

Факултет инжењерских наука

Универзитет у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Грејање, климатизација и соларна енергија

Број индекса: 157/2013

Александар В. Василијевић

**Примена фотонапонског система у оквиру једног
породичног стамбеног објекта**

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Новак Николић – ментор

2. _____

Датум одбране: _____

3. _____

Оцена: _____

У овом раду кандидат ће извршити анализу примене фотонапонских система у оквиру једног породичног стамбеног објекта. На основу резултата симулације рада фотонапонског система површине 1 m^2 одређена је оптимална површина фотонапонских панела, оптимална са аспекта исплативости и уградње на кров стамбеног објекта. Фотонапонски систем димензионисан је да задовољи потребе за електричном енергијом електричних потрошача за 6 месеци у години. Извршена је анализа три сценарија исплативости.

Препоручена литература:

[1] Лукић, Н., Бабић, М., *Соларна енергија*, Машински Факултет у Крагујевцу, 2007.

[2] <http://www.sketchup.com/>

[3] <https://energyplus.net/>

Крагујевац 2016., Србија

Ментор:

Др Новак Николић, доцент

Захваљујем се овим путем свом ментору Др Новаку Николићу на помоћи око израде завршног рада. Свим својим колегама са смера, посебно колеги Зорану, Стефану и Данилу. Својој породици на подршци. Свом деди Драгољубу, деди Браниславу и деди Милану, који су ми својим саветима помогли. Захваљујем се и свим осталим колегама и пријатељима који су ми на неки начин помогли.

Хвала свима.

Александар Василијевић

Садржај

1. Увод.....	6
2. Сунце	7
2.1 Сунчева енергија.....	7
2.2 Сунчева енергија на Земљи	7
3. Ефекат стаклене баште	8
4. Инсолација	8
4.1 Инсолација у Србији	9
5. Фотонапонске ћелије.....	10
5.1 Основни принцип функционисања фотонапонске ћелије	10
5.2 Основни типови силицијумских фотонапонских ћелија	12
5.3 Фотонапонске технологије и генерације ФН ћелија	14
6. Теорија фотонапонског ефекта	14
7. Фотонапонски систем	17
7.1 Врсте фотонапонских система	17
7.1.1 Самостални ФН системи	17
7.1.2 Пасивни ФН системи	17
7.1.3 Активни (интерактивни) мрежни ФН системи	17
7.2 Принцип рада фотонапонског система.....	17
7.3 Компоненте самосталног ФН система.....	18
7.4 Критеријуми за одабир опреме фотонапонског система	19
8. Пример стамбеног објекта.....	19
9. Електрични потрошачи у објекту	20
9.1 Анализа најзаступљенијих електричних потрошача у објектима	21
9.1.1 Спецификација, анализа рада и потрошње електричног шпорета.....	21
9.1.2 Спецификација, анализа рада и потрошње веш машине	22
9.1.3 Спецификација, анализа рада и потрошње комбинованог фрижидера	23
9.1.4 Спецификација, анализа рада и потрошње телевизора.....	23
9.1.5 Спецификација, анализа рада и потрошње бојлера.....	24
9.1.6 Спецификација, анализа рада и потрошње расвете/сијалица.....	25
10. Google SketchUp	26

11. EnergyPlus	27
12. Економска анализа	30
12.1 Компоненте ФН система са новчаним трошковима	31
I сценарио	33
II сценарио	33
III сценарио	34
Закључак.....	36
Литература	38

Abstract

In this paper the application of photovoltaic (PV) systems within a residential building was analyzed. According to the results of simulations of PV system of area of 1 m² the optimal size of the PV panels, in terms of profitability and installation on the roof of the building, was determined. The PV system is dimensioned to meet the electricity needs of electric consumers for 6 months of the year. Three scenarios of profitability were analyzed. The first scenario relates to a system that contains batteries that accumulate the produced electricity. Stored electrical energy is then used for operation of electrical consumers. The calculated payback period for the first scenario is 54.8 years. The second scenario relates to that a part of the electricity needed to supply the electrical consumers is stored in batteries, and surplus is sold to the EPS company. Payback period for the second scenario is 36.62 years. A third scenario relates to PV system that does not include a batteries for storage of electrical energy. That means that the money needed for investment will be reduced compared to the previous two scenarios for the value of the batteries, and will amount to 4434 €. In this scenario, all generated electricity is sold to the EPS, and the energy needed to power the electric consumers is purchased from the power grid. Payback period for the third scenario, due to the high selling price (20.66 c€/kWh) is the lowest, 4.62 years.

Keywords: photovoltaic system, residential building, simulation.

Резиме

У овом раду извршена је анализа примене фотонапонских (ФН) система у оквиру једног стамбеног објекта. На основу резултата симулације рада ФН система површине 1 m² одређена је оптимална површина ФН панела, оптимална са аспекта исплативости и уградње на кров објекта. ФН систем димензионисан је да задовољи потребе за електричном енергијом електричних потрошача за 6 месеци у години. Анализирана су три сценарија исплативости. Први сценарио подразумева систем који садржи батерије које акумулирају произведену електричну енергију. Складиштена електрична енергија се затим користи за рад електричних потрошача. Израчунати период отплате у првом сценарију износи 54,8 година. Други сценарио се односи на то да се део електричне енергије која је потребна за снабдевање електричних потрошача чува у батеријама, а вишак продаје Електропривреди Србије (ЕПС). Период отплате у другом сценарију износи 36,62 године. Трећи сценарио се односи на ФН систем који не садржи акумулаторе електричне енергије. То значи да ће се новац потребан за инвестицију смањити у односу на претходна два сценарија за вредност батерија, и износиће 4434 €. У овом сценарију сва произведена електрична енергија се продаје ЕПС – у, а потребна енергија за напајање електричних потрошача се купује из електродистрибутивне мреже. Период отплате у трећем сценарију је због високе откупне цене ЕЕ најкраћи и износи 4,62 године.

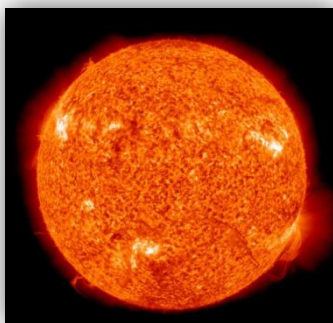
Кључне речи: фотонапонски систем, стамбени објект, симулација.

1. Увод

Овим академским радом представљен је ФН систем и његова примена и исплативост на стамбеном објекту стандардних димензија. Објашњено је колики је потенцијал за развој електрана које производе електричну енергију из обновљивих извора енергије (соларна енергија). Представљено је колики је потенцијал за производњу електричне енергије фотонапонским панелима у Србији, давањем података о инсолацији у градовима широм наше државе. Рад садржи део о ФН ћелијама, њиховом функционисању и подели, као и о ФН системима, њиховој подели, врстама и принципу рада, представљеном шемама. Садржани су подаци о ангажованости и потрошњи електричних уређаја које готово сваки овакав објекат садржи. Објекат је са свим тим подацима убачен у програмски пакет EnergyPlus где су дефинисане одговарајуће картице. Затим је извршена симулација како би се добили дијаграми на основу којих је израчуната исплативост. Објекат који је коришћен за прорачун је моделиран у програму Google SketchUp 8 а технички подаци објекта преузети су са сајта фирме LUKS М из Београда. Поред типичних картица, у програмски пакет EnergyPlus убачене су и картице које дефинишу ФН систем.

2. Сунце

Сунце је Земљи најближа звезда и захваљујући његовој гравитацији наша планета по елиптичној путањи кружи око њега. Наша звезда се око своје осе окрене за 25 дана (екватор), односно за 33 дана на половима, што указује на њено флуидно стање (заправо стање плазме). Сунце је ужарена лопта, масе $1,99 \cdot 10^{30}$ kg, средње густине 1410 kg/m^3 и пречника $1\,391\,980 \text{ km}$ (фотосфера), која у унутрашњости, под високим притиском и температуром која достиже десетине милиона Келвина (процена је $13\,600\,000 \text{ K}$), у току процеса термонуклеарне фузије претвара у хелијум. Та термонуклеарна фузија производи огромну количину енергије која се израчује у Космос. Сунчева луминисценција (исијавање) износи $3,83 \cdot 10^{33} \text{ erg/sec}$ или $3,83 \cdot 10^{20} \text{ MW}$. Средња температура површине Сунца (далеко од "термонуклеарног реактора" у унутрашњости) износи 5800 K . После брзином светлости пређеног пута од $149\,597\,892 \text{ km}$ (средње удаљење Земље од Сунца), Сунчево зрачење стиже до Земље. Од укупне Сунчеве енергије, на горњу границу Земљине атмосфере стигне $174,3 \cdot 10^9 \text{ MW}$, што представља њен $4,55 \cdot 10^{-10}$ део [1]. На слици 2.1 је приказано Сунце.



Слика 2.1 Сунце [2]

2.1 Сунчева енергија

Енергија Сунца представља један од најзначајнијих обновљивих извора енергије, оних чија се продукција енергије може одвијати истом брзином којом се троши. У групу обновљивих извора енергије сврставају се: енергија Сунца, ветра, биомасе, малих хидроелектрана, геотермална енергија. Постоје још неки видови обновљивих извора енергије али су они за сада далеко од економске исплативости (енергија плиме и осеке, енергија таласа, ...) Када се каже енергија Сунца мисли се пре свега на директно искоришћавање енергије електромагнетних таласа које оно зрачи. Уколико се енергија Сунца другачије посматра, може се рећи да, практично, сви извори енергије на Земљи (обновљиви и необновљиви), осим нуклеарне, геотермалне и енергије плиме и осеке, су створени или се стварају зрачењем са Сунца [1].

2.2 Сунчева енергија на Земљи

Количина топлоте која у јединици времена прође кроз неку површину A назива се флукс топлоте или топлотни флукс (W) [3].

Велики број истраживачких сателита (NOAA – 9, NOAA – 10, NIMBUS – 7, ERBS, UARS, SMM) прикупља податке о Сунчевом зрачењу на површини Земљине атмосфере.

Средњи топлотни флуks Сунчевог зрачења на површини Земљине атмосфере (екстратерестријално зрачење) назива се соларном константом и износи $I_s = 1367 \text{ W/m}^2$.

Сунчев спектар садржи зрачења таласних дужина мањих од 100 нанометара па све до 3 микрометра. Основна подела електромагнетног зрачења је на јонизујуће ($\lambda < 100 \text{ nm}$, гама и икс зраци) и нејонизујуће зрачење ($\lambda > 100 \text{ nm}$). На срећу, разорно јонизујуће зрачење не продире кроз Земљину атмосферу. Нејонизујуће зрачење са Сунца се може поделити на ултравиолетно, видљиво и инфрацрвено [1].

3. Ефекат стаклене баште

Стакло је најпознатији чврст материјал који пропушта Сунчево зрачење (таласне дужине од 0,3 до 3 μm) и то у просечном износу од 90 %. Како се површина иза стаклене плоче загрева, она емитује инфрацрвено дуготаласно зрачење (таласне дужине од 3 до 70 μm). За разлику од видљиве светлости и краткоталасног инфрацрвеног зрачења ово зрачење стакло апсорбује и потом емитује назад на површину (делом и у околину). Другим речима, топлотни зрак може ући али не и изаћи из стаклене замке.

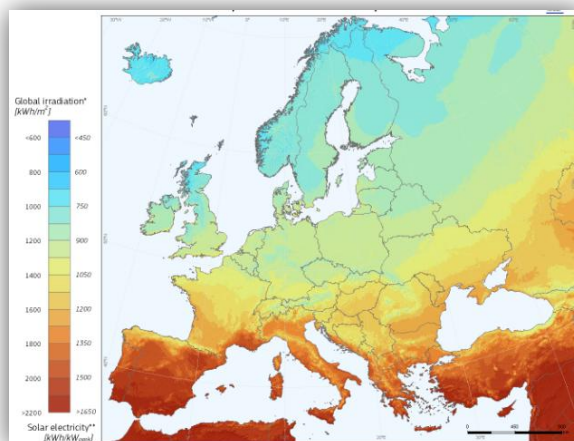
Ефектом стаклене баште може се значајно увећати температура површине на којој се успоставља термичка равнотежа (примљена количина топлоте једнака предатој). Тако, на пример, тамна метална површина се на мирној атмосфери, изложена Сунцу, може загрејати и од 60 до 80 °C. Коришћењем стакленог прекривача, иако се губи 10 % Сунчевог зрачења, температура површине се може повећати до 90 %. Ефекат стаклене баште је један од основних ефеката који се користи при конструкцији соларних колектора и фотонапонских панела [1].

4. Инсолација

Количина Сунчевог зрачења на Земљиној површини зависи од много фактора: географске ширине места, годишњег доба, доба дана, чистоће атмосфере, облачности, оријентације и нагиба површине.

Овај податак је веома битан јер се преко њега врши прорачун исплативости уређаја који користе Сунчево зрачење. Просечно Сунчево зрачење, на годишњем нивоу на јединичну хоризонталну површину, назива се годишња инсолација (или само инсолација) и веома је важан метеоролошки податак за посматрању локацију на Земљи [1].

На слици приказана је инсолација за подручје Европе (према PVGIS - у).



Слика 4.1 Годишња инсолација на хоризонталној површини за подручје Европе (PVGIS) у $[kWh/m^2]$ [4]

Просечна годишња инсолација у Европи износи $1096 kWh/m^2$. Земље смештене на југу Европе имају највише инсолације [1].

4.1 Инсолација у Србији

У Србији (у склопу бивше СФРЈ) је, у оквиру СХМЗ, до 1987. године радио Републички центар за Сунчеву радијацију (почев од 1957. године). Како после његовог укидања, у Србији не постоје поуздани, систематски сређени подаци о инсолацији, меродавни подаци су они мерени до 1987. У табели 4.1 приказани су подаци о средњој инсолацији за градове и места у Србији, по месецима и збирно на годишњем нивоу.

Табела 4.1 Средња дневна (по месецима) и годишња инсолација у (kWh/m^2) за поједине градове у Србији

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Годишње	Средња дневна
Београд	1.4	2.2	3.35	4.85	6	6.45	6.75	6	4.65	3.05	1.6	1.15	1446.8	3.96
Вршац	1	2	3.35	4.4	6	6.4	6.55	6.35	4.6	3	1.55	1	1424.8	3.9
Палић	1.3	2.1	3.45	5	6.15	6.25	6.35	5.85	4.3	2.85	1.4	1.15	1407.4	3.85
Нови Сад	1.45	2.35	3.2	4.65	5.8	6.2	6.35	5.75	4.4	2.9	1.45	1.2	1392.6	3.82
Ниш	1.75	2.6	3.45	5	6.1	6.35	6.7	6.15	5.35	3.45	1.85	1.5	1531.4	4.2
Куршумлија	2.15	3	3.6	5.05	5.85	6.05	6.55	6.1	5.3	3.5	2	1.75	1550.5	4.25
Пећ	1.85	2.95	3.7	4.85	5.95	6.15	6.75	6.15	4.9	3.65	2.25	1.6	1546.3	4.24
Приштина	1.85	2.9	3.7	5.25	6.3	6.6	6.95	6.3	5.1	3.35	1.9	1.6	1578.3	4.32
Врање	1.7	2.7	3.65	5.15	6.15	6.4	6.5	6.35	5.25	3.45	1.85	1.5	1543.4	4.23
Лозница	1.5	2.3	3.05	4.35	5.3	5.75	6.15	5.6	4.3	2.8	1.45	1.2	1333.5	3.65
Крагујевац	1.5	2.4	3.35	4.8	5.85	6.1	6.45	5.9	4.85	3.3	1.7	1.3	1447.9	3.97
Неготин	1.35	2.05	3.25	4.85	6.05	6.6	6.95	6.25	4.75	2.9	1.45	1.2	1453.4	3.98
Златибор	1.5	2.3	3.1	4.35	5.1	5.65	5.9	5.35	4.3	2.75	1.6	1.3	1316.4	3.61

У табели 4.2 је дата средња годишња инсолација у зависности од географске ширине и дужине места у Србији, осредњене за десет година мерења (1966 – 1975) Републичког центра за Сунчеву радијацију СХМЗ – а.

Табела 4.2 Средња годишња инсолација у Србији у зависности од географске ширине φ и дужине λ

φ/λ (°)	19 – 20	20 – 21	21 – 22	22 – 23	23 – 24
41 – 42	1616	1479	1498	1552	1540
42 – 43	1461	1424	1461	1479	1461
43 – 44	1333	1309	1370	1415	
44 – 45	1379	1397	1382	1397	
45 – 46	1406	1381	1370		

После анализе приложених података може се закључити да се просечна годишња инсолација у Србији креће око 1400 kWh/m^2 (просечна за Европу је око 1096 kWh/m^2), а просечна дневна око $3,8 \text{ kWh/m}^2$ [1].

5. Фотонапонске ћелије

Фотонапонски ефекат и фотонапонске ћелије и системи припадају знатно више научним областима као што је електротехника, технологија материјала, нанотехнологије, него термодинамика и пренос топлоте и масе али као незаобилазни вид коришћења Сунчеве енергије, овде ће бити обрађене у изабраном облику.

Као што је већ речено фотонапонски ефекат (ефекат појаве напона) у материјалу под дејством светлости, или неког другог дела спектра електромагнетног зрачења, открио је Бекерел 1836. године, а суштински развој фотонапонске технологије почиње од 1954. године када Белова лабораторија прави експерименте са модификованим силицијумским материјалом, веома осетљивим на светлост.

5.1 Основни принцип функционисања фотонапонске ћелије

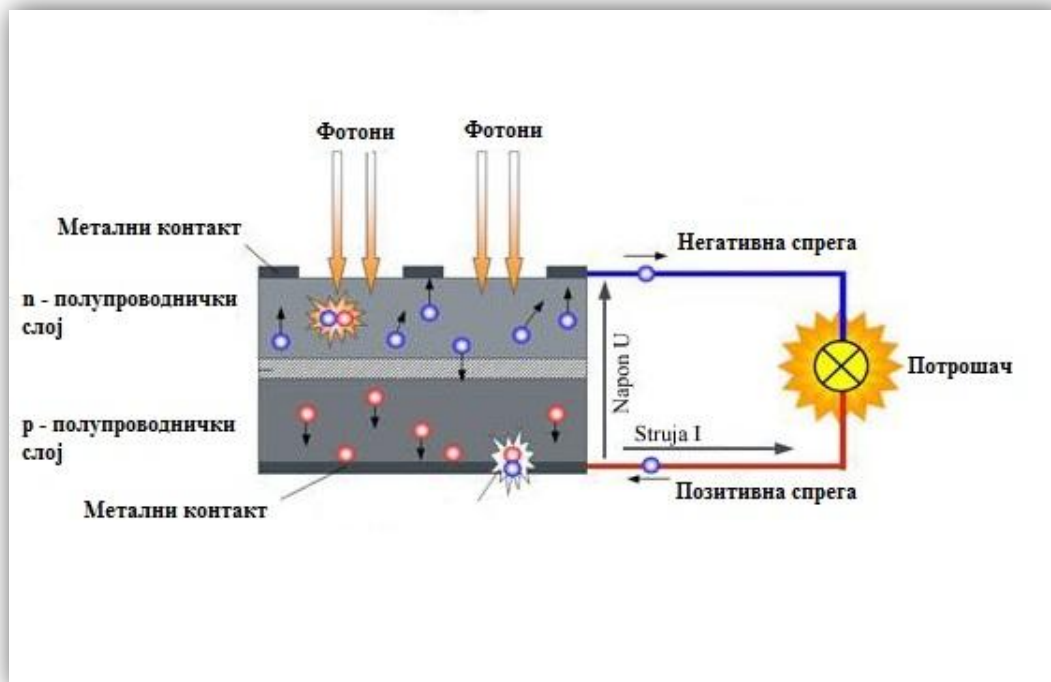
Силицијум је најпознатији полупроводнички елемент и други хемијски елемент по распрострањености у природи. Атом Si садржи 14 електрона, смештених у три орбите. Прве две су попуњене, док се у трећој налази 4 електрона уместо 8, који би је потпуно попунили. На тај начин силицијум формира кристалну структуру у којој су суседни атоми спојени заједничким електронима у трећој орбити. Уколико се у ову структуру убаци елемент, као што је фосфор (P), који у последњој орбити има, на пример 5 електрона (силицијум се "допингује"), један електрон ће остати ван чврсте међуатомске везе, везан слабир везама за сопствено језгро. Овај електрон се лако ослобађа те везе деловањем додатне енергије, каква је енергија фотона електромагнетног зрачења (светлости пре свега) и на тај начин постаје слободан. Овде се ради о n – типу полупроводника.

С друге стране, уколико се силицијум допингује елементима који имају 3 електрона у последњој орбити, као што је бор на пример (B), везе између атома ће имати шупљине, места непопуњена електронима. На овај начин добија се p – тип полупроводника. Комбинацијом ова два типа полупроводничког материјала, добија се практично и даље електрично неутралан материјал, јер слободни електрони налазе

своје место у слободним шупљинама. Међутим, уколико се између n и p слоја постави неутралан раздвајајући слој ($p-n$ слој), што је шематски приказано на слици, појавиће се разлика напона на спољним површинама овог полупроводничког "сендвича".

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 [1].

Ово је основни принцип функционисања фотонапонских ћелија (ФН). На слици 5.1 је приказана принципска шема једне ФН ћелије.



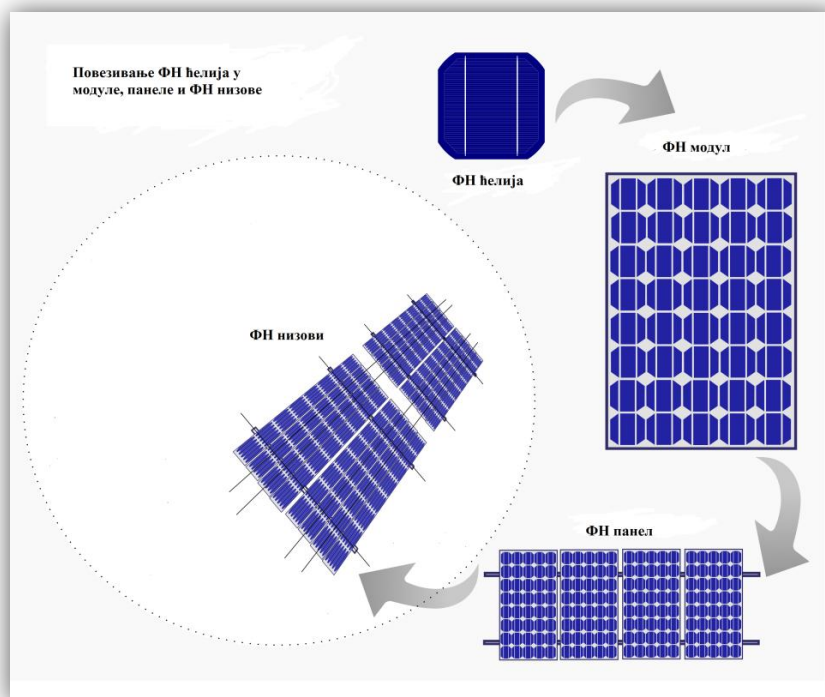
Слика 5.1 Принципијска функционисања фотонапонске ћелије [5]

Поред дефинисаних n , p и $p-n$ полупроводничких слојева, класична фотонапонска ћелија на врху поседује антирефлексни транспарентни слој, затим метални контакт (контактну мрежу) на n слоју, следе три описана полупроводничка слоја и рефлексивна метална плоча – контакт са задње стране ћелије. ФН ћелија се прикључује на одговарајући потрошач и електрично коло је затворено.

Занимљиво је истаћи да просечна дебљина класичне силицијумске ФН ћелије износи само $300\text{ }\mu\text{m}$, а негативни n слој само $2\text{ }\mu\text{m}$.

Једна класична силицијумска ФН ћелија има димензије $10\times 10\text{ cm}$ (веома је ретко већа). Како се њен уобичајени радни напон креће око $0,5\text{ V}$, прибегава се повезивању ових ћелија у соларне ФН модуле и веће панеле, где су ФН ћелије спојене редно, како би се добио уобичајени напон од 12 V (даље је могуће паралелно повезивање у панелу), што је приказано на слици. У суштини могуће су све комбинације серијског и паралелног повезивања ћелија. ФН ћелија прикључена на потрошача даје једносмерну струју (DC). Као што је речено у одељку о соларним системима, она се даље инвертером може превести у наизменичну струју одговарајућих карактеристика (AC) [1].

На слици је 5.2 приказано повезивање ФН ћелија у модуле и панеле.



Слика 5.2 Повезивање ФН ћелија у модуле и панеле [6]

За формирање антирефлексног слоја на површини модула се користи титанијум – диоксид или у последње време силицијум – нитрит. Модули и панели заштићују се са предње стране слојем темперованог стакла (не и у случају технологије са аморфним силицијумом), а са задње стране флексибилним полимером [1].

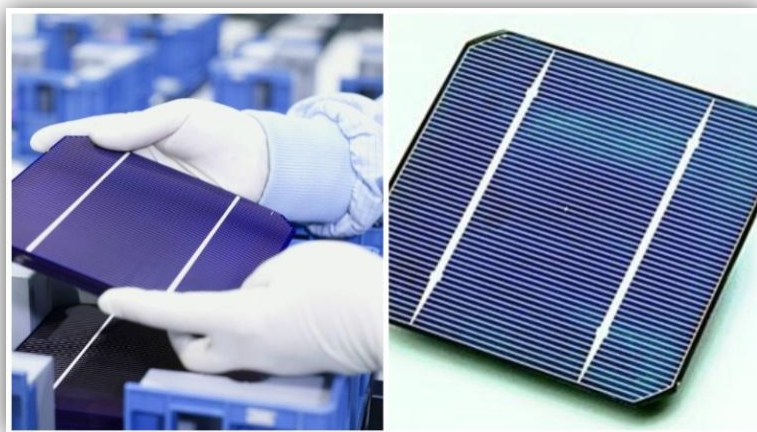
5.2 Основни типови силицијумских фотонапонских ћелија

Тренутно 95% ФН ћелија у експлоатацији представљају силицијумске ФН ћелије. Постоје три основна типа силицијумских ФН ћелија:

- монокристалне силицијумске ФН ћелије,
- поликристалне силицијумске ФН ћелије и
- ФН ћелије од аморфног силицијума.

У случају монокристалних ФН ћелија из истопљене масе силицијума се издваја потпуно чист силицијум специјалним поступком у веома танке плоче. Оваква ФН ћелија је најквалитетнија и има највећу ефикасност, [1].

На слици 5.3 приказана је монокристална силицијумска ФН ћелија.



Слика 5.3 Монокристалне силицијумске ФН ћелије [7]

Поликристална структура ФН ћелије добија се јефтинијим поступком тако што се течни силицијум лије у калупе, где се кристализује у ситније неправилне кристале, а потом реже у танке плоче, [1].

На слици 5.4 приказана је поликристална силицијумска ФН ћелија.



Слика 5.4 Поликристалне силицијумске ФН ћелије [7]

Због дефекта на границама формираних кристала овакве ФН ћелије имају мању ефикасност од монокристалних.

Уколико се силицијумски слој наноси у виду филма (дебљина и мања од 1 μm) на стакло или неки други материјал – подлогу, добијају се ФН ћелије од аморфног силицијума, најјефтиније и најмање ефикасности.

Технологије се даље развијају па се силицијум у виду танког филма наноси и као протокристална или нанокристална структура [1].

5.3 Фотонапонске технологије и генерације ФН ћелија

Технологија ФН ћелија развија се фантастичном брзином. Сада се већ говори о четири генерације фотонапонских ћелија:

1. првој генерацији припадају класичне, већ објашњене, силицијумске ФН ћелије од монокристалног или поликристалног силицијума;
2. друга генерација представља технологије наношења полупроводника у танком филму на одређену подлогу; овде се мисли на аморфни силицијум и многе друге комбинације (кадмијум – телурид, бакар – индијум – диселенид, бакар – индијум галијум – диселенид, галијум – арсенид, ...);
3. трећа генерација представља ФН ћелије на другачијем принципу фото – електро – хемијског ефекта, који подразумева коришћење полимера, органских ФН ћелија и нанокристала;
4. четврта генерација представља комбинацију полимера и наночестица у структурама које могу апсорбовати и трансформисати различите делове електромагнетног спектра.

Интензивно се истражује и варијанта са вишеслојним фотонапонском ћелијом где више слојева – ФН ћелија, смештених једна испод друге, апсорбују сунчеву светлост и конвертују је у електричну енергију (multijunction system). Најефикаснија структура (и најскупља) вишеслојне ФН ћелије направљена је од галијум – арсенида (GaAs) са примесама. Вишеслојна GaAs ФН ћелија под концентрисаним Сунчевим зрачењем дала је ефикасност од 35% [1].

6. Теорија фотонапонског ефекта

Ефикасност фотонапонске ћелије, η_{pvc} представља однос снаге трансформисане у електричну енергију (снага ФН ћелије), P_{pvc} и снаге Сунчевог зрачења, I_p које пада на површину исте ћелије, A_{pvc} :

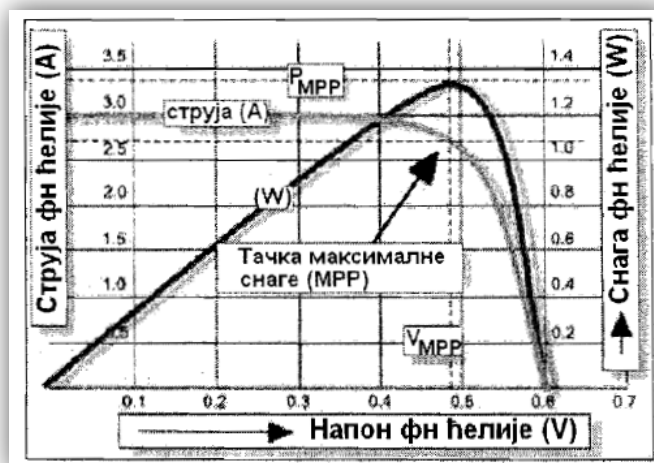
$$\eta_{pvc} = \frac{P_{pvc}}{I_p \cdot A_{pvc}}. \quad (1)$$

За оцену ефикасности трансформације ФН ћелије користи се и величина фактор испуњења, FF који се дефинише као:

$$FF = \frac{P_{pvc}}{U_{oc} \cdot I_{sc}}, \quad (2)$$

где су: U_{oc} (V) напон отвореног кола (максимални напон ФН ћелије) и I_{sc} (A) струја кратког споја ФН ћелије (максимална струја ФН ћелије).

Када ФН ћелија није везана за потрошача добиће се на њеним крајевима напон отвореног кола, а када је ФН ћелија у електричном колу без отпора добиће се струја кратког споја.



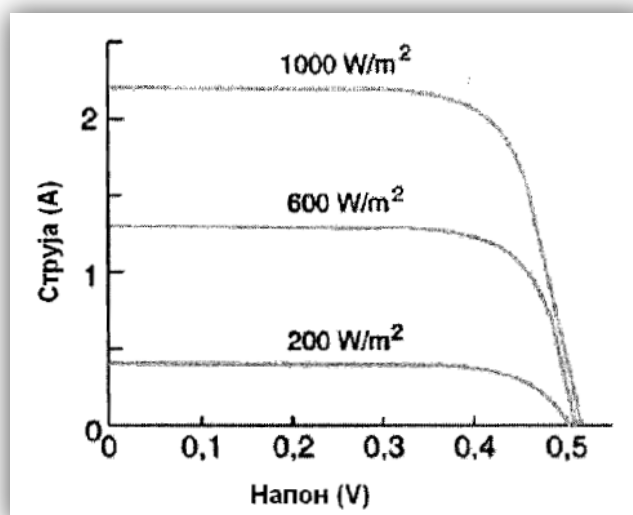
Слика 5.5 Дијаграм снаге класичне силицијумске ФН ћелије

На слици 5.5 приказан је дијаграм снаге класичне силицијумске ФН ћелије (10x10 cm) при стандардним условима ($I_p = 1000 \text{ W/m}^2$, температура ћелије $t_{pvc} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, стандардни спектар).

Са дијаграма се види да се тачка максималне снаге ФН ћелије добија када интензитет струје почиње да опада.

Већ је речено да се снага ФН ћелије изражава у W_p , у снази која се постиже при дефинисаном Сунчевом зрачењу и температури ћелије. Логично је претпоставити да снага ФН ћелије зависи од ова два фактора.

На слици 5.6 је приказана промена струје и снаге класичне силицијумске ФН ћелије, при различитим интензитетима Сунчевог зрачења.



Слика 5.6 Зависност снаге класичне силицијумске ФН ћелије од интензитета Сунчевог зрачења (W/m^2)

Може се приметити да напон ФН ћелије веома мало зависи од интензитета Сунчевог зрачења, али зато струја снажно зависи од истог фактора, а тиме и снага ФН ћелије.

Снага ФН ћелије опада са порастом њене температуре. Силицијумска ФН ћелија просечно губи 0,3 до 0,4% своје снаге са порастом температуре њене површине за 1 °C.

Напон отвореног кола ФН ћелије и струја кратког споја у зависности од њене температуре се мењају према једначинама, респективно:

$$U_{oc} = U_o \cdot (1 + \beta \cdot \Delta T); \quad (3)$$

$$I_{sc} = I_o \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T); \quad (4)$$

где су: β (1/K) температурски коефицијент промене напона отвореног кола ФН ћелије, α (1/K) температурски коефицијент промене струје кратког споја ФН ћелије и ΔT (K) промена температуре ФН ћелије у односу на референтне услове (U_o , I_o).

Из једначина може се израчунати максимална снага ФН ћелије, у зависности од њене температуре:

$$\begin{aligned} P_{pvcmax} &= U_{oc} \cdot I_{sc} = U_o \cdot I_o \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \cdot (1 + \beta \cdot \Delta T) \\ &= U_o \cdot I_o \cdot [1 + (\alpha + \beta) \cdot \Delta T + \alpha \cdot \beta \cdot \Delta T^2], \end{aligned} \quad (5)$$

ако се занемари квадратни члан у једначини добија се:

$$P_{pvcmax} = P_o \cdot [1 + (\alpha + \beta \cdot \Delta T)]. \quad (6)$$

Како је коефицијент отвореног кола већи и негативан, снага ФН ћелије ће се смањивати са порастом њене температуре. За конкретну ФН силицијумску монокристалну ћелију M55 c - Si, коефицијент β износи $\beta = -0,0041$, а коефицијент $\alpha = 0,00032$. Сабирањем се добија утицајни фактор од $-0,00378$.

У табели 6.1 дате су просечне вредности ефикасности најчешће коришћених ФН ћелија [1].

Табела 6.1 Просечне вредности ефикасности ФН 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

7. Фотонапонски систем

7.1 Врсте фотонапонских система

У табели 7.1 приказана је подела фотонапонских система према зависности рада од електродистрибутивне мреже.

Табела 7.1 Врсте ФН система

самостални (аутономни)	ФН системи за чији рад електрична мрежа није потребна
мрежни (спојени на електричну мрежу)	пасивни, код којих мрежа служи (само) као резервни извор
	активни (интерактивни), код којих мрежа може покривати мањкове, али и преузимати вишкове електричне енергије из ФН модула

7.1.1 Самостални ФН системи

Самостални ФН системи за свој рад не захтевају прикључење на градску електродистрибутивну мрежу. Када код њихове примене електричну енергију треба испоручити потрошачима током ноћи или у раздобљима са малим интензитетом Сунчевог зрачења нужен је акумулатор (батерија) који служи да акумулира електричну енергију. Том се систему мора додати контролер, који контролише пуњење и пражњење батерија, а додавањем инвертора (DC12V/AC230V) аутономни системи могу задовољити и све врсте типичних мрежних потрошача, као што су веш машина, телевизор, расвета, бојлер, рачунар, усисивач, и други мали кућни уређаји. Овакви системи су погодни за обезбеђивање потребне количине ЕЕ за удаљене (изоловане) потрошаче као што су рурална или приморска викенд – насеља као и за бројне појединачне објекте [8].

7.1.2 Пасивни ФН системи

Електричну мрежу користе само условно, у периодима када ФН панели не могу да произведу довољне количине електричне енергије, на пример ноћу када су истовремено акумулатори електричне енергије празни [8].

7.1.3 Активни (интерактивни) мрежни ФН системи

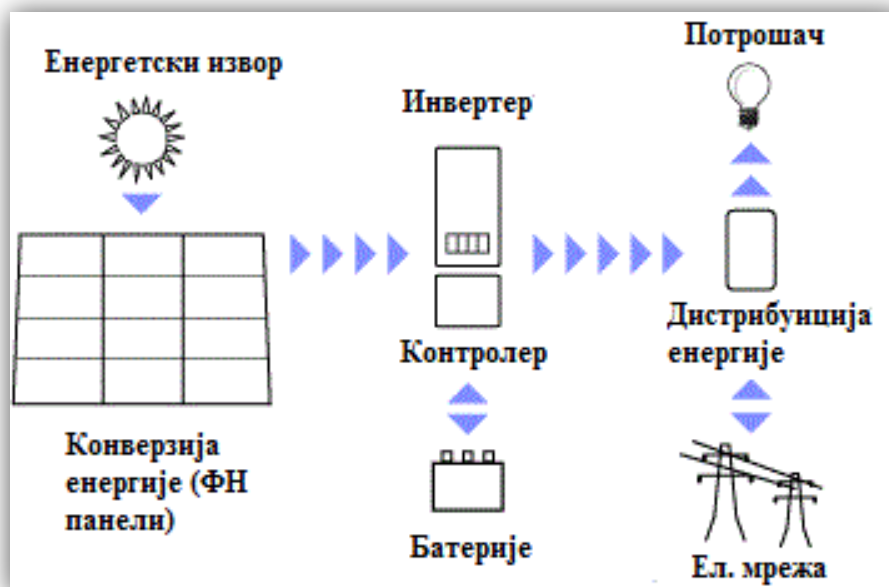
Електричну мрежу користе интерактивно, узимајући је у случају већих потреба или враћајући је у случају вишкова електричне енергије произведене у ФН панелима [8].

7.2 Принцип рада фотонапонског система

ФН панели прво прикупљају Сунчеву светлост која пада на глатку површину ФН панела. Затим једносмерни напон произведен у соларним панелима пролази кроз инвертор и контролер напона. Инвертор претвара једносмерни напон у наизменични и

припрема га за употребу односно напајање електричних потрошача у стамбеном објекту. Соларне батерије акумулирају вишак електричне енергије. Када су батерије пуне, контролер напона прекида пуњење соларних батерија из разлога да не дође до оштећења батерија уколико се препуне електричном енергијом.

На слици 7.1 је приказана принципска шема рада фотонапонског система.



Слика 7.1 Принцип рада ФН панела [9]

7.3 Компоненте самосталног ФН система

- Соларни ФН модул (ФН ћелија) - претварање сунчеве енергије у електричну енергију врши се уз помоћ фотонапонских ћелија (ФН модула). Принцип рада ФН панела заснива се на својству да се у материјалу при озрачивању светлости јавља разлика електричног напона, услед чега долази до тока једносмерне струје. ФН панели израђују се од полупроводничких материјала.
- Контролер - је уређај који се поставља између соларног панела и акумулатора, а његова основна функција је контролисање пуњења акумулатора пажећи да не дође до препуњавања акумулатора.
- Соларна батерија - служи за складиштење енергије коју од сунца прикупи ФН панел. На тржишту постоје два типа акумулатора који се користе за ову сврху. Стартер акумулатор или ауто акумулатор. Одликују се великом снагом у почетном стадијуму оптерећења, али имају мањи број циклуса пуњења и пражњења током трајања. Соларне акумулаторе одликује константност за све време оптерећења, па тако и већи број циклуса пуњења и пражњења. Уколико се користи соларни систем за повремено коришћење (викенд, годишњи одмор) тада ће стартер акумулатори бити боље решење, док се за свакодневно коришћење свакако препоручују соларни акумулатори.
- претварач (инвертор) - је електронски уређај који служи за претварање једносмерног напона соларне батерије од 12 или 24 V у наизменични напон од 220 V, на тај начин се могу користити уређаји као што су радио, тв пријемник, ЛЕД сијалице, рачунар итд...

- Уређаји - соларни систем је ограничен извор енергије, за разлику од струјне мреже која се може сматрати неограниченим извором. Зависно од снаге инвертора (претварача), и његовој излазној снази могуће је прикључити одређен број наизменичних уређаја чија потрошња неће прелазити укупну излазну снагу инвертора (претварача), у противном може доћи до преоптерећења система. Ако соларни акумулатор даје 2 kWh, то значи да ће једна сијалица од 100W моћи да ради 20 сати непрекидно ако узмемо у обзир да се акумулатор у међувремену не пуни електричном енергијом из соларних панела (ћелија). На овакав систем немогуће је прикључити ТА пећ и слично, већ само мање потрошаче као што су расвета, телевизор или радио пријемник и сл. [8].

7.4 Критеријуми за одабир опреме фотонапонског система

- познато порекло опреме,
- техничка документација опреме,
- атести и техничка гаранција опреме,
- производна гаранција опреме,
- трајање гаранција и
- цена. [10]

8. Пример стамбеног објекта

За анализу стамбеног објекта у програмском пакету EnergyPlus коришћен је објекат из каталога монтажних објеката фирме LUKS M из Београда [11].

На слици 8.1 приказан је стамбени објекат из каталога типских монтажних објеката фирме LUKS M, бруто површине $P = 50.38 \text{ m}^2$.



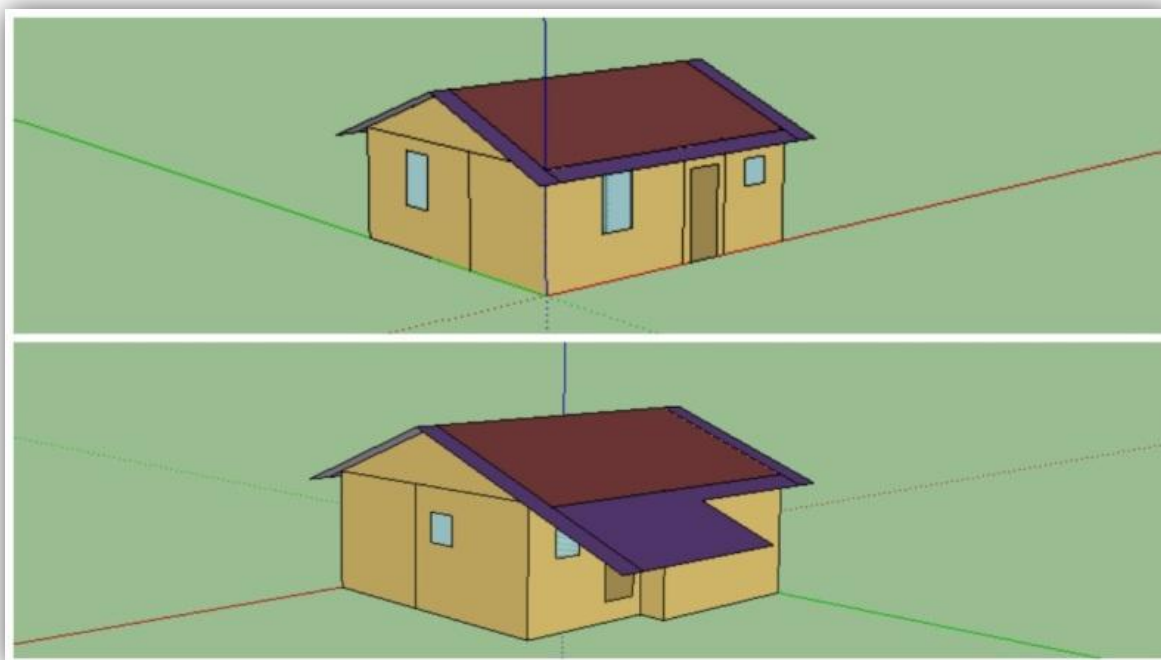
Слика 8.1 Анализирани објекат узет из каталога [11]

У табели 8.1 приказана је подела површина сваке од просторија изабраног објекта као и укупна нето површина.

Табела 8.1 Површине просторија анализираног објекта [11]

Ред. бр.	Просторија	Р [m ²]
1	Ходник	3
2	Купатило	4.56
3	Дневна соба са кухињом	23.25
4	Спаваћа соба	9.19
5	Тераса	6.82
Нето Р = 46.815 m ²		

Исти објекат је измоделиран у програму Google SketchUp 8. Модел је приказан на слици 8.2 [12].



Слика 8.2 Модел стамбеног објекта у Google SketchUp 8 програму

9. Електрични потрошачи у објекту

Електрични потрошачи који су анализирани у објекту су стари модели уређаја. Разлог за то је платежна моћ купаца у Србији. Дакле, уређаји који се мењају у домаћинствима бивају одлагани и обично нађу примену у оваквим објектима или их они који имају новца да приуште нове моделе продају као половну робу. Разлика између старих и нових модела електричних уређаја је велика. Старији модели уређаја су енергетски неефикаснији и троше више електричне енергије пружајући исту услугу. Што је још један од параметара који се посматра при димензионисању ФН система.

9.1 Анализа најзаступљенијих електричних потрошача у објектима

Најзаступљенији електрични уређаји који се налазе у готово сваком објекту су: бојлер, веш машина, фрижидер, телевизор, електрични шпорет и расвета. Што се тиче електричног шпорета, као замена за електрични шпорет који је велики потрошач електричне енергије, може се користити решо на плин или шпорет на дрва.

У наредном делу рада биће приказана анализа електричних уређаја, њихова спецификација, енергетски разред, ангажованост и потрошња. Ради се о четворочланом броју људи у објекту који користе наведене електричне потрошаче.

9.1.1 Спецификација, анализа рада и потрошње електричног шпорета

Спецификација електричног шпорета

У табели 9.1 приказана је спецификација електричног шпорета, а на слици 9.1 електрични шпорет Gorenje E51102IW.

Табела 9.1 Спецификација електричног шпорета Горење

Произвођач	Gorenje E51102IW
Енергетски разред	B
Врста плоче за кување	Рингле
Плоче за кување	Лево напред: Експрес плоча ϕ 18 cm, 2 kW
	Десно напред: Стандардна плоча ϕ 14,5 cm, 1 kW
	Лево назад: Стандардна плоча ϕ 14,5 cm, 1 kW
	Десно назад: Стандардна плоча са температурним ограничењем ϕ 18 cm, 1,5 kW
Врста рерне	Конвенционална
Запремина рерне	49 l
Максимална температура рерне	250 °C
Тежина	39 kg
Димензије	(ш/в/д) 50 x 85 x 60,5 cm

Ангажованост електричног шпорета

У табели 9.2 приказана је ангажованост електричног шпорета на дневном и недељном нивоу.

Табела 9.2 Ангажованост електричног шпорета

Ангажованост електричног шпорета на дневном нивоу [min.]	180
Ангажованост електричног шпорета на недељном нивоу [min.]	1260

Потрошња анализираног електричног шпорета

У табели 9.3 приказана је потрошња електричног шпорета. За потрошњу анализираног уређаја узето је у обзир да је ангажована једна рингла од 2 kW.

Табела 9.3 Потрошња електричног шпорета

Потрошња	Дневни ниво	Недељни ниво
Потрошња енергије (kWh)	6	42

9.1.2 Спецификација, анализа рада и потрошње веш машине

Спецификација анализираног уређаја

У табели 9.4 приказана је спецификација веш машине.

Табела 9.4 Спецификација веш машине

Произвођач	Gorenje
Тип	WA 583
Капацитет	5 kg
Број обртаја центрифуге	500 o/min.
Снага	0,6 kW
Мере апарата	(в/ш/д) 85/60/60 cm
Година производње	2002
Енергетски разред	Ц

Ангажованост веш машине

Просечна ангажованост веш машине у четворочланој породици за прање при краћем циклусу је 12 пута у току месеца а при дужем 3 прања на месечном нивоу. У табели 9.5 је приказана ангажованост веш машине.

Табела 9.5 Ангажованост веш машине

Ангажованост веш машине на дневном нивоу [min.]	36
Ангажованост веш машине на недељном нивоу [min.]	252

Потрошња веш машине

Потрошња веш машине за краћи и дужи циклус биће приказана у табели 9.6. Укупна потрошња електричне енергије на месечном нивоу износи 12,9 kWh [13].

Табела 9.6 Потрошња ЕЕ веш машине

Мерење	Јединица	Количина
Потрошња краћи циклус	kWh	0,6
Потрошња дужи циклус	kWh	1,9

9.1.3 Спецификација, анализа рада и потрошње комбинованог фрижидера

Спецификација анализираног уређаја

У табели 9.7 приказана је спецификација анализираног комбинованог фрижидера а на слици 9.3 анализирани комбиновани фрижидер.

Табела 9.7 Спецификација комбинованог фрижидера

Произвођач	Beke
Тип	CSK34000
Бруто запремина	340 l
Нето запремина фрижидера	205 l
Нето запремина замрзивача	87 l
Мере уређаја	(в/ш/д) 186/60/60 cm
Гаранција	5 година
Радни век	13 година
Година производње	2008. год.
Енергетски разред	A

Ангажованост комбинованог фрижидера

У табели 9.8 је приказана ангажованост комбинованог фрижидера на дневном и недељном нивоу.

Табела 9.8 Потрошња комбинованог фрижидера Beke CSK34000

Ангажованост фрижидера на дневном нивоу [h]	10
Ангажованост фрижидера на недељном нивоу [h]	70

Потрошња фрижидера

У табели 9.9 је приказана дневна и недељна потрошња електричне енергије комбинованог фрижидера измерена помоћу дигиталног мерача [13].

Табела 9.9 Потрошња ЕЕ фрижидера

Потрошња	Дневни ниво	Недељни ниво
Потрошња енергије (kWh)	1,2	8,4

9.1.4 Спецификација, анализа рада и потрошње телевизора

Спецификација анализираног уређаја

У табели 9.10 приказана је спецификација анализираног уређаја а на слици 9.4 анализирани уређај.

Табела 9.10 Спецификација телевизора

Произвођач	Vox
Модел	TK2181
Тип	CRT
Дијагонала	21''/54 cm
Површина екрана	272 cm ²
Снага	120W - on, 2W - off

Ангажованост телевизора

У табели 9.11 биће приказана дневна и недељна ангажованост телевизора у часовима. Телевизор такође троши електричну енергију када је у stand – by режиму, али то је занемарљива потрошња стога неће бити уврштена у табелама за ангажованост и потрошњу.

Табела 9.11 Ангажованост телевизора

Ангажованост телевизора на дневном нивоу [h]	6
Ангажованост телевизора на недељном нивоу [h]	42

Потрошња телевизора

Телевизор је најмањи потрошач од свих наведених електричних уређаја, не рачунајући расвету. Подаци су бројчано приказани у табели 9.12 [13].

Табела 9.12 Приказ потрошње електричне енергије сијалица

Потрошња	Дневни ниво	Седмични ниво
Потрошња енергије (kWh)	0,72	5,04

9.1.5 Спецификација, анализа рада и потрошње бојлера**Спецификација анализираног уређаја**

У табели 9.13 приказана је спецификација анализираног електричног уређаја а на слици 9.5 анализирани бојлер.

Табела 9.13 Спецификација Бојлера Gorenje TGR80N [14]

Произвођач	Gorenje
Тип	TGR80N
Запремина	80 l
Начин монтаже	Вертикално на зид
Димензије	(в/ш/д) 45.4x77.5x46.1 cm
Прикључна снага	2 kW

Бојлер има грејач који претвара електричну енергију у топлотну, стога је битно да се правилно одабере запремина бојлера при куповини. Уколико већ постоји бојлер који ћемо уградити без куповине, коришћени бојлер велике запремине, треба знати да је у том случају боље да се бојлер укључује по потреби, нарочито ако околни зидови купатила нису изоловани.

Ангажованост бојлера

У табели 9.14 приказана је ангажованост на дневном и недељном нивоу мерена дигиталним мерачем који мери време када се грејач у бојлеру укључи.

Табела 9.14 Ангажованост бојлера

Ангажованост бојлера на дневном нивоу [min.]	180
Ангажованост бојлера на недељном нивоу [min.]	1260

Потрошња бојлера

У табели 9.15 је приказана потрошња бојлера на дневном и недељном нивоу.

Табела 9.15 Потрошња бојлера

Потрошња	Дневни ниво	Седмични ниво
Потрошња енергије (kWh)	6	42

9.1.6 Спецификација, анализа рада и потрошње расвете/сијалица

Спецификација сијалица са ужареним влакном

Спецификација сијалица са ужареним влакном налази се у табели 9.16 а на слици 9.6 анализирана сијалица.

Табела 9.16 Спецификација сијалица са ужареним влакном

Произвођач	Volta lux
Број ангажованих светиљки [ком.]	6
Снага сијалице [W]	75
Светлосни флуks [lm]	935
Класа енергетске ефикасности	E
Гарантни рок [h]	1000

Ангажованост сијалица

Измерена је двадесетчетворочасовна ангажованост сијалица. Мерења су извршена ручно, записивањем и касније сабирањем времена рада сијалица. У табели 9.17 приказана је ангажованост сијалица у зимском и летњем периоду.

Табела 9.17 Ангажованост сијалица по просторијама

	Ангажованост зими	Ангажованост лети
Дневна соба са кухињом	5 h	3 h
Спаваћа соба	15 min.	15 min.
Купатило	2 h	2 h
Ходник	15 min.	15 min.

Потрошња електричних сијалица

У табели 9.18 је приказана потрошња електричне енергије сијалица са ужареним влакном.

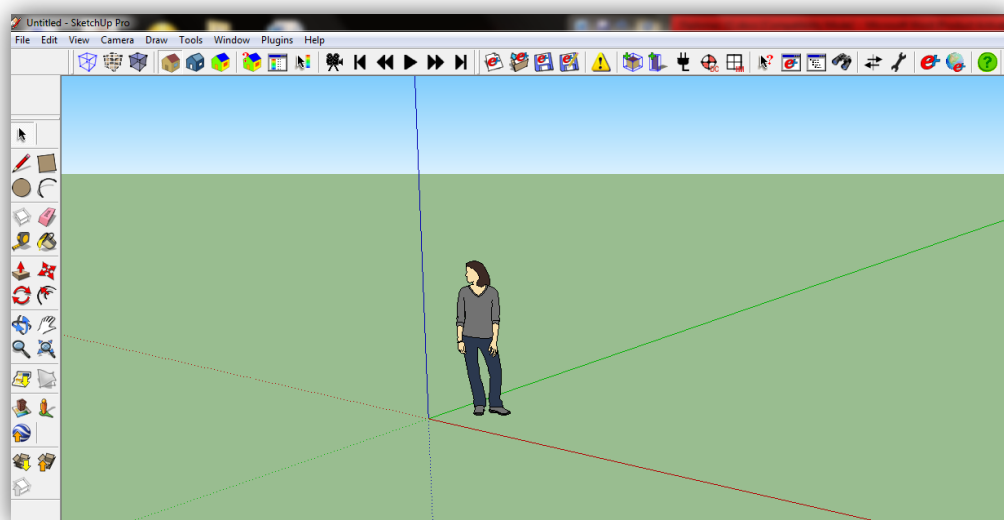
Табела 9.18 Потрошња електричних сијалица

Потрошња	Дневни ниво (зими)	Дневни ниво (лети)
Потрошња енергије [kWh]	0,713	0,4125

10. Google SketchUp

Google SketchUp је 3D програм за моделирање. Служи за креирање различитих геометријских тела у простору, тј. омогућује израду тродимензионалних (3D) објеката. Програм се може користити за архитектурна и машинска извођења, дизајнирање, а могу га користити и почетници који се упознају са програмима за моделирање објеката и других геометријских тела. Успомоћ палете алата за цртање, помоћу линија се креирају површине, а затим одговарајућим алатима праве геометријска тела.

У овом раду за моделирање се користи Google SketchUp 8, у којем је израђен стамбени објекат коме су дефинисане површине просторија. За моделирање је коришћена основна палета алата. Објекат се затим користи за потребне симулације у програму Energy Plus. На слици 10.1 је приказано радно окружење програма Google SketchUp 8.

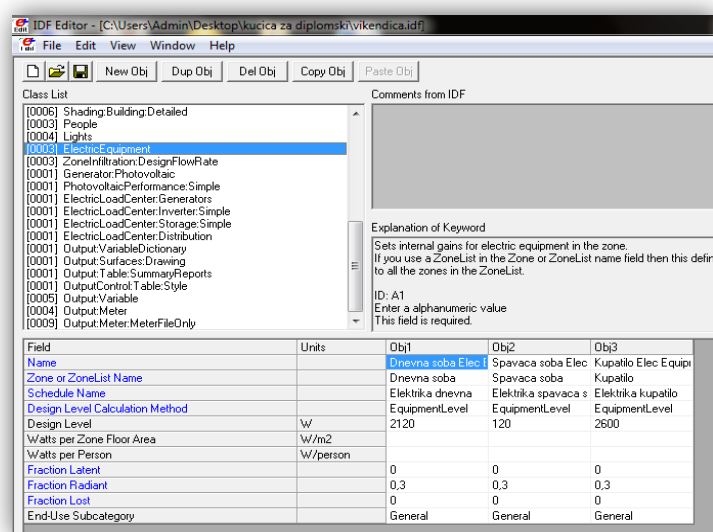


Слика 10.1 Радно окружење програма Google SketchUp 8 [12]

11. EnergyPlus

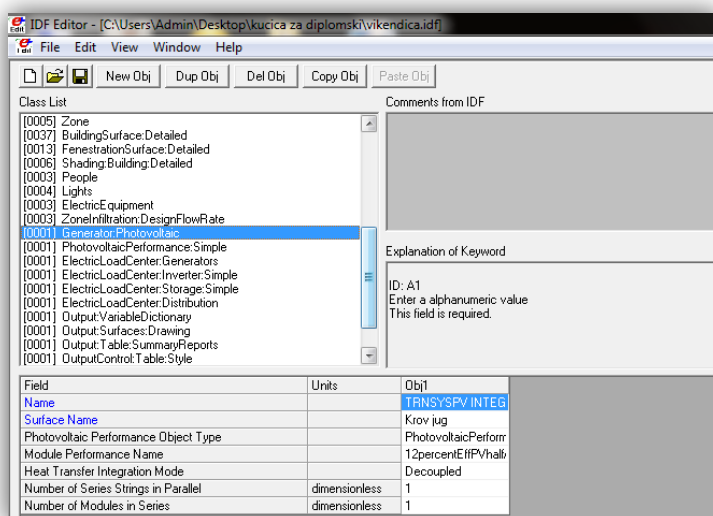
EnergyPlus је програмски пакет који се користи за енергетске симулације целих објеката који користе инжењери, архитекте, дизајнери, почетници.. Неке од могућности су дефинисање грејања, хлађења, вентилације, енергетских токова и других параметара. У овом раду су поред осталих убачене картице које дефинишу фотонапонски систем [15].

На слици 11.1 је приказана картица "ElectricEquipment". У овој картици убачене су просторије и укупна инсталисана снага у ватима (W) електричних потрошача. Убачена инсталисана снага је потребна да би се могао правилно димензионисати ФН систем.



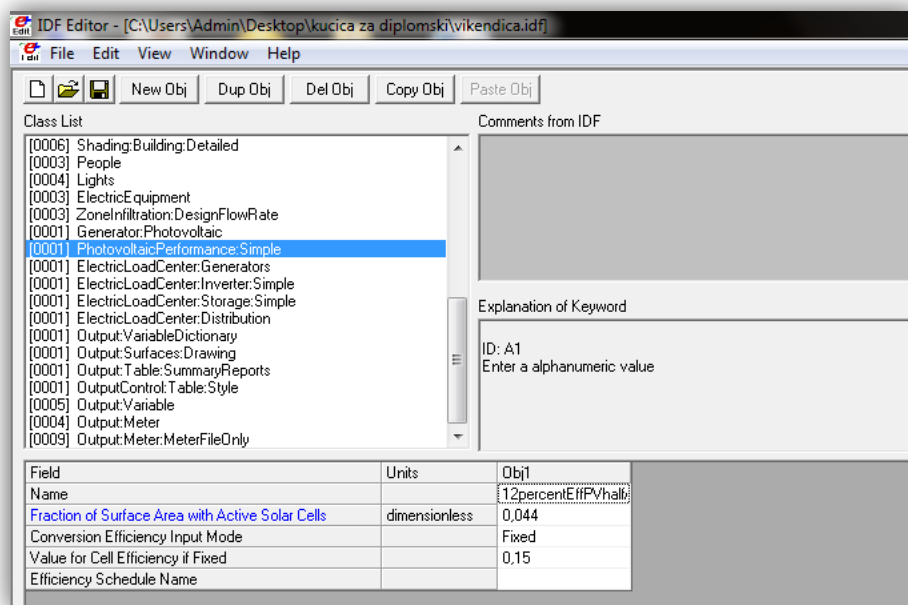
Слика 11.1 "ElectricEquipment" картица

На слици 11.2 је приказана картица "Generator:Photovoltaic". У овој картици се дефинише име површине на коју су постављени фотонапонски панели.



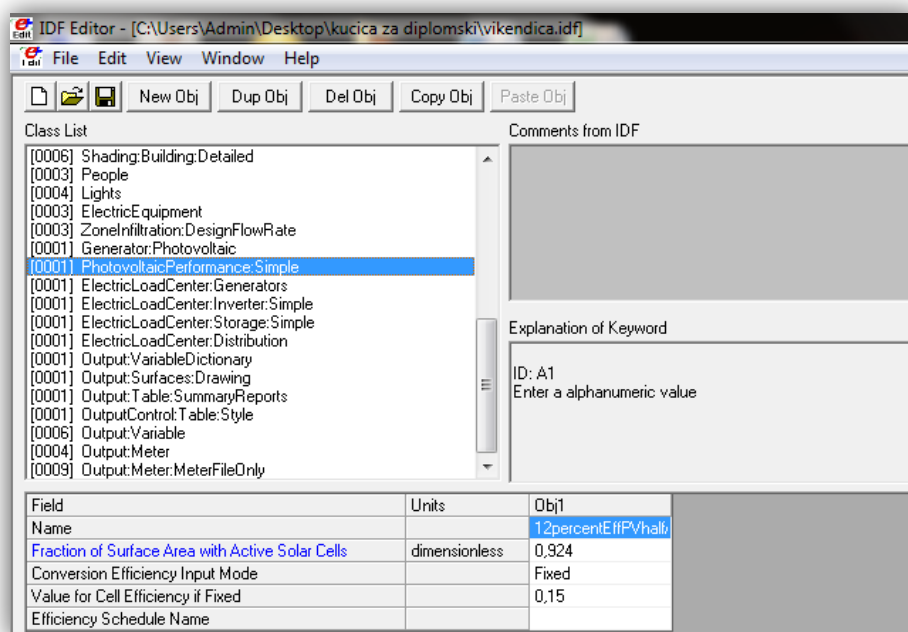
Слика 11.2 "Generator:Photovoltaic" картица

На слици 11.3 је приказана картица "PhotovoltaicPerformance:Simple" где је најбитније видети друго поље, фракција стране крова на којој је постављен 1 m^2 фотонапонских панела. Након тога се одређује колика је површина потребна да покрије потребе електричних потрошача. Такође се види ефикасност фотонапонских панела.



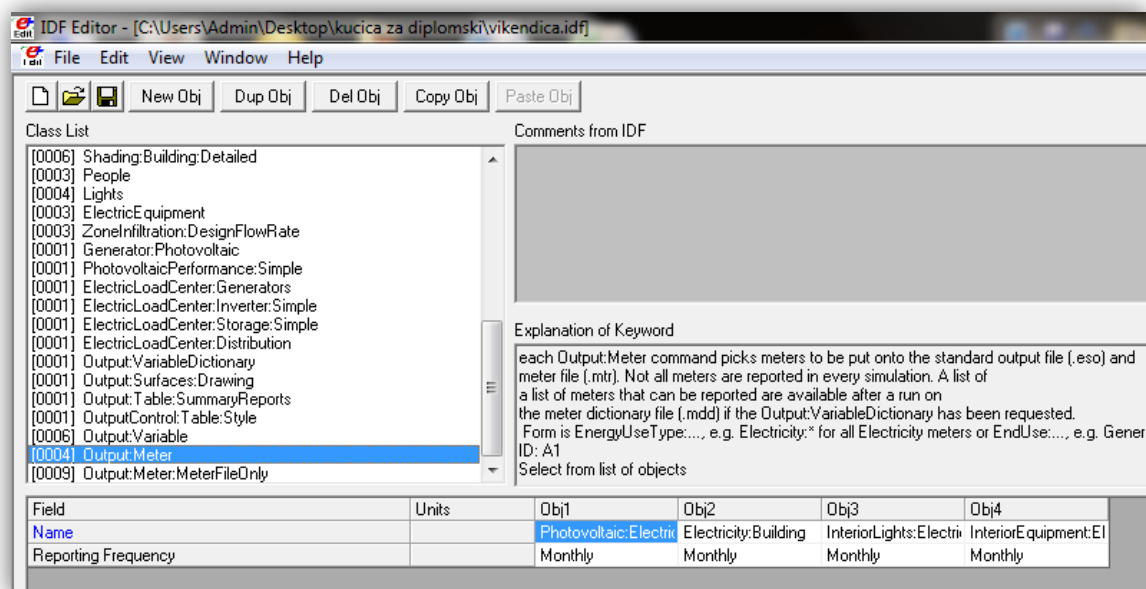
Слика 11.3 "PhotovoltaicPerformance:Simple" картица са фракцијом која одговара 1 m^2 ФН панела

На слици 11.4 приказана је картица "PhotovoltaicPerformance:Simple" али овог пута са вредношћу фракције која одговара 21 m^2 ФН панела.



Слика 11.4 "PhotovoltaicPerformance:Simple" картица са фракцијом која одговара 21 m^2 ФН панела

На слици 11.5 је приказана картица "Output:Meter". Ова картица садржи променљиве које дефинишу укупну потребу за електричном енергијом објекта, укупну произведену електричну енергију ФН панела, потрошњу електричне енергије расвете и потрошњу електричне енергије електричних потрошача.

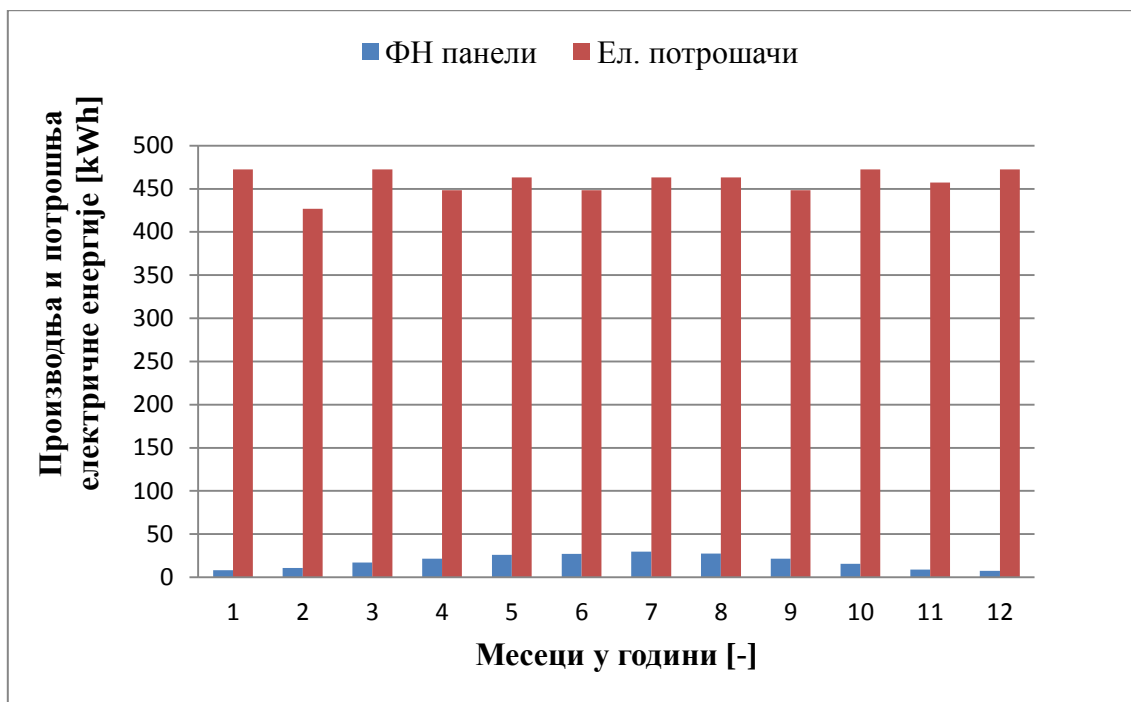


Слика 11.5 Картица "Output:Meter"

12. Економска анализа

Анализа је спроведена на два случаја. За референтни случај, узет је 1 m^2 ФН панела одакле се види годишња производња електричне енергије ФН панела. На основу потрошње електричних потрошача и произведене електричне енергије 1 m^2 ФН панела израчуната је површина ФН панела. (буни ме овакав завршетак реченице)

На слици 12.1 је приказан дијаграм са годишњом произведеном количином електричне енергије ФН система површине 1 m^2 , и потрошња електричне енергије електричних уређаја у објекту.

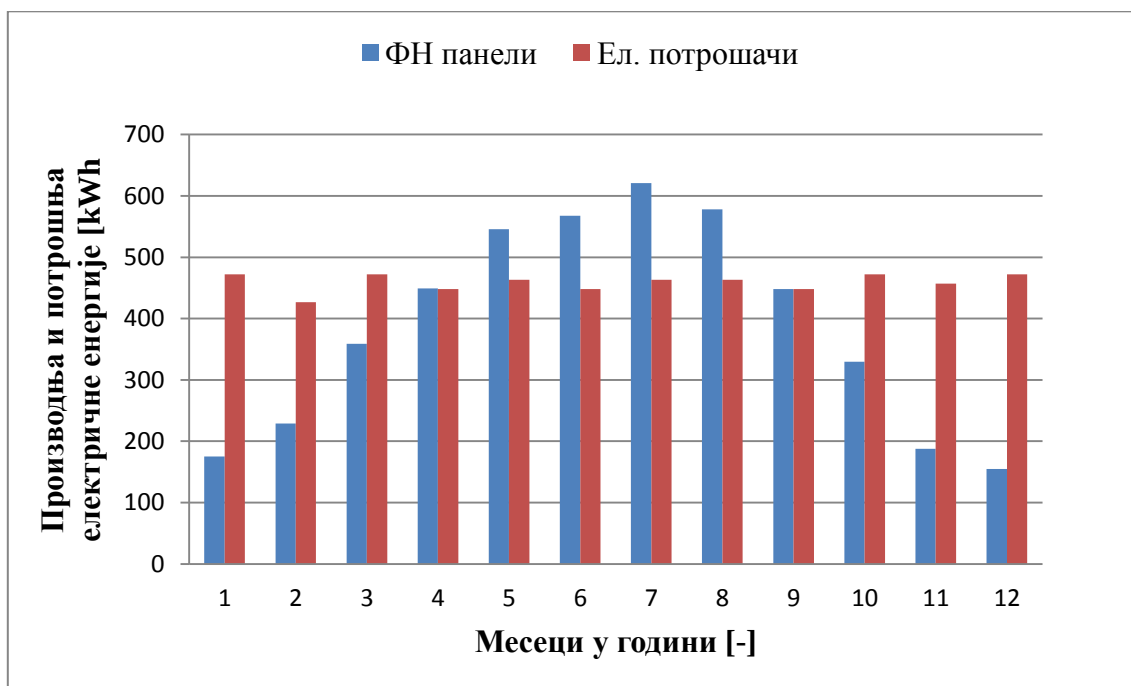


Слика 12.1 Дијаграм произведене електричне енергије површином од 1 m^2 ФН панела и потрошене ЕЕ електричних потрошача

На дијаграму се уочава шаблон потрошње електричних уређаја. Месеци који имају исти број дана у години имају и исту потрошњу ЕЕ. Такође се примећује да је потрошња електричних уређаја у објекту вишеструко већа од произведене ЕЕ ФН панела. Децембар је месец са најмањом произведеном количином електричне енергије, што је логично јер су обданице кратке и врло често долази до појаве магле, облачности и снега. Произведена ЕЕ на нивоу целог месеца је $7,4 \text{ kWh}$, а потрошња електричних уређаја износи $472,41 \text{ kWh}$. Месец са највећом количином произведене ЕЕ је месец јул, са $29,6 \text{ kWh}$. Потрошња електричне енергије електричних уређаја за овај месец износи $463,11 \text{ kWh}$. Према добијеним подацима јасно се види да се мора наћи баланс између уложеног новца у инвестицију (исплативости) и покривања потреба за електричном енергијом. Према добијеним резултатима симулације, одлучено да је најбоље да се систем димензионише према потрошњи електричне енергије електричних потрошача за 6 месеци у години. То су: април, мај, јун, јул, август и септембар.

Уколико би се димензионисао ФН систем за најгори случај, видели бисмо да би нам у децембру, где се произведе око 7,37 kWh електричне енергије за цео месец било потребно $64,09 \sim 64,1 \text{ m}^2$ ФН панела, што је огромна инвестиција са једне стране, а са друге стране конструктивно неизводљиво, јер расположива површина крова орјентисана ка југу износи $22,61 \text{ m}^2$.

На слици 12.2 приказан је дијаграм произведене електричне енергије ФН система са 21 m^2 ФН панела, и потрошње електричних уређаја и објекту.



Слика 12.2 Дијаграм произведене електричне енергије површином од 21 m^2 ФН панела и потрошене ЕЕ електричних потрошача

На дијаграму се уочава да произведена електрична енергија почев од априла па до септембра задовољава потребе електричних потрошача у објекту. Вредности потрошње ЕЕ електричних потрошача остаје непромењена. Оно што се даље примећује је да у мају, јуну, јулу и августу, произведена електрична енергија ФН система премашује потребе електричних потрошача у стамбеном објекту. У јулу, произведена количина електричне енергије износи 620,97 kWh, док је потрошња електричних уређаја 463,11 kWh. Са дијаграма се види да је ово највећа количина произведене електричне енергије у години. Јул насупрот децембру има дуге обданице и ведро и сунчано време, што директно утиче на повећање произведене електричне енергије. Вишак електричне енергије у јулу износи, $620,97 - 463,11 = 157,86 \text{ kWh}$. Вишак електричне енергије биће детаљније анализиран у другом сценарију.

12.1 Компоненте ФН система са новчаним трошковима

У табели 12.1 приказане су компоненте ФН система. Цене компонената добијене су директно од продавца.

Табела 12.1 Спецификација компонената ФН система са ценама [16]

	Број комада	Цена по комаду	Укупно
ФН панел Hermes Solar EU 250 W	12	237 €	2844 €
Контролер напона Wellsee WS – C4860 48 V 60 A	1	190 €	190 €
Соларна батерија JYC 100 Ah	24	170 €	4080 €
Инвертор 3000 W Осцен	1	550 €	550 €
Уградња	Око 850 €		

Укупна цена наведених компонената овог система са ПДВ – ом износи 7664 € без трошкова уградње, а са трошковима уградње 8514 €.

Број ФН панела помножен снагом (W) одговара потребама система, као и инвертор. Батерије које имају капацитет од 2400 Ah у теорији могу да акумулирају 28,8 kW енергије, односно 100 Ah = 1,2 kW [16].

Усвојен је нови ценовник електричне енергије који ступа на снагу од првог октобра 2016. године за снабдевање домаћинстава и малих купаца. Код двотарифног мерења, виша дневна тарифа у зеленој зони је 5,84 РСД, а нижа 1,46 РСД. Виша дневна тарифа у плавој зони је 8,76 РСД, а нижа дневна тарифа у плавој зони износи 2,19 РСД. Виша дневна тарифа у црвеној зони је 17,52 РСД, док нижа дневна тарифа у црвеној зони износи 4,38 РСД [17].

У табели 12.2 приказане су зоне електричне енергије и њихове граничне вредности у kWh.

Табела 12.2 Зоне електричне енергије са граничним вредностима [18]

	Граничне вредности [kWh]
Зелена зона	0 – 350
Плава зона	350 – 1600
Црвена зона	преко 1600

Откупне цене kWh електричне енергије у Србији су следеће: За електране до 30 kW снаге, 20,66 с€/kWh, за електране од 30 kW до 500 kW, 19,38 с€/kWh и за електране преко 500 kW, 16,25 с€/kWh. Уговор се потписује на 12 година, и од дана потписивања ЕПС гарантује константну откупну цену за 1 kWh продате електричне енергије. На тај начин држава стимулише покретање производње електричне енергије коришћењем обновљивих извора енергије (соларне енергије) [19].

Приликом рачунања исплативости инвестиције анализирана су три различита сценарија. Након одрађених анализа уочава се који сценарио је најповољнији.

I сценарио

Први сценарио подразумева систем који садржи батерије које ће акумулирати произведену електричну енергију. Складиштена електрична енергија је коришћена за рад електричних потрошача. Из разлога што производња обухвата и зелену и плаву зону биће узета средња вредност зелене и плаве зоне која се множи са бројем kWh како би се израчунала уштеда (у еврима), односно период отплате инвестиције (у годинама).

Бројчани подаци који се односе на произведену и потрошену електричну енергију као и уштеду приказани су у табели 12.3.

Табела 12.3 Уштеда за сценарио I

Месеци у години [-]	Производња [kWh]	Потрошња [kWh]	Уштеда [€]
Јануар	175,35	472,41	5,25
Фебруар	229,11	426,69	6,85
Март	359,1	472,41	10,88
Април	448,98	448,17	14,92
Мај	546	463,11	19,28
Јун	567,42	448,17	20,24
Јул	620,97	463,11	22,6
Август	577,92	463,11	20,71
Септембар	448,35	448,17	14,89
Октобар	329,7	472,41	9,86
Новембар	187,53	457,17	5,61
Децембар	154,77	472,41	4,63
Укупно	$\Sigma 4645,2$	$\Sigma 5507,34$	$\Sigma 155,72$

Приликом претварања новца из РСД у € коришћена је курсна листа Народне банке Србије (1 € = 122 РСД) [20].

Период отплате (PO) је израчунат тако што је вредност инвестиционих трошкова подељена са једногодишњом уштедом, па се добија:

$$PO = \frac{8514}{155,72} = 54,68 \text{ год.}$$

II сценарио

У другом сценарију, произведена електрична енергија се чува у батеријама, док се вишак електричне енергије, продаје ЕПС – у. Месеци са оствареним вишком електричне енергије у односу на потребе електричних потрошача су: мај, јун, јул и август. Продајна цена електричне енергије за електране до 30 kW износи 20,66 с€, односно 25,2 РСД. Бројчани подаци приказани су у табели 12.4 [19].

Табела 12.4 Уштеда за сценарио II

Месеци у години [-]	Производња [kWh]	Потрошња [kWh]	Уштеда [€]
Јануар	175,35	472,41	5,25
Фебруар	229,11	426,69	6,85
Март	359,1	472,41	10,88
Април	448,98	448,17	14,92
Мај	546	463,11	32,67
Јун	567,42	448,17	39,51
Јул	620,97	463,11	48,16
Август	577,92	463,11	39,27
Септембар	448,35	448,17	14,89
Октобар	329,7	472,41	9,86
Новембар	187,53	457,17	5,61
Децембар	154,77	472,41	4,63
Укупно	$\Sigma 4645,2$	$\Sigma 5507,34$	$\Sigma 232,5$

На основу резултата приказаних у табели израчунат период отплате (PO) износи:

$$PO = \frac{8514}{232,5} = 36,62 \text{ год.}$$

III сценарио

Трећи сценарио се односи на то да се сва произведена електрична енергија продаје ЕПС – у по цени од 20,66 с€. У том случају нису потребне батерије јер се сва произведена електрична енергија продаје. Целокупна електрична енергија за рад електричних потрошача се узима из електродистрибутивне мреже. Услед непостојања батерија у оквиру система цена истог више неће бити 8514 € већ 4434 €. Бројчани подаци приказани су у табели 12.5.

Табела 12.5 Уштеда за сценарио III

Месеци у години [-]	Производња [kWh]	Потрошња [kWh]	Уштеда [€]
Јануар	175,35	472,41	36,22
Фебруар	229,11	426,69	47,33
Март	359,1	472,41	74,19
Април	448,98	448,17	92,76
Мај	546	463,11	112,8
Јун	567,42	448,17	117,23
Јул	620,97	463,11	128,29
Август	577,92	463,11	119,4
Септембар	448,35	448,17	92,63
Октобар	329,7	472,41	68,12
Новембар	187,53	457,17	38,74
Децембар	154,77	472,41	31,98
Укупно	$\Sigma 4645,2$	$\Sigma 5507,34$	$\Sigma 959,7$

На основу резултата приказаних у табели израчунат период отплате (PO) износи:

$$PO = \frac{4434}{959,7} = 4,62 \text{ год.}$$

Закључак

Енергетска ефикасност се најкраће може описати као коришћење мање енергије уз пружање истих услуга. Најбоље објашњење је када се замени електрични уређај попут телевизора, замрзивача, фрижидера, веш машине или рецимо рачунар са енергетски ефикаснијим моделом, добија се иста услуга са мањом потрошњом електричне енергије. Енергетска ефикасност никако не представља штедњу енергије. Искључивање сијалица је штедња а замена сијалице са ужареним влакном LED сијалицом (која троши знатно мање енергије емитујући исту јачину светлости) је енергетска ефикасност.

На овај начин, не само да се штеди новац и смањује количина гасова стаклене баште која одлази у атмосферу, већ се може уштедети и при димензионисању ФН система јер новији модели електричних уређаја збирно имају мању потрошњу електричне енергије. То значи да би мања површина ФН панела била потребна како би задовољила исте потребе електричних потрошача.

ФН систем димензионисан је да задовољи потребе за електричном енергијом електричних потрошача за 6 месеци у години. Анализирана су три сценарија исплативости.

Први сценарио подразумева систем који садржи батерије које акумулирају произведену електричну енергију. Складиштена електрична енергија се затим користи за рад електричних потрошача. Израчунати период отплате у првом сценарију износи 54,8 година.

Други сценарио се односи на то да се део електричне енергије која је потребна за снабдевање електричних потрошача чува у батеријама, а вишак продаје ЕПС – у. Период отплате у другом сценарију износи 36,62 године.

Трећи сценарио се односи на ФН систем који не садржи акумулаторе електричне енергије. То значи да ће се новац потребан за инвестицију смањити у односу на претходна два сценарија за вредност батерија, и износиће 4434 €. У овом сценарију сва произведена ЕЕ се продаје ЕПС – у, а потребна енергија за напајање електричних потрошача се купује из електродистрибутивне мреже. Период отплате у трећем сценарију је због високе откупне цене (20,66 с€) најкраћи и износи 4,62 године.

Након анализе три сценарија, долази се до закључка да је у Србији најбољи сценарио продаја комплетно произведене електричне енергије. Уместо коришћења произведене енергије, исплати се куповати електричну енергију из електродистрибутивне мреже. Другим речима, без подршке државе кроз субвенције (feed – in тарифе) није исплативо инвестирати у ФН системе.

Треба напоменути да је ова анализа рађена за идеалан случај потрошње електричне енергије од стране електричних потрошача. Опште је познато да је највећа потрошња за време новогодишњих празника (и до два пута већа од анализираних). Такође, анализа је спроведена и за идеалан случај производње електричне енергије. Усвојено је да је ефикасност ФН панела константна (0,15) током целе године. На основу претходно изложеног може се закључити да ће период отплате у реалном случају бити сигурно дужи.

Иако је период отплате задовољавајући, нико не гарантује потписивање уговора са ЕПС – ом (продају електричне енергије по цени од 20,66 с€) због ограниченог буџета који држава издваја за feed – in тарифе.

Литература

- [1] Лукић, Н., Бабић, М., *Соларна енергија*, Машински Факултет у Крагујевцу, 2007.
- [2] <http://www.space.com/58-the-sun-formation-facts-and-characteristics.html> (приступио 3.10.2016.)
- [3] http://www.tf.uns.ac.rs/~omorr/radovan_omorjan_003_mpi/MMPI/2_%20Brzine%20prensa%20toplote%20i%20mase.pdf (приступио 11.9.2016.)
- [4] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/> (приступио 12.9.2016.)
- [5] https://sr.wikipedia.org/wiki/Solarna_fotonaponska_energija (приступио 1.10.2016.)
- [6] https://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaic_system (приступио 1.10.2016.)
- [7] https://sr.wikipedia.org/sr-el/Solarna_%C4%87elija (приступио 1.10.2016.)
- [8] <http://www.solarna-tehnologija.com.hr/sunceva-energija/fotonaponski-sistemi/vrste-fn-sistema/> (приступио 22.9.2016.)
- [9] <http://www.solardirect.com/pv/systems/systems.htm> (приступио 20.9.2016.)
- [10] <http://btsolar.hr/fotonaponski-sustavi/mrezni/> (приступио 23.9.2016.)
- [11] <http://www.montkuce.com/str/andrea.htm> (приступио 21.9.2016.)
- [12] <http://www.sketchup.com/> (приступио 23.9.2016.)
- [13] Василијевић, А., Кончаловић, З., Тимотијевић, С., Вермезовић, Д., Миливојевић, А., *Енергетска ефикасност уређаја у домаћинству*, семинарски рад, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2015.
- [14] <http://www.eponuda.com/bojleri/gorenje-tgr-80-n-cena-182336> (приступио 19.9.2016.)
- [15] <https://energyplus.net/> (приступио 25.9.2016.)
- [16] <https://www.parenasunce.com/> (приступио 15.9.2016.)
- [17] http://www.eps-snabdevanje.rs/kupci/Documents/20160818_Odluka%20o%20regulisanoj%20ceni%20EE%20za%20GS.pdf (приступио 29.9.2016.)
- [18] <http://www.ceps.rs/vesti/item/276-cena-struje> (приступио 5.10.2016.)
- [19] http://www.rdsolar.rs/prodaja-struje-eps_u (приступио 5.10.2016.)
- [20] <http://www.kursna-lista.com/kursna-lista-nbs> (приступио 4.10.2016.)