот се добива од Земјината кора, а настанал заедно со нафтата, од истатиот почетен суровински материјал. Главно, се разликуваат два вида природен гас: гас кој доаѓа од земјата независно од нафтените полиња и гас од нафтени полиња. Природниот гас се карактеризира со висока волуменска содржина на метан CH_4 (85 - 98 %), мал процент на тешки јаглеводородни соединенија C_mH_n (2 - 6 %) и мал процент на незапаливи гасови: азот $\text{N}_2=1 - 5 \%$ и јаглерод диоксид $\text{CO}_2=0,1 - 1,0\%$. Долната топлинска моќ на овој гас е $33000 \div 37000 \text{ kJ/m}_n^3$, а неговата густината во нормални услови има вредност од 0,73 до 0,88 kg/m_n^3 . Природниот гас од нафтените полиња содржи нешто помалку метан и значително повеќе тешки јаглеводороди: етан (C_2H_6), пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}) и пентан (C_5H_{12}), споредено со земниот гас. Како резултат на ова, долната топлинска моќ на природниот гас од нафтените полиња е околу 55000 kJ/m_n^3 . Горивата од видот втечен нафтен гас - LPG (смеси од пропан и бутан во различни односи) најчесто се добиваат при екстракција на природен гас. Тие се добиваат како споредни производи од процесот на рафинирање на нафта. За да се извлекува природен гас од длабочините на земјината кора се вметнуваат цевни инсталации за ослободување на овој гас од слоевите во кои се наоѓа. Во рамките на фосилните извори на енергија, тоа е најефикасна, најевтина и најмалку штетна форма погодна за различни процеси на енергетска конверзија [5].

Обновливи и одржливи форми на енергија

Обновливите извори на енергија претставуваат неисцрпен ресурс, кој се обновува за релативно краток временски период. Овие извори на енергија се инаку познати и како неконвенционални извори на енергија бидејќи нивното влијание врз природата е многу мало. Нивната поефективна употреба започна по нафтената криза во 1973 година. Овие извори може да се најдат во секоја земја и регион и се практично достапни за секого за употреба [3]. Во групата на природни обновливи форми на енергија спаѓаат сончевата енергија, сите видови дрво и дрвна маса, други видови растителна биомаса, биогаз, енергијата на водните текови, енергијата на ветерот, енергијата на морските струи и бранови, плимата и осеката, физичката топлина на големи водени басени, геотермална енергија, т.е. топлината содржана во внатрешноста на Земјата итн.

Тоа значи, кога станува збор за обновливите извори и форми на енергија, како нефосилни извори на енергија, пред сè, се мисли на енергијата на ветерот, сончевата енергија, хидроенергијата, енергијата од биомаса, геотермалната енергија, гасот од отпадот, енергијата од морски бранови итн. Обновливите извори на енергија

произлегуваат од природни процеси кои постојано се надополнуваат. Во суштина, во своите различни форми, енергијата на обновливите ресурси, како и хемиската енергија складирана во фосилните горива потекнуваат директно или индиректно од Сонцето, а еден дели и од топлината што е складирана или се создава длабоко во планетата Земја, поточно во нејзиното јадро.

Со оглед на влијанието што го имаат одделни процеси на енергетска конверзија на глобално и локално ниво, се почеста е категоризацијата на формите на енергија на одржливи и неодржливи. Тука веднаш мора да се нагласи дека поимите „обновлива енергија“ и „одржлива енергија“ ни случајно не се синоними. На пример, додека во принцип хидроенергијата претставува обновлив енергетски ресурс, големите водни акумулации што се неопходни за трансформација во електрична енергија имаат значително влијание врз растителниот и животинскиот свет, кое, често, е исклучително негативно. Истото се однесува и на малите (мини и микро) хидроцентрали, со чија градба значително се менуваат локалните услови во природата, што често се манифестира како целосно нарушување на малите природни водотеци (потоци, реки и сл.) и на живиот свет во нив.

Брзиот технолошки развој и во исто време големата еколошка деградација на големи површини, со речиси неповратни еколошки последици, ги направија обновливите извори на енергија (ОИЕ) денес во фокусот на вниманието на институциите кои креираат политики, професионалните кругови во различни дисциплини и општеството воопшто, не само во земји во различни делови на светот, туку и во моќни меѓународни организации и тела како што се Обединетите нации, Европската Унија итн. Тоа е затоа што ОИЕ претставуваат неисцрпни извори на енергија распространети низ целиот свет, чија употреба за потребите на човештвото се придружени со помалку штетни ефекти врз животната средина, барем таквите негативни ефекти се минимални во споредба со фосилните извори на енергија (јаглен, нафта и природен гас).

Иако на почетокот на нивниот поширок развој, пред неколку децении, енергијата заснована врз обновливите извори беше прилично скапа, развојот на технологиите за енергетска конверзија базирани врз ОИЕ, а во исто време и зголемувањето на цената на енергијата базирана на фосилни ресурси поради континуираното зголемување побарувачката за енергија, како и намалувањето на резервите на фосилна енергија, предизвикаа денес цената на енергијата произведена од ОИЕ да се нуди сè повеќе по пристапна цена, на слично ниво како енергијата произведена од конвенционалните извори на енергија. Дури и да се земат предвид пратечките индиректни трошоци за енергијата произведена од ОИЕ, тие веќе би можеле да се понудат како достоинствена алтернатива за постепена замена на фосилните извори на енергија. Покрај значајните еколошки предности, поголемата застапеност на ОИЕ може да обезбеди одредена генерална стабилност во снабдувањето со енергија (се разбира, тоа не се однесува на техничката и експлоатациона стабилност на мрежата, туку во поглед на можноста за делумна замена на

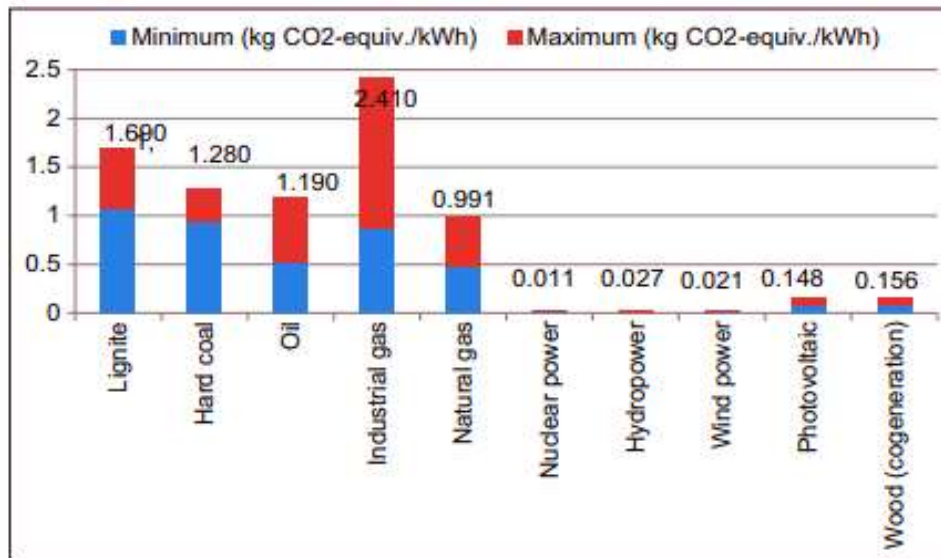
увозните енергенти со сопствени ресурси), поддршка за обезбедување енергетска независност и генерирање нови работни места и одржлив економски развој.

Во сржта на енергетските технологии се содржани опрема и системи за конвертирање, складирање и транспорт на генерирана енергија. Обновливите извори на енергија вклучуваат традиционални, како и алтернативни енергетски технологии [6].

Покрај зголемувањето на побарувачката за енергија, паралелно со интересот за достапност на фосилните извори на енергија по прифатливи цени, обновливите извори на енергија стануваат се поатрактивни за употреба, особено за производство на електрична енергија. Користењето на обновливите извори на енергија во производството на електрична енергија станува техноекономски се поприфатливо. Освен тоа, знаејќи дека тие се обновлив извор на енергија и не генерираат такво загадување како енергетските технологии базирани врз фосилни горива, им дава предности во користењето во однос на влијанието врз животната средина во споредба со другите извори на енергија. Меѓу другото, причина за тоа е и фактот што нивната употреба има нулто или речиси нулто влијание врз ослободувањето на стакленички гасови, односно гасови со потенцијал да го интензивираат ефектот на стаклена градина на Земјата.

Оперативната ефикасност за време на работниот век на термоелектричните централи зависи од неколку индикатори, вклучувајќи го и загадувањето на животната средина како еден од водечките индикатори. Така, евалуацијата на животниот циклус на електраните кои користат извори на фосилни горива за производство на електрична енергија во голема мера зависи од проценката на емисиите што овие електрани ги произведуваат. Напротив, ослободувањето на гасови и честички со локално влијание врз животната средина и стакленички гасови (GHG) како нуспроизвод од производството на електрична енергија не се јавува при користењето на нуклеарната енергија. Меѓутоа, нуклеарниот отпад се создава во случај на нуклеарни извори, што потенцијално може да биде многу штетно за животната средина.

Доколку се анализираат енергетските трансформации што се случуваат во постројките кои користат обновливи извори на енергија за производство на електрична енергија во текот на животниот циклус, може да се извлече заклучок дека ослободувањето на јаглерод диоксид е релативно мало или занемарливо. На дијаграмот на слика 1.2 е прикажан опсегот на емисиите на стакленички гасови (изразен во килограми еквивалентен јаглерод диоксид ($\text{CO}_{2,\text{eq}}$) на киловат-час (kWh)) во текот на животниот циклус на различни типови електроцентрали.



Слика 1. 2. Ослободување на стакленички гасови во животниот циклус на електроцентралите [7]

Од дијаграмот може да се заклучи дека користењето на фосилните извори на енергија е една од главните причини за промените кои настанале и се случуваат во животната средина, имајќи го предвид и локалното и глобалното влијание врз околината. Доколку човештвото премине кон користење на обновливи извори, ќе имаме минимизирање на локалното и глобалното загадување на животната средина, иако тоа нема целосно да исчезне, со оглед на фактот дека секогаш кога се одвиваат процеси на енергетска конверзија има и одредено влијание врз околината.

За време на нивниот животен век, постројките кои користат обновливи извори на енергија како што се енергијата на Сонцето, ветерот и хидроенергијата имаат ниски емисии на стакленички гасови, што ја демонстрира еколошката прифатливост на овие постројки.

Значи, една од главните причини за промоција на обновливите извори за производство на електрична енергија е загадувањето на животната средина создадено од фосилните извори на енергија. Како пријателски настроени кон животната средина, обновливите извори на енергија во денешно време најчесто се користат како дополнителна можност за производство на електрична енергија, паралелно со постоечките термоелектрани кои користат фосилни горива. Употребата на обновливите извори на енергија има потенцијал да влијае на намалување на трошоците за горива, кои би се користеле за покривање на потребите за електрична енергија, а кои се покриени со обновливи извори. Тие, исто така, ја намалуваат зависноста од увоз и на електрична енергија и на фосилни горива.

Дополнителна предност на користењето на обновливите извори на енергија е тоа што промовира одреден економски развој, конкретно развој на одредени сегменти од енергетскиот сектор и други активности поврзани со него.

Различни технолошки достигнувања и иновации се претставени како најважни корисници на обновливите извори на енергија. Случувањата во секторот на обновливите извори на енергија доведуваат до економски раст и значителни подобрувања во секторот на обновливите извори на енергија. Ваквите случувања ги зголемуваат и слободните работни места поради зголемената побарувачка за работници со специфични знаења и вештини. Во суштина, технолошкиот и економскиот развој во енергетскиот сектор создава можност за исполнување на барањата за економски и енергетски развој на поширокото општество.

Обновливите извори на енергија се познати по тоа што го поттикнуваат вработувањето, меѓу другото, особено во локалните области каде што се планира да се градат такви центри. Сите постројки за обновлива енергија имаат свои специфични карактеристики, но сите имаат животен циклус кој вклучува неколку типични фази:

- i. истражување и дизајн;
- ii. развој и производство;
- iii. изградба и монтажа;
- iv. оперативно работење и одржување и;
- v. ажурирање и инсталација.

Покрај бројните еколошки придобивки, намалувањето на увозот на фосилни горива, покривањето на дел од енергетските потреби во услови на пораст на населението, можностите за издвоено (off-grid) снабдување со енергија на одредени локации и бројни други придобивки, користењето на обновливите извори на енергија во руралните средини влијае и врз развојот на овие простори како енергетски така и воопшто. Поради недостигот на проекти за развој на овие области, овие ресурси се сметаат за многу корисни. Со постројки и инсталации засновани врз обновливи извори се овозможува да се обезбедат со електрична енергија области коишто инаку немаат пристап до електричната мрежа. Обично руралните средини се помалку развиени во однос на приклучувањето на електричната мрежа поради високите трошоци за дистрибуција на електрична енергија. Ова значи дека производството на електрична енергија од хибриден систем на обновливи извори на енергија носи многу придобивки за заедницата локално и пошироко [7].

Во оваа дисертација е претставена анализа со моделирање и оптимизација на мал фотоволтаичен систем кој се користи за покривање на потребите од електрична енергија на индустриски објект. Ваквите системи за индустриска употреба се сметаат за соодветни за намалување на потребите за енергија и, следствено, намалување на трошоците во работата во овој сектор.

1.1. Мотивација и значење

Со спроведената анализа во истражувањето за докторската теза е засегнато прашањето за унапредување на пошироката имплементација на обновливите извори на енергија, како и енергетската ефикасност, преку оптимизација на фотоволтаичните системи, што е примарна мотивација за работа на докторската тема. Моделирањето и оптимизацијата на техничките системи претставуваат суштински дел од научната и инженерската практика. Со развојот на технологијата, со примена на специфични софтверски алатки или дури и нивно создавање и надградба, можно е да се создадат модели за опишување инженерски системи, постројки и процеси. Со помош на таков метод на моделирање, однесувањето на системите во различни режими може да се предвиди со висок степен на точност. Примарната мотивација за работа на оваа тема е да се дефинира методологија за оптимизација на фотоволтаичен (или фотоволтаичен) систем со специфична намена за функционирање во рамките на индустриска компанија, паралелно и во врска со други енергетски и технолошки постројки и инсталации.

Од аспект на составот и компонентите на техничките системи, типичен фотонапонски систем се состои од фотонапонски модули, инвертери, соодветни врски и трансформатори. Изборот на вистинските компоненти на системот е многу важен момент, во зависност од локацијата на која ќе биде инсталиран и ќе се користи, за да се постигнат подобри функционални перформанси на системот.

Во оваа дисертација е претставен модел и соодветна анализа на постоечки фотонапонски систем за производство на електрична енергија во индустрискиот сектор, како и методологија за оптимизирање на неговите перформанси. Моделот за оптимизација се базира врз анализа на неколку влијателни фактори, како што се климатските услови, техничките карактеристики, ориентацијата на системот, аголот на поставување на панелите, како и меѓузависноста на работата на системот од потребите на технолошките потрошувачи, можноста за предавање на „вишоците“ произведена енергија на електричната мрежа и потребата од преземање електрична енергија од мрежата при зголемени потреби.

Важноста на истражувањето произлегува од општата тенденција за подобрување на ефикасноста на постројките и инсталациите за конверзија на енергија. Во тој контекст, важно е истражувачите и инженерите кои работат во енергетскиот сектор, вклучително и особено во секторот на обновливите извори на енергија, да имаат на располагање модел со методологија за оптимизација. Со оглед на тоа дека ефикасноста на фотонапонските модули е релативно мала, што произлегува поради базичните физички принципи и поради метеоролошките ограничувања, неопходно е да се работи на конвертори и системи кои ја максимизираат конверзијата на енергијата од Сонцето во електрична енергија добиена од фотонапонските панели. За ова се потребни и модели кои лесно ги тестираат и следат перформансите на фотонапонскиот систем.

1.2. Дефинирање на проблемот и работна хипотеза

Тенденцијата за забрзан економски развој и растот на населението во светот во последниве неколку децении влијаеа побарувачката за енергија постојано да се зголемува. Таквите трендови се очекува да продолжат и во наредниот период. Со оглед на намалувањето на резервите од фосилни горива и зголеменото загадување на животната средина, нивната улога и употреба во идните енергетски планови и стратегии се мнува. Паралелно, зголемените потреби за енергија бараат дополнителни ресурси за да се покријат.

Сончевата енергија претставува обновлив извор на енергија, кој со употреба на фотонапонски системи може да се користи за директна претвора т.е. производство на електрична енергија. Овој начин на генерирање енергија е многу прифатлив од аспект на широка применливост и значително намалено влијание врз околината.

Првиот проблем при анализата за користење на фотонапонски панели е нивната ефикасност, поединечно како модули и панели и во целина како систем. Најголем предизвик со нивната употреба досега беше нивната висока цена, која со развојот на технологиите бележи значителен пад во последниве години. Тешкотиите што се јавуваат при користењето на фотонапонските системи се и оние од генерална природа во енергетскиот сектор, како што се потребата од балансирање (поради променливиот карактер на обновливите енергетски извори), проблемот на складирање на енергија и други, но секако и соодветното моделирање на системот за постигнување на највисоките параметри на произведената енергија во дадени услови.

Развојот и оптимизацијата на фотонапонските системи главно се насочени кон максимизирање на произведената енергија и зголемување на енергетската ефикасност, со цел да се овозможи намалување на трошоците за енергија и одржување и обезбедување на добри вкупни перформанси на системот. Работата на унапредување на ефикасноста на енергетската конверзија од светлинска во електрична особено добива на значење поради неколку причини:

- покачувањето на цените на фосилните горива ја наметнува потребата за засилена потрага по алтернативни решенија во енергетиката, што е особено важно за индустриските субјекти, како значајни потрошувачи, но и потенцијални производители на енергија;
- нараснатите сознанија за потребата да се ограничи локалното и глобалното влијание врз околината од енергетскиот сектор и
- потребата да се постигне одредена автономност кај индустриските и други субјекти во поглед на снабдувањето со енергија.

Главна хипотеза

Постојат неколку препорачани техники за подобрување на перформансите на фотонапонските системи, кои на крајот се манифестираат со зголемување на енергијата добиена на излезот од системот, како и подобрена севкупна ефикасност. Со соодветна идентификација на главните фактори од кои зависат енергетската ефикасност, факторот на искористување на капацитетот и вкупното производство на електрична енергија, може да се влијае врз нивните вредности и да се планира и да се спроведе оптимизација на компонентите и на системот во целина.

Дополнителна хипотеза

Со сеопфатна анализа што ги опфаќа главните влијателни фактори за ефикасноста на PV системите, како и врквата со корисниците на енергија и другите енергетски инсталации во фабриката, може да се постигне оптимизација на работата на системот и зголемено производство на електрична енергија при идентични метеоролошки услови. Како што расте бројот на проекти за користење на соларна енергија, се бараат нови локации за новите проекти или дополнителни локации за проширување на фотоволтаичните системи. Овие локации може да се наоѓаат на градежен објект со специфична намена и специфични архитектонски решенија, на сложено тло или во област што сè уште не е истражена од редица аспекти. За да се утврди изводливоста на проектот на овие локации, треба да се изврши анализа пред изградбата, поради што најчесто се користат различни пристапи, најчесто засновани врз математичко, односно нумеричко моделирање. Комплексноста на овие проекти го зголемува инвестицискиот ризик. За да се одлучи кои проекти ќе се изберат и врз која основа клучни фактори се економичноста и капацитетот на фотоволтаичниот систем за производство на енергија, а кои зависат од техничките карактеристики на панелите, модулите и пратечката опрема, од редица други технички фактори како што се распоредот на поставување, ориентацијата, аголот на наклонетост и др.

Во оваа дисертација е развиена и имплементирана сеопфатна методологија за дизајн за дизајнирање на фотонапонски систем во индустриски капацитет. Методот на моделирање и оптимизација е направен со употреба на PV*SOL премиум софтвер, поддржан со реални теренски мерења на самото место во период од една година. Избраниот систем претставува специфичен фотонапонски систем во споредба со другите системи врз основа на ориентацијата и аголот на фотоволтаичните панели. Неговиот дизајн беше направен со одредено заобиколување на основните правила за дизајнирање на такви системи. Неговата енергетска анализа е направена на таков начин што ги прикажува параметрите добиени при неговото нормално функционирање. Дополнително, предмет на анализа е прашањето какво влијание ќе има оптимизацијата врз ефикасноста и перформансите на системот, како и неговата техноекономска и финансиска анализа.

1.3. Цели на истражувањето

Главната цел на оваа дисертација е изработка на методологија за моделирање и оптимизација на ФВ систем инсталиран во специфични околности на индустриски објект. Анализата на неговите перформанси има за цел да ги согледа условите за постигнување на највисока ефикасност во покривањето на побарувачката на електрична енергија на централата и ФВ системот да работи комплементарно и во координација со другите делови на енергетскиот систем и потрошувачите на енергија во централата. Со подобрување на перформансите на системот, кој е поврзан со електричната мрежа, вишокот произведена електрична енергија може да се внесе и во електричната мрежа. Перформансите и оптимизацијата на системот ќе се вршат со користење на премиум софтвер PV*SOL премиум, но и со употреба на други алатки, како и поддржани од теренски мерења со цел да се потврди и надгради методологијата.

За спроведување на истражувањето беа анализирани метеоролошките параметри на локацијата на поставеноста на системот, ориентацијата на системот, аголот на поставување на ФН панели и други технички елементи на системот. Системот се карактеризира со номинална моќност од 27,28 kW_p, составен од фотонапонски панели со централизирана типологија на поврзување на инвертерот. Особеностите на системот се разликуваат од релевантните правила за дизајнирање на такви инсталации, што го прави посебни од досега анализирани системи. Едниот дел од системот е ориентиран кон исток, а другиот кон запад, така што при таквите спецификации за поставување на системот предмет на истражување беше максималната моќност што може да се генерира во таквите услови. Притоа се врши аналитичко и софтверско моделирање и оптимизација. Презентираните истражувачки методи може да се користат и за анализа на други системи кои се разликуваат од општите правила за проектирање на PV системи, што претставува иновација од научен аспект. Врз основа на анализирани климатски услови на земјата, специфичните барања на постројката, начинот на кој системот е ориентиран и поставен ја прави различна од досега анализирани системи и ја претставува како поуникатен систем. Притоа, со помош на комбинирани истражувачки алатки, софтвер, аналитички методи и реални мерења се добиваат соодветни параметри за енергетските перформанси, ефикасноста и економските показатели за работењето на фотонапонскиот систем.

1.4. Краток преглед на дисертацијата

Оваа теза е организирана на начин што е накусо прикажан во продолжение.

По воведниот дел „1. Вовед“, каде што е даден краток осврт на актуелните околности во енергетскиот сектор, се прикажани потребите за развој на технологиите базирани врз обновливи извори на енергија и мотивација за преземање на истражување за

моделирање и оптимизација на фотоволтаичен систем. Потоа се разработува презентацијата на проблемот, како и целите на истражувањето реализирано во рамките на тезата.

Поглавјето 2 е посветено на презентација на теоретските подлоги на научната област, вклучувајќи елаборација за значењето на сончевата енергија, физиката на сончевото зрачење и спектарот на електромагнетно зрачење. Потоа е направен преглед на фотонапонски технологии и презентирани се технички карактеристики на фотонапонските ќелии, модули и системи, со осврт кон ефикасноста на модулите и системите, при што се анализирани и други прашања важни од аспект на применливоста. Еден дел од ова поглавје е посветен на елаборација на особеностите на примената на системите засновани на соларна енергија во индустрискиот сектор. Сеопфатен преглед на литература и најсовремите достигнувања, односно актуелната состојба во оваа област е даден во делот 2.11, а последниот дел е посветен на елаборацијата на научната додадена вредност на тезата.

Поглавјето 3 содржи презентација на методологијата на истражување што е применета во тезата. Во тие рамки е направена елаборација на алатките и процедурите за моделирање и реализација на експерименталниот дел, односно теренските мерења имплементирани во трудот. Прикажан е еквивалентен електричен модел со енергетските перформанси на фотонапонскиот систем и детерминирани се карактеристичните параметри на енергетска постројка (електроцентра) со PV панели. Во овој дел се презентирани и метеоролошки податоци за типична година и други карактеристики, вклучувајќи и влијанието врз околината. Презентиран е PV*SOL, како еден од клучните софтверски пакети користени во истражувањето.

Опис на фотонапонскиот систем на објектот што се користи за практичниот дел од истражувањето, валидација и потврда на резултатите од моделирањето е даден во поглавјето 4. Тука се прикажани и метеоролошките карактеристики на локацијата, како и специфичностите што произлегуваат од објектот на кој е инсталиран системот и режимите на негово користење.

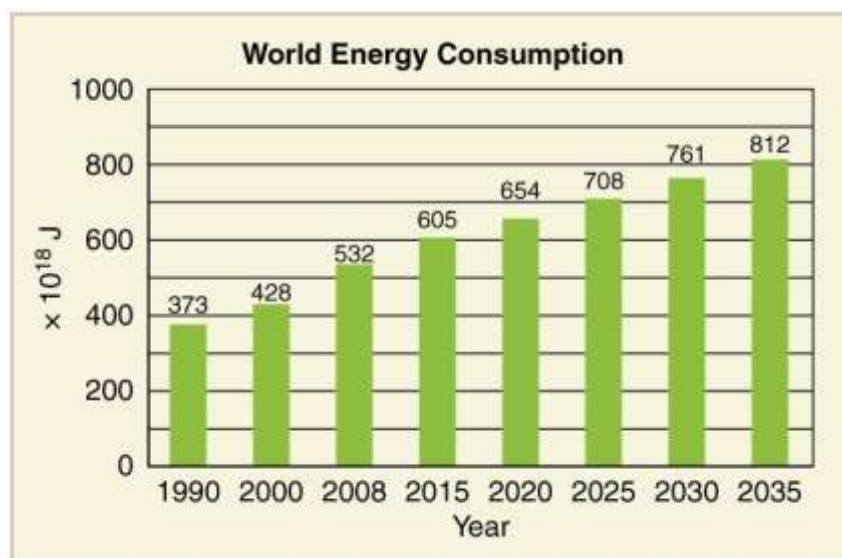
Во поглавјето 5 се прикажани метеоролошките услови при кои се спроведени мерења и изложени се резултатите добиени со алатките за моделирање и со теренски мерења. Тоа е проследено со анализа на податоци за предадена енергија кон електричната мрежа и преземена енергија. Истражувањето е поддржано со финансиска анализа, оптимизација на фотонапонскиот систем и дискусија, вклучувајќи и осврт кон локалното и глобалното еколошко влијание.

Заклучоците со препораките и насоките за евентуалната понатамошна истражувачка работа во оваа научна област се претставени во поглавјето 6.

2. Теоретски подлоги и литературен преглед на релевантни истражувања

2.1. Сончевата енергија како клучен обновлив извор

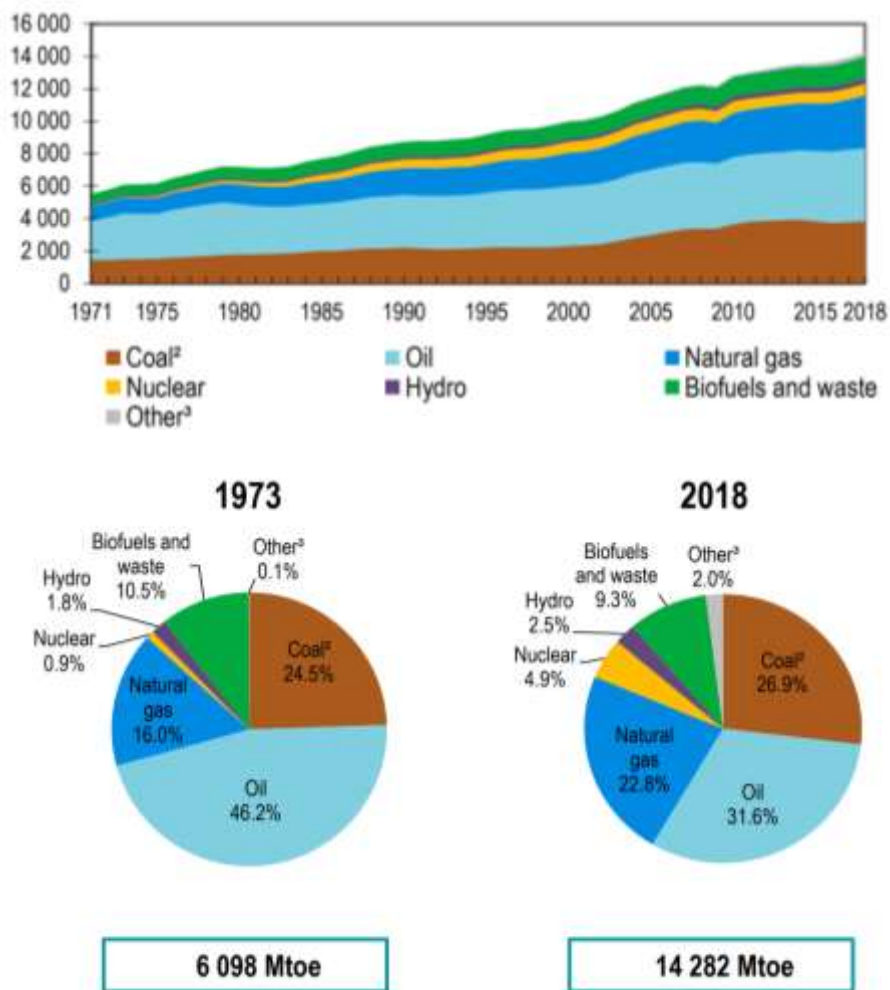
Побарувачката и потрошувачката на енергија во светот постојано растат, што е илустрирано со дијаграмот на слика 2.1. Денес, се проценува дека континуираната потрошувачка на енергија е близу 700×10^{18} J (Joules). Со зголемувањето на бројот на населението на планетата Земја, тенденцијата за економски раст низ целиот свет (особено во Азија и Африка) и брзиот технолошки развој, се предвидува дека овие потреби за енергија ќе се удвојат до 2050 година. Денес најголем дел енергетските потреби се покриени со фосилни горива (слика 2.2), што е исто така најголема причина за локални, регионални и глобални еколошки проблеми, вклучително и за емисијата на стакленички гасови како јаглерод диоксид (CO_2) кои доведуваат до интензивирање на ефектот на стаклена градина и последователно глобално затоплување со кое се соочуваме практично секојдневно.



Слика 2. 1. Потрошувачка на енергија во светот во минатото и проекција за наредните години. Дијаграмо е заснован врз податоци на U.S. Energy Information Administration (<https://www.texasgateway.org/resource/79-world-energy-use>)

Ресурсите на фосилните горива како извори на енергија се наоѓаат на одредени локации, со помалку или повеќе познати експлоатациони резерви. Нивната експлоатација и потрошувачка се планира и предвидува со текот на времето и тие се исцрпиви за одреден временски период, што значи дека тие поради повеќе аспекти не претставуваат одржлив извор на енергија. Решенија за проблемите со снабдувањето со енергија се гледаат во обновливите извори на енергија кои се неисцрпни и не ја загадуваат значително животната средина при нивното користење. Без да се постигне решение во

енергетскиот сектор за одржливо снабдување со енергија, во светот би имало ограничување во однос на економските, технолошките и политичките развојни аспекти.



Слика 2. 2. Учество на одделни ресурси во снабдувањето со примарна енергија во светот од 1971 до 2018 година (во милиони тони еквивалентна нафта - Mtoe), според IEA

Сонцето има суштинско значење за постанокот и одржувањето на животот на Земјата, во формата во каква што е познат. Сонцето е една од ѕвездите во галаксијата Млечен пат, која се движи во вселената со брзина од околу 20 km/s и истовремено ротира околу својата оска за период од еден месец. Староста на Сонцето се проценува на околу 5 милијарди години. Неговиот дијаметар изнесува околу 1,4 милиони километри ($1,4 \cdot 10^6$ km), а масата е околу $1,99 \cdot 10^{30}$ kg, односно, таа е околу 333000 пати поголема од масата на Земјата. Сонцето главно се состои од хелиум и водород. Изворот на сончевата енергија е нуклеарната фузија за време на верижните процеси кои се случуваат во сончевото јадро, при што водородот се трансформира во хелиум. Главните карактеристики на неговото сферично тело се: јадро, радијативна зона, конвекциони ќелии, фотосфера, хромосфера, корона, сончеви дамки, сончев ветер итн. Фотосферата, хромосферата и сончевата корона заедно ја формираат сончевата атмосфера. Горниот дел од сончевата атмосфера се смета

за просирен, односно двата слоја над фотосферата, хромосферата и сончевата корона се невидливи за човечкото око во обични услови [8].

Сонцето во најголем дел се состои од огромно количество врели гасови. Исклучително јаката гравитациска сила ги насочува атомите на гасовите кон неговото средиште и ги забрзува до огромни брзини. Таквото движење ги покачува температурата и притисокот во внатрешноста на околу 10^7 K и околу 10^{14} Pa, при што се издвојуваат електроните од атомите и доаѓа до мешање на јадрата и електроните во состојба позната како плазма. Во такви околности се одвива термонуклеарна фузија на лесни атомски јадра, меѓу кои далеку најзастапени се јадрата на водород. Како резултат на јадрена фузија се ослободува огромно количество енергија и настануваат нови потешки елементи. На пример, при фузија на водородни јадра настанува хелиум. Притоа доаѓа и до претворба на маса во енергија, односно, до „исчезнување“ на маса, феномен познат како дефект на маса. Енергијата што се ослободува во средиштето на Сонцето, претставува противтежа на внатрешните гравитациски сили. Доколку од одредени причини дојде до забавнување на реакциите на фузија, во тој случај гравитациските сили поинтензивно ги забрзуваат атомите кон средиштето, поради што реакциите на фузија ќе добијат на интензитет, така што повторно се воспоставува рамнотежа.

Енергијата што произлегува од јадрена фузија во внатрешноста на Сонцето, се пренесува кон површината, а оттаму во форма на електромагнетно зрачење се предава во вселената. Како резултат на интензивен процес на пренос на енергија, температурата од околу 10^7 K, колку што се претпоставува дека изнесува во средиштето на Сонцето, опаѓа во насока кон површинските слоеви. Под претпоставка дека просечната температура на површината на Сонцето е околу 5760 K, што е и потврдено со научни методи, може да се определи интензитетот на Сончевото зрачење.

Иако Сонцето е континуиран извор на енергија, само многу мал дел од вкупната енергија што се зрачи од Сонцето во вселената доаѓа до горните слоеви од Земјата, а уште помал дел допира до површината. Според одредени проценки, енергијата што од Сонцето се упатува кон Земјата на годишно ниво изнесува околу $1,5 \cdot 10^9$ TWh. Од тоа, околу 30 % се рефлектира во вселенскиот простор, а околу 70 %, односно, околу $1,05 \cdot 10^9$ TWh доаѓаат до долните атмосферски слоеви или до земјината површина. Според тоа, дозрачената енергија од Сонцето до Земјата на годишно ниво е поголема од енергијата содржана во вкупните резерви на јаглен и нафта. Тоа е директен извор на енергија за планетата Земја, кој има пресудно значење за одржување на нејзиниот енергетски биланс.

Значителен дел од дозрачената сончева енергија се користи за загревање на атмосферата, литосферата и хидросферата, учествувајќи директно во клучните процеси на планетарно ниво: фотосинтеза, испарување, исклапување и струење на воздушните и водените маси итн. Фотосинтеза е процес со кој сончевата светлинска енергија се трансформира во хемиска енергија врзана во одредени материи кај растителните организми. Испарувањето и исклапувањето се процеси кај кои со доведување на топлина

доаѓа до промена на агрегатната состојба, на пример, од вода во водна пареа. Овие процеси имаат клучно значење за одвивање на природното кружење на водата, а со тоа и врз редица други процеси. Струењето настанува како последица на температурни разлики во атмосферата (ветер) или во големите водни басени (морски струи).

2.2. Сончево зрачење

Сонцето е главниот производител на енергија во Сончевиот систем. Мал дел од енергијата што се создава во неговото јадро поради нуклеарната фузија, која се случува континуирано, стигнува до Земјата и овозможува постоење на живот на нашата планета. Како што споменавме претходно, сончевото зрачење ги придвижува сите природни циклуси и процеси, како што се атмосферските врнежи (дожд, снег, итн.), ветерот, фотосинтезата, океанските струи и многу други, кои се важни за животот. Светските енергетски потреби се поддржани уште од почетокот на сончевата енергија. Сите фосилни горива (нафта, гас, јаглен) се конвертирани форми на сончева енергија, на еден или друг начин.

Земјата добива најголем дел или речиси целата своја енергија од Сонцето во форма на сончево електромагнетно зрачење. Сонцето содржи 99,9 % од вкупната маса на Сончевиот систем. Просечната густина на Сонцето е изненадувачки мала ($1,4 \text{ g/cm}^3$), а причината е што главно се состои од најлесните елементи, водород (H_2) и хелиум (He). Јадрото на Сонцето се состои главно од хелиум (65 % по маса), додека водородот е намален на 35 % по маса бидејќи се трошел во реакции на фузија. Повеќето други обновливи извори на енергија, како што се енергијата на ветерот и биогоривата, зависат од енергијата на Сонцето. Покрај тоа, некои од необновливите извори на енергија како што се фосилните горива се создаваат од сончевата енергија. Сончевата енергија доаѓа од реакции на нуклеарна фузија кои се случуваат во јадрото на сонцето каде што атомите на водород се спојуваат во хелиум. Јазот во јадрото создава интензивен притисок, кој е доволно висок за да ги присили атомите на водород заедно. Околу 700 милиони тони водород во секунда се претвора во хелиум. Околу половина од водородот пронајден во јадрото на сонцето веќе е претворен во хелиум. Преостанатиот животен век на Сонцето е околу 5 милијарди години. Спојувањето создава бесконечна топлина што предизвика температурата во јадрото да се приближи до 15 милиони Целзиусови степени ($^{\circ}\text{C}$). На тие температури, фотоните се исфрлаат од атомите и патуваат на многу кратко растојание пред да бидат апсорбирани од друг атом, предизвикувајќи загревање на соседниот атом и последователна емисија на друг фотон. На фотонот му требаат околу 100.000 години за да стигне до површината што го дели Сонцето од Земјата и околу 8 минути за да помине 149,5 милиони километри.

Вкупната моќност на енергија што се емитува од површината на Сонцето е околу 63 MW/m^2 . Фотосферата има просечна температура од околу 5800 K и емитува зрачење со електромагнетен спектар сличен на спектарот на зрачење што го емитува црно тело на 5800 K . Значителен дел од сончевата енергија се емитува во областите на инфрацрвени (IR) и ултравиолетови зраци (UV), како и зрачење со помала бранова должина.

Количината на сончево зрачење што допира до секоја точка на површината на Земјата варира во зависност од голем број фактори, но најважните се:

- географска положба;
- период од денот;
- сезона во годината;
- географски, релјефни (орографски) и други карактеристики на локацијата;
- локални климатски услови и
- фактори што произлегуваат од човековото влијание (урбанизација, градби, архитектура, степен на загаденост на атмосферата и др.).

2.3. Спектар на електромагнетно зрачење

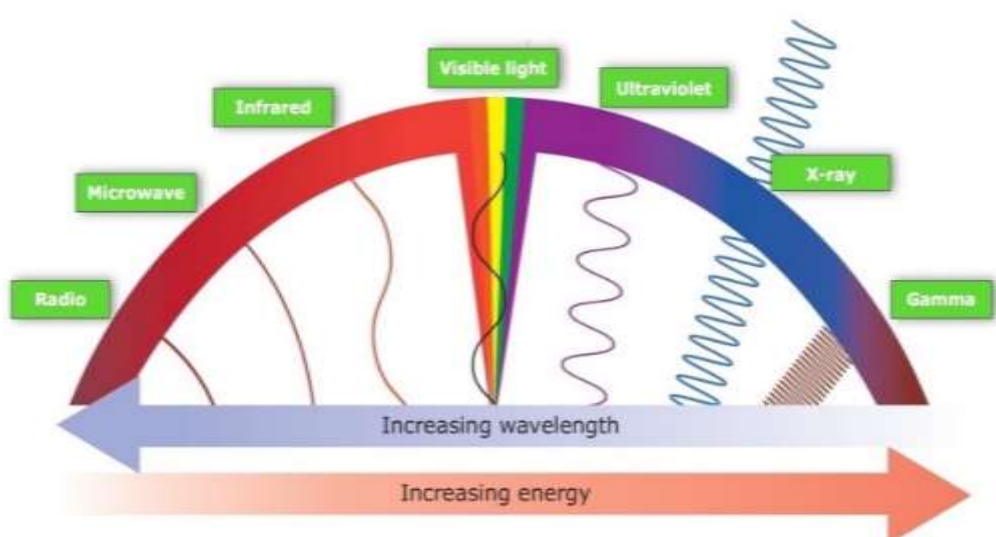
Како што беше претходно елаборирано, нуклеарната фузија е изворот на енергијата на Сонцето. Се јавува во длабочината на Сонцето, каде што атомите на водород се спојуваат заедно и овие реакции резултираат со формирање на хелиум, процес кој е придружен со ослободување на големи количини на енергија. На овој начин Сонцето емитува енергија неколку милијарди години и се предвидува дека тој процес ќе продолжи уште неколку милијарди години во иднина.

Енергијата на Сонцето се емитува во вселената во форма на електромагнетно зрачење и како таква стигнува до Земјата. Електромагнетната енергија патува во форма на бранови и опфаќа широк спектар, од многу долги (радио) бранови до многу кратки (гама) зраци. Електромагнетниот спектар е создаден од опсегот на фреквенции на електромагнетното зрачење и нивните соодветни бранови должини и енергиите на фотоните. Човечкото око може да открие само мал дел од овој спектар наречен видлива светлина. На сликата 2.3 а) се прикажани различните делови од електромагнетниот спектар на сончевото зрачење.

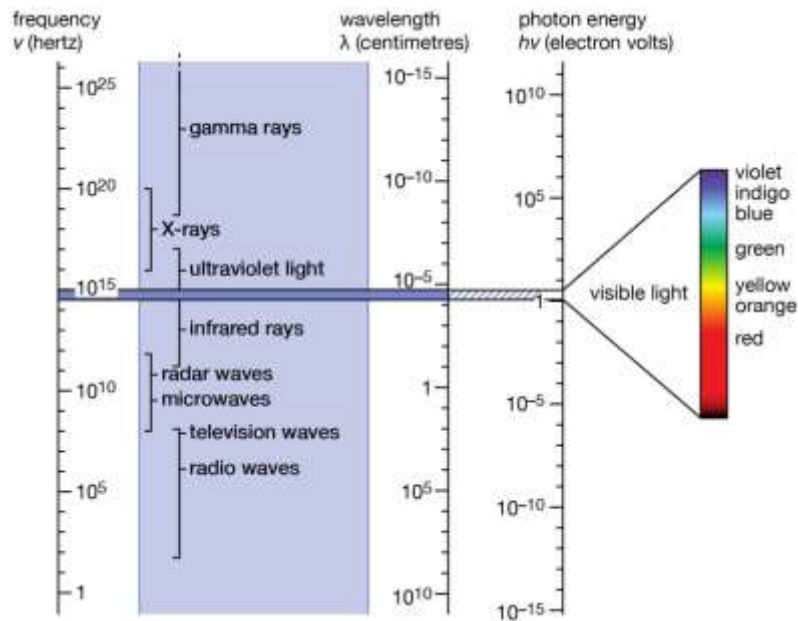
Електромагнетниот спектар опфаќа електромагнетни бранови со фреквенции кои се движат од под еден Hz (Hertz) до над 10^{25} Hz , што одговара на бранови должини од илјадници километри надолу до дел од големината на атомското јадро (слика 2.3 б). Овој

опсег на фреквенции и бранови должини е поделен на посебни делови - ленти или региони. Тие одделни региони на електромагнетниот спектар, почнувајќи од подрачјето на големите бранови должини и нискофреквентниот крај на спектарот, се познати како радио бранови (вклучувајќи ги малку пократките ТВ бранови), преку микробраново зрачење, инфрацрвено зрачење, видлива светлина, ултравиолетово зрачење, X- зраци и на другиот крај на спектарот се гама зраците, што се карактеризираат со многу кратка бранова должина односно висока фреквенција.

Електромагнетните бранови во секој од споменатите појаси имаат различни и специфични карактеристики, како на пример, како се произведуваат, каква е нивната интеракција со различни материи (цврста, гасовита, двофазна материја) и нивната практична примена. Не постои позната граница за долги и кратки бранови должини. Екстремните ултравиолетови, „меки“ и „тврди“ рендгенски зраци и гама зраци се класифицирани како јонизирачко зрачење бидејќи нивните фотони имаат доволно енергија за јонизирање на атомите, предизвикувајќи хемиски реакции. Зрачењето на видливата светлина и подолгите бранови должини се класифицирани како нејонизирачко зрачење бидејќи имаат недоволна енергија за да ги предизвикаат овие ефекти.



a)



б)

Слика 2. 3. Електромагнетен спектар на сончево зрачење [9]

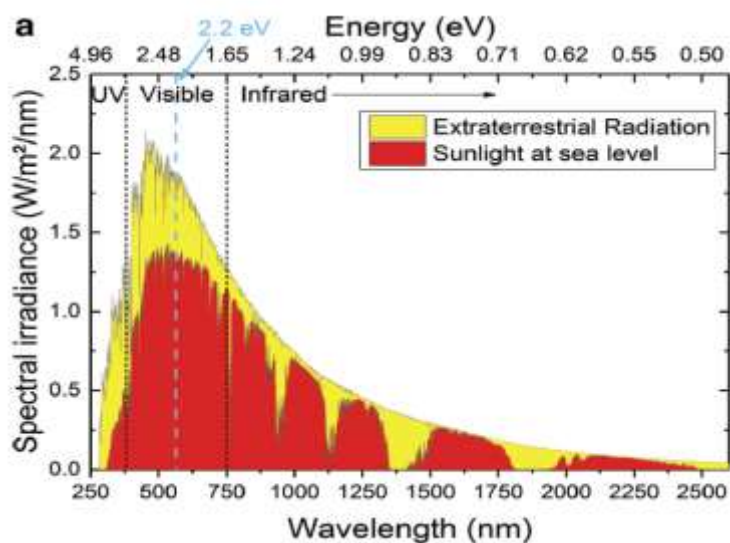
Употребата на енергија од Сонцето вклучува зафаќање на сончевите зраци, нивна конверзија и складирање или пренос на произведената енергија во електричната мрежа. Сончевите зраци допираат до Земјата како расеано зрачење во целиот електромагнетен спектар и директно се претвораат во електрична енергија со помош на фотоволтаични ќелии во процес кој е добро познат од средината на XIX век [8].

Како што беше претходно наведено, постојат повеќе категории електромагнетни бранови од електромагнетниот спектар, преку кои сончевите зраци допираат до Земјата. Притоа, некои од нив се видливи за човековото око, додека повеќето не спаѓаат во доменот на видливата светлина. Делот од сончевите зраци што се гледа со око го претставува делот со најголем интензитет што допира до Земјата. Електромагнетното зрачење во појасот на сончевата светлина го достигнува својот врв во видливиот дел од електромагнетниот спектар поради високата температура на Сонцето во фотосферата, која достигнува вредност од околу 5800 K. Сонцето емитува ултравиолетови зраци, инфрацрвени зраци, радио бранови, видливи зраци, x-зраци и друго зрачење. Што се однесува доо гама зраците, иако тие се генерираат преку процесите на фузија во јадрото на Сонцето, тие никогаш не доаѓаат до надворешните слоеви пред во меѓувреме да се претворат во зрачење со пониска енергија [10]. Гама зраците што се емитуваат со сончевото зрачење имаат поинакво потекло. Имено, космичките зраци кои се во интеракција со сончевата атмосфера создаваат каскада од протони, електрони, неутрони, миони и електромагнетно зрачење. Овој наплив на честички и радијација ја преплавуваат Сончевата атмосфера со гама зраци. Ова високо-енергетско зрачење секако е сосема различно од гама зраците создадени преку нуклеарна фузија во јадрото на Сонцето.

Енергијата од Сонцето продира низ просторот во форма на електромагнетни бранови кои се, всушност, периодични промени во интензитетот на електричната и

магнетната енергија. Овие периодични промени може да се појават како синусоидни бранови, слични на водените бранови. Светлинските бранови и радио брановите се најпознатите примери на електромагнетни бранови. Како што беше претходно нагласено, електромагнетните бранови се разликуваат првенствено по нивната бранова должина. Видливата светлина се состои од електромагнетно зрачење со бранови должини во опсег помеѓу 400 и 700 nm. Брановите со различни бранови должини во овој опсег се перцепирани како различни по боја, а целиот спектар на видливо електромагнетно зрачење може да се гледа како виножито, каде, на пример, црвената боја е бојата со најдолга бранова должина. Пократки бранови должини се појавуваат во близина на внатрешната страна на виножитото од бои, а виолетовата боја е бојата со најкратка бранова должина. Електромагнетните бранови со бранови должини пократки од 400 nm или подолги од 700 nm не можат да се видат со човечкото око. Ултравиолетовите бранови, кои се одговорни за изгореници од сонце, имаат пократки бранови должини од виолетовите.

Вкупната енергијата што се дозрачува од Сонцето кон Земјата се добива со собирање на електромагнетни бранови што ги емитува Сонцето, при што различни делови од електромагнетниот спектар носат различни количества енергија. Сонцето емитува енергија со најголем интензитет на зрачење со бранова должина од околу 470 nm што е дел од спектарот на видливата светлина (слика 2.4). Електромагнетните зраци со бранова должина од 470 nm или блиску до 470 nm лежат во жолтозелениот регион на спектарот на електромагнетно зрачење. Од енергетска гледна точка, електромагнетното зрачење емитувано од Сонцето често се дели во три категории: електромагнетно зрачење со бранови должини пократки од 400 nm, електромагнетно зрачење со бранови должини подолги од 400 nm, но пократки од 700 nm (кои се дел од спектарот на видливата светлина) и електромагнетни зраци подолги од 700 nm.



Слика 2. 4. Дозрачена енергија до горните слоеви на атмосферата (жолта боја) и енергија што доаѓа до површината на Земјата (црвена боја)

Сонцето емитува повеќе од 40 % од својата енергија во доменот на видливи бранови должини, кои зафаќаат многу тесен опсег во електромагнетниот спектар, додека околу 50 % од неговата енергија се емитува во широк дел од спектарот на поголеми брановите должини и се состои од електромагнетно зрачење со бранови должини над 700 nm. Енергијата што се емитува во опсегот на бранови должини пократки од 400 nm е многу мала.

Можноста за користење на сончевата енергија зависи од количината на дозрачена енергија на одредена локација, која понекогаш се нарекува достапна сончева енергија. Сонцето го опсипува со дозрачена енергија секој дел од земјата во одреден период од годината. Со помош на соодветна технологија, во состојба сме да го претвориме ова зрачење во електрична или топлинска енергија. При анализа и истражување на можностите за користење на соларни технологии треба да се земе предвид реално достапната количина на сончево зрачење [11], во соодветна временска рамка имајќи го предвид променливиот и во одредена мерка непредвидлив карактер на оваа форма на енергија.

2.4. Фотонапонски технологии

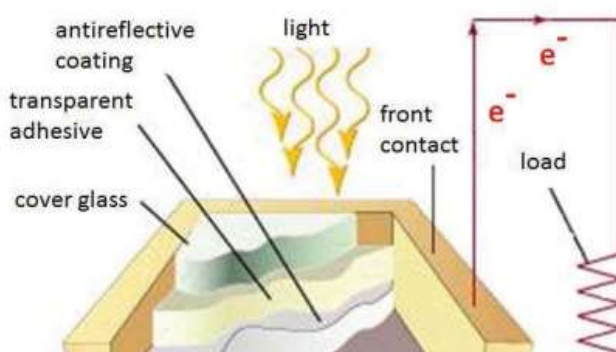
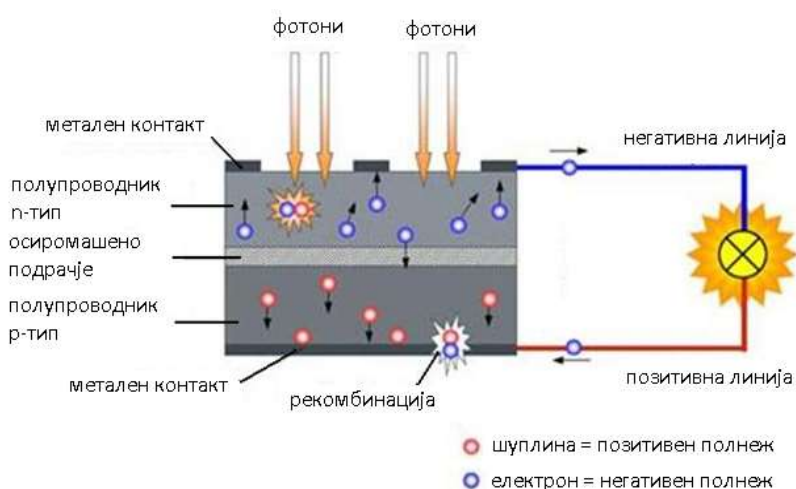
Една од најперспективните технологии кои служат за непосредна конверзија на енергијата е фотонапонската технологија, заснована врз фотонапонскиот ефект. Таа директно ја претвора сончевата енергија во електрична и потоа со помош на дополнителен уред - инвертер, може да се користи за функционирање на широк дијапазон уреди кои ги користиме во нашиот секојдневен живот, во одредени индустриски процеси и за друга намена, со оглед на тоа дека применливоста постојано се шири. Сончевата енергија претставува природен извор на енергија, што ги прави фотоволтаичните технологии многу корисни за енергетските потреби од повеќе аспекти, при што некои се анализирани во овој труд.

Главната цел на фотоволтаичните технологии е директно да ја претворат чистата сончева енергија во електрична енергија, која може ефикасно да се користи за задоволување на значителен дел од глобалните енергетски потреби [12]. Овие технологии постојано се предмет на развој со цел постигнување подобри перформанси, а вообичаено конструкцијата на постројките е едноставна и тие се релативно лесни за инсталирање и за употреба.

2.4.1. Фотонапонски ќелии

Фотонапонска ќелија претставува основна единица на фотонапонските модули, панели и на фотонапонскиот систем. Таа во суштина се состои од два меѓусебно поврзани тенки слоја на полупроводнички материјали, кои ја апсорбираат енергијата на фотоните од сончевите зраци. Едната половина е позитивно наелектризирана (тип P), додека другата е негативно наелектризирана (тип N). Поради најсоодветниот начин на употреба и неговата ефикасност, материјалот кој се користи за производство на фотоволтаичните ќелии е силициум. Тој може да биде микрокристален, монокристален или поликристален. Покрај силициумот, за производство на полупроводници во фотоволтаичните системи може да се користат и други материјали, како што се: кадмиум-телурид и бакар-индиум-дизеленид. Полупроводниците од тип P се произведуваат од силициум контаминиран со многу мала количина на чистота, што го прави материјал со недостаток на електрони. Полупроводниците од тип N се исто така изградени од кристален силициум, но со поголема чистота, поради што има вишок на слободни електрони (слика 2.5).

Сликата 2.5 ја илустрира структурата на фотоволтаичните ќелии и дава принципиелен приказ на начинот на кој сончевата енергија се претвора во електрична преку фотоволтаичната ќелија како главна компонента на фотоволтаичните системи.



Слика 2.5. Приказ на напречен пресек и функционална шема на фотонапонска ќелија (а) и принцип на создавање електрична енергија во полупроводник (б) (Модифицирано според [12])

Принципот на работа на фотоволтаичните системи е таков што со примање енергија од сончевите зраци (од фотоните што го формираат наидувачкото или паднувачко сончево зрачење), се активираат електроните во полупроводникот. Овие електрони, добивајќи енергија од Сонцето, почнуваат да се движат од ниско-енергетска во високо-енергетска состојба и излегуваат од атомските орбитали. Ова движење на електроните доведува до создавање на електрична енергија во полупроводникот.

На сликата е прикажан фотоволтаичен модул, неговите компоненти, делот во кој паѓаат сончевите зраци и како се постигнува претворањето на енергијата на фотоните во електрична енергија.

Конверзијата на електричната енергија во фотонапонските (ФН) системи се врши со фотонапонски ќелии кои се состојат од многу полупроводни слоеви. Разбирливо, количеството произведена електрична енергија е директно пропорционално со интензитетот на сончева енергија што наидува кон ќелиите. Колку е поголем интензитетот на сончева енергија, толку е поголемо количеството на електрична енергија која што се произведува.

Најчестиот материјал за производство на фотонапонски ќелии е силициум. Песокот, еден од најзастапените материјали на земјата, е примарен извор за производство на силикон. Силициумот претставува еден од најчесто користените елементи, најчесто се добива од песок, што значи дека постои голема достапност на суровината.

Фотонапонските технологии вклучуваат [13]:

- Монокристали;
- Поликристали;
- Кристален силициум;
- Технологија со тенок филм.

2.4.2. Монокристални ќелии

Монокристалните ќелии се составени од поединечни кристални ќелии, кои лесно се разликуваат по нивната униформна боја и изглед. Нивната внатрешност е направена од кристални прачки во цилиндрична форма. Самите монокристални ќелии се карактеризираат со црна боја [14]. На слика 2.6. е претставена монокристална фотоволтаична ќелија.



Слика 2. 6. Монокристална ќелија [15]

На сликата се претставени визуелните карактеристики на монокристалната фотонапонска ќелија како претставник на првата генерација на фотонапонски технологии која е применувана во многу случаи.

Монокристалните ќелии се широко распространети на пазарот. Нивната ефикасност варира од 13 % до 17 %, додека при добри метеоролошки и атмосферски услови покажуваат поголема ефикасност. Во принцип, овие ќелии го претвораат интензитетот од 1000 W/m^2 во 140 W на површина од 1 m^2 . Во составот на овие ќелии е потребен чист силициум. Ваквите услови на нивната изведба гарантираат подолг животен век на нивна употреба, кој се движи од 25 - 30 години, и, како и другите материјали, се деградира со текот на времето [13].

2.4.3. Поликристални ќелии

Поликристалните ќелии се состојат од многу мали кристали. Поликристалниот силициум се топи и се истура во калап, а по ладењето се сече во форма на квадрат. Тие не поседуваат униформна геометрија, но карактеристични се по нивната сина боја [14]. На слика 2.7 е претставена поликристална фотоволтаична ќелија. Сликата го прикажува визуелниот изглед на поликристалните ќелии, покажувајќи јасно дека самата ќелија не поседува многу чист кристален материјал. Овие ќелии се дел од првата генерација на фотоволтаични технологии кои нашле широка примена.



Слика 2. 7. Поликристална ќелија [16]

На површина од 1 m^2 и интензитет на зрачење од 1000 W/m^2 , се добива електрична моќност со вредност од 130 W . Производството на поликристалните ќелии е економски поефикасно во споредба со монокристалните ќелии. Придонесот на нивната ефикасност варира од 10% до 14% , а поседуваат животен век од 20 до 25 години [13].

Монокристалните ќелии обезбедуваат поголема моќност на помала површина, а воедно имаат и повисоки трошоци од поликристалните ќелии. Најдолг технички животен век имаат поликристалните ќелии [14].

2.4.4. Ќелии со тенок филм

Ќелиите со тенок филм се произведуваат со натрупување на екстремно тенки нишки од синтетички материјал. Процесот на производството на овој вид ќелии резултира со помали трошоци во споредба со останатите видови ќелии. Се карактеризираат со помала ефикасност, која варира од 5% до 13% , но нивното учество на пазарот постојано расте. Нивниот животен век варира од 15 до 20 години. Моментално во комерцијална употреба постојат четири видови на ќелии со тенок филм и тие се накратко презентирани подолу.

1. Аморфен силициум (a-Si)

Ефикасноста на ќелиите со аморфен силициум е 6% , што значи дека на површина од 1 m^2 со интензитет на зрачење од 1000 W/m^2 , се добива електрична моќност од само $50 - 60 \text{ W}$. Со истражувањата во оваа област се постигнува напредок кој би довел до зголемувања на ефикасноста на овие ќелии.

Доколку тенок слој на силициум се постави на стакло, се добиваат аморфни ќелии, чија дебелина е 1 микрон, што влијае на ниската производна цена поради ниската цена на употребениот материјал. Сепак, нивната ефикасност е многу помала од ефикасноста на други видови ќелии. Најголема примена наоѓаат при потреба на мала количина на електрична енергија.

2. Кадмиум телурид (CdTe)

Ефикасноста на овие ќелии е 18% . На површина од 1 m^2 со интензитет на зрачење од 1000 W/m^2 , се произведуваат 160 W електрична енергија во лабораториски услови. Кадмиум телурид претставува комбинација на металот кадмиум и полуметалот телуриум. Самиот состав се карактеризира со голема токсичност, поради што тој не е широко употребуван.

3. Бакар индиум галиум селенид (CIS, CIGS)

Соларните ќелии врз база на бакар, индиум, галиум и селенид (CIS, CIGS) поседуваат најголема ефикасност од 20% , каде на површина од 1 m^2 со интензитет на

зрачење од 1000 W/m^2 , се добива електрична енергија со вредност од $160 - 200 \text{ W}$ во лабораториски услови.

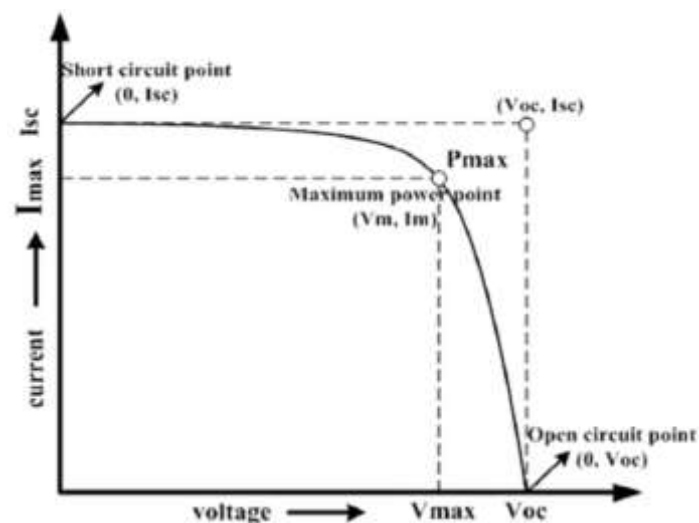
4. Термочувствителни соларни и други органски ќелии (DSC)

Развојот на овие органски ќелии допрва треба да даде резултати, бидејќи тие сеуште се тестираат и не се доволно комерцијализирани. Ефикасноста на ќелиите е околу 10% . Тестовите водат во насока на користење на фасадни системи, кои се докажани како висококвалитетни решенија при секое светлосно зрачење и сите температурни услови. Исто така, голем потенцијал на овие ќелии е ниската цена во споредба со ќелиите од силициум.

Постојат и други фотоволтаични технологии кои се тестираат, постојано се унапредуваат и некои од нив веројатно наскоро ќе бидат достапни за комерцијална употреба [13].

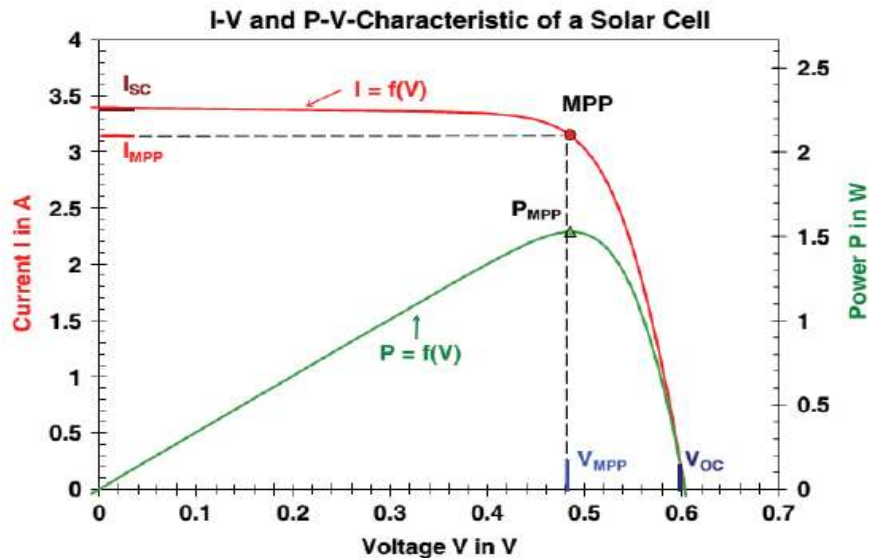
2.5. Карактеристики на фотонапонски ќелии

Карактеристиките на секоја ќелија најчесто се претставуваат како врска помеѓу напонот и интензитетот на струјата, како и врска помеѓу напонот и моќноста на фотоволтаичните ќелии. Постојат неколку карактеристики за адекватно функционирање на ќелиите, како што се: напон на ќелијата при услови на отворено коло (V_{OC}), струја на ќелијата при услови на кратка врска, I_{SC} , напон на ќелијата, струја и моќност на ќелијата, V_{MPP} , I_{MPP} , P_{MPP} . На сликите во продолжение се дадени карактеристиките на вообичаена фотоволтаична ќелија. Слика 2.8 ги прикажува струјно-напонските карактеристики на фотоволтаичните ќелии.



Слика 2. 8. I-V карактеристики на фотоволтаични ќелии [17]

Како што може да се види од дијаграмот, секоја ќелија поседува напон на отворено коло и струја на краток спој. Соодветна комбинација помеѓу струјата и напонот создава постигнување на точка на моќност во која производството на енергија е максимално. Слика 2.9 ги претставува I-V и P-V карактеристиките на фотоволтаичните ќелии.

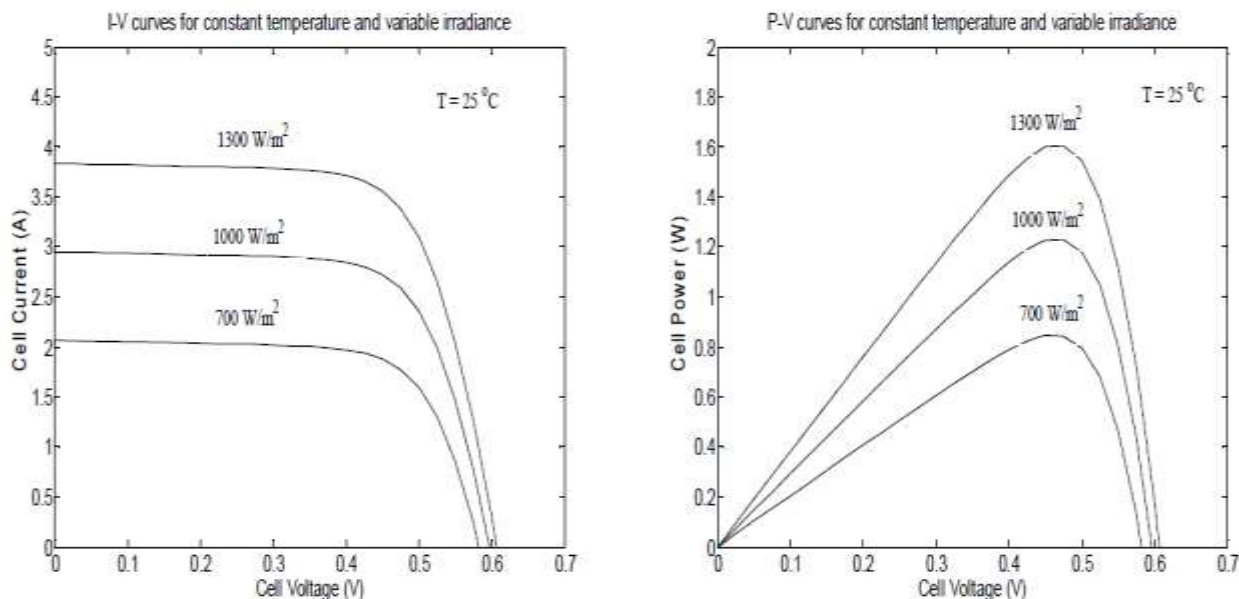


Слика 2.9. I-V и P-V PV карактеристики на фотоволтаични ќелии [18]

Со дијаграмот е прикажано дека во зависност од напонот или струјата што се произведува, се одредува моќноста која се генерира во фотоволтаичната ќелија.

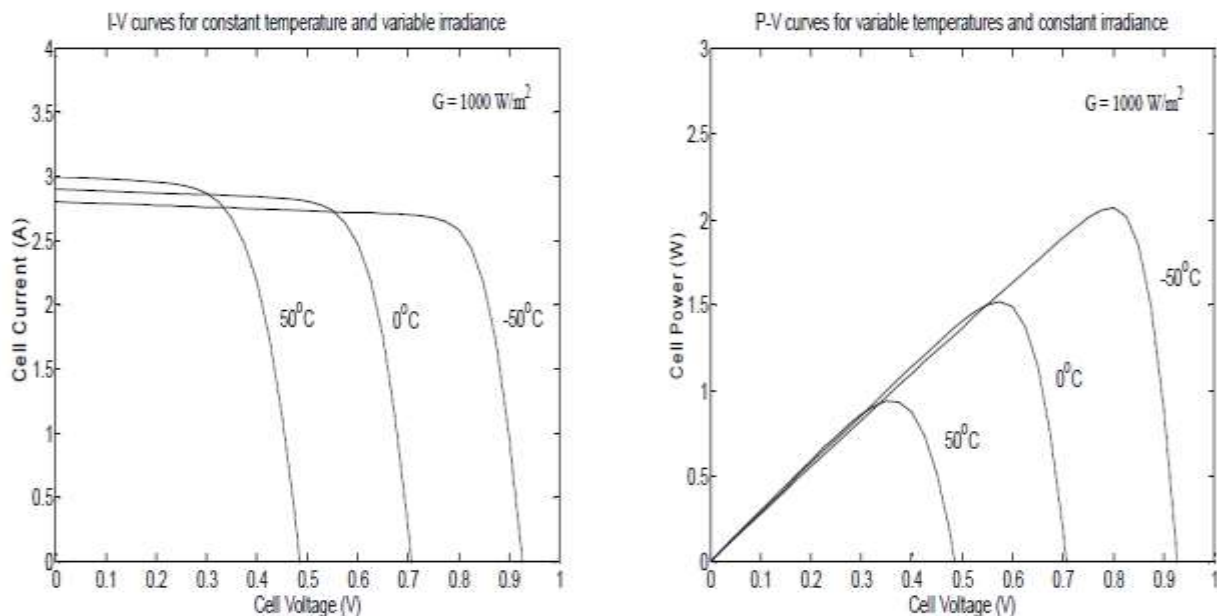
Промената на карактеристиките на фотоволтаичните ќелии настанува со промена на сончевото зрачење и температурата на ќелијата. На следната слика се прикажани електричните карактеристики на ќелијата при различни интензитети на зрачење, но со постојана, непроменлива температура. Како што може да се забележи, промената на сончевото зрачење влијае на самиот интензитет на струјата на краток спој, како и на излезната моќност, но има незначителен ефект врз напонот на ќелијата [19]. Слика 2.10 ги прикажува карактеристиките како што се напонот, струјата и моќноста кои ги создава самата ќелија во зависност од интензитетот на сончевото зрачење.

Од сликата може да се забележи дека најдобри карактеристики и најголемо производство на енергија се јавува при поголемо количество на сончева енергија, се додека температурата на околината остане непроменета, бидејќи зголемувањето на температурата има негативното влијание врз перформансите на фотоволтаичните ќелии.



Слика 2. 10. Карактеристики на фотоволтаична ќелија при константна температура и променливо сончево зрачење [19]

Втората слика покажува дека промената на температурата при постојан интензитет на зрачење влијае на напонот на отвореното коло и излезната моќност на ќелијата, но има незначителен ефект врз интензитетот на струјата на краток спој [19]. На слика 2.11 се прикажани карактеристиките на фотоволтаична ќелија, која има постојан интензитет на сончево зрачење при промена на температурата на околината.



Слика 2. 11. Карактеристики на фотоволтаична ќелија при променливи разлики во температурата и постојано зрачење [19]

Како што може да се види од дијаграмот на сликата, зголемувањето на температурата на околината има негативно влијание на работата на самата ќелија, поради што се постигнуваат пониски карактеристики, како и производство на помало количество енергија.

2.6. Фотоволтаични модули

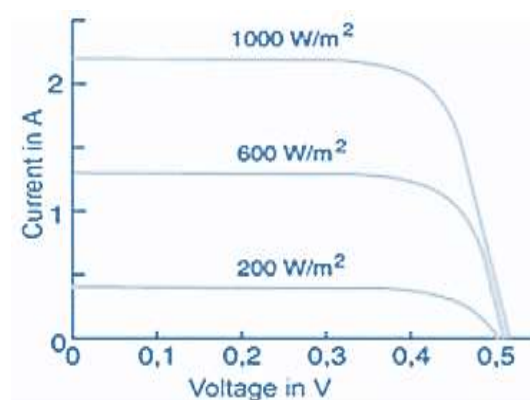
Фотонапонските модули произведуваат енергија во опсегот на светлосните фреквенции, но тие секако не го покриваат целиот опсег на сончевото зрачење. Досега, највисокиот евидентиран степен на ефикасност на овие модули е 21,5 % [20].

Стапката на конверзија на сончевата енергија во корисна електрична енергија зависи од неколку фактори, вклучувајќи: термодинамичка ефикасност, ефикасност на рефлексија и ефикасност на спроводливост. Постојат системи кои што помагаат да се зголеми паднувачкото зрачење до системот со цел зголемување на степенот на нивната искористеност. Овие системи овозможуваат следење на Сонцето во текот на денот [21].

На ефикасноста на фотоволтаичните модули влијае и нивната ориентираност, аголот на поставување, температурата на панелот, количината на зрачење која паѓа на панелот, како и самата засенченост.

Со менување на правецот на фотоволтаичниот панел, се менува и струјата. Доколку правецот на панелот се промени во насока на азимутот, тогаш ќе дојде до намалување на вкупната моќност. По поставувањето на панелот во јужна насока, потребно е да се пресмета аголот на поставување со цел да се постигне најголема генерирана моќност.

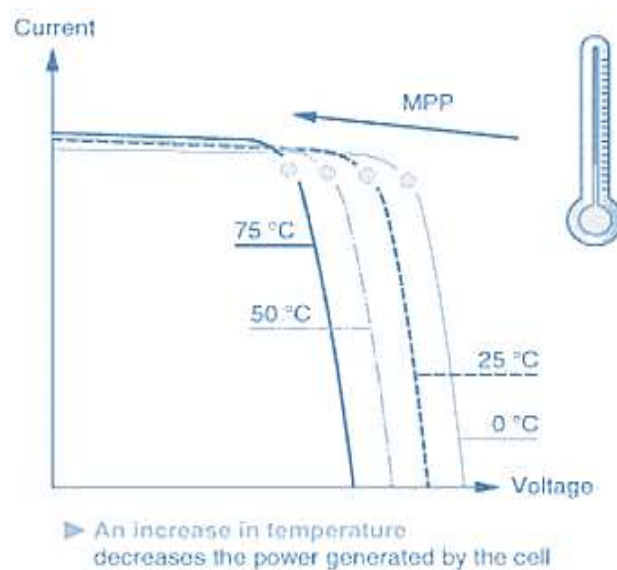
Сончевото зрачење, исто така, влијае на генерираната моќност. Колку е поголемо количеството на сончевото зрачење, толку повеќе енергија се произведува од соларните панели [22]. Слика 2.12 ги прикажува карактеристиките на фотоволтаичниот панел за различни интензитети на сончево зрачење.



Слика 2. 12. Промена на карактеристиките на панелот во зависност од сончевото зрачење [22]

Како што може да се забележи на прикажаната слика, со зголемувањето на интензитетот на сончевото зрачење над 900 W/m^2 , не доаѓа до значителна промена на карактеристиките и произведената енергија, како резултат на зголемената температура во фотоволтаичниот панел.

Покачувањето на температурата на панелот има негативно влијание врз перформансите на системот. За секој зголемен Целзиусов степен, вкупната моќност се намалува за 0,5 %. Температурата е исто така важен фактор за животниот век на фотоволтаичните ќелии. Како најважни фактори при изборот на видот на соларни панели, можат да се издвојат температурата и другите услови на околината во која самиот панел ќе биде изложен [22]. Слика 2.13 ги прикажува карактеристиките на фотоволтаичниот панел со промената на температурата на панелот.



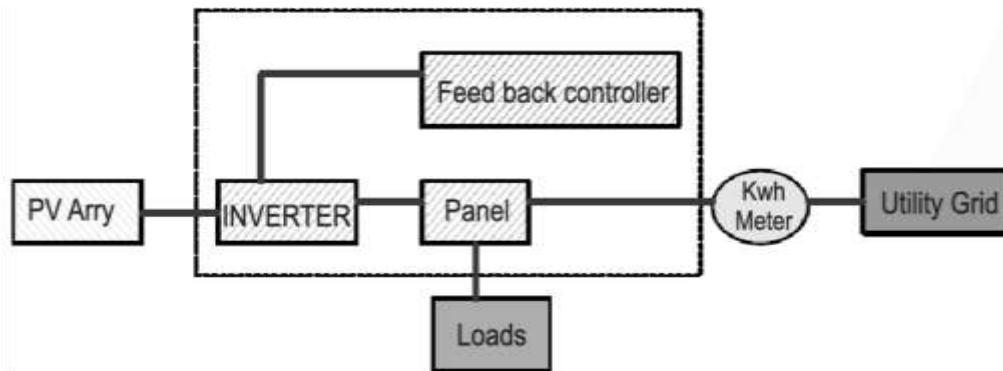
Слика 2. 13. Влијанието на температурата на фотоволтаичниот панел [22]

Како што може да се види на сликата, зголемувањето на температурата на панелот има негативно влијание врз неговата изведба, а тоа влијае на намалувањето на карактеристиките на панелот и доведува до помало производство на енергија од фотоволтаичниот панел.

Фотоволтаичните модули се состојат од фотоволтаични ќелии кои се поврзани во серија. Помеѓу двете колони на фотонапонски ќелии се поставува бајпас диода, која има цел да го заобиколува преостанатото коло во случај на оштетување на панелот, но исто така влијае и на намалување на вкупната моќност. Истиот феномен се јавува и кога дел од панелот е засенчен [22].

2.7. Фотонапонски низи

Повеќето фотоволтаични системи се системи кои се поврзани со електрична мрежа. Во овие системи, мрежата ја поседува улогата на батерии. Кога има вишок на производство на енергија, истата влегува во мрежата, додека пак кога има недостиг на енергија, истата количина се зема од мрежата. Фотоволтаичните системи генерално се состојат од фотоволтаични панели, инвертер, приклучоци, како и мерач на енергија. На слика 2.14 е претставен основен блок дијаграм на фотоволтаични системи [23].

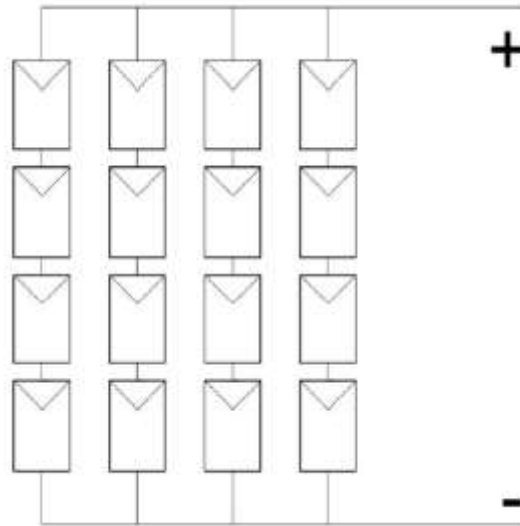


Слика 2. 14. Блок дијаграм на основен фотоволтаичен систем поврзан со мрежа [23]

Прикажаниот блок дијаграм ја претставува основната структура на фотоволтаичните системи кои се поврзани со мрежа [23]. Енергијата која ја создава фотоволтаичниот систем, зависи од начинот на кој што тој е дизајниран. Со оптимизација на системот, можат да се постигнат подобри перформанси. Овие многу важни компоненти овозможуваат најадекватно работење на фотоволтаичниот систем.

Фотоволтаичната низа се состои од голем број на фотоволтаични модули, кои се заедно склопени и електрично поврзани, така што обезбедуваат соодветна моќност, која може да варира од 100 W до 100 KW.

Бидејќи фотоволтаичните ќелии се поврзани за да се создаде фотоволтаичниот модул, фотоволтаичните модули се исто така поврзани за да се создаде фотоволтаична низа. Поврзувањето на модулите во низата е многу важно за неговата изведба. На следната слика е прикажано поврзувањето на фотоволтаична низа која има 4 паралелни врски од 4 модули поврзани во серија [24]. На слика 2.15 е прикажана врската на панелите во фотоволтаичната група.



Слика 2. 15. Структура на фотоволтаична низа [24]

На сликата е прикажано поврзувањето на модулите со цел формирање на фотоволтаична низа. Поврзувањето се врши на таков начин што системот добива ограничена моќност на излез.

Сите модули на фотоволтаичната низа не треба да бидат засенети, со цел добри перформанси, во спротивно ќе делува како оптоварување кое може да предизвика оштетување. Бајпас диодите најчесто се користат за да се избегне оштетување, и покрај тоа што тие влијаат на зголемувањето на трошоците. Интеграцијата на неколку бајпас диоди за време на производството не е невообичаена и ги намалува потребните електрични инсталации. Меѓутоа, доколку диодата не работи, нејзината замена станува многу тешка [24].

2.8. Фотоволтаични системи

Фотоволтаичниот систем се состои од неколку делови, како што се фотоволтаични ќелии, механички приклучоци, како и средства за менување или прилагодување на моќноста.

Фотоволтаичните системи се класифицирани според енергијата која што системот ја произведува во сончев ден.

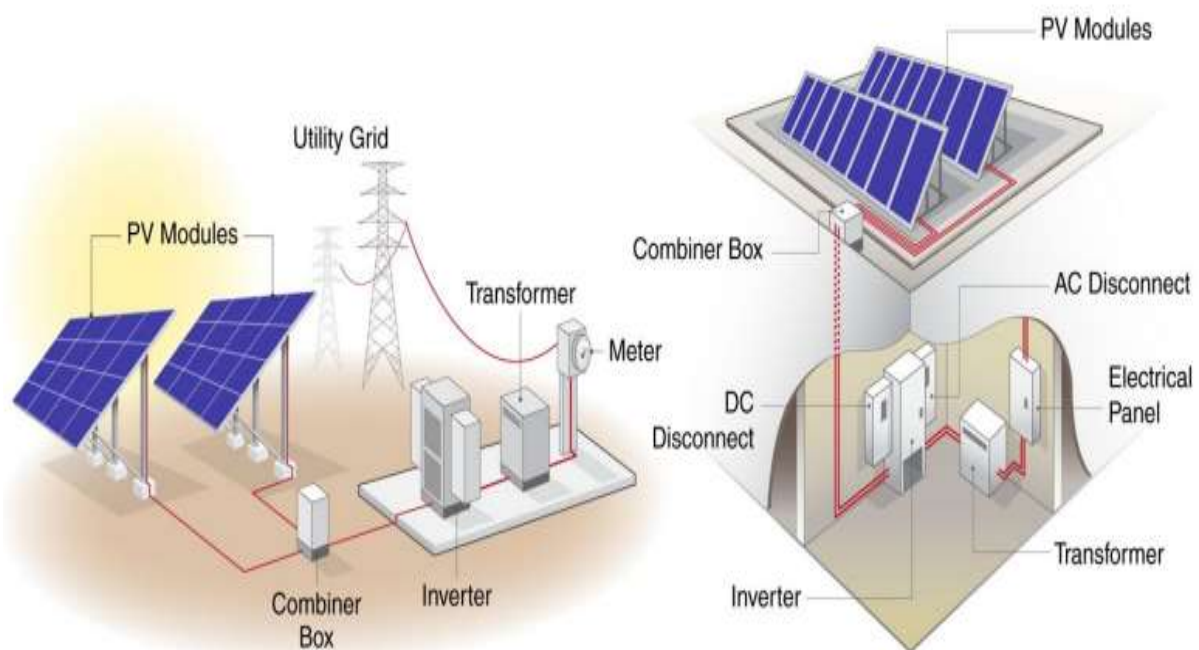
Енергијата произведена од фотоволтаичните системи се внесува во мрежата, зголемувајќи ја ефикасноста на системот. Таквите системи можат да работат на два

начини: енергијата што се зема од мрежата, и енергијата која ја произведува системот и се внесува во мрежата. Овие системи го прават користењето на мрежа многу корисно. Соларните панели ја претвораат сончевата енергија во еднонасочна електрична енергија, која потоа во инвертерот преминува во алтернативна електрична енергија. Ова се случува поради тоа што уредите кои ги користиме во секојдневниот живот користат алтернативна електрична енергија. Во овие случаи, електричната енергетска мрежа се користи наместо батерии. Доколку фотоволтаичниот систем произведува повеќе енергија отколку што троши, вишокот произведена енергија се внесува во мрежата. Како друга карактеристика може да се издвојат броилата на електричната енергија, кои ја мерат енергијата внесена во мрежата, како и потрошувачката на енергија [12].

За да се создаде фотоволтаичен систем, потребно е фотоволтаичните панели да бидат електрично поврзани и поставени во потпорна конструкција. Главната компонента на системот е фотоволтаичниот панел. Панелите кои најчесто се користат се оние со кристален состав.

Се додаваат и дополнителни компоненти на системот за да се контролира протокот на енергија произведена од него. Уредот кој има најголема цена и важност е инвертерот, кој електричната енергија ја претвора во наизменична струја за да биде возможно внесувањето во мрежата.

Постојат неколку видови на фотоволтаични системи кои се разликуваат во зависност од нивниот дизајн. Дизајните за поставување на фотоволтаичните панели на земја се разликуваат од оние кои се поставуваат во индустриски згради, и од оние кои се монтираат на земја [25]. На слика 2.16 се претставени некои дизајни на фотоволтаични системи.



Слика 2. 16. Дизајни на фотоволтаични системи [25]

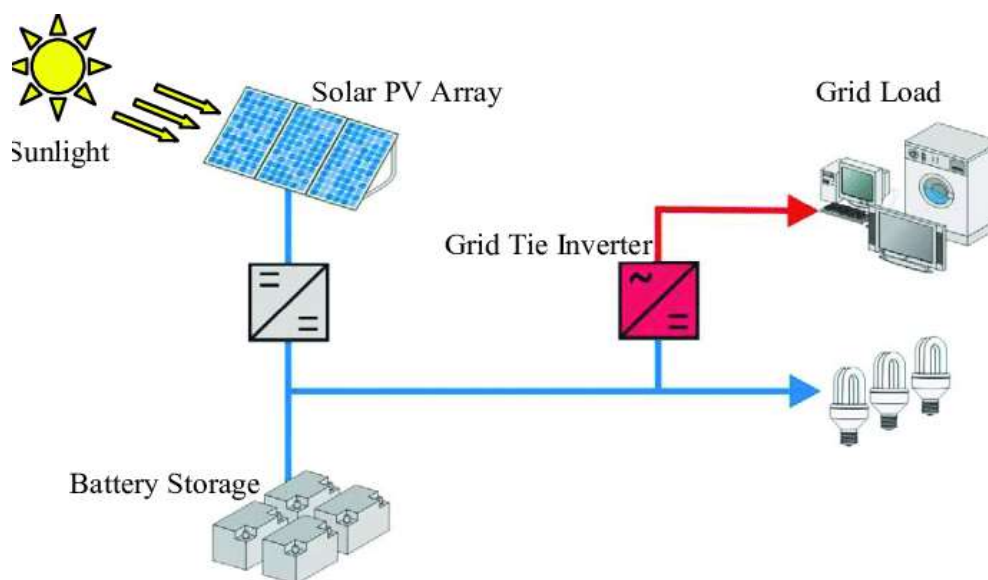
Од дизајните кои се претставени на сликата, можат да се забележат главните компоненти на фотоволтаичните системи, видот на енергија што се произведува и како потоа со помош на инвертерот ја користиме енергијата во секојдневниот живот.

На сликата прикажана на десната страна, илустрирани се системи во индустриски згради, додека системот на левата страна претставува систем кој се наоѓа на земја. Од сликата може јасно да се забележи дизајнот на овие два видови системи, како и елементите потребни за истите [25].

Постојат посложени фотоволтаични системи како што се самостојните системи, системи поврзани со мрежа и хибридни системи.

1) Самостојни фотоволтаични системи

Самостојните фотоволтаични системи не се поврзани на електрична мрежа. Овие системи се многу повољни за места кои се изолирани и се доста далеку од електрична мрежа. Се користат за потрошувачка на енергија со низок капацитет. Поради непредвидливата природа на фотоволтаичниот извор, потребна е батерија за складирање на електричната енергија во услови на доволно зрачење и производство, со цел да се искористи при недостаток на зрачење. Во овие системи, проблемот е движењето на електричната енергија, поради што, напонот се прилагодува за да се избегнат овие проблеми. Самостоен фотоволтаичен систем е прикажан на слика 2.17. [26].



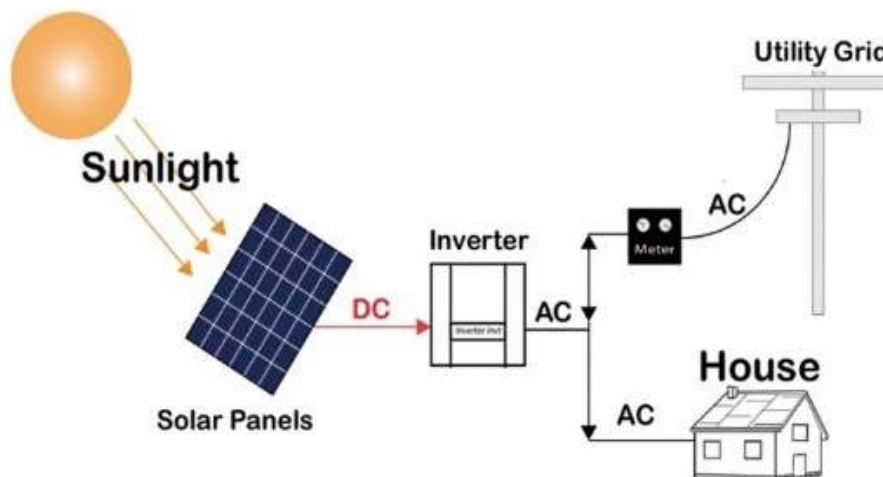
Слика 2. 17. Самостоен фотоволтаичен систем [27]

На сликата се прикажани компонентите на самостојните фотоволтаични системи, како и начинот на складирање и користење на енергијата.

Стандардниот напон на овие системи нормално е во опсег од 220 - 250 AC, што значи дека нивото на напон на еднонасочната врска на DC - AC инвертерот што ги снабдува овие оптоварувања мора да биде 360 - 400 V. Најчесто, напонот на фотоволтаичните модули на пазарот изнесува 12 - 15 V. Поради оваа причина, тие се поврзани во серија со цел постигнување на потребниот напон.

2) Фотоволтаични системи поврзани со мрежа

Фотоволтаичните системи поврзани со мрежа се директно поврзани така што вишокот енергија се внесува во мрежата. Овие системи се користат за големо производство на енергија и претставуваат ефикасен начин за искористување на сончевата енергија. Се користат во станбени и институционални згради, со цел намалување на трошоците за електрична енергија. Кај нив нема потреба од батерија, поради тоа што мрежата ја заменува нејзината улога. Поради тоа, овие системи се економични и бараат значително помалку одржување во споредба со системите без мрежа. На слика 2.18 е прикажан дијаграмот на фотоволтаичен систем поврзан со мрежа [26].



Слика 2. 18. Дијаграм на фотоволтаичен систем поврзан со мрежа [28]

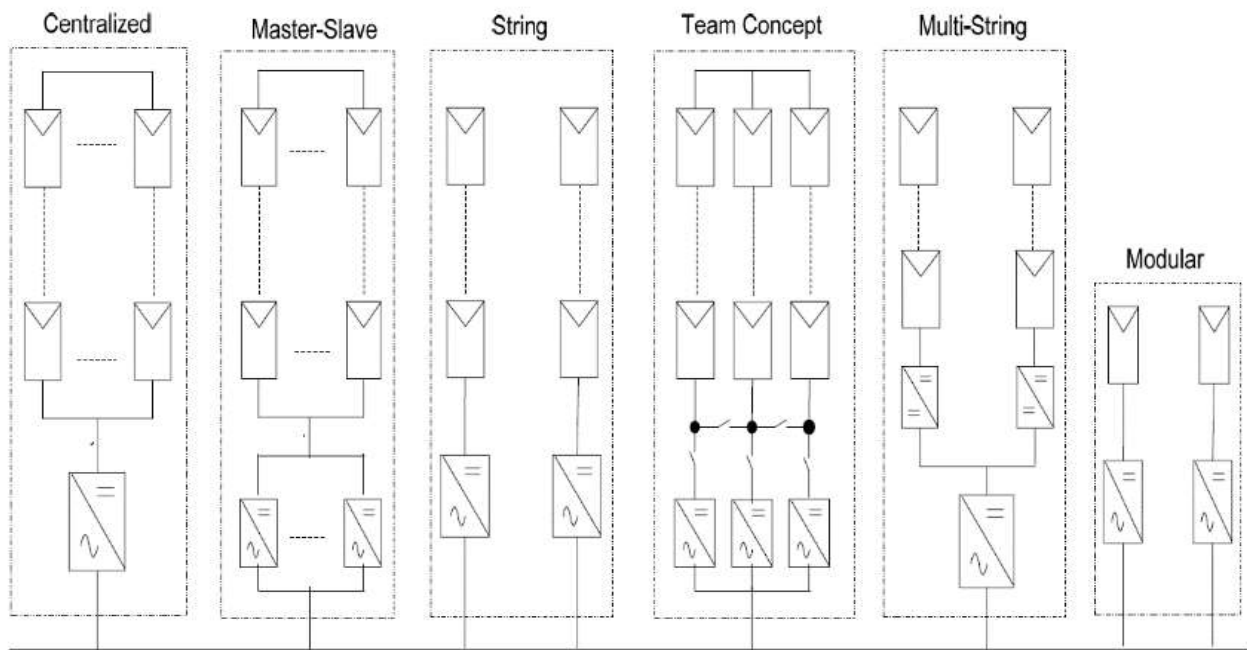
Сликата ги прикажува главните компоненти на мрежните системи. Кај овие системи мрежата ја игра улогата на батерии каде се вметнува вишокот произведена енергија, додека при недостаток на производство на енергија од фотоволтаичниот систем, истата се зема од мрежата.

Главните компоненти на мрежниот систем се фотоволтаичните модули и инвертерот. Бидејќи излезот од фотоволтаичната низа е енергија со директна струја, инвертерот се користи за нејзино претворање во алтернативна енергија со наизменична струја која може да се користи во секојдневниот живот и да се вметне во мрежата. Воспоставен е двонасочен интерфејс помеѓу излезните терминали за наизменична струја

на фотоволтаичниот систем и електричната мрежа. Ова овозможува при поголемо производство од потрошувачка, енергијата да може да биде внесена во мрежата [26].

Фотоволтаичните системи можат да бидат системи поврзани со електрична мрежа и системи за внатрешна употреба. Фотоволтаичниот систем се состои од фотоволтаични модули, држач за монтирање, инвертер за конверзија на енергија, мерна и заштитна опрема. Повеќето уреди за секојдневна употреба користат алтернативна електрична енергија, додека производството на фотоволтаичните модули е еднократна електрична енергија, поради што се користи инвертерот за конверзија на енергијата. Конверзија се случува и за воведување на енергија во електричната мрежа [29].

Постојат различни топологии на приклучоци за фотоволтаичните модули. Некои од топологиите се прикажани на слика 2.19, која ги покажува начините на поврзување на инвертерите со фотоволтаичните системи [19].



Слика 2. 19. Начини на поврзување на фотоволтаични системи [19]

Сликата ги прикажува начините на конфигурации на инвертерот кои може да се креираат за поврзување на фотоволтаичниот систем. Секоја од овие конфигурации е детално објаснета подолу.

- Централизирана топологија

Оваа топологија е добро воспоставена и најчесто се користи за големи фотоволтаични системи кои имаат голема излезна моќност. Користи само еден инвертер за поврзување со фотоволтаичните модули. Централизираната топологија има пониски

трошоци за нејзино одржување во однос на другите, но сепак се карактеризира со мала доверливост бидејќи при дефект на инвертерот, употребата на фотоволтаичниот систем запира.

- **Master-slave топологија**

Оваа топологија има за цел да ја подобри веродостојноста на централизираната топологија. Во овој случај, не се користи само еден инвертер, туку неколку паралелно поврзани инвертери, така што доколку еден од нив откаже, останатите се во можност да обезбедат максимална моќност на фотоволтаичниот систем. Господар-роб топологијата се карактеризира со повисоко ниво на доверливост на системот. Инвертерите можат да бидат дизајнирани така што при недостаток на сончево зрачење, дел од нив се затвораат. На овој начин се зголемува вкупната ефикасност и животниот век на инвертерите. За оваа топологија може да се каже дека има повисока цена од централизираната топологија.

- **Топологија на низи**

Во оваа топологија, секоја од низите на фотоволтаичните модули е поврзана со инвертер и води кон зголемување на доверливоста на системот. На овој начин се минимизираат загубите во делот кој е засенчен, поради тоа што другиот дел работи со максимална моќност. Со оваа топологија, флексибилноста на системот се зголемува, бидејќи лесно може да се додадат дополнителни низи и нов инвертер, каде што секој опсег може да постигне моќност од 2 - 3 kW. Со зголемување на бројот на инвертери, се зголемува и цената на самиот систем.

- **Комбинирана топологија**

Оваа топологија се користи за големи фотоволтаични системи, кои ја комбинираат топологијата на низи со Master-slave топологијата. Во отсуство на зрачење, целиот систем користи само еден инвертер. Како што се зголемува нивото на зрачење, низите се раздвојуваат со инвертер кога се приближуваат до нивната номинална моќност.

- **Multi-String топологија**

Оваа топологија се карактеризира со поврзување на секоја низа со DC - DC конвертор за следење на максималната точка на моќност. Сите DC - DC конвертори се постојано поврзани со инвертер. Ваквата топологија се карактеризира со следење на максималната точка на моќност и ги намалува трошоците со користење на централен инвертер. Меѓутоа, со додавањето на DC - DC конверторот, загубите на системот се зголемуваат и влијаат на намалувањето на доверливоста во споредба со топологијата на низи.

- **Модуларна топологија**

Во оваа топологија, бидејќи инвертерот е вграден во секој модул, ги намалува загубите во случај на делумна сенка. Овој метод го скратува животниот век на инвертерот бидејќи е изложен на сув воздух во фотоволтаичниот модул, со што доаѓа до зголемување на напонот при промена на температурата [19].

2.9. Искористување на сончевата енергија и нејзини придобивки

Сончевата енергија е потенцијално најевтина и најпогодна енергија за користење. Користењето на оваа енергија ја зголемува внимателноста кон околината каде живееме.

Сончевата енергија е поевтина алтернатива во однос на другите алтернативи како нафта, гас, јаглен и вода, кои се користени за производство на енергија.

Сепак, неодамнешниот недостаток на овие материјали и исцрпувањето на резервите, предизвика нивната цена значително да се зголеми, што го отежнува животот во многу земји, особено во оние каде што ваквите материјали се наоѓаат во мали количини. Поради оваа причина, најпрофитабилната и најприфатливата алтернатива е користењето на сончевата енергија. Постојат многу причини за користење на сончевата енергија наместо други постоечки извори, како што е ниската цена, енормното поскапување на горивото, како и опасноста од глобално затоплување.

Употребата на гас и нафта во домовите, автомобилите и индустријата, доведе до големо присуство на јаглерод моноксид во околниот воздух, кој постепено ја уништува озонската обвивка, поради што доаѓа до намалување на врнежите и предизвикува голема сувост. Доколку сончевата енергија се користи во индустријата, можно е да се избегне критичната ситуација во која се наоѓа Земјата, да се спасат плодните земјишта, кои се многу оштетени како резултат на штетниот отпад од индустриските процеси. Состојбата во која се наоѓа нашата планета Земја натера различни земји да поддржат градежни проекти на електрани за производство на електрична енергија од сончевата енергија. Недостатокот и релативно високата цена на изворите на енергија може да се надмине само доколку Сонцето се истакне како главна алтернатива за производство на енергија.

Постои широк опсег во кој може да се користат соларни панели. Освен во енергетскиот сектор, можат да бидат користени и во земјоделството, здравствениот и инфраструктурниот сектор. Фотоволтаичните модули се користат во фотоволтаични системи и вклучуваат голем избор на електрични уреди [30]:

- Фотоволтаични центри;
- Сончеви фотоволтаични системи на покриви;

- Самостојни фотоволтаични системи;
- Сончеви и хибридни електроенергетски системи;
- Соларни авиони;
- Ласери со соларна пумпа;
- Соларни возила;
- Соларни панели на вселенски летала и вселенски станици.

Предизвикот во користењето на фотоволтаичните технологии е да се намалат трошоците по вати за конверзија на светлосната енергија во електрична, поради што овие технологии се конкурентни на фосилните горива. Новите материјали кои се користат во фотоволтаичните технологии, новите пристапи и методи за користење на сончевата енергија ќе бидат револуционери за нивната употреба за производство на енергија. Со континуираниот развој во системот на фотоволтаични технологии, како и со зголемувањето на ефикасноста на овие технологии, се намалуваат трошоците за користење на овие фотоволтаични системи, со цел истите да бидат поефикасни и да биде зголемен нивниот животен век [31].

Некои од предностите на користењето на сончевата енергија се:

- Сончевата енергија е зелена енергија. При производство на електрична енергија со фотоволтаични панели нема емисија на штетни гасови, со што сончевите фотоволтаични панели се еколошки;
- Сончевата енергија е енергија обезбедена од страна на природата – на тој начин таа е изобилна, а нејзиното користење е условно е бесплатно;
- Сончевата енергија може да биде достапна речиси секаде, бидејќи сончевата светлина ја има насекаде;
- Трошоците за соларни панели се повеќе се намалуваат;
- Трошоците за работа и одржување на фотоволтаичните панели се сметаат за релативно ниски, речиси занемарливи, во споредба со трошоците на другите системи за обновлива енергија;
- Фотоволтаичните панели немаат механички делови што се движат, инсталирањето не е комплицирано, а тие се целосно тивки и не прават бучава, поради што се совршено решение за урбаните средини и барањата во резиденцијалниот сектор;
- Фотоволтаичните панели може да се користат кога побарувачката на енергијата го постигнува својот врв – особено во топлите летни месеци;
- Иако цените на соларните фотоволтаични панели бележат драстично намалување во последните години, овие панели се еден од најголемите системи за обновлива енергија кои се промовирани преку владини субвенциски фондови;

- Соларните панели не се премногу тешки за поставување на покриви и на земја.

Покрај предностите од користењето на сончевата енергија, постојат и некои недостатоци кои се појавуваат при користење на истата:

- Променлив и донекаде непредвидлив карактер - недостаток на сончева светлина ноќе, но и во текот на денот при облачни или врнежливи услови;
- Панелите за соларна енергија бараат дополнителна опрема за претворање на еднонасочната електрична енергија во наизменична;
- Во случај на инсталации на фотоволтаични панели на земја, за нив се потребни релативно големи површини за поставување;
- Иако фотоволтаичните панели не бараат одржување, тие имаат значителни трошоци бидејќи се кревки и може релативно лесно да се оштетат;
- Сончевата енергија се користи за полнење на батериите, со цел уредите да можат да ја користат сончевата енергија дури и во ноќните часови. Сепак, батериите се големи и тешки, поради што бараат простор за складирање. Тие, исто така, потребно е да се заменат од време на време.

2.10. Некои аспекти на применливост на сончевата енергија во индустријата

Индустрискиот сектор користи енергија во директното производство и во пратечките дејности, при што се опфатени голем број активности. Искористувањето на енергијата во овој сектор најмногу се реализира со директно согорување на горивни материи и како електрична енергија. Сончевата енергија може да игра важна улога во индустријата, а нејзиното користење зависи од потребите на конкретната компанија и од иновациите во областа на енергетиката.

Сончевата енергија се смета за многу погодна за употреба во индустрискиот сектор бидејќи има потенцијално пониска цена и може да се користи за замена на употребата на природен гас, други фосилни горива и други индустриски материјали (во некои случаи електричната енергија може да ја замени пареата и/ или топла вода и други работни флуиди). Затоа, сончевата енергија се повеќе наоѓа примена за директно претворање во електрична енергија и/или топлина како извор на енергија во индустријата.

Сончевата енергија со ниска цена може да промовира електрификација на индустриските процеси, како и да обезбеди топлинска енергија потребна во широк спектар процеси. За долгорочни цели, оваа енергија може да се користи и за електрификација на комплексни процеси од енергетски аспект, кои бараат обезбедување високи температури за време на одвивање на истите.

Сончевата енергија во индустријата може да помогне во намалувањето на штетните емисии со локално и регионално влијание, како и емисиите на стакленички гасови, кои доаѓаат од енергетските трансформации. Покрај тоа, некои индустриски процеси ослободуваат јаглерод диоксид за време на нивната подготовка. Оваа емисија не е поврзана со енергетскиот дел и се разликува од другите емисии бидејќи доаѓа од хемиски процеси. Во однос на овие процеси, употребата на сончевата енергија може да помогне на неколку различни начини. Прво, употребата на оваа релативно евтина енергија може да се искористи за зафаќање на одредена количина од вкупната емисија на CO₂. За време на овој процес, заробениот CO₂ може да се користи во други индустриски процеси [32].

Во оваа дисертација ќе биде претставено моделирање и оптимизација на фотоволтаичен систем кој се користи за покривање на дел од потребите од електрична енергија на фабрика за индустриско производство. Системот се состои од 88 монокристални фотоволтаични панели и инвертер за конвертирање на енергијата што ја создава фотоволтаичниот систем. Кај местото на поврзување на системот со електрична мрежа се поставуваат струјни броила за мерење на електричната енергија внесена во мрежата, како и преземената енергија од мрежата. За анализа на неговите перформанси и генерираната енергија, ќе се користи аналитичка, како и софтверска анализа.

2.11. Преглед на литература

Во продолжение следува преглед на некои трудови поврзани со сончевата енергија, користените технологии, фотоволтаичните системи, како и максималната генерирана енергија, кои се од особено значење за проблемот кој се истражува во докторската теза.

Во трудот [33] се претставени методите на моделирање и симулација на фотоволтаичен систем, анализирани се карактеристичните електрични параметри на системот, и претставено е влијанието на засенчувањето врз електричните карактеристики. Анализиранио е влијанието на промената на сончевото зрачење и температурата на сериски поврзаните ќелии, како и перформансите на ќелиите и фотоволтаичните модули. Од оваа анализа е заклучено дека со соодветна комбинација од сериско и паралелно поврзување на ќелиите се постигнува подобра изведба на фотоволтаичните системи.

Во трудот [34] е претставена анализа на моделирање на фотоволтаични панели. Во анализата се претставени електричните карактеристики на фотоволтаичните модули преку нивна симулација. Презентирано е и влијанието на климатските фактори врз промената на карактеристиките на фотоволтаичните модули. Во овој труд е претставена и анализа на моделирање на фотоволтаични ќелии, како и максималното производство што може да го постигне фотоволтаичниот модул. Ова истражување е спроведено така што во

иднина ќе биде овозможена сеопфатна анализа на сите параметри, не само на ќелиите и модулите, туку и на самите фотоволтаични системи.

Со трудот [35] се претставени трендовите на фотонапонските технологии, презентирајќи ги првите употребени технологии, па се до најновите технологии кои ќе бидат достапни. Се прикажуваат и трендовите кои се очекува да бидат претставени и како тие ќе го променат степенот на ефикасноста во однос на досега користени технологии. Се постигнува заклучок дека во иднина ќе има намалување на трошоците за инсталирање на фотонапонски технологии и подобрување на нивните перформанси.

Преку студијата [36] е изложен моделот на фотонапонски систем, фокусиран врз спецификациите на модулите, нивните врски, како и електричните карактеристики на системот. Во овој труд е прикажано и моделирање на фотонапонски систем, вклучувајќи повеќе одделни теми, од анализата на фотонапонските технологии, преку моделирање на нивните електротехнички карактеристики, до анализата на перформансите на различни системи. Презентирани се предизвиците и начинот на кој треба да се пристапи кон нив при моделирање на фотонапонски системи.

Во трудот [37] е претставено моделирањето на фотоволтаичен систем поврзан со мрежа, се анализира напонот и интензитетот кој се произведува, како и оптоварувањето на моќноста во мрежата. Овој труд освен моделирањето, го прикажува и начинот на контролирање на енергијата на ваквите системи. Презентиран е математички модел на системот и направени се анализи на неговите карактеристики, како и начинот на внесување на произведената енергија во мрежата.

Во трудот [38] се анализирани моделите кои што влијаат за подобрувањето на перформансите на фотонапонскиот систем. Презентирани се моделите на фотонапонски системи поврзани со мрежа, како и моделите на комбинирани системи. Со анализа на автономните системи, претставено е и моделирањето на батерискиот систем, со што се опфаќаат повеќето видови и повеќето аспекти на фотонапонските системи.

Со студијата [39] се претставени факторите кои влијаат на перформансите на фотонапонските системи, анализата на ориентацијата на фотонапонските панели, видот на користените ќелии и влијанието на температурата врз модулите и целиот систем. Со анализата се опфатени практично сите компоненти, од фотонапонски ќелии, до инвертер. Се врши анализа како промената на сончевото зрачење, температурата и пращината влијаат врз перформансите на самиот систем. На севкупните перформанси влијаат и неколку други фактори, како што е видот на користените ќелии, останатите компоненти на системот и квалитетот на произведената електрична енергија.

Во трудот [40] е претставена анализата на енергетските карактеристики на монокристални и поликристални модули под одредени климатски услови. Претставен е систем со два вида фотонапонски модули, при што се врши анализа на нивните

перформанси и ефикасноста која се постигнува за исти климатски услови. Во анализата се опфатени главните параметри на системот, како што се вкупниот принос на енергија од инсталиран капацитет, годишното производство, факторот на капацитет, ефикасноста, енергетските загуби на системот итн.

Тест за перформансите на фотоволтаичните модули при тропски климатски услови е презентираан во трудот [41]. Експериментот вклучува фотоволтаични ќелии, модули од прва, како и модули од трета генерација. Презентирањето на перформансите на овие технологии се одвива преку главните енергетски индикатори за тропски климатски услови. Воедно презентираано е и воспоставување на математички модел и анализа на главните параметри. Се констатира дека за изведбата на системот, многу важна улога има изборот на адекватни модули за дадената локација, при што за анализираните тропски услови, монокристалните фотоволтаични модули покажуваат подобри перформанси.

Преку студијата [42] е претставена споредба на енергетските перформанси на шест различни видови фотоволтаични модули за одредени климатски услови. Во трудот е даден опис на системот и на инсталацијата за следење на перформансите. Изложени се загубите на системот, како и годишното производство од фотоволтаичните модули. Направен е детален опис на анализираните фотоволтаични модули и анализа на системот за мониторинг, а прикажани се карактеристиките на анализираните панели и инвертерот. Анализирани се климатските услови и нивното влијание врз перформансите на модулите и на системот. Презентирани се анализите, загубите и изводливоста на системот.

Со трудот [43] е претставена евалуација на перформансите на четири различни видови фотонапонски модули, со нивните специфичности и како тие влијаат врз вклучени перформансите на модулите. Опишани се карактеристиките на фотоволтаичните модули и нивната инсталација. Вклучувајќи ги метеоролошките параметри на дадената локација, анализирани се перформансите на системот и ефикасноста на инвертерот, како и годишното производство во зависност од различните видови панели.

Во трудот [44] е претставена споредба на три видови фотоволтаични технологии. Прикажани се спецификите на производството на енергија од трите различни видови за одредени климатски услови како и нивните резултати, а презентираан е и математичкиот модел за анализа на перформансите. Дополнително, спроведена е анализа на дневното и годишното производство кое може да се постигне. Карактеристиките на точно определената локација се претставени преку метеоролошки податоци. На крај е претставена анализа на ефикасноста на фотоволтаичните модули, перформансите, како и специфичните трошоци, во зависност од видот на користените панели.

Во трудот [45] е претставена анализа на перформансите на различни видови фотонапонски модули. Најпрво се прикажани спецификациите на секој анализиран модул, а потоа е претставено нивното годишно производство. Анализата е направена за одредена локација, знаејќи дека метеоролошките услови се еден од главните фактори на влијание

што треба да се анализираат. Анализирана е енергијата произведена во текот на месецот, излезната енергија, произведената енергија на системот на годишно ниво и односот на перформанси (performance ratio). Резултатите од анализата се јасно прикажани во табеларна и графичка форма.

Во трудот [46] е претставено тестирањето на електричните перформанси на фотоволтаичните модули за два вида климатски услови. Прво, во трудот се претставени спецификациите на користениот PV модул, а потоа се анализираат неговите електрични перформанси за овие две категории различни климатски услови. Прикажани се параметрите на деградацијата на фотонапонските модули по подолг временски период при различни климатски услови. Анализиран е и факторот на моќност на модулите, карактеристичните параметри, како и степенот на нивната деградација во проценти.

Во трудот [47] е претставена анализата на ефикасноста на фотоволтаичните модули за реални работни услови, како и резултатите за одредени климатски услови. Креиран е моделот за пресметка на ефикасноста и е презентиран целиот метод на пресметка. Направена е презентација на графикони за влијанието на промената на температурата и брзината на движењето на воздухот врз промената на ефикасноста и притоа е утврдено дека на ефикасноста најмногу влијае промената на температурата на фотоволтаичниот модул.

Во трудот [48] е претставена споредбата на перформансите на фотоволтаичните системи помеѓу два различни градови. Направена е компаративна анализа на спецификациите на системите, а потоа е претставена енергетска анализа на овие системи за двата вида климатски услови, карактеристични за градовите. Притоа се дава детален опис на системот, карактеристиките на фотоволтаичните модули и инвертерот. Прикажан е математичкиот модел за анализа на енергијата добиена на излез, факторот на капацитет, референтниот и конечниот принос на енергија од инсталираниот капацитет.

Во трудот [49] е проучена моќноста на монокристалните и поликристалните фотоволтаични ќелии. Претставени се фотоволтаичните системи и модули кои се проучувани, климатските услови во кои е спроведена студијата и моќноста произведена во текот на денот. Презентирани се користените алатки за анализа, просечните климатски услови за сончевото зрачење, температурата и брзината на воздухот. За овие климатски услови е претставено дневното производство на двата видови фотоволтаични модули, енергетските перформанси, како и нивната ефикасност.

Во трудот [50] е претставена анализа на перформансите на фотонапонски системи поврзани во електродистрибутивна мрежа, за топли и ладни временски услови. Прикажани се спецификациите на анализираниите системи и специфичностите на климатските услови. Понатаму е извршена анализа на нивното годишно производство, ефикасноста на фотонапонските модули и ефикасноста на системот во целина. Опишани се карактеристиките на видовите панели кои се користат и прикажан е математички модел

за пресметка на генерираната енергија, енергетскиот принос, перформансите, ефикасноста на системот за одредени атмосферски услови, како и загубите во системот.

Во рамките на трудот [51] се опишани енергетските перформанси на фотонапонски систем за стабилни услови, даден е опис на локацијата, видот на системот и поврзувањето на модулите. Претставена е конфигурацијата на приклучоците на панелите во системот и подесувањата на истиот. Направена е анализа на климатските услови за дадената локација и направен е графички приказ на промената на сончевото зрачење, температурата и брзината на воздухот во текот на времето. Претставени се перформансите на системот за секој месец, како и енергетските придобивки од фотоволтаичниот систем.

Споредбена анализа на технологиите и на перформансите на два фотонапонски системи, направени од силициум за одредени климатски услови, е претставена со трудот [52]. Притоа се прикажани климатските услови за кои е направена анализата и споредбата, како и моќноста, енергијата и ефикасноста што ја постигнуваат овие системи.

Во трудот [53] е претставен начинот на проучување, како и дизајнот на фотонапонските системи. Прикажани се чекорите и параметрите кои мора да се земат предвид при дизајнирање на фотонапонски системи. Спроведена е експериментална студија на фотонапонски ќелии, во која се претставени карактеристиките на промената на напонот и струјата при различни услови. Студијата продолжува со анализа на карактеристиките на фотоволтаичните модули, како и анализа на нивните перформанси.

Во трудот [54] е претставена споредба на ексергетска и енергетска анализа на фотонапонски систем во однос на комбиниран фотонапонски термален систем. На почетокот на трудот е претставен детален опис на овие системи, а потоа следува енергетска и ексергетска анализа на истите.

Во последно време, употребата на сончевата енергија како обновлива енергија е значително зголемена, така што новите инсталации на фотонапонски системи достигнуваат капацитет од $139 \text{ GW}_{\text{DC}}$, додека вкупниот капацитет на сончевата енергија достигнува приближно $760 \text{ GW}_{\text{DC}}$, вклучувајќи ги и капацитетите кои се, но и тие кои не се поврзани на мрежата. На развојот на овој сектор големо влијание имаше и неодамнешната пандемија, што резултираше со доцнење на испораките на фотонапонски системи до клиентите. Фотонапонските технологии во 2020 година ги надминаа очекувањата за развој на овој сектор со бројот на нови инсталации направени во рок од една година [55]. На слика 2.20 е претставен порастот на фотонапонски капацитети низ годините.



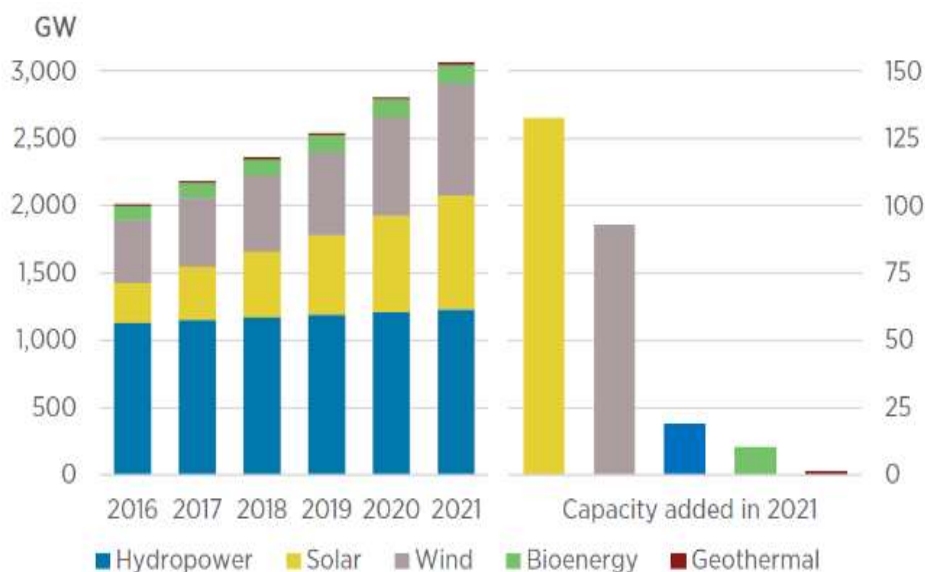
Note: Data are provided in direct current (DC). Totals may not add up due to rounding.
 Source: Becquerel Institute and IEA PVPS. See endnote 6 for this section.

Слика 2. 20. Инсталирани фотонапонски капацитети, 2010 - 2020 [55]

Како што може да се забележи од дијаграмот, поради зголеменото загадувањето на животната средина и зголемената побарувачка на енергија, употребата на обновливи извори на енергија е значително зголемена во последните години, а зголемен е и бројот на инсталации на фотоволтаични капацитети.

Побарувачката на фотонапонски системи се повеќе се зголемува со зголемувањето на побарувачката на електрична енергија. Секој ден, капацитетите за инсталација се зголемуваат во голем број земји. Фотонапонските системи играат важна улога во производството на електрична енергија од обновливи извори на енергија во голем број земји. Постојат голем број предизвици кои мора да се исполнат за енергијата од фотоволтаичните панели да стане важен извор во производството на електрична енергија во светот, почнувајќи од регулативите и политиките за користење на енергијата од овие системи [55].

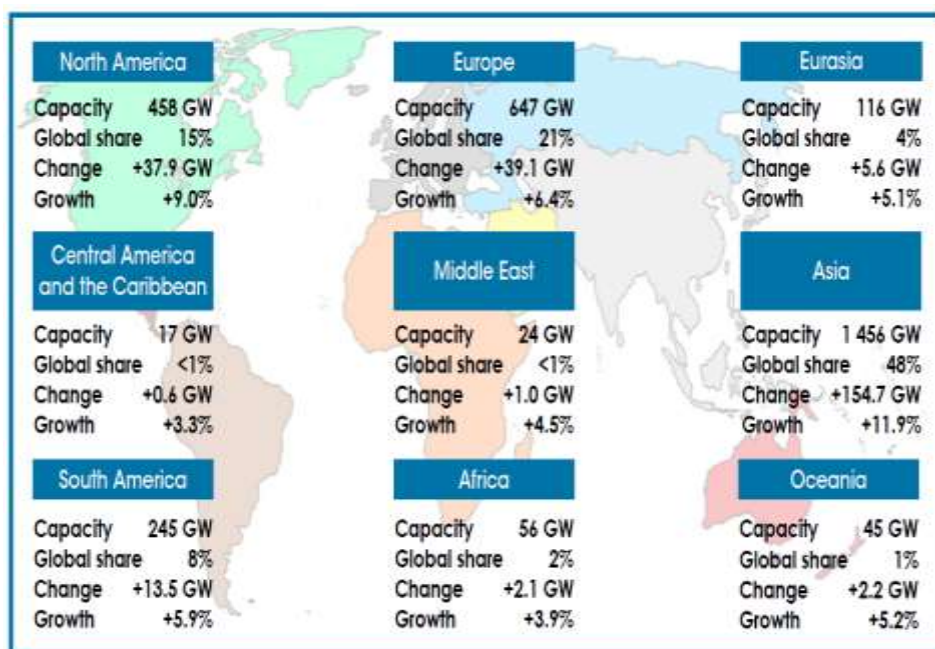
Производниот капацитет од обновливи извори на енергија е зголемен за 257 GW (+9,1 %) во 2021 година. Сончевата енергија продолжува да води во проширувањето на производниот капацитет во вкупниот раст, со пораст од 133 GW (+19 %), проследена со енергијата на ветерот со 93 GW (+13 %). Хидроенергетскиот капацитет е зголемен за 19 GW (+2 %), а биоенергијата за 10 GW (+8 %). Моќноста на геотермалната енергија е зголемена за 1,6 GW [55]. На слика 2.21 е претставено зголемувањето на капацитетите на обновливите извори на енергија низ годините.



Слика 2. 21. Зголемување на капацитети на обновливи извори на енергија низ годините [56]

Од дијаграмот на сликата може да се види дека најголем пораст на капацитетот за искористување на обновливите извори на енергија има кај сончевата енергија, енергијата од водата и од ветерот.

Во рамките на имплментацијата на системи со обновливи извори на енергија, сончевата и ветерната енергија имаа најголем пораст на искористеност во 2021 година. Дополнително, со развојот на искористувањето на геотермалната енергија, забележан е пораст на годишното производство од обновливи извори на енергија. Слика 2.22 ги претставува производните капацитети од обновливите извори на енергија во различни региони во светот.

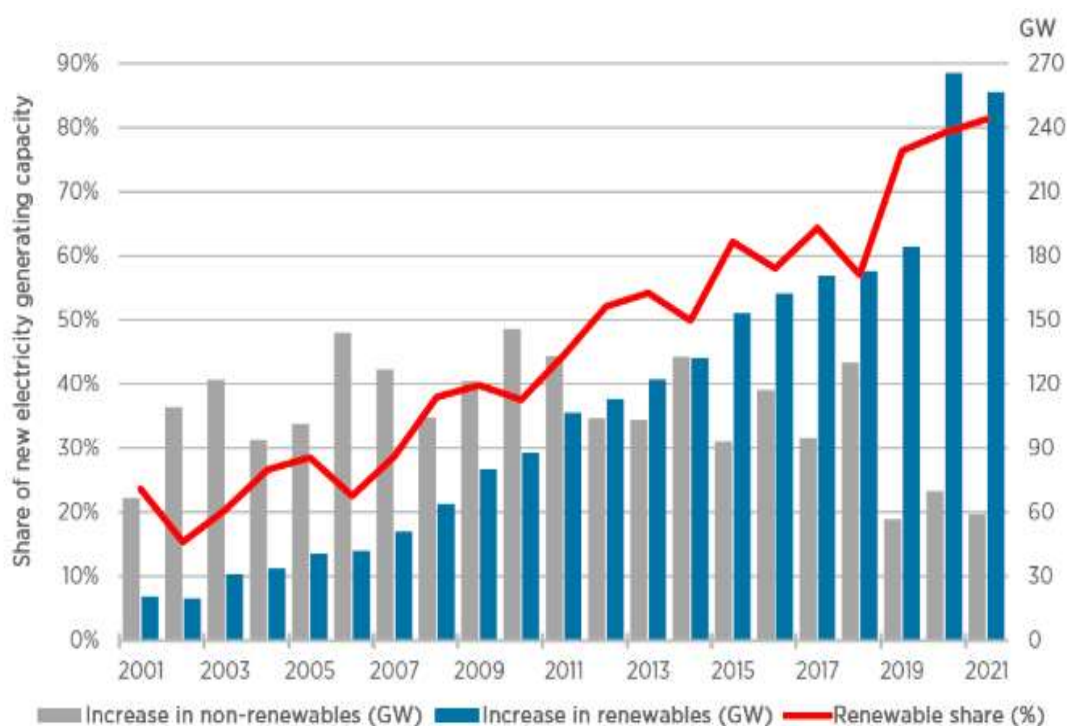


Слика 2. 22. Производни капацитети од обновливи извори на енергија во различни региони [56]

Од илустрацијата може да се види дека најголем капацитет на производство од обновливи извори на енергија има во регионот на Европа, потоа во регионот на Северна Америка, додека најмал е во регионот на Централна Америка и Карибите.

Азија сочинува 60 % од новиот капацитет во 2021 година, зголемувајќи го својот капацитет на технологии базирани врз обновливи извори за 154,7 GW, за да достигне 1,46 TW (48 % од вкупниот глобален број). Голем дел од овој раст се случи во Кина (+121 GW). Капацитетот во Европа и Северна Америка се зголеми за 39 GW (+6,4 %) и 38 GW (+9,0 %) соодветно, со значително поголемо проширување во САД (+32 GW). Африка продолжи да се шири постојано со зголемување од 2,1 GW (+3,9 %), нешто помалку отколку во 2020 година. Океанија повеќе не е најбрзо растечки регион (+5,2 %), иако нејзиниот удел во капацитетот на глобално ниво е мал и речиси сета оваа експанзија се случи во Австралија.

Развојот на обновливите извори на енергија во 2021 година забави во однос на развојот што беше постигнат во 2020 година. Најголем дел од развојот се случи во Кина, а мал дел во САД. Дијаграмот на сликата 2.23 го претставува учеството на обновливите извори на енергија во новоинсталираните енергетски капацитети од година во година.



Слика 2. 23. Учество на обновливи извори на енергија [56]

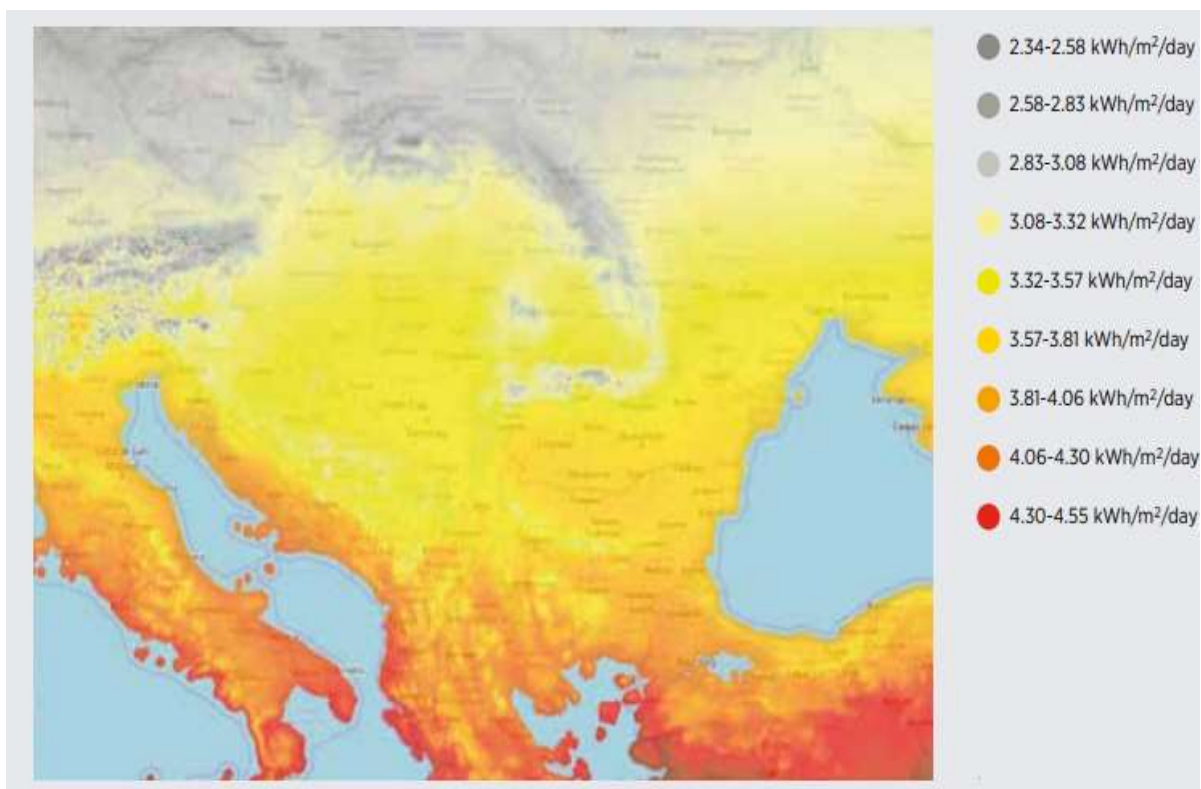
Презентируваниот дијаграм јасно го покажува порастот на користењето на ОИЕ во последните години. Со зголемувањето на нивната употреба, се зголеми и уделот на енергетски капацитети засновани врз обновливи извори на енергија, достигнувајќи околу 82 % од вкупно инсталираните нови енергетски капацитети во 2021 година.

Учеството на обновливите извори во вкупното проширување на нови капацитети достигна 81 % во 2021 година, во споредба со бројката од 79 % во 2020 година. Учеството

на обновливите извори во вкупниот произведен капацитет се зголеми за речиси два процентни поени, од 36,6 % во 2020 година, на 38,3 % во 2021 година.

Растечкиот тренд на учеството на ОИЕ не го одразува само брзиот и зголемен раст на користењето на обновливите извори на енергија, туку и опаѓачкото проширување на необновливите капацитети. Во 2021 година, необновливиот капацитет продолжи да се проширува во Азија, на Блискиот Исток и Африка (но со многу помала експанзија на Блискиот Исток и Африка). Енергетската транзиција бара употребата на обновливи извори да се прошири за повеќе од растот на побарувачката на енергија, така што треба да се користи помалку необновлива енергија. Многу земји сè уште не ја достигнале оваа точка, и покрај драматичното зголемување на нивната употреба на обновливи извори за производство на електрична енергија [56].

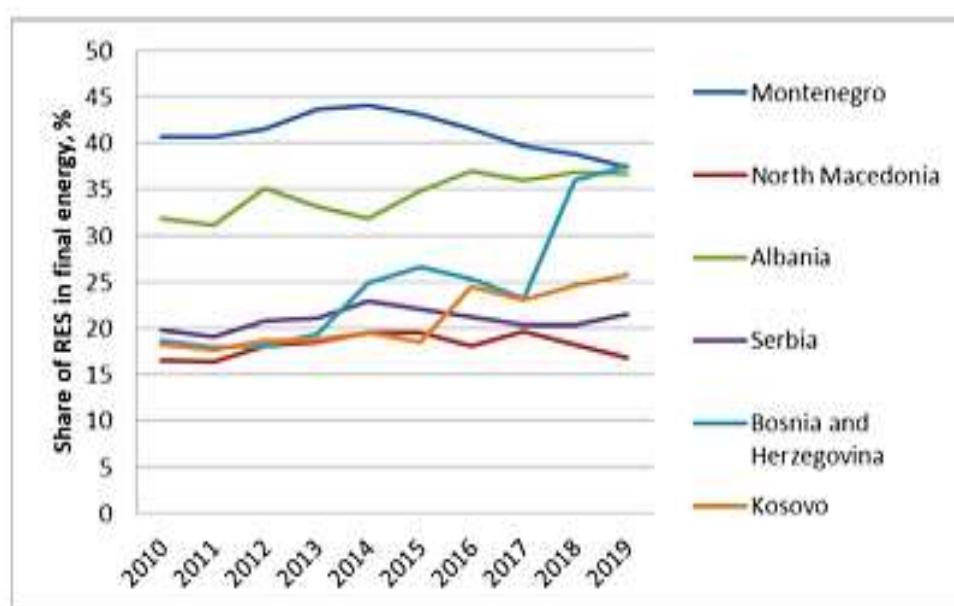
Во Југоисточна Европа постои висок потенцијал на обновлива енергија кој веќе почна позначително да се искористува. Хидролошките ресурси и ресурсите на биомаса имаат големо влијание во енергетските биланси во регионот. Анализите покажуваат дека Југоисточна Европа има голем потенцијал на неискористени обновливи ресурси. Еден од клучните параметри за користење фотоволтаични системи е глобалното хоризонтално зрачење, кое е поголемо во јужниот дел на регионот, каде што достигнува вредност од над 4,5 киловати на метар квадратен, додека во северниот дел од овој параметар е помалку од 3 киловати на метар квадратен. Се проценува дека техничкиот сончев потенцијал во регионот на Југоисточна Европа ќе достигне 245 PJ [57]. Слика 2.24 го претставува потенцијалот на сончевата енергија во Југозападна Европа претставен во kWh/m²/ден.



Слика 2. 24. Потенцијал на сончева енергија во Југозападна Европа [57]

Од сликата може да се забележи дека во регионот на Југозападна Европа, каде што се наоѓа Косово, постои висок потенцијал на сончево зрачење кое може да се искористи за производство на енергија.

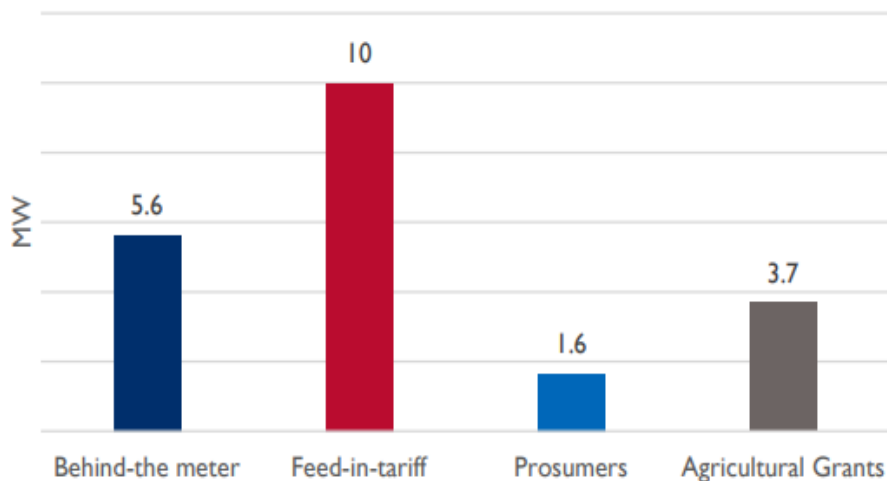
Генерално, земјите од Западен Балкан постигнаа значителен напредок во користењето на обновливите извори на енергија. Најголем дел од оваа искористена енергија се состои од вода и традиционална енергија од биомаса, со многу низок процент на искористување на енергијата на ветерот и геотермалната енергија. Обновливите извори претставуваат 6 % од вкупниот инсталиран капацитет за производство на електрична енергија во Западен Балкан. Значи, ова докажува дека сè уште има простор за нови инсталации во оваа насока [58]. На слика 2.25 е претставен уделот на обновливите извори на енергија во земјите од Западен Балкан.



Слика 2. 25. Уделот на обновливи извори на енергија во земјите од Западен Балкан (во %) [58]

Како што може да се види од сликата, Косово има помал удел на обновливи извори на енергија од другите земји од Западен Балкан, кој расте и се повеќе се развива.

Според направените студии, тие откриваат дека Косово има висок потенцијал на сончева енергија, која сега започна да се користи за производство на електрична енергија. Техничкиот потенцијал на фотоволтаичните технологии е определен на 581,3 MW [59]. Вкупната инсталирана моќност на фотоволтаиците до крајот на 2020 година е околу 20,9 MW, каде претворањето во електрична енергија претставува 0,04 % од вкупната потрошувачка на електрична енергија во Косово [60]. Слика 2.26 го претставува вкупниот капацитет на фотоволтаици инсталирани во Косово до крајот на 2020 година.



Слика 2. 26. Вкупен фотоволтаичен капацитет инсталиран до крајот на 2020 [60]

На сликата се прикажани компонентите кои влијаеле на зголемувањето на инсталираните капацитети на фотоволтаичните системи во Косово.

2.12. Научен придонес

Дизајнот на енергетски инсталации засновани врз фотонапонски системи за индустрискиот сектор изискува анализа на голем број елементи кои ги поврзуваат индустрискиот објект и фотоволтаичниот систем. Клучни елементи кои мора да се анализираат се потребите од електрична енергија кои зависат од дејноста што се врши, големината на бизнисот, бројот на вработени и смените кои се работат во овој бизнис. Овие побарувања за енергија ја претставуваат високата цена на електричната енергија, како и недостатокот на енергија од електричната мрежа. Поради овие причини, употребата на фотоволтаичниот систем во приватниот сектор е многу профитабилна, со што се овозможува независност од електричната мрежа. При проектирањето на таков систем, многу е важно да се анализираат факторите кои влијаат на перформансите на системот за да се има највисоко можно производство на енергија.

Во оваа дисертација е претставено моделирање и оптимизација на фотоволтаичен систем кој се користи за потребите на електрична енергија на индустриски објект. Овој систем е направен и дизајниран врз основа на поволните услови на Косово за користење на вакви системи. Научната иновација што ја презентира оваа дисертација е изведбата на ваква анализа во Косово, во градот Сува Река. Овој регион се карактеризира со медитерански климатски услови, што е многу поволно за користење на системи кои користат сончева енергија. Врз основа на локацијата на која се наоѓа објектот, се

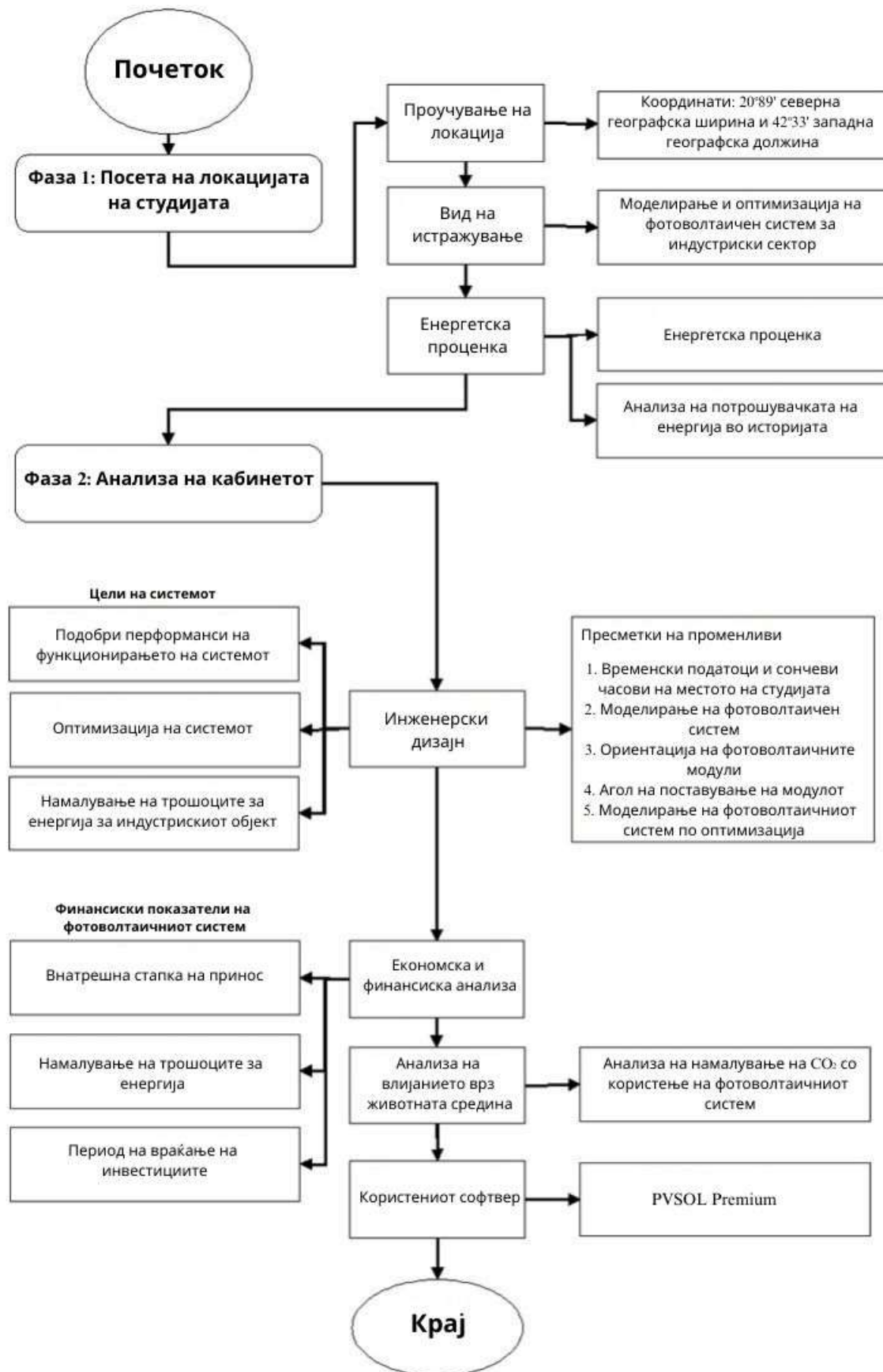
постигнува разлика на географската положба во однос на досегашните анализи. Исто така, претставен е јасен преглед за тоа како да се оптимизираат ваквите системи, нивното влијание врз животната средина и намалувањето на еквивалентна емисија на јаглерод диоксид во споредба со соодветно производство на енергија со класични енергетски технологии. Претставена е и економска анализа која покажува колку се поволни овие системи во индустриските објекти. Оваа дисертација може да послужи како модел кој може да се користи за различни системи со други карактеристики, метеоролошки или локациски.

3. Методологија на истражувањето

Фотонапонската технологија и развојот на фотонапонските (ФН) системи се многу атрактивни, поради што промените и иновациите во оваа област се случуваат забрзано. Од друга страна, покрај технолошкиот развој, се работи континуирано со примена на експериментални и математички/нумерички методи за проучување на начините за оптимизирање на фотонапонските системи и се анализираат можностите за подобрување на нивните работни перформанси. Меѓутоа, врз основа на прегледот на изработени и реализирани истражувања и студии, може да се констатира дека има случаи во кои фотонапонските системи не ги постигнале очекуваните перформанси и показатели на ефикасност. Тоа укажува на фактот дека и понатаму се неопходни сеопфатни истражувања, дури и во ситуации и случаи кога навидум нема непознати или фактори на непредвидливост. При проектна разработка, односно пред поставување на фотонапонски системи, мора да се анализираат редица технички параметри, како и параметри поврзани со локацијата, како што се географската положба и климатските/метеоролошките услови на кои ќе биде изложен системот.

Како што беше и претходно споменато, во ова и следните поглавја на оваа дисертација ќе биде претставено моделирањето, резултатите од спроведените анализи и оптимизацијата на ФН систем со мал капацитет, кој се користи за производство на електрична енергија за индустриска постројка. Дополнително, системот е поврзан на електродистрибутивната мрежа, така што евентуалните вишоци може да се предаваат на мрежата и во соодветни околности да се остварува финансиска добивка. За извршувањето на анализата беа земени предвид сите поважни параметри поврзани со перформансите на системот: техничките карактеристики на модулите и на другите компоненти, ориентацијата на системот, аголот на поставување на фотоволтаичните панели, сончевото зрачење на местото, температурата во околината, температурата на панелите, брзината на ветерот итн.

Општиот пристап, односно процедурата што е применета во овој труд за развој на истражувањето е претставен преку блок дијаграмот даден на слика 3.1. Во наративниот (текстуалниот) дел е вклучен и соодветен опис на анализата, кој ги појаснува подетално одделните чекори, т.е. компонентите од реализираното истражување.

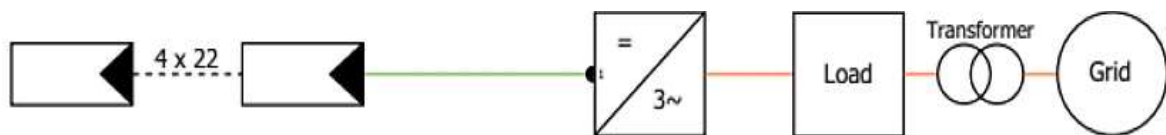


Слика 3. 1. Општа методологија и пристап за развој на истражувањето

3.1. Презентација на моделирачки и експериментални/мерни алатки и процедури

Анализираниот фотонапонски систем се состои од 88 PV модули сместени во 4 низи од 22 фотоапонски панели. При работата на системот се направени реални мерења за период од една година и врз основа на резултатите се анализирани енергетските карактеристики за предметниот систем. Анализата на системот е извршена со аналитички пристап и преку софтвер за продлабочена анализа, обработка и презентирање на добиените резултати.

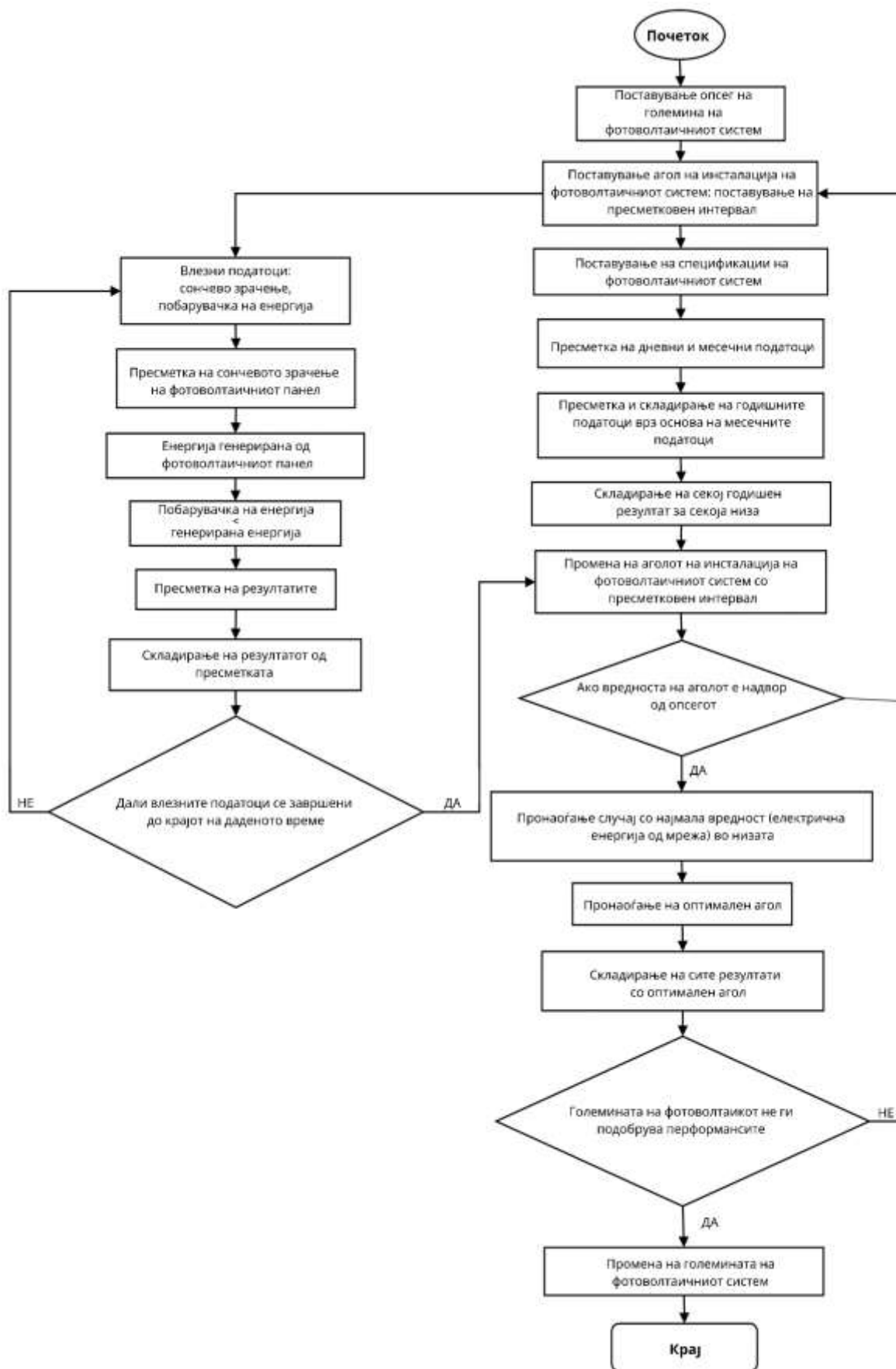
На сликата 3.2 е претставен поедноставен шематски дијаграм на делови и приклучоци во фотонапонскиот систем.



Слика 3. 2. Шема на делови и приклучоци на ФН систем

Од дијаграмот може да се види дека по воспоставувањето на поврзувањата на жиците, тие се поврзани со инвертер, со цел еднонасочната (DC) струја да се трансформира во наизменична (AC), за да може енергијата да се употреби за покривање на (дел од) енергетските потреби на фабриката. По енергетското оптоварување од фабриката се поставува струјниот трансформатор кај кој се мери енергијата внесена т.е. предадена на електроенергетската мрежа, како и енергијата добиена од мрежата и секако, приклучувањето на електричната мрежа се врши по трансформаторот.

Преку блок-дијаграмот на слика 3.3 е претставен математичкиот модел за енергетска анализа на PV системот.



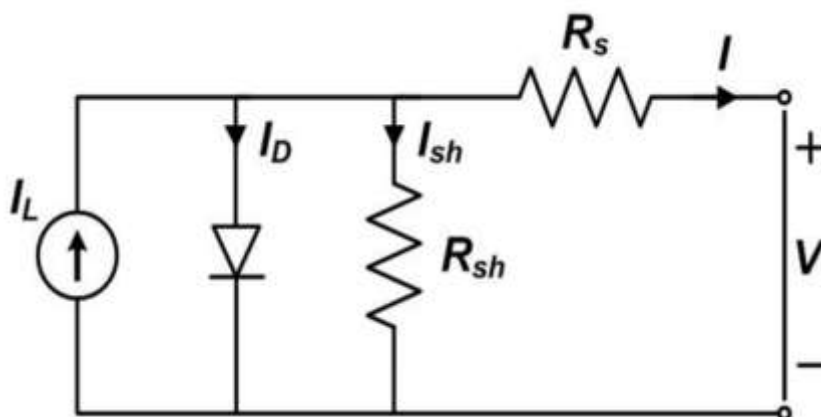
Слика 3. 3. Математички модел за анализа на фотонапонски систем

Енергетските перформанси беа анализирани со премиум софтверот PV*SOL премиум како и со користење на реални податоци следени и генерирани од системот за период од една година. Големината на фотонапонскиот систем, неговата конфигурација и составни компоненти, како и неговата локација се предодредени, бидејќи системот веќе постои. Освен тоа, познати се и следните параметри: енергетските барања на фабриката, метеоролошките параметри кои влијаат врз перформансите на системот, големината на ФВ системот, аголот на поставување на панелите, нивната ориентација, а врз основа на овие податоци, и податоците за часовните, месечните, како и годишните перформанси на системот и неговата достапност за потребните барања за енергија на индустрискиот објект. Со моделот во овој труд се анализираат параметрите на системот и влијанието на карактеристиките на неговата поставеност врз енергетските, техно-економските и финансиските аспекти на неговото функционирање. Бидејќи системот е веќе постоечки, заклучоците ќе бидат дадени како препораки на крајот.

3.2. Еквивалентен електричен модел

Низите на фотонапонски модули се состојат од фотонапонски ќелии поврзани во серија или паралелно во зависност од барањата за постигнување на одреден напон или јачина на електрична струја. Во суштина, во PV ќелиите се одвива базичната директна енергетска конверзија каде што сончевата енергија се претвора во електрична енергија. Производството на електрична енергија се јавува кога ќелиите се изложени на сончево зрачење, при што во зависност од интензитетот на дозрачената енергија, односно од достапната сончева енергија, се менува и нивното производство [61].

За подобро разбирање на суштината на „електронското однесување“ на PV ќелиите, тоа може да се прикаже со изведба на соодветен еквивалентен електричен модел. Постојат различни еквивалентни модели, вообичаено со една или две диоди. Во продолжение, преку шемата на сликата 3.4 е претставен еквивалентен модел со една диода (прилагодено според [62]).



Слика 3. 4. Еквивалентно коло на PV ќелија [62]

Осветлената соларна фотонапонска ќелија се однесува како извор на постојана еднонасочна струја (слика 3.4). Кога ќелијата е осветлена и поврзана со надворешен потрошувач, поради изместувањето и раздвижувањето на електроните се јавува напон (разлика на потенцијалите). Притоа настанува електрична струја I_L што протекува благодарение на пристигнатата енергија на фотоните, позната и како фотоструја ($I_f = I_L$), додека низ потрошувачот протекува електрична струја I . На еквивалентната шема на сл. 3.4 I и V го претставуваат интензитетот на струјата и напонот, а I_D ја претставува струјата низ диодата. R_s е сериски отпор којшто ги зема во предвид загубите во спојот за интерконекција на ќелиите. Тој зависи од материјалот и од технологијата на изработка на ќелијата и пожелно е да биде колку што е можно помал. R_{sh} е паралелен отпор којшто зависи од својствата на ќелијата, односно потекнува од микродефекти и од одредени нечистотии во внатрешноста на ќелијата. Обично R_{sh} има релативно голема вредност, така што не смее да се пренебрегне. Типични вредности за R_s и R_{sh} кај силициумски ќелии изнесуваат $R_s < 0,5 \Omega$ и $R_{sh} > 500 \Omega$.

Со оглед на претходното, карактеристиката струја-напон на колото може да се изрази преку следниве равенки:

$$I = I_L - I_D - I_{sh} \quad (1)$$

$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{q(V - IR_s)}{\alpha k T}} - 1 \right) \quad (2)$$

$$I_{sh} = \frac{V - IR_s}{R_{sh}} \quad (3)$$

Во претходните изрази α и k се фактор на квалитет на диодата и константа на Болцман (Boltzmann); T ја претставува апсолутната температура, q го претставува полнежот на електронот. I_{sh} ја претставува струјата низ паралелниот отпор (шантот), додека поради тоа што струјата на шантот е многукратно помала од другите струи (поради големиот отпор), таа често не се зема предвид. Во овој случај, равенката ја има следната форма:

$$I = I_L - I_0 \left(e^{\frac{q(V-IR_S)}{akT}} - 1 \right) \quad (4)$$

Фотонапонските панели се состојат од PV ќелии поврзани во серија или паралелно за да се постигне саканата вредност на струјата или напонот. Карактеристиките на излезната струја и напонот (I - V) на панелот може да се изразат со следнава равенка, каде што n_s ги претставува ќелиите поврзани во серија додека n_p оние кои се поврзани паралелно:

$$I \approx n_p I_L - n_p I_0 \left(e^{\frac{q(V-IR_S)}{akTn_s}} - 1 \right) \quad (5)$$

Треба да се истакнат три многу важни точки во струјно-напонските карактеристики: струјата на куса врска I_{SC} , точка на максималната моќност (MPP) и напонот на куса врска V_{OC} . Во двете точки што се однесуваат на I_{SC} и V_{OC} , генерираната моќност е нула. Кога излезниот напон на фотонапонската ќелија е нула, тогаш интензитетот на струјата на краток спој I_{SC} е приближно еднаков на I_L , ондосно на интензитетот на струјата генерирана од фотоните, како што е прикажано подолу:

$$V_{OC} \approx \frac{akT}{q} \ln \left(\frac{I_L}{I_0} + 1 \right) \quad (6)$$

$$I_{SC} \approx I_L \quad (7)$$

Претворањето на сончевата енергија во корисна енергија преку фотонапонската ќелија или PV група се врши во еднонасочна електрична енергија. Генерираната моќност може да се определи со формулата:

$$P = V \cdot I \quad (8)$$

кадешто P е електрична моќност, V е напон и I е струја. Очигледно се покажува дека максималната моќност фотоволтаичните ќелии ја постигнуваат кога производот на напонот и струјата има максимална вредност [63].

3.3. Енергетски перформанси на фотонапонски систем

Студијата за енергетските перформанси е направена за фотонапонски систем поставен на покрив од комерцијална зграда во индустрискиот сектор, интегриран со електроенергетската мрежа. Тоа е значајно од аспект на специфичните работни режими кога се во прашање работните часови. Параметрите кои се земаат предвид при проценката на заснованоста за избор на оваа локација за студијата се: енергијата на системот, нето излезната енергија од PV низата, ефикасноста на низата, мрежната енергија, нето

излезната енергија на PV системот, ефикасноста на системот, факторот на капацитет, однос на перформанси, големината на енергетските загуби, стапката на деградација и други показатели. Оваа анализа може да послужи како модел за примена во понатамошни анализи на системи со слична конфигурација и технички параметри, но и за такви системи во кои би имале различни комбинации од влијателни фактори - локација, примена на системот, технички карактеристики итн.

3.3.1. Енергија на низата

Енергија на низата E_{AE} ја претставува енергијата генерирана од фотонапонската низа. Притоа, количината на енергија којашто се генерира зависи од повеќе фактори, како што се ефективната површина на PV низата A_A и инцидентното (паднувачкото) сончево зрачење на PV модулите I_S , а меѓу најважните фактори е ефикасноста на PV модулите η_{PV} . Површината на фотоволтаичната група се пресметува во зависност од површината на модулите и нивниот број. Земајќи ги предвид факторите споменати претходно, равенката за пресметување на енергијата на низата ја добива формата:

$$E_{AE} = A_A \cdot I_S \cdot \eta_{PV}, kWh \quad (9)$$

3.3.2. Нето излезна енергија од низата

Фотонапонската системска група се состои од модули поврзани во серија, како и паралелно. Нето производството на енергија на низата D_{EA} зависи од ефикасноста на PV модулите, вкупниот капацитет на PV системот и површината на PV модулите. Како што е прикажано во следната равенка, тоа се изразува како однос помеѓу енергијата генерирана од низата и вкупната инсталирана моќност на постројката (PC):

$$D_{EA} = \frac{E_{AE}}{PC}, kWh/kW_p \quad (10)$$

3.3.3. Ефикасност на низата

Ефикасноста на кој било систем го претставува односот на влезната енергија, односно енергијата што ја прима и енергијата што ја произведува, односно корисната излезна енергија на системот. Ефикасноста на фотонапонскиот систем η_A го претставува односот на влезната енергија, односно сончевата енергија од паднувачките сончеви зраци и електричната енергија произведена на излезот, така што оваа ефикасност се изразува со равенката:

$$\eta_A = \frac{E_{AE}}{A_A \cdot I_S} \cdot 100 \quad (11)$$

3.3.4. Енергија на мрежата

Кај фотонапонските системи кои се поврзани на електроенергетската мрежа, произведената еднонасочна (DC) електрична енергија се претвора во наизменична енергија (AC) и потоа се внесува во мрежата или се користи од страна на потрошувачите. Количината на генерираната електрична енергија зависи од повеќе фактори, меѓу кои суштински е интензитетот на сончевото зрачење, додека енергијата што се предава во мрежата зависи и од загубите во инверторот и перформансите на компонентите на системот. На овој начин, мрежната енергија E_{GE} се претставува како производ помеѓу енергијата произведена од фотонапонскиот систем E_{AE} , ефикасноста на инвертерот η_{inv} преку кој се земаат предвид загубите на инвертерот и ефикасноста на системските компоненти η_{LOSS} :

$$E_{GE} = E_{AE} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{LOSS}, kWh \quad (12)$$

3.3.5. Нето излезна енергија на PV системот

Нето излезната енергија на фотонапонскиот систем (D_{EG}) го претставува нето производството на енергија од системот како количник помеѓу енергијата што се внесува во мрежата во однос на моќноста, односно капацитетот на PV системот, како што е претставено со следнава равенка:

$$D_{EG} = \frac{E_{GE}}{P_C}, kWh/kW_p \quad (13)$$

3.3.6. Ефикасност на системот

Ефикасноста на фотонапонскиот систем η_{sys} е многу важен фактор како показател за адекватното функционирање на системот и како појдовна основа за техно-економска и финансиска анализа. Таа го претставува односот на електрична енергија добиена од сончевата енергија и во суштина покажува колкав дел од дозрачената енергија се трансформирала во корисна енергија. Ефикасноста на ФН системот зависи од многу фактори, што математички се изразува како однос помеѓу енергијата предадена во мрежата E_{GE} и производот од интензитетот на сончевото зрачење I_S и вкупната површина на ФН групата A_A [64]:

$$\eta_{sys} = \frac{E_{GE}}{A_A \cdot I_S} \cdot 100 \quad (14)$$

3.3.7. Максимална моќност на соларните ќелии

Јасно е дека максималната моќност на системот, како и на поединечна ќелија се постигнува во услови кога се добиваат максимални вредности за напонот и струјата. Така, максималната моќност P_{MP} се пресметува како производ помеѓу максималната струја I_{MPP} и максималниот произведен напон V_{MPP} , со помош на равенката:

$$P_{MP} = V_{MPP} \cdot I_{MPP}, \text{ W} \quad (15)$$

3.3.8. Факторот на полнење

Општо земено, факторот на полнење (FF) на соларните ќелии е односот на вистинската максимална добиена моќност, со производот на струјата на кратка врска и напонот на отворено коло. Со изразот подолу, факторот на полнење (FF) е претставен како однос помеѓу максималната моќност произведена од фотонапонската ќелија (P_{MPP}) и производот помеѓу напонот на отворено коло V_{OC} и струјата на кратка врска I_{SC} :

$$FF = \frac{P_{MP}}{V_{OC} \cdot I_{SC}} = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{V_{OC} \cdot I_{SC}} \quad (16)$$

Еден од главните фактори кои се показатели за ефикасноста и кои имаат решавачко влијание за користењето на едни или други PV системи е ефикасноста на PV ќелиите, овде означена едноставно со η . Ефикасноста на фотонапонските ќелии го претставува односот помеѓу максималната произведена моќност и влезната моќност или наидувачката моќност P_{in} , што е дадено со следната равенка:

$$\eta = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{P_{in}} = \frac{V_{OC} \cdot I_{SC} \cdot FF}{P_{in}} \quad (17)$$

Преку горните равенки се претставуваат главните фактори кои влијаат врз ефикасноста на соларните ќелии [64]. Ефикасноста на ќелиите кои моментално се достапни на пазарот се движи во дијапазонот од 10 до 25 %, при што повеќето имплементирани се карактеризираат со ефикасност од околу 15 – 20 %.

3.4. Карактеристични параметри на фотонапонска електроцентрала

Вкупниот (конечниот) енергетски принос Y_f , приносот на низата Y_a , референтниот принос Y_r , енергетската ефикасност η и вкупната енергија генерирана од фотонапонскиот

систем E_{AC} , беа користени во согласност со стандардот IEC 61724 за да се оценат перформансите на PV инсталацијата поврзана со електроенергетската мрежа.

3.4.1. Принос на низата

Приносот на низата Y_a , го претставува односот помеѓу производството на енергија што го обезбедуваат PV модулите во период определен од проценетата моќност на PV постројката

$$Y_a = \frac{E_{DC}}{P_{PV, rated}}, \text{ kWh/kW} \quad (18)$$

Дневниот принос на низата $Y_{a,d}$ и месечниот просечен принос на низата $Y_{a,m}$ се дадени со изразите подолу:

$$Y_{a,d} = \frac{E_{DC,d}}{P_{PV, rated}}, \text{ kWh/kW} \quad (19)$$

$$Y_{a,m} = \frac{1}{N} \sum_{d=1}^N Y_{a,d}, \text{ kWh/kW} \quad (20)$$

кадешто E_{DC} е DC излезна енергија произведена од PV модулите (kWh), $P_{PV, rated}$ е проценетата моќност на PV (kW), $E_{DC,d}$ е производството на енергија во текот на денот (kWh) и N – е бројот на денови во месецот.

3.4.2. Финален принос

Финалниот (конечниот) принос ја претставува вкупната енергија како наизменична (AC) струја произведена во одреден временски период поделена со инсталираната номинална моќност, така што се пресметува на следниов начин:

$$Y_{f,d} = \frac{E_{AC}}{P_{PV, rated}}, \text{ kWh/kW} \quad (21)$$

Месечниот конечен принос е даден со изразот

$$Y_{f,m} = \frac{1}{N} \sum_{d=1}^N E_{AC,d}, \text{ kWh/kW} \quad (22)$$

кадешто E_{AC} е енергијата на излезот од инвертерот за PV инсталацијата и е дефинирана со изразот

$$E_{AC,m} = \sum_{d=1}^N E_{AC,d}, \text{ kWh} \quad (23)$$

во кој N е бројот на денови во месецот, а $E_{AC,m}$ е вкупната месечна излезна енергија на наизменична струја.

3.4.3. Референтен принос

Референтниот принос е количникот помеѓу глобалното сончево зрачење H_t (во kWh/m²) и референтното зрачење кон PV инсталацијата. Со оглед на тоа, референтниот принос е даден како:

$$Y_r = \frac{H_t \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right)}{H_R}, \text{ kWh/kW} \quad (24)$$

кадешто референтното сончевото зрачење е $H_R = 1 \text{ kW/m}^2$.

3.4.4. Однос на перформанси

Односот на перформанси (PR), зависи од вкупните загуби во системот кои произлегуваат од процесот на енергетска конверзија, а се јавуваат во одделните компоненти како што се PV модулите, инвертери и кабли. Влијателни фактори за големината на енергетските загуби се и временските (метеоролошките) услови како што е температурата на околината.

Односот на перформанси (PR), дефиниран како конечен енергетски принос поделен со референтниот принос, е даден со релацијата

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \quad (25)$$

3.4.5. Загуби на низата

Општо земено, загубите во низата може да се дефинираат како сите настани кои ја казнуваат достапната излезна енергија на низата во однос на номиналната моќност на PV-модулот како што е цитирана од производителот за стандардни услови за тестирање (STC: Осветленост 1000 W/m², температура на модулот 25°C и АМ 1,5, т.е. нормализиран сончев спектар што одговара на вкрстувањето на 1,5 пати повеќе од „нормалната“ атмосфера). Загубите L_C што се јавуваат поради одредени неефикасности на PV низата се изразуваат како:

$$L_C = Y_r - Y_a \quad (26)$$

3.4.6. Системски загуби

Системските загуби (L_S) се предизвикани од загубите кај инвертерот:

$$L_S = Y_a - Y_f \quad (27)$$

3.4.7. Фактор на капацитет

Општо земено, еден од најважните показатели за перформансите на енергетските постројки е факторот на капацитетот (или фактор на користење на капацитетот), кој вообичаено се претставува како CF или C_f . Нето факторот на капацитет е односот на реалното производство на (електрична) енергија (излезна енергија или добиена енергија од одредена производна единица) во даден временски период и теоретскиот максимален излез на (електрична) енергија во тој период. Реалното производство на енергија за одреден временски период и факторот на капацитет значително се разликуваат во зависност од низа фактори. Во овој случај, факторот на капацитет C_f ја претставува енергијата произведена од PV системот (како енергија на наизменична струја) поделена со номиналната наизменична струја што може да се генерира од системот. Годишниот фактор на капацитет е даден како:

$$C_f = \frac{E_{AC}}{P_{PV, rated} \cdot 8760} \quad (28)$$

3.4.8. Ефикасност на системот

Целокупната ефикасност на одреден систем, постројка или единица зависи од ефикасноста на неговите компоненти. Главните групи коишто ја предопредедуваат ефикасноста на фотонапонскиот систем се: ефикасноста на PV модулот, ефикасност на инвертерот и ефикасност на другите компоненти од системот. Ефикасноста на PV модулот се пресметува како:

$$\eta_{PV} = \frac{100 \cdot E_{DC}}{H_t \cdot A} \quad (29)$$

Месечната ефикасност на PV модулот се пресметува како со помош на изразот

$$\eta_{PV,m} = \frac{\sum_{i=1}^n E_{DC}}{A_A \cdot \sum_{i=1}^n H_t} \quad (30)$$

кадешто n е бројот на денови во еден месец, A_A (m^2) вкупната површина што ја заземаат PV модулите и E_{DC} е вкупната енергија произведена од соларните PV модули.

Ефикасноста на инвертерот е дадена како [65]:

$$\eta_{inv} = \frac{100 \cdot E_{AC}}{E_{DC}} (\%) \quad (31)$$

3.5. Проценка на аголот на поставување на панелите

Во оваа дисертација оптимизацијата на системот е направена како комбинација од аналитички пристап и преку софтверски алатки. Најпрво беше одредена оптималната локација на панелите и нивната ориентација гледана од југ, со оглед на ограничувањата поради архитектурата на објектот, а врз основа на овие параметри беа анализирани перформансите што ги постигна системот. Оптимизацијата на системот беше направена со користење на параметрите за глобално и дифузно зрачење во хоризонталната рамнина за да се пресмета аголот на наклон на панелите.

Аголот на наклон за површина ориентирана во која било насока може математички да се изрази со следнава релација:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (32)$$

За дадената површина на северната хемисфера ориентирана кон југ (т.е. $\gamma = 0^\circ$) равенката (32) може да се поедностави како:

$$\cos \theta = \sin(\phi - \beta) \sin \delta + \cos(\phi - \beta) \cos \delta \cos \omega \quad (33)$$

За хоризонтална површина ($\beta = 0^\circ$), аголот на наклон (θ) станува еднаков на зенитниот агол (θ_z).

Заменувајќи ја оваа вредност во претходната равенка, зенитниот агол може да се претстави како:

$$\cos \theta_z = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \omega \quad (34)$$

кадешто ϕ - е географската ширина на локацијата, β – е аголот на навалување, γ – јужна ориентација, δ – е деклинација на Сонцето и ω – е агол на изгрејсонце (или зајдисонце).

Аголот на деклинација се пресметува со помош на следниов израз:

$$\delta = 23.45 \cdot \sin \left[360 \frac{(24+n)}{365} \right] \quad (35)$$

каде: n е ден во годината.

Часовниот агол на изгрејсонце (или зајдисонце) за навалената површина може да се пресмета:

$$\omega = \min\{\omega_s, \omega'_s\} \quad (36)$$

Многу важни параметри се часовните агли при изгрејсонце и зајдисонце ω_s . Имајќи предвид дека нумерички овие два агли имаат иста вредност, аголот на изгрејсонце е негативен, додека аголот на зајдисонце е позитивен. И двете може да се пресметаат од следниот израз:

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \quad (37)$$

Ако површината е наклонета од хоризонталата, може да дојде до оснотчување преку нејзиниот раб (до паднувачко зрачење од Сонцето) набрзо откако Сонцето ќе изгрее над хоризонтот. Затоа, површината може да се засенчи неколку дена. Аглите на изгрејсонце и зајдисонце за навалена површина (ω'_s) свртена кон екваторот (т.е. свртена кон југ за северната хемисфера) се дадени со [66]:

$$\omega'_s = \cos^{-1}(\tan(\phi - \beta) \tan \delta) \quad (38)$$

Врз основа на овие базични изрази, како и со изразите наведени во претходните делови спроведено е моделирање и оптимизација на фотонапонскиот систем. Дополнително, се покажува дека математичкиот модел може да се користи како основа за истражување и во други случаи кога се вршат слични анализи, така што со одредени прилагодувања тој е применлив и за други ситуации.

3.6. Типична метеоролошка година

За евалуација на соларните технологии и оптимизирањето на распоредот на системите за користење на соларна енергија, важно е да се располага со релевантни метеоролошки податоци за типична или стандардна година, како и сеопфатно разбирање на дистрибуцијата и нивоата на сончевото зрачење. Потребно е детално познавање на карактеристиките на сончевото зрачење и метеорологијата за да се изберат соодветни технологии, за да се проценат и моделираат перформансите на конкретниот систем и да се изврши оптимално дизајнирање на инсталациите [67].

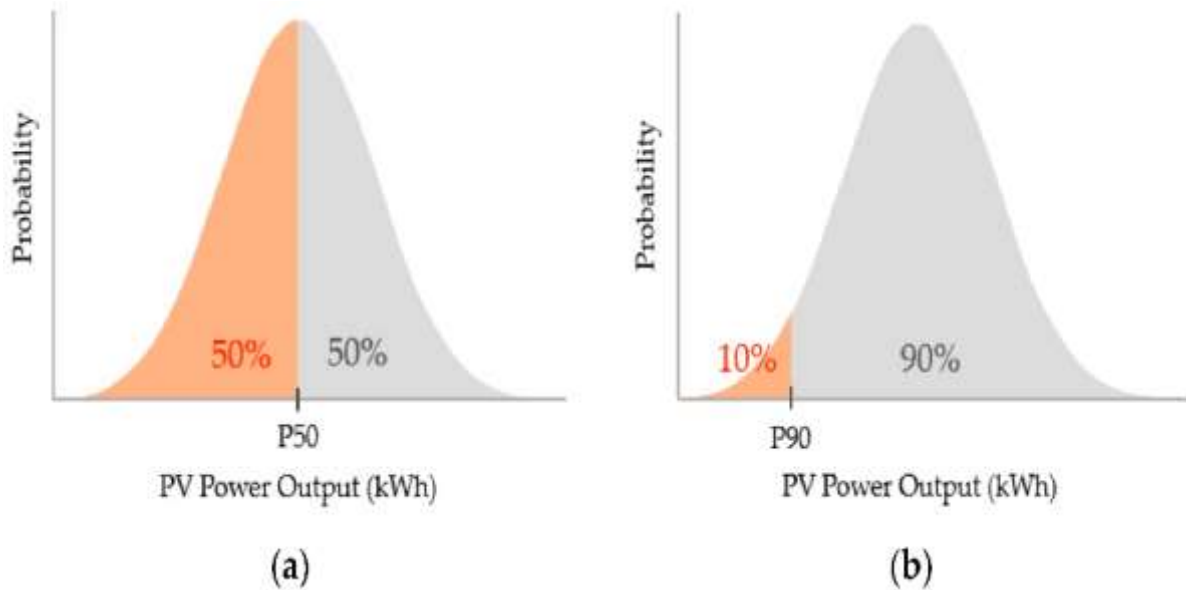
Генерално, долгорочните перформанси на секој сончев фотовонопонски систем зависат од техничките карактеристики на системот и од долгорочните климатски карактеристики на локацијата каде истиот ќе се користи. Потребата за предност од користење на едногодишна датотека со метеоролошки податоци за евалуација на долгорочните перформанси на системот доведе до развој на „типична метеоролошка година“ (ТМУ), термин во почетокот користен во САД или „референтна година за тестирање“ (TRY) или „референтна година за дизајнирање“, термини кои се користат во Европа [68].

Типична метеоролошка година (ТМУ) се состои од збир на метеоролошки податоци со вредности за секој час во текот на годината за дадена географска локација. Податоците се избираат од часовни податоци за подолг временски период (нормално базата треба да се состои од 10 години или повеќе). За секој месец од годината се избираат податоци од годината која се смета за „најтипична“ за тој месец. На пример, јануари може да биде од 2007 година, февруари од 2012 година, и така натаму [69].

Главната цел на овие методи е да се изберат поединечни години или единечни месеци од повеќегодишна база на податоци, при што се одржува статистичка кореспонденција. Тоа значи дека појавата и стабилноста на времето треба да бидат колку што е можно послични во ТМУ за сите достапни години. Врз тие принципи се развиени различни методологии на дефинирање на типична метеоролошка година (ТМУ) со критериуми за селекција засновани врз карактеристиките на сончевото зрачење заедно со други метеоролошки променливи [70].

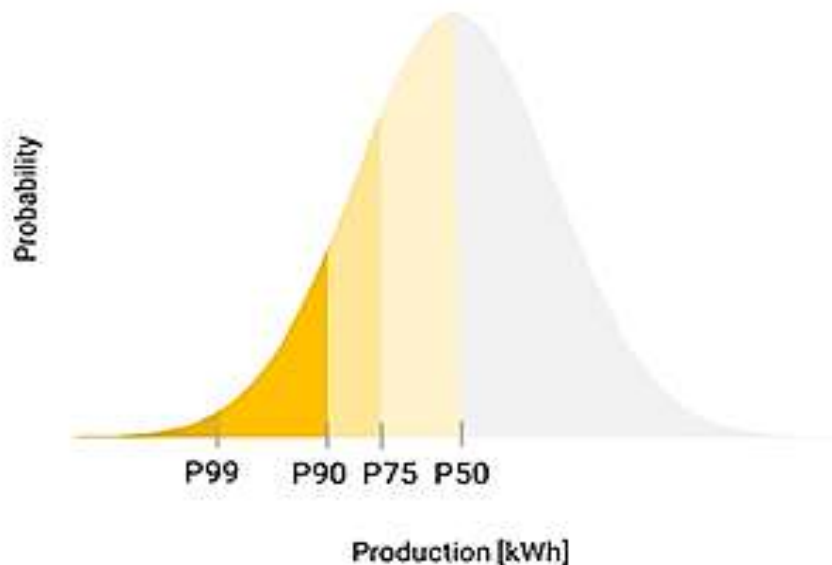
Годишната промена на перформансите во системите за конверзија на сончева енергија е суштинскиот фактор што се зема предвид кога се анализира економската изводливост на даден проект. Проценката на ризикот P50/P90 главно се користи за да се процени економската изводливост на проектите на ветерните паркови. Со оглед на тоа што сончевото зрачење е попредвидлив извор на енергија од ветерната енергија (со непредвидливости од аспект на појавност, интензитет, времетраење, брзина, насока и др.),

во овој случај полесно може да се спроведе проценка на ризикот од соларни фотоволтаични (PV) центри или проекти со соларни термални концентратори. P50 значи дека предвидениот принос на сончевиот ресурс/енергија може или да се надмине или да не се надмине, со 50 % веројатност да се случи било кое од овие сценарија. Во случајот на P90 веројатноста предвидениот принос на енергија да се постигне или да се надмине се очекува да биде исполнета во 90 % од случаите. Така, P90 е помал од P50. Нормална дистрибуција на P50 и P90 е прикажана со дијаграмите на слика 3.5 [71].



Слика 3. 5. Вредностите на P50 и P90 претставени во дијаграм на Гаусова нормална дистрибуција: (a) P50; (б) P90 [71]

Во случајот на моделот P90 веројатноста да се постигне бараната енергетска продукција се очекува да биде надмината во 90 % од случаите. Во случајот на P75, вредност повисока од P90 и пониска од P50, предвидената продуцирана енергија се очекува да биде надмината во 75 % од случаите. Нормална дистрибуција на P50, P75, P90 и P99 е графички прикажана на слика 3.6 [72].



Слика 3. 6. Вредностите на P50, P75, P90 и P99 претставени во дијаграм на Гаусова нормална дистрибуција [72]

P50 е најверојатната вредност, наречена и најдобра проценка и може да се надмине со 50 % веројатност. P90 треба да се надмине со 90 % веројатност и нормално се смета дека тоа претставува конзервативна проценка [72].

Врз основа на начинот како е воспоставен, традиционалниот сет на податоци ТМУ претставува една просечна (нормална) година, добиена со игнорирање на екстремните месеци. Таквиот комплекс на податоци често се нарекува и ТМУ P50 [73].

Сетот на податоци ТМУ P50 се конструира на месечна основа. За секој месец се пресметуваат долгорочната просечна месечна вредност и кумулативната дистрибуција за секој параметар: директно нормално зрачење (Direct Normal Irradiance - DNI), глобално хоризонтално зрачење (Global Horizontal Irradiance - GHI), дифузно хоризонтално зрачење (Diffuse Horizontal Irradiance - DIF) и температура на воздухот (TEMP). Следејќи ги месечните податоци за секоја поединечна година од множеството од 24 години, тие се споредуваат со долгорочните параметри. Се избираат месечните податоци од годината, кои поблиску наликуваат на долгорочните параметри. Постапката се повторува за сите 12 месеци, а ТМУ се конструира со спојување на избраните месеци во една вештачка но репрезентативна година.

Методот за пресметување на множеството податоци P90 се заснова врз методот ТМУ P50. Притоа, модифициран е начинот како се избира месецот. Пребарувањето за комбинација од дванаесет месеци-кандидати се повторува во итеративна постапка се додека не се постигне услов за минимизирање на разликата помеѓу годишната вредност P90 и годишниот просек на новиот ТМУ (наместо минимизирање на разликите во

месечните средства и функциите на кумулативна дистрибуција, како што се прави во случајот на P50). Откако постапката на изборот ќе конвергира до минималната разлика, ТМУ се оформува со спојување на избраните месеци. Годишните вредности на P90 се пресметуваат за секоја граница на доверба - од комбинираната несигурност на проценката и меѓугодишната варијабилност, што може да се појави во секоја година [74].

Анализирана е техничка метеоролошка година (ТМУ) за градот Сува Река, Косово, со координати - географска должина $42,33^\circ$ и во географска ширина $20,89^\circ$. Регионот се карактеризира со блага континентална клима, придружена со топли лета и студени зими. Параметрите за ТМУ се пресметуваат според податоци во текот на 9 години генерирани од неколку бази на податоци за сончевото зрачење.

Методот што се користи е познат како Сандија, според чии поставки се избира типичен месец врз основа на девет дневни индекси кои се состојат од максимални, минимални и средни температури на сув и влажен термометар; максималната и средната брзина на ветерот; како и вкупното глобално хоризонтално сончево зрачење. Конечниот избор на месец вклучува разгледување на месечната средна вредност и средна вредност и постојаноста на временските шеми. Процесот може да се смета за серија од неколку чекори.

Чекор 1

За секој месец од календарската година, се избираат пет месеци кандидати со кумулативни дистрибутивни функции (CDFs) за дневните индекси кои се најблиску до долгорочните дистрибутивни функции CDFs. CDF ја дава пропорцијата на вредности кои се помали или еднакви на одредена вредност на индексот. Месечните кандидати CDFs се споредуваат со долгорочните CDF со користење на следната статистика на Финкелштајн-Шафер (Finkelstein- Schafer - FS) за секој индекс:

$$FS = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \sum_{i=1}^n \delta_i \quad (39)$$

каде што δ_i е апсолутна разлика помеѓу долгорочниот и кандидатскиот месец во x_i , а n е бројот на дневни читања во еден месец.

Бидејќи некои од индексите се оценети како поважни од другите, се користи средна пондерирана сума (WS) од статистика на Финкелштајн-Шафер (FS статистиката) за да се избераат петте кандидатски месеци кои имаат најниски пондерирани суми:

$$WS = \sum w_i \cdot FS_i \quad (40)$$

каде што w_i е тежински фактор (пондерирање) за индекс, а FS_i е FS статистика за индекс.

Чекор 2

Петте кандидатски месеци се рангирани во однос на близината на месецот до долгорочниот просек и средната вредност.

Чекор 3

Постојаноста на средната температура на сув термометар и дневното глобално хоризонтално зрачење се оценуваат со одредување на фреквенцијата и должината на траењето на последователни денови со вредности над и под фиксните долгорочни перцентили (Во статистиката, перцентил е термин кој опишува како резултатот се споредува со другите резултати од истото множество. Најчесто се изразува како процент на вредности во група податоци што паѓаат под дадена вредност.). За средна дневна температура на сувиот термометар, беа утврдени вредности над 67-от перцентил (последователни топли денови) и под 33-тиот перцентил (последователни ладни денови). За глобалното хоризонтално зрачење, беа утврдени стапките под 33-тиот перцентил (последователни денови на ниско зрачење).

Според критериумите за постојаност се исклучуваат месецот со најдолги периоди на зрачење, месецот со најмногу отчитувања и месецот со нула отчитувања. Податоците за постојаност се користат за да се избере од петте кандидатски месеци месецот што ќе се користи во ТМУ. Највисоко рангираниот месец на кандидат од чекор 2 што ги исполнува критериумите за упорност се користи во ТМУ.

Чекор 4

Податоците за 12-те избрани месеци се комбинираат за да се комплетира целосна година и дисконтинуитетите на месечните групи податоци се порамнети и измазнети по 6 часа на секоја страна користејќи техники за фитинг на криви.

Еден од методите за пресметување на веројатностите за експедитивност е да се вклопи базата на податоци кон стандардна распределба на веројатност и да се пресмета вредноста P50 или P90 од функцијата за кумулативна дистрибуција (CDF). Во овој случај, вредноста P50 е по дефиниција средна вредност μ . Вредноста P90 може да се пресмета од CDF на нормална дистрибуција, која е дефинирана со функцијата во равенката (41):

$$\Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) = \frac{1}{2}\left[1 + \operatorname{erf}\left(\frac{x-\mu}{\sigma\sqrt{2}}\right)\right] \quad (41)$$

Вредноста P90 се јавува кога $\Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) = 0,1$. Со дефинирање на $y = \frac{x-\mu}{\sigma}$, равенката (42) може да се реши нумерички:

$$\Phi(\gamma) = 0.1 \rightarrow \gamma = -1.282 = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (42)$$

Преуредувањето на членовите резултира со равенката (43), што е израз за вредноста на P90 со оглед на средната вредност (μ) и стандардна девијација (σ) на база на податоци за која се претпоставува дека одговара на нормална дистрибуција.

$$x = \mu - 1.282\sigma \quad (43)$$

Вториот метод најдобро функционира кога податоците не се нормално дистрибуирани, како што е случајот со податоците за соларните ресурси во текот на повеќе години, каде надворешните настани како што се вулканските ерупции и цикличните соларни обрасци може да имаат влијание и да ги искриват податоците. Во овој случај, не се претпоставува посебна статистичка дистрибуција на веројатност за да одговара на податоците, туку се користи емпириска кумулативна дистрибутивна функција (CDF) на податоците за пресметување на вредностите P50 и P90. Емпирииската CDF се одредува со подредување на податоците по растечки редослед и доделување на секоја податочна точка еднаков дел од вкупната веројатност, што како сума е еднакво на еден [75].

Пресметката на типична метеоролошка година (TMY) за локацијата избрана врз основа на податоци од неколку бази на податоци е претставена во табелата 3.1. TMY во некои случаи е иста за даден месец иако податоците се различни од анализираниите податоци. Од секоја база на податоци се зема репрезентативен месец за дадениот месец врз основа на методот користен за пресметка и од анализираниот период за секој месец се одредува репрезентативниот месец, со што се создава TMY за анализираната локација.

Табела 3. 1. Типична метеоролошка година за градот Приштина [76]

Месец	Типична метеоролошка година		
	PVGIS- TMY	PVGIS-SARAH	PVGIS-CMSAF
јануари	2015	2014	2015
февруари	2008	2008	2009
март	2008	2007	2007
април	2013	2011	2011
мај	2015	2008	2012
јуни	2007	2007	2007
јули	2009	2007	2010
август	2013	2012	2012
септември	2010	2011	2012
октомври	2007	2011	2008
ноември	2009	2010	2008
декември	2009	2011	2011

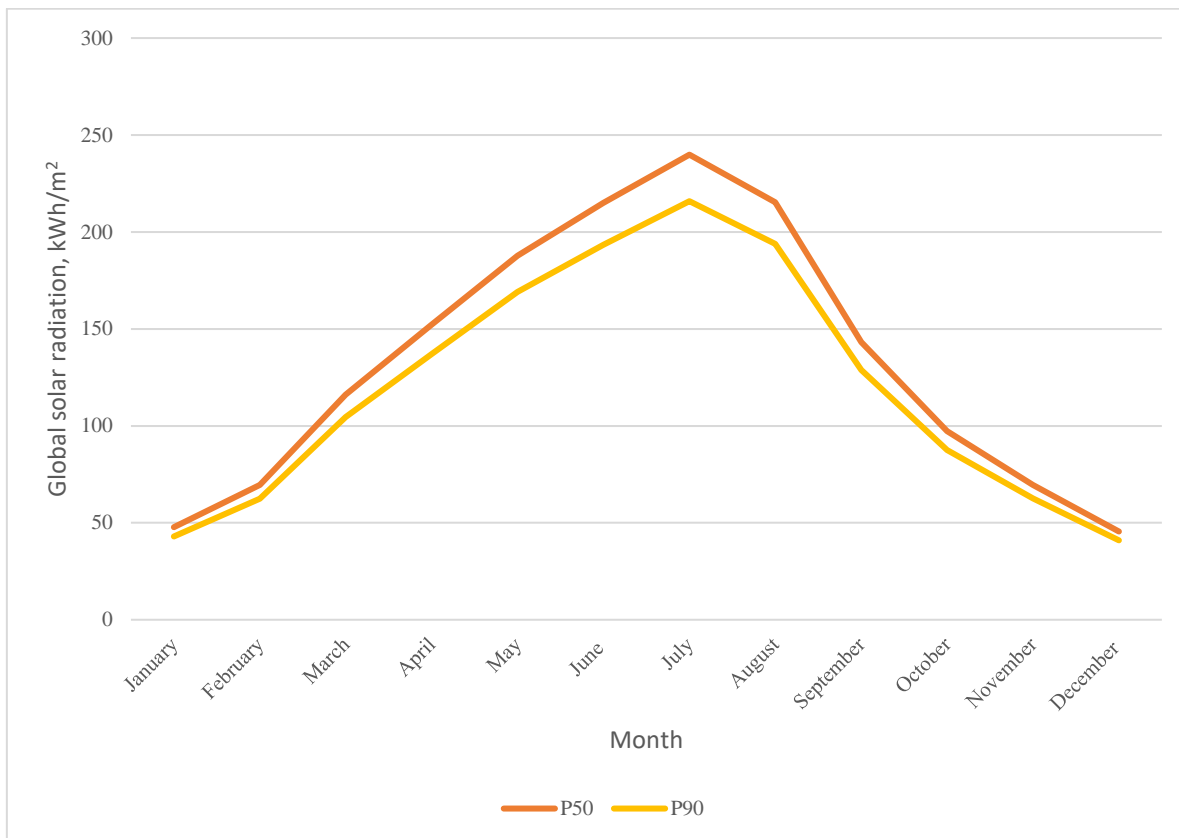
Пред поставувањето на соларните инсталации, важно прашање е да се предвиди производството кое може постројката да го постигне на долг рок. Поради оваа причина, важно е да се знае веројатноста за различните интензитети на сончево зрачење и други климатски услови кои влијаат врз перформансите на енергетските постројки засновани врз сончева енергија. Во табелата 3.2 се прикажани P50 и P90 за сончевото зрачење и температурата на околината (амбиентна температура). И сончевото зрачење и амбиентната температура имаат влијание врз производството на соларните постројки и како такви мора да се земат предвид при дизајнирање на постројките.

Од големо значење е веројатноста за појава на силно сончево зрачење на подолг временски период како и температурата на околината која влијае врз ефикасноста на соларните постројки. Податоците од методот користен за пресметка се прикажани во табелата подолу (таб. 3.2), додека врз основа на вредностите дадени во табелата се формирани дијаграмите што се однесуваат за P50 и P90, прикажани на слика 3.7.

Табела 3.2. Резултати за интензитет на сончево зрачење и температура на околината според методите P50 и P90

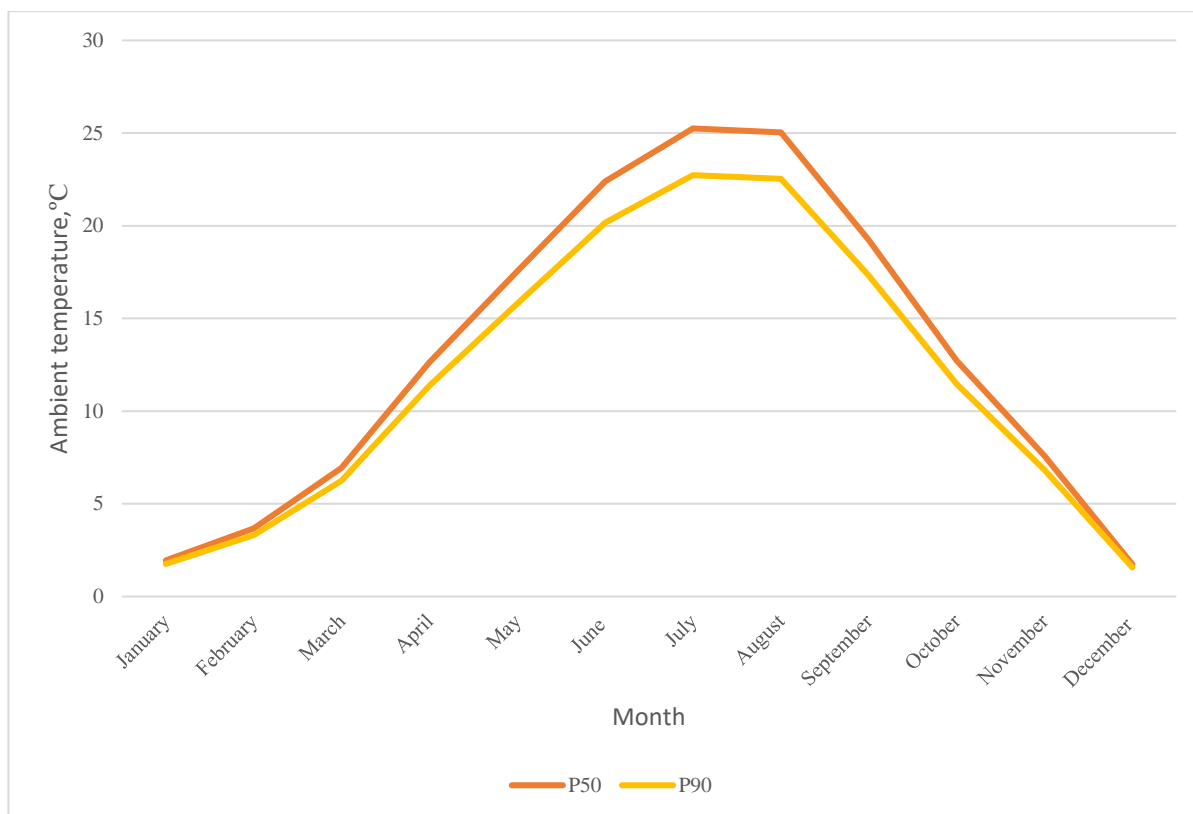
Месеци	P50		P90	
	Месечно глобално сончево зрачење (kWh/m ²)	Собна температура (°C)	Месечно глобално сончево зрачење (kWh/m ²)	Амбиентална температура (°C)
јануари	47,82	1.94	43.04	1,75
февруари	69,46	3,68	62,51	3.32
март	116.10	6.94	104,49	6.25
април	152,22	12.64	136,99	11.38
мај	187,80	17.55 часот	169.02	15.80 часот
јуни	214,91	22.40 часот	193,42	20.16
јули	239,86	25.25	215,87	22,73
август	215,34	25.03	193,81	22,53
септември	143,16	19.24	128,84	17.32
октомври	97,31	12,73	87,58	11.46
ноември	69,49	7.6	62,54	6.84
декември	45,52	1.74	40,97	1.57

Од дијаграмот на сликата 3.7 може да се согледа начинот на воспоставување податоци за типична година за глобално сончево зрачење, како еден од клучните појдовни параметри. Како што може да се види, во поголемиот дел од годината P50 е во голема мера покриен, но тоа се однесува и на P90.



Слика 3. 7. Месечно сончево зрачење според P50 и P90

Следниот дијаграм ја прикажува веројатноста за појава на одредена температура на воздухот за P50 и P90 (слика 3.8).



Слика 3. 8. Веројатност за појава на одредена амбиентна температура за P50 и P90

Од дијаграмот на слика 3.8 може да се согледа визуелизацијата на типична година во однос на веројатноста да се постигне одредена температура на околината. Во поголемиот дел од годината, како што се гледа, P50 е во голема мера покриен, но сличен е и текот на кривата за P90.

Во рамките на подготвителните истражувања и анализи за одредена соларна централа, неопходни се релевантни веродостојни проценки за количеството енергија што ќе се генерира во иднина за да се подготви валидна техно-економска анализа и да се утврди финансискиот ризик на проектот. Во таа насока, еден од важните чекори е дефинирањето на веројатноста за надминување на вредностите што произлегуваат од P50 и P90 врз основа на историски временски податоци. Во конкретниов случај на предметното истражување, по пресметувањето на ТМУ за градот Сува Река, веројатноста за сончево зрачење и температурата на воздухот е исто така пресметана и претставена како главни компоненти за можноста за користење на сончевата енергија со изградба на фотонапонска постројка. По извршената анализа може да се заклучи дека Сува Река има поволно сончево зрачење коешто може да се користи за соларни постројки, без разлика дали тоа се однесува за производство на топлинска енергија, за производство на електрична енергија или за нивна комбинација.

3.7. SWOT анализа

SWOT анализата претставува најкористена алатка во светот за стратешко планирање. Оваа анализа ја проучува конкурентната улога на проектот. Терминот SWOT е акроним составен од четири збора, имено силни страни, слаби страни, потенцијални можности и закани (SWOT = Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats). Оваа анализа ги зема предвид и внатрешните и надворешните фактори, моменталната состојба на проектот како и неговата иднина и на таков начин таа помага да се преземат соодветни чекори за подобра иднина на проектот.

Анализата е многу важна за планирање на секој нов проект во однос на конкуренцијата и предвидување на неговата иднина. Во фотонапонските системи, ваквата анализа влијае за да се обезбеди најдоброто планирање на проектот, земајќи ги предвид сите фактори, и внатрешни и надворешни, кои можат да влијаат на него [77]. Со графичкиот приказ на сликата 3.9 се прикажани компонентите на SWOT анализата за фотонапонските системи, кои се земени предвид и во конкретниот случај што е предмет на истражување во докторскиот труд. Во различни делови на трудот се објаснети подетално повеќето аспекти од четирите компоненти опфатени со SWOT анализата, односно силните страни, слабостите, потенцијалните можности и евентуалните закани што конкретно се однесуваат на постројката што е анализирана како студија на случај во овој труд.

Предности
<ol style="list-style-type: none"> 1. Сонцето не подлежи на флукутации на меѓународниот енергетски маркет 2. Долг животен век на електричните и електронските компоненти 3. Ниски трошоци за одржување 4. Модуларност 5. Безбедност и независност 6. Договор за интерконекција 7. Висок соларен ресурс во голем дел од земјата 8. Ниска цена на физибилити студии за соларни ресурси 9. Стандард за компетентност за инсталација
Слабости
<ol style="list-style-type: none"> 1. Висока цена на почетната инвестиција 2. Голем број на компоненти 3. Поврат на инвестиција во времетраење поголемо од 4 години 4. Ниско активно и меѓусебно поврзано учество меѓу секторите 5. Потреба од академци и професионалци од индустрија и маркетинг за развој на проект 6. Ниски инвестиции во истражување и развој 7. Недостиг на квалификуван персонал во истражување и развој 8. Недостиг на институции кои потврдуваат правилно споредување 9. Недостаток на откривање на придобивките од технологијата 10. Низок квалитет на инсталација
Можности
<ol style="list-style-type: none"> 1. Зголемување на потрошувачката на електрична енергија во нисконапонски услови 2. Раст на побарувачката на електрична енергија во земјоделскиот сектор 3. Федерални даночни кредити 4. Отворање на пазар на електрична енергија 5. Намалување на трошоците за технологија 6. Производство на електрична енергија во близина на центри за потрошувачка 7. Зголемување на обезбедувачи на технологија
Закани
<ol style="list-style-type: none"> 1. Намалување на трошоците за фосилни горива 2. Недостиг на национална регулатива на пазарот на фотоволтаични системи 3. Тарифи за увозна технологија 4. Посветеност на Владата за енергија базирана на јаглеводороди 5. Несериозност на добавувачите 6. Ниска дифузија и промоција 7. Јавните политики може да се менуваат во секој владин период 8. Соодветна обука на техничари и инженери 9. Ниски трошоци за електрична енергија поради федералните субвенции

Слика 3. 9. Графички приказ на главните компоненти на SWOT анализата за случај на фотонапонски (PV) систем

3.8. Осврт кон некои аспекти на влијанието врз околината

Производството на енергија со примена на фотонапонски системи и помага на животната средина со оглед на тоа дека енергетската конверзија кај овие системи резултира со релативно чиста, обновлива енергија. Со тоа се постигнува делумна замена на енергијата произведена од електроцентрали кои користат јаглен, нафта или гас како извор на енергија. Во текот на производството на енергија од класичните термоенергетски објекти, тие ослободуваат големи количества материи во за атмосферата, литосферата и хидросферата, кои се директно или потенцијално штетни за животната средина. Некои од материите кои се испуштаат во атмосферата, а имаат штетно локално и регионално влијание се сулфур диоксид, азотни оксиди, продукти на нецелосно согорување, честици, саѓи и др. Помеѓу материите што се испуштаат од термоцентралите, а имаат глобално влијание, најзначаен е јаглерод диоксид, што произлегува од процесот на согорување.

Поради зависноста од користењето на фосилните горива, енергетскиот сектор во споредба со другите сегменти на човековите активности е далеку најголем извор на штетни материи кои ги загадуваат воздухот, почвата и водата на локално и на глобално ниво. Од енергетскиот сектор произлегуваат најголем дел од емисиите на CO₂ и други гасови кои имаат влијание интензивирајќи го т.н. ефект на стаклена градина. Со цел да се избегнат неповратните негативни последици од влијанието на човекот врз околината неопходно е континуирано да се работи врз унапредување на знаењата за енергетските трансформации, со цел да се подобруваат постојните и да се воведуваат нови поефикасни технологии во процесите на генерирање енергија, нејзина трансформација и користење. Воедно, мора да се преземат ефикасни мерки за да се намали и да се контролира создавањето и емисијата на материи со штетно локално и регионално влијание, како и емисијата на стакленички гасови и други потенцијално штетни материи што произлегуваат од енергетскиот сектор.

Еден од најважните предизвици кога станува збор за влијанието на енергетските процеси врз околината е прашањето на климатските промени и глобалното затоплување. Во суштина, животот на Земјата во денешната форма е можен благодаение на природниот ефект на стаклена градина. Температурата на Земјината површина зависи од енергијата дозрачена од Сонцето, како и од мошне деликатната рамнотежа на гасовите застапени во одредени слоеви на атмосферата, воспоставена во текот на многу долг период на развој на планетата. Еден дел од Сончевото зрачење, кој, патем, би имал погубно влијание врз живиот свет, директно се одбива (се рефлектира) од горните слоеви на атмосферата. Друг дел од зрачењето што доаѓа до горните атмосферски слоеви минува низ атмосферата, а трет се расејува, се реемитира во сите правци и се апсорбира од страна на гасовите кои го предизвикуваат ефектот на стаклена градина („стакленички гасови“): јаглерод диоксид (CO₂), метан (CH₄), водна пареа (H₂O), азот субоксид или диазто оксид (N₂O), тропосферски озон (O₃) и др. Вообичаената концентрација на овие гасови од

прединдустрискиот период овозможува Сончевата енергија да дојде до површината како видлива светлина, за потоа да биде „заробена“ од атмосферата во вид на инфрацрвена топлина. Овој феномен ја одржува енергетската, односно, топлинската рамнотежа на нашата планета, со што се обезбедува нормално одвивање на физиолошките функции.

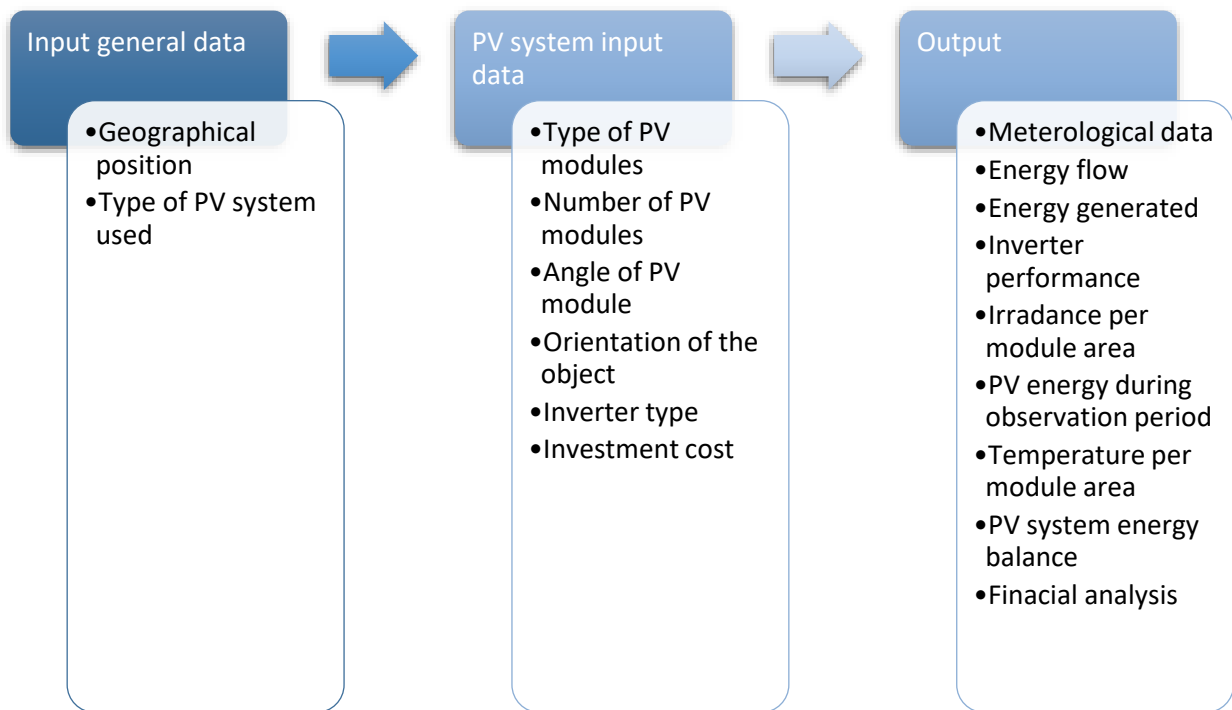
Меѓутоа, ефектот на стаклена градина, кој во текот на милиони години претставувал благодет за Земјата, се чини дека во последните децении, со натрупаните историски и зголемените актуелни емисии на стакленички гасови, постепено се претвора во сериозна закана. Имено, од почетокот на интензивна индустријализација во светот, а особено по Втората светска војна, се забележуваат одредени промени во составот на атмосферата, кои имаат влијание врз глобалниот енергетски биланс на Земјата. Со засилената индустријализација, порастот на населението во светот, зголемените потреби за енергија за поддршка на економските активности итн., како последица на користењето на фосилни горива и поради други антропогени активности емисијата на гасови со локално штетно влијание, како и на стакленички гасови е во постојан пораст. Меѓу нив количински далеку најзастапен е јаглерод диоксид (CO_2), иако потенцијалот за влијание на другите стакленички гасови, како што се CH_4 и N_2O , изразен преку параметарот GWP (Global warming potential - потенцијал за глобално затоплување), е многукратно поголем. Поради порастот на концентрацијата на CO_2 и на други стакленички гасови во атмосферата доаѓа до интензивирање на ефектот на стаклена градина, до нарушување на воспоставениот биланс на Земјата и до постепено одредено покачување на средната температура на атмосферата.

Фотоволтаичните системи, како и употребата на други обновливи извори на енергија помагаат да се намали влијанието врз ефектот на стаклена градина и потенцијалното глобалното затоплување со производство на чиста енергија и намалено користење енергија од фосилни извори на енергија [78].

3.9. PV*SOL премиум софтвер

За реализација на моделирање и оптимизациска анализа на PV системот во оваа дисертација беше користен PV*SOL премиум софтверот. Во суштина, овој софтвер овозможува дизајн и симулација на различни PV системи во однос на локацијата и метеоролошките услови, како и техничките карактеристики. Софтверот вклучува метеоролошки податоци за секоја земја во светот, како и широк спектар на видови фотоволтаични панели кои се достапни за примена и голем број инвертери и пратечка

опрема со соодветни карактеристики. На слика 3.10 е претставен дијаграмски приказ на концептот на функционирање на софтверот.



Слика 3.10. Структура на софтверот PV*SOL премиум

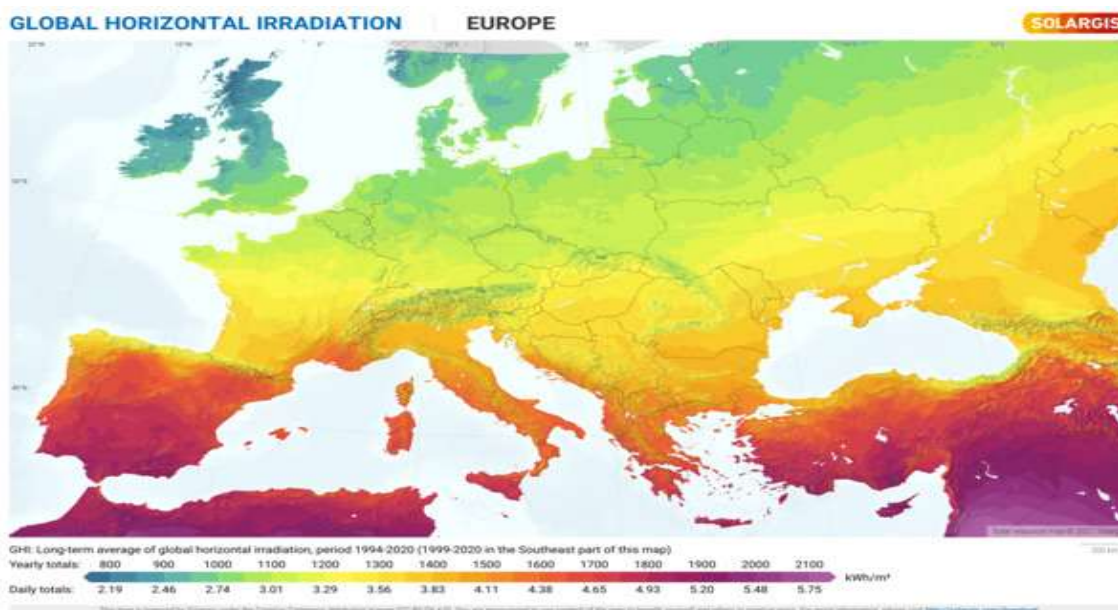
Сликата ја прикажува структурата на софтверот, со клучните општи влезни податоци, потоа влезни податоци што се однесуваат на системот што е предмет на анализа и излезните податоци. Гледани како влезни елементи се општите спецификации на локацијата што е предмет на анализа и каков тип на PV систем се планира да биде имплементиран. Се продолжува со изборот на спецификациите на ФВ системот како што се: типовите на панели, нивниот број во зависност од моќноста што сакаме да ја постигнеме, типот на инвертерите што ќе се користат, нивниот број, спецификациите на ориентираноста на објектот, како и каде се поставуваат панелите. Од овие податоци системот потоа ги генерира обработените метеоролошки податоци за период од една година, перформансите на ФВ системот, инвертерот/инвертерите и други технички параметри. Дополнително, софтверот овозможува и економска и финансиска анализа, кои се генерираат од системот со внесување на како податок вкупните трошоци на инвестиција.

4. Приказ на систем за реализација на практичниот дел од истражувањето

Системот што се разгледува се состои од неколку важни компоненти. Неговата сеопфатна анализа значи преземање неколку чекори, вклучувајќи идентификација на локацијата со метеоролошки карактеристики и географски карактеристики (терен), анализа на фотоволтаичниот систем, ориентација и агол на поставување на фотоволтаичните панели, моделирање на системот, оптимизирање, анализа на влијанието врз животната средина, вклучувајќи и оцелка на намалувањето на еквивалентната емисија на јаглерод диоксид со примена на PV системот наместо производство на енергија од конвенционални ресурси.

4.1. Идентификација на локацијата

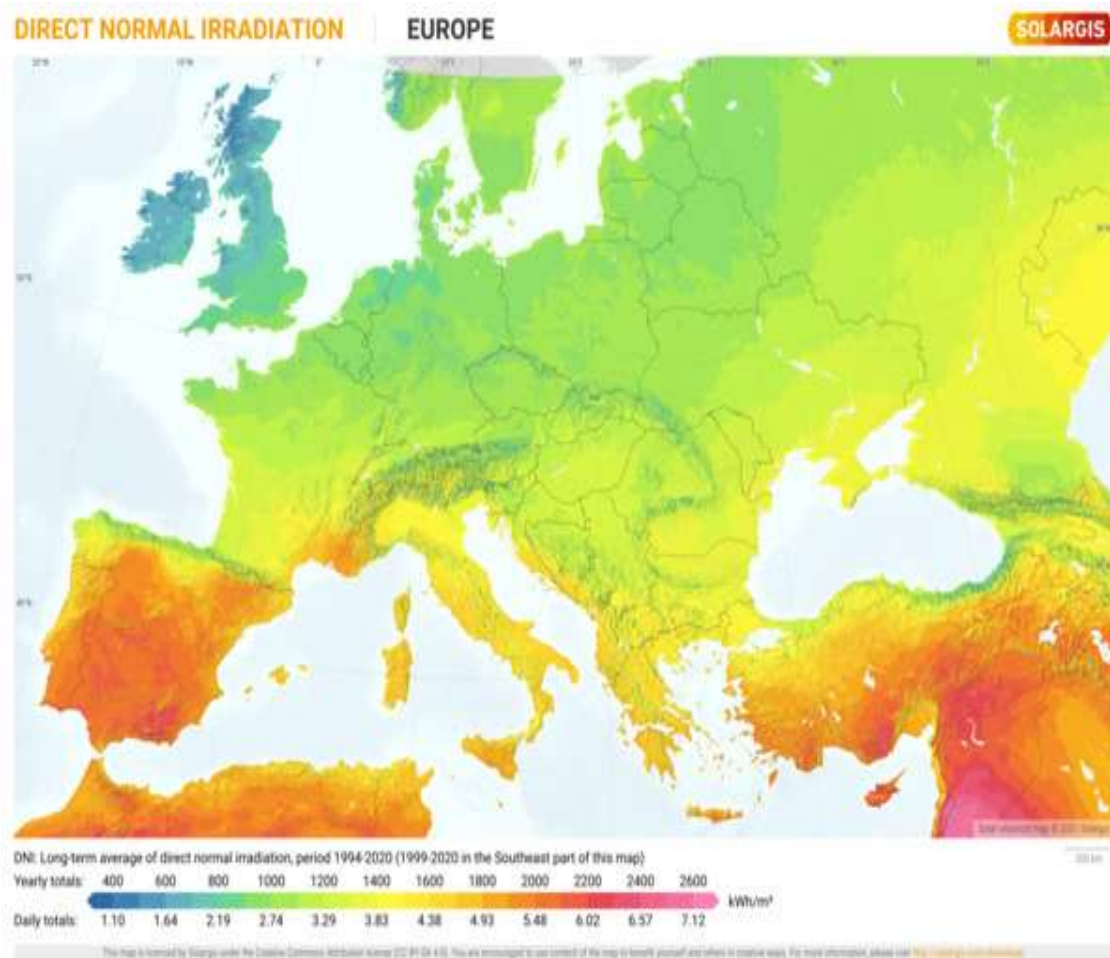
Делот од европскиот континент во кој се наоѓа Косово има висок сончев енергетски потенцијал, што може да се заклучи врз основа на неговата географска положба. На слика 4.1 е претставено глобалното сончево хоризонтално зрачење за поголемиот дел од континентот. Графичкиот приказ го претставува општиот сончев потенцијал на различни региони на Европа како долгорочен просек на глобалното хоризонтално зрачење (во kWh/m²), изведено од податоците во периодот 1994-2020 година, како годишни и дневни вкупни вредности.



Слика 4. 1. Глобално хоризонтално зрачење во Европа [79]

Како што може да се согледа, значителен дел од континентот има висок соларен потенцијал којшто може да се користи преку директна конверзија, за производство на топлинска и електрична енергија или нивна комбинација. Во повеќе европски земји глобалното хоризонтално зрачење достигнува високи вредности, односно ги надминува просечните вредности со потенцијал поголем од 1400 - 1500 kWh/m² годишно.

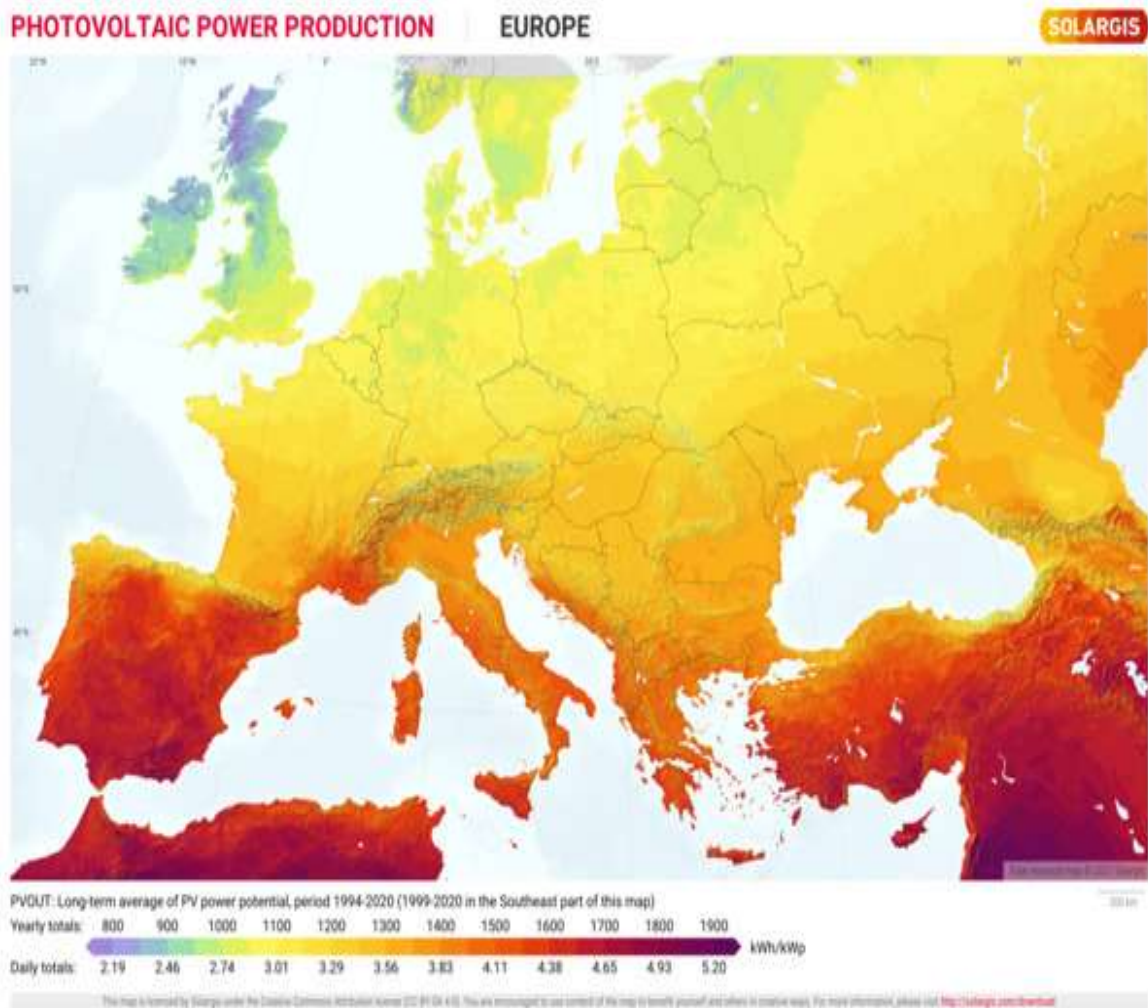
На слика 4.2 е прикажана мапа на нормално директно зрачење за европскиот континент (без скандинавските земји).



Слика 4. 2. Директна нормална ирадијација во Европа [79]

Од прикажаната мапа може да се извлече заклучок дека висок потенцијал има и во однос на директното нормално зрачење, кое, се разбира, варира во зависност од конкретната локација. Разгледуваната локација во Косово, каде што се наоѓа системот што е предмет на анализа во докторскиот труд, има вредност на нормално сончево зрачење над просекот на анализираниот регион.

На слика 4.3 е прикажано потенцијалното производство на електрична енергија од фотонапонски ситемит од инсталирана моќност за голем дел од континентот.



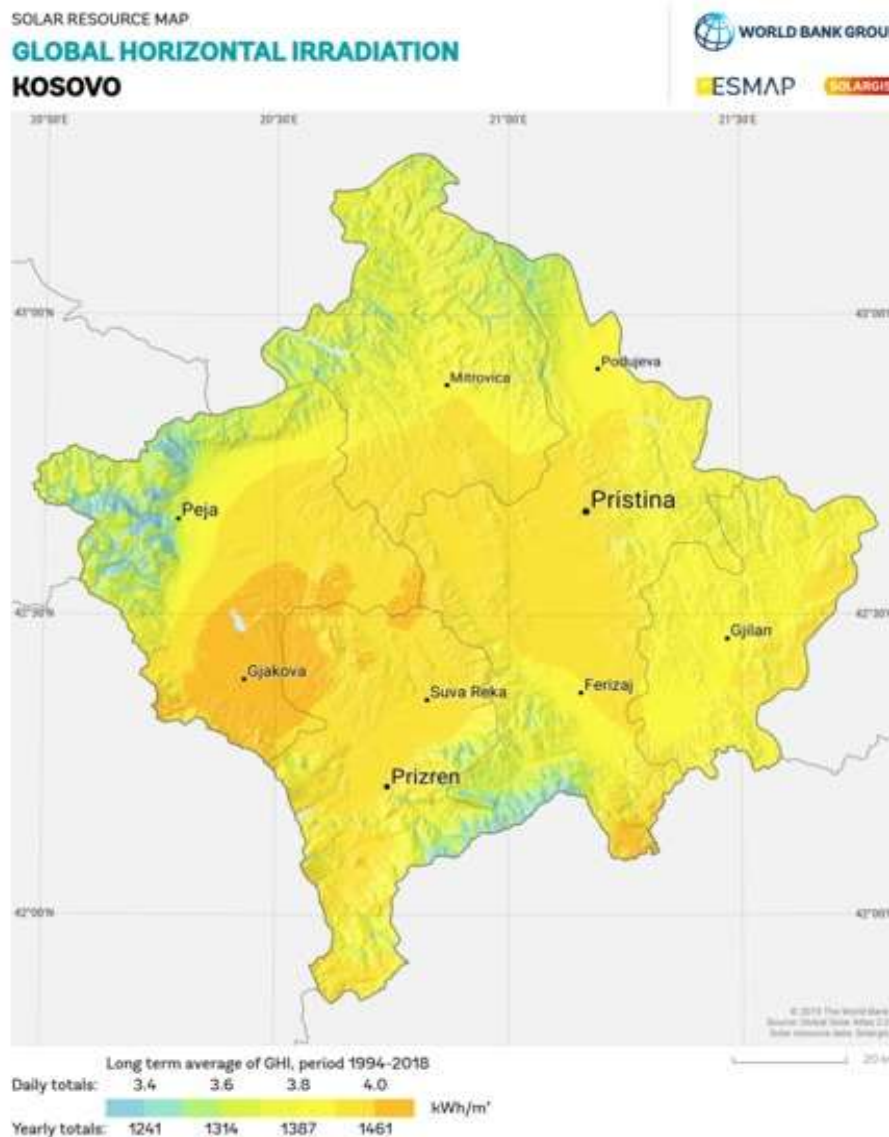
Слика 4. 3. Потенцијал за производство на електрична енергија од PV системи во Европа [79]

Врз основа на глобалната енергетска криза, можноста за производство на електрична енергија од алтернативни извори е многу важна. Сликата покажува многу висок потенцијал на сончевата енергија на континентот Европа која може да се искористи за производство на електрична енергија од PV системи. И во Косово може да се забележи дека постои потенцијал за производство на енергија од фотоволтаични системи со моќност од над 1600 kWh/kW_p.

4.2. Сончев потенцијал на Косово

Фактот што се смета дека Косово има приближно 278 сончеви денови покажува дека Косово очигледно има значителен потенцијал за користење на сончевата енергија. Сепак, иако интензитетот на сончевото зрачење за време на сончевите денови е значителен, реалното ниво на негова искористеност може да се смета за слично на земјите

кои штотуку започнаа да поставуваат соларни панели. Според Канцеларијата на Регулаторот за енергетика во Косово, приближно 1100 до 1250 kWh енергија по m² може да се произведуваат во текот на годината во Косово. Сончевата енергија за време на годишното зрачење во соларен панел (или колектор) насочен кон југ и со оптимален наклон од 35 степени (оптималниот наклон се пресметува во рамките на работата) варира помеѓу 1550 и 1650 kWh/m² годишно во Косово. На слика 4.4 е претставено глобалното хоризонтално сончево зрачење во Косово како дневна и годишна вкупна вредност (во kWh/m²).



Слика 4.4. Глобално хоризонтално сончево зрачење во Косово [80]

Од картата на слика 4.4 може да се види дека глобалното хоризонтално зрачење во различни региони на Косово има релативно високи вредности, што овозможува користење на фотоволтаични системи за производство на енергија со капацитет од 1200 до околу 1500 kWh/m² како годишни вкупни вредности.

Просечното вкупно зрачење во Косово е околу 1400 kWh/m^2 , додека, на пример, во Германија е помеѓу 850 и 1150 kWh/m^2 . Според овие податоци, се чини дека Косово спаѓа во области со сончево зрачење со многу подобри вредности и многу посоодветно за искористување на сончевата енергија за загревање вода за санитарни потреби и за производство на електрична енергија во споредба со другите земји и региони во Европа.

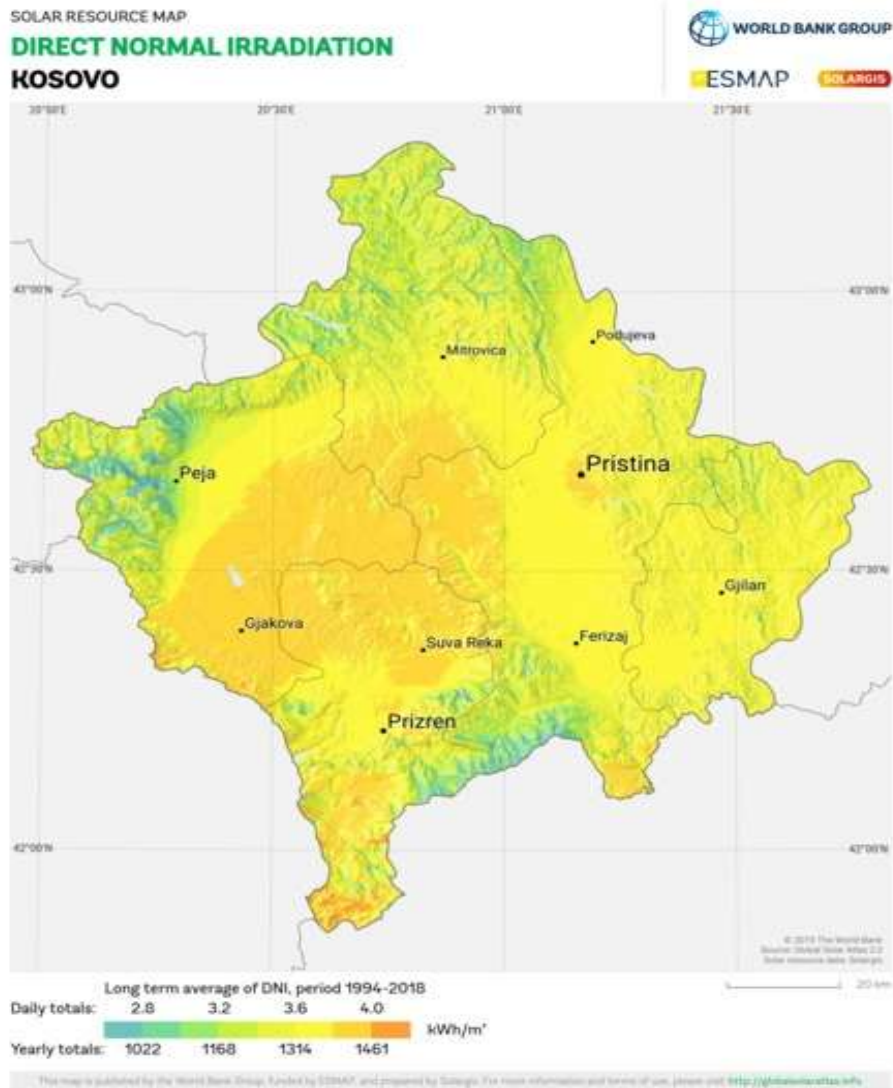
Сончевото зрачење во текот на годината во Косово е пресметано за:

- Географска ширина 19 степени $59'$ до 21 степени $16'$ и географска должина од 41 степени $52'$ до 43 степени $16'$ со вкупна вредност на зрачење од околу 1400 kWh/m^2 .

Вредностите на зрачењето се добиваат со споредување и всреднување на податоците и параметрите за неколку локации:

- сончеви часови годишно: Приштина има $2.153,2$ сончеви часови во текот на годината, Призрен $2.131,8$ часа, Пеќ 1.974 часа итн.;
- просечен број на сончеви часови дневно во текот на годината: Приштина $5,9$ часа, Призрен $5,8$ часа, Пеќ $5,4$ часа итн.;
- денови без сонце во текот на годината; Приштина $43,2$ дена, Призрен $57,7$ дена, Пеќ $60,3$ дена.

Просечниот интензитет на зрачењето на Сонцето во атмосферата е околу 1370 kW/m^2 , што е познато како сончева константа. При нормални атмосферски услови на површината на Земјата, може да се постигне интензитет на зрачење од 1000 W/m^2 , а вистинската вредност зависи од локацијата, сезоната на годината, времето од денот, атмосферските услови и други фактори. На мапата на слика 4.5 е претставено нормално директно зрачење (во kWh/m^2) за Косово.



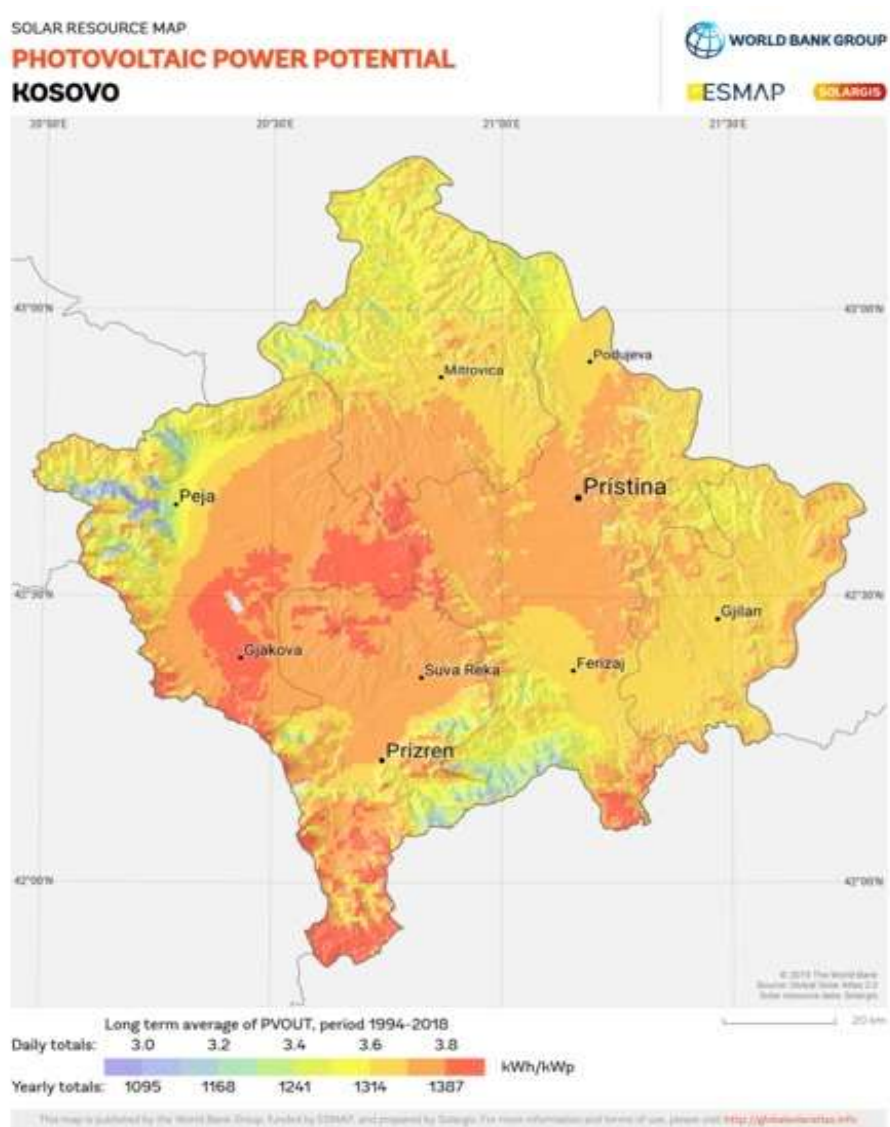
Слика 4. 5. Диркетна нормална ирадијација во Косово [80]

Од мапата на сликата 4.5 може да се согледа дека Косово има релативно висок потенцијал на директно нормално сончево зрачење, кадешто поголемиот дел од територијата има вредност до 1461 kWh/m² која може да се достигне за една година.

За да се обезбеди најкомплетна поддршка на сите оние кои сакаат да дизајнираат, финансираат, инсталираат и користат сончева енергија за загревање санитарна вода или за производство на електрична енергија, меѓу другото, потребно е, како минимум, да бидат достапни следните податоци:

- Сончевото зрачење во хоризонтална и наклонета рамнина оптимално за конкретниот регион/локација каде што ќе се инсталира сончевата централа;
- Други климатски услови на регионот/локацијата, вклучувајќи ги просечните температури на воздухот, водата итн.

Мапата на слика 4.6 го прикажува фотоволтаичниот енергетски потенцијал во Косово (во kWh/kW_p).



Слика 4. 6. Електричен потенцијал на фотонапонски системи во Косово [80]

Од графичкиот приказ е видно дека постои голем потенцијал и можност за користење на фотоволтаични системи. Вкупниот годишен фотоволтаичен потенцијал, кој може да се користи во зависност од локацијата, достигнува вредност до 1387 kWh/kW_p, додека потенцијалот на дневна основа е до 3,8 kWh/kW_p. Најголем сончев потенцијал во Косово има во регионот на Дукагини. Од сликата може да се види дека и општина Сува река има висок потенцијал за користење на ФВ системи.

4.3. Опис на PV системот

Фотонапонската постројка што е предмет на анализа во овој труд е наменета за покривање на дел од енергетските потреби на индустриски објект. Поконкретно, PV постројката е проектирана и изведена за да ги покрие потребите на фабрика за производство на пластични врати и прозорци. Потребите на енергетскиот систем на фабриката се покриваат со фотонапонскиот систем и од електричната мрежа, односно PV постројката претставува систем поврзан на мрежата. Системот се наоѓа во дел од градот Сува река, околу кој нема други системи кои користат сончева енергија. Координатите на локацијата се следни: географска должина $42,33^\circ$ и во географска ширина $20,89^\circ$. Локацијата се карактеризира со континентални климатски услови, што значи со релативно топли лета и студени зими. На слика 4.7 фотографски е претставен анализираниот ФВ систем.



Слика 4. 7. ФВ систем

Сликата го прикажува визуелниот изглед на покривот на индустрискиот објект каде се поставени фотонапонските панели. Оттука може да се види аголот на наклон на покривот и на панелите, поставеноста на панелите како и евентуалното присуство и поставеност на други објекти и предмети наоколу кои можат да влијаат на перформансите на системот.

Системот за кој станува збор е составен од монокристални фотонапонски панели кои се поврзани паралелно за покривање на најголемиот дел од енергијата што ја бара

фабриката. Во продолжение, во следната табела (таб. 4.1) се претставени главните технички параметри на PV панелите кои се имплементирани во фотоволтаичниот систем.

Табела 4. 1. Главните параметри на PV модулите [81]

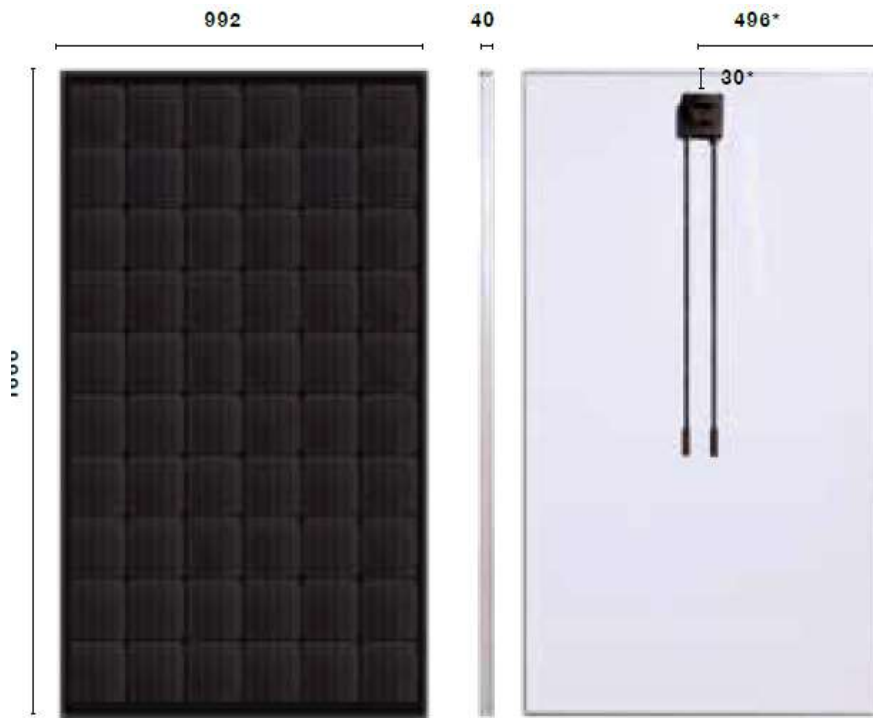
Parameter	Monocrystalline
Maximum power P_{mpp} (Wp)	310
Voltage at maximum power point U_{mpp} (V)	32.91
Current at maximum power point I_{mpp} (A)	9.42
Open circuit voltage U_{oc}(V)	39.28
Short circuit current I_{sc} (A)	9.85
Efficiency rate (%)	18.76
Operating Temperature Range (°C)	-40 to 85
Glass Type	Anti-reflection coating, high transmittance
Glass Thickness (mm)	3.2
Module length (mm)	1666
Module Width (mm)	992
Wight (kg)	19.5

Во табелата се прикажани главните технички параметри кои го дефинираат функционирањето, како и ефикасноста на панелите што може да се постигне во лабораториски услови. Меѓутоа, параметрите мора понатаму суштински да се анализираат бидејќи нивните вредности се менуваат во реални услови на употреба.

На сликата 4.8 се прикажани геометриските карактеристики на монокристалните модули кои се користат во ФН системот. На сликата се илустрирани погледот и пресекот на монокристалните модули кои се применети, како и главните димензии на фотоволтаичниот панел.

Панелите се поврзани паралелно едни со други. Системот вклучува 4 низи секоја со по 22 панели, со што се создава систем од 88 фотоволтаични панели со моќност од 27,28 kW_p. Системот се наоѓа на покривот на фабриката, така што тие се физички интегрирани во него. Наклонот на покривот каде што се поставени панелите е 8°, што заедно со техничкото решение за поставување и прицврстување на панелите, претставува условувачки фактор за перформансите на постројката. Панелите се насочени во две насоки, едниот дел кон запад, а другиот дел кон исток. Така, две низи модули се насочени

кон запад и две на исток кои се поврзани паралелно. На сликата 4.9 е претставена инсталацијата на панели на покривот на фабриката.



Слика 4. 8. Пресек на монокристалниот модул [81]



Слика 4. 9. Поставените панели како и начинот на нивното поврзување

На сликата се гледа поставеноста на фотоволтаичните панели, нивните приклучоци и како е направена нивната интеграција на покривот на индустрискиот објект.

Секој од монокристалните панели има моќност од $310 W_p$, како што е наведено од производителот. Бидејќи со производството на енергија што доаѓа од фотонапонските панели претставува се добива еднонасочна (DC) електрична енергија, за нејзино користење во секојдневната опрема што користи наизменична струја, инсталиран е инвертер за претворање на струјата од еднонасочна во наизменична (AC). Инвертерот инсталиран за овој систем е 25 kW, а главните технички карактеристики се претставени во табелата 4.2 [82].

Табела 4. 2. Главните параметри на инверторот [82]

Parameter	Inverter
Input Data	
Number of MPP trackers	1
Max. input current ($I_{dc\ max}$)	44.2 A
Max. array short circuit current	71.6 A
DC input voltage range ($U_{dc\ min} - U_{dc\ max}$)	280-1000 V
Feed-in start voltage ($U_{dc\ start}$)	650 V
Usable MPP voltage range	580-850 V
Number of DC connections	6
Max. PV generator output ($P_{dc\ max}$)	37.8 kW _{peak}
Output Data	
AC nominal output ($P_{ac,r}$)	25 000 W
Max. output power	25 000 VA
AC output current ($I_{ac\ nom}$)	37.9 A / 36.2 A
Frequency (frequency range)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)
Total harmonic distortion	< 2.0 %
Power factor ($\cos\ \varphi_{ac,r}$)	0 - 1 ind. / cap
Max. efficiency	98.2 %
European efficiency (η_{EU})	98.0 %
MPP adaptation efficiency	> 99.9 %
General Data	
Dimensions (height x width x depth)	725 x 510 x 225 mm
Weight	35.7 kg
Ambient temperature range	-25 - +60 °C
Max. altitude	2 000 m

Инвертерот што се користи во овој систем е од типот Fronius. Од наведените технички параметри на инвертерот се гледа дека има помал капацитет од фотоволтаичниот систем. Вообичаеното инженерско гледиште сугерира дека би било поправилно да се избере инвертер со капацитет поголем од капацитетот на инсталираниот систем.

Инсталираниот систем е изграден за покривање на претходно споменатите потреби на мало индустриско претпријатие. Во зависност од барањата на индустриското производство, се менуваат и потребите за енергија на фабриката. Има случаи кога ФВ системот ги покрива сите потреби за електрична енергија на фабриката и ја напојува мрежата. Но, најчесто има внес на енергија од мрежата кој се пресметува со мерачот колку се внесува во мрежата и колку се зема за потребите на енергија.

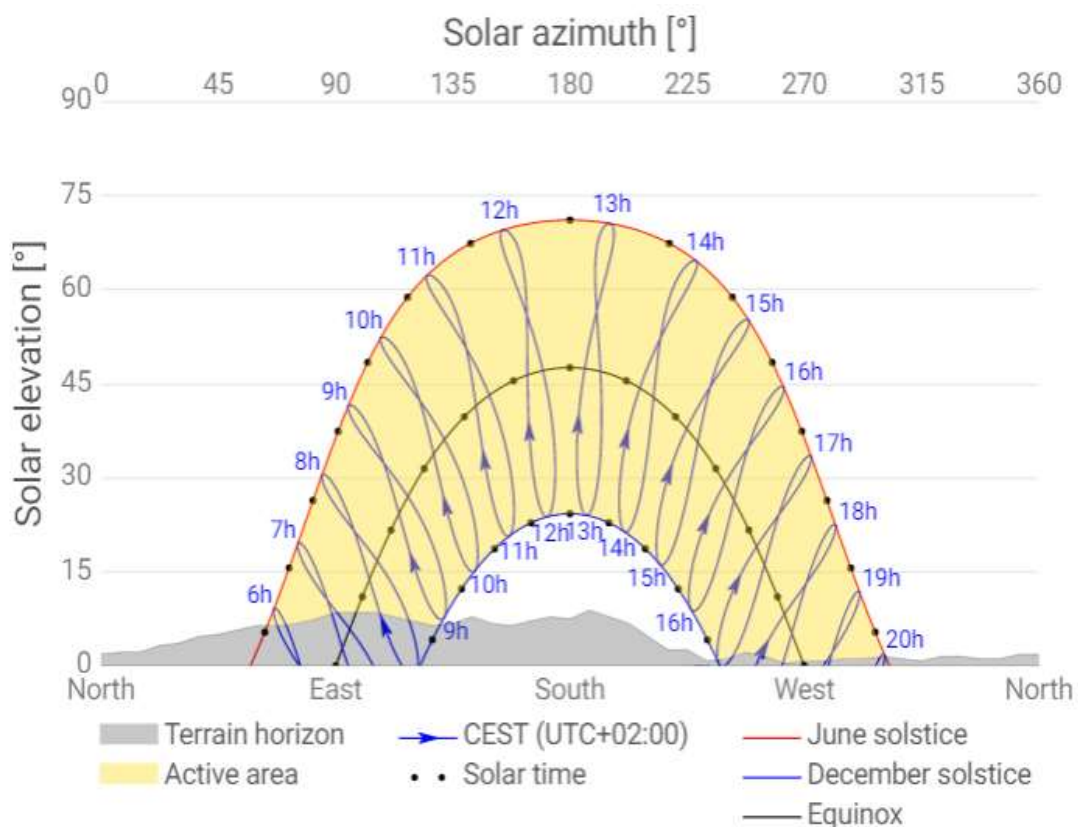
Како што беше прикажано претходно, панелите се физички интегрирани на покривот на фабриката, кој има наклон од 8° , што го предодредува аголот на наклон на панелите. Во случај да се проектира поставувањето на фотоволтаичните панели на покривната конструкција и да се утврди пресметковно правилен наклон, тоа ќе резултира со подобрени перформанси на фотоволтаичната постројка.

Во оваа дисертација е претставено моделирањето како и оптимизацијата на ФВ системот за потребите од електрична енергија на споменатиот индустриски капацитет со употреба на комбинација на аналитички и софтверски методи со цел да се добијат системските параметри. Оваа анализа претставува иновација во областа на истражувањето, заснована на специфичните потреби на мало индустриско претпријатие, климатските услови на местото на инсталација на системот, неговата ориентација и аголот на монтирање на панелите.

5. Резултати, оптимизација и дискусија

5.1. Метеоролошки услови

За да се постигнат најдобрите перформанси на системот, односно да се апсорбира што е можно повеќе сончева енергија, мора да се земе предвид патеката по која поминува Сонцето во текот на денот. Како резултат од таков вид анализа се одредува аголот на поставување на панелите како и нивната ориентација. Во системот што е предмет на анализа во докторскиот труд, панелите се интегрирани на покривот од зграда со наклон од 8° и ориентиран во две насоки, исток и запад. Врз основа на локацијата на системот и неговата ориентација, може да се види дека овие параметри не биле адекватно земени предвид во фазата на дизајнирање со цел да се постигнат повисоки перформанси или на тоа прашање не било дадено соодветно значење. На слика 5.1 е претставена сончевата патека во текот на денот за градот Сува река.

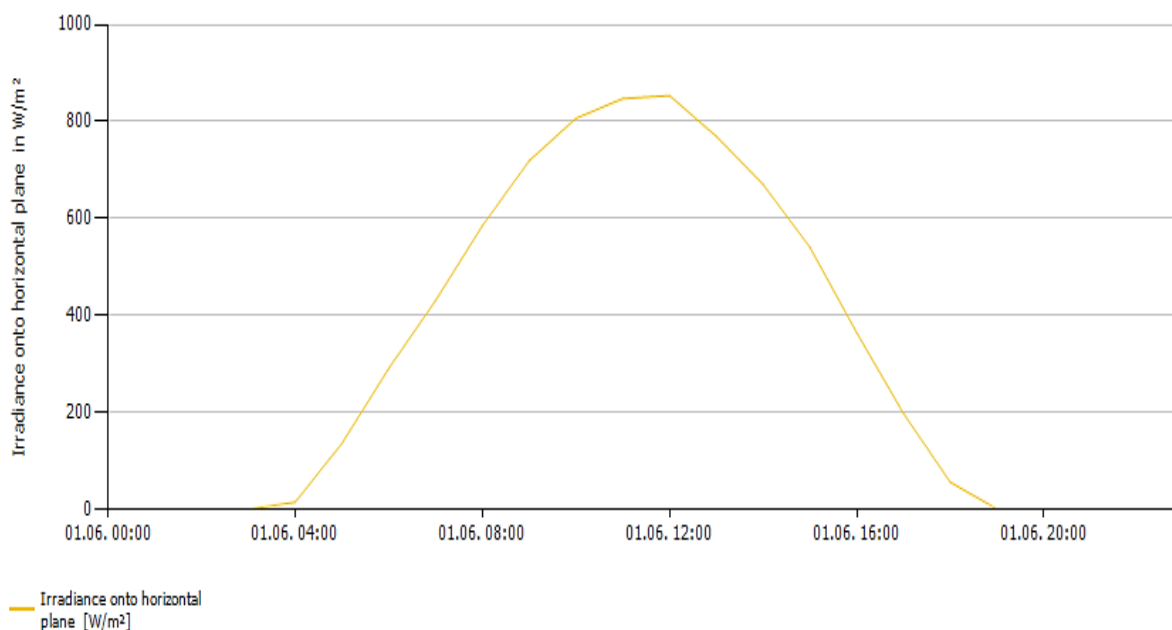


Слика 5. 1. Сончев азимут и сончева патека [83]

За да се направи најадекватно поставување на фотонапонските панели, мора да биде позната патеката по која поминува Сонцето. За анализа на перформансите на системот исклучително важно е да се знаат метеоролошките параметри за анализата да

биде што поцелосна. На овој начин може да се реализира соодветно моделирање и оптимизација на фотонапонскиот систем и поголемо производство на енергија од него. Во овој труд за спроведување на анализата е применет PV*SOL премиум софтвер, којшто овозможува да се воспостави директна корелација помеѓу софтверски и метеоролошки податоци.

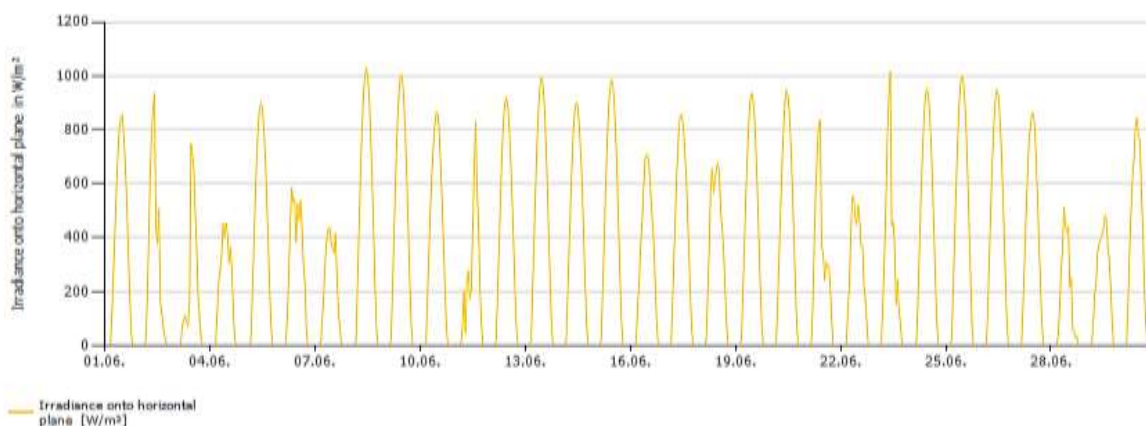
Со дијаграмот на сликата 5.2 е прикажана промената на сончевата ирадијација на нормална хоризонтална површина во текот на денот.



Слика 5.2. Промена на сончевата ирадијација врз хоризонтална рамнина во текот на денот

Дијаграмот претставува типичен приказ на промената на дозрачената енергија од Сонцето во единица време на нормална хоризонтална површина. Очекувано, очигледно е дека зрачењето е ниско во почетните часови од денот, а максимумот го достигнува напладне и во раните попладневни часови, односно штом наидува вториот дел од денот, при што се постигнуваат вредности од над 800 W/m^2 .

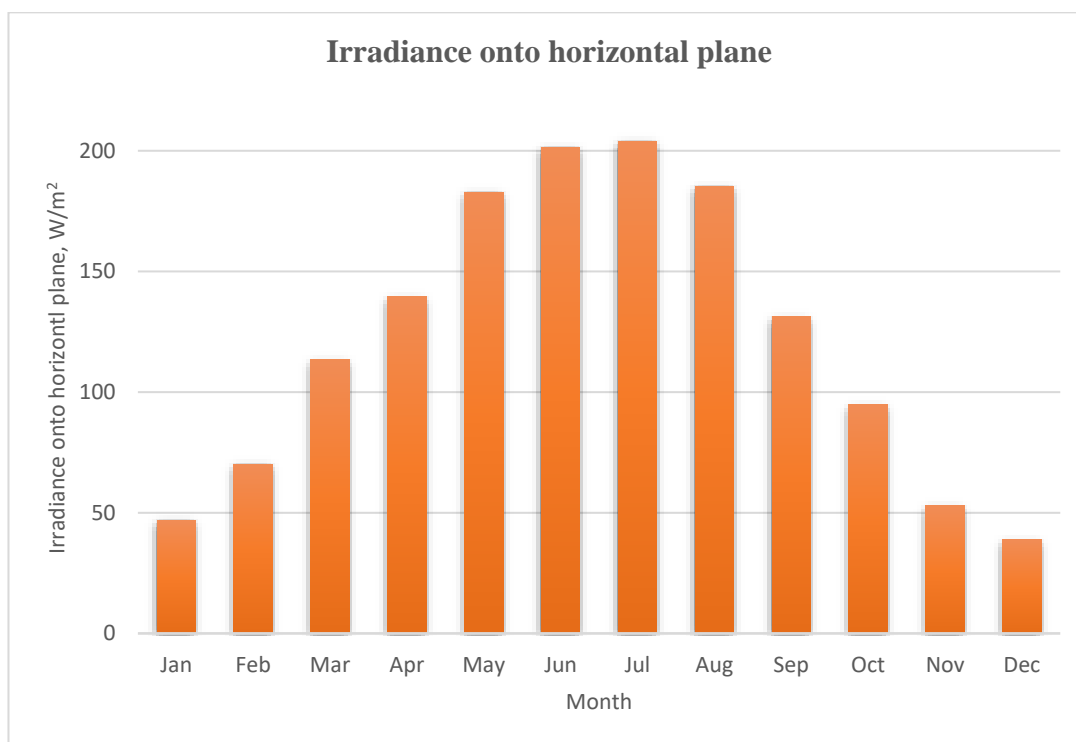
Со дијаграмот на сликата 5.3 е претставена промената на сончевата ирадијација врз хоризонтална рамнина во период од еден месец. Притоа, како пример, дијаграмот се однесува на сончевото зрачење во текот на јуни.



Слика 5. 3. Месечна промена на сончевата ирадијација врз хоризонтална површина во текот на јуни

Дијаграмот ја покажува флукуацијата на сончевото зрачење во текот на деновите во период од еден месец. Се разбира, потенцијалот на дозрачена енергија (ирадијација) варира од ден на ден, во зависност најмногу од метеоролошките услови и други фактори. Највисоки вредности на зрачење во текот на деновите се постигнуваат напладне, додека во текот на месецот највисокото зрачење достигнува вредност од 1000 W/m^2 .

Дијаграмот на слика 5.4 ги прикажува годишните промени на сончевото зрачење на хоризонтална рамнина.

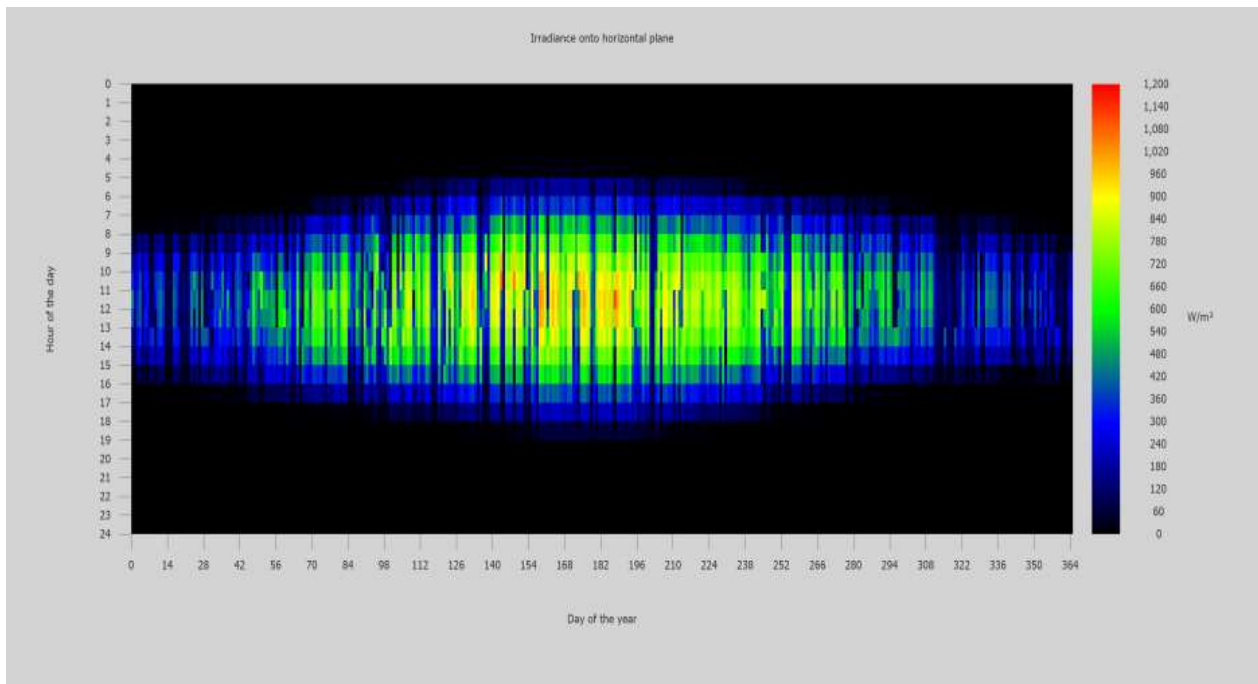


Слика 5. 4. Промена на сончевата ирадијација врз хоризонтална површина во текот на годината - просечни средни вредности по месеци

Разбирливо е дека летните месеци се карактеризираат со поголем потенцијал на сончево зрачење од зимските месеци. Од дијаграмот се гледа дека во карактеристичната година месец со најголем потенцијал на зрачење врз хоризонтална површина е јули со $203,92 \text{ W/m}^2$, додека најмал потенцијал на зрачење го карактеризира месецот декември со $38,95 \text{ W/m}^2$.

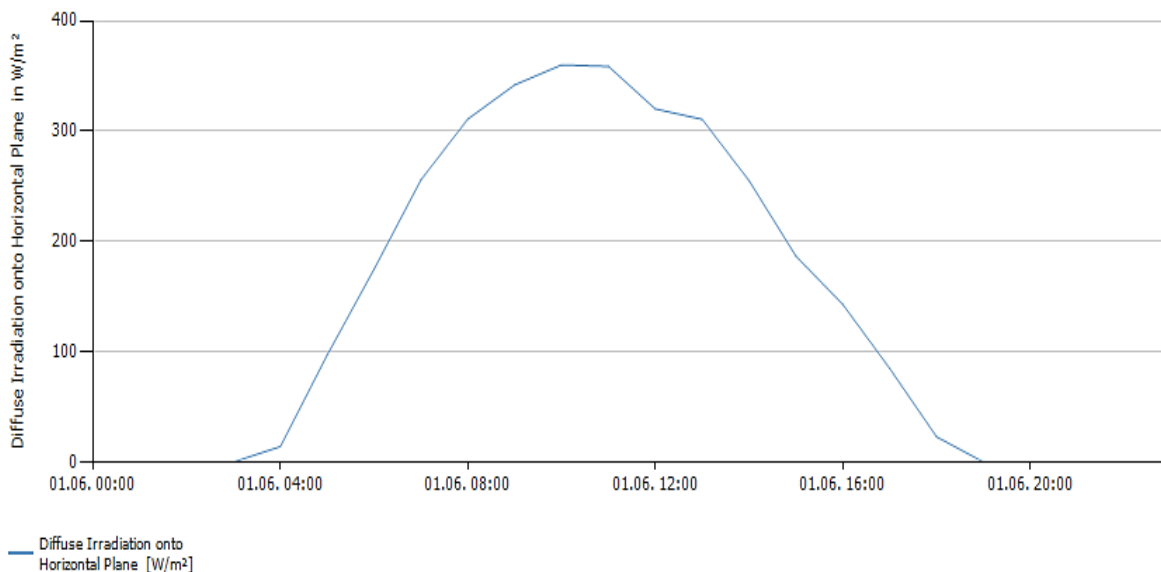
Дијаграмот на слика 5.5 прикажува број на часови за секој ден во текот на годината со покриеност со одреден интензитет на дозрачена енергија на хоризонтална површина.

Јасно и очекувано, како што може да се види од графичкиот приказ, часовите со најголем интензитет на сончево зрачење се наоѓаат во текот на летната сезона, додека со најмалку сончеви часови и со низок интензитет дозрачена енергија се карактеризира зимската сезона. Највисоката вредност на радијацијата постигната во текот на годината е 1200 W/m^2 .



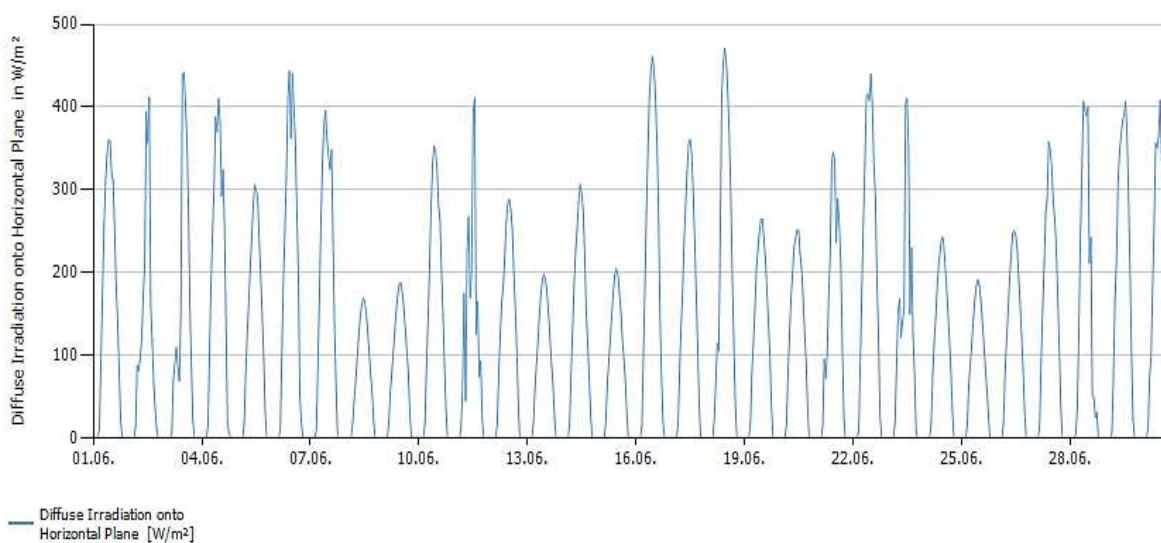
Слика 5. 5. Часовна покриеност со одреден интензитет на дозрачена енергија на хоризонтална површина за секој ден во текот на годината

Дијаграмот на слика 5.6 ја прикажува распределбата на дифузното сончево зрачење на хоризонтална рамнина во текот на денот. Во случај кога станува збор за дифузно зрачење, вообичаено истото нападне има поголем потенцијал што може да се искористи. Притоа, најголемата вредност постигната во текот на денот изнесува околу 360 W/m^2 .



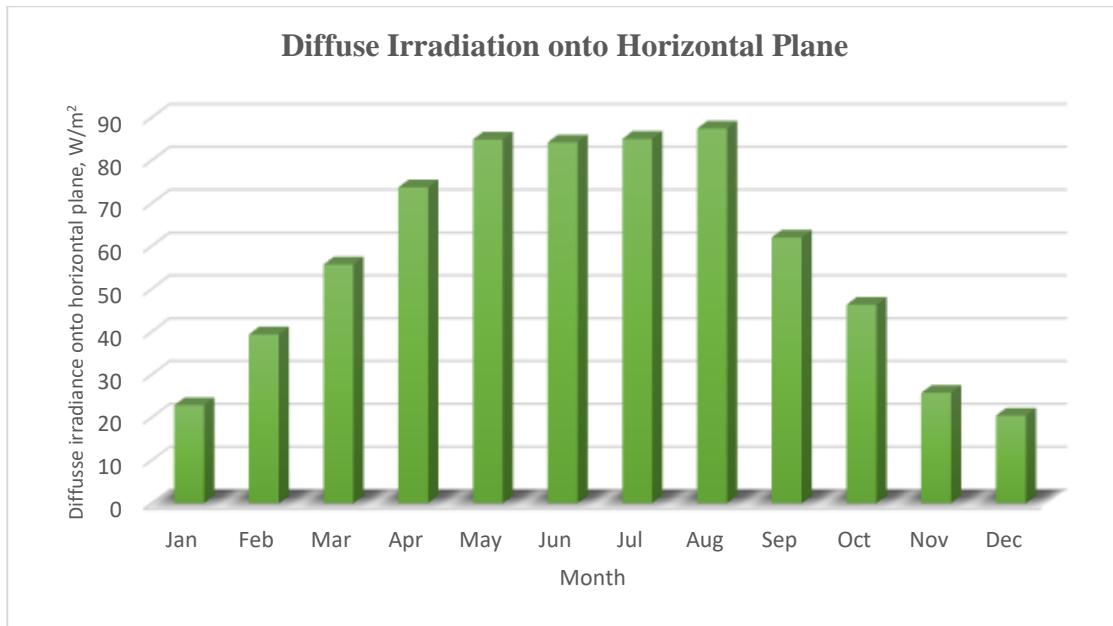
Слика 5. 6. Часовна распределба на дифузното сончево зрачење на хоризонтална рамнина во текот на денот

Дијаграмот на сликата 5.7 ја прикажува дневната промена на дифузното нормално зрачење врз хоризонтална површина во текот на јуни како еден од типичните месеци со поголемо сончево зрачење и очекувана продуктивност на PV постројките. Со оглед на тоа дека дифузното зрачење може да варира во широки ганици во зависност од временските услови во текот на месецот, има денови со многу поголем сончев потенцијал и денови со мал потенцијал. Според приложениот дијаграм, највисокиот потенцијал што се постигнува во текот на месецот е околу 480 W/m^2 .



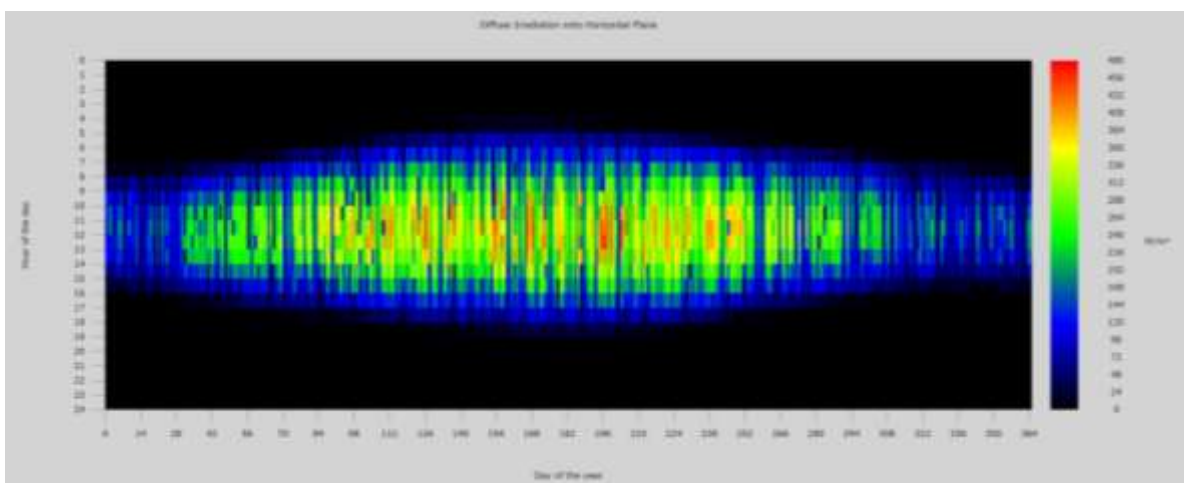
Слика 5. 7. Дневна промена на дифузното нормално зрачење на хоризонтална рамнина во текот на јуни

Дијаграмот на сликата 5.8 го прикажува средното дифузно сончево зрачење врз хоризонтална површина по месеци за период од една година. Од дијаграмот може јасно да се види дека во периодот од мај до август потенцијалот на дифузно зрачење е значително поголем во споредба со останатите месеци во годината. Во овој случај во август дифузното зрачење е најголемо во споредба со другите месеци со $87,40 \text{ W/m}^2$, но не многу помали вредности се бележат и во другите летни месеци, додека најмал потенцијал има во декември, со просечна вредност од $20,41 \text{ W/m}^2$.



Слика 5. 8. Средно дифузно сончево зрачење врз хоризонтална површина по месеци за период од една година

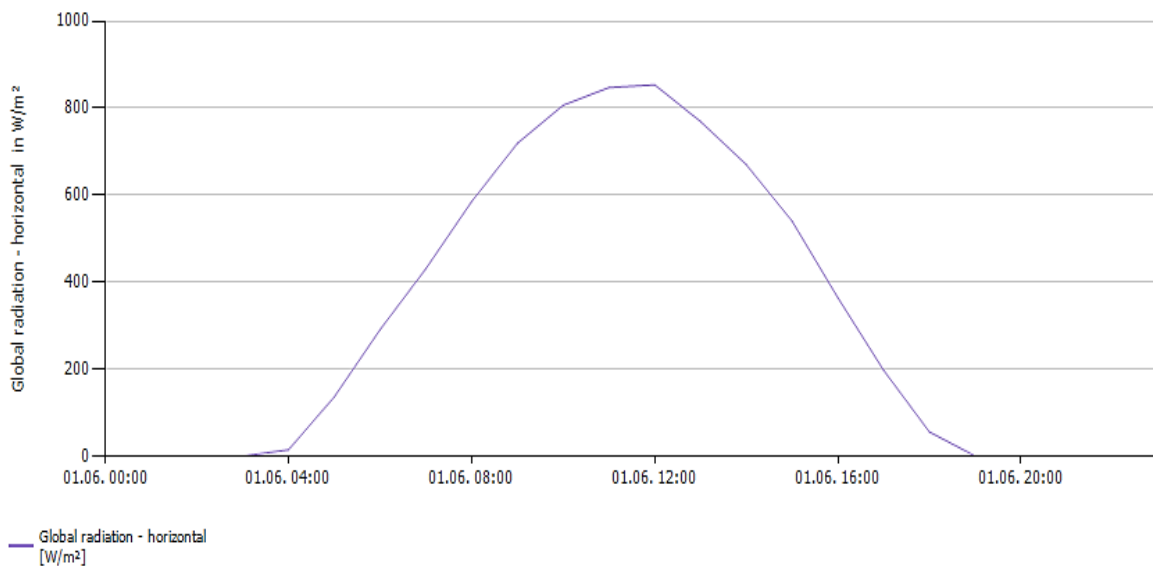
Дијаграмот на слика 5.9 го претставува дневното време со дифузно зрачење, изразено како број на часови дневно во текот на годината со покриеност со одреден интензитет на дифузно сончево зрачење на хоризонтална површина.



Слика 5. 9. Дифузно зрачење, изразено како број на часови дневно во текот на годината со покриеност со одреден интензитет на дифузно сончево зрачење

Од дијаграмот може да се види дека постои висок потенцијал на дифузно зрачење кој може да се искористи. Очигледно, најголем потенцијал е во текот на летната сезона, а најголемата вредност на радијацијата постигната во текот на еден месец изнесува 480 W/m^2 .

Со дијаграмот на слика 5.10 е претставена дневната промена на хоризонталното глобално зрачење.

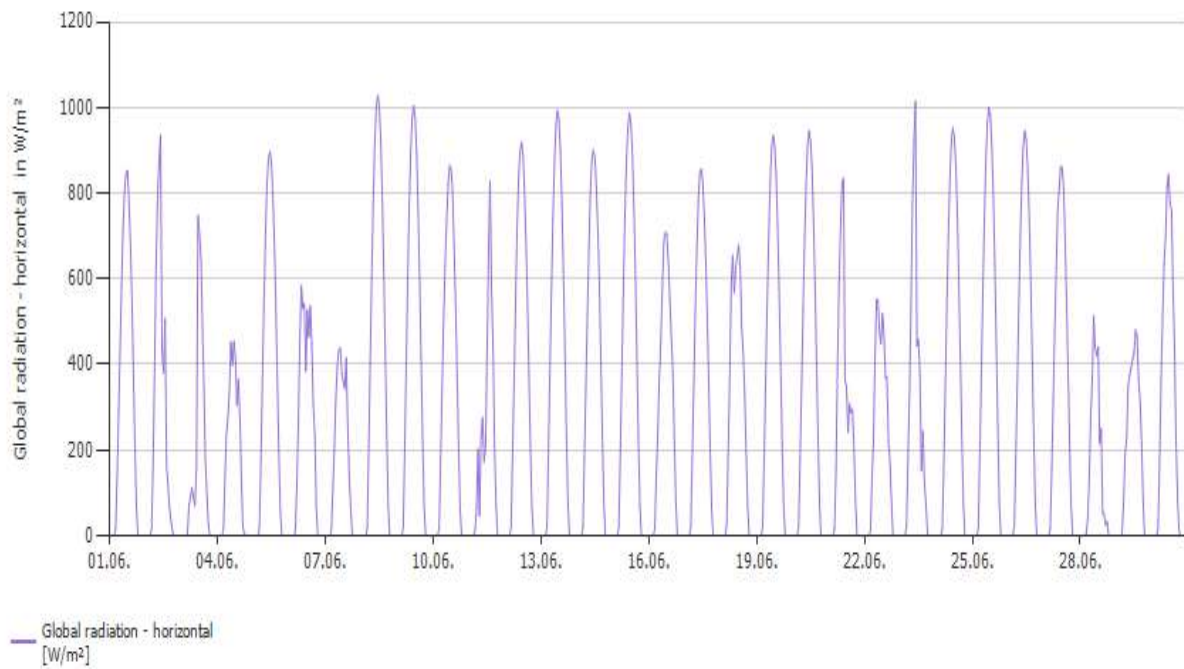


Слика 5. 10. Дневна промена на хоризонталното глобално зрачење

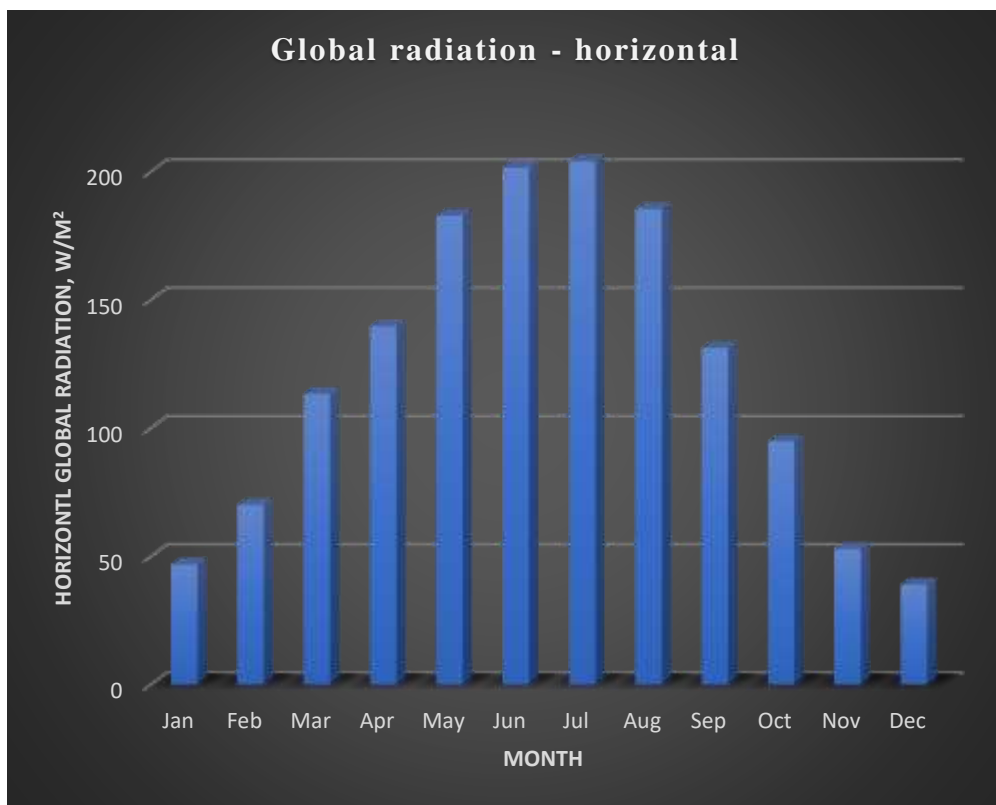
Глобалното хоризонтално зрачење го достигнува својот максимум во текот на пладневните часови и во вториот дел од денот, така што, во принцип, тогаш има поголем сончев потенцијал што може да се искористи. Максималната моќност што може да се генерира во текот на денот е околу (или блиску до) 900 W/m^2 .

На дијаграмот на слика 5.11 е претставена месечната промена на хоризонталното глобално зрачење во текот на јуни. Глобалното сончево зрачење во текот на деновите во месецот има свои флукуации, така што некои денови имаат поголем сончев потенцијал, а некои помал. Максимумот што се постигнува во текот на месецот е над 1000 W/m^2 .

Дијаграмот на слика 5.12 ја прикажува промената на годишното хоризонтално глобално зрачење.



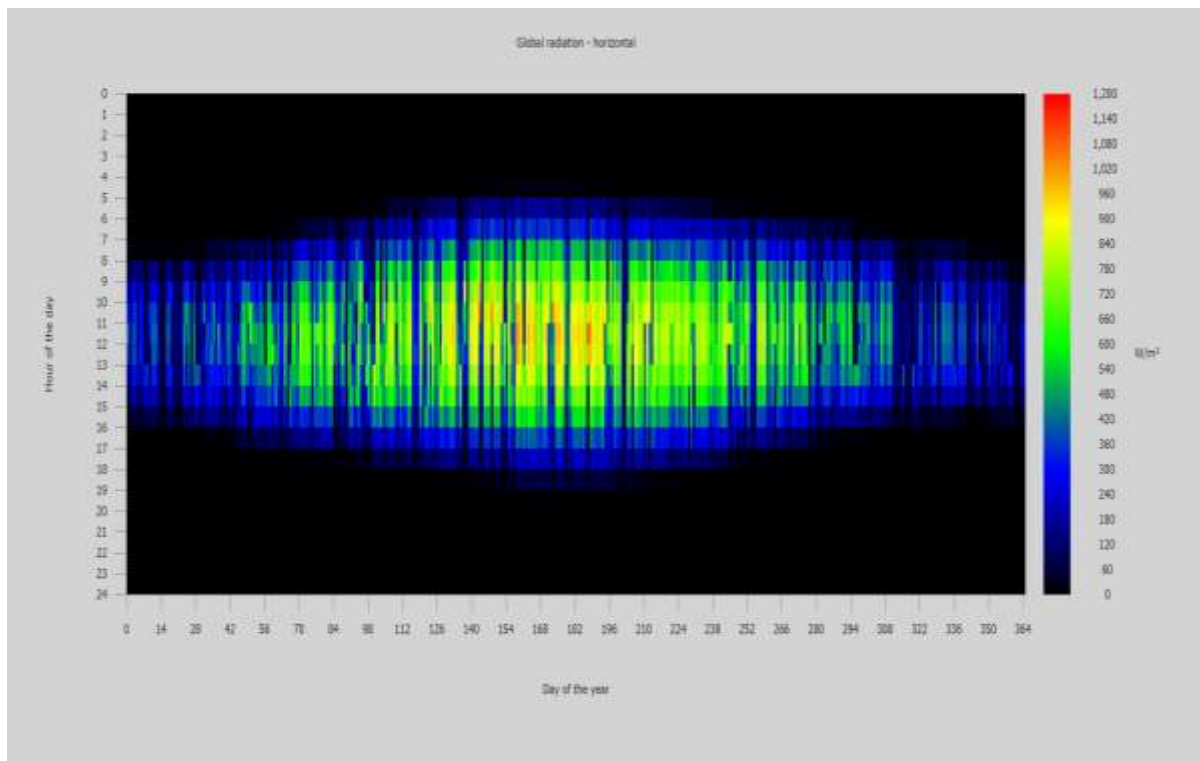
Слика 5. 11. Промена на глобалното сончево зрачење во текот на јуни



Слика 5. 12. Промена на глобалната радијација врз хоризонтална површина во текот на една година

Секако, глобалното сончево зрачење бележи променлив интензитет по месеци во текот на годината, така што во текот на летните месеци има поголем, а во зимските помал потенцијал. Во овој случај, месец со најголем потенцијал во текот на годината е јули со $203,9 \text{ W/m}^2$ и помал во текот на декември околу $38,95 \text{ W/m}^2$.

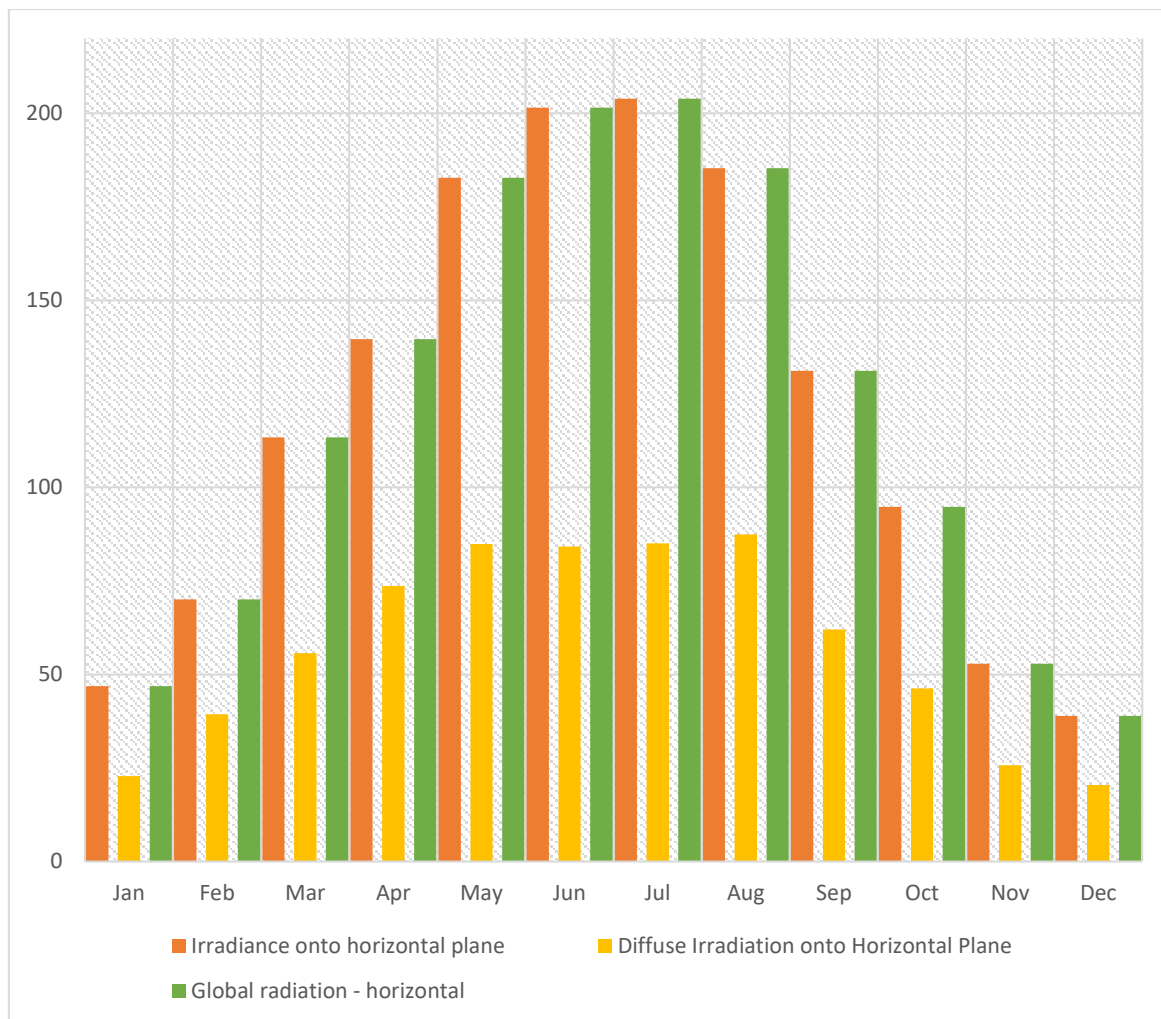
На дијаграмот на слика 5.13 е даден бројот на часови со одреден интензитет на глобално сончево зрачење врз хоризонтална површина во текот на годината.



Слика 5. 13. Број на часови со одреден интензитет на глобално сончево зрачење врз хоризонтална површина во текот на годината

Како што може да се види од графичкиот приказ, часовите во текот на годината со значително глобално сончево зрачење во хоризонталната рамнина се многубројни, но секако најголем потенцијал се појавува во текот на летните месеци. Максимумот постигнат во текот на годината е 1200 W/m^2 .

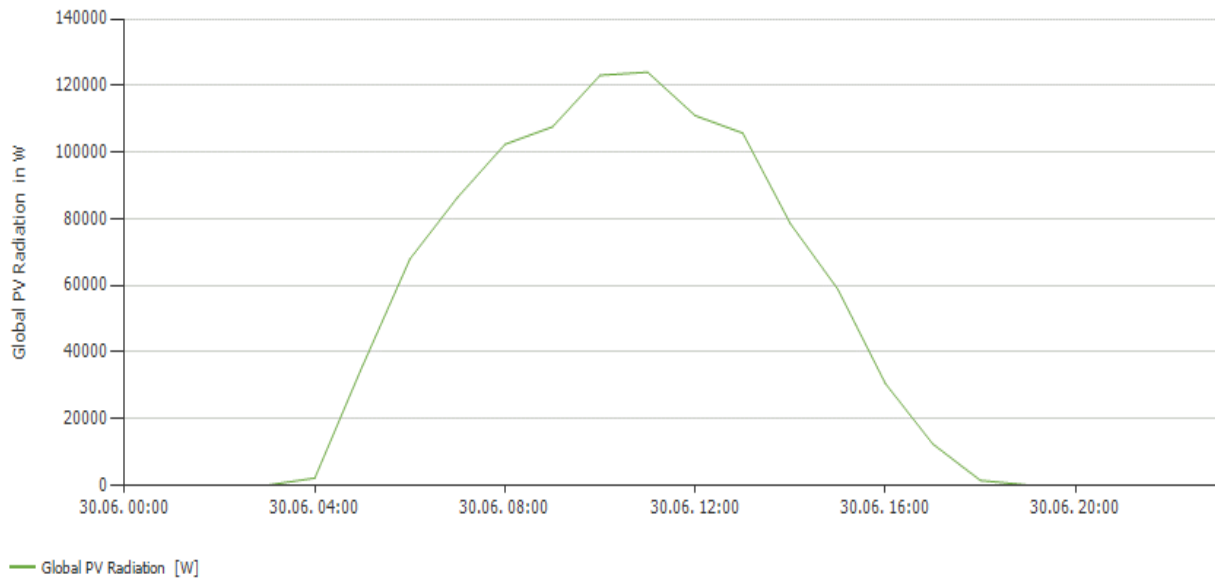
На дијаграмот на слика 5.14 е претставена промената на годишното зрачење на хоризонтална рамнина, дифузното зрачење и глобалното зрачење на хоризонталната рамнина.



Слика 5. 14. Промената на годишното зрачење на хоризонтална рамнина, дифузното зрачење и глобалното зрачење на хоризонталната рамнина

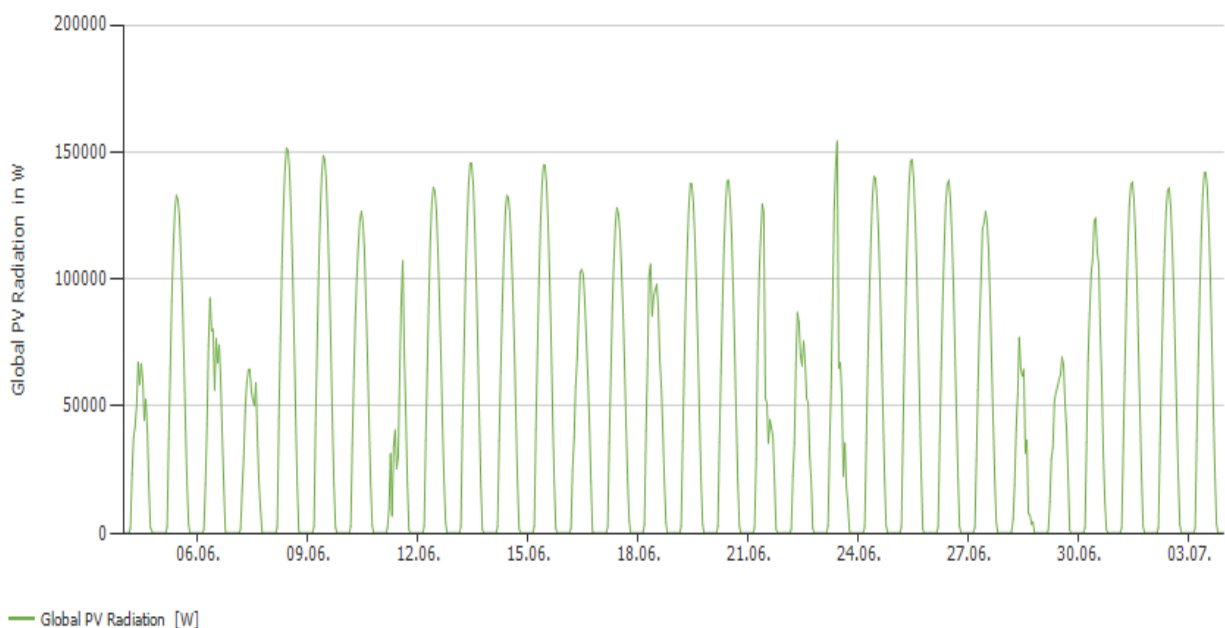
Од дијаграмот може да се види дека најголем потенцијал за искористување во текот на годината постои кај глобалното зрачење и во однос на зрачењето на хоризонтална рамнина, додека многу помал потенцијал произлегува од дифузното зрачење на хоризонталната рамнина.

Дијаграмот на слика 5.15 ја прикажува промената на дневното глобално зрачење како PV потенцијал кој може да се генерира во дадените околности. Од дијаграмот јасно се гледа дека глобалниот ФВ потенцијал е најголем во текот на пладневните часови и во вториот дел од денот, додека во првиот дел е многу помал. Максималната фотоволтаична моќност што може да се генерира во текот на денот е 12000 W.



Слика 5. 15. Промена на дневно зрачење изразено како PV потенцијал

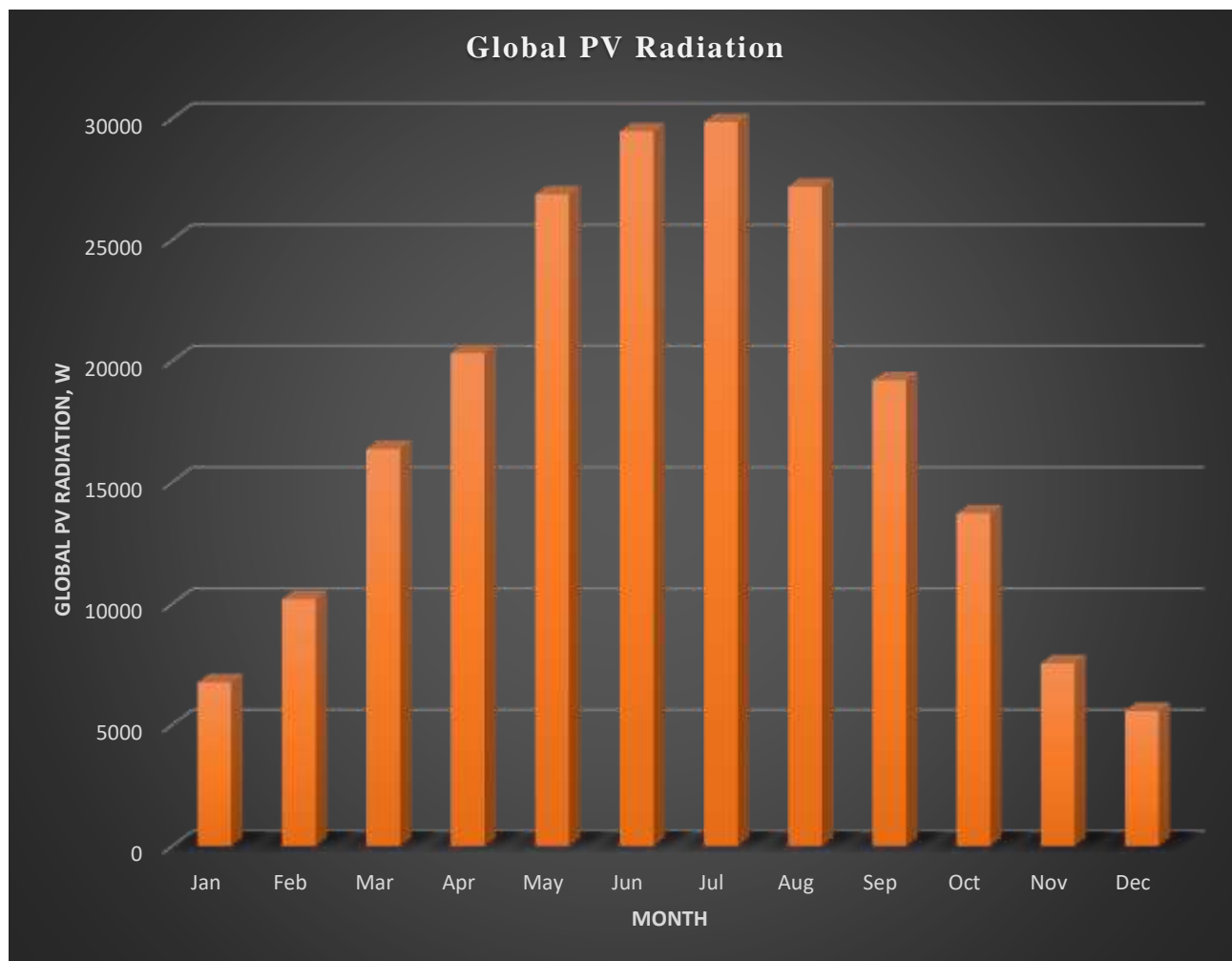
Дијаграмот на слика 5.16 ја прикажува промената на месечното глобално зрачење изразено како PV потенцијал во месец јуни.



Слика 5. 16. Промена на месечното глобално зрачење изразено како PV потенцијал во јуни

Со дијаграмот се прикажани флукуациите на PV потенцијалот во текот на деновите од месецот. Генерално, постои голем потенцијал кој може да се искористи во текот на овој месец. Максималната моќност генерирана во текот на еден ден во јуни изнесува 15000 W.

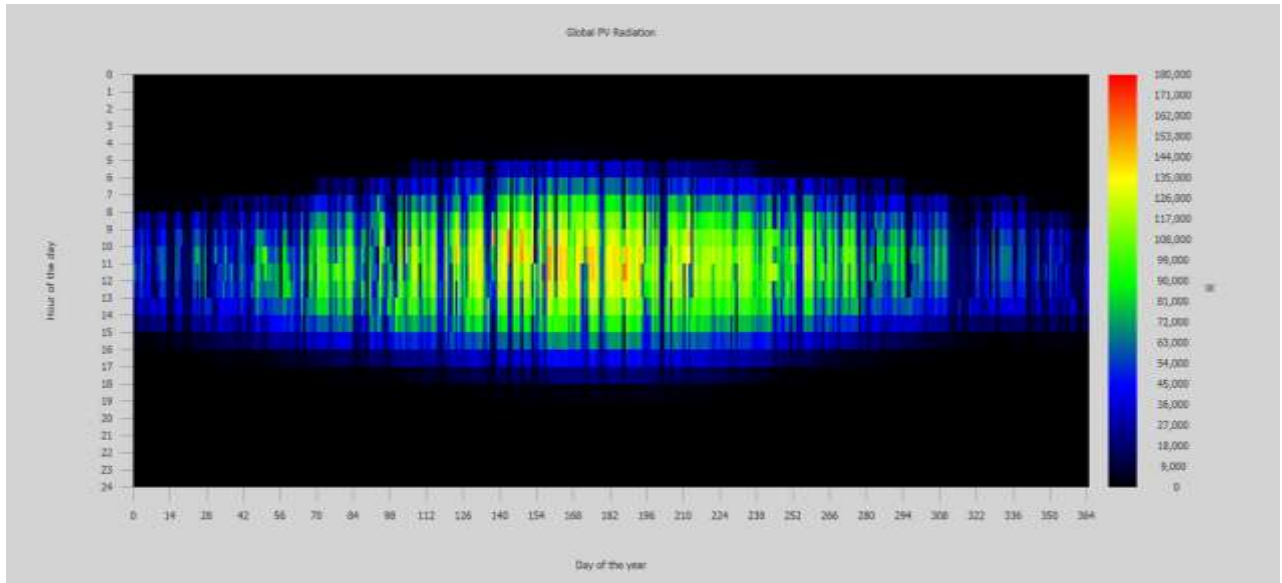
Дијаграмот на слика 5.17 го прикажува годишното глобално PV зрачење изразено преку средното глобално зрачење по месеци.



Слика 5. 17. Промена на глобалното PV зрачење во текот на годината изразена преку средното глобално зрачење по месеци

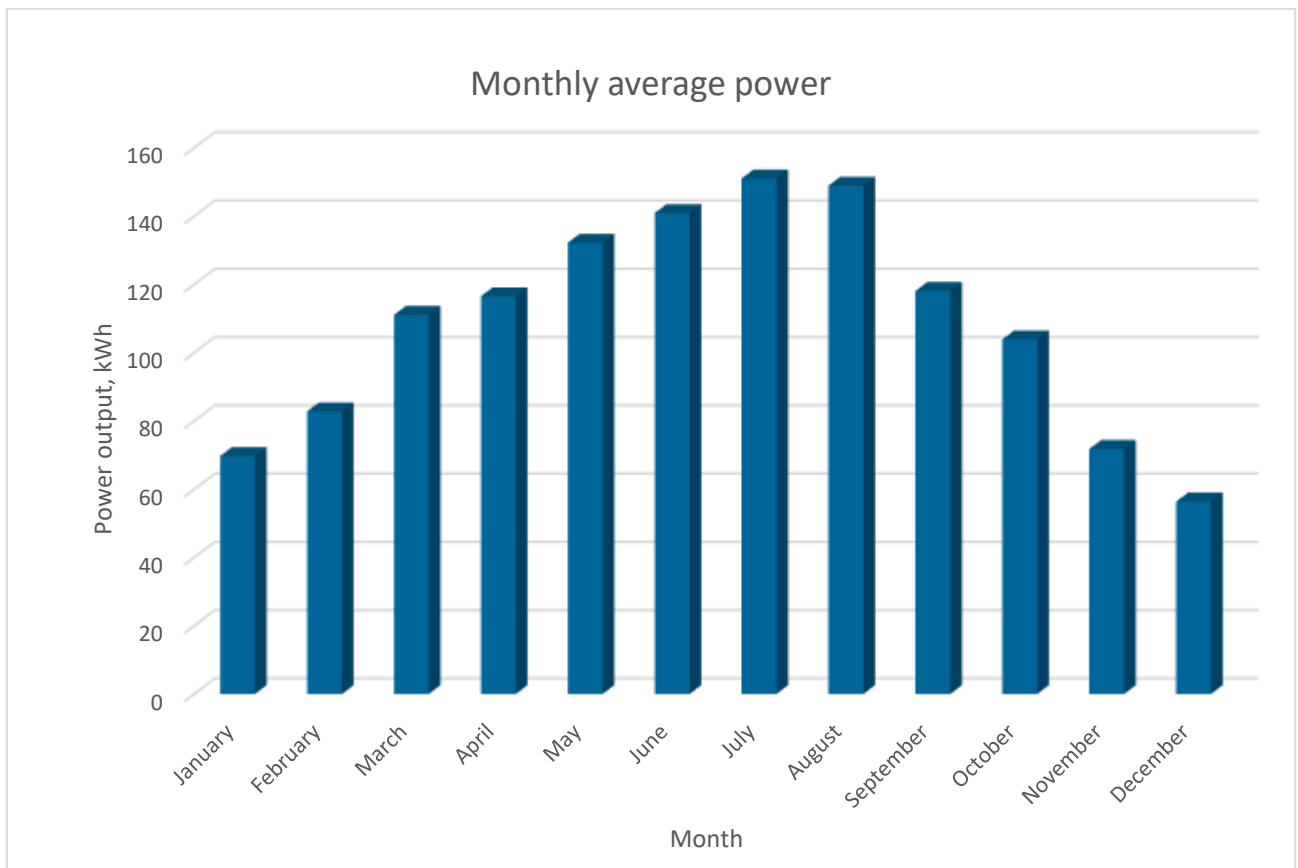
Фотонапонскиот потенцијал кој може да се користи во текот на целата година е прилично висок. Логично, најголем потенцијал се забележува во текот на летните месеци, додека најмал во зимските месеци. Како што се гледа од дијаграмот, месецот со најголем потенцијал во текот на годината е јули, со 29854 W додека се намалува во текот на декември на вредност од 5573,1 W.

Дијаграмот на слика 5.18 ја прикажува дневната должина (во часови на ден) и соодветната вредност на глобалното PV зрачење во текот на годината. Дијаграмот го прикажува потенцијалот на глобалното PV зрачење во текот на годината. Летната сезона се карактеризира со поголем потенцијал од зимската сезона. Максималната моќност што може да се постигне во текот на годината е 180 000 W.



Слика 5. 18. Дневна должина (во часови на ден) и соодветната вредност на глобалното PV зрачење во текот на годината

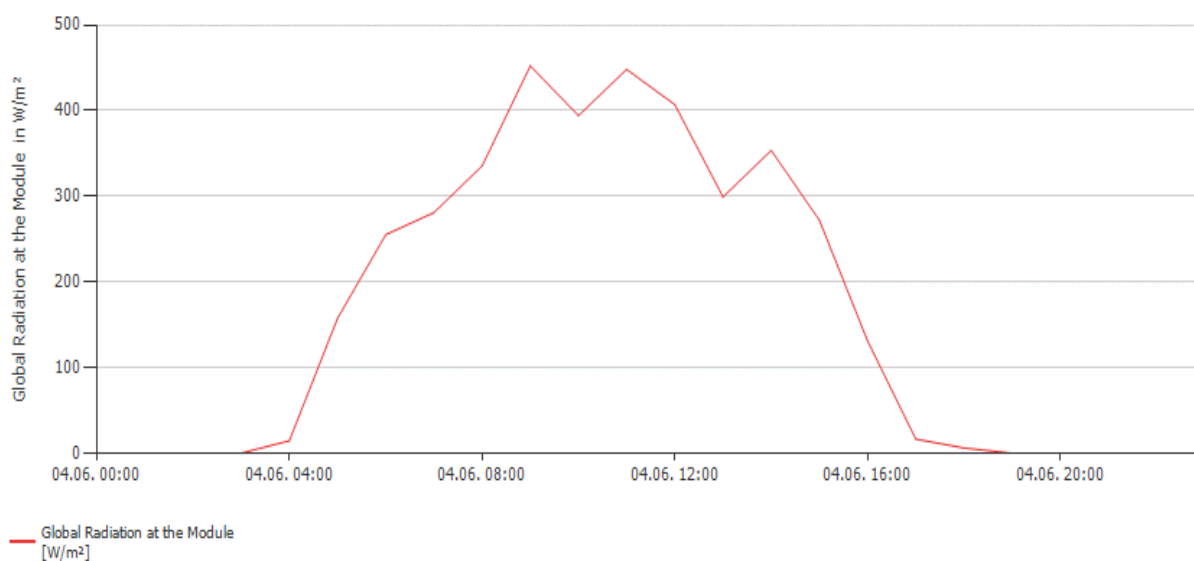
Дијаграмот на сликата 5.19 дава преглед на вкупниот излезен PV потенцијал по месеци во текот на една година [69].



Слика 5. 19. Вкупен излезен PV потенцијал по месеци во текот на една година [69]

Дијаграмот го прикажува потенцијалот за искористување на дозрачената сончева енергија со директна претворба со фотоволтаици по месеци во период од една година. Како што може да се види, летните месеци се карактеризираат со поголем потенцијал отколку месеците во другиот дел од годината. Според прикажаното во дијаграмот, максималниот енергетски потенцијал што може да се генерира е во текот на месец јули со 151 kWh, додека најмалата вредност е во текот на декември со 56,4 kWh.

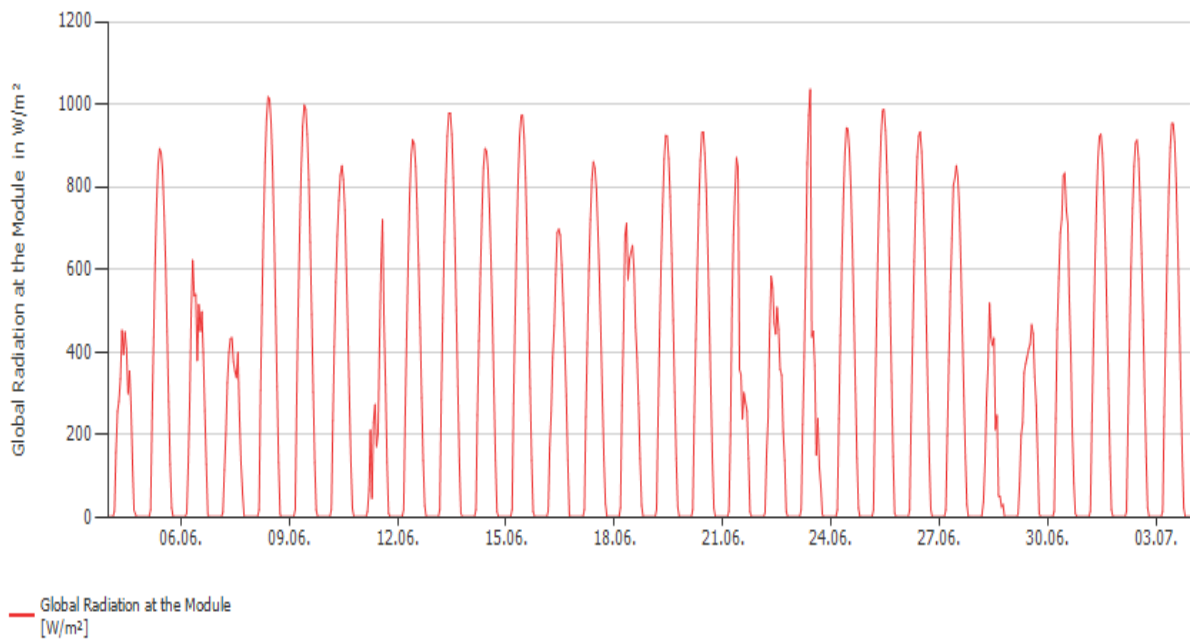
Дијаграмот на сликата 5.20 ја прикажува промената на дневното глобално зрачење кон PV модулот (во W/m^2).



Слика 5. 20. Промена на дневното глобално зрачење кон PV модулот (во W/m^2)

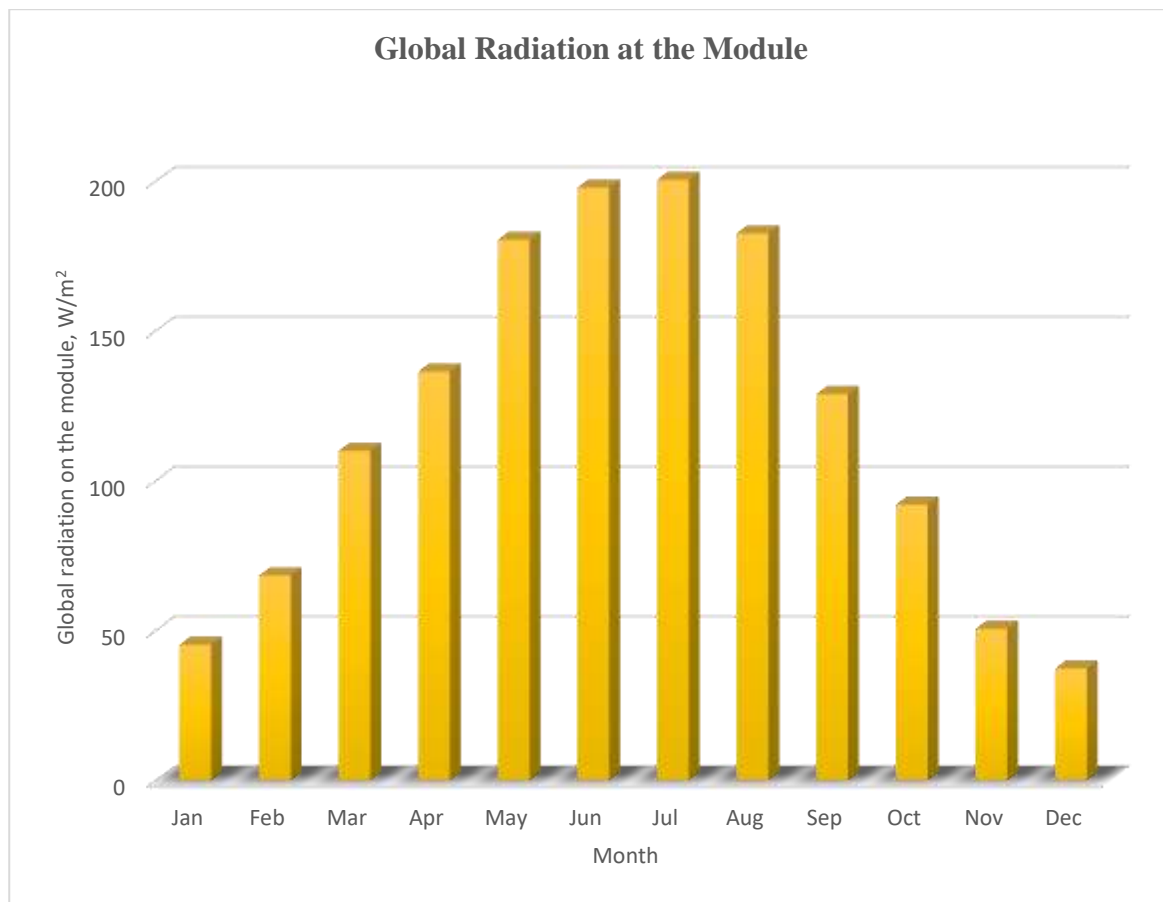
Глобалниот потенцијал на дозрачена енергија во единица време врз единична површина на модулите е висок. Овој потенцијал е претставен преку дијаграмот од кој може да се види дека максималното зрачење што паѓа врз модулот во текот на денот е околу $450 W/m^2$.

Со дијаграмот на сликата 5.21 се прикажува месечното глобално зрачење врз модулот во текот на месец јуни. Јасно се гледа дека постои голем потенцијал на глобално зрачење кое паѓа на фотоволтаичниот модул во текот на деновите во месец јуни. Максималното количество на зрачење кое на модулите се постигнува во текот на денот е повеќе од $1000 W/m^2$ и, секако, варира во текот на дневните часови и од ден на ден, во зависност од временските услови.



Слика 5. 21. Дневна промена на глобалното зрачење кон модулот во текот на еден месец (јуни)

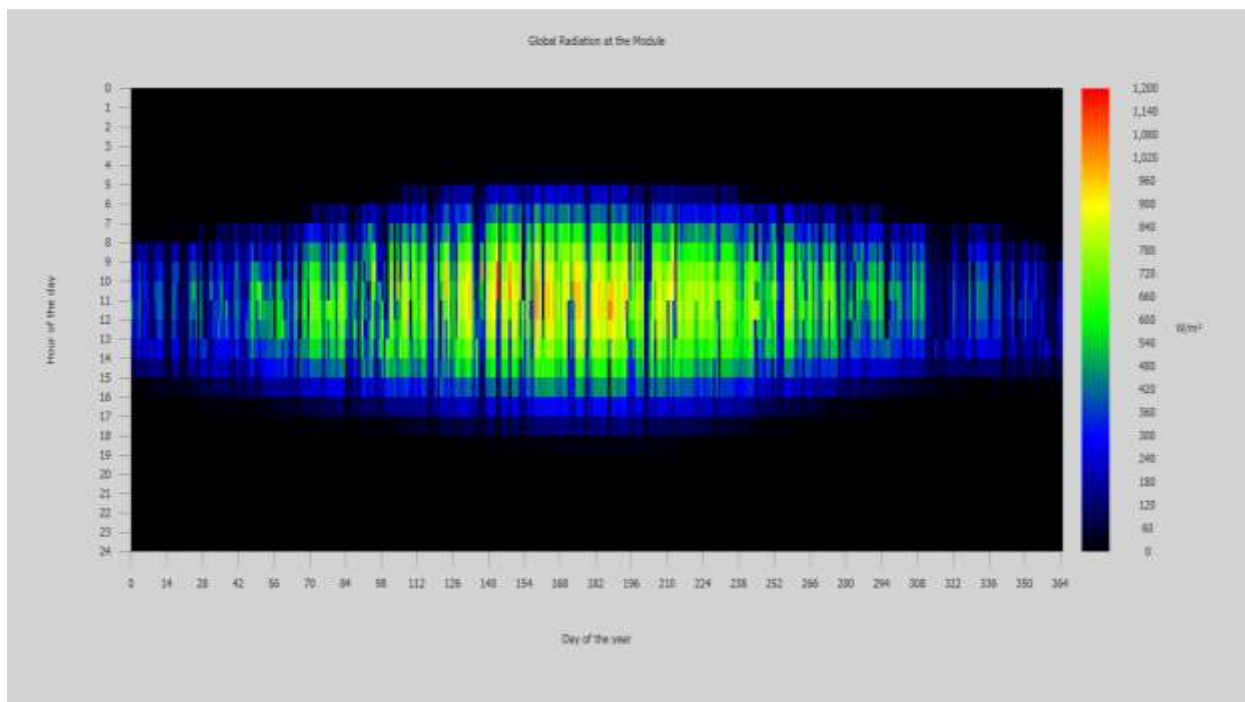
На сликата 5.22 е прикажана промената на глобалното зрачење кон модулот по месеци, во текот на една година.



Слика 5. 22. Промена на глобалното зрачење кон модулот по месеци, во текот на една година

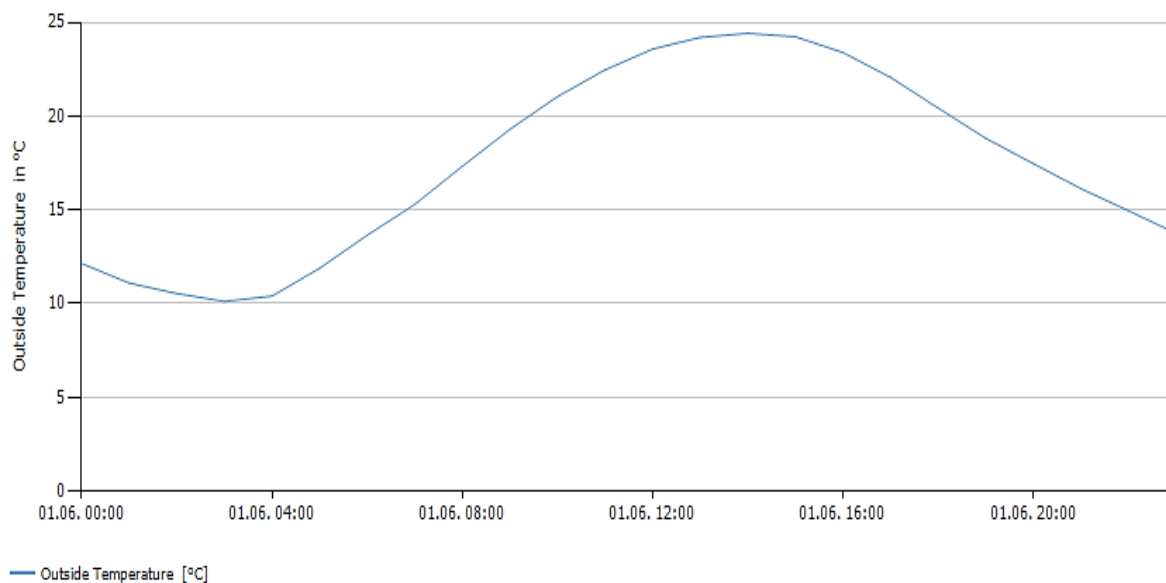
Во текот на годината, сметано по одделни месеци, постои висок потенцијал глобалното зрачење да се искористи за производство на електрична енергија. Според измерените податоци, најголем потенцијал е постигнат во јули, со износ од $200,6 \text{ W/m}^2$, додека зрачењето се намалува во зимските месеци, бележејќи најмала вредност од $37,4 \text{ W/m}^2$ во текот на декември.

Графиката на сликата 5.23 го прикажува бројот на часови дневно во текот на годината со одредена вредност на глобалното инцидентно зрачење на модулот. Од сликата може да се види дека има голем број часови со потенцијал за искористување на глобалното зрачење со PV модулот. Максималната вредност на зрачењето постигната на површината на модулот во текот на годината е 1200 W/m^2 .



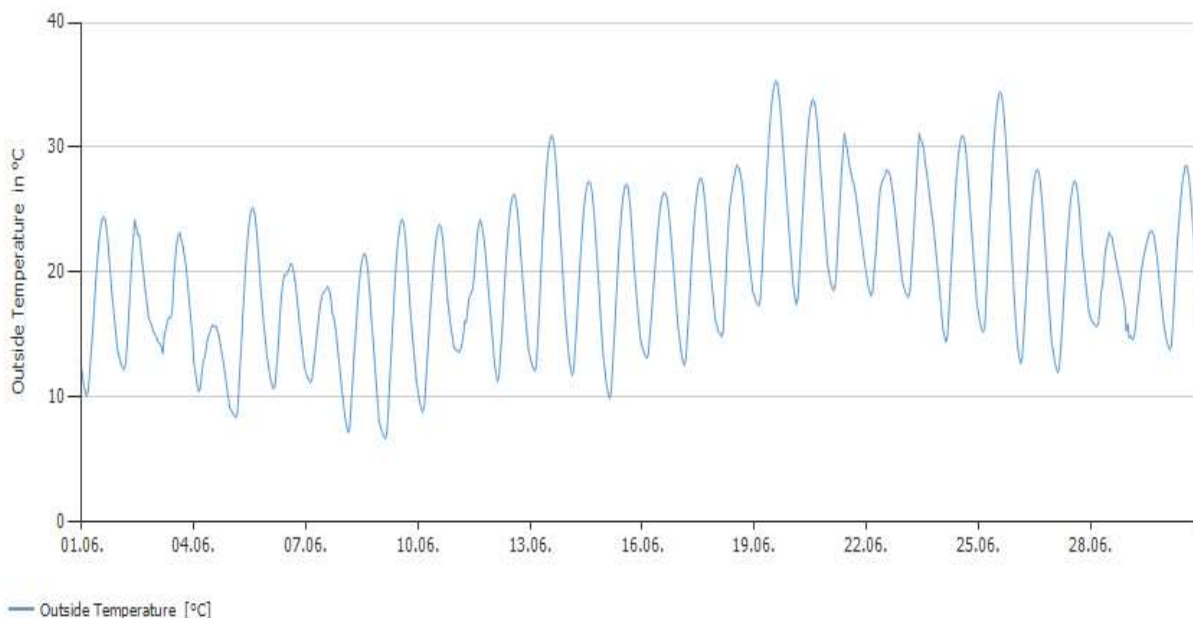
Слика 5. 23. Број на часови дневно во текот на годината со одредена вредност на глобалното инцидентно зрачење на модулот

На дијаграмот на слика 5.24 е претставена промената на дневната надворешна температура на локацијата на фотонапонската постројка. Температурата на околината е важна компонента којашто влијае врз ефикасноста на фотонапонските ќелии и на севкупните перформанси на системот. Од дијаграмот може да се види дека температурата во голема мера флукутира во текот на денот, достигнувајќи највисоки вредности во раните попладневни часови. Максималната вредност на температурата постигната во текот на денот во овој случај е $24 \text{ }^\circ\text{C}$.



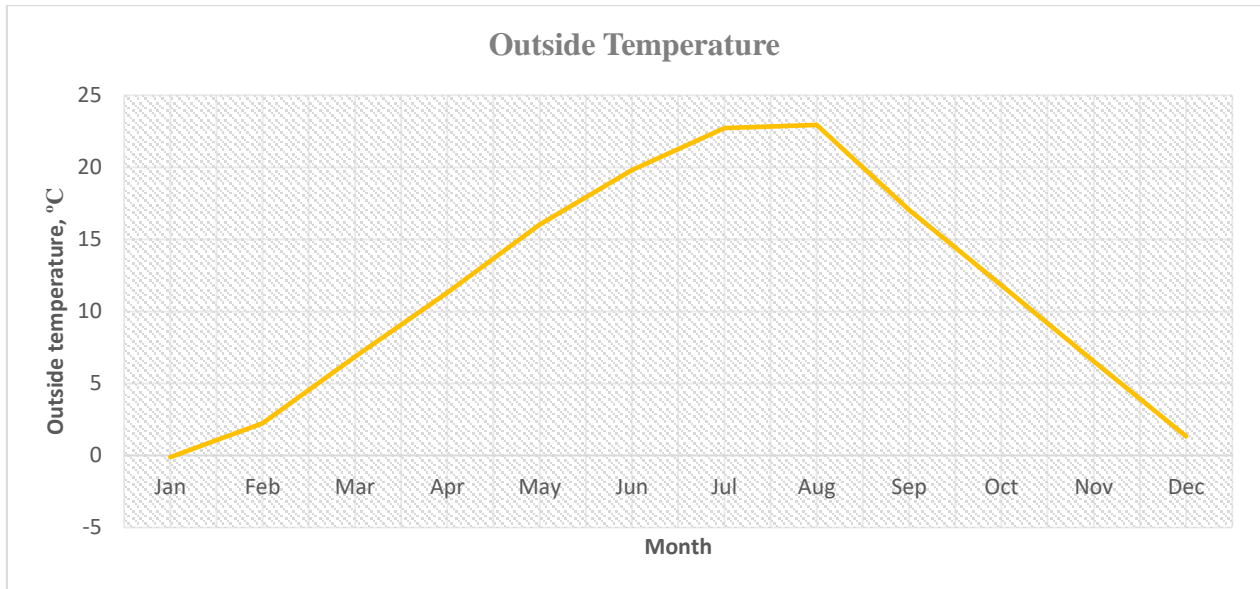
Слика 5. 24. Дневна промена на температурата на околината

На дијаграмот на слика 5.25 е претставена дневната промена на температурата на околината за еден месец (јуни). Од дијаграмот може да се видат температурните флукутации во текот на месецот, но флукутациите не се многу големи бидејќи овој месец е еден од најтоплите месеци во летото. Максималната температура постигната во овој месец е поголема од 36 °C.



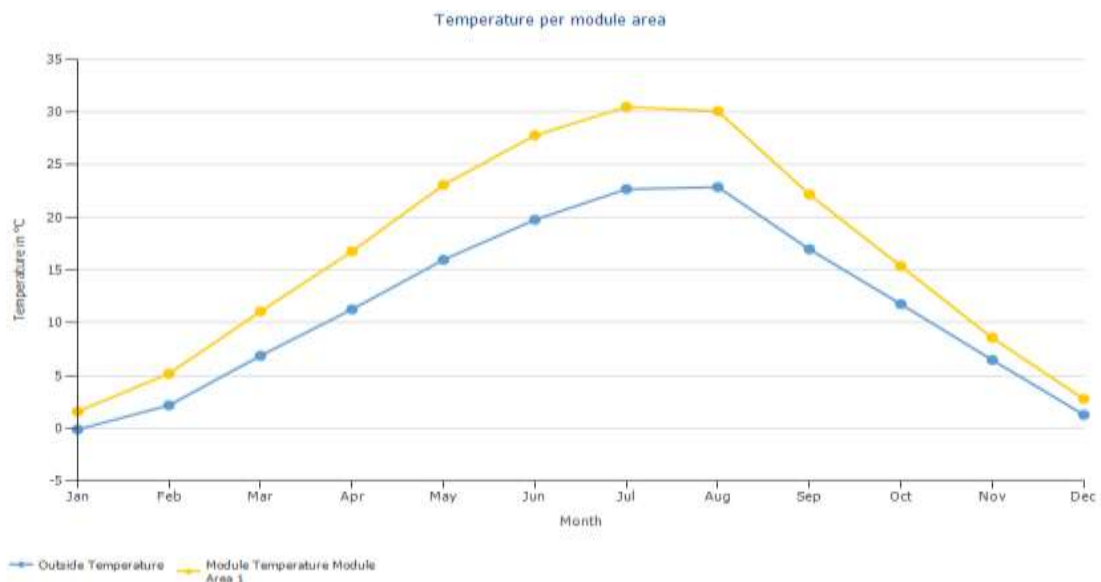
Слика 5. 25. Дневна промена на температурата на околината во текот на месецот (јуни)

Дијаграмот на слика 5.26 ја прикажува годишната промена на средната надворешна температура. Надворешната температура варира од ден на ден и секако од сезона до сезона. Највисоките температури вообичаено се случуваат во текот на летните месеци, а најниските во зимските месеци. Како што може да се види од дијаграмот, највисоката температура на околината е постигната во месец јули со 23 °C, додека најниската е во текот на јануари со -1 °C.



Слика 5. 26. Годишна промена на средната температура на околината

Дијаграмот на слика 5.27 ја прикажува годишната промена на надворешната температура и температурата на површината на модулот.

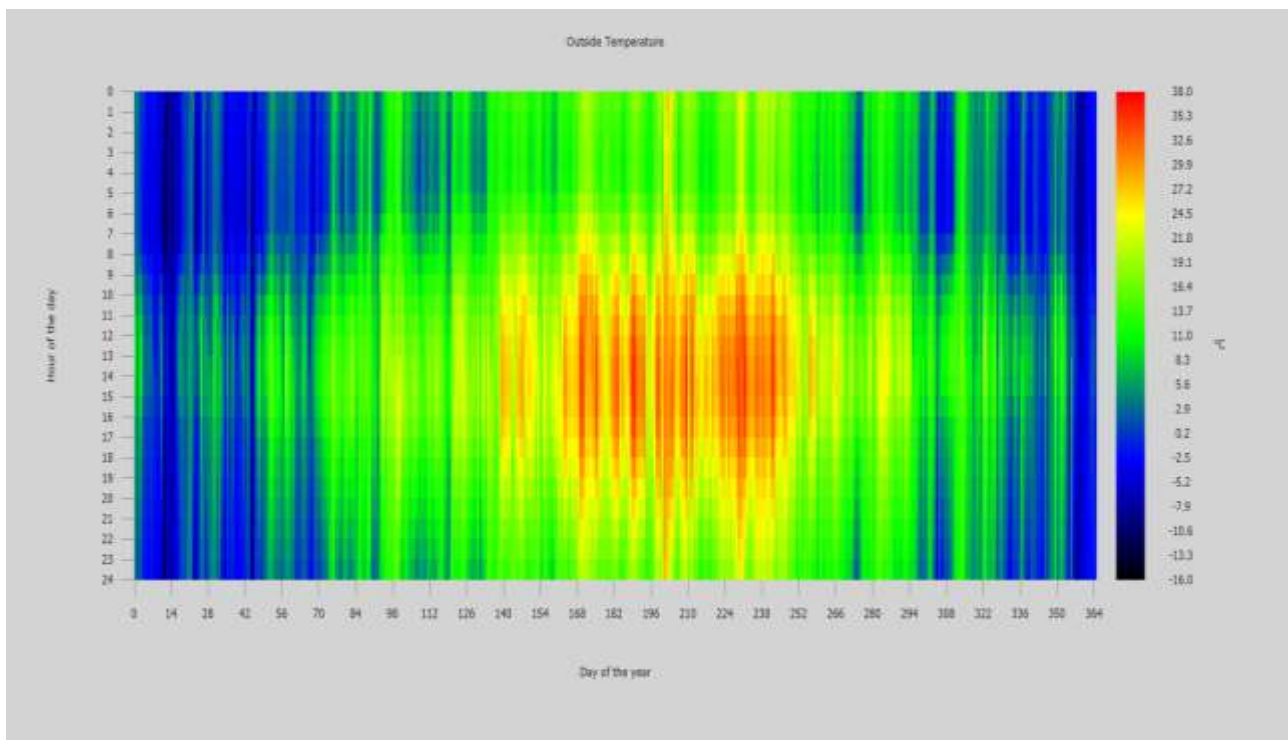


Слика 5. 27. Промена на температурата на околината и температурата на површина на модулот

Од дијаграмот можеме да видиме дека температурата на површината на модулот има сличен тренд на промена како и температурата на околината, но се разликува од неа

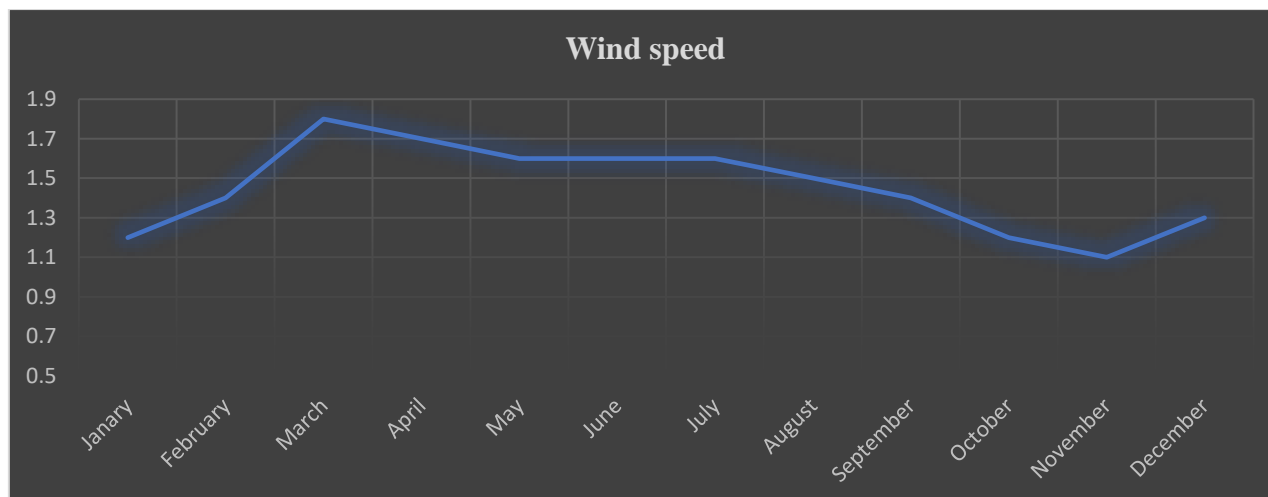
по вредност. Оваа температурна разлика достигнува и повеќе од 10 °C во најтоплите месеци од годината. Во суштина, поради прилично потемната боја на модулите, тие ја задржуваат во голема мера дозрачената топлината, што влијае за подигање на температурата на нивната површина. Мора да се нагласи дека покачената температура негативно се одразува врз перформансите на модулот.

Со графичкиот приказ на слика 5.28 се претставени часови во текот на годината со различни температури. Како што може да се види од дијаграмот, како што се очекува, температурите се ниски во студените зимски месеци, во поголемиот дел од годината имаме просечни температури кои се над 20 °C, а во летните месеци многу повисоки температури. Од сликата може да се види дека максималната температура постигната во текот на годината е над 38 °C.



Слика 5. 28. Часови во текот на годината со различни амбиентни температури

Дијаграмот на слика 5.29 ја прикажува годишната промена на брзината на ветерот. Како и сончевото зрачење, како и температурата на околината, брзината на ветерот е важен фактор кој влијае на ефикасноста и перформансите на ФВ системот и што мора да се земе предвид. Од сликата се гледа дека најголемата брзина на ветерот е во студените зимски месеци и има поголема флукуација во тој период. Наспроти, во летните месеци брзината на ветерот е помала и има помали флукуации. Од дијаграмот се гледа дека најголемата брзина на ветерот се постигнува во текот на март со 1,8 m/s, додека најмала е во ноември со 1,1 m/s.

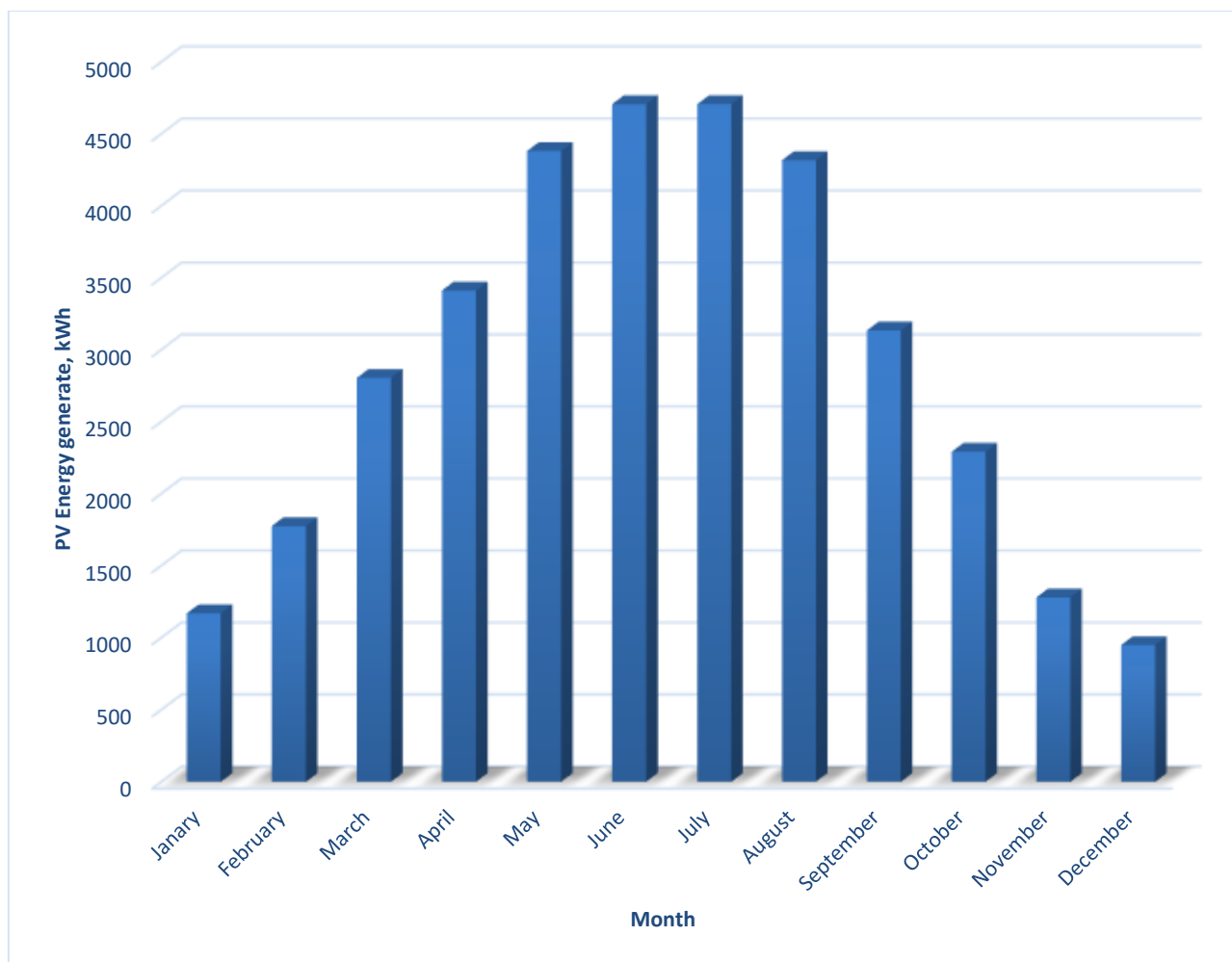


Слика 5. 29. Промена на просечната брзина на ветерот во текот на годината

5.2. Енергетски карактеристики на фотоволтаичниот систем

Системот што е опишан погоре и што претставува предмет на анализа во овој докторски труд се користи за потребите на мала фабрика за одредени производни процеси. Системот е составен од вкупно 88 монокристални фотоволтаични модули кои се интегрирани на покривната конструкција од зградата. Нивната проектирана моќност е $27,28 \text{ kW}_p$ за чие постигнување се формирани 4 низи од 22 панели. Системот е приклучен на енергетската мрежа, така што кога фабричкиот објект има потреба од дополнителна енергија таа се зема од мрежата, додека кога имаме вишок произведена енергија од потребите, таа се внесува во мрежата. Инвертер со капацитет од 25 kW се користи за претворање на енергијата од еднонасочна во наизменична струја.

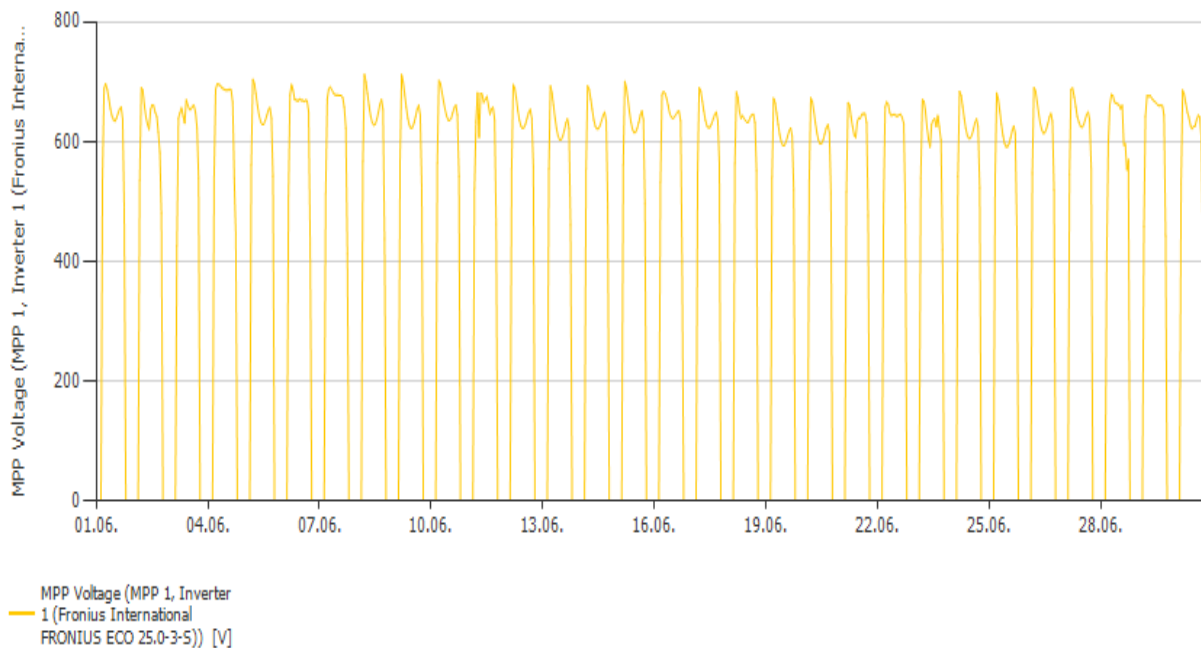
Презентираните резултати се од реалните мерења на перформансите на системот како и од симулациите направени со премиум софтверот PV*SOL премиум. Измерените реални податоци го опфаќаат периодот јули 2021 година до јуни 2022 година. Дијаграмот на слика 5.30 ја прикажува годишната енергија генерирана од фотонапонскиот систем, според симулациите направени со примена на премиум софтверот PV*SOL премиум.



Слика 5. 30. Генерирана енергија од PV системот во одделни месеци

Од симулацијата направена со примена на софтверскиот пакет, се предвидува поголемо производство на енергија за периодот во месеците јуни, јули и август. Месец со најголем производствен потенцијал е јуни со производство од 4706 kWh, додека во останатите месеци се намалува и најниската вредност ја достигна во декември, со 949,5 kWh.

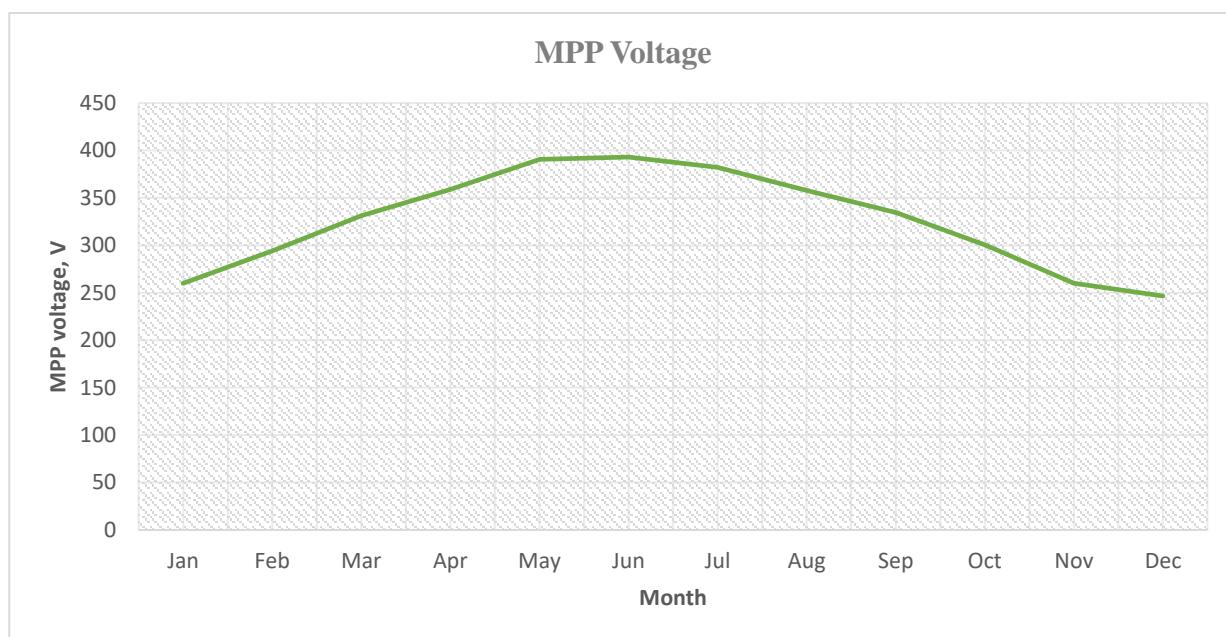
Дијаграмот на слика 5.31 ги прикажува вредностите на месечниот напон во точката на максималната моќност (максимална точка на моќност - MPP) кој може да се достигне во текот на месец јуни.



Слика 5. 31. Напон во точката на максималната моќност (MPP) во текот на еден месец

Во различни денови од месец јуни се постигнуваат различни вредности на MPP напонот. Целиот месец се карактеризира со висок потенцијал, но како што може да се види од сликата, напонот што се постигнува за секој ден во текот на овој месец е речиси ист и изнесува околу 700 V.

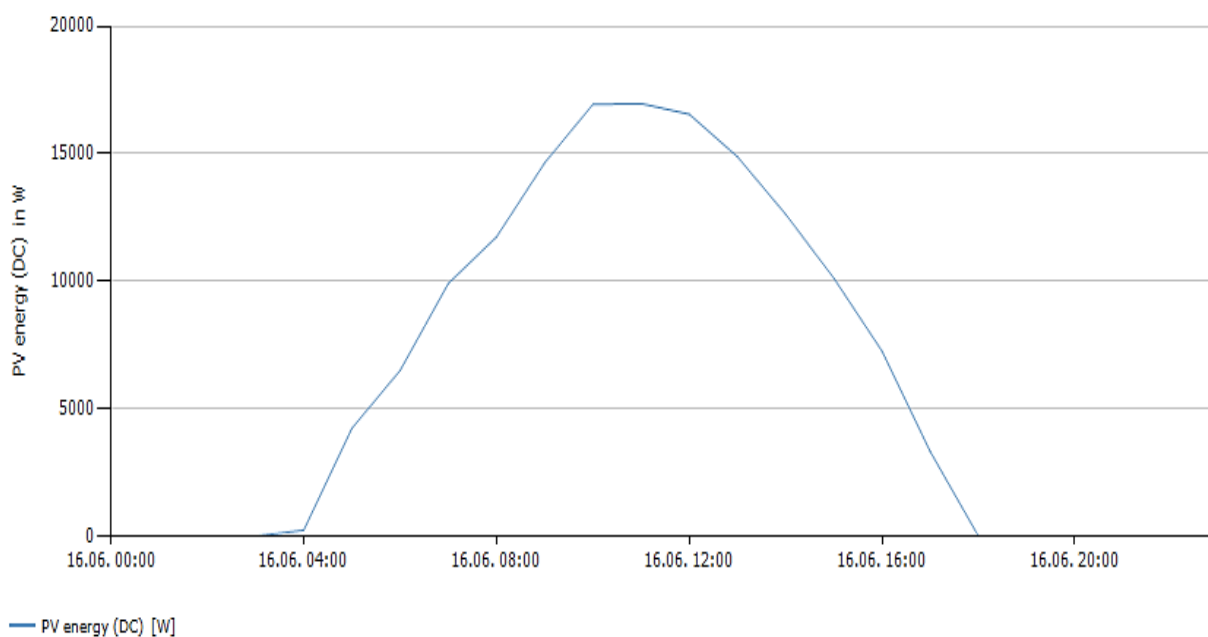
На дијаграмот на слика 5.32 е претставена промената на средната вредност на MPP напон во текот на една година.



Слика 5. 32. Промена на MPP напонот во текот на годината

Вредноста на MPP напонот во зимската сезона е помала, додека очигледно е поголема во летната сезона. Месеците со најголемо сончево зрачење имаат и најголем енергетски потенцијал и, следствено, најголем MPP напон. Најголемиот напон произведен во текот на годината е во август со 400 V, а најмал во декември со 250 V.

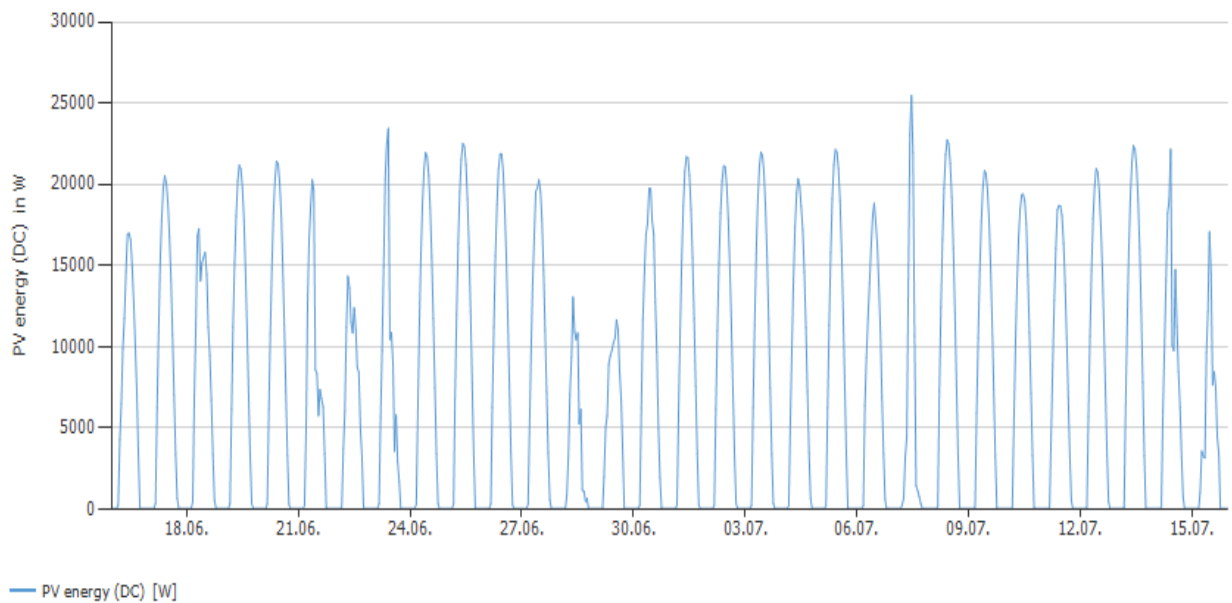
Дијаграмот на слика 5.33 го прикажува дневното производство на електрична енергија како еднонасочна (DC) струја од системот.



Слика 5. 33. Генерирана енергија (DC) во текот на еден ден

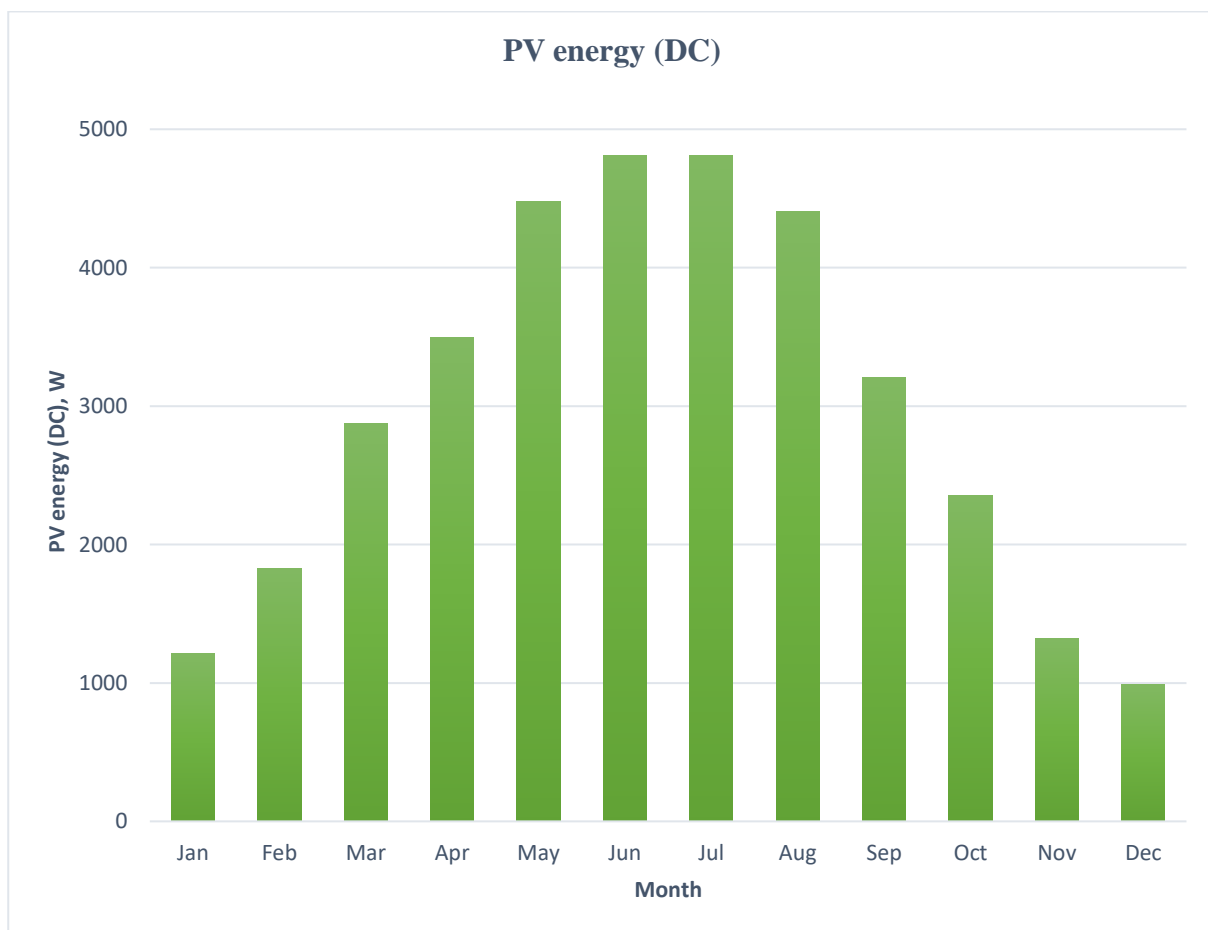
Од сликата може да се види дека максималното производство на енергија како еднонасочна струја (DC) се постигнува во пладневните часови, со оглед на најголемиот интензитет на дозрачена енергија во ова време. DC енергијата генерирана во текот на денот достигнува максимум над 1500 W.

Дијаграмот на слика 5.34 ја прикажува дневната промена на DC енергија генерирана во текот на јуни. Во зависност од атмосферските (метеоролошките) услови во текот на месецот што се разгледува, се менува и производството на еднонасочна енергија, што може да се види од соодветниот дијаграм. Тоа значи дека покрај нормалните дневни варијации, има денови со значително производство, за разлика од други кои се карактеризираат со намалено производство. Од сликата може да се види дека во текот на овој месец максималната генерирана DC енергија е над 2500 W.



Слика 5. 34. Дневна промена на генерирана DC енергија во текот на еден месец (јуни)

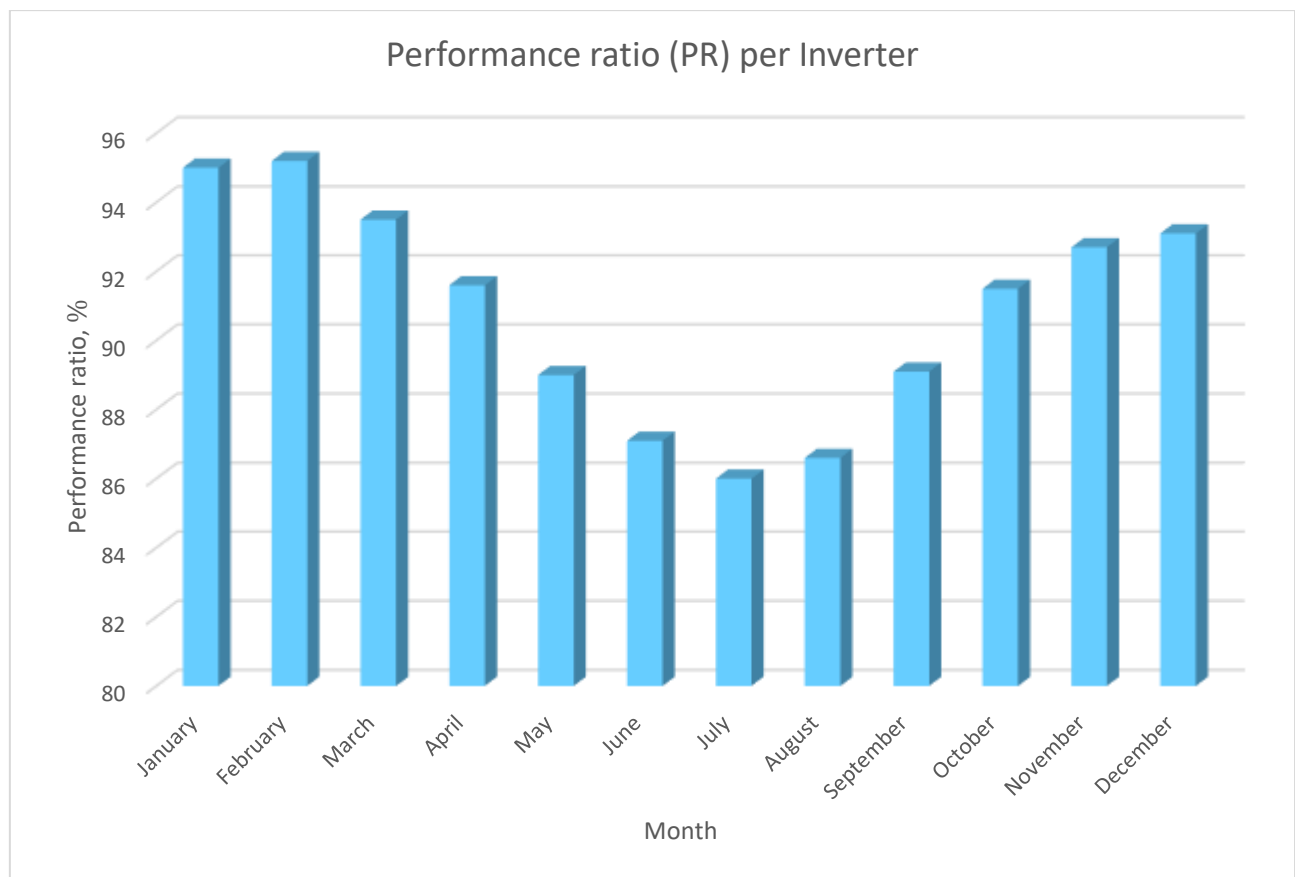
Дијаграмот на слика 5.35 ја прикажува DC енергијата во единица време генерирана во текот на одделни месеци во период од една година.



Слика 5. 35. DC енергија генерирана во текот на одделни месеци во период од една година

Според мерењата, најголемо производство на електрична енергија како еднонасочна струја е забележано во периодот од мај до август. Во мај производството достигнува 4482,6 W, во јуни тоа е 4815,1 W, во јули 4812,9 W, а во август изнесува 4411,6 W, додека месецот со најмалку произведена DC енергија е декември 989,13 W.

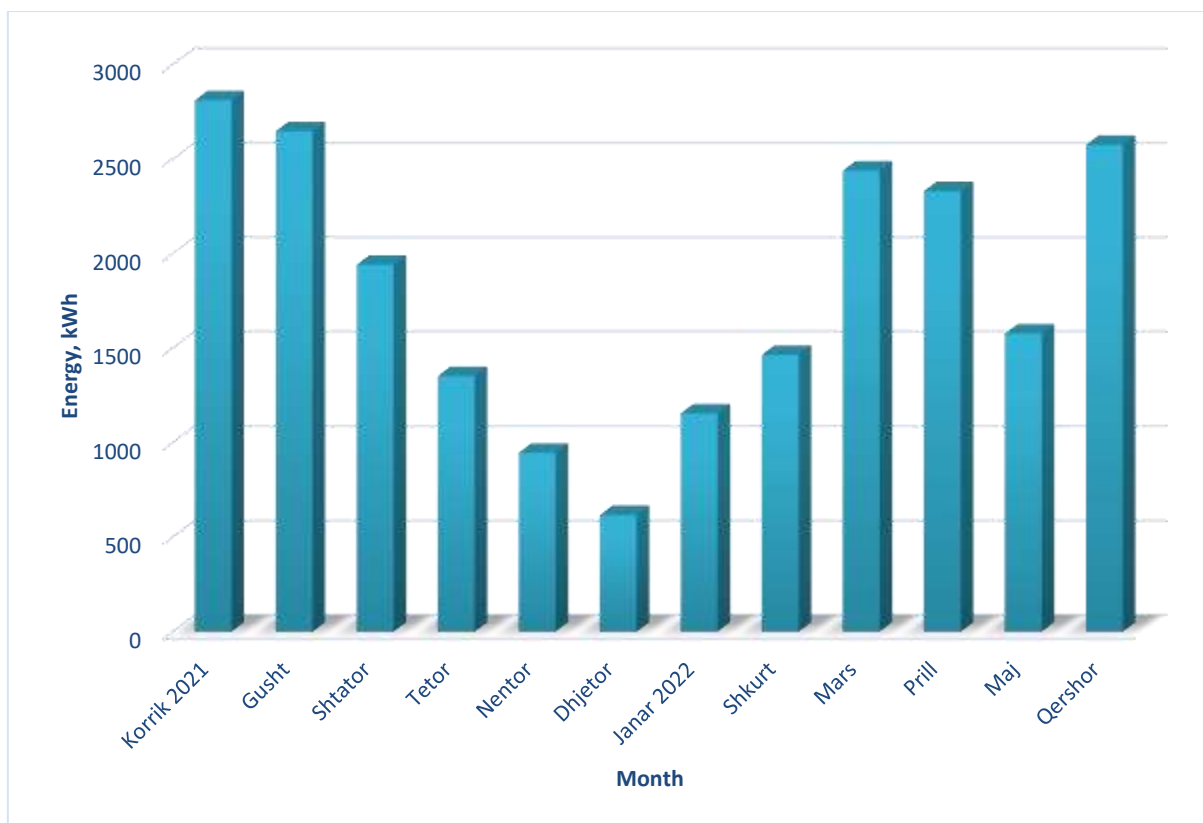
Дијаграмот на слика 5.36 го прикажува односот на перформанси (performance ratio - PR) по инвертер.



Слика 5. 36. Однос на перформанси (сооднос на перформанси - ПР) по инвертер

Инверторот ја претвора DC енергијата произведена од фотоволтаичниот систем во употреблива наизменична енергија. Вистинските перформанси на инвертерот се многу важни за да се минимизираат загубите на енергија. Од дијаграмот (сл. 5.36) може да се види дека инверторот работи со коефициент на перформанси над 90 % поголемиот дел од времето.

Понатаму, во тезата ќе бидат презентирани податоците од реалните мерења во текот на годината на изведба на системот. Дијаграмот на слика 5.37 ја прикажува енергија произведена од ФВ системот на годишно ниво.



Слика 5. 37. Енергија произведена од ФВ системот во текот на една година изразена преку производството во одделни месеци

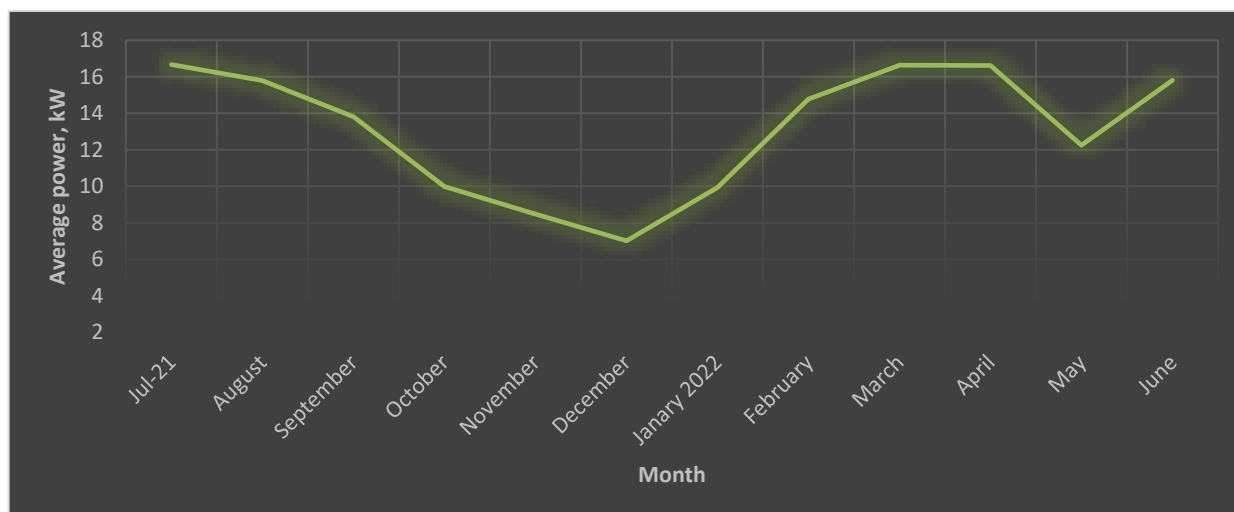
Од дијаграмот се гледа дека најголемо производство има во текот на летните месеци, при што во јули 2021 година производството на енергија од системот изнесувало 2811,86 kWh, во август 2648,04 kWh, додека во јуни 2022 година било 2576,32 kWh. Најмалку произведена енергија има во месец декември со вкупно производство од 617,01 kWh.

Дијаграмот на слика 5.38 го прикажува финалниот енергетски принос (издашност), т.е. вкупната енергија како наизменична (AC) струја произведена во одреден временски период сведена на (поделена со) инсталираната номинална моќност. Очекувано, крајниот принос во текот на летните месеци - јуни, јули и август е поголем во однос на другите периоди од годината. Во јуни достигнува вредност од 94,44 kWh/kW_p, во јули 103,07 kWh/kW_p, додека во август е 97,07 kWh/kW_p. Најниска вредност на крајниот принос се постигнува во декември, со 22,62 kWh/kW_p. Најголемо производство е остварено во текот на јули.



Слика 5. 38. Финален енергетски принос (издашност) по месеци во текот на една година

Дијаграмот на слика 5.39 ја прикажува промената на просечната моќност што се постигнува од системот во период од една година.

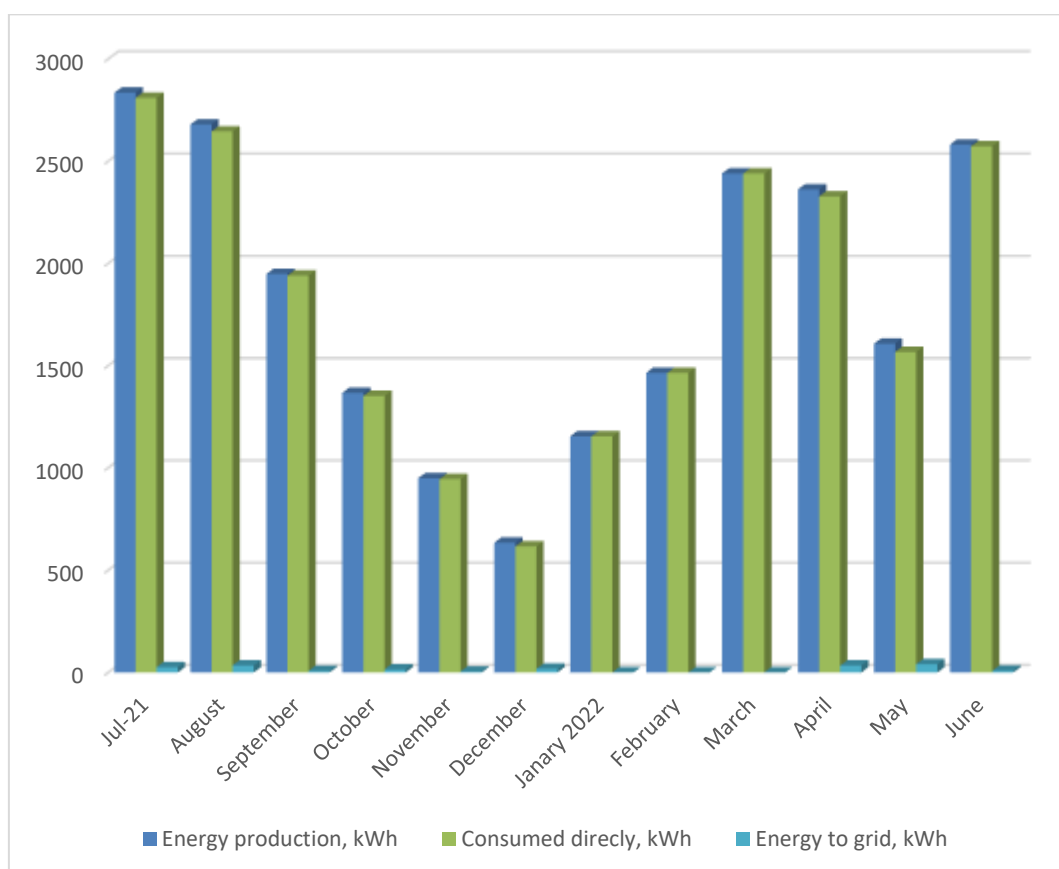


Слика 5. 39. Промена на просечната моќност на системот во период од една година

Гледајќи го производството во текот на целата година, просечната моќност произведена во месеците јуни, јули и август е повисока отколку во другите месеци, но високи вредности има и во втората половина на март и првата половина на април. Просечната моќност добиена во јуни е 15,81 kW, во јули 16,66 kW, додека во август достигнува вредност од 15,79 kW. Најниски вредности се постигнати во декември со 7,07 kW. На овој начин можеме да заклучиме дека месец со најголема просечна генерирана моќност е месец јули.

5.3. Енергија кон мрежата

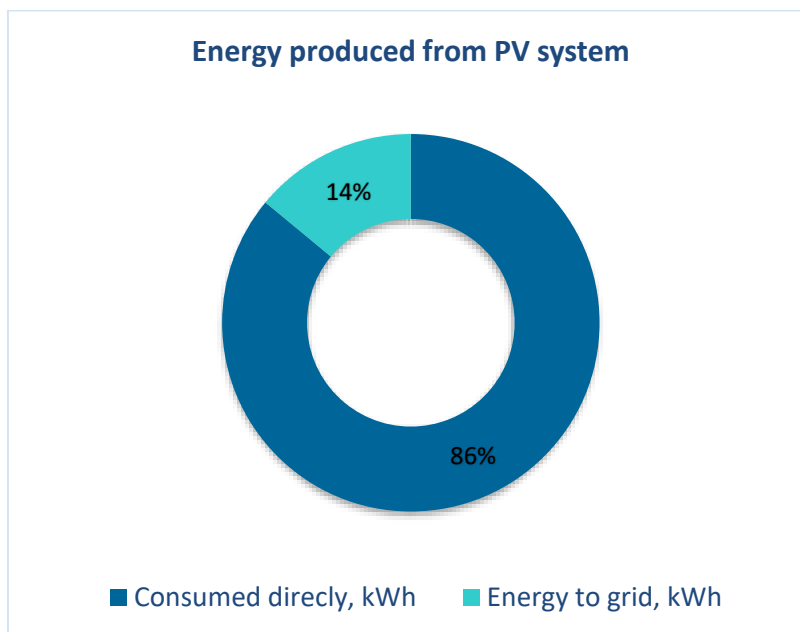
Енергија до мрежата ја претставува количината на енергија што се внесува во мрежата за пренос и дистрибуција на електрична енергија (понатаму едноставно наречена „мрежа“) од вкупната количина на енергија произведена од PV системот. Оваа количина на енергија се добива земајќи го предвид производството на енергија од PV системот, директната потрошувачка на фабриката за покривање на сопствените потреби, а останатиот дел потоа се внесува во мрежата. На дијаграмот на слика 5.40 е прикажано производството на енергија од фотонапонскиот систем, неговата директна потрошувачка во објектот и количината на енергија внесена во мрежата.



Слика 5. 40. Производство на енергија, директна потрошувачка и енергија испорачана на мрежата

Месеците во кои е постигнато најголемо производство од фотонапонскиот систем се јуни, јули и август, поради поинтензивното сончево зрачење. Во јуни производството било 2580,71 kWh, во јули 2835,2 kWh, додека во август 2679,66 kWh. Директната потрошувачка на произведена енергија во објектот за месец јуни е 2572,34 kWh, во месец јули 2809,12 kWh, додека во август изнесувала 2645,5 kWh. Притоа енергијата предадена во мрежата беше поголема за месеците април и мај. Во месец април, испорачаната енергија во мрежата беше 34,04 kWh, додека во мај беше 40,98 kWh.

На дијаграмот на слика 5.41 е претставен процентот на искористеност на енергијата произведена од PV системот за сопствени потреби на индустрискиот субјект.

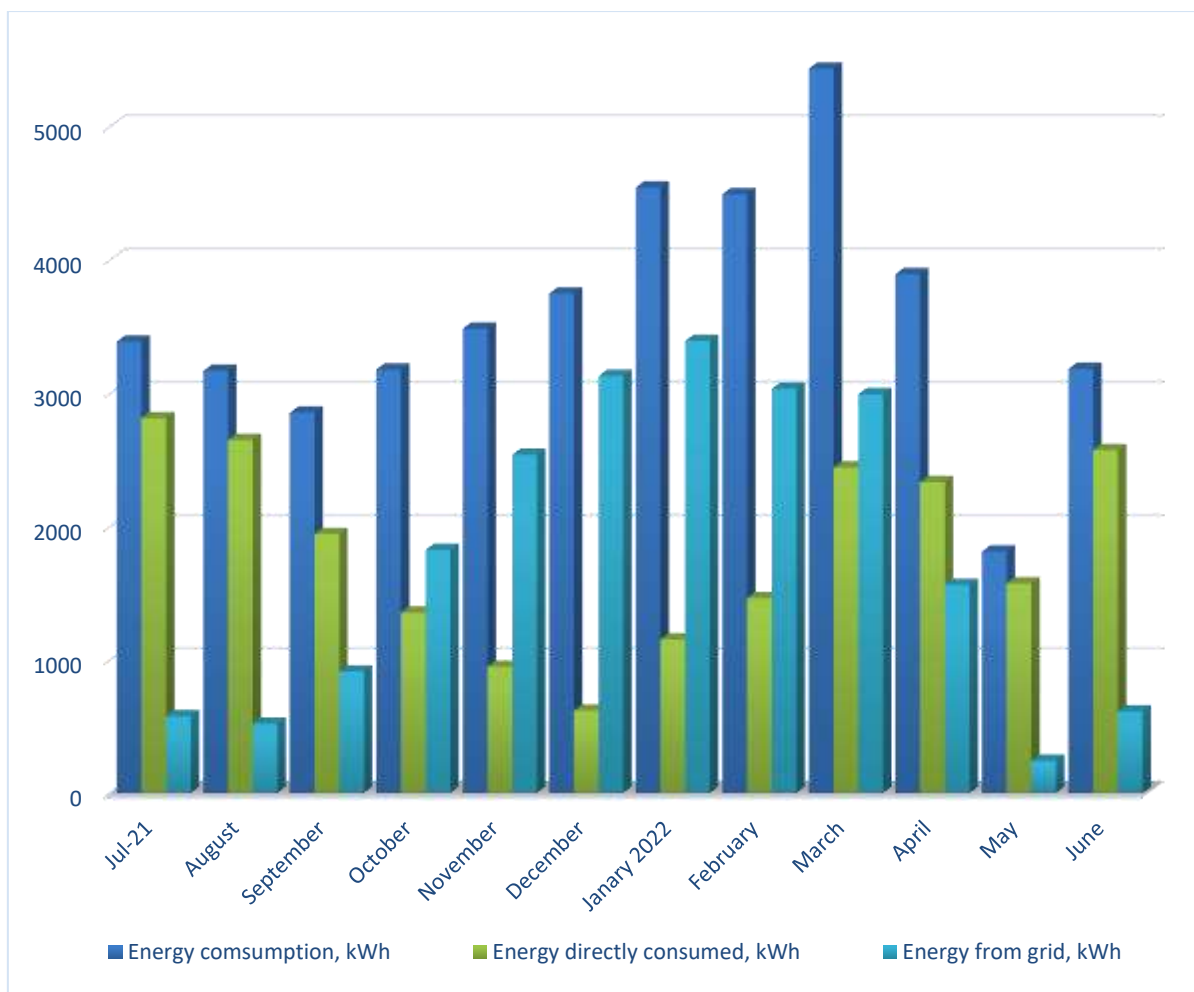


Слика 5. 41. Процент на искористена енергија во самиот објект произведена од фотоволтаичниот систем

Енергијата произведена од фотоволтаичниот систем има соодветен опсег на намени, па како што се гледа од приложениот дијаграм, за анализираната година 86% од генерираната енергија се користи директно за потребите на фабриката, додека само 14% од неа се внесува во електричната мрежа.

5.4. Енергија од мрежата

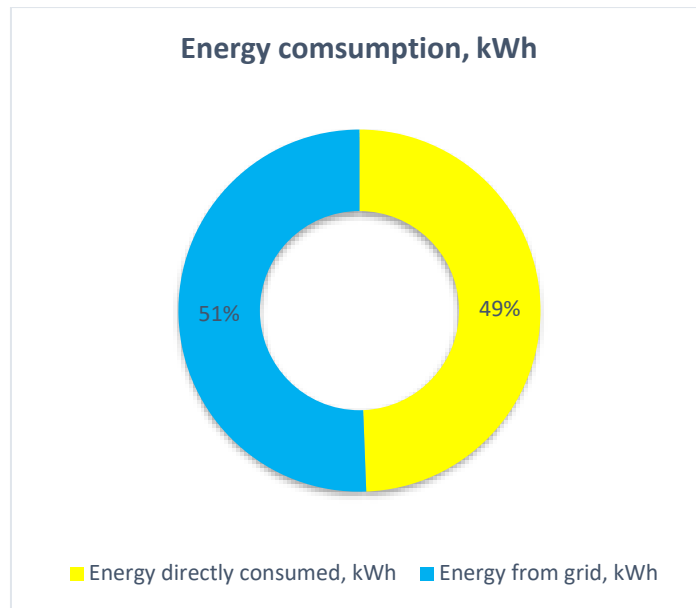
Со сопственото производство на електрична енергија од PV системот се заштедуваат финансиски средства за потребната енергија која инаку би морало да се земе од електричната мрежа за да се покријат енергетските барања на фабричкиот објект. Меѓутоа, потребите на производството, а и инсталираниот капацитет на системот се такви што во одредени околности потрошувачката не може во целост да се покрие со производството на PV системот. Дијаграмот на слика 5.42 ги прикажува енергетските барања на фабриката, енергијата добиена од производството на PV системот, како и енергијата што се презема од мрежата.



Слика 5. 42. Вкупна потрошувачка на енергија, енергија директно потрошена од производството на ФВ систем и енергија од мрежата

Најголема потрошувачка на енергија од фабриката е забележана во месеците јануари, февруари и март. Притоа, во јануари потрошувачката на енергија била 4540 kWh, во февруари 4490 kWh, додека во март таа изнесувала 5430 kWh. Директната потрошувачка на произведена енергија со PV системот за јуни е 2572,34 kWh, во јули 2809,12 kWh, додека во август достигнала 2645,5 kWh. Од друга страна, енергијата преземена од дистрибутивната мрежа беше најголема во текот на месеците декември, јануари и февруари, што се должи на фактот дека во тој период производството на фотонапонскиот систем е најмало. Во декември оваа енергија изнесуваше 3128,35 kWh, во јануари 3390 kWh, додека во февруари 3030 kWh.

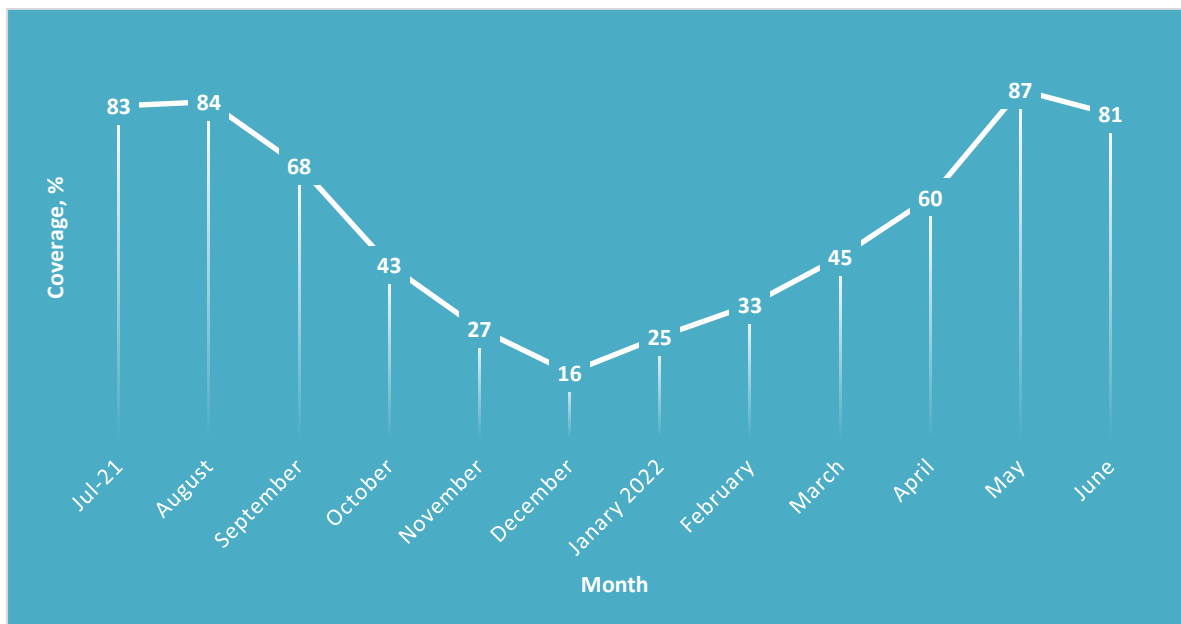
Со дијаграмот на слика 5.43 е прикажана покриеноста на потребите за енергија на фабриката од страна на фотонапонскиот систем како и од електричната мрежа во вкупната потрошувачка на енергија.



Слика 5. 43. Покриеност на потребите за енергија на фабриката со PV системот и од електричната мрежа

Од вкупната побарувачка на електрична енергија мерена со мониторинг системот во фабриката, како што може да се види од слика 5.43, 51,0 % е покриена од електричната мрежа (енергијата од мрежата), додека 49,0 % од енергијата е покриена со енергија производство од ФВ системот. Ова го прави очигледно дека таквите системи се многу поволни за употреба во индустрискиот сектор, особено во случаи на работа во две смени, кога навистина може да се покажат придобивките од сончевата енергија.

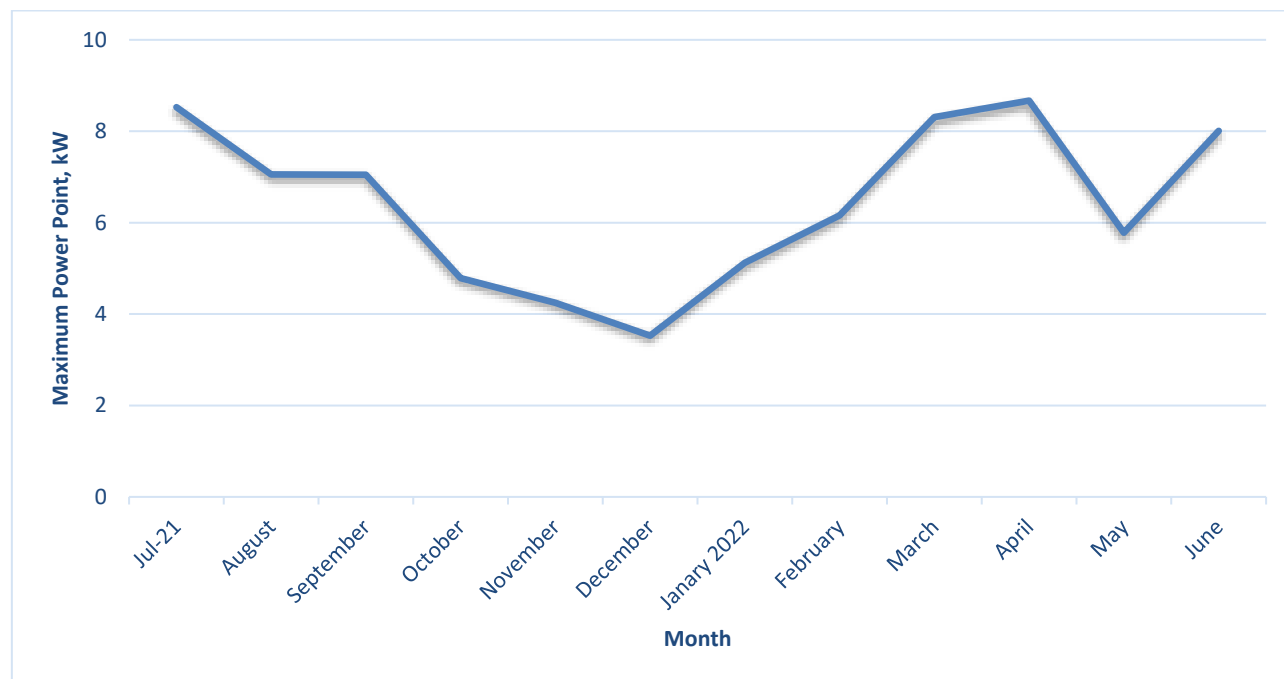
Со дијаграмот на слика 5.44 е даден годишен преглед на енергетската покриеност на побарувачката за енергија од функционирањето на фотоволтаичниот систем.



Слика 5. 44. Покривање на енергетските потреби на фабриката со PV системот

Највисока стапка на покриеност на потребите на фабричкиот објект од страна на фотонапонскиот систем е постигната во периодот на доцна пролет и речиси цело лето - мај, јуни, јули и август. Во мај покриеноста достигнува вредност од 87 %, во јуни 81 %, во јули 83 %, додека во август 84 %, што покажува дека системот покривал најголем дел од потрошувачката на енергија од фабриката. Со тоа се потврдува оправданоста на неговото инсталирање, ефикасноста и квалитетот на неговите перформанси.

На слика 5.45 е прикажана промената на средната вредност на МРР (максимална точка на моќност - МРР) за фотонапонскиот систем по месеци во период од една година.



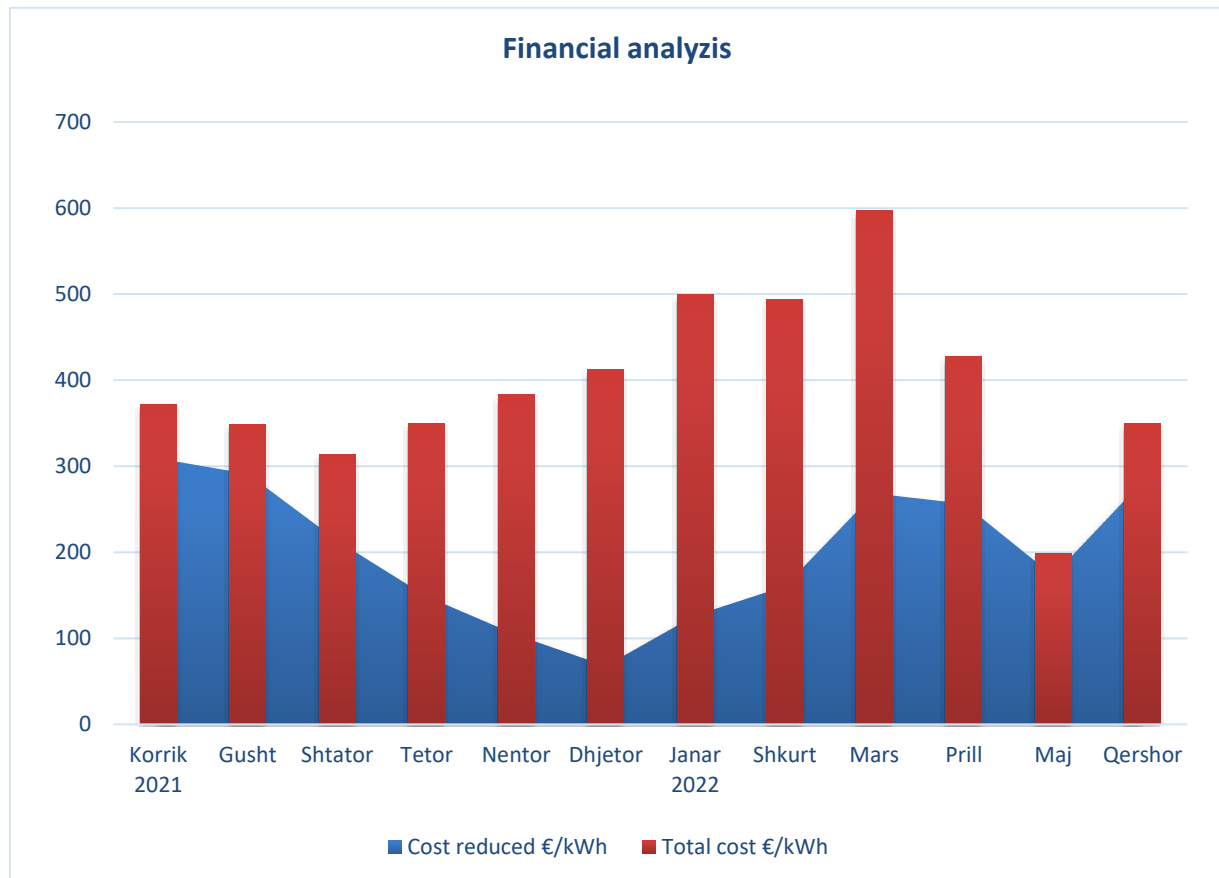
Слика 5. 45. Средна вредност на МРР (максимална точка на моќност- МРР) за фотонапонскиот систем по месеци во период од една година

Точката на максимална моќност (МРР) претставува важен индикатор на перформансите на системот, со што се прикажува моќноста што може да се произведе во различни месеци. Анализата покажа дека месец со највисок просек на МРР е октомври со 8.524 kW, додека месец со најмал МРР е декември со 3.527 kW.

5.5. Финансиска анализа

Во суштина, со користењето на фотонапонските системи, покрај придобивките од нивната употреба од аспект на намалено влијание врз околината, се постигнуваат и одредени финансиски придобивки. Со покривање на дел од побарувачката на електрична енергија од системот се влијае за намалување на трошоците за електрична енергија што се

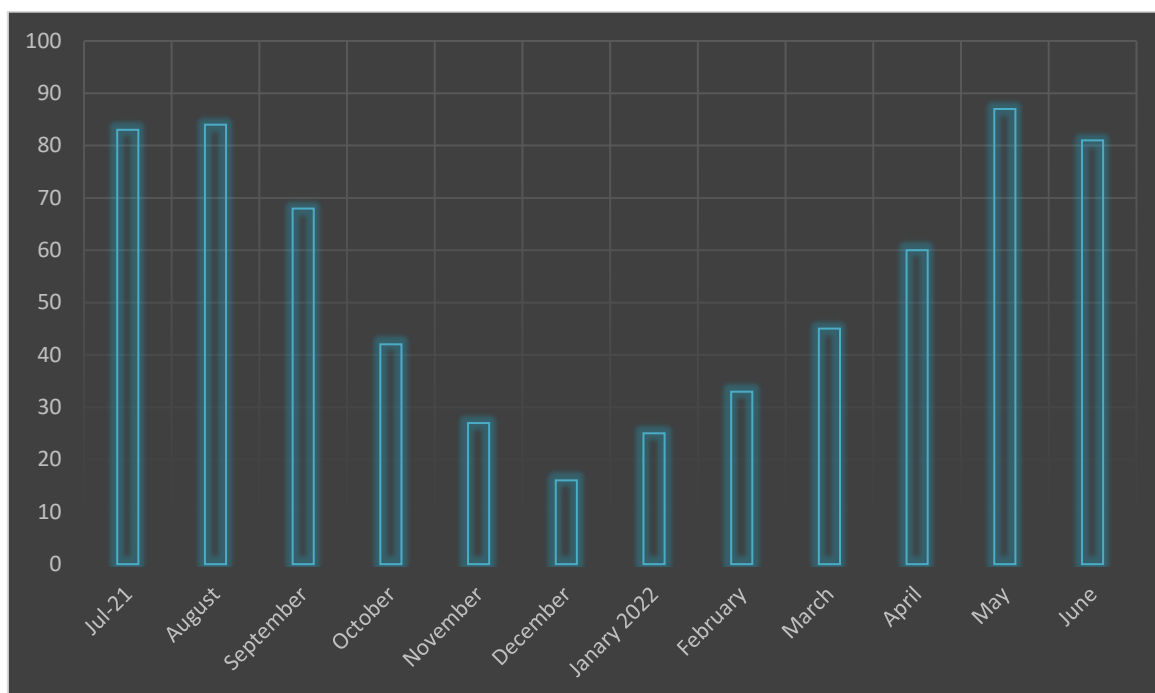
презема од електричната мрежа, што во одредени услови може да биде многу значајно како вкупен износ на заштедени средства. Дијаграмот на слика 5.46 ги прикажува намалените трошоци за енергија како резултат на работата на фотонапонскиот систем, како и вкупните трошоци за енергија по месеци во период од една година.



Слика 5. 46. Вкупни трошоци за енергија и редуцирани трошоци како резултат на работата на PV системот, по месеци за период од една година

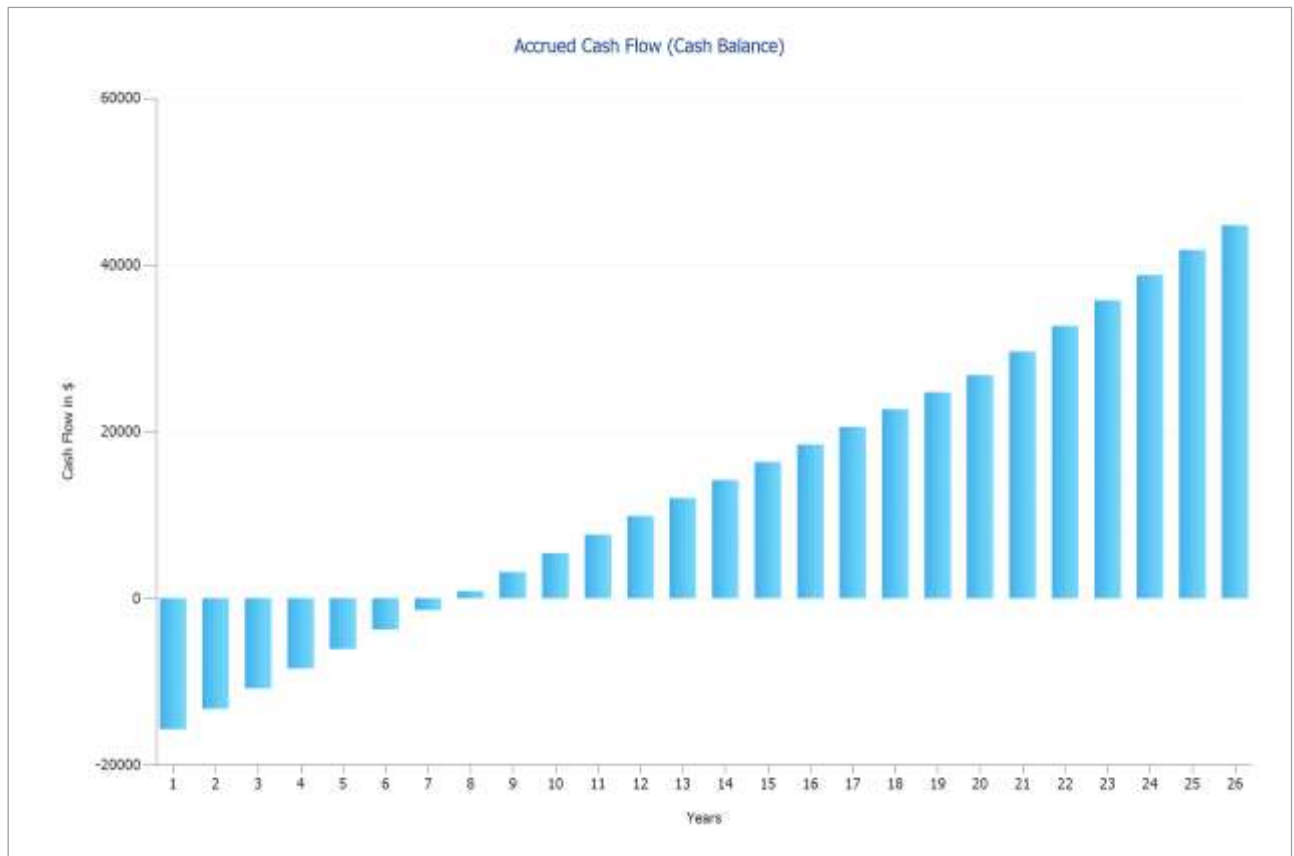
Побарувачката за електрична енергија се менува од месец во месец, во зависност од различни фактори, кои исто така влијаат на варијацијата на цената на енергијата од месец во месец. Како што може да се види, највисокиот вкупен трошок за енергија за индустрискиот субјект во овој случај е во текот на месец март кога изнесува 597,3 €/kWh, додека најмалиот е во текот на мај, со 199,1 €/kWh. Производството на енергија од фотоволтаичниот систем значи дека дел од оваа енергија се покрива со сопствено производство. Во такви услови, најголем пораст на цената на енергијата како што се гледа има во текот на јули со 309 €/kWh, додека најнизок е во текот на месец декември, со 67,8 €/kWh. На овој резултат влијае и тоа што летните месеци се карактеризираат со значително поголемо сончево зрачење и поголемо производство на енергија, додека во зимските месеци има помало зрачење и помало производство на енергија од фотоволтаичниот систем.

Дијаграмот на слика 5.47 го прикажува месечното намалување на трошоците за енергија (во %) на фабриката во текот на годината. Од дијаграмот може да се види дека во текот на август имаме поголем процент на покриеност на трошоците, во износ од 84 %, додека најниската покриеност на трошоците е забележана во текот на декември и изнесува 16 %. Од анализата може да се заклучи дека фотонапонскиот систем влијае секој месец во намалување на значителен дел од трошокот за електрична енергија на фабриката, што е еден од најголемите тековни трошоци на компанијата. Оваа анализа покажува дека инсталацијата и искористувањето на фотоволтаичниот систем од фабриката е исплатливо и има економски причини и економска оправданост.



Слика 5. 47. Намалување на трошоците за електрична енергија (во %) по месеци, во период од една година

Дијаграмот на слика 5.48 го прикажува текот на инвестициите во фотонапонскиот систем. Презентираниот дијаграм го прикажува целокупниот тек на инвестицијата направена за проектирање, набавка на опрема и инсталирање на ФВ системот. Земајќи ја предвид почетната инвестиција, потоа се прикажува до која година се достигнува ефектот на поврат на инвестицијата и колку години до 25-годишниот век на модулите имаме работа практично со минимални дополнителни трошоци за енергијата што ја добиваме од фотонапонскиот систем.



Слика 5. 48. Тек на инвестицијата

Од сликата може да се види дека меѓу 7,6 години е периодот на амортизација, инвестирањето е направено, а во остатокот од разгледуваниот временски период добиваме само придобивки од системот. Внатрешната стапка на принос (враќање на инвестицијата) во овој случај е 13,40 %.

5.6. Оптимизација на PV системот

Фотонапонскиот систем кој е предмет на анализа и се користи во практичниот дел на оваа дисертација, претставува специфичен дизајн ако се спореди со другите анализирани системи за соларна технологија. Ова е главно затоа што системот е дизајниран без примена на некои од основните правила за дизајнирање системи насочени кон претворање на сончевата енергија во електрична или топлинска енергија. Во таа смисла, при изградбата не е соодветно земено предвид навалувањето на панелите, односно поставувањето на панелите под оптимален агол како и ориентацијата на системот кон југ. Постојат причини за тоа, имено, особеностите на ориентацијата на зградата, карактеристиките и геометријата на покривот итн. Од друга страна, реалните околности создадоа специфични предуслови за справување со инженерските и научните предизвици,

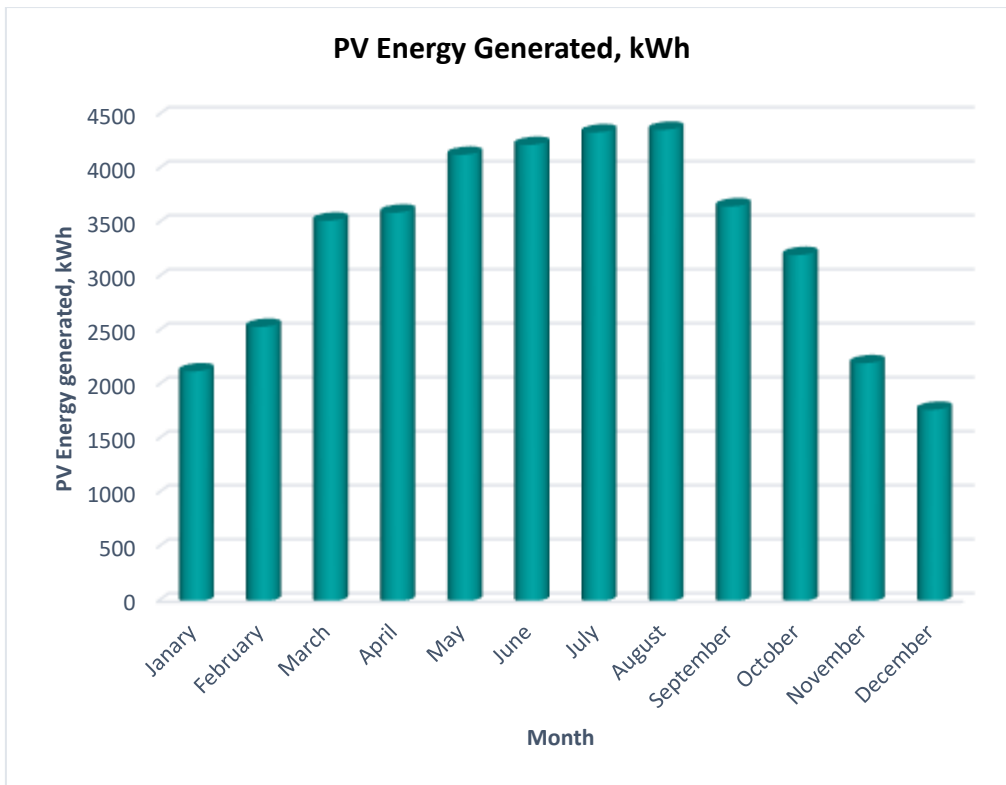
што се рефлектираат во можноста за оптимизирање на системот со воспоставениот математички модел и софтверски алатки.

Оптимизацијата на системот се заснова на претходно презентираниот математички модел, преку анализа на оптималниот агол на поставување на ФВ панелите за оваа локација како и нивната ориентација од југ како важен критериум за оптимизација, енергијата што ја создава фотоволтаичниот систем и процент на зголемување на енергијата произведена по оптимизацијата на системот. Табела 5.1 ги прикажува резултатите во однос на оптималниот агол на поставување на PV панелите.

Табела 5. 1. Месечни и годишни оптимални агли на наклон (β_{opt} во $^{\circ}$) за градот Сува река

Station	Period	Month					
		January	February	March	April	May	June
Suhareka	Monthly	64.6	56.3	42	24	8.9	0.1
$\phi = 42^{\circ}19'$	Annual	36.7	36.7	36.7	36.7	36.7	36.7
Station	Period	Month					
		July	August	September	October	November	December
Suhareka	Monthly	4.6	19	37.1	54.1	63.6	66.2
$\phi = 42^{\circ}19'$	Annual	36.7	36.7	36.7	36.7	36.7	36.7

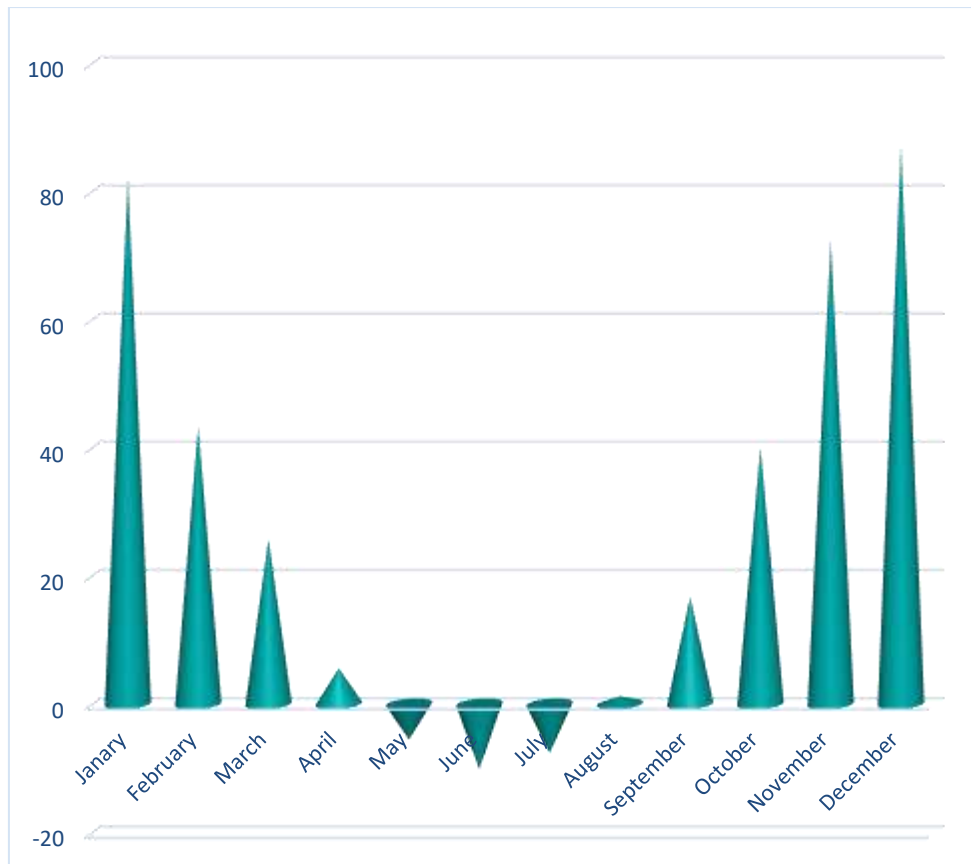
Врз основа на анализа на оптималниот агол на поставување на панелите за секој месец, се пресметува оптималниот агол на поставување на панелите за фиксни системи за локацијата што се разгледува со цел да се добие максималната енергија произведена од PV системот во дадените околности. По оптимизирање на системот, дијаграмот на слика 5.49 ја покажува електричната енергија произведена од системот.



Слика 5. 49. Генерирана енергија од PV системот по оптимизацијата

Од дијаграмот се гледа дека, генерално, има раст на производството на енергија од фотонапонскиот систем. Месец со најголемо производство на енергија е август со 4368,7 kWh, додека месец со најмало производство е декември со 1775,8 kWh.

Дијаграмот на слика 5.50 го прикажува влијанието на оптимизацијата врз произведената енергија во проценти.



Слика 5. 50. Влијанието на оптимизацијата врз произведената енергија (во %)

Како резултат на оптимизацијата, како што беше кажано претходно, може да се забележи општ тренд на промена во производството на енергија од системот. Од претходниот дијаграм може да се види каде има поголем пораст на произведената енергија и каде има одредено намалување на истата. Во зимските месеци се гледа дека имаме зголемување на произведената енергија, додека одредено намалување има во летните месеци. Во декември имаме најголем пораст на производството на енергија по нејзината оптимизација со 87,02 %, додека најголемо намалување со 10,14 % во јуни.

Од оптимизацијата на системот со пресметување на оптималниот агол на поставување на панелите и енергијата што се произведува, може да се забележи зголемување на вкупната генерирана енергија, иако од мај до јули имаме мал пад на производството. Тоа се случува под влијание на високата температура во PV панелот, со што се намалуваат неговите перформанси и се генерира помала електрична енергија. Се гледа дека со оптимизацијата се постигнува подобрување на системот како и зголемување на енергијата генерирана од PV системот. Производството на електрична енергија од PV системот се зголемува за 500 kWh електрична енергија.

5.7. Локални и глобални аспекти на влијание врз околината

Употребата на сончевата енергија, особено фотоволтаичните системи за производство на енергија има минимално локално влијание врз квалитетот на воздухот и климатските промени во споредба со традиционалните методи за производство на енергија. Ова значи дека со основната директна енергетска конверзија што се случува во рамките на PV ќелиите, локалното влијание врз животната средина е практично незначително во повеќето случаи. Покрај тоа, употребата на оваа технологија помага делумно да се заменат енергетските технологии засновани врз фосилни горива и на тој начин се намалува негативното влијание предизвикано од користењето на фосилните енергетски ресурси. Сепак, постојат влијанија врз животната средина од употребата на PV системи кои сè уште не се целосно елаборирани. Тие се поврзани со целокупната проценка на животниот циклус (LCA), употребата на различни специфични материјали и начинот на кој тие ќе бидат деактивирани по завршувањето на нивниот технички животен век.

Сепак, PV системите имаат нула емисии на јаглерод диоксид, метан, сулфурни оксиди и азотни оксиди (CO₂, CH₄, SO_x, NO_x, соодветно) за време на работата со незначителни ефекти врз загадувањето на воздухот и глобалното затоплување. Следната табела (таб. 5.2) го прикажува расчленувањето на емисиите на стакленички гасови во рамките на животниот циклус за PV системите.

Табела 5.2. Расчленување на емисиите на гасови од стакленички животниот циклус за соларни PV (% од вкупниот број)

Енергетски ресурс	Изработка на опремата	Изведба на постројката	Работа на постројката
PV систем	71.3 %	19 %	13 %

Како што може да се види од податоците во табелата, при користењето на соларните системи, емисиите на штетни гасови во поголеми количини се јавуваат при процесот на нивното производство, додека по изградбата на PV системите и во текот на работата нивното влијание врз животната средина во принцип е помало отколку за време на употреба на други обновливи извори на енергија. Една од предностите на користењето на PV системите е намалувањето на ослободувањето на јаглерод диоксид во животната средина при производството на енергија, што ги прави погодни од аспект на потенцијалното глобално влијание врз околината.

Следната табела ја прикажува емисијата на стакленички гасови за неколку типови на PV модули [78].

Табела 5. 3. Емисија на стакленички гасови од PV панели

	Mono-Si	CdTe	CIS
SO_x (mg/kWh)	65	50	105
NO_x (mg/kWh)	45	25	35
CO₂ (g/kWh)	28	16	69

Табелата покажува во колкав обем фотонапонските технологии коишто се вообичаено во употреба влијаат врз намалувањето на емисијата на гасови со локално и потенцијално глобално влијание врз животната средина.

Во продолжение ќе биде претставена пресметка на еквивалентната емисија на стакленички гасови, како емисија на јаглерод диоксид (CO₂) ослободен при производство на енергија генерирана од фотонапонскиот систем.

$$22026.36 \text{ kWh} \cdot 0.149 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} = 3281.92 \text{ kgCO}_2$$

Доколку истото количество енергија би се произвело со класични технологии базирани врз фосилни извори на енергија, практично од јаглен, бидејќи енергетскиот систем во Косово се заснова на производство на енергија од јаглен, тогаш соодветната еквивалентна емисија на стакленички гасови би изнесувала:

$$22026.36 \text{ kWh} \cdot 1.28 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} = 28193.74 \text{ kgCO}_2$$

Од презентираната анализа на намалувањето на штетните емисии и јаглерод диоксид во животната средина, може да се види дека има значително, дури и енормно намалување на ослободувањето на загадувачи и јаглерод диоксид со производство на енергија од фотоволтаичниот систем за потребите на индустриски објект. Процентот на намалување е над 90 %, што ги прави овие системи поволни за производство на енергија и пријателски настроени кон животната средина.

6. Заклучоци и препораки за понатамошна работа

6.1. Заклучоци

Во оваа дисертација е претставено моделирање и оптимизација на фотонапонски систем наменет за работа во склоп на мало индустриско претпријатие. Реализирана е енергетската анализа на PV системот користејќи го премиум софтверот PV*SOL и реални мерни податоци од фотонапонска постројка со капацитет од 27,28 kW инсталирана на покривот од фабрички објект.

Во првото поглавје е даден вовед во истражуваната проблематика, со кус осврт кон актуелната состојба во енергетскиот сектор, со цел да се укаже на значењето на истражувањата во оваа област, особено во насока на подобрување на ефикасноста на технологиите и системите засновани врз обновливи енергетски извори и образложени се хипотезата и целите на предметното истражување. Во второто поглавје, се претставени теоретските основи во областа на истражувањето, вклучувајќи ги значењето на сончевата енергија, физиката на сончевото зрачење и спектарот на електромагнетно зрачење, направен е преглед на фотонапонски технологии и презентирани се технички карактеристики на фотонапонските ќелии, модули и системи, со осврт кон ефикасноста на модулите и системите, при што се анализирани и други прашања важни од аспект на применливоста. Воедно, направен е литературен преглед на релевантни истражувања. Во третото поглавје е елаборирана методологијата на истражувањето применета во дисертацијата. Во тие рамки е направена елаборација на алатките и процедурите за моделирање и реализација на експерименталниот дел, односно теренските мерења вклучени во трудот. Во четвртото поглавје детално се опишува анализираниот фотонапонски систем што е предмет на анализа во практичниот дел од истражувањето, со неговите компоненти и спецификации. Во петтото поглавје се прикажани резултатите добиени со алатките за моделирање и со мерења во зависност од метеоролошките услови при кои се спроведени практичните анализи, проследени со перформансите на фотонапонскиот систем по час, месец и година. Во шестото поглавје се содржани завршни коментари, заклучоци и насоки за понатамошна истражувачка работа во областа на технологиите за користење на сончевата енергија, што произлегуваат од теоретските и практичните истражувања и анализи. На крајот се прикажани референците користени за реализација на оваа дисертација.

Следени и евалуирани параметри на фотонапонскиот систем се: производство на енергија, вкупен финален принос на енергија, просечна моќност, директна потрошувачка на енергија, енергија предадена на електричната мрежа, енергија преземена од мрежата, покриеност на потребите за енергија фабричкиот објект од работата на ФН системот, економска анализа на системот, оптимизација на системот, како и пресметка и евалуација на неговите перформанси по оптимизацијата. Во текот на 2021 година, фотонапонскиот систем внесе 42.000 kWh електрична енергија во мрежата. Најголемо количество

произведена енергија има во текот на јули со 2811,86 kWh. Вкупниот специфичен принос на енергија во текот на 2021 година беше 445,05 kWh/kW_p. Просечната производна моќност во текот на месецот јули била 16,6 kW. Притоа, најголем степен на исполнување на барањата за енергија од фотоволтаичниот систем во однос на потребите на објектот на кој е инсталиран има во месец мај со 87 %. Вкупната енергија на проектираниот систем е 34.939 kWh/годишно, додека годишниот специфичен принос (специфично производство на енергија) изнесува 1.280,39 kWh/kW_p. Највисоките вкупни трошоци за енергија беа во текот на месец март, во износ 597,3 €/kWh, додека најниските во месец мај изнесувале 199,1 €/kWh. Производството на енергија од фотоволтаичниот систем значи дека дел од потребите за енергија на индустрискиот објект се покрива со сопствено производство. Притоа, најголем пораст на трошоците за енергија е забележан во текот на месец јули со 309 €/kWh, додека најнизок е во текот на декември кога изнесува 67,8 €/ kWh. Во текот на август имаме поголем процент на покриеност на трошоците за енергија, во износ од 84 %, додека најмалиот степен на покриеност е во текот на декември и изнесува 16 %. По оптимизирањето на системот, неговите перформанси се менуваат, а со тоа се променети и параметрите на енергетска ефикасност, како и техно-економските и финансиските параметри на системот. Во новите околности месец со најголемо производство на енергија е август со 4368,7 kWh, додека најмало производство има во декември, во износ од 1775,8 kWh. Оваа оптимизација влијае во некои месеци да има зголемување на произведената електрична енергија, но во некои месеци доаѓа и до одредено мало намалување на производството. Во декември имаме најголем пораст на производството на енергија по нејзината оптимизација од 87,02 %, додека со најголемо намалување од 10,14 % се карактеризира јуни. Вкупниот годишен пораст од оптимизацијата на фотонапонскиот систем достигнува 500 kWh произведена електрична енергија.

Оваа дисертација може да се користи како модел за слични апликации за други локации. Со оглед на тоа што сончевата енергија претставува достапен, неисцрпен и чист извор на енергија кој може да придонесе за намалување на енергетската зависност, може значително да придонесе за националниот енергетски биланс и може да ја ублажи енергетската криза поврзана со намалувањето на резервите на фосилни извори на енергија, спроведената студијата претставува иновативен пристап за случајот на Косово бидејќи ФВ системите не се широко застапени, но нивниот број постојано расте. Оваа анализа може да се користи како модел за вршење на други анализи за слични случаи, како и за воспоставување модели за постигнување повисоки перформанси од ФВ системот.

Главните придонеси на истражувањето презентирани во оваа теза може да се сумираат во следново:

- Во тезата се презентира сеопфатен преглед на актуелната состојба на PV системот поврзан во електрична мрежа.

- Во склоп на работата на тезата е развиен и презентиран модел за анализа и оптимизација на работата на фотонапонски системи поврзани на електричната мрежа. Конкретниот систем се разликува од други системи што биле предмет на анализа врз основа на специфичните барања за електрична енергија на индустрискиот објект на кој е инсталиран и атмосферските услови, како и според неговите карактеристики, неговата поставеност и ориентација. Со оглед на тоа дека системот отстапува од правецот на југ како што во принцип е препорачано кога станува збор за дизајнот на фотоволтаичните системи, тој претставува посебни специфичен систем што е од интерес за проучување во однос на неговите енергетски перформанси. Имајќи ги предвид овие карактеристики на системот, разработена е и претставена негова енергетска анализа, со цел да се детерминираат услови за добивање максимална енергија под дадените специфични технички, метеоролошки, финансиско-економски и организациски услови.
- Со презентираниот метод софтверските податоци се користат на ефикасен и интелигентен начин и на тој начин се генерираат сеопфатни резултати кои ги прикажуваат перформансите на системот за цело време на неговото функционирање. Во склоп на методот се користат и реални оперативни податоци за да се има вистински преглед на системот.

За подобрување на перформансите на анализираниот фотонапонски систем, може да се дадат неколку препораки:

- Потребно е да се продолжи со мерење на параметрите на сончевото зрачење што паѓа на модулите (дозрачена енергија или енергија на паднувачко зрачење) и секојдневно следење на другите податоци со цел да се овозможат поверодостојни резултати и продлабочена енергетска и техноекономска анализа.
- Поставување на панелите со оптимален наклон и прилагодување на нивната ориентација.
- Можност за вградување на инвертер со поголема моќност бидејќи постоечкиот инвертер има максимална моќност помала од проектираната моќност на ФВ системот.
- Во контекст на работата на системот за потребите на мал индустриски објект, но и поради поврзаноста на електроенергетската мрежа, неопходно е усогласување и прилагодување на организацијата на работење со цел да се оптимизира покривањето на сопствените потреби во корелација со предадената и преземената енергија кон/од мрежата.

6.2. Насоки за понатамошна истражувачка работа

Глобалниот капацитет за обновлива енергија порасна на најмалку 260 GW во 2020 година, според Меѓународната агенција за обновлива енергија (IRENA), што е исклучително зголемување во споредба со претходните години. Сончевата енергија се зголеми на околу 127 GW, така што користењето на сончевата енергија се смета за многу ветувачко, особено поради намалувањето на трошоците за ФВ системот. Развојот на новите технологии го прави овој сектор уште поатрактивен и со повисоки перформанси. Во тој контекст, искористувањето на сончевата енергија во индустрискиот сектор секојдневно се гледа како многу ветувачко, поради повеќе причини. Индустрискиот сектор, како една од областите што троши големо енергетско учество во енергетските биланси на земјите, бара изнаоѓање решение за намалување на трошоците за потрошената енергија. Фотонапонските системи се сметаат за многу добра можност да се применат на таков начин што голем дел од енергијата во овој сектор да се покрие со сончева енергија. Реализацијата на ова резултира со намалување на трошоците за електричната енергија добиена од електричната мрежа како и со намалување на штетното влијание врз околината од енергетските трансформации.

Од аспект на понатамошни истражувања, особено се интересни апликациите на фотонапонските системи во услови на индустриски претпријатија (компани) кај кои производствениот процес се одвива во една или две смени. Меѓутоа, не е само индустрискиот сектор подрачје на понатамошно ширење на фотонапонските системи, туку и други сектори со објекти за кои е карактеристичен работен режим во дневни услови: училишта, градинки, објекти на локална самоуправа, комерцијални објекти, одредени стопански објекти итн. Во таа насока е неопходно да се спроведат дополнителни истражувања на ефектите и позитивните придобивки од инсталирањето на ФН системи, особено таквите коишто се поврзани на електродистрибутивната мрежа.

- Една исклучително важна насока за понатамошна истражувачка работа е подетална продлабочена техноекономска анализа во контекст на специфичните потреби на индустриски компании и компании во други сектори, кои функционираат во претежно дневни услови (на пример, двосменско работење), потоа кај компании чиј технолошки процес се карактеризира со поголем енергетски интензитет, во континуитет или во одредени периоди, при што особен предизвик би биле компаниите кај кои се јавуваат значителни врвови на побарувачка и потрошувачка на енергија.
- Во контекст на претходното, понатамошни истражувања се препорачуваат во насока на оптимизација на дизајнот (проектирањето) на фотонапонски системи со специфични барања на индустрискиот сектор.

- Од истражувачки аспект, една можна насока за понатамошни анализи претставува проверката и можноста за апликација и споредбени анализи на применетиот пристап кај други системи.
- Користење на воспоставениот модел за спроведување студија за анализа на системски дефекти.
- Анализа на влијанието на алbedo ефектот и снегот врз ефикасноста на фотонапонските системи.
- Проучување на можноста за користење на PVT (фотоволтаично-термални) панели во индустрискиот сектор. Со чие користење би се покриле потребите и од електрична и од топлинска енергија.
- Анализа на максималниот можен степен на искористеност на ФВ системи во индустрискиот сектор. Дополнително, анализа која ќе ја земе предвид промената на вкупната ефикасност и другите параметри за проценка на перформансите со текот на времето.
- Анализа на намалувањето на загадувањето од користењето на сончевата енергија во индустријата и пошироко.

7. Референци

- [1] Klaus Jäger, Olindo Isabella, Arno H.M. Smets, René A.C.M.M. van Swaaij and Miro Zeman. “Solar Energy - Fundamentals, Technology, and Systems”, University of Technology, Book, 2014.
- [2] Alok Kumar Chandrakar. “Energy Resources: Indian Scenario”, Central University of Gujarat, Chapter, 2013.
- [3] <https://rajdhnicollege.ac.in/admin/ckeditor/ckfinder/userfiles/files/Energy%20resource-eng.pdf>, Accessed on 10 August 2022
- [4] Xian-Yong Wei, Zhi-Min Zong, Xing Fan, and Zhan-Ku Li. “Coal-Based Products and Their Uses”, Chapter in book: Coal production and processing technology, 2015.
- [5] Jacob Nelson. “Renewable and Non-Renewable Energy Sources and Their Costs”, The University of Akron, Department of Economics, Senior Project, 2021.
- [6] Hasret Balcioglu, Mohamed EL-Shimy and Kemal Soyer. “Renewable Energy – Background”, Chapter of book, 2017.
- [7] Dario Maradin. “Advantages and Disadvantages of Renewable Energy Sources Utilization”, International Journal of Energy Economics and Policy, pp. 176-183, 2021.
- [8] “Basic Research Needs for Solar Energy Utilization”, Report on the Basic Energy Sciences Workshop on Solar Energy Utilization, Renée M. Nault, Argonne National Laboratory, Book, 2005.
- [9] <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/1746-solar-energy>, Accessed on 24 July 2022.
- [10] <http://solarenergyfactsblog.com/solar-spectrum/>, Accessed on 24 July 2022.
- [11] Li Jingcheng. “Application of Solar Energy, Bachelor thesis”, Saimaa University of Applied Science, Saimaa University of Applied Sciences, Mechanical Engineering, Bachelor thesis, 2010.
- [12] Andjela B Stanojevic. “Application of photovoltaic technology in the use of solar energy”, Environmental Science and Toxicology, pp. 1-5, 2021.
- [13] Andrej Čotar, “Photovoltaic Systems”, REA Kvarner d.o.o, 2012.
- [14] Shuvajit Roy, Raisa Sadat Sharmin and Tajkia Ferdous. “Performance Analysis of Mono-Crystalline and Poly-Crystalline Silicon Solar Cells under Different Climatic Conditions: A Comparative Study”, Brac University, Department of Electrical and Electronic Engineering, Bachelor Thesis, 2014.
- [15] <https://www.amazon.com/VIKOCCELL10Pcs156MMMonocrystallineSilicon/dp/B06X9JS922>, Accessted on 07 August 2022.
- [16] <https://www.indiamart.com/proddetail/polycrystalline-solar-cell-10122639148.html>, Accessed on 07 August 2022.
- [17] Mohamed El-Ahmar, Abou-Hashema Ahmed and Ashraf Mohamed Hemeida. “Mathematical modeling of photovoltaic module and evaluate the effect of various parameters on its performance”, 2016 Eighteenth International Middle East Power Systems Conference, 2016.

- [18] Akram Abdulameer Abbood Al-Khazzar and Emad Talib Hashim. “Temperature Effect on Power Drop of Different Photovoltaic Modules”, *Journal of Engineering*, pp. 1-15, 2016.
- [19] Walid Omran. “Performance Analysis of Grid-Connected Photovoltaic Systems”, University of Waterloo, Department of Electrical and Computer Engineering, PhD thesis, 2010.
- [20] Ripon Mondal. “A Comparative Analysis of the Performance of Mono and Multi Crystalline PV Modules in Subtropical Conditions”, Dhaka University of Engineering and Technology, Department of Mechanical Engineering, Master thesis, 2016.
- [21] Petru Chioncel, Cristian Paul Chioncel, Nicoleta Gillich. “Solution for Improve the Efficiency of Solar Photovoltaic Installation”, *Analele Universității*, pp. 1-4, 2013.
- [22] Adeel Saleem, Faizan Rashid and Kashif Mehmood. “The Efficiency of Solar PV System”, *Proceedings of 2nd International Multi-Disciplinary Conference*, Gujrat, 2016.
- [23] Vijay Muni and S.V.N.L. Lalitha. “Technical Issues of Grid Connected Solar Photovoltaic Cell – A Survey”, *International Journal of Circuit Theory and Applications*, pp. 913-920, 2017
- [24] Gwinyai Dzimano. “Modeling Of Photovoltaic Systems”, The Ohio State University, Master Thesis, 2008
- [25] Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. “Solar Photovoltaics”, U.S. Department of Energy, 2022.
- [26] José Maria Xavier. “Performance Analysis of a PV Grid-connected System at the Universidade Nacional Timor Lorosa’e”, Porto University, Faculty of Engineering, Master Thesis, 2019.
- [27] https://www.researchgate.net/figure/General-stand-alone-power-system_fig1_275533583, Accessed on 07 August 2022.
- [28] <https://stinholdings.en.made-in-china.com/product/VBvEClprhMRU/China-8kw-Grid-Connected-PV-System.html>, Accessed on 07 August 2022.
- [29] Mahumud Wasfi. “Solar Energy and Photovoltaic Systems”, *Journal of Selected Areas in Renewable and Sustainable Energy (JRSE)*, pp. 1-8, 2011.
- [30] Niranjana Singh Baghel and Nikhil Chander. “Performance comparison of mono and polycrystalline silicon solar photovoltaic modules under tropical wet and dry climatic conditions in east-central India”, *Clean Energy*, pp. 165-177, 2022.
- [31] “Basic Research Needs for Solar Energy Utilization”, Report on the Basic Energy Sciences Workshop on Solar Energy Utilization, Book, 2005.
- [32] “Solar Futures”, U.S. Department of Energy, Study, 2021.
- [33] Yunus Emre Yağan, Kadir Vardar and Mehmet Ali Ebeoğlu. “Modeling and Simulation of PV Systems”, *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering*, pp. 1-11, 2018.
- [34] Ramos Hernanz, JA, Campayo Martín, J.J., Zamora Belver, I., Larrañaga Lesaka, J., Zulueta Guerrero, E. and Puelles Pérez, E. “Modelling of Photovoltaic Module”, *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ’10)*, 2010.

- [35] Titu-Marius I. Băjenescu. “Advances and Trends in Photovoltaics (PV)”, *Electrotehnică*, pp. 7-13, 2013.
- [36] Ramos Hernanz, JA. Campayo Martin, J.J. Zamora Belver, I. Larrañaga Lesaka, J. Zulueta Guerrero, E. Puelles Pérez, E. “Modelling of Photovoltaic Module”, *International Conference on Renewable Energies and Power Quality*, 2010.
- [37] N. Hamrouni and A. Chérif. “Modelling and control of a grid connected photovoltaic system”, *International Journal of Electrical and Power Engineering*, pp. 335-344, 2007.
- [38] Geoffrey T. Klise and Joshua S. Stein. “Models Used to Assess the Performance of Photovoltaic Systems”, *Sandia Raport*, 2009.
- [39] Noor Syahirah Mohd Hussin, Nasrul Amri Mohd Amin, Muhammad Juhairi Aziz Safar, Rina Syazwani Zulkafli, Mohd Shukry Abdul Majid, Mohd Afendi Rojanand Izzuddin Zaman. “Performance Factors of the Photovoltaic System: A Review”, *MATEC Web of Conferences*, 2018.
- [40] Vjollca Komoni, Alemayehu Gebremedhin and Njomza Ibrahim. “A comparison of the performance of mono-Si and poly-Si photovoltaic modules operating under Kosovo climate condition”, *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, pp. 1-11, 2018.
- [41] O. Abdul Rosyid. “Comparative performance testing of photovoltaic modules in tropical climates of Indonesia”, *Engineering*, pp. 1-9, 2016.
- [42] Teodoro Adrada Guerra, Julio Amador Guerra, Beatriz Orfao Taberner and Guillermo de la Cruz García. “Comparative Energy Performance Analysis of Six Primary Photovoltaic Technologies in Madrid (Spain)”, *energies*, p. 1-23, 2017.
- [43] Agata Zdyb and Slawomir Gulkowski. “Performance Assessment of Four Different Photovoltaic Technologies in Poland”, *energies*, pp. 1-17, 2020.
- [44] Constance Kalu, Ezenugu Isaac A. and Umoren Mfonobong Anthony. “Comparative Study of Performance of Three Different Photovoltaic Technologies”, *Mathematical and Software Engineering*, pp. 19-29, 2016.
- [45] Irene Romero-Fiances, Emilio Muñoz-Cerón, Rafael Espinoza-Paredes, Gustavo Nofuentes and Juan de la Casa. “Analysis of the Performance of Various PV Module Technologies in Peru”, *energies*, pp. 1-19, 2019.
- [46] F.Bandou, A.Hadj Arab and M.S.Belkaid. “Test performance electrical of the photovoltaic module in two different environments”, *Energy Procedia*, pp. 1018-1024, 2013.
- [47] Soualmi Hamoua, Saadi Zinea and Rahmani Abdellaha. “Efficiency of PV module under real working conditions”, *Energy Procedia*, pp. 553-558, 2014.
- [48] Kamal Attari, Ali El yaakoubi and Adel Asselman. “Comparative performance investigation between photovoltaic systems from two different cities”. *Procedia Engineering*, pp. 810-817, 2017.
- [49] AyGegül TaGçJoLlu, Onur TaGkIn, and Ali Vardar. “A Power Case Study for Monocrystalline and Polycrystalline Solar Panels in Bursa City, Turkey”, *International Journal of Photoenergy*, pp. 1-8, 2016.

- [50] Chong Li. “Comparative Performance Analysis of Grid-Connected PV Power Systems with Different PV Technologies in the Hot Summer and Cold Winter Zone”, *International Journal of Photoenergy*, pp. 1-9, 2018.
- [51] Rosaura Castrillón-Mendoza, Paul Andrés Manrique-Castillo, Javier M. Rey-Hernández, Francisco J. Rey-Martínez and Gabriel González-Palomino. “PV Energy Performance in a Sustainable Campus”, *electronics*, pp. 1-24, 2020.
- [52] Brijesh Tripathi, Pankaj Yadav, Siddharth Rathod and Manoj Kumar. “Performance analysis and comparison of two silicon material based photovoltaic technologies under actual climatic conditions in Western India”, *Solar Energy*, pp. 97-102, 2015.
- [53] Jiabin Liu and Harold Brandon. “Study and Design Process of Solar PV system”, *Mechanical Engineering and Materials Science Independent Study*, pp. 1-23, 2017.
- [54] Jiang Qingyang, Yang Jichun, Zeng Yanying and Fu Huide. “Energy and exergy analyses of PV, solar thermal and photovoltaic/thermal systems: a comparison study”, *International Journal of Low-Carbon Technologies*, pp. 604-611, 2021.
- [55] Renewables 2021, Global Status Report, REN21, 2021
- [56] https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Apr/IRENA_RE_Capacity_Highlights_2022.pdf?la=en&hash=6122BF5666A36BECD5AAA2050B011ECE255B3BC7, Accessed on 25 July 2022.
- [57] “Renewable Energy Market Analysis Southeast Europe”, International Renewable Energy Agency, Report, 2019.
- [58] Jovan Đurašković, Milena Konatar, Milivoje Radović. “Renewable energy in the Western Balkans: Policies, developments and perspectives”, *Energy Reports*, pp. 481-490, 2021.
- [59] Dije Rizvanolli. “Kosovo’s Potential for Renewable Energy Production: An Analysis”, University of Twente, Master thesis, 2019.
- [60] “Kosovo Energy Security of Supply”, USAID, Summary Report, 2021.
- [61] Bhalchandra V. Chikate and Y.A. Sadawarte, “The Factors Affecting the Performance of Solar Cell”, *International Journal of Computer Applications*, pp. 1-5, 2015.
- [62] Arjav Harjai, Abhishek Bhardwaj and Mrutyunjaya Sandhibigraha, “Study of Maximum Power Point Tracking (MPPT) Techniques in a Solar Photovoltaic Array”, National Institut of Technology, Department of Electrical Engineering, Bachelor thesis.
- [63] Bhogula Navothna and Sandhya Thotakura. “Analysis on Large-Scale Solar PV Plant Energy Performance-Loss-Degradation in Coastal Climates of India”, *Frontiers in Energy Research*, pp. 1-9, 2022.
- [64] Henry A. Aribisala. “Improving the efficiency of solar photovoltaic power system”, University of Rhode Island, Department of Electrical Engineering, Master tesis, 2013.
- [65] Kemal Attari, Ali Elyaakoubi and Adel Asselman. “Performnace analysis and investigation of agrid-connected photovoltaic installation in Moroco”, *Energy Reports*, pp. 261-266, 2016.

- [66] Xhevat Berisha, Arianit Zeqi and Drilon Meha, “Solar Radiation – The Estimation of the Optimum Tilt Angles for South-Facing Surface in Pristina”, Preprints, pp. 1-13, 2017.
- [67] J.A. Engel-Cox, N.L. Nair, and J.L. Ford. “Evaluation of Solar and Meteorological Data Relevant to Solar Energy Technology Performance in Malaysia”, *Journal of Sustainable Energy & Environment*, pp. 115-124, 2012
- [68] Tshewang Lhendup and Samten Lhundup. “Comparison of methodologies for generating a typical meteorological year (TMY)”, *Energy for Sustainable Development*, pp. 5-10, 2007
- [69] European energy efficiency platform (E3P), <https://e3p.jrc.ec.europa.eu/articles/typical-meteorological-year-tmy>, Accessed on 5 December 2021.
- [70] Serpil Yilmaz and Ismail Ekmekci. “The Generation of Typical Meteorological Year and Climatic Database of Turkey for the Energy Analysis of Buildings”, *Journal of Environmental Science and Engineering*, pp. 370-376, 2017
- [71] Shin Young Kim, Benedikt Sapotta, Gilsoo Jang, Yong-Heack Kang and Hyun-Goo Kim. “Prefeasibility study of photovoltaic power potential based on a skew-normal distribution”, *Energies*, pp. 1-12, 2020
- [72] Solargis, <https://solargis.com/blog/best-practices/how-to-calculate-p90-or-other-pxx-pv-energy-yield-estimates>, Accessed on 6 December 2021
- [73] T. Cebeauer and M. Suri. “Typical Meteorological Year data: SolarGIS approach”, *Energy Procedia*, pp. 1958-1969, 2015
- [74] World Bank, “Solar resource and PV potential of Malawi: 24 Month Site Resource Report”, World Bank, Report, 2018
- [75] Aron P. Dobos, Michael Kasberg dhe Paul Gilman, “P50/P90 Analysis for solar energy systems using the system advisor model”, National Renewable Energy Laboratory, Conference paper, 2012
- [76] European Commission, https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#TMY, Accessed on 5 December 2021
- [77] S. Sreenath, K. Sudhakar and A.F. Yusop. “SWOT Analysis of Solar PV Systems in Airport Environment”, *International Journal on Emerging Technologies*, pp. 1-8, 2019
- [78] Cobalt Power Systems INC. Environmental Benefits of Photovoltaic Systems
- [79] Solargis, <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/Europe>, Accessed on 23 August 2022.
- [80] Solargis, <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/Kosovo>, Accessed on 23 August 2022.
- [81] <https://www.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/37845>, Accessed on 02 August 2022.
- [82] <https://www.fronius.com/en/australia/solarenergy/installerspartners/technicaldata/allproducts/inverters/fronius-eco/fronius-eco-25-0-3-s>, Accessed on 02 August 2022.
- [83] Globalatlas, <https://globalsolaratlas.info/detail?c=42.357529,20.892906,11&s=42.329616,20.887689&m=site&pv=small,180,34,1>, Accessed on 09 September 2022.

- [84] Muhammad Tawalbeh, Amani Al-Othman, Feras Kafiah, Emad Abdelsalam, Fares Almomani, Malek Alkasrawi. "Environmental impacts of solar photovoltaic systems: A critical review of recent progress and future outlook", *Science of the Total Environment*, pp. 1-21, 2021
- [85] B. Bylikbashi, R.V. Filkoski, Modelling of a PV system: a case study Kosovo, *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, Vol. 14, No. 1, 2023, pp. 555-561, ISSN: 2088-8694, DOI: 10.11591/ijpeds.v14.i1, pp. 555-561
- [86] N. S. Baghel and N. Chander, "Performance comparison of mono and polycrystalline silicon solar photovoltaic modules under tropical wet and dry climatic conditions in east-central India," *Clean Energy*, vol. 6, no. 1, pp. 165–177, Feb. 2022, doi: 10.1093/ce/zkac001.
- [87] L. F. Cabeza, C. Solé, A. Castell, E. Oró, and A. Gil, "Review of solar thermal storage techniques and associated heat transfer technologies," *Proceedings of the IEEE*, vol. 100, no. 2, pp. 525–538, 2012, doi: 10.1109/JPROC.2011.2157883
- [88] L.G. Hua, Q.A. Memon, M.F. Shaikh, A.A. Shaikh, R. A. Rahimoon, S. H. Hussain Shah, A. Qadir, Comparative Analysis of Power Output, Fill Factor and Efficiency at Fixed and Variable Tilt Angles for Polycrystalline and Monocrystalline Photovoltaic Panels - The Case of Sukkur IBA University, *Energies* 2022, 15, 3917. <https://doi.org/10.3390/en15113917>