

**Факултет инжењерских наука Универзитета у
Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Енергија и животна средина

Број индекса: 94/2014

Давор Н. Јовановић
„Инвестирање у фотонапонске панеле и
ветрогенераторе из перспективе власника
приватне куће у Р. Србији“
завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Давор Кончаловић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да испита исплативост улагања у обновљиве изворе енергије (првенствено ветрогенераторе и фотонапонске панеле) из перспективе домаћинства кандидата. Приликом процене исплативости водити рачуна о специфичностима сваке од одабраних технологија, специфичностима поднебља, економским показатељима, као и могућностима окружења да прихвати ове технологије.

Препоручена литература:

- [1] **J.A.Fay, D.S. Golomb.** *Energy and the enviroment.* New York : Oxford University Press, 2002.
- [2] **Лукић, Н., Бабих, М.,** *Соларна енергија,* Машински Факултет у Крагујевцу, 2008.
- [3] **Al-Shemmeri, T.** *Wind Turbines,*Bookbon, 2010
- [4] <http://www.bluesolpv.com>

Abstract

In this paper current state of renewables worldwide is explained, and then state in R. Serbia, with emphasis on photovoltaic systems and wind turbines. The principles of these two renewable energy sources are described, what types of these systems exist, their advantages and disadvantages, as well as their manufacturers and sellers in R. Serbia and Kragujevac. The potential of solar energy and wind in R. Serbia and Kragujevac is described. An analysis of the profitability of photovoltaic panels and wind turbines from the aspect of one household in Kragujevac was performed. The annual production of electricity and photovoltaic panels and wind turbines is calculated, as well as how much annually they can cover the demand for electricity for a selected household. The time period of repayment of the initial investment of both systems separately in two scenarios was estimated and a comparison of the results was made, in order to give an answer which of these two types of renewable energy sources is more profitable for an average household in R. Serbia. The value of the initial investment is described and which of these two systems has a higher price per kilowatt of peak power (kWp), as well as maintenance and insurance costs. Also, a survey was conducted in which different opinions were gathered about each of these two types of renewable energy sources. In the end, a conclusion has been made in which of these two types of renewable energy sources are currently worth investing and how much.

Keywords: Photovoltaic system, wind turbine, analysis of profitability, renewables.

Резиме

У овом завршном раду описано је тренутно стање обновљивих извора енергије у свету, а затим и у Р. Србији, са акцентом на фотонапонске системе и ветрогенераторе. Описани су принципи рада ова два обновљива извора енергије, какви све типови ових система постоје, њихове предности и мане, као и њихови произвођачи и продавци у Р. Србији и Крагујевцу. Описан је потенцијал соларне енергије и ветрова у Р. Србији и Крагујевцу. Извршена је анализа исплативости фотонапонских система и ветрогенератора са аспекта једног домаћинства у Крагујевцу. Израчуната је годишња производња електричне енергије и фотонапонских панела и ветрогенератора, као и колико годишње могу покрити потражњу за електричном енергијом за одабрано домаћинство. Процењен је временски период отплате почетне инвестиције оба система засебно у по два сценарија и извршено поређење резултата, како би се дао одговор који је од ова два вида обновљивих извора енергије исплативији за једно просечно домаћинство у Р. Србији. Описана је вредност почетне инвестиције и који од ова два система има вишу цену по киловату вршне снаге (kWp), као и трошкови одржавања и осигурања. Такође, спроведена је анкета у којој су прикупљена различита мишљења о сваком од ова два вида обновљивих извора енергије. На крају, изведен је закључак у који од ова два вида обновљивих извора енергије се уопште исплати тренутно инвестирати и колико.

Кључне речи: Фотонапонски систем, ветрогенератор, анализа исплативости, обновљиви извори енергије.

Списак коришћених скраћеница и страних речи

Обновљиви извори енергије	–	ОИЕ
Терават-сат	–	TWh
Милиона тона еквивалентне нафте	–	Mtoe
Тона еквивалентне нафте	–	тен
Сценарио са мерама за енергетску ефикасност	–	ЕЕСЦ
Гигават-сат	–	GWh
Хидро електране	–	ХЕ
Мале хидро електране	–	МХЕ
Бруто финална потрошња енергије	–	БФПЕ
Уговор о оснивању Енергетске заједнице	–	УОЕнЗ
Референтни сценарио	–	РЕФСЦ
Међународни систем јединица	–	СИ
Фотонапонски	–	ФН
Савезни хидрометереолошки завод	–	СХМЗ
Гигават	–	GW
Киловат вршне снаге	–	KWp
Ват вршне снаге	–	Wp
Евро-цент	–	с€

Списак илустрација

Слика 1.1. Дијаграмски приказ глобалне потрошње различитих видова енергије до 2012. године.....	10
Слика 1.2. Структура ОИЕ у Републици Србији.....	15
Слика 1.3. БФПЕ – Референтни (основни) сценарио (РЕФСЦ).....	16
Слика 2.1. Ветрогенератори инсталирани у Холандији.....	17
Слика 2.2. Струјање ваздуха унутар граничне површине код ветрогенератора.....	18
Слика 2.3. Конструкцијска извођења Darrieus-овог (лево) и Savonius-овог (десно) ветрогенератора.....	19
Слика 2.4. Хоризонтални ветрогенератори са три лопатице (лево), две лопатице (средина) и једном лопатицом (десно).....	20
Слика 2.5. Основни делови хоризонталног ветрогенератора са три лопатице са извученим позицијама.....	21
Слика 2.6. Приказ ветрогенератора са решеткастим торњевима.....	22
Слика 2.7. Анемометар са лопатицама (лево) и ултразвучни анемометар (десно).....	23
Слика 2.8. Силе које делују на лопатицу ветрогенератора.....	24
Слика 2.9. Трансмисиони систем ветрогенератора.....	25
Слика 2.10. Идеална струја ветра која пролази кроз ветротурбину.....	26
Слика 2.11. Betz-ова граница искоришћености енергије ветра.....	27
Слика 2.12. Приказ руже ветрова за референтни период 1981-2010. година.....	28
Слика 2.13. Просечна снага ветрова у Р. Србији у јулу (лево) и јануару(десно).....	29
Слика 2.14. Дијаграмски приказ временског просека израженог у процентима када се ветар налази у назначеном опсегу брзина на висини од 50m.....	31
Слика 2.15. Дијаграмски приказ месечног просека брзине ветра(m/s) на 50,100,150 и 300 метара изнад површине земље, мерено од 1983. до 1993. године.....	31
Слика 3.1. Сунчев спектар екстратерестријалног и директног терестријалног зрачење.....	32
Слика 3.2. Сателит који користи ФН панеле.....	33
Слика 3.3. Принцип рада фотонапонске ћелије.....	34
Слика 3.4. Поступак добијања монокристалних силицијумских ћелија.....	35
Слика 3.5. Поступак добијања поликристалних силицијумских ћелија.....	35
Слика 3.6. Приказ монокристалних (лево), поликристалних (средина) и аморфних у виду танког филма (десно) силицијумских ћелија.....	36
Слика 3.7. Повезивање фотонапонских ћелија у модуле и панеле.....	37
Слика 3.8. Шема самосталног фотонапонског система за потрошаче једносмерне струје.....	38

Слика 3.9. Шема самосталног хибридног фотонапонског система са генератором	39
Слика 3.10. Фотонапонски систем прикључен на електродистрибутивну мрежу.....	40
Слика 3.11. Дијаграмски приказ средње дневне (по месецима) инсолације (у kWh/m ²) за поједине градове и места у Србији	41
Слика 3.12. Просечан интензитет глобалног сунчевог зрачења на хоризонталну површину за јануар (лево) и јул (десно).....	42
Слика 3.13. Приказ соларне електране у Малим Пчелицама.....	43
Слика 4.1. Изглед куће за коју се врши анализа.....	45
Слика 4.2. Потрошња по месецима за посматрани објект у 2016. години	46
Слика 4.3. Радно окружење програмског пакета „BlueSol Design“	46
Слика 4.4. Приказ моделиране куће са инсталисаним фотонапонским панелима у програмском пакету „BlueSol Design“	48
Слика 4.5. Приказ годишње ирадијације на кров анализираног објекта.....	48
Слика 4.6. Производња електричне енергије ФН панела по месецима	49
Слика 4.7. Разлика произведене и потрошене ел. енергије у kWh	49
Слика 4.8. Годишњи приход новца од инсталисаних ФН панела	50
Слика 4.9. Модел куће са уграђених 72 ФН панела.....	51
Слика 4.10. Приказ производње ел. енергије ФН панела по месецима.....	52
Слика 4.11. Разлика произведене и потрошене ел. енергије у другом сценарију.....	52
Слика 4.12. Исплативост ФН панела у периоду од 20 година	53
Слика 4.13. Приказ брзина ветра у одређеном временском интервалу.....	54
Слика 4.14. Зависност снаге од брзине ветра за модел „Aeolos-H 3kW“ ветрогенератора	55
Слика 4.15. Производња ел. енергије приказане по месецима у току једне године	56
Слика 4.16. Разлика произведене ел. енергије и потрошње приказана по месецима	57
Слика 4.17. Исплативост ветрогенератора у првом сценарију	57
Слика 4.18. Исплативост ветрогенератора у другом сценарију	58
Слика 4.19. Одговори на питање „Да ли је у реду уколико бих инсталисао фотонапонске панеле на кров своје куће?“	59
Слика 4.20. Одговори на питање „Да ли је у реду уколико бих инсталисао ветрогенератор у свом дворишту?“	59
Слика 4.21. Одговори на питање „Да ли би некад, уколико будете у могућности, уградили фотонапонске панеле или ветрогенератор у свом домаћинству?“	60
Слика 4.22. Производња електричне енергије ФН панела и ветрогенератора у току једне године.....	60
Слика 4.23. Исплативост ветрогенератора и ФН панела у периоду од 20 година.....	61

Списак табела

Табела 1.1. Преглед технички искористивог потенцијала ОИЕ (од 2012. године)	14
Табела 1.2. Производња електричне енергије из ОИЕ из нових постројења у 2020. години	16
Табела 2.1. Месечни просек брзине ветра (m/s) на 10m изнад површине Земље.....	30
Табела 2.2. Просек правца ветра изражен у степенима за сваки месец посебно током 10 година мерења, од 1983. до 1993. године	31
Табела 3.1. Просечне вредности ефикасности фотонапонских ћелија.....	36
Табела 3.2. Месечни просек ведрих дана током 22 године мерења	43
Табела 3.3. Месечни просек дневне светлости.....	43
Табела 3.4. Месечни просек облачности током дана	44
Табела 3.5. Месечни просек инсолације на хоризонталну површину (kWh/m ² /дан)	44
Табела 3.6. Месечни просек највећег угла сунчевог зрака у односу на хоризонталну површину изражен у степенима	44
Табела 4.1. Спецификација компонената ФН система са ценама и уградњом.....	47
Табела 4.2. Компоненте и њихова цена са уградњом за други сценарио	51
Табела 4.3. Цене компоненти, њиховог увоза, инсталације и одржавања.....	55
Табела 4.4. Снага ветрогенератора при одговарајућим брзинама ветра	56

Садржај

1. УВОД	10
1.1. Енергија као неопходност	10
1.1.1. Облици енергије и основна јединица за енергију	11
1.2. Обновљиви извори енергије	11
1.3. ОИЕ у Р. Србији	13
2. ВЕТРОГЕНЕРАТОРИ	17
2.1. Принцип рада ветрогенератора	17
2.2. Подела ветрогенератора	18
2.3. Компоненте ветрогенератора	21
2.4. Теорија идеалне струје ветра	26
2.5. Примена ветрогенератора у Р. Србији	28
2.5.1. Неопходне дозволе за изградњу ветрогенератора	29
2.5.2. Примена ветрогенератора у Крагујевцу	30
3. ФОТОНАПОНСКЕ ЋЕЛИЈЕ	32
3.1. Историја развоја фотонапонских ћелија	33
3.2. Принцип рада фотонапонских ћелија	34
3.2.1. Основни типови силицијумских ФН ћелија	35
3.2.2. Везивање фотонапонских ћелија	36
3.3. Самостални фотонапонски системи	37
3.3.1. Хибридни фотонапонски системи	39
3.4. Фотонапонски системи прикључени на електродистрибутивну мрежу преко кућне инсталације	40
3.5. Примена фотонапонских панела у Р. Србији	41
3.6. Примена фотонапонских панела у Крагујевцу	43
4. ДИЛЕМА: ВЕТРОГЕНЕРАТОР ИЛИ ФОТОНАПОНСКИ ПАНЕЛИ У ДОМАЋИНСТВУ	45
4.1. Подаци о локацији	45
4.2. Фотонапонски панели	46
4.2.1. Први сценарио	47
4.2.2. Други сценарио	51
4.2.3. Сумирање спроведене анализе	53

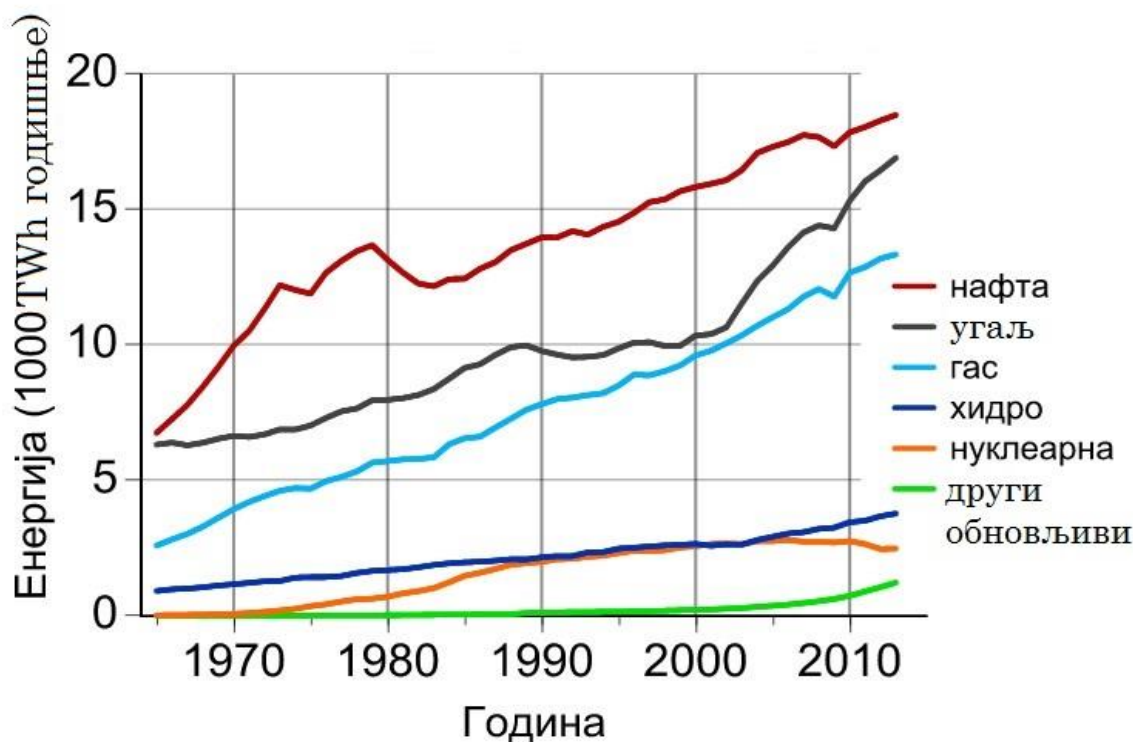
4.3. Ветрогенератор.....	54
4.3.1. Модел ветрогенератора.....	54
4.3.2. Производња електричне енергије.....	56
4.3.2.1. Први сценарио	56
4.3.2.2. Други сценарио	58
4.4. Осигурање.....	58
4.5. Анкета	59
4.6. Поређење резултата анализе	60
5. ЗАКЉУЧАК.....	62
6. ЛИТЕРАТУРА.....	63

1. УВОД

1.1. ЕНЕРГИЈА КАО НЕОПХОДНОСТ

Двадесети век карактерише енормно повећање потрошње енергије у односу на ранија раздобља. У преиндустријској економији само су мале количине механичке снаге, која није произведена мишићним напрезањем људи, биле на располагању (рад домаћих животиња, коришћење енергије ветра за бродове и ветрењаче, коришћење енергије воде у воденицама, ...). Дрво је било главно гориво за припремање хране, загревање соба и основну обраду метала. Данас је у развијеним земљама, доступност фосилних и нуклеарних горива довела до повећања могућности коришћења енергије до неслућених размера, уколико се ти износи упореде са потрошњом енергије у вековима пре индустријске револуције. Поред тога, популација људи је вишеструко увећана, што је само по себи вишеструко увећало потрошњу енергије. (1)

На слици 1.1 је приказана потрошња енергије на глобалном нивоу.



Слика 1.1. Дијаграмски приказ глобалне потрошње различитих видова енергије до 2012. године

Енергетски ресурси нису равномерно распоређени на Земљи, а већина њих је коначна, исцрпива. Извори енергије од којих доминантно зависимо су фосилна горива (угаљ, нафта, природни гас), нуклеарна енергија и хидроенергија. Остали извори, махом обновљиви извори енергије (соларна енергија, ветар, геотермална енергија, биомаса), чине веома мали део укупне светске потрошње енергије. (1)

Због опште тражње за енергијом, могућношћу њеног складиштења у акумулаторима и батеријама, као и њене убрзане потрошње у различитим облицима, енергија је веома тражена „роба“ са ценом која стално расте.

Транспорт људи, робе и материјала између различитих објеката и одредишта је саставни део активности савремених друштава. Копнена, водена и ваздушна транспортна средства погођена су фосилним горивима. Транспортни систем захтева поред средстава (аутомобили, камиони, возови, бродови, авиони, ...) и инфраструктуру (путеви, пруге, аеродроми, луке, ...). У пракси се најчешће ради о државном (јавном) власништву над инфраструктуром и приватном власништву над транспортним средствима. (1)

1.1.1. ОБЛИЦИ ЕНЕРГИЈЕ И ОСНОВНА ЈЕДИНИЦА ЗА ЕНЕРГИЈУ

Различити облици енергије, како је ми доживљавамо у свакодневном животу, су:

- Кинетичка енергија: енергија тела у покрету;
- Топлотна енергија: енергија повезана са топлотом;
- Енергија звука: енергија механичких таласа ваздуха;
- Електрична енергија: енергија покретних носилаца наелектрисања;
- Потенцијална енергија: енергија коју објекат поседује у односу на други; познато и под називом ускладиштена енергија;
- Хемијска енергија: ускладиштена енергија у хемијским супстанцама;
- Нуклеарна енергија: енергија ускладиштена у атомским језгрима;
- Енергија зрачења: енергија електромагнетних таласа, укључујући светлост (2)

Интернационална јединица за енергију и рад је џул (J), названа у част Џејмса Прескота Џула и његових експеримената којима је доказао еквиваленцију механичке и топлотне енергије. (2)

Џул се у основним јединицама СИ система изражава као:

$$1 \text{ J} = \text{Nm} = \text{kg} \cdot \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$$

1.2. ОБНОВЉИВИ ИЗВОРИ ЕНЕРГИЈЕ

Свету је потребна све већа количина енергије. Стални пораст популације са собом доноси и константно веће потребе за енергије и човечанство је у сталној потражи за изворима енергије који би у задовољавајућој мери покрили енергетске потребе. Дугорочно гледано, потреба за енергијом се сваки дан повећава. (1)

Тренутно свет покрива своје енергетске потребе углавном необновљивим изворима енергије, већином фосилним горивима – угљем, нафтом и природним гасом. Како ови извори енергије нису обновљиви, у једном тренутку ће бити потрошени, због чега се непрестано трага за најповољнијим решењима. Такође, последице употребе фосилних горива су многобројне, а најчешће помињане су нпр. емитовање угљен диоксида (CO_2), изливање нафте у море, и стварање смога који је штетан за здравље итд. (3)

Међу научницима постоји консензус да емисије угљен диоксида у атмосферу, које су последица људског деловања, већ доприносе мењању климе на Земљи на опасне и непредвидиве начине. Према најновијим истраживањима, ако је судити по садашњим трендовима, глобалне просечне температуре повећаће се барем за 4°C током овог века, што је Светска банка назвала „катастрофалним“. У свом најновијем извештају, Међународни панел о климатским променама (IPCC) изнео је тезу да је веома вероватно

да је човеков утицај доминантан узрок забележеног пораста температуре. Међународна агенција за енергију израчунала је да је неопходно, како би се глобалне температуре задржале на нивоу испод опасног прага повећања од 2°C, да барем две трећине тренутно познатих резерви угља, гаса и нафте остану под земљом. Развој производње енергије из обновљивих извора може у знатној мери допринети смањењу емисија угљен диоксида, не угрожавајући приступ енергији. (4)

Крајњи извор већине обновљивих и необновљивих извора енергије је Сунце, чија укупна енергија зрачења на површини Земље, пружа знатно већу количину енергије, него што би то могло бити искоришћено исплативим системима за експлоатацију обновљивих извора енергије. Упркос огромним количинама енергије која је доступна из обновљивих извора, прикупљање и коришћење ове енергије на економичан и ефикасан начин је далеко од једноставног решења. (1)

Обновљиви извори енергије (ОИЕ) су равномерније распоређени географски, него што је то случај са резервама фосилних горива, потенцијално умањујући енергетску зависност земаља сиромашних фосилним горивима. Неки облици ОИЕ су погодни за инсталацију у оквиру малих јединица, лоцираних близу потрошача, тиме умањујући губитке који се јављају при дистрибуцији енергије. (1)

У обновљиве изворе енергије спада:

- соларна енергија,
- енергија ветра,
- биомаса, биогориво, биогас,
- геотермални извори,
- енергија малих водених токова,
- енергија плиме и осеке,
- енергија таласа,
- унутрашња енергија мора и океана. (1)

У овом раду ће се од горенаведених ОИЕ посебна пажња посветити енергији ветра и соларној енергији.

Широм света, многи региони, државе и провинције агресивно улажу у зелену енергију. Према извештају „Bloomberg New Energy Finance“, 2015. је била рекордна година улагања у зелену енергију, у којој је уложено \$256.9 милијарди америчких долара (изузете су хидроелектране капацитета преко 50 MW), што је 5% више од претходног рекорда у 2011. години који је износио \$278.5 милијарди америчких долара. Финансијска улагања у обновљиве изворе енергије су последњих шест година премашивале цифру од \$200 милијарди америчких долара. (5)

Такође, Европска унија из године у годину све више промовише и охрабрује инвеститоре да улажу у обновљиве изворе енергије, у смислу енергетске ефикасности, иновација у експлоатацији и развоју, са повећаном пажњом на аспекте окружења и одрживости. (5)

1.3. ОИЕ У Р. СРБИЈИ

Нема сумње да је енергетика била и остала област од посебног значаја за читаву економију и друштво. Уколико се енергетика учини стабилним, модерним и квалитетно организованим сектором, извесно је да ће то значити добробит за читаву привреду земље. И обрнуто, уколико се енергетици не посвећује довољно пажње са становишта стратешког планирања, извесне су лоша позиција и слабе перспективе привреде у целини. (6)

Почетком друге деценије XXI века, привреда и друштво Републике Србије налазе се у врло дубокој општеразвојној кризи. У времену продужене економске рецесије, Република Србија се налази пред изазовом да трасира дугорочни пожељни пут развоја енергетике и дефинише стратешка опредељења на којима ће се заснивати тај развој у наредном средњорочном периоду, односно до 2030. године. Стратешко преиспитивање и позиционирање националне енергетике би требало да омогући да се из актуелне кризе изађе са мањим трошковима по енергетику и привреду земље, али и да се заузме боља стартна позиција за будући динамичнији и квалитетан раст економије и одржив привредни развој. (6)

Конкретније речено, Стратегија развоја енергетике Републике Србије до 2030. године ће понудити пут тржишног реструктурирања и технолошке модернизације енергетике Републике Србије, како би се боље припремила за период раста опште тражње добара и услуга. (6)

За сектор обновљивих извора енергије, изузев хидроенергије, се може рећи да је у раној фази развоја. Процењени укупни технички расположив потенцијал обновљивих извора енергије у Републици Србији се процењује на 5,65 милиона тен годишње. Од овог потенцијала 1,054 тен биомасе и 909 хиљада тен хидроенергије се већ користи. (Табела 1.1). (6)

Енергија ветра у Републици Србији се може користити у области кошавског подручја, јужног Баната, подручја источне Србије, источне стране Копаоника, подручје Златибора и Пештера и локалитета планинских превоја на надморским висинама изнад 800 m. Ради јаснијег сагледавања потенцијала, потребно је да се у наредном периоду наставе наменска мерења ветра (на висинама од 50 m и већим) у циљу израде атласа ветрова, као једног од услова за инвестирање у капацитете за производњу електричне енергије који користе енергију ветра. (6)

Технички искористив потенцијал је у случају енергије ветра и соларне енергије одређен на основу постојећих техничких могућности електроенергетског система да ову енергију прихвати. Додатне претпоставке приликом одређивања потенцијала су да максималне варијације производње електричне енергије из енергије ветра неће коинцидирати са максималним варијацијама производње електричне енергије из соларних електрана и да максимална варијација неће прећи 90% укупних инсталисаних капацитета. То значи да је у инсталисаним капацитетима могуће имати 500 MW са садашњом величином терцијарне резерве. Имајући у виду максималне могућности производње ветроелектрана са оволиком инсталисаном снагом, може се рачунати са њиховим максималним технички искористивим потенцијалом од 1.200 GWh/годишње, односно, 0,103 Mtoe/годишње. (6)

Табела 1.1. Преглед технички искористивог потенцијала ОИЕ (од 2012. године)

Врста ОИЕ	Расположиви технички потенцијал који се користи (милиона тен/год)	Неискоришћени расположиви технички потенцијал (милиона тен /год)	Укупни расположиви технички потенцијал (милиона тен /год)
Биомаса	1,054	2,351	3,405
Пољопривредна биомаса	0,033	1,637	1,67
Остаци од пољопривредних култура	0,033	0,99	1,023
Остаци у воћарству, виноградарству и преради воћа	-	0,605	0,605
Течни стајњак	-	0,042	0,042
Дрвна (шумска) биомаса	1,021	0,509	1,53
Енергетски засади	-	-	није доступно
Биоразградиви комунални отпад	0	0,205	0,205
ХИДРО ЕНЕРГИЈА	0,909	0,770	1,679
За инсталисане капацитете до 10MW	0,004	0,151	0,155
За инсталисане капацитете од 10MW до 30MW	0,020	0,102	0,122
За инсталисане капацитете преко 30MW	0,885	0,517	1,402
ЕНЕРГИЈА ВЕТРА	≈0	0,103	0,103
СОЛАРНА ЕНЕРГИЈА	≈0	0,240	0,240
За производњу електричне енергије	≈0	0,046	0,046
За производњу топлотне енергије	≈0	0,194	0,194
ГЕОТЕРМАЛНА	≈0	0,180	0,180
За производњу електричне енергије	≈0	≈0	≈0
За производњу топлотне енергије	0,005	0,175	0,180
БИОРАЗГРАДИВИ ДЕО ОТПАДА	0	0,043	0,043
Укупно из свих ОИЕ	1,968	3,682	5,65

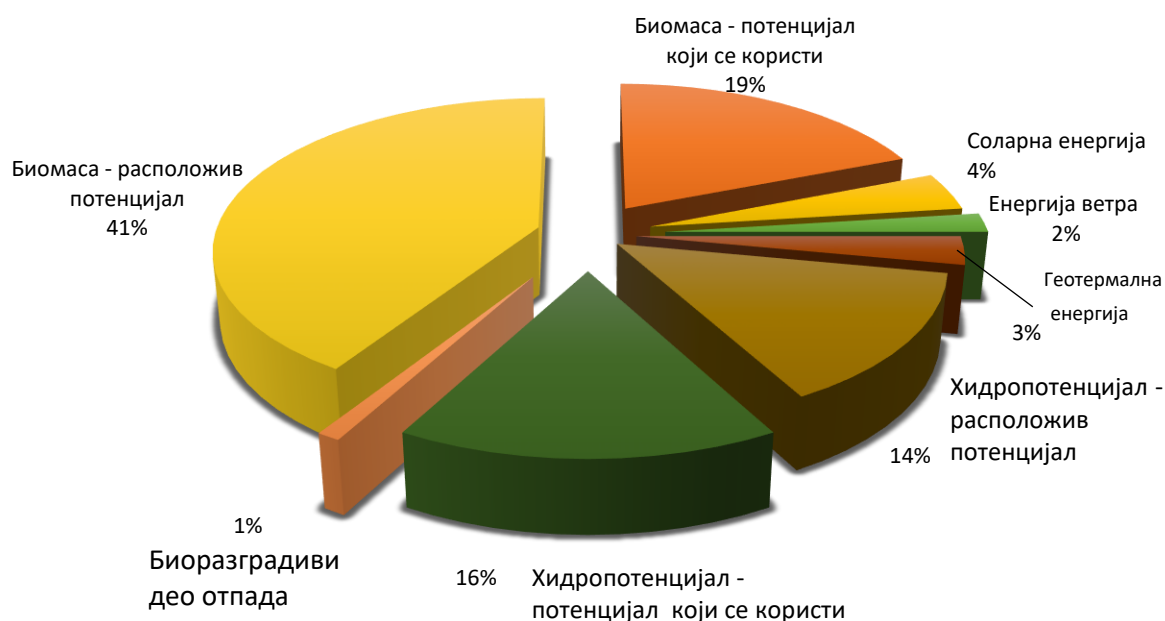
Соларна енергија представља енергетски потенцијал Републике Србије, који се може користити за производњу топлотне или електричне енергије. На већем делу територије Републике Србије број часова сунчевог зрачења знатно је већи него у многим европским земљама (између 1.500 и 2.200 часова годишње). Просечан интензитет сунчевог зрачења на територији Републике Србије се креће од 1,1 kWh/m² /дан на северу до 1,7 kWh/m² /дан на југу - током јануара, а од 5,9 до 6,6 kWh/m² /дан - током јула. На годишњем нивоу, просечна вредност енергије зрачења износи од 1.200 kWh/m² /годишње у северозападној

Србији, до 1.550 kWh/m^2 /годишње у југоисточној Србији, док у централном делу износи око 1.400 kWh/m^2 /годишње. (6)

Технички искористив енергетски потенцијал за конверзију соларне енергије у топлотну енергију (за припрему топле воде и друге намене) је процењен 0,194 милиона тен годишње уз претпоставку примене соларних термалних колектора на 50% расположивих објеката у земљи. Што се тиче производње електричне енергије основно техничко ограничење представља могућност електро-енергетског система да ову енергију прихвати у летњим месецима, пошто је у питању варијабилна производња. На основу тренутно расположивих капацитета електроенергетског система Републике Србије за обезбеђење терцијалне резерве усвојено је да је максимални технички искористив капацитет соларних електрана 450 MW , односно, њихов технички искористив потенцијал износи 540 GWh/годишње ($0,046 \text{ Mtoe/годишње}$). (6)

Изградња нових конвенционалних електроенергетских капацитета (угаљ, велике хидроелектране), а посебно реверзибилних хидроелектрана (Бистрица и/или Ђердап 3) би могла значајно да повећа технички расположив потенцијал интермитентних ОИЕ – ветра и соларне енергије за производњу електричне енергије. (6)

Обновљиви извори енергије са процењеним технички искористивим потенцијалом од око $5,6 \text{ Mtoe}$ годишње (Слика 1.2) могу значајно допринети мањем коришћењу фосилних горива и остваривању дефинисаних циљева о уделу обновљивих извора у укупној финалној потрошњи енергије, као и унапређењу животне средине. Потенцијал биомасе износи око $3,4 \text{ Mtoe}$ годишње ($2,3 \text{ Mtoe}$ је неискоришћени, а $1,1 \text{ Mtoe}$ се већ користи), $1,7 \text{ Mtoe}$ у хидропотенцијалу ($0,8 \text{ Mtoe}$ годишње је неискоришћени, а $0,9 \text{ Mtoe}$ годишње је искоришћени хидропотенцијал), $0,2 \text{ Mtoe}$ годишње у геотермалној енергији, $0,1 \text{ Mtoe}$ годишње у енергији ветра, $0,2 \text{ Mtoe}$ годишње у соларној енергији и $0,04 \text{ Mtoe}$ годишње у биоразградивом делу отпада. Република Србија од укупно расположивог техничког потенцијала ОИЕ већ користи 35 % ($0,9 \text{ Mtoe}$ искоришћеног хидро потенцијала и $1,06 \text{ Mtoe}$ искоришћеног потенцијала биомасе и геотермалне енергије). (7)



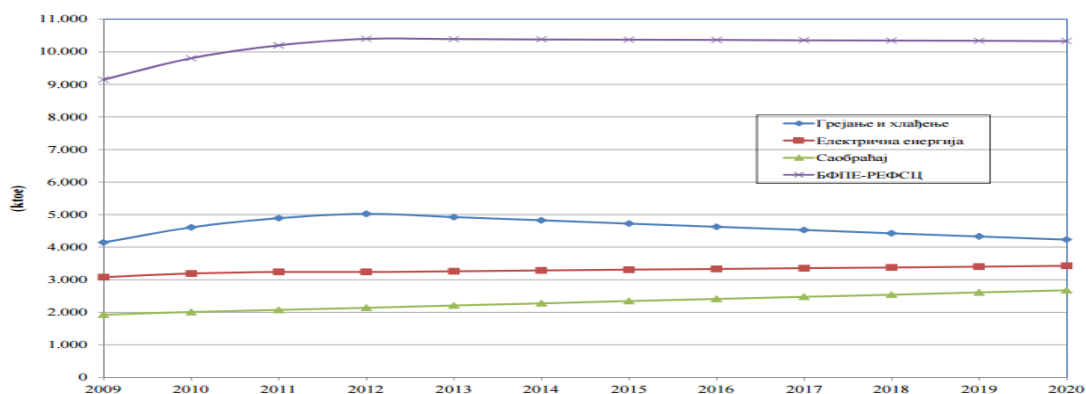
Слика 1.2. Структура ОИЕ у Републици Србији

Према моделу сценарија са мерама за енергетску ефикасност (ЕЕСЦ), у сектору електричне енергије потребно је остварити повећање енергије из ОИЕ у односу на базну 2009. са 884 тен на 1151 тен, што представља повећање за око 30 % ОИЕ у сектору електричне енергије до 2020. године. Изражено у односу на бруто финалну потрошњу енергије (БФПЕ) ово повећање износи 2,4% (са 9,7% електричне енергије из ОИЕ у 2009. години на 12,1 % у 2020. години). За остваривање циљева у сектору електричне енергије планирано је да се у Републици Србији до 2020. године инсталира додатних 1092 MW. (7)

Табела 1.2. Производња електричне енергије из ОИЕ из нових постројења у 2020. години

Врста ОИЕ	(MW)	Претпостављени број радних сати (h)	(GWh)	(тен)	Учешће (%)
ХЕ (преко 10 MW)	250	4430	1108	95	30,3
МХЕ (до 10 MW)	188	3150	592	51	16,2
Енергија ветра	500	2000	1000	86	27,4
Енергија сунца	10	1300	13	1	0,4
Биомаса - електране са комбинованом производњом	100	6400	640	55	17,5
Биогас (стајњак) - електране са комбинованом производњом	30	7500	225	19	6,2
Геотермална енергија	1	7000	7	1	0,2
Отпад	3	6000	18	2	0,5
Депонијски гас	10	5000	50	4	1,4
УКУПНО планирани капацитет	1092	-	3653	314	100,0

На слици 1.3 су приказане процењене вредности за БФПЕ у Републици Србији које су усаглашене са прогнозом (резултатима коришћеног модела) коју је израдила Енергетска заједница. Приказани сценарији потрошње енергије и учешће ОИЕ у потрошњи енергије до 2020. године су усвојени на основу модела који је примењен за све земље потписнице уговора о оснивању Енергетске заједнице (УОЕнЗ), и на основу претпоставки усвојених у моделу. Потрошња енергије и учешће ОИЕ зависе од великог броја утицајних фактора као што су економски, технолошки, политички, друштвени и демографски. Имајући у виду наведене факторе и могућност њиховог утицаја на развој сектора енергетике, реално је очекивати да ће бити неопходна одређена прилагођавања у разматраном периоду до 2020. године. (7)



Слика 1.3. БФПЕ – Референтни (основни) сценарио (РЕФСЦ)

2. ВЕТРОГЕНЕРАТОРИ

Од најранијег доба, људи су користили снагу ветра, са првом забележеном ветрењачом у 7. веку нове ере. Ова технологија се током година проширила до пумпања воде, млевења жита, напајања пијана и недавно генерисања електричне енергије, тренутно најбрже растући енергетски сектор широм света. Технологија ветрогенератора се развила огромном брзином последњих година и Европа је у средишту ове индустрије високе технологије. Ветрогенератори постају моћнији, са најновијим моделима турбине које имају већу дужину лопатица и могу искористити већу количину ветра, а самим тим и производе више електричне енергије, што доводи до снижавања цене обновљивих извора енергије. (8)

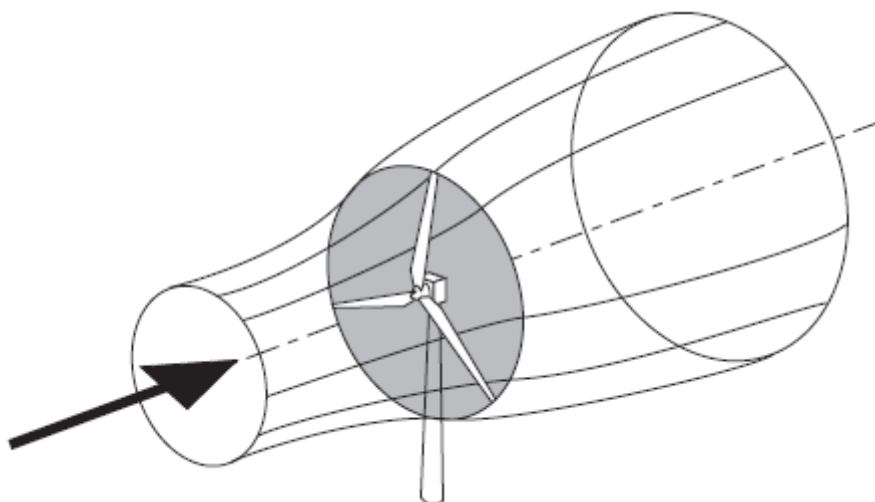


Слика 2.1. Ветрогенератори инсталирани у Холандији

2.1. ПРИНЦИП РАДА ВЕТРОГЕНЕРАТОРА

Ветрогенератор је уређај који користи кинетичку енергију ветра. Губљењем дела кинетичке енергије ветар ће успорити, али само маса ваздуха која струји кроз такозвани диск турбине. Претпостављајући да маса ваздуха која се успорила остаје одвојена од масе ваздуха која није прошла кроз лопатице, може се нацртати гранична површина између ове две масе и она се може продужити узводно, као и низводно од ветрогенератора формирајући тако дугачку цев тока ваздуха кружног попречног пресека (слика 2.2). Како ваздух не прелази граничну површину, тако ће масени проток ваздуха бити исти у свакој линији тока дуж цеви. Пошто ваздух унутар граничне површине успорава, али се не компримује, попречни пресек цеви тока ваздуха ће се проширити како би се прилагодила

споријем струјању ваздуха. (9)



Слика 2.2. Струјање ваздуха унутар граничне површине код ветрогенератора

Иако се користи кинетичка енергија, изненадна промена брзине ваздушног протока нити је могућа, нити је пожељна, због огромних сила и убрзања које би то захтевало. Притисна енергија се мора издвојити корак-по-корак и сви ветрогенератори, без обзира како пројектовани, раде по овом принципу. (9)

Присутност турбине приморава струју ваздуха који јој прилази узводно да постепено успорава, тако да кад ваздух стигне до „диска“ турбине, његова брзина буде мања од слободног ваздушног протока. Цев тока ваздуха се шири као резултат смањења брзине, а како никакав рад још увек није остварен, повећава се статички притисак ваздуха да би се надоместио губитак кинетичке енергије. (9)

Када струја ваздуха прође диск турбине, смањује се статички притисак, тако да на самом изласку постоји потпритисак ваздуха. Ваздух наставља своје кретање низводно са смањеном брзином и притиском. Коначно, далеко низводно од турбине, притисак ваздуха се мора изједначити са атмосферским притиском како би се успоставила равнотежа. Повећање статичког притиска ваздуха је на рачун губитка кинетичке енергије и узрокује смањење брзине ветра. Према томе, између далеке узводне и далеке низводне равни, нема разлика у притиску ваздуха, али постоји смањење кинетичке енергије. (9)

2.2. ПОДЕЛА ВЕТРОГЕНЕРАТОРА

Ветрогенератори се могу поделити на:

- Ветрогенераторе са вертикалном осовином
- Ветрогенераторе са хоризонталном осовином

Код ветрогенератора са вертикалном осовином, ветар струји нормално на осу ротације, па се они не морају усмеравати према смеру дувања ветра. Код њих се генератор поставља у подножје турбине, па нису потребни јаки торњеви. Турбине ових ветрогенератора имају низак степен искоришћења, па се због тога не користе за велике снаге. Постоје два позната типа ових ветротурбина и то: Savonius-ов и Darrieus-ов ветрогенератор. (10)



Слика 2.3. Конструкцијска извођења Dargieus-овог (лево) и Savonius-овог (десно) ветрогенератора

Предности ветрогенератора са вертикалном осовином су:

- производе електричну енергију без обзира на правац ветра, па је самим тим и непотребан механизам за окретање ветрогенератора;
- нижа им је цена од ветрогенератора са хоризонталном осовином;
- лако се преносе са једног места на друго;
- могу бити инсталирани у урбаним подручјима;
- мањи ризик по људе и птице, јер се лопатице крећу релативно малом брзином;
- лакши су за одржавање него ветрогенератори са хоризонталном осовином, јер је генератор близу тла. (11)

Недостаци ветрогенератора са вертикалном осовином су:

- мања ефикасност од ветрогенератора са хоризонталном осовином, јер ради само једна лопатица у сваком тренутку;
- потребан им је мотор за покретање, који користи електричну енергију;
- имају релативно велике вибрације, јер струјање ваздуха у близини земље ствара турбуленције;
- потребне су сајле да повећају стабилност уређаја. (11)

Ветрогенератори са хоризонталном осовином могу бити постављени уз и низ ветар. Ветрогенератори постављени низ ветар се сами прилагођавају смеру ветра. Недостатак им је што лопатице при ротацији пролазе кроз заветрину стуба, чиме се стварају механичке вибрације и бука. Осим тога стуб ствара и турбуленције што смањује ефикасност ветрогенератора, па се овај концепт не користи за веће снаге. (10)



Слика 2.4. Хоризонтални ветрогенератори са три лопатице (лево), две лопатице (середина) и једном лопатицом (десно)

Предности хоризонталних ветрогенератора:

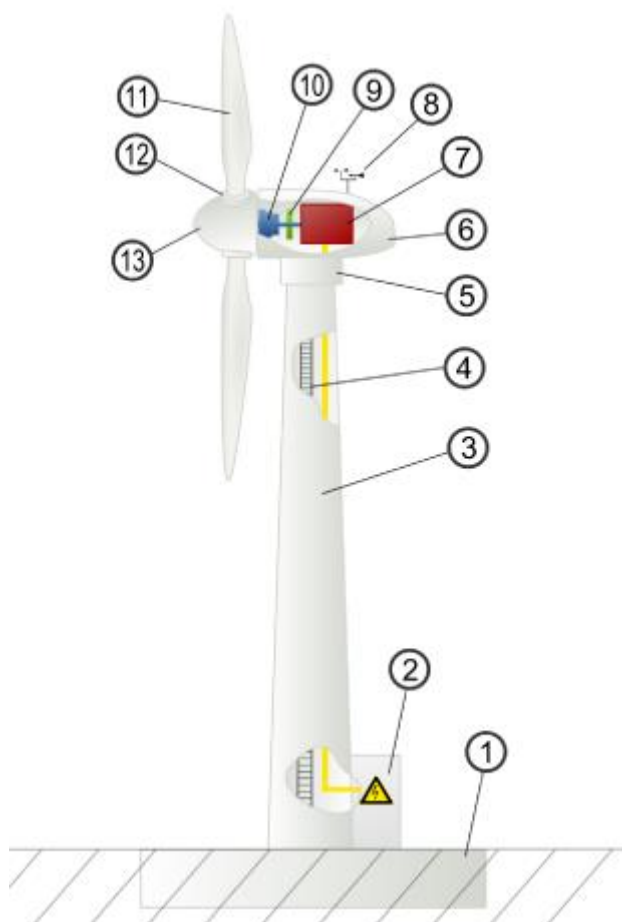
- Могућност промене угла лопатица им даје најповољнији нападни угао прихватања ветра. Променом нападног угла, односно прилагођавањем лопатица, добија се већа контрола, тако да ветрогенератор може прихватити максималну количину енергије ветра;
- Високи торањ омогућава приступ бржем ветру;
- Високи степен искоришћења, јер се лопатице крећу нормално у односу на ветар, добијајући снагу током целе ротације. (11)

Недостаци хоризонталних ветрогенератора:

- Дужи торњеви и лопатице се теже транспортују;
- Неопходна је јача конструкција торња, како би издржала тешке лопатице, зупчасте преноснике и генератор;
- Одблесци високих хоризонталних ветрогенератора могу утицати на радаре, стварајући застој сигнала, иако обрада података може то да сузбије;
- Висина торња може их учинити наметљиво видљивим на великим површинама, тако реметивши изглед пејзажа и изазивајући на тај начин негодовање локалног становништва;
- Захтевају додатни механизам за скретање лопатица што повећава трошкове израде. (11)

2.3. КОМПОНЕНТЕ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА

Данас су најраспрострањенији ветрогенератори са три лопатице, снаге од 1 kW до 6 MW. У даљем тексту ће детаљно бити описани сви делови ове врсте генератора. (11)



Слика 2.5. Основни делови хоризонталног ветрогенератора са три лопатице са извученим позицијама

1. **Темељ** – Темељ или база служи као потпора за цео ветрогенератор и обезбеђује учвршћеност у земљу или кров за мале ветрогенераторе који се користе у домаћинствима. Углавном се састоји од доброг монтажног бетона око торња како би се одржала структурна целост. Главни циљ темеља јесте да издржи различите врсте оптерећења проузроковане ветром, као и да спречи било какво савијање или померање торња. (10)
2. **Трансформатор** –Трансформатор је уређај који може да повећа или смањи напон ел. енергије, тако да захтевани напон буде задовољен. Ако трансформатор повећава напон, онда се он назива step-up трансформатор, а ако га смањује, назива се step-down трансформатор. Напон произведен у генератору се мора подићи на 11 до 25 kV, како би ветрогенератор могао бити повезан са електричном мрежом. Код већине ветрогенератора step-up трансформатор се налази у самом подножју торња. (11)
3. **Торањ** – Торањ одржава остале делове у ваздуху (изнад земље или воде). Према томе, торањ мора структурно бити јак да би издржао тежину

компоненти и силе проузроковане ветром које могу лако да савију или слома торањ ако није довољно чврст. Код старијих ветрогенератора користили су се решеткасти торњеви (слика 2.6) Ови торњеви су били исти као и они који се користе у случају далековода, направљени од великог броја металних шипки које су спајане завртњевима или завариване. Овакви торњеви могу имати различита извођења зависно од њихове висине. Новије генерације ветрогенератора имају цевасте торњеве (слика 2.5). Ови торњеви су направљени од ваљаног челика у облику цилиндра, а нека извођења захтевају и благо сужавање у облику конуса. Ови торњеви су углавном израђени од више мањих делова, како би се олакшала производња и транспорт. Делови су спојени завртњевима. Спајање завртњевима се врши на лицу места где се уграђује ветрогенератор, почевши од најнижег ка највишем делу торња. (11)



Слика 2.6. Приказ ветрогенератора са решеткастим торњевима

4. **Приступне мердевине** – Мердевине се најчешће заварују за унутрашњост самог торња. У најновијим ветрогенераторима приступне мердевине се могу повезати са торњем помоћу магнета. Овим начином би се смањио број радника потребних за заваривање, као и смањење оптерећења због додатних материјала при заваривању. (11)
5. **Контрола усмерености ветрогенератора** – Сви новији ветрогенератори имају систем за скретање кућишта, лопатица и главчине ка струји ветра. Циљ овог механизма јесте да у сваком тренутку обезбеди оптимални угао лопатица, јер струја ветра често мења правац. (10)
6. **Кућиште** – Део ветрогенератора који се налази између ротора и торња назива се кућиште. Кућиште се не окреће заједно са ротором, али се мора окретати заједно са торњем. Кућиште у себи садржи преносни механизам, генератор електричне енергије, систем за хлађење уља преносног механизма, систем кочења ветрогенератора, моторе и механизам за скретање, системе за мерење брзине ветра и одређивање његовог правца, трансформатор за снабдевање ветрогенератора енергијом и другу опрему у зависности од дизајна самог

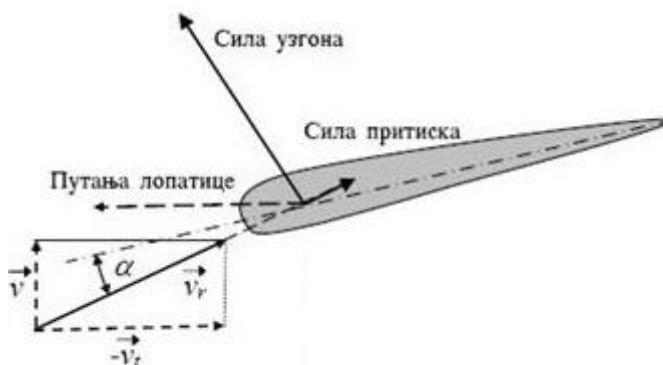
ветрогенератора. Такође, кућиште представља против-тег главчини и лопатицама ветрогенератора. (11)

7. **Генератор електричне енергије** – Генератор врши конверзију механичког рада у електричну енергију. Може бити различитих димензија, где су димензије генератора пропорционалне његовој снази. Генератор може имати две улоге, уколико добија електричну енергију понашаће се као мотор у систему, а уколико добија механички рад понашаће се као генератор електричне енергије. Генератор може производити једносмерну или наизменичну струју, у зависности од конструкције саме машине. Генератори који производе наизменичну струју могу бити синхрони или асинхрони (индукциони). Главна разлика између синхроног и асинхроног генератора је што синхрони мора имати константну брзину обртања. У свим хидро и нуклеарним електранама користи се управо синхрони генератор. (11)
8. **Анемометар** – Анемометар је уређај за мерење брзине ветра, а у неким конструкцијским извођењима може одређивати и његов правац. Представља кључну компоненту код ветрогенератора, јер није могуће узимати максималну енергију ветра без прецизних мерења његове брзине и правца. Постоје две врсте анемометара. Најчешће коришћени је анемометар са лопатицама, који се састоји од малог вертикалног вратила, на које су постављене три лопатице у облику полулопте које прихватају ветар (слика 2.7 лево). Струја ветра ротира лопатице око осе вратила, брзина ротације лопатица зависи од брзине ветра. У подножју вратила налази се генератор једносмерне струје чији је генерисани напон пропорционалан брзини ветра. Друга врста анемометра је ултразвучни анемометар (слика 2.7 десно). Овај тип анемометра мери брзину звука ветра. Како је брзина звука у ваздуху позната при било којој температури, било које одступање од те вредности представља брзину ветра. (11)



Слика 2.7. Анемометар са лопатицама (лево) и ултразвучни анемометар (десно)

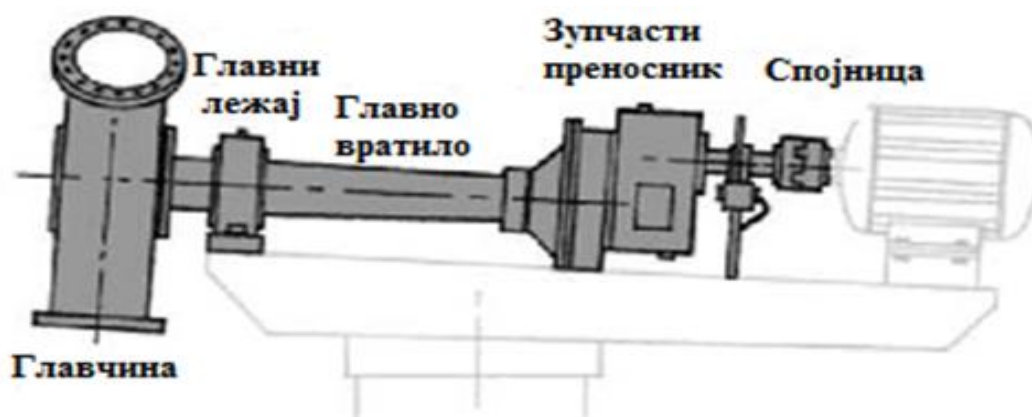
9. **Кочница** – Ветрогенератори се опремају кочницом која ће бити употребљена када ветрогенератор треба зауставити и конструкцијски је слична кочионом диску код аутомобила. Ветрогенератори се заустављају из више разлога: због одржавања, јаких ветрова, отказивања неких компоненти итд. Из тог разлога је неопходно да сваки ветрогенератор има кочиони систем који ће спречити ротор да се okreће. Овај кочиони систем се уграђује пре генератора, на вратило са високим бројем обртаја. (11)
10. **Преносни механизам** – Преносни механизам се састоји од више спрегнутих зупчаника и кућишта. Зупчаници се користе када је број обртаја погонског вратила различит од броја обртаја гоњеног вратила. Код ветрогенератора, број обртаја ротора мора бити исти као и ротациона брзина генератора. Ветрогенератори спадају у изузетне случајеве, јер је број обртаја ротора мањи од броја обртаја генератора, па преносни механизам (редуктор у овом случају) мора повећати број обртаја ротора како би се изједначио са бројем обртаја генератора. Због трења у зупчаницима, појавиће се одређена количина топлоте у преносном механизму. Та топлота је неизбежна и мора бити одведена, јер ће у супротном зупчаници акумулирати све више топлоте, што може изазвати оштећења компоненти. (11)
11. **Лопатица ветрогенератора** – Код ветрогенератора увек се тежи што је могуће већој ефикасности. Из тог разлога лопатица турбине има аеродинамички профил, сличан оном код авионског крила. Услед разлике у брзинама струјања ваздуха јавља се разлика у притисцима са задње и предње стране лопатице турбине, што узрокује узгонску силу, чија пројекција на раван ротације генерише обртни момент (слика 2.8). Поред ове силе, делује и сила директног притиска ветра на лопатицу, али је њен утицај на обртни момент много мањи. С обзиром да лопатица ротира, за силе које делују на лопатицу меродавна је брзина ветра (v) и обимна брзина (v_t) посматраног сегмента лопатице. Сегменти који су удаљенији од осе ротације имају већу обимну брзину, па се самим тим мења и релативна брзина (v_r) дуж лопатице. Идући од осе ротације ка периферији лопатице релативна брзина ветра се повећава а њен нападни угао (α) у односу на осу ротације се смањује. Зато су лопатице ветротурбина увијене дуж аксијалне осе. За обликовање лопатица ветрогенератора користе се сложени математички модели, а верификација прорачуна врши се на физичким моделима у аеродинамичким тунелима. (1) и (11)



Слика 2.8. Силе које делују на лопатицу ветрогенератора

12. **Контрола угла лопатице** – Код старијих генерација ветрогенератора, лопатице су биле фиксирани за главчину завртњевима и није постојала могућност релативног кретања лопатица у односу на главчину. Новији ветрогенератори садрже систем за контролу угла лопатице. Са овим системом лопатице нису фиксирани за главчину, већ им је дозвољено да се окрећу око своје осе. Мењање угла (нагиба) лопатица у односу на главчину служи да би се манипулисало узгонском силом проузрокованом ветром на лопатици, односно количином енергије која се одузме од ветра. Такође, систем промене угла лопатице се користи да се смањи сила ветра када је потребно зауставити ветрогенератор. Читав систем за промену угла лопатица се налази унутар главчине, укључујући електричне или хидрауличне моторе који приморавају лопатице да се окрену око своје осе. (11)
13. **Ротор** – Код уређаја са наизменичном струјом, ротациони елемент се назива ротор, а стационарни статор. Ротор заједно чине главчина и лопатице који су описани изнад. Енергију ветра коју ротор прихвати преко преносног механизма се преноси до генератора где се генерише електрична енергија. У случају одржавања, ротор се може закључати у једној позицији, тако што се у рупу кочионог диска који је повезан са главним вратилом убаци чиода, на тај начин ротор је закључан са кућиштем ветрогенератора и не може се покренути. (11)

Трансмисиони систем се састоји од: главчине, главног вратила, лежајева, спојница и зупчастог преносника (слика 2.9). Носећи лежајеви су обично сферични котрљајни лежајеви. Заптиваче је лавиринтско, чиме је отклоњена могућност хабања, као и продора воде и прљавштине у лежај. Главно вратило се преко фриксионе спојнице повезује са зупчастим преносником, на који преноси обртни момент. Лежајеви унутар зупчастог преносника морају да приме веома висока оптерећења и велики је проблем при њиховом подмазивању. Веома је битно да се лежајеви подмазују аутоматским системом подмазивања и коришћењем специјалног уљног филтера. У пустињама ваздушна прашина може доспети до зупчастог преносника и да проузрукује абразивно хабање, а код ветрогенератора постављених на мору влага и со су увек присутни. Из тог разлога је неопходно правилно уграђивати зупчasti преносник и пазити приликом одржавања истог. (12)



Слика 2.9. Трансмисиони систем ветрогенератора

2.4. ТЕОРИЈА ИДЕАЛНЕ СТРУЈЕ ВЕТРА

У теорији, снага ветра (P) се рачуна по следећој једначини (10):

$$P = C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \text{ [W]} \quad (1)$$

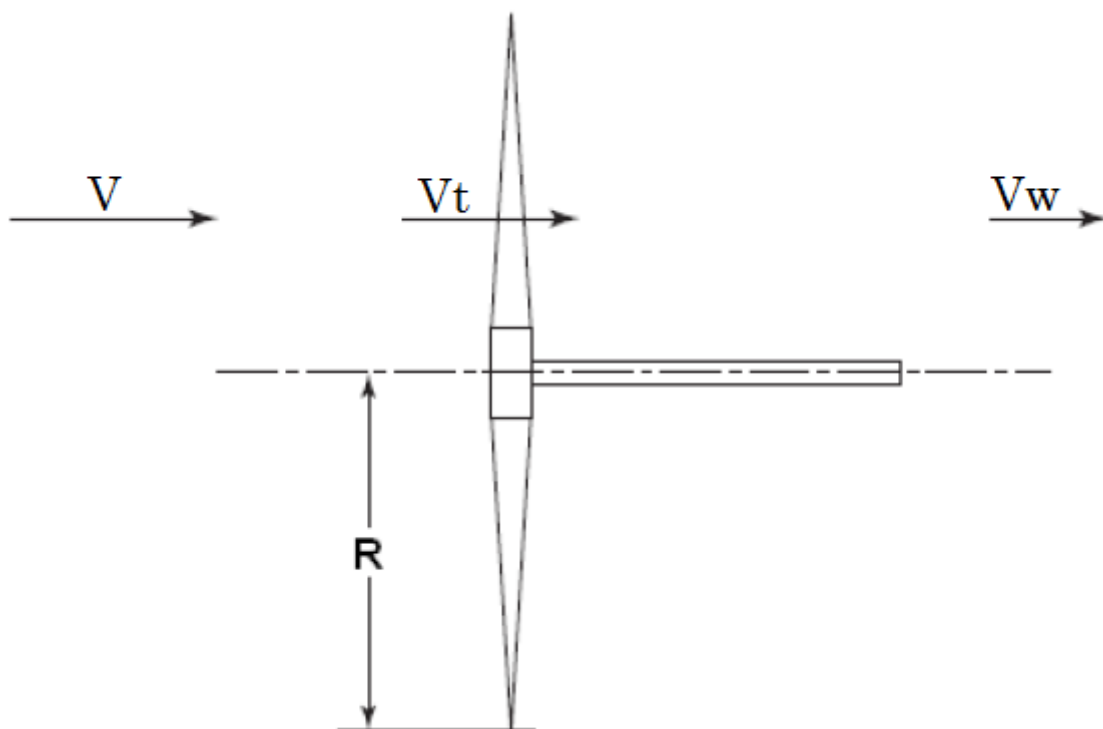
Где су:

C_p [-] – бездимензијски коефицијент снаге

ρ [$\frac{kg}{m^3}$] – густина ваздуха

A [m^2] – површина диска турбине

V [$\frac{m}{s}$] – брзина ветра



Слика 2.10. Идеална струја ветра која пролази кроз ветротурбину

Стварна снага ће се даље смањити због губитака у преносном механизму и ефикасности генератора. У пракси, већина ветрогенератора има ефикасност испод 50% у зависности од типа, конструкцијског извођења и услова рада. (10)

Вредност идеалне снаге је ограничена величином познатом као Betz-ов коефицијент са вредношћу $C_p = \frac{16}{27} \approx 0,59$ (једначина 1) као највећи могући коефицијент конверзије енергије ветра у електричну, доказ ће бити изведен у даљем тексту. (10)

Пошто турбина користи одређени износ кинетичке енергије ветра, његова брзина ће бити ређукована у непосредној близини турбине на износ V_t (слика 2.10), а низводно од турбине брзина ваздуха ће бити ређукована на још нижу вредност V_w у простору названом регион трага. (1)

Снага произведена (P_{kin}) у ветрогенератору је при промени кинетичке енергије од улаза до излаза из ветрогенератора и при масеном протоку ваздуха кроз турбину $\rho V_t A$ изражена једначином (10):

$$P_{kin} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V_t \cdot (V^2 - V_w^2) \text{ [W]} \quad (2)$$

И како је брзина ротора једнака средњој вредности улазне и излазне брзине ветра у ветрогенератору (10):

$$V_t = \frac{1}{2} (V - V_w) \quad (3)$$

Сада се снага може изразити преко улазне и излазне брзине (10):

$$P_{kin} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot \left(\frac{V - V_w}{2} \right) \cdot (V^2 - V_w^2) = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot A \cdot [V^3 - V_w^3 - V \cdot V_w^2 + V^2 \cdot V_w] = \frac{1}{4} \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot \left(1 - \left(\frac{V_w}{V} \right)^3 - \left(\frac{V_w}{V} \right)^2 + \left(\frac{V_w}{V} \right) \right) \quad (4)$$

Да би се добила максимална добијена снага у ротору, потребно је диференцирати једначину (4) по излазној брзини из ветрогенератора V_w и изједначити је са нулом (10):

$$\frac{dP_{kin}}{dV_w} = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot A \cdot (-3 \cdot V_w^2 - 2 \cdot V \cdot V_w + V^2) = 0 \quad (5)$$

Како површина диска турбине (A) и густина ваздуха (ρ) не могу бити једнаки нули, израз у заграда из једначине (5) је једнак нули:

$$(-3 \cdot V_w^2 - 2 \cdot V \cdot V_w + V^2) = (3V_w - V) \cdot (V_w - V) = 0 \quad (6)$$

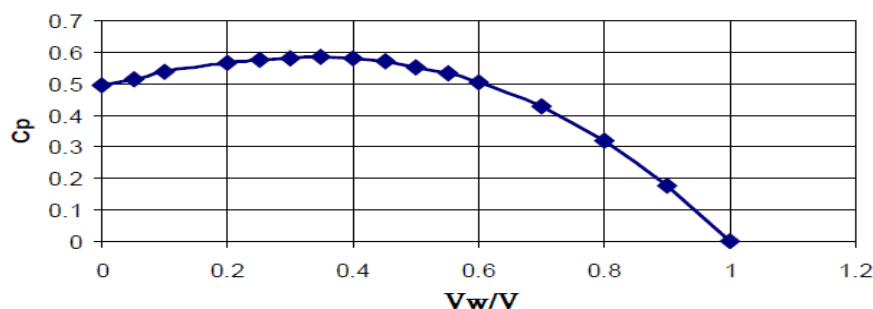
Одакле следи једнакост:

$$V_w = \frac{1}{3} V \quad (7)$$

Заменом једначине (7) у једначину (4) добија се:

$$P_{kin} = 0,5925 \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (8)$$

Чиме је задовољен услов да је $C_p \approx 0,59$. На дијаграму испод (слика 2.11) приказана је зависност коефицијента снаге C_p од односа излазне и улазне брзине ветра (10):



Слика 2.11. Betz-ова граница искоришћености енергије ветра

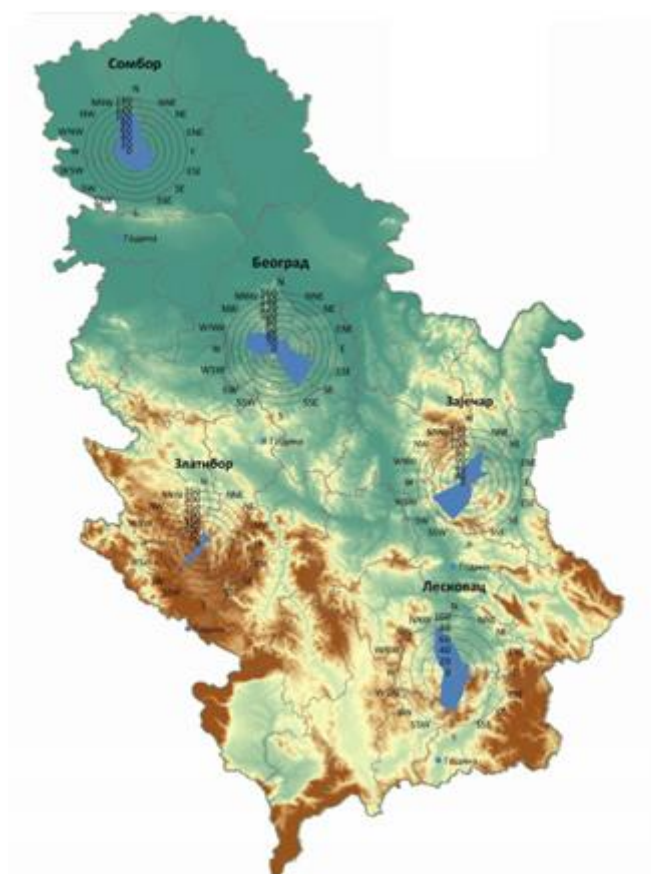
2.5. ПРИМЕНА ВЕТРОГЕНЕРАТОРА У Р. СРБИЈИ

У Р. Србији први ветропарк изграђен је недалеко од Куле 2015. године, снаге 9,9MW, други ветропарк изграђен је у јужном Банату у близини Вршца 2016. године, снаге 6,6MW. У плану је да се до 2020. године 27% електричне енергије добија из обновљивих извора енергије. Регистар фирми које се баве ветрогенераторима у Р. Србији су:

- Дистрибутери: Envidome d.o.o. , Technocommerce, Telefon Inženjering doo;
- Инвеститори: Banca Intesa, ERSTE Bank, NLB Banka AD, OTP Banka AD, Pro Credit Banka AD, Reiffeisen Banka AD, SBERBANK, Societe Generale Serbia AD, UniCredit Bank;
- Извођачи радова: Envidome d.o.o. , Mirotin-Energo doo;
- Консултанти: Envidome d.o.o. , Mirotin-Energo doo, SA Financial Services GmbH;
- Пројектанти: Envidome d.o.o., Hidrowind doo, Mirotin-Energo doo, SA Financial Services GmbH. (13)

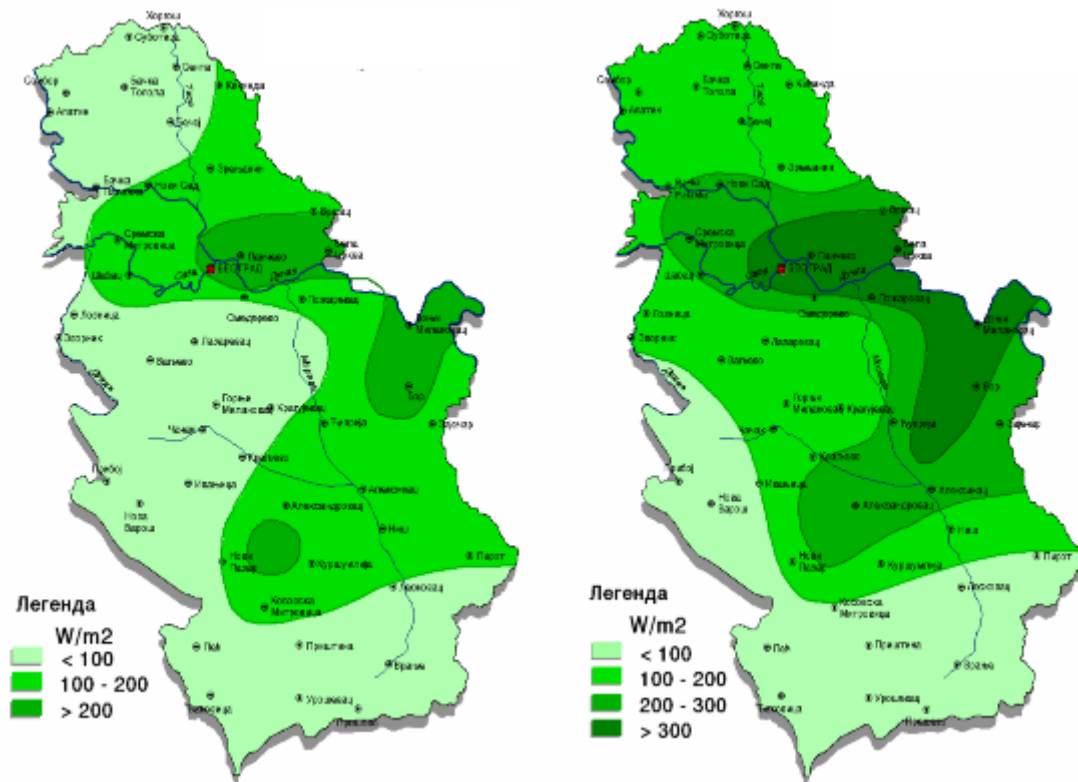
Свакако, у Р. Србији постоје погодне локације за изградњу ветрогенератора и то су углавном планински предели и панонска низија. (13)

На слици испод дате су руже ветрова за Сомбор, Београд, Зајечар, Лесковац и Златибор. (14)



Слика 2.12. Приказ руже ветрова за референтни период 1981-2010. година

На слици 2.13 је дата просечна снага ветрова на висини од 100m на територији Р. Србије у односу на годишње доба за које су мерени. (15)



Слика 2.13. Просечна снага ветрова у Р. Србији у јулу (лево) и јануару(десно)

2.5.1. НЕОПХОДНЕ ДОЗВОЛЕ ЗА ИЗГРАДЊУ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА

За изградњу нових објеката неопходне су дозволе надлежних установа, то се такође односи и на ветрогенераторе.

Сваком инвеститору, уколико жели да изгради ветрогенератор и продаје електричну енергију ЕПС-у је неопходно да стекне права у следеће две области:

- Право на изградњу;
- Право на производњу електричне енергије.

Код стицања права на изградњу, први корак за будућег инвеститора би било прибављање информације о локацији. Издавање дозволе за изградњу ветрогенератора је у надлежности Јединице локалне самоуправе. Други корак био би прибављање енергетске дозволе, то се односи само на ветрогенераторе снаге од 1MW и више. Да би се добила енергетска дозвола неопходне су претходно прибављене информације о локацији, затим урађен елаборат о изградњи, мишљење оператера дистрибутивног система о могућностима прикључења и изјава банке о спремности да прати инвеститора у финансирању. Трећи корак би био прибављање локацијске дозволе. Да би се дошло до локацијске дозволе неопходно је претходно имати решене имовинско-правне дозволе, прикупљене услове за пројектовање, извршено формирање грађевинске парцеле, техничка документација за објекат ветроелектране и сагласност са становишта безбедности ваздушног саобраћаја. Четврти корак би било прибављање грађевинске

дозволе. Да би се дошло до ове дозволе неопходно је најпре извршити студију о процени утицаја на животну средину (односи се само на ветрогенераторе снаге од 10MW и више), затим набавити пројектну документацију, па извршити техничку контролу пројектне документације и на крају сагласност на пројектну документацију и студију утицаја. Последњи корак би било прибављање употребне дозволе. Да би се дошло до ове дозволе неопходно је претходно израдити пројекат изведеног стања, затим изградити објекат, извршити технички преглед изграђеног објекта, након чега се може прибавити водна дозвола. Употребна дозвола се не може издати без претходно добијене водне дозволе. (16)

Да би се стекло право на производњу електричне енергије, најпре је неопходно закључити уговор о поверавању са Владом Р. Србије, поступак закључивања овог уговора спроводи Министарство енергетике и рударства. Други корак би била лиценца, она је неопходна само за ветрогенераторе снаге од 1MW и више, а издаје је Агенција за енергетику Р. Србије. Трећи корак је добијање одобрења за прикључење објекта на електродистрибутивну мрежу. Четврти корак је добијање статуса повлашћеног произвођача где се дефинише тарифа откупне цене (9,5 с€/kWh). Последњи корак јесте подношење захтева за потписивање уговора о откупу електричне енергије са ЕПС-ом, у року од 30 дана треба бити израђен цео уговор и његов рок важења би био 12 година. (16)

2.5.2. ПРИМЕНА ВЕТРОГЕНЕРАТОРА У КРАГУЈЕВЦУ

У Крагујевцу тренутно не постоји ниједан ветрогенератор веће снаге. Студенти Факултета инжењерских наука у Крагујевцу су инсталирали ветрогенератор као пројекат мастер рада, који је производио од 12W до 15W електричне енергије. Осим иницијативе појединаца да инсталирају ветрогенератор за потребе домаћинства, нема забележених ветрогенератора већих капацитета. (17)

Фирме у Крагујевцу које се баве дистрибуцијом ветрогенератора су RD-Solar Systems и Technocommerce. Једина фирма која се бави извођењем радова је Elektrovizija doo. (13)

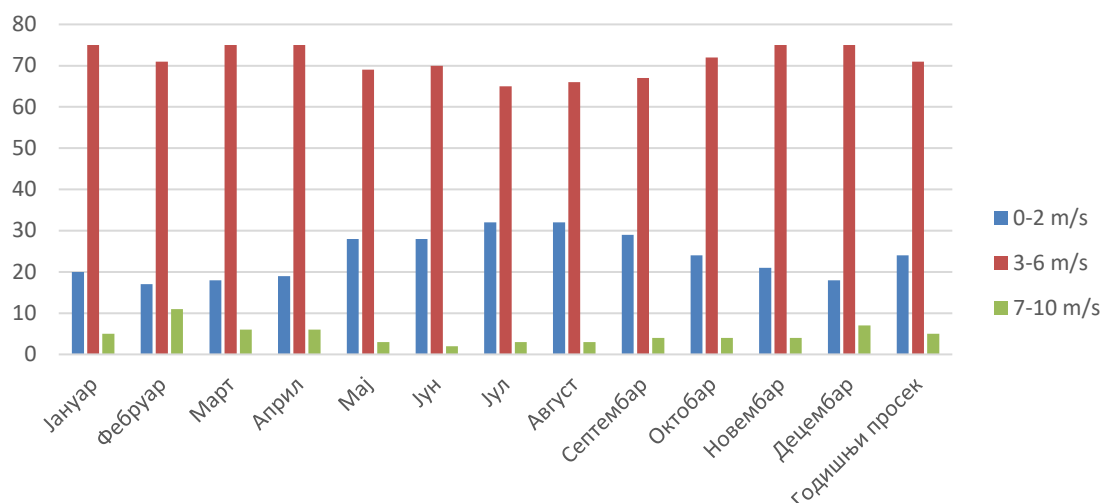
У табели 2.1 приказан је просек брзине ветра у Крагујевцу на 10m изнад површине Земље, мерења су вршена од 1983. до 1993. године. (18)

Табела 2.1. Месечни просек брзине ветра (m/s) на 10m изнад површине Земље

	Јан	Феб	Мар	Апр	Мај	Јун	Јул	Авг	Сеп	Окт	Нов	Дец	Годишњи просек
Просек 10-год	3.11	3.45	3.21	3.20	2.79	2.70	2.72	2.72	2.83	2.97	3.06	3.33	3.00

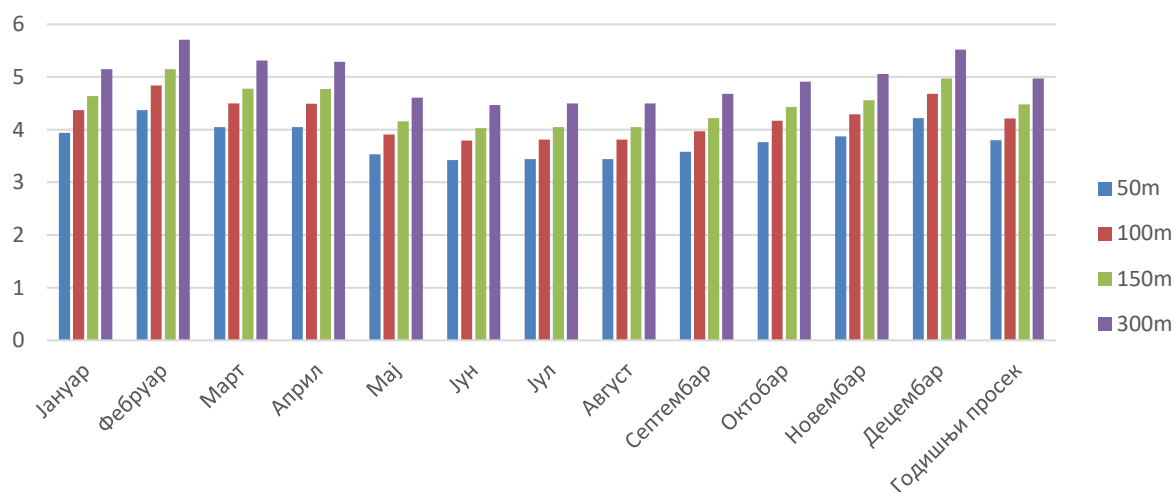
Из табеле изнад можемо закључити да на висини од 10m брзине ветра нису повољне за инсталисање ветрогенератора. Годишњи просек од 3 m/s значи да су у Крагујевцу брзине ветра веома мале и да се не исплати изградња ветрогенератора.

На дијаграму 2.14 приказан је временски просек у процентима када се ветар налази у назначеном опсегу брзина на висини од 50m изнад површине Земље, мерено од 1983. до 1993. године. (18)



Слика 2.14. Дијаграмски приказ временског просека израженог у процентима када се ветар налази у назначеном опсегу брзина на висини од 50m

Са дијаграма 2.15 можемо закључити је да на висинама од 50m изнад површине Земље процентуална брзина ветра највише у опсегу од 3 до 6 m/s, најмање у опсегу од 7-10 m/s, док нису забележене брзине ветра изнад 10 m/s.



Слика 2.15. Дијаграмски приказ месечног просека брзине ветра(m/s) на 50,100,150 и 300 метара изнад површине земље, мерено од 1983. до 1993. године

У табели 2.2 може се видети месечни просек правца ветра изражен у степенима, на висини од 50m изнад површине Земље, мерено од 1983. до 1993. године.

Табела 2.2. Просек правца ветра изражен у степенима за сваки месец посебно током 10 година мерења, од 1983. до 1993. године

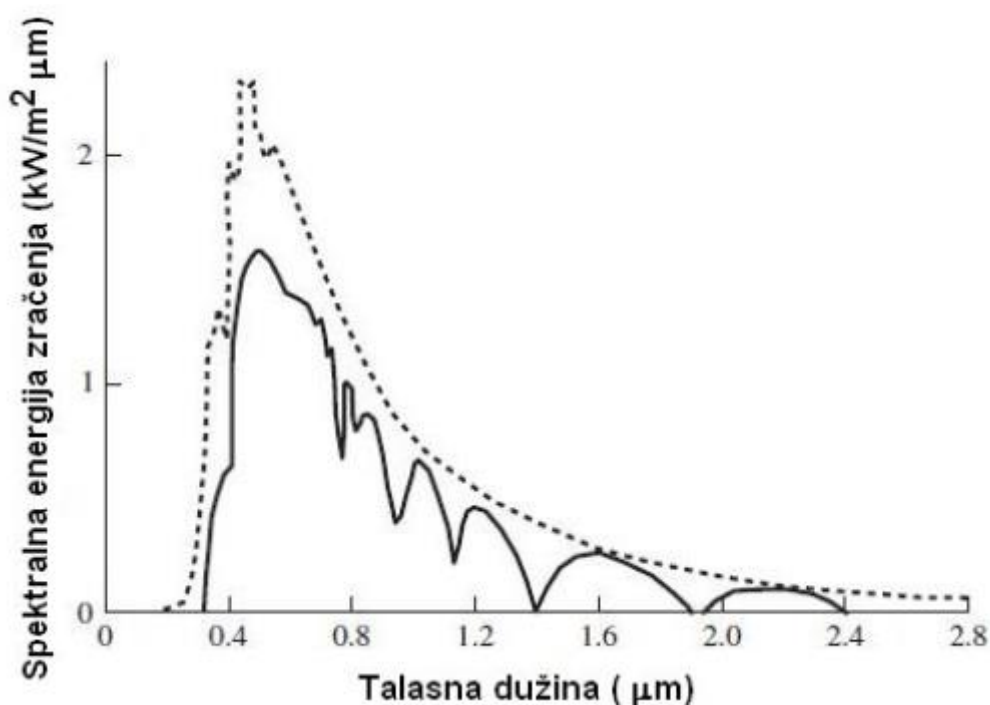
	Јан	Феб	Мар	Апр	Мај	Јун	Јул	Авг	Сеп	Окт	Нов	Дец
Просек 10-год	229	217	214	220	227	244	259	268	272	261	252	250

3. ФОТОНАПОНСКЕ ЋЕЛИЈЕ

Фотонапонске ћелије се све више користе у свету, где постају конкурентне на тржишту у односу на конвенцијалне и алтернативне изворе енергије. Тржиште фотонапонских ћелија расте огромном брзином, како се цене конвенционалних извора енергије константно повећавају. Ако узмемо у обзир да Сунце ослободи сваког дана више енергије него што цео свет може потрошити за годину дана, соларна енергија се може сматрати обновљивим видом енергије. Иако само мали део Сунчевог зрачења погоди Земљу, снага Сунчевог зрачења износи око $3,8 \cdot 10^{23}$ kW, односно $3,3 \cdot 10^{27}$ kWh/god што и даље представља огромну количину енергије. (19)

Само део зрачења које долази у контакт са горњим слојем атмосфере (екстратерестријално зрачење), долази до Земљине површине (терестријално зрачење). Средњи топлотни флуks екстратерестријалног зрачења назива се соларном константом и износи $I_s = 1367 \text{ W/m}^2$. Око 94% укупне енергије зрачења носе зраци таласних дужина између 0,3 и 2 μm . Расподела енергије Сунчевог екстратерестријалног и терестријалног зрачења по таласним дужинама приказана је испрекиданом линијом (слика 3.1). Основне компоненте сунчевог спектра су ултравиолетно ($<0,38 \mu\text{m}$), видљиво ($0,38\text{--}0,78 \mu\text{m}$) и инфрацрвено зрачење ($>0,78 \mu\text{m}$). Ова зрачења носе 6%, 48% и 46% енергије, респективно. Директно терестријално Сунчево зрачење, односно зрачење које преостане после атмосферске апсорпције и расипања, приказано је пуном линијом (слика 3.1). (1)

Количина соларне енергије која доспе на површину планете назива се инсолација и зависи од географске ширине, годишњег доба, временских услова и загађења атмосфере. Под најбољим условима, чисто небо и средишњи положај сунца (најмањи угао зрачења), око 80% екстратерестријалног зрачења доспе до Земљине површине. (20)



Слика 3.1. Сунчев спектар екстратерестријалног и директног терестријалног зрачење

3.1. ИСТОРИЈА РАЗВОЈА ФОТОНАПОНСКИХ ЋЕЛИЈА

Појам „фотонапонско“ долази од грч. $\phi\omega\varsigma$ - $\rho\eta\omicron\varsigma$ што значи светлост. Француски физичар А. Е. Бекерел је 1839. године открио фотоелектрични ефекат тако што је уронио две електроде у електролит и изложио их сунцу, након чега је приметио благи пораст волтаже. Године 1883. Чарлс Фритс је израдио прву фотонапонску (у даљем тексту ФН) ћелију од селена. Због компактности ћелија, Чарлс је увидео да оне могу бити инсталисане независно од електродистрибутивне мреже и то је сматрао огромном предношћу. Током 1930-их година, научници су открили селенијумску ФН ћелију. У почетку ефикасност ових ћелија је била веома мала, негде око 1%. 1954. године је произведена прва модерна фотонапонска ћелија, од стране Bell лабораторије. Исте године Дарил Чапин, Калвин Сатер Фулер и Џералд Пеарсон произвели су прву високоучинковиту фотонапонску ћелију, користећи дифузни силицијумски р-п спој. 1960-тих дошло је до преласка на интегрисана кола, при чему је цена већих комада кристала опала. ФН ћелије су се у почетку користиле на усамљеним објектима (светионицима, аеродромима, истраживачким платформама на мору итд.). Примена ФН ћелија је убрзано порасла када су научници увидели да су представљале незаменљив извор електричне енергије у свемиру и да се исплати уградити их у сателите и друга свемирска возила, јер није било могуће ускладиштити довољну количину електричне енергије на Земљи. Главна предност ФН ћелија у свемиру је чињеница да није потребно складиштити генерисану електричну енергију, јер су непрекидно обасјане сунцем. (21)



Слика 3.2. Сателит који користи ФН панеле

3.2. ПРИНЦИП РАДА ФОТОНАПОНСКИХ ЋЕЛИЈА

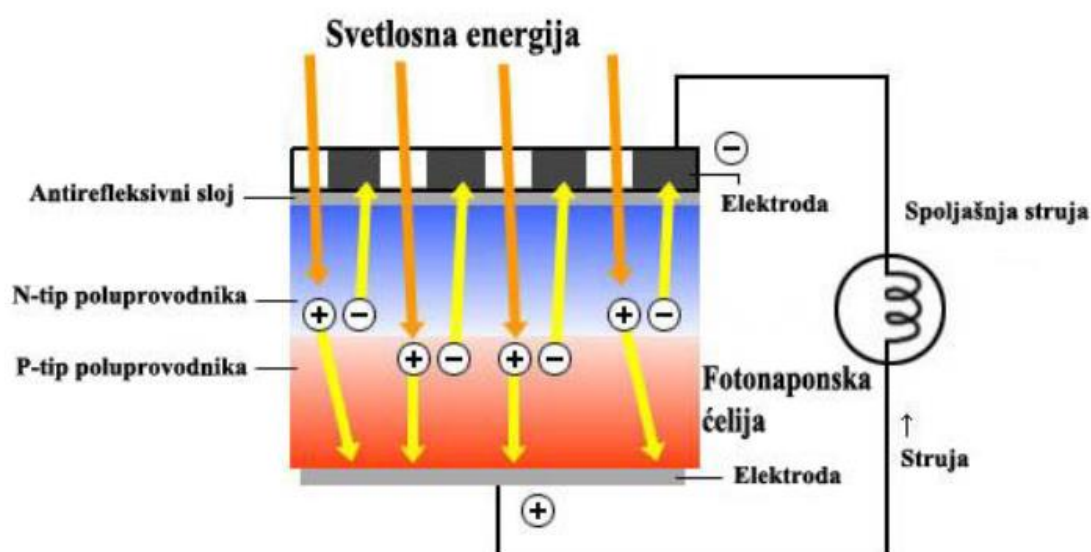
Фотонапонским ефектом соларна енергија се може директно претворити у електричну у самим ћелијама. Када ФН ћелија апсорбује Сунчево зрачење, фотонапонским ефектом се на њеним крајевима произведе електромоторна сила и тако ФН ћелија постаје извор електричне енергије. (1)

Сунчева енергија се састоји од фотона, који садрже различиту количину енергије у зависности од одговарајућих таласних дужина Сунчевог спектра. Када се фотони сударе са фотонапонским ћелијама, могу бити рефлектовани или апсорбовани. Једино апсорбовани фотони стварају електричну енергију. (1)

ФН ћелије су израђене од полупроводничких материјала, који садрже електроне везане slabим везама за сопствено језгро. Силицијум је други најраспрострањенији елемент у природи и поседује веома добре проводничке способности. Атом Si садржи 14 електрона подељених у три орбитале. Прве две су попуњене, а у последњој остаје 4 валентних електрона. Да би елемент био стабилан у овој орбитали је потребно 8 валентних електрона. Ако додамо овом елементу неки елемент који у последњој орбитали има 5 електрона, као што је фосфор, силицијум се тада допингује. Један електрон ће остати везан slabим везама за сопствено језгро. Овај електрон се лако ослобађа када на њега делује енергија фотона електромагнетног зрачења. Овде се ради о n-типу полупроводника (негативно наелектрисан). (22)

Уколико се силицијум допингује елементима који имају три електрона у последњој орбитали, као што је бор, везе између атома ће имати шупљине. На овај начин се добија полупроводник p-n типа. Слој полупроводника n типа изложен је дејству светлости која производи слободне електроне у слоју и тиме ствара разлику потенцијала, горњег и доњег слоја полупроводничког материјала. Поред p (позитивно наелектрисање), n и p-n полупроводничких слојева, фотонапонска ћелија на врху поседује антирефлексни транспарентни слој, затим метални контакт на n слоју, после тога три поменута слоја и на крају рефлективна метална плоча-контакт са задње стране плоче (слика 3.3).

За формирање антирефлексног слоја користи се титанијум-диоксид или силицијум-нитрит. (19)



Слика 3.3. Принцип рада фотонапонске ћелије

3.2.1. ОСНОВНИ ТИПОВИ СИЛИЦИЈУМСКИХ ФН ЋЕЛИЈА

Тренутно 95% фотонапонских ћелија у експлоатацији представљају управо силицијумске ФН ћелије. Три основна типа силицијумских ФН ћелија су:

- Монокристалне силицијумске ћелије;
- Поликристалне силицијумске ћелије;
- ФН ћелије од аморфног силицијума. (19)

Када се из истопљене масе силицијума издваја потпуно чист силицијум који кристализује као монокристал, а потом се реже специјалним поступком у веома танке плоче, у питању су монокристалне силицијумске ћелије (слика 3.4). Дебљине исечених плочица су од 200 до 300 μm . Овакав тип фотонапонске ћелије је најквалитетнији и има највећу ефикасност. (19)



Слика 3.4. Поступак добијања монокристалних силицијумских ћелија

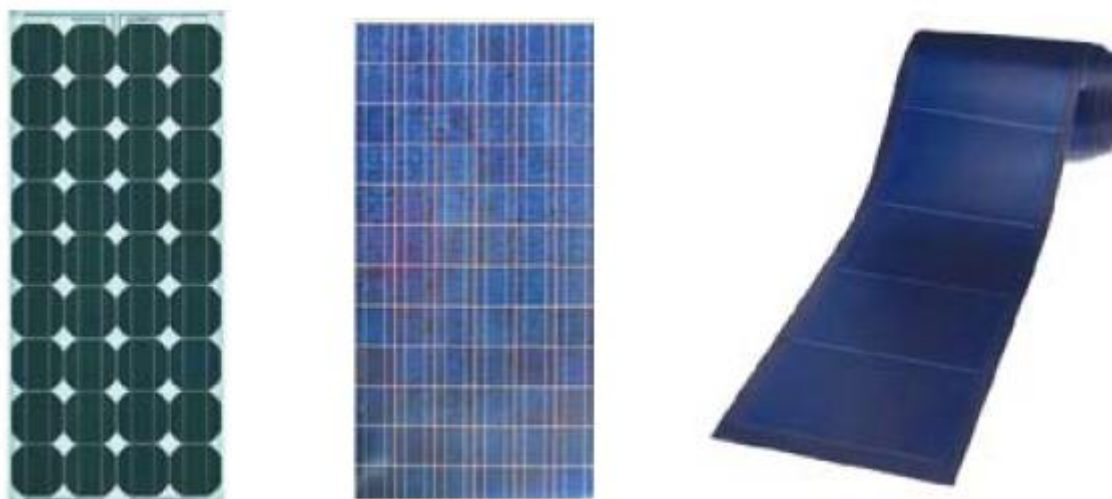
Поликристалне фотонапонске ћелије представљају алтернативу монокристалним ћелијама и добијају се јефтинијим поступком, тако што се течни силицијум лије у калупе, где се кристализује у ситније неправилне кристале и затим реже у танке плоче (слика 3.5). Због неправилности на границама формираних кристала овакве фотонапонске ћелије имају мању ефикасност од монокристалних. (19)



Слика 3.5. Поступак добијања поликристалних силицијумских ћелија

Уколико се силицијумски слој наноси у виду филма (дебљина мања од 1 μm) на стакло или неку другу подлогу, добијају се фотонапонске ћелије од аморфног силицијума, које су најјефтиније и најмање ефикасности (слика 3.6). (19)

Треба напоменути да се технологија фотонапонских ћелија интензивно развија, па су настале нове технологије наношења аморфног силицијума на одређену подлогу, које се често користе, као што су кадмијум-телурид, бакар-индијум-диселенид, бакар-индијум-галијум-диселенид итд. (19)



Слика 3.6. Приказ монокристалних (лево), поликристалних (средина) и аморфних у виду танког филма (десно) силицијумских ћелија

У табели испод дате су просечне вредности ефикасности најчешће коришћених фотонапонских ћелија у лабораторијским условима, као и у експлоатацији, изражене у процентима. (19)

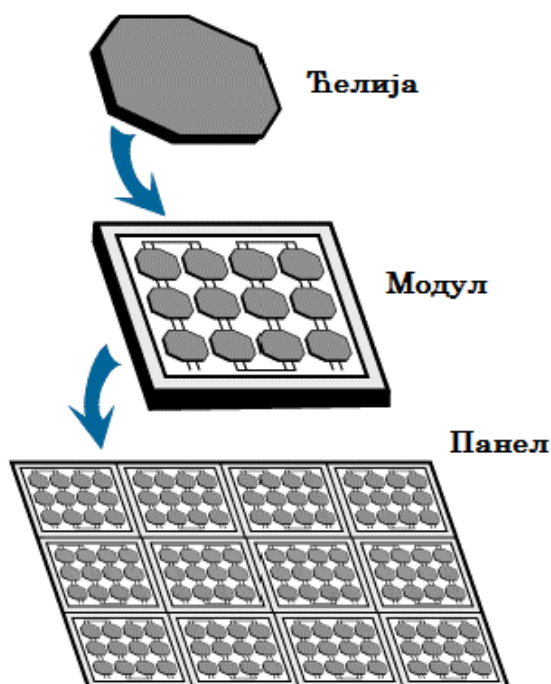
Табела 3.1. Просечне вредности ефикасности фотонапонских ћелија

Материјал	Ефикасност у лабораторијским условима (%)	Ефикасност у експлоатацији (%)
Монокристални Si	24	14-17
Поликристални Si	18	13-15
Аморфни Si	13	5-7
Кадмијум-телурид CdTe	16	6-8
Бакар-индијум-диселенид CuInSe ₂	18	6-8

3.2.2. ВЕЗИВАЊЕ ФОТОНАПОНСКИХ ЋЕЛИЈА

Једна класична силицијумска фотонапонска ћелија има димензије 10x10 cm (веома ретко је већих димензија). Циљ повезивања фотонапонских ћелија је да им се повећа напон, јер се радни напон једне ћелије креће око 0,5 V, што није довољно за напајање акумулатора од 12 V. Редним повезивањем фотонапонских ћелија добија се већи напон, док се њиховим паралелним везивањем добија већа ампеража струје. Могуће су све комбинације серијског и паралелног повезивања ФН ћелија у модуле. А серијским и паралелним повезивањем модула добијају се соларни панели (слика 3.7), зависно од потребе потрошача. Уколико се више модула повеже у панел, више ће се генерисати електричне енергије. Модули и панели се заштићују са предње стране слојем темперованог стакла, а са задње стране флексибилним полимером. Фотонапонска ћелија прикључена на

потрошача даје једносмерну струју, а може се инвертором конвертовати у наизменичну струју одговарајућих карактеристика. (21) и (19)



Слика 3.7. Повезивање фотонапонских ћелија у модуле и панеле

3.3. САМОСТАЛНИ ФОТОНАПОНСКИ СИСТЕМИ

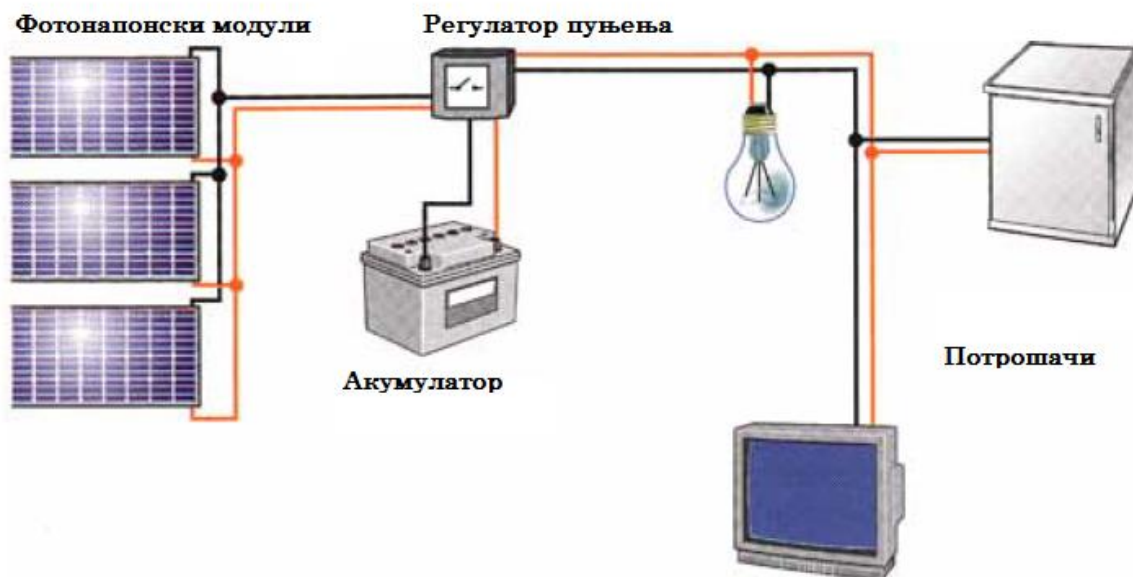
Самостални фотонапонски системи су они који нису прикључени на електро-дистрибутивну мрежу (енгл. *stand-alone systems*) и могу бити изведени са или без складиштења енергије, или као хибридни системи са ветрогенератором, когенерацијом или дизелским генератором. У многим случајевима, самостални фотонапонски системи нуде предности које електродистрибутивна мрежа не може испунити. Овакви системи омогућавају електрификацију руралних области, где електродистрибутивна мрежа нема приступ. (22)

Самостални фотонапонски системи се састоје од (слика 3.8):

- Фотонапонских модула;
- Регулатора пуњења;
- Акумулатора;
- Потрошача;
- Инвертора (уколико потрошачки уређаји раде на наизменичну струју). (22)

Регулатор пуњења – Иако фотонапонски системи могу радити без регулатора пуњења и то се може често видети у пракси фотонапонских система мањих капацитета, мора се нагласити да при планирању дугорочног рада самосталних фотонапонских система морају се избегавати преоптерећења и дубока пражњења. Регулатор пуњења је веза између ФН ћелија, акумулатора и уређаја за потрошњу електричне енергије. Неки од најбитнијих захтева за регулатор пуњења су: мала интерна потрошња (<5mA), висока

ефикасност (96 до 98%), искључења уређаја за потрошњу електричне енергије уколико дође до дубоког пражњења, итд. (22)



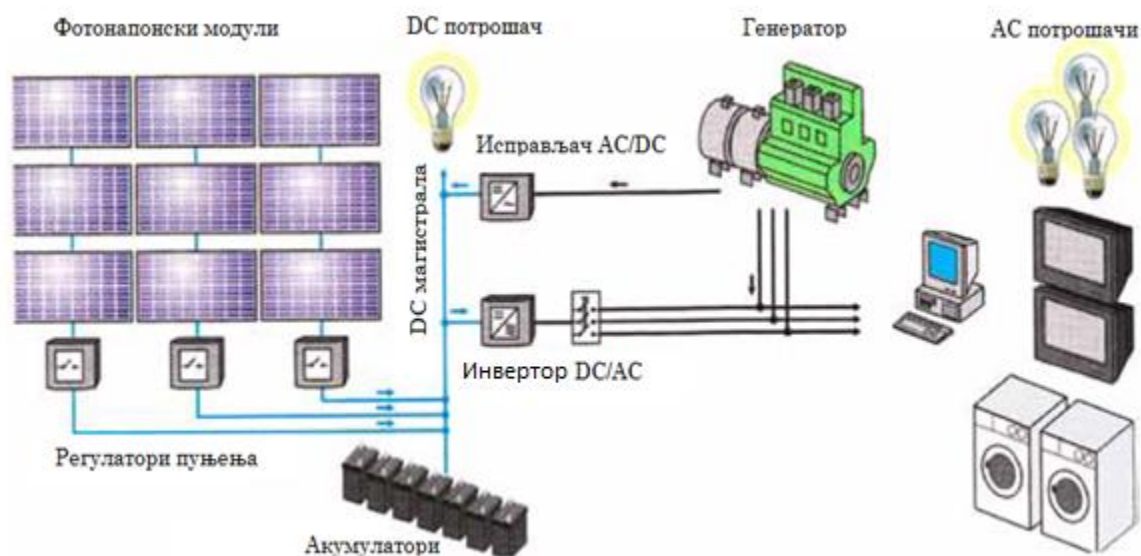
Слика 3.8. Шема самосталног фотонапонског система за потрошаче једносмерне струје

Акумулатор – Самостални фотонапонски системи захтевају „батерију“ за складиштење енергије, како би се надоместио период без или са веома мало сунчевог зрачења (ноћи и облачно време, респективно). У свим досадашњим случајевима када је складиштење енергије било неопходно, класична електрохемијска акумулаторска батерија се показала као најпогодније решење, посебно зато што акумулатор ради са једносмерном струјом и може се директно повезати са фотонапонским ћелијама, без било ког вида претходне конверзије добијене електричне енергије. Међутим, искуство је показало да у самосталним фотонапонским системима, управо акумулатор представља најслабију карику у систему, јер је његов век трајања нижи у односу на све остале компоненте фотонапонског система. Чак 30% трошкова у укупном веку трајања самосталних фотонапонских ћелија, приписује се акумулаторима. Обично, акумулатори се димензионишу тако да осигурају да предвиђена оптерећења могу бити напајана струјом барем 3 до 4 дана, уколико је соларно зрачење недовољно. Резултат таквог димензионисања је да дневно пражњење акумулатора буде у опсегу од 25 до 30% његовог процењеног (номиналног) капацитета. (22)

Инвертор за самосталне фотонапонске системе – У типичном кућном снабдевању електричне енергије, однос максималне и просечне снаге је 25:1, па инвертор мора имати високу ефикасност од приближно 90%. Само мали број инвертора задовољава овај услов заједно са синусоидалном излазном волтажом и капацитетом да издржи краткорочно, двоструко или троструко преоптерећење. Неки од најбитнијих захтева који се постављају инвертору су: широк опсег улазне волтаже (од -10 до 30% од номиналне волтаже), излазна волтажа што је више могуће синусоидална, мала флукуација у излазној волтажи и фреквенцији, $\pm 8\%$ одступање напона и $\pm 2\%$ одступања фреквенције, могућност да издржи кратак спој итд. (22) и (21)

3.3.1. ХИБРИДНИ ФОТОНАПОНСКИ СИСТЕМИ

Да би се повећала поузданост самосталних фотонапонских система, већи системи се обично изграђују као „хибридни“ системи, који су комбинација генератора и фотонапонских ћелија. За веће инсталације, хибридни системи могу бити најбоље котирали на тржишту у скорој будућности. У зависности од тога колико има природних ресурса, други генератори електричне енергије као што су ветрогенератори или хидроелектране могу се употребити како би допунили систем електричном енергијом. Акумулатори обезбеђују да се снабдевање потрошача електричном енергијом одвија без прекида. (22)



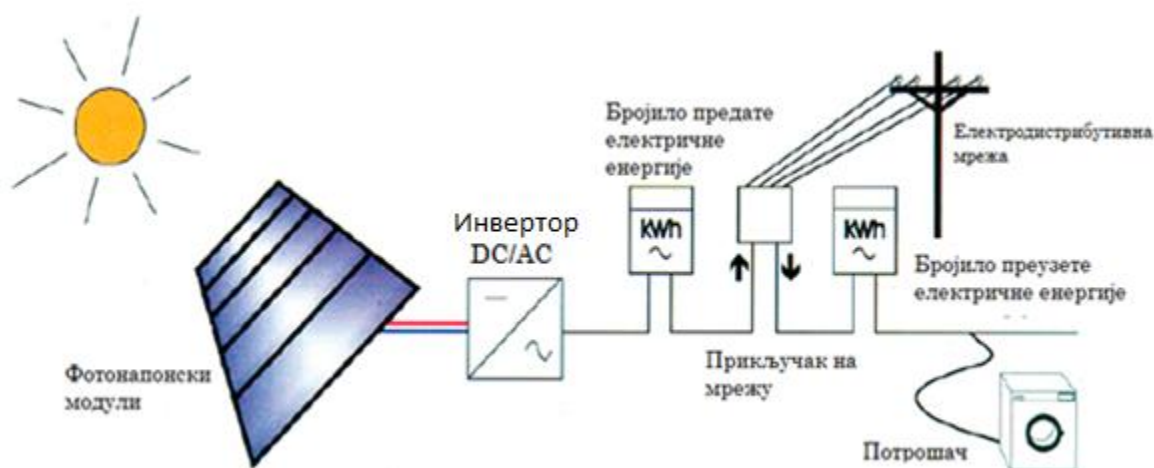
Слика 3.9. Шема самосталног хибридног фотонапонског система са генератором

Помоћни генератор – У глобалу, дизел генератори се данас користе у већим фотонапонским хибридним системима, са потражњом енергије приближно 10 kWh/дневно. За системе са дневном потражњом електричне енергије од неколико стотина Wh до неколико kWh, мањи СУС мотори, горивне ћелије или одговарајући термодинамички конвертори као што су Стирлингови мотори се узимају у обзир. Значајна мана код СУС мотора је честа потреба за њиховим одржавањем. Произвођачи аутомобила препоручују замену уља за дизел моторе на сваких 10 000 километара. Ако претпоставимо да је просечна обимна брзина генератора 50 km/h, то значи да је после 200 h рада неопходно сервисирање. Имајући у виду да помоћни генератор у самосталним системима ради 2 h дневно, то значи да је на сваких три месеца неопходно комплетно сервисирање. Непрестани рад генератора је непожељан, због издувних гасова и буке, као и због ограниченог радног века. (23)

Исправљач – Насупрот инвертору који претвара једносмерну струју (DC) у наизменичну (AC), исправљач се користи за претварање наизменичне струје у једносмерну. Исправљач је неопходна компонента у хибридним системима, јер одређени уређаји користе једносмерну струју. (23)

3.4. ФОТОНАПОНСКИ СИСТЕМИ ПРИКЉУЧЕНИ НА ЕЛЕКТРОДИСТРИБУТИВНУ МРЕЖУ ПРЕКО КУЋНЕ ИНСТАЛАЦИЈЕ

Фотонапонски системи се могу прикључити на електродистрибутивну мрежу коришћењем одговарајућег инвертора (слика 3.10). Складиштење енергије у том случају није неопходно. Сунчаних дана, ФН ћелије ће обезбедити електричну енергију за уређаје у домаћинству. Вишак енергије се одводи у електродистрибутивну мрежу. Док ће током ноћи, или облачних дана, домаћинство користити електричну енергију из мреже. Фотонапонски системи који генеришу електричну енергију паралелно са мрежом имају огроман технолошки потенцијал. Међутим, без субвенција од стране државе, нису финансијски компетентни. Из тог разлога, разноразне државе су последњих започеле програм субвенционисања ФН система прикључених на мрежу у циљу проширења заинтересованости за овај вид добијања електричне енергије. Тако су, на пример, настали програми у Јапану и Немачкој са 70000 и 1000000 фотонапонских система из домаћинства прикључених на мрежу, респективно. (22)



Слика 3.10. Фотонапонски систем прикључен на електродистрибутивну мрежу

Код прикључивања на електродистрибутивну мрежу потрошач добија два бројила (слика 3.10), једно бројило мери количину предале електричне енергије, док друго бројило мери количину преузете електричне енергије. (21)

При планирању фотонапонских система прикључених на мрежу, увек се почиње од одговарајућег инвертора. То одређује волтажу система на страни једносмерне струје, а након тога се може одредити капацитет ФН ћелија базиран на улазним карактеристикама инвертора. Инвертор је други најбитнији уређај (после фотонапонских ћелија) у читавом систему, јер за разлику од самосталних фотонапонских система, инвертори за системе прикључене на мрежу се морају одазвати једнако добро на карактеристике мреже као и на рад фотонапонских ћелија. Како сва електрична енергија пролази кроз инвертор, његова својства фундаментално утичу на понашање и резултате фотонапонског система. Осим неопходности ефикасне конверзије електричне енергије, инвертори у себи садрже компоненте задужене за дневни режим рада. Иницирају почетак рада у правом тренутку, сваког јутра када ФН ћелије испоруче довољно електричне енергије. (22)

3.5. ПРИМЕНА ФОТОНАПОНСКИХ ПАНЕЛА У Р. СРБИЈИ

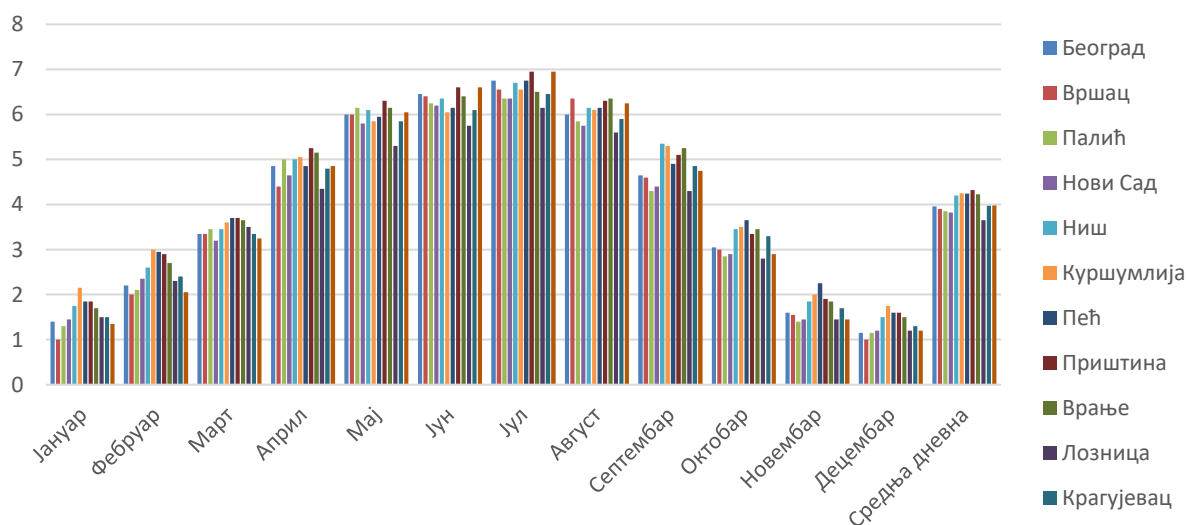
Највећа соларна електрана у Р. Србији отворена је у близини општине Кладово 2014. године, смештена на 4,5 хектара земљишта укупне површине ФН панела од 13600 m². Код Беоцина је, такође 2014. године, отворена соларна електрана која се простире на површине око 2,5 хектара, има 4500 соларних панела и снаге је 5,5 MW. У Лесковцу је 2012. године отворена соларна електрана снаге 260 kW. Још неколико соларних електрана мањих капацитета је отворено у Р. Србији, при чему Србија тренутно користи 21% струје из обновљивих извора енергије. (23)

Регистар фирми које се баве соларном енергијом у Р. Србији су:

- Дистрибутери: Black White doo, Danone Solar doo, Envidome doo, Green Building doo, Grundfos, Master Inženjering, S.O.K. doo, Solar Line doo, Technocommerce, Vaillant GmbH и Viessman doo;
- Инвеститори: Banca Intesa, ERSTE Bank, Komercijalna Banka AD, NLB Banka AD, OTP Banka AD, Pro Credit Banka AD, Reiffeisen Banka AD, SBERBANK, Societe Generale Serbia AD и UniCredit Bank;
- Извођачи радова: Black White doo, Danone Solar doo, Elektrovat, Envidome d.o.o, Grundfos, Master Inženjering и Projektni biro Tehno fluid Inženjering;
- Консултанти: Black White doo, Danica Green Energy doo, Elektrovat, Envidome d.o.o, Projektni biro Tehno fluid Inženjering, SA Financial Services GmbH;
- Пројектанти: Black White doo, Danica Green Energy doo, Danone Solar doo, Elektrovat, Envidome d.o.o, Master Inženjering, NAVITAS SOLARIS doo, Projektni biro Tehno fluid Inženjering, SA Financial Services GmbH, Solar Matarova doo и Strawberry energy. (13)

У Србији је у оквиру СХМЗ, од 1957. до 1987. године радио Републички центар за сунчеву радијацију. Након његовог укидања, не постоје поуздани подаци о инсолацији у Србији, па су меродавни они мерени до 1987. године. (19)

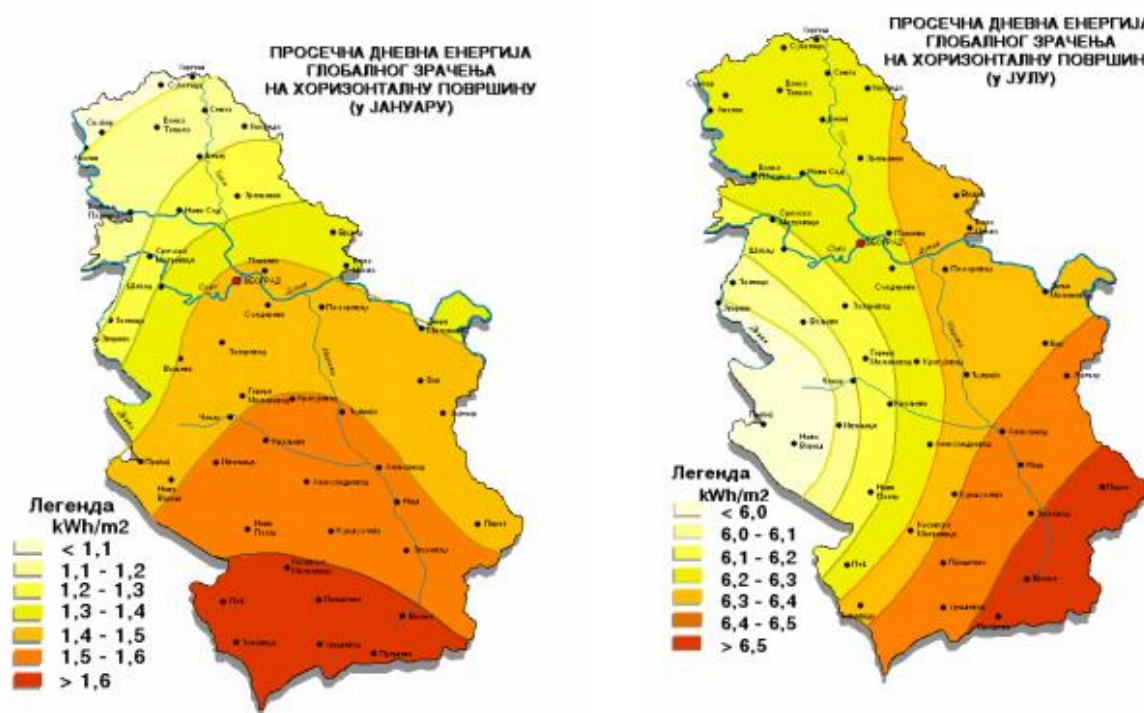
На слици испод приказани су подаци о средњој инсолацији за градове и места у Србији, по месецима. (19)



Слика 3.11. Дијаграмски приказ средње дневне (по месецима) инсолације (у kWh/m²) за поједине градове и места у Србији

Из података у табели 3.2 може се закључити да је просечна годишња инсолација у Р. Србији око 1400 kWh/m², а просечна дневна је око 3,8 kWh/m². У односу на Европу, где је просечна годишња инсолација око 1096 kWh/m², Србија има већи потенцијал сунчевог зрачења. (19)

На територији Србије број сунчаних дана је већи него у осталим деловима Европе (између 1500-2000 часова годишње). Највећи потенцијал имају градови који се налазе на југу земље. Ако је површина орјентисана ка југу и ако је нагнута за 30 степени, тада се највећи годишњи приход убира у периодима март-април и август-септембар. (19)



Слика 3.12. Просечан интензитет глобалног сунчевог зрачења на хоризонталну површину за јануар (лево) и јул (десно)

За инсталисање соларних електрана (фотонапонских ћелија) у Србији, није потребно имати енергетску дозволу, као ни лиценцу за обављање енергетске делатности, нити плаћати порез за капацитете до 1 MW. У случају изградње соларних електрана које су већег капацитета, неопходно је водити исте дозволе као и за ветрогенератор (објашњено у поглављу 2.5.1).

Уколико се соларна електрана мањег капацитета прикључује на електродистрибутивну мрежу, може се добити статус повлашћеног произвођача електричне енергије. Прикључивањем на мрежу добијају се подстицајне откупне цене електричне енергије, тзв. „feed-in“ тарифе- од 16,25 евроценти за 1 kWh (за соларне електране на земљи) до 20,66 евроценти (за соларне електране до 30 kW на објекту). Уговор са електродистрибуцијом би се склапао на 12 година и у том периоду би се постепено исплатила средства уложена за изградњу соларне електране. Са оваквим feed-in тарифама период исплативости инвестиције се процењује између 8 и 10 година. (24)

3.6. ПРИМЕНА ФОТОНАПОНСКИХ ПАНЕЛА У КРАГУЈЕВЦУ

У Крагујевцу су 2014. године инсталиране две мини соларне електране снаге 10 и 15 kW, постављене на кровове пословних објеката у Малим Пчелицама и Виноградима. Ове две мини електране инсталиране су од једине фирме која се бави соларном енергијом у Крагујевцу, „RD Solar“. (25)



Слика 3.13. Приказ соларне електране у Малим Пчелицама

У табели 3.2 приказан је месечни просек броја дана када је ниво облачности био испод 10% у Крагујевцу. Резултати мерења су од јула 1983. године до јуна 2005. године. (18)

Табела 3.2. Месечни просек ведрих дана током 22 године мерења

	Јан	Феб	Мар	Апр	Мај	Јун	Јул	Авг	Сеп	Окт	Нов	Дец
22-годишњи просек	2	2	2	1	2	3	6	7	5	4	2	2

У табели 3.3 приказан је месечни просек броја сунчаних сати (број сати од изласка до заласка сунца). (18)

Табела 3.3. Месечни просек дневне светлости

	Јан	Феб	Мар	Апр	Мај	Јун	Јул	Авг	Сеп	Окт	Нов	Дец
Просек	9.30	10.5	11.9	13.4	14.7	15.4	15.1	14.0	12.5	11.0	9.69	8.98

У табели 3.4 дат је месечни просек облачности током дневне светлости, изражен у процентима. (18)

Табела 3.4. Месечни просек облачности током дана

	Јан	Феб	Ма р	Апр	Мај	Јун	Јул	Авг	Сеп	Окт	Нов	Дец	Укупни просек
22-годишњи просек	71.1	68.4	71.2	73.4	68.5	58.6	50.8	48.2	56.4	59.7	67.1	69.0	63.5

У табели 3.5 приказан је месечни просек укупне количине сунчевог зрачења на хоризонталну површину Земље (инсолација), мерено током 22-годишњег периода. Свака вредност месечног просека која је дата у табели, израчуната је као просек мерења зрачења на свака три сата. Инсолација је позната и под називом глобално сунчево зрачење. (18)

Табела 3.5. Месечни просек инсолације на хоризонталну површину (kWh/m²/дан)

	Јан	Феб	Мар	Апр	Мај	Јун	Јул	Авг	Сеп	Окт	Нов	Дец
22-годишњи просек	1.42	2.27	3.34	4.25	5.30	5.81	5.97	5.38	3.87	2.61	1.50	1.17

У табели 3.6 дат је месечни просек највећег угла зрачења сунца нормалног на хоризонталну површину.

Табела 3.6. Месечни просек највећег угла сунчевог зрака у односу на хоризонталну површину изражен у степенима

	Јан	Феб	Мар	Апр	Мај	Јун	Јул	Авг	Сеп	Окт	Нов	Дец
Просек	25.2	33.6	44.1	55.7	64.8	69.0	67.2	59.7	49.0	37.5	27.8	23.0

4. ДИЛЕМА: ВЕТРОГЕНЕРАТОР ИЛИ ФОТОНАПОНСКИ ПАНЕЛИ У ДОМАЋИНСТВУ

У овом поглављу ће бити извршена анализа исплативости уградње фотонапонских панела и ветрогенератора за одређену локацију у Крагујевцу. У изведеним анализама сматраће се да је максимални буџет за инвестицију у оба вида ОИЕ појединачно 14 000 €. Циљ је одредити у који од два наведена ОИЕ се једном просечном домаћинству у Крагујевцу исплати да уложи новац и колико.

4.1. ПОДАЦИ О ЛОКАЦИЈИ

Објект за који ће бити извршена анализа налази се у селу Драча у општини Крагујевац.

Основни подаци о локацији:

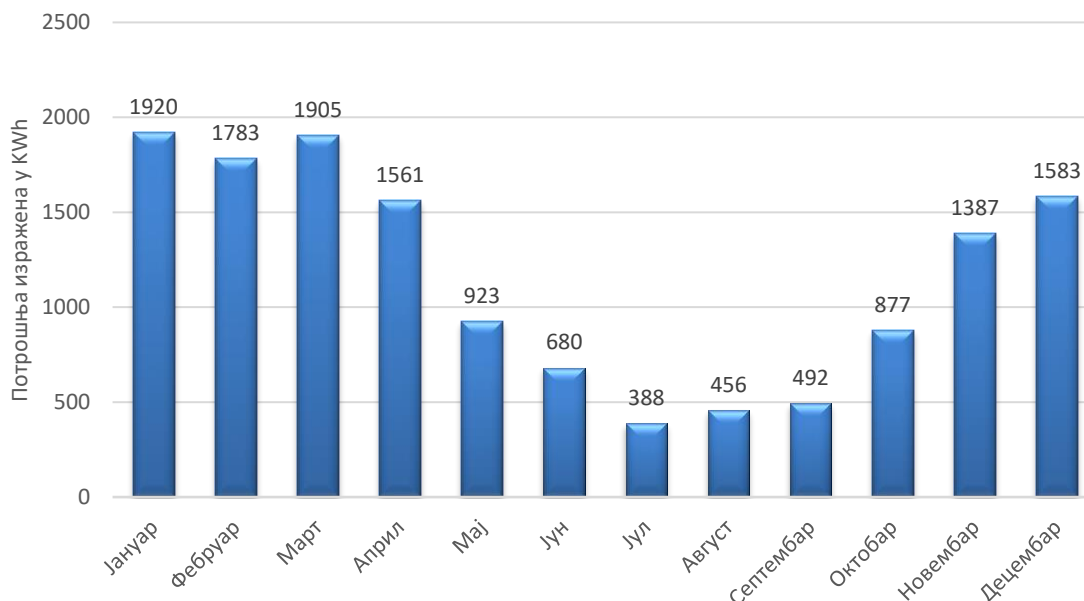
- Географска ширина и дужина: 44°02'29" и 20°47'58";
- Надморска висина: 444.3894 m;
- Број укупана је 3;
- Распожива површина крова је 140 m²;
- Објект за који ће бити извршена анализа дели електричну енергију са још једним објектом у истом дворишту, па је очекивана већа потрошња електричне енергије.

На слици испод приказан је изглед куће за коју се врши анализа (без другог објекта).



Слика 4.1. Изглед куће за коју се врши анализа

Податак о објекту који је потребан да би се одредила исплативост улагања у један од два споменути вида ОИЕ је месечна потрошња електричне енергије у току једне године. На слици 4.2 приказана је месечна потрошња електричне енергије објекта за 2016. годину.



Слика 4.2. Потрошња по месецима за посматрани објект у 2016. години

4.2. ФОТОНАПОНСКИ ПАНЕЛИ

При анализи ФН панела, испитаће се два сценарија. Први сценарио ће се односити на вредност панела који не прелазе границу претходно дефинисаног буџета и анализирати њихова исплативост. Други сценарио ће се односити на вредност панела који увелико премашују дефинисани буџет, односно, на целој расположивој површини крова ће бити инсталисани ФН панели и анализираће се њихова исплативост.

Симулација и анализа оба сценарија ће бити спроведена у програмском пакету „BlueSol Design“ оптимизованом за моделирање и симулацију реалних услова рада панела. Подаци о годишњој стопи сунчевог зрачења у Крагујевцу су приказани у поглављу 3.6 и они ће бити коришћени при извршавању симулације.

На слици 4.3 приказано је радно окружење програмског пакета „BlueSol Design“.



Слика 4.3. Радно окружење програмског пакета „BlueSol Design“

4.2.1. ПРВИ СЦЕНАРИО

У првом сценарију анализираће се двадесет монокристалних панела укупне снаге 6 kWp, који заузимају површину 32.8 m². У табели испод приказане су компоненте фотонапонских (у даљем тексту ФН) панела са њиховим ценама (ПДВ је урачунат).

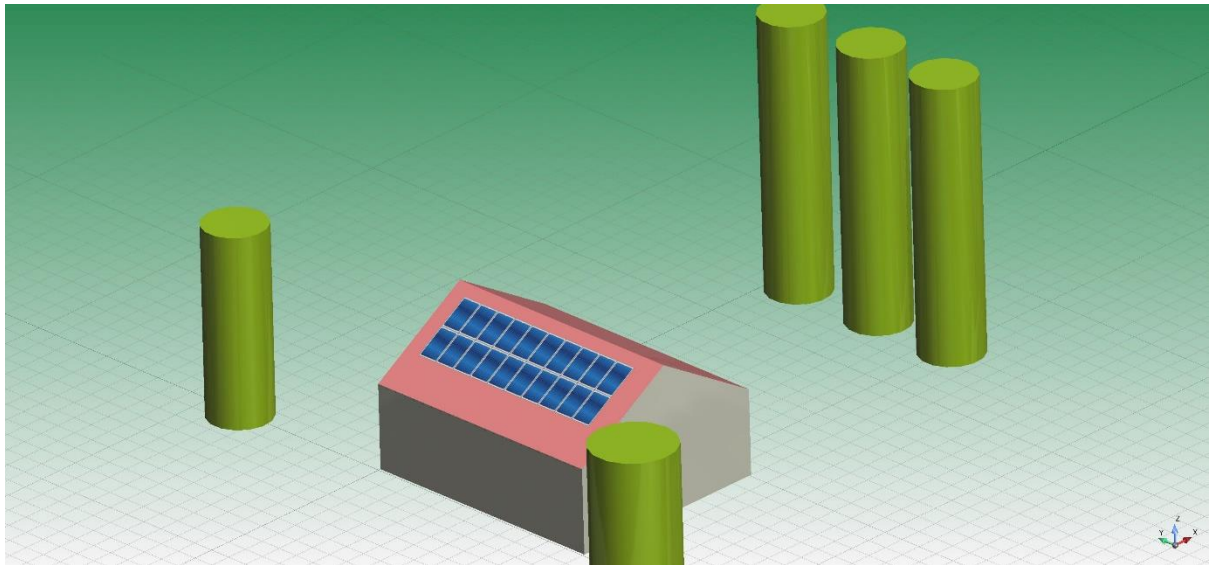
Табела 4.1. Спецификација компонената ФН система са ценама и уградњом

Модел	Број комада	Цена по комаду	Укупно
ФН панел LG300N1C-G3 снаге 300W	20	330€	6600€
Контролер напона Wellsee WS – C4860 48 V 60 A	2	190€	380€
Соларна батерија UPG UB-121000 AGM	24	160€	3840€
Инвертор F70 номиналне снаге 5.7 kW	1	1190€	1190€
Уградња	Око 800€		

Сабирањем цена свих компоненти соларног система са уградњом добија се да је укупна цена 12810€, а без уградње 12010€. На цену са уградњом ће се додати око 300€ за жице, осигураче и непредвиђене трошкове у току уградње, при чему ће укупна цена система износити 13110€, што задовољава претходно дефинисану максималну цену система за коју се врши анализа. Односно, сведено на киловат вршне снаге, цена система ће бити 2185.1€/kWp.

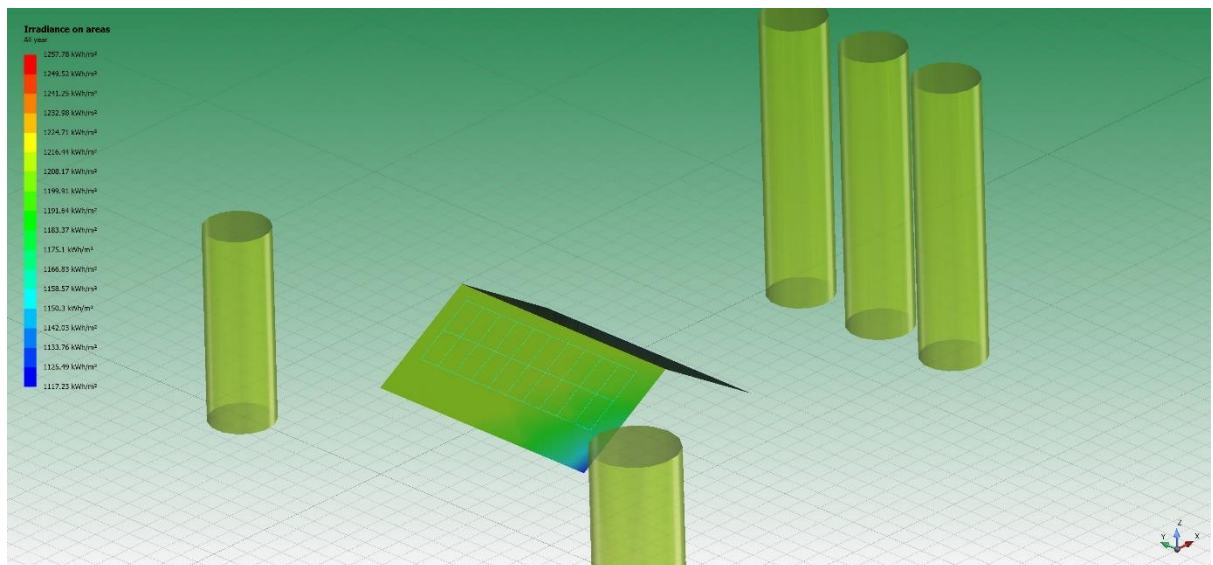
Цена уградње је одређена при разговору са мајстором уградње. Мајстор је извршио процену узимајући у обзир број панела који је потребно уградити на држаче, повезивање панела са инвертором, батеријама и регулаторима пуњења. На крају је неопходно повезати систем са два бројила, једно бројило мери колико је потрошено електричне енергије у домаћинству, а друго, колико енергије је продато електродистрибутивној мрежи. Узимајући све факторе у обзир, мајстор је предложио цену која би износила око 40€ по уграђеном ФН панелу. Самим тим, како се уграђује 20 ФН панела, добија се да је цена уградње око 800€.

На слици 4.4 приказана је кућа са постављеним ФН панелима и препрекама (цилиндри зелене боје) који служе за анализу утицаја блиског осенчења на крову (дрвећа, друге куће, зграде итд.), моделираних у програмском пакету „BlueSol Design“. Неопходно је нагласити да је страна крова на коју су инсталисани ФН панели окренута ка западу.



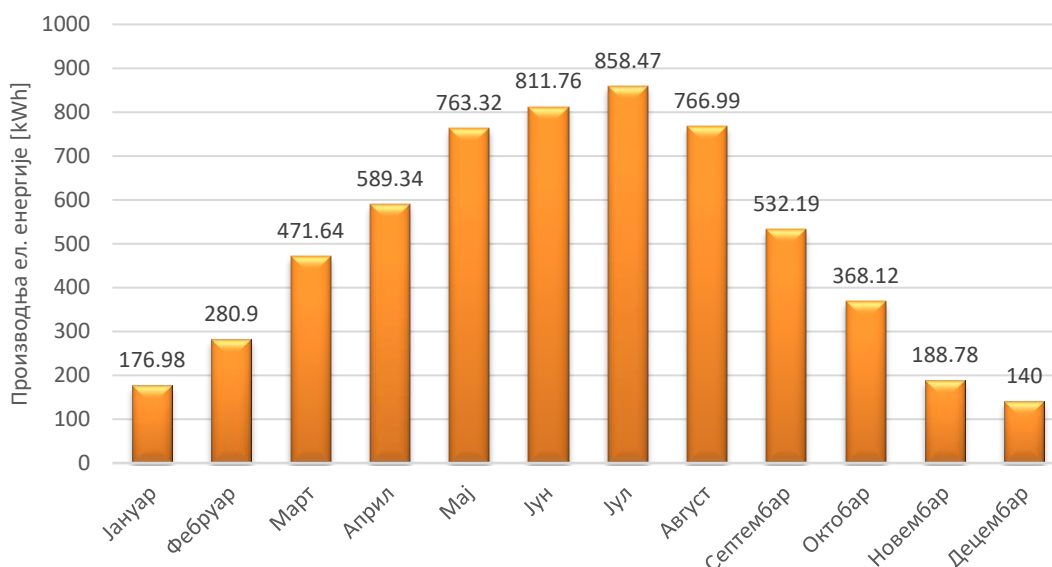
Слика 4.4. Приказ моделиране куће са инсталисаним фотонапонским панелима у програмском пакету „BlueSol Design“

На слици 4.5 су приказани резултати симулације просечне годишње ирадијације на коришћену страну крова где црвена боја представља највиши интензитет ирадијације изражен у kWh/m^2 , а тамно плава боја најнижи интензитет ирадијације. Узимајући у обзир да је коришћена страна крова окренута ка западу, као и анализом слике 3.12 из претходног поглавља, опсег ирадијације од 1175 до 1216 kWh/m^2 на површину панела је сасвим очекиван.



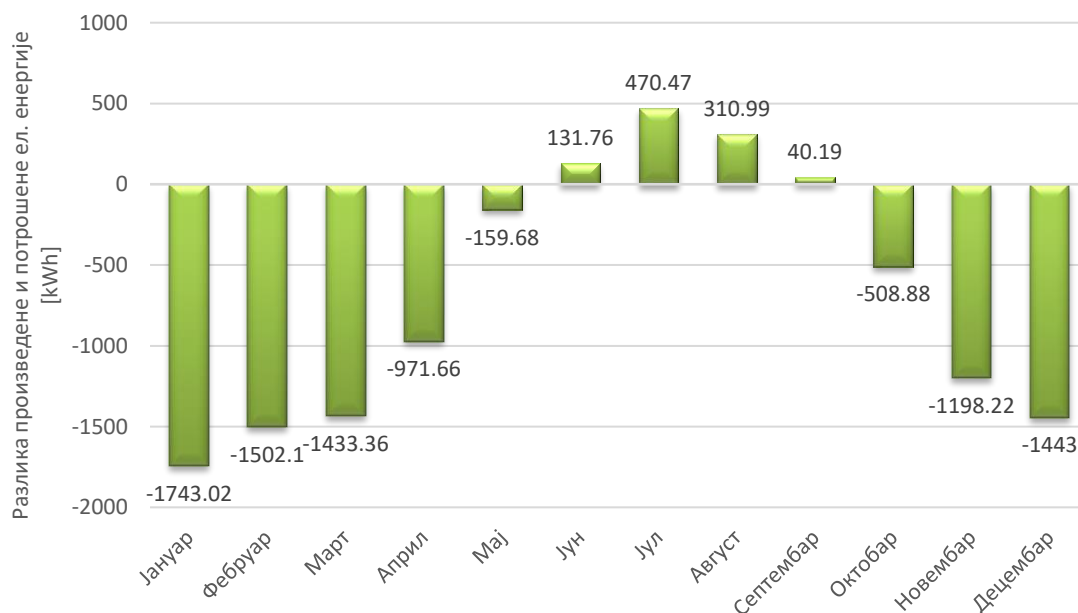
Слика 4.5. Приказ годишње ирадијације на кров анализаног објекта

Након извршене симулације, добијени су резултати месечне производње електричне енергије ФН панела капацитета 6 kWp у току једне године, који су приказани на слици 4.6.



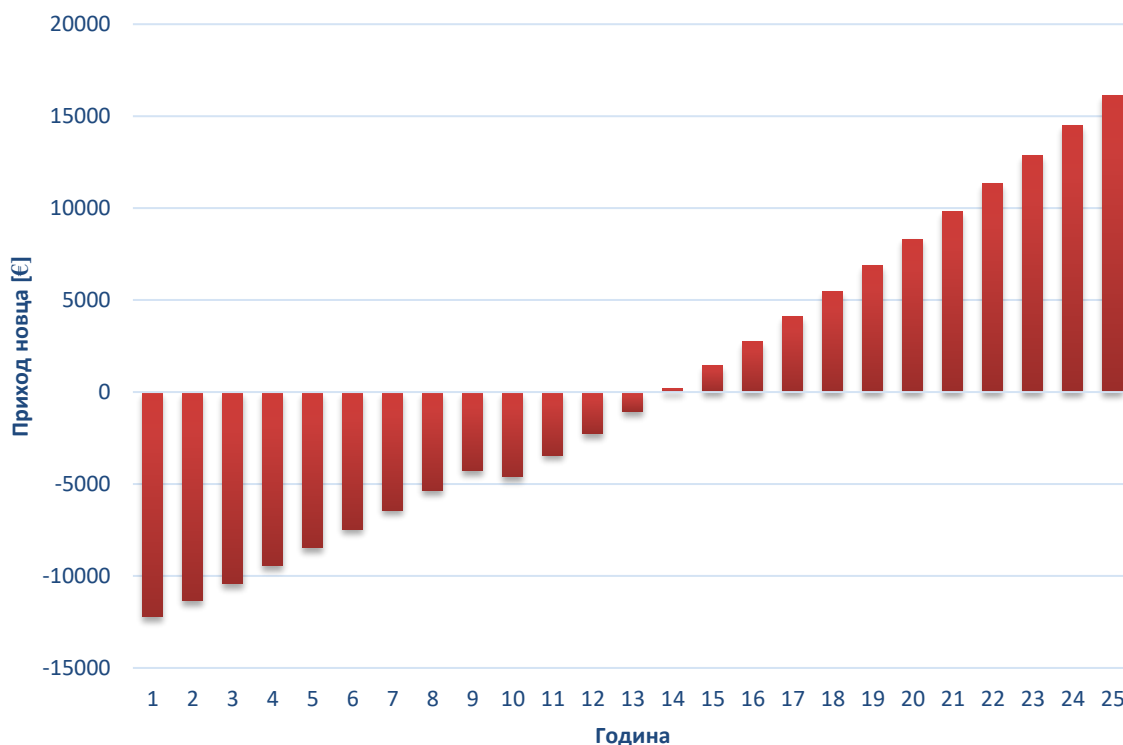
Слика 4.6. Производња електричне енергије ФН панела по месецима

Са дијаграма изнад се може закључити да укупна просечна производња електричне енергије анализираних ФН панела у току једне године износи 5948.51 kWh. Како је просечна годишња потрошња електричне енергије у домаћинству око 13955 kWh (слика 4.2), то значи да анализирани систем задовољава приближно 43% потражње енергије. Међутим, количина произведене енергије ФН панела није иста у сваком месецу, па ће се вишак енергије одређених месеци продавати електродистрибутивној мрежи и тај новац ануирати одређену количину енергије узете у зимском периоду. На слици 4.7 приказана је разлика између количине произведене и потрошене количине ел. енергије по месецима у току једне године.



Слика 4.7. Разлика произведене и потрошене ел. енергије у kWh

Сматрајући да се вишак електричне енергије одређених месеци продаје ЕПС-у, сабирањем количине предате енергије са слике 4.7 добија се да је 953.1 kWh годишње предато мрежи по цени од 20.66 с€/kWh. Сматраће се да је просечна цена електричне енергије која се узима из мреже 12 с€/kWh, у овом случају узима се 8964.92 kWh годишње. Такође, цена електричне енергије коју потрошач узима из ФН панела узета је у износу од 15 с€/kWh. На основу претходно изнетих података, на слици 4.8 приказан је период отплате инсталисаних ФН панела изражен у еврима у временском интервалу од 25 година. При анализи периода отплате соларног система, узета је у обзир замена инвертора, чији је радни век око 10 година.



Слика 4.8. Годишњи приход новца од инсталисаних ФН панела

Са слике 4.8 се може закључити да период отплате почетне инвестиције у ФН панеле износи 13.9 година, док инвеститор након 25 година од тренутка инсталације ФН панела остварује профит од 16115.74 €.

Уколико узмемо у обзир да се сматра да је радни век ФН панела око 20 година, профит остварен након тог периода је 8310.59 €.

У спроведеној анализи сматрало се да су трошкови одржавања система на годишњем нивоу од 60 до 100 € (за замену течности и рутинску проверу мајстора), трошкови осигурања нису узети у обзир.

У случају да се целокупна произведена електрична енергија продаје електродистрибутивној мрежи, укупни период отплате целокупног соларног система би био 10.9 година, а након 20 година рада система, профит би износио 15606.7 €.

Анализа је извршена сматрајући да је стопа инфлације 2%, а инфлација цене енергије 3.3%.

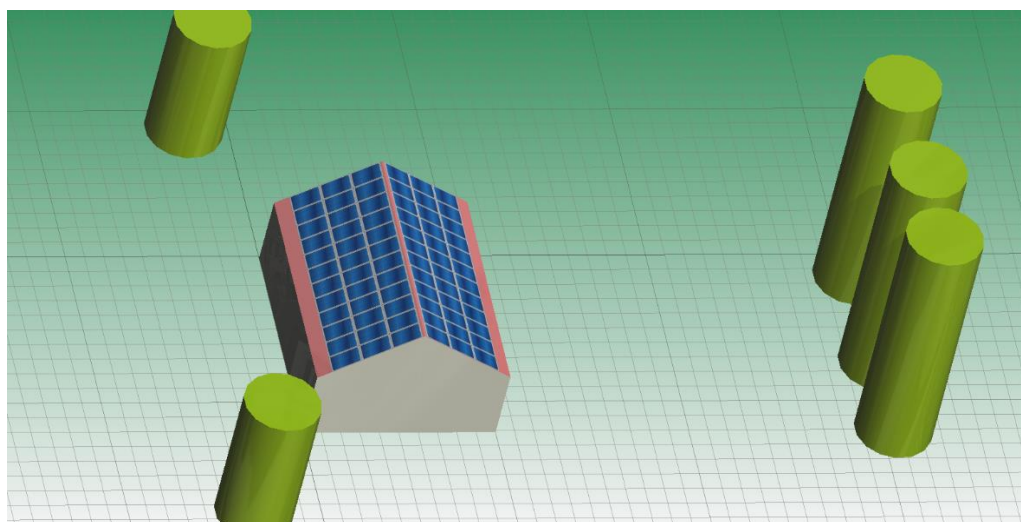
4.2.2. ДРУГИ СЦЕНАРИО

У другом сценарију ће се користити исти модели ФН панела, инвертора, соларних батерија и контролера напона. Разлика ће бити у вршној снази ФН панела, која је у овом случају 21.6 kWp. ФН панели заузимају 118.08 m² површине крова. У табели 4.2 приказане су компоненте, њихова количина и цена.

Табела 4.2. Компоненте и њихова цена са уградњом за други сценарио

Модел	Број комада	Цена по комаду	Укупно
ФН панел LG300N1C-G3 снаге 300W	72	330€	23760€
Контролер напона Wellsee WS – C4860 48 V 60 A	8	190€	1520€
Соларна батерија UPG UB-121000 AGM	48	160€	7680€
Инвертор F70 номиналне снаге 5.7 kW	4	1190€	4760€
Уградња	Око 1800€		

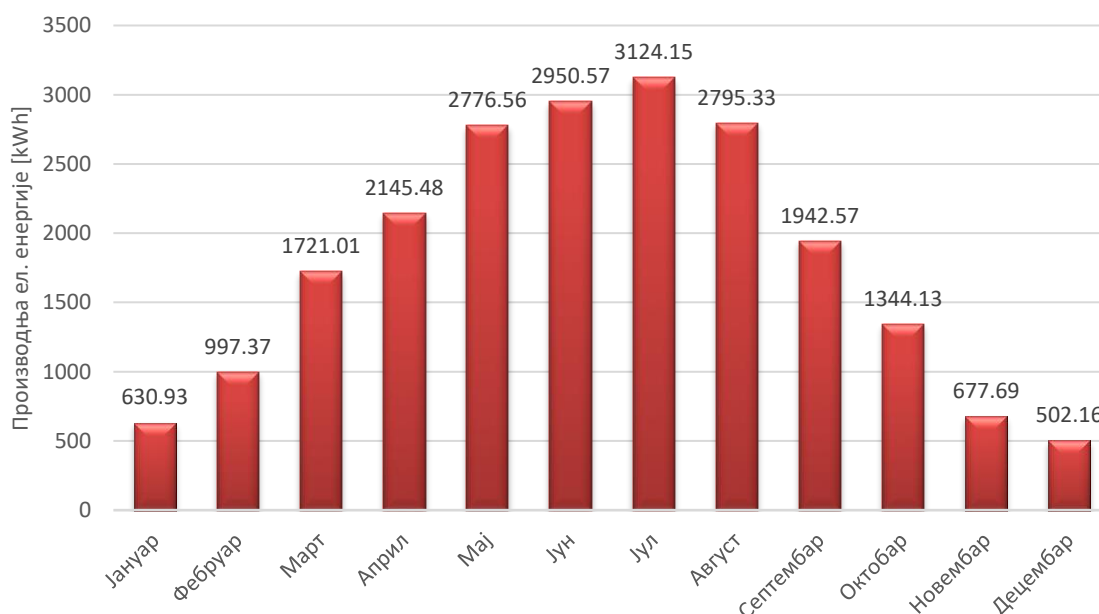
Сабирањем свих цена компоненти, добија се износ од 37720 € без уградње, а 39520 € са уградњом. На ову цену ће се додати још 1000 € за водове, осигураче и друге непредвиђене трошкове, чиме се добија укупни износ почетне инвестиције од 40520 €, односно 1875.9 €/kWp. Цена уградње је рачуната као 25 € по панелу, због обимности посла. Могуће је остварити попуст на куповину већих количина компоненти, међутим, у овом случају ће се рачунати пуне цене сваке компоненте и анализирати њихова исплативост. На слици 4.9 дат је приказ моделиране кућице у програмском пакету „BlueSol Design“ са 72 ФН панела.



Слика 4.9. Модел куће са уграђених 72 ФН панела

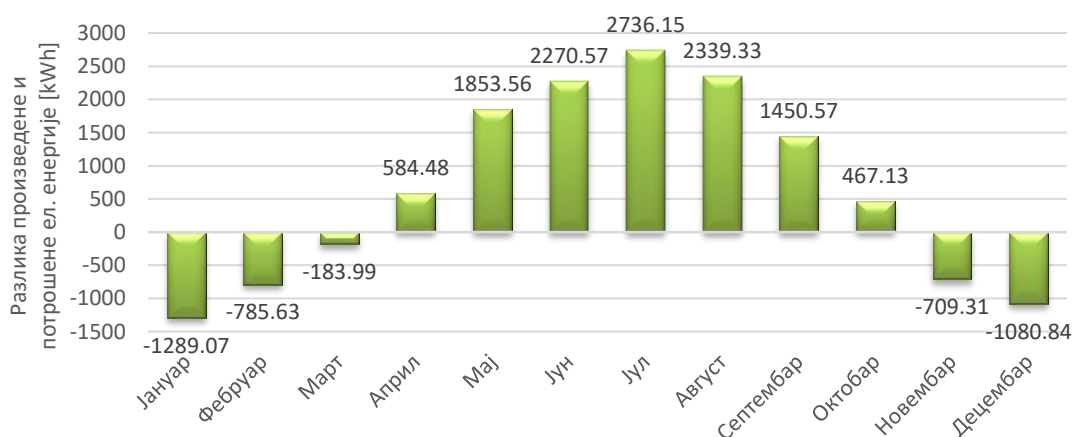
Треба нагласити да није цела површина крова испуњена ФН панелима, јер треба узети у обзир површину коју заузимају два оцака, као и мртве зоне где нема довољно места за уградњу панела, такође, препоручљиво је имати размак од 1 m између доње ивице крова и соларних панела, у овом случају је 0.5 m.

Након извршене симулације за овај случај, на слици 4.10 приказани су добијени резултати производње електричне енергије у току једне године, за сваки месец посебно.



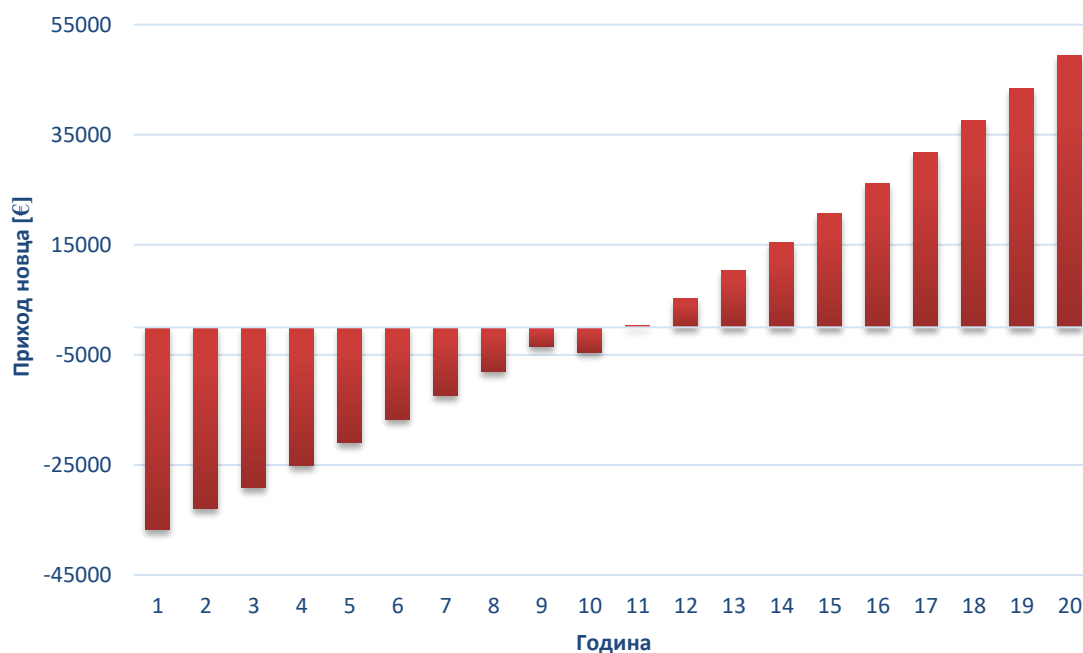
Слика 4.10. Приказ производње ел. енергије ФН панела по месецима

Сабирањем количине произведене ел. енергије за сваки месец, добија се да се годишње произведе 21607.95 kWh од ФН панела. Ова количина енергије покрива 154.84% потрошње за посматрано домаћинство. На потпуно идентичан начин ће се одредити колико ел. енергије се годишње прода ЕПС-у, а колико узме. На слици 4.11 приказана је разлика произведене количине ел. енергије и потрошене у току једне године по месецима.



Слика 4.11. Разлика произведене и потрошене ел. енергије у другом сценарију

Под претпоставком да се само вишак електричне енергије продаје, у овом случају, годишње се прода електродистрибутивној мрежи 11701.79 kWh по цени од 20.66 с€/kWh (ова тарифа важи код соларних електрана снаге до 30 kWp), а потрошач користи 9906.16 kWh ел. енергије произведене из ФН панела по просечној цени од 15 с€/kWh. Узимајући ове податке у обзир, на слици 4.12 приказан је период отплаћивања почетне инвестиције, као и профит након 20 година од тренутка инсталисања ФН панела. У овом случају, узет је у обзир радни век инвертора и њихова замена након 10 година рада. Годишњи трошкови одржавања овог система износе око 210 € годишње, јер је потребно одржавати више од четири пута већу површину ФН панела.



Слика 4.12. Исплативост ФН панела у периоду од 20 година

Са слике се може закључити да је период отплате соларног система у другом сценарију 10.9 година. Након двадесет година, са инсталисаним ФН панелима капацитета 21.6 kWp, могуће је остварити профит од 49430.15 €. Са овим профитом могуће је заменити цео соларни систем новим ФН панелима и тиме обезбедити још већи профит у будућности. Трошкови осигурања ни у овом случају нису узети у обзир.

У случају да се целокупна произведена електрична енергија продаје електродистрибутивној мрежи, период отплате соларног система би био 8.6 година, а након 20 година остварио би се профит од 64015.3 €.

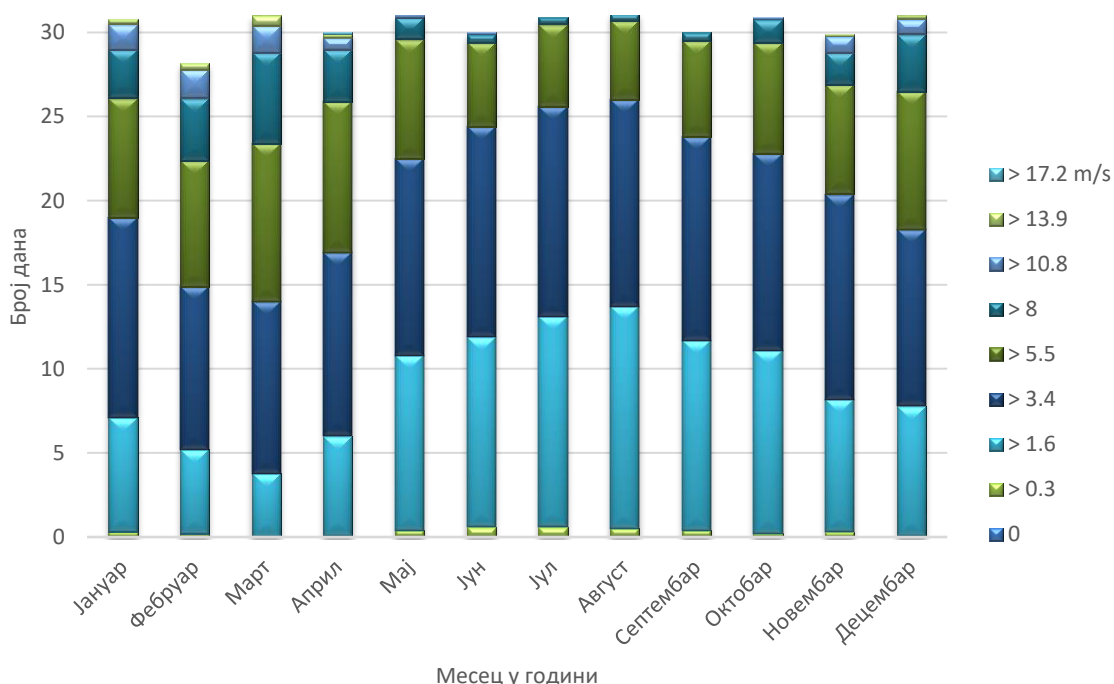
4.2.3. СУМИРАЊЕ СПРОВЕДЕНЕ АНАЛИЗЕ

Овом анализом ФН панела доказано је да је доста исплативије инсталисати соларни систем већег капацитета, пре свега због попушта на већи број компоненти (који у овом случају није узет у обзир) при почетном инвестирању, а затим и због знатно веће продаје ел. енергије електродистрибутивној мрежи која плаћа вишу цену при куповини електричне енергије, него при продаји исте потрошачу. У суштини, релативно је краћи период отплате ФН панела већег капацитета, као и знатно већи профит за исти период рада.

4.3. ВЕТРОГЕНЕРАТОР

При анализи исплативости ветрогенератора, потребно је одредити, пре свега, коју количину електричне енергије може да произведе у току једне године. На основу произведене количине ел. енергије, одредиће се колико је времена потребно да би ветрогенератор исплатио почетну инвестицију. За ветрогенератор ће се испитати два случаја. У првом случају произведену ел. енергију ће користити потрошач, само ће вишак енергије бити предат мрежи, док ће у другом случају сва ел. енергија бити предата мрежи.

За промену брзине ветра по месецима, у недостатку прецизнијих за општину Крагујевац, користиће се подаци узети са веб странице „Meteoblue“, подаци приказани на слици 4.13 односе се на 2016. годину. (26)



Слика 4.13. Приказ брзина ветра у одређеном временском интервалу

Слика изнад приказује коликом брзином и колико дуго се може очекивати одређена брзина ветра. Ови подаци су неопходни како би се израчунала годишња производња електричне енергије ветрогенератора.

4.3.1. МОДЕЛ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА

За анализу исплативости ветрогенератора, одабран је модел „Aeolos-H 3kW“ (хоризонтални) са „grid-on“ конфигурацијом, произвођача „Aeolos Wind Turbine“ из Енглеске. Номинална снага овог ветрогенератора је 3 kW при брзини ветра од 12 m/s (искључује се при брзини од 45 m/s), а стартује при брзини ветра од 2.5 m/s. У табели 4.3 дате су цене компоненти ветрогенератора са ПДВ-ом, као и цене њиховог увоз и инсталације.

Табела 4.3. Цене компоненти, њиховог увоза, инсталације и одржавања

Модел	Количина	Цена
3 kW ветрогенератор (са репом)	1	3450 €
Grid-on контролер	1	830 €
Grid-on инвертор (ABB)	1	2000 €
Хидраулична кула висине 12m	1	3800 €
Транспорт до Сарајева	-	550 €
Транспорт од Сарајева до Крагујевца (курирском службом AKS)	-	370 €
Материјал и инсталација	-	Око 1000 €
Добијање дозвола и одржавање следећих 5 година	-	Око 1000 €
Укупно:		13000 €

Цене наведене у табели изнад су добијене директно од произвођача, осим цене за добијање дозволе и одржавања. У случају добијања дозвола, како је наше тржиште и даље неразвијено, не постоји валидан податак колико тачно новца треба издвојити у те сврхе, па ће се у циљу анализе издвојити 5% од укупне инвестиције за добијање дозвола. Према томе, овај тип ветрогенератора не прелази претходно дефинисану дозвољену почетну инвестицију од 14000 €.

Битан податак о ветрогенератору је крива која приказује зависност снаге ветрогенератора од брзине ветра, тај податак произвођач мора да обезбеди крајњем купцу и та крива је различита за сваки модел. На слици 4.14 приказана је крива снаге за модел „Aeolos-H 3kW“ ветрогенератора.



Слика 4.14. Зависност снаге од брзине ветра за модел „Aeolos-H 3kW“ ветрогенератора

4.3.2. ПРОИЗВОДЊА ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ

При одређивању годишње производње електричне енергије код ветрогенератора, користиће се слике 4.13 и 4.14. Са прве слике ће бити очитана брзина ветра и временски интервал при тој брзини, док ће са друге слике бити очитано колике је снаге ветрогенератор при тој брзини ветра. Користиће се једначина следећег облика:

$$P = \text{снага ветрог. при одређеној брзини ветра} * \text{време трајања одређене брзине ветра} \quad (9)$$

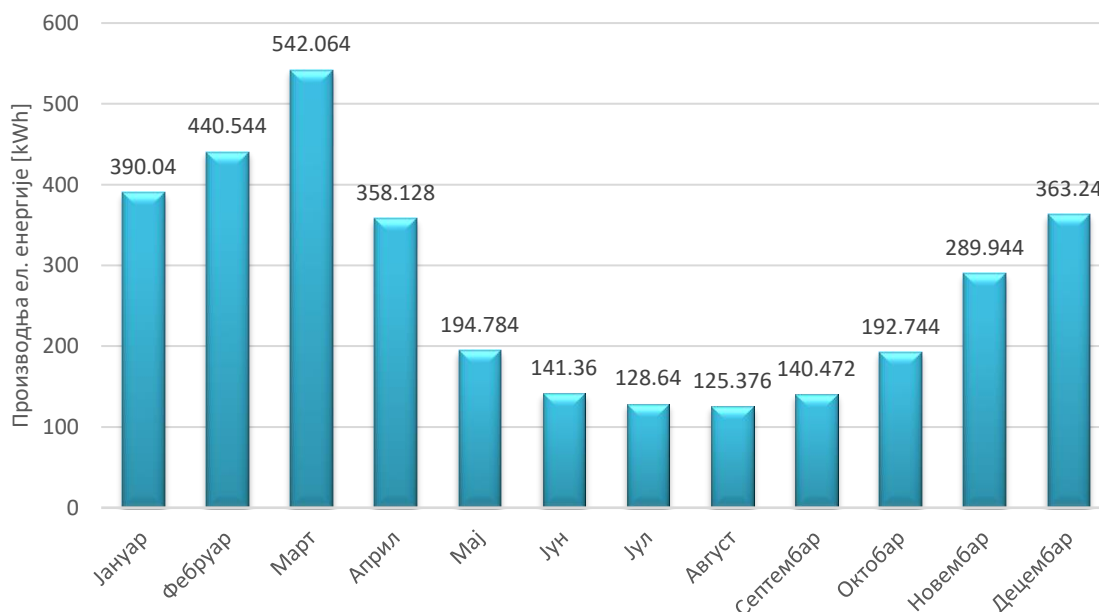
У табели испод дате су очитане вредности снаге са слике 4.14 при карактеристичним брзинама ветра.

Табела 4.4. Снага ветрогенератора при одговарајућим брзинама ветра

Брзина ветра [m/s]	> 3,4	> 5,5	> 8	> 10,8	> 13,9	> 17,2
Очитана вредност снаге [W]	180	500	1650	3150	3500	4400

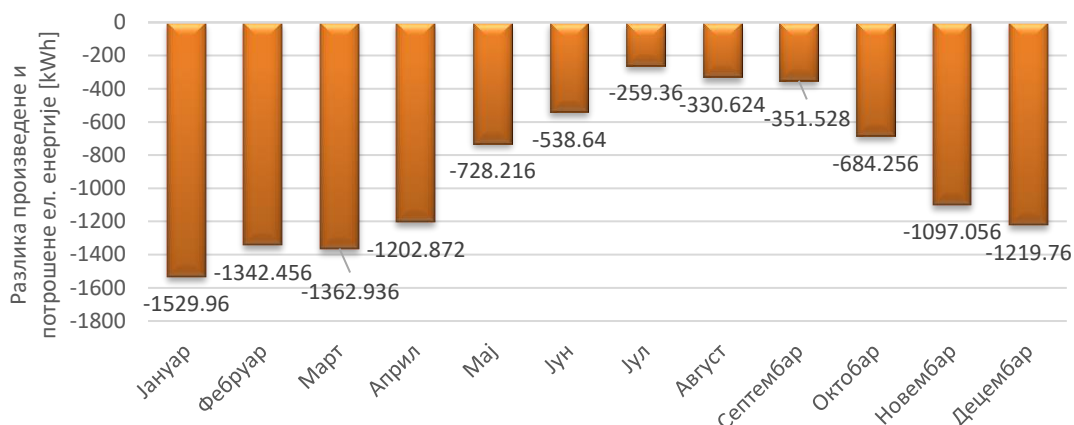
4.3.2.1. ПРВИ СЦЕНАРИО

Након израчунавања генерисане електричне енергије ветрогенератора по месецима, добијени су резултати приказани на слици 4.15.



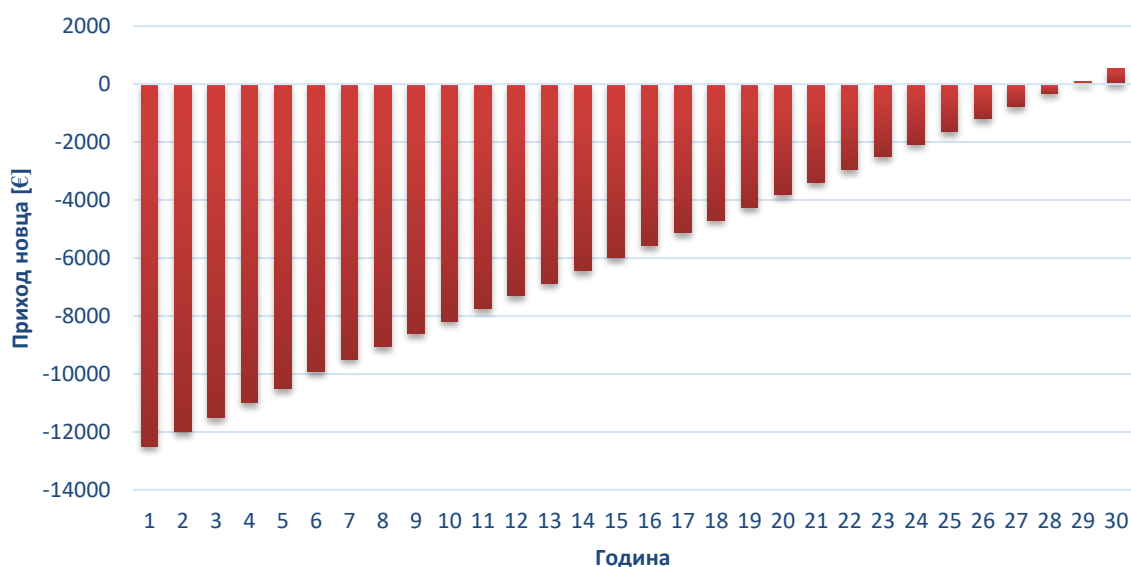
Слика 4.15. Производња ел. енергије приказане по месецима у току једне године

Сабирањем свих kWh произведених у сваком месецу понаособ, добија се да се годишње произведе 3307.336 kWh од ветрогенератора. Та количина произведене ел. енергије покрива 23.63 % енергетске потребе потрошача. На слици испод ће бити приказана разлика између произведене енергије од ветрогенератора и потрошње по месецима.



Слика 4.16. Разлика произведене ел. енергије и потрошње приказана по месецима

Са слике 4.16 може се закључити да ветрогенератор ни у једном месецу у години неће задовољити одговарајућу потражњу за електричном енергијом и сваког месеца се мора куповати ел. енергија од ЕПС-а. Период отплате ветрогенератора је приказан на слици 4.17, уколико се сматра да потрошач искористи сву електричну енергију која се произведе (у овом случају нема вишка енергије која би се продала ЕПС-у) и претпостави да је цена произведене ел. енергије 15 с€/kWh (црвена зона у случају куповине од ЕПС-а). Такође, произвођач изабраног модела ветрогенератора процењује његов радни век на 30 година, па ће се анализирати исплативост у том периоду. Сматраће се да су трошкови одржавања 60 €, након пет година од почетне инвестиције, за рутински преглед мајстора, подмазивање лежаја, или чишћење запрљаних делова.



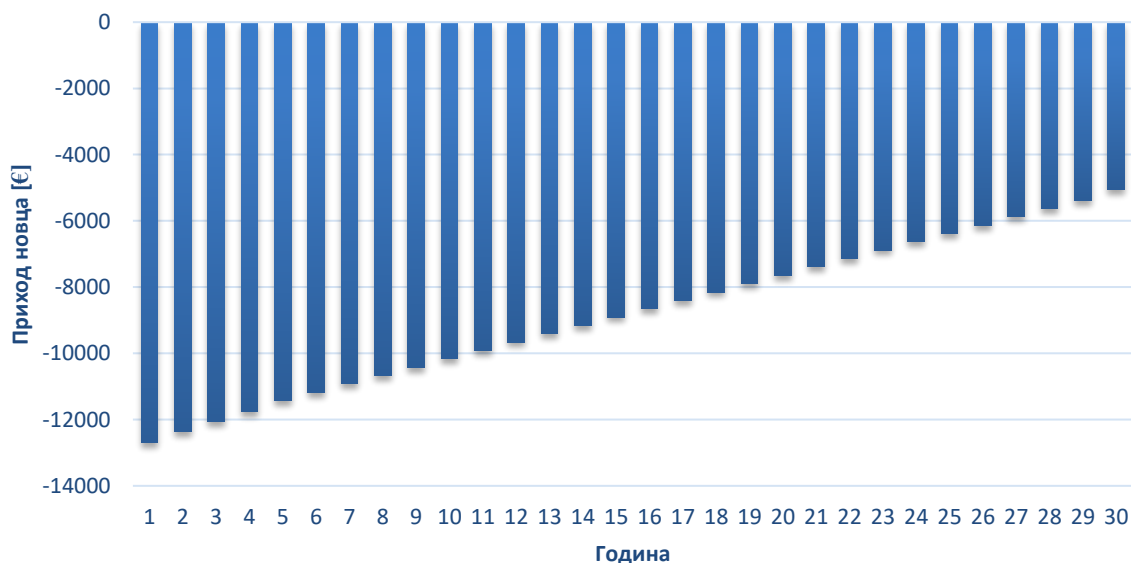
Слика 4.17. Исплативост ветрогенератора у првом сценарију

Са слике 4.17 се може видети да ће се ветрогенератор у првом случају исплатити после 28.8 година од тренутка инсталисања, а да након 30 година рада остварује профит од 543.28 €. Узимајући у обзир да су трошкови осигурања изузети из анализе, да је узета највиша могућа цена искоришћене ел. енергије, да је било каква врста поправке или

замена делова изузета из анализе, као и да је узето да је радни век ветрогенератора 30 година (углавном је 20), може се закључити да ветрогенератор по свој прилици неће исплатити почетну инвестицију у току свог радног века.

4.3.2.2. ДРУГИ СЦЕНАРИО

У другом сценарију анализираће се да ли се исплати продавати сву произведену електричну енергију из ветрогенератора електродистрибутивној мрежи. При анализи је узета цена откупне електричне енергије 9.2 с€/kWh и такође је спроведена за 30 година рада ветрогенератора. На слици 4.18 приказана је исплативост ветрогенератора за други сценарио.



Слика 4.18. Исплативост ветрогенератора у другом сценарију

Са слике изнад може се закључити да ће у случају продаје целокупне произведене електричне енергије ЕПС-у, ветрогенератор отплатити 61.17 % почетне инвестиције. Односно, након 30 година рада, инвеститор ће и даље бити у минусу 5047.47 €.

4.4. ОСИГУРАЊЕ

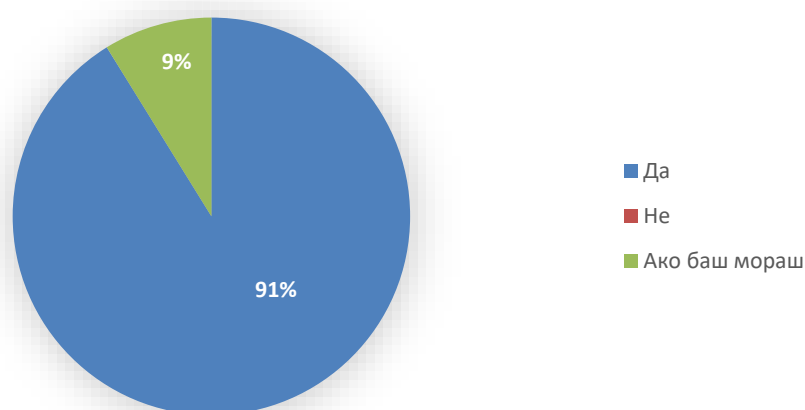
При разговору са агентом продаје осигурања у „Wiener Städtische“ осигуравајућој кући, постављено му је питање колико би, по његовом досадашњем искуству, годишње коштало осигурање ФН панела у првом сценарију, као и ветрогенератора у првом сценарију. На то питање је одговорио да он пре свега треба послати захтев у Београд где би се извршила процена и добила повратна информација са понудом. Дотична особа није никада осигуравала ФН панеле, али, по његовој процени за ФН панеле, чија је почетна инвестиција износила око 13000 €, треба издвојити највише 150 € годишње. Тиме се покрива осигурање за цео соларни систем од оштећења услед непредвиђених околности (удар грома, насилно ломљење панела итд.), а плаћа се тако што се повећа цена осигурања куће на коју су инсталирани ФН панели. Што се тиче ветрогенератора, такође би морао да пошаље извештај о ветрогенераторуна процену у Београд, међутим, није ни приближно сигуран колико би износила годишња премија. Његова процена је од 150 до 300 €, пре свега зато што је ветрогенератор уређај чије се лопатнице крећу при генерисању ел. енергије, а затим и због повећаног ризика од удара птица, као и због

могућности настанка прејаког ветра и изазивања наглог лома. Ово су све биле процене запосленог лица, није никакав захтев поднет за процену, јер му је у почетку разговора речено да су питања само у истраживачке сврхе.

4.5. АНКЕТА

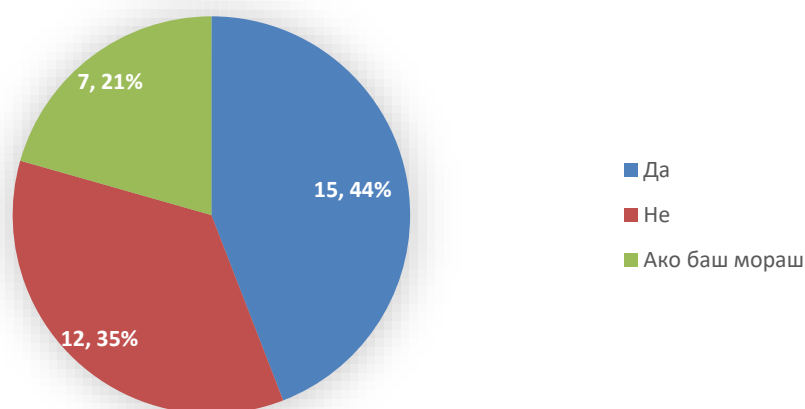
У циљу прикупљања мишљења људи који живе у околини објекта за који се вршила анализа, спроведена је анкета у којој су учествовала 34 испитаника. Сваком испитанику су посебно објашњени принципи рада ФН панела и ветрогенератора, изнете предности и мане, као и резултати спроведених анализа. На пример, за ветрогенераторе им је објашњено да су бучни и да нарушавају изглед пејзажа, као и да постоји опција да се птице сударе са лопатицом турбине, док је за ФН панеле као највећа мана изнета промена боје крова.

На слици 4.19 процентуално су приказани одговори на питање „Да ли је у реду уколико бих инсталисао фотонапонске панеле на кров своје куће?“.



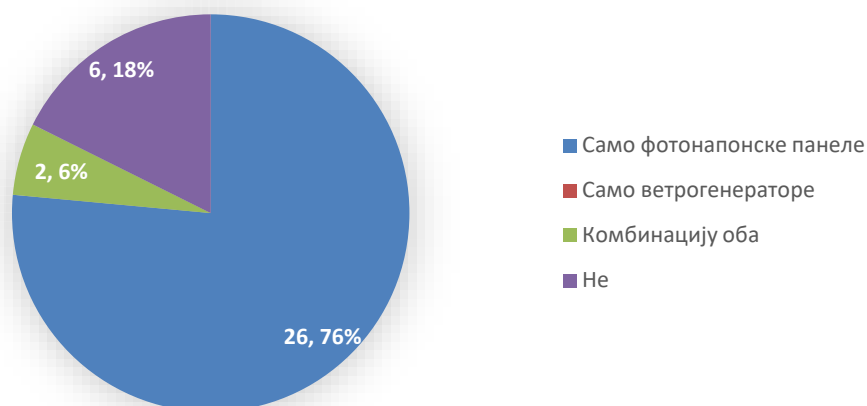
Слика 4.19. Одговори на питање „Да ли је у реду уколико бих инсталисао фотонапонске панеле на кров своје куће?“

На слици 4.20 приказани су одговори на питање „Да ли је у реду уколико бих инсталисао ветрогенератор у свом дворишту?“.



Слика 4.20. Одговори на питање „Да ли је у реду уколико бих инсталисао ветрогенератор у свом дворишту?“

На слици 4.21 приказани су одговори на питање „Да ли би некад, уколико будете у могућности, уградили фотонапонске панеле или ветрогенератор у свом домаћинству?“.

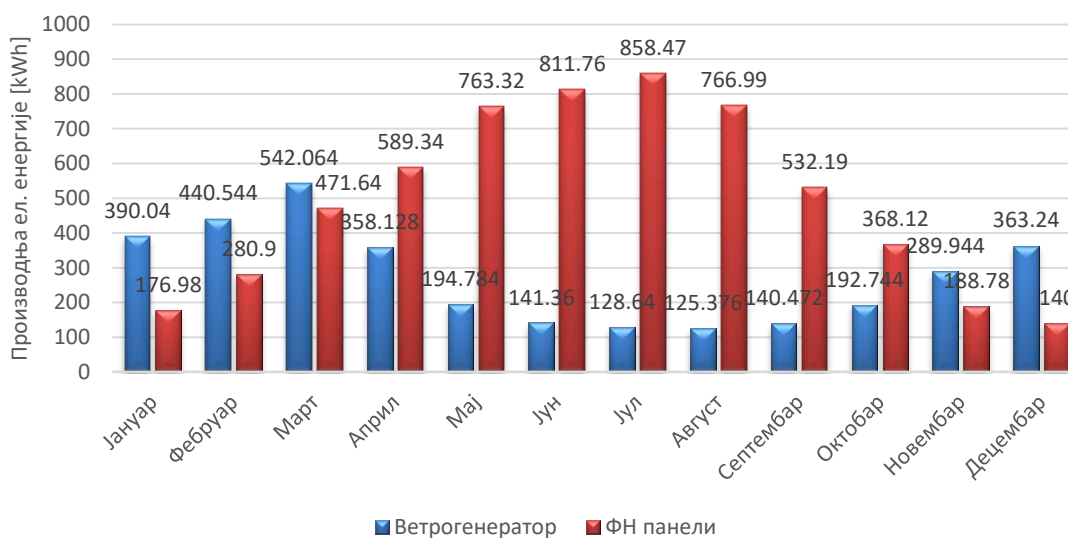


Слика 4.21. Одговори на питање „Да ли би некад, уколико будете у могућности, уградили фотонапонске панеле или ветрогенератор у свом домаћинству?“

На основу спроведене анкете и добијених одговора, може се закључити да људима који живе у околини објекта за који се вршила анализа не сметају ФН панели. Након изношења мана ветрогенератора, већина је променила мишљење о том виду ОИЕ и сматрају да бука у тој промени мишљења пресудила. Генерално, испитаници нису имали много знања о ова два вида ОИЕ и већини је било потребно мало дуже објашњење.

4.6. ПОРЕЂЕЊЕ РЕЗУЛТАТА АНАЛИЗЕ

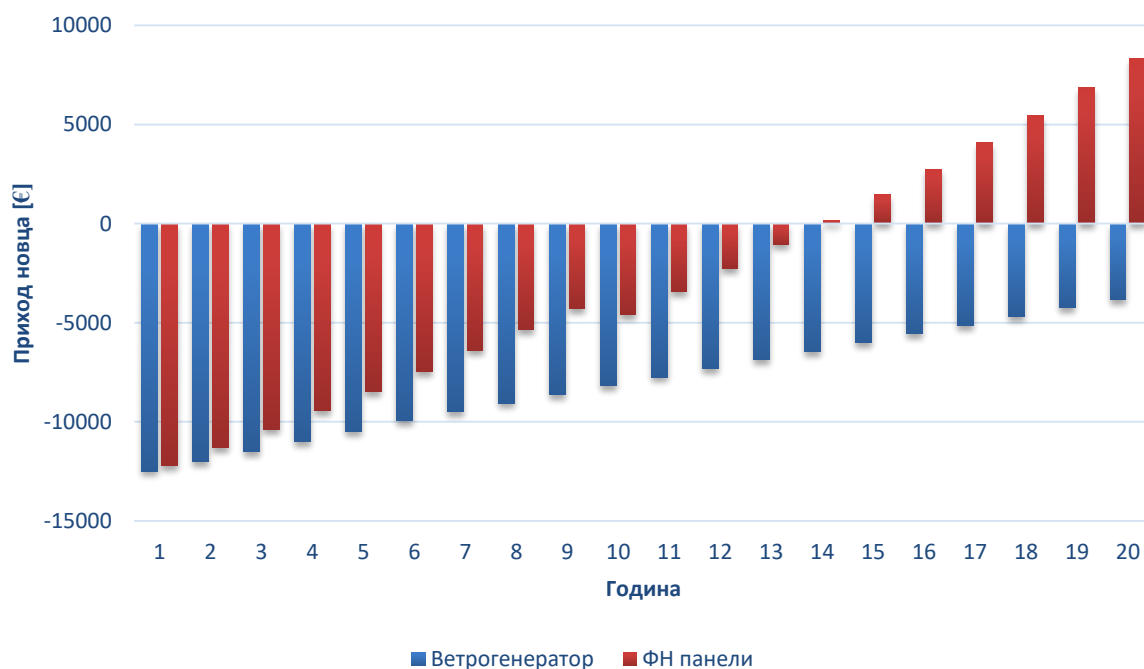
У изведеној анализи, испитана је исплативост фотонапонских панела и ветрогенератора у одређеном временском периоду. Сада ће бити извршено поређење добијених резултата у првим сценаријима и биће дат одговор који вид ОИЕ је исплативије уградити у Р. Србији. На слици 4.22 дато је поређење производње електричне енергије ветрогенератора и ФН панела у току једне године.



Слика 4.22. Производња електричне енергије ФН панела и ветрогенератора у току једне године

Са слике 4.22 се може закључити да је производња ел. енергије ФН панела 1.8 пута већа од ветрогенератора, при чему се са сигурношћу може рећи да је инвестирање у ФН панеле тренутно исплативије од ветрогенератора у Р. Србији. Резултати поређења су очекивани с обзиром да у Р. Србији има јако мало ветрова.

На слици 4.23 приказана је исплативост ФН панела и ветрогенератора у периоду од 20 година.



Слика 4.23. Исплативост ветрогенератора и ФН панела у периоду од 20 година

Са слике изнад може се видети да ће се ФН панели исплатити након 13.9 година рада, а након 20 година рада инвеститор ће зарадити 8310.59 €. Ветрогенератор неће исплатити почетну инвестицију за 20 година рада, штавише инвеститор ће бити у минусу 3817.72 €.

Резултати су очекивани, с обзиром да је откупна цена произведене електричне енергије за ФН панеле 20.66 с€/kWh, док је за ветрогенератор 9.2 с€/kWh. Како се цене купљене ел. енергије из електродистрибутивне мреже крећу од 5 до 15 с€/kWh, знатно је исплативије код ФН панела произведену ел. енергију продавати мрежи. Док је код ветрогенератора откупна цена од 9.2 с€/kWh неисплатива, чак се више исплати да потрошач искористи сву произведену ел. енергију ветрогенератора.

У Р. Србији је инсталисано веома мало ветрогенератора, за разлику од ФН панела који се све више уграђују на кровове кућа и изграђују соларне електране. Разлог за овај однос инсталисања лежи управо у резултатима спроведене анализе. На малим ветрогенераторима инсталисаним у двориштима домаћинстава не може се зарадити колико и на ФН панелима.

Дакле, уколико је инвеститор у могућности да уложи одређену количину новца у један од ова два вида ОИЕ, а није сигуран у који, тренутно, најисплативији начин је уложити у ФН панеле.

5. ЗАКЉУЧАК

Инвестирање у ОИЕ енергије у свету постаје све више популарно, а и неопходно, због емисија штетних гасова услед коришћења разних видова конвенционалних извора енергије. Упркос високим ценама ОИЕ, у свету се из године у годину све више инвестира управо у овај вид енергије. У већини развијених земаља држава подстиче грађане да пређу на соларну, геотермалну или енергију ветра дајући им субвенције на инсталисана постројења. Пре свега, због тог подстицаја све више становника у развијеним земљама има инсталисан неки вид ОИЕ.

У Р. Србији инвестирање у ОИЕ још увек није довољно развијено и тренутно се једино исплати улагати у соларну енергију. Р. Србија се налази на географском положају где има знатно више сунчевог зрачења, док брзине ветрова и ружа ветра нису повољне за улагање у ветрогенераторе. Постоји мали број локација где се исплати инсталисати веће ветрогенераторе, који могу у току свог радног века отплатити почетну инвестицију.

Константно се ради на побољшању ефикасности ФН панела и ветрогенератора, па је могуће очекивати да ће ФН панели, као и ветрогенератори брже отплаћивати почетну инвестицију. Све више произвођача ФН панела и ветрогенератора се појављује на тржишту, па је могуће очекивати пад цене због повећања конкуренције и серијске производње.

Анализом је показано да у Крагујевцу није исплативо улагати у ветрогенераторе, јер неће исплатити почетну инвестицију (период отплате је 28 година, а радни век је око 20 година). Доказано је да ФН панели могу бити исплатива инвестиција, са периодом отплате од 13.9 година за снагу од 6 kWp, а након 20 година могуће је остварити профит од преко 8000 €. Такође, доказано је да се повећањем инвестиционих трошкова смањује период отплате и остварује већи профит за исти период рада ФН панела. Одговор на питање да ли уложити новац у ветрогенераторе или ФН панеле гласи: ФН панели.

6. ЛИТЕРАТУРА

1. J.A.Fay, D.S. Golomb. *Energy and the enviroment*. New York : Oxford University Press, 2002.
2. Feynman, Richard. *The Feynman Lectures on Physics*. s.l. : Addison Wesley, 1964. ISBN 0-201-02115-3.
3. Увод у обновљиве изворе енергије. [На мрежи] [Цитирано: 21 Фебруар 2017.] http://www.izvorienergije.com/svijet_treba_obnovljive_izvore_energije.html.
4. Обновљиви извори енергије. *Водич за парламентарце*. [Online] [Cited: Фебруар 21, 2017.] <http://www.agora-parl.org/sites/default/files/RE%20Guide%20-%20SRB%20-%20Klimatski%20parlament%20-%20prelom%20III.pdf>. 2.
5. Frankfurt School of Finance & Management. *Global trends in renewable energy investment*. Frankfurt : Bloomberg, 2016.
6. Министарство енергетике, развоја и заштите животне средине. *Нацрт стратегије развоја енергетике Републике Србије за период до 2025. године са пројекцијама до 2030. године*.
7. НАЦИОНАЛНИ АКЦИОНИ ПЛАН ЗА КОРИШЋЕЊЕ ОБНОВЉИВИХ ИЗВОРА ЕНЕРГИЈЕ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ. s.l. : Министарство енергетике.
8. The British Wind energy association. Renewable energy project. *University of Nottingham*. [Online] BWEA Briefing Sheet, September 2005. [Cited: Фебруар 26, 2017.] <https://www.nottingham.ac.uk/renewableenergyproject/documents/windturbinetechnology.pdf>.
9. Tony Burton, David Sharpe, Nick Jenkins, Ervin Bossanyi. *Wind energy handbook*. s.l. : John Wiley & Sons, Ltd, 2001. ISBN 0 471 48997 2.
10. Al-Shemmeri, T. *Wind Turbines*. s.l. : Bookbon, 2010. ISBN 978-87-7681-692-6.
11. Hemami, Ahmad. *Wind Turbine Technology*. New York : Cengage Learning, 2012. ISBN-10: 1-4354-8646-3.
12. R. Errichello, J. Muller. Oil Cleanliness in Wind Turbine Gearboxes. *Machinerylubrication*. [Online] 2002. [Cited: Март 1, 2017.] <http://www.machinerylubrication.com/Read/369/wind-turbine-gearboxes-oil>.
13. Регистар фирми. *Обновљиви извори енергије*. [Online] [Cited: Март 2, 2017.] <http://obnovljiviizvorienergije.rs/registar-firmi/>.
14. Републички хидрометеоролошки завод Србије. *Климатске карактеристике Србије*. Београд : s.n., 2016.
15. Енергија ветра. *Обновљиви извори енергије*. [Online] [Cited: Март 2, 2017.] <http://obnovljiviizvorienergije.rs/energija-vetra/>.

16. Др Бранислава Лепотић Ковачевић, Бојан Лазаревић. *Изградња ветроелектрана и производња електричне енергије из енергије ветра у Републици Србији - Водич за инвеститоре*. [pdf] Београд : Министарство рударства и енергетике.
17. Пројекат студената ФИН у Крагујевцу. *Стаклено звоно*. [Online] Октобар 23, 2014. [Cited: Март 2, 2017.] <http://staklenozvono.rs/?p=11824>.
18. NASA Surface meteorology and Solar Energy - Available Tables. *NASA Surface meteorology and Solar Energy*. [Online] NASA. [Cited: Март 2, 2017.] https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?&num=201135&lat=44.013&hgt=100&submit=Submit&veg=17&sitelev=-999&email=&p=grid_id&step=2&lon=20.911.
19. Небојша Лукић, Милун Бабић. *Соларна енергија*. Крагујевац : Машински факултет, 2008.
20. Ирадијација и инсолација. *Solarni paneli*. [Online] Септембар 11, 2010. [Cited: Март 6, 2017.] <http://www.solarnipaneli.org/2010/09/iradijacija-i-insolacija/>.
21. Komp, Richard J. *Practical Photovoltaics, electricity from solar cells*. Indiana : Skyheat Associates English, 1982. ISBN 0-937948-02-0.
22. Antonio Luque, Steven Hegedus. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. s.l. : John Wiley & Sons Ltd, 2003. ISBN 0-471-49196-9.
23. Обновљиви извори енергије. *Енергетски портал Србије*. [Online] [Cited: Март 10, 2017.] <https://www.energetskiportal.rs/ministarstvo/>.
24. Ђурић, Ванђелија. *Мале соларне електране, од идеје до примене. Инжењерска комора србије*. [Online] 2015. [Cited: Март 11, 2017.] <http://www.ingkomora.org.rs>.
25. Град Крагујевац добио 2 мини соларне електране. *zelenasrbija.rs*. [Online] Април 1, 2014. [Cited: Март 11, 2017.] <http://www.ekokuce.com>.
26. Klima Kragujevac. *meteoblue*. [Online] meteoblue, 2016. [Cited: 7 7, 2017.] https://www.meteoblue.com/sr/vreme/prognoza/modelclimate/kragujevac_%D0%A1%D1%80%D0%B1%D0%B8%D1%98%D0%B0_789128.
27. *Lighting the way: Toward a sustainable energy future*. s.l. : InterAcademy Council, 2007.