

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Урбано инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Предмет: Енергетска ефикасност објеката

Број индекса: 901/2014

Ана М. Бракус

Анализа енергетске ефикасности стамбеног објекта са фотонапонским панелима

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Данијела Николић, доцент-ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да прикаже могућности унапређења енергетске ефикасности једнопородичног стамбеног објекта применом соларног система за генерисање електричне енергије - фотонапонског система. Неопходно је да се у софтверу EnergyPlus моделира једнопородична стамбена зграда са системом даљинског грејања, за коју ће се најпре испитати утицај дебљине изолационог слоја на потрошњу енергије за грејање; у другом делу истраживања на истом објекту моделирати и симулирати рад фотонапонског система. Урадити симулације енергетског понашања зграде на годишњем нивоу, за различиту површину инсталираних фотонапонских панела и за различите случајеве њихове ћелијске ефикасности. Кроз анализу добијених резултата, приказати потрошњу енергије на годишњем нивоу (како за грејне потребе, тако и укупну потрошњу енергије у згради), количину генерисане енергије преко фотонапонског система, као и нето потрошњу финалне и примарне енергије.

Препоручена литература:

- [1] Ламбић М., Соларне технологије – топлотни и фотонапонски системи, Београд 2013.
- [2] Министарство за грађевинарство, саобраћај и инфраструктуру, Енергетска ефикасност у зградама, Београд, 2017
- [3] ENERGYPLUS, Input Output Reference - The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output, University of Illinois & Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009

.

Ментор:

Крагујевац
октобар 2018.

Др Данијела Николић, доцент

Резиме

У дипломском раду извршена је анализа потрошње енергије у згради са уграђеним фотонапонским панелима. Фотонапонски панели су често решење за генерисање електричне енергије. Електрична енергија коју генерише фотонапонски систем може се користити у кући или се може продавати електро-дистрибуцији. Подаци о потрошњи енергије добијени су на основу симулације у софтверу *Energy Plus*. Модел куће је израђен у софтверу *Google Sketch Up* са *Open Studio*.

Разматрана је кућа са даљинским грејањем, електричним грејањем санитарне воде, оптималном дебљином изолације и ефикасним фотонапонским панелима. Са најоптималнијим параметрима се постиже највећа енергетска ефикасност и потрошња енергије се своди на најмању могућу меру у кући која се обрађује у дипломском раду.

Кључне речи: Фотонапонски панели, кућа, симулација, потрошња енергије.

Abstract

This thesis represents the energy consumption analysis in the building with photovoltaic panels. Photovoltaic panels are often the solution for generating electricity. The electricity generated by the photovoltaic system can be used in house or it can be sold to the electrical distribution. The data on energy consumption were get on the basis of software simulation program *Energy Plus*. The model of the house was built in software *Google Sketch Up* with *Open Studio*.

It was considered house with central heating, electric heating of domestic hot water, with optimal thickness of insulation and photovoltaic cell efficiency panels. The optimal parameters will give the highest energy efficiency in the building which is analyzed in this thesis.

Keywords: Photovoltaic panels, house, simulation, energy consumption.

Садржај

1. Увод	1
2. Енергетска ефикасност у зградарству	3
3. Системи за коришћење соларне енергије у зградама	5
4. Фотонапонска технологија за генерисање електричне енергије	8
4.1 Функционисање фотонапонских ћелија	8
4.2 Ефикасност соларних ћелија	12
4.3 Подела фотонапонских система	12
4.4 Инсталирање соларних система на зградама	14
4.5 Стање ФН технологије на светском тржишту	15
4.6 Стање ФН технолаогије у Србији	16
5. Симулациони софтвери	17
5.1 Симулациони софтвер Energy Plus	17
5.2 Google Sketch Up са Open Studio додатком	18
6. Анализа стамбеног објекта	19
6.1 Систем грејања у анализираном објекту	19
6.2 Систем за грејање санитарне воде у објекту	20
6.3 Архитектонски модел анализиране куће	21
6.4 Потрошња енергије у анализираној кући	25
6.5 Потрошња електричне енергије у кући са фотонапонским панелима	27
6.5.1 ФН системи инсталирани на делу јужне стране крова	28
6.5.2 Различите ћелијске ефикасности ФН панела	32
6.6 Поређење резултата	37
6.7 Најповољнији случај- Случај 4	40
7. Закључак	41
8. Литература	42

1. Увод

Често се поставља питање шта је то енергија? Енергија се дефинише као способност неког тела да врши рад. Хиљадама година људи су користили енергију сопствених мишића. Касније су користили животиње за обављање тешких послова, а након много времена људи су открили и друге облике енергије као што су: хемијска, електрична, кинетичка, топлотна, потенцијална, нуклеарна...

Енергија се добија из природе коришћењем природних ресурса (нафта, угаљ). Одређеним процесима енергија из горива се претвара у топлотну, механичку и електричну енергију. Приликом трансформације јављају се одређени губици енергије. Због тога се ради на усавршавању ових процеса.

Трансформације енергије у неком процесу се одређују првим и другим законом термодинамике [1].

- I закон термодинамике – У систему у коме је маса стална, енергија се не може створити ни уништити. Она се може само трансформисати из једног облика у други.
- II закон термодинамике - Укупна доведена енергија неком систему троши се на вршење рада и повећање унутрашње енергије система.

Енергија је од настанка човека била најважнија компонента за његов опстанак, а са развојем цивилизације добила је још већи значај. 1990. године на планети Земљи је живело 5,3 милијарди људи. Тај број се свакодневно увећава, па се сматра да ће 2050. године на Земљи живети 12 милијарди људи. Поставља се питање шта ће се догодити са енергијом?

Електрична енергија је у свету најважнија енергија без које цивилизација не може да опстане. Према неким подацима у 2007. години потрошња електричне енергије у свету износила је 16100 TWh. Сматра се да ће до 2030. године светска потрошња електричне енергије бити на нивоу од око 31100 TWh.

Данас се 80% електричне енергије добија из фосилних горива (нафта, природни гас, угаљ). Главни проблем је што је ових ресурса све мање. С обзиром да се данас ови ресурси користе убрзано, сматра се да ће угља бити за још 200 година, а нафте и природног гаса за око 60 година.

Други проблем који се јавља је што прерадом сировина долази до стварања емисије штетних гасова који значајно утичу на животну средину.

Овде наведене чињенице нам указују да мора да се нешто мења у начину производње енергије. Једно од решења је коришћење алтернативних и обновљивих извора енергије. Обновљиви извори енергије представљају неисцрпне изворе енергије из природе који се обнављају у целости или делимично. Обновљиви извори енергије се експлоатишу с циљем производње електричне, топлотне и механичке енергије, а њихова одрживост карактерише смањење или редукацију емисије CO₂ у процесу производње [2].

Република Србија располаже обновљивим изворима енергије Сунца, воде, ветра, геотермалне енергије и биомасе.



Слика 1. *Обновљиви извор енергије Сунце*

У уделу потрошње финалне енергије зградарство учествује са око 35 %. При томе је највећи потрошач енергије у згради грејни систем. С обзиром да су зграде велики потрошачи примарне енергије, изражене кроз енергетску неефикасност, треба очекивати велике промене у сектору зградарства. Зграде су препознате као системи у којима може да се постигне велика уштеда енергије уз примену обновљивих извора енергије, чиме побољшавамо енергетске потребе и побољшање комфора – током целе године се одржавају термички параметри унутар средине, квалитет ваздуха, потребан ниво осветљења, обезбеђује довољна количина топле санитарне воде. Зато је потребно користити алтернативне и обновљиве изворе енергије. За повећање енергетске ефикасности куће која се обрађује у дипломском користиће се соларна енергија, а посебно ФН панел који може да генерише значајну количину енергије.

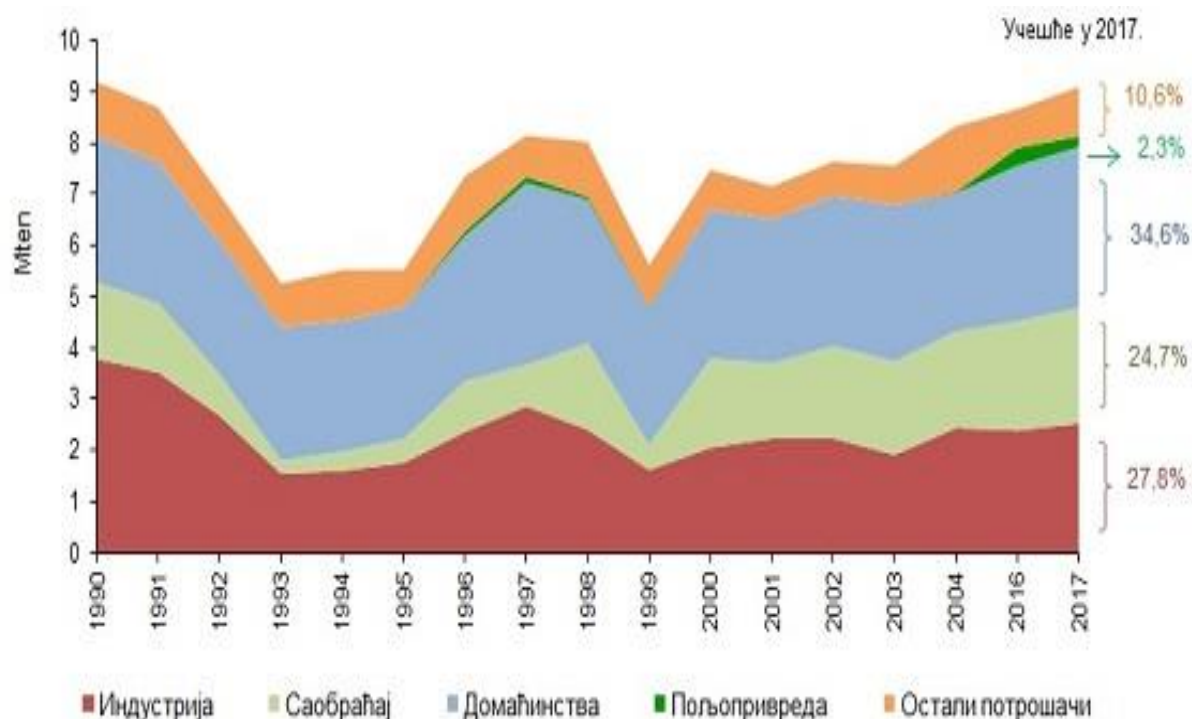
2. Енергетска ефикасност у зградарству

Енергетска ефикасност у зградарству подразумева минимално искоришћење енергије. Зграде које су енергетски ефикасне користе мање енергије за животне потребе, што значи да одржавају угодну температуру простора, штеде енергију (коришћењем дневне светлости преко дана, коришћењем штедљивих сијалица...) и друге потребе за боравак и рад у затвореном простору.

Када кажемо уштеда прва помисао је да се нечега треба одрећи, али у овом случају није баш тако. Не одричемо се комфора и добара и не смањујемо услове за нормалан рад и живот, већ се овај термин односи на нарушавање осећаја угодности. Добро изоловане зграде троше мање енергије за грејање зими и за хлађење лети, дајући угодан осећај у просторији, што значи да се коришћењем мера енергетске ефикасности штеди енергија коју зграде троше и тако значајно утиче на продужење њиховог животног века [3].

Потрошња финалне енергије у Републици Србији у 2017. години износила је 9,10 Мтен¹ (милион тона еквивалентне нафте). Највише се енергије трошило у домаћинствима (35 %), индустрији (27 %), саобраћају (25 %), а пољопривреда, сектор јавне и комуналне делатности и остали потрошачи учествовали су у укупној потрошњи са 2 % и 11 %, респективно (Слика 2).

Према статистици из 2016. године потрошња финалне енергије је повећана за 4,98 %. Највећи раст забележен је у сектору јавне и комуналне делатности и осталих потрошача – 27 %, док су повећања у секторима индустрије, саобраћаја и домаћинства увећана за 5,7 %, 5,4 % и 3,7 %, а пољопривредни сектор је забележио пад од 39 % [4].



Слика 2. Потрошња финалне енергије по секторима у Републици Србији [4]

¹ 1 ton = 41,87 GJ

Потрошња енергије у зградама зависи од карактеристика зграде:

- облика и материјала од којих је зграда изграђена,
- система грејања, електричних уређаја, осветљења,
- климатских услова у којима се зграда налази,
- и од начина коришћења зграде.

Применом одређених мера могуће је побољшати енергетске карактеристике и повећати енергетску ефикасност у зградама. Мере које се примењују могу се поделити у три групе:

1. Мере побољшања карактеристика саме зграде (термоизолација, заптивање прозора и врата, коришћење надстрешнице у летњем периоду као заштита од прегревања простора);
2. Мере унапређења термотехничких инсталација (коришћење обновљивих извора енергије);
3. Мере оптимизације експлоатације техничких система кроз увођење аутоматског управљања рада инсталација грејања, хлађења, вентилације и вештачког осветљења [5].

Изградња нових зграда прати постојеће законске регулативе. Оне су саме по себи енергетски ефикасне и садрже обавезни енергетски пасош. Код постојећих зграда се врши санација како би се унапредила енергетска ефикасност и подигао енергетски разред.

Аспекти санације објеката су следећи:

1. Енергетски аспект
 - рационално коришћење енергије,
 - очување објеката и продужавање његовог животног века,
 - побољшање изолације, повећавање угодности у простору,
 - примена обновљивих извора енергије
2. Просторни аспект
 - проширење површине стамбеног простора,
 - побољшање структуре и функционалности стана,
 - добијање нових корисних површина без изградње нових зграда.
3. Економски аспект
 - исплативост инвестиције,
 - степен повећања употребне и тржишне вредности зграде,
 - допринос побољшању енергетског биланса зграде.

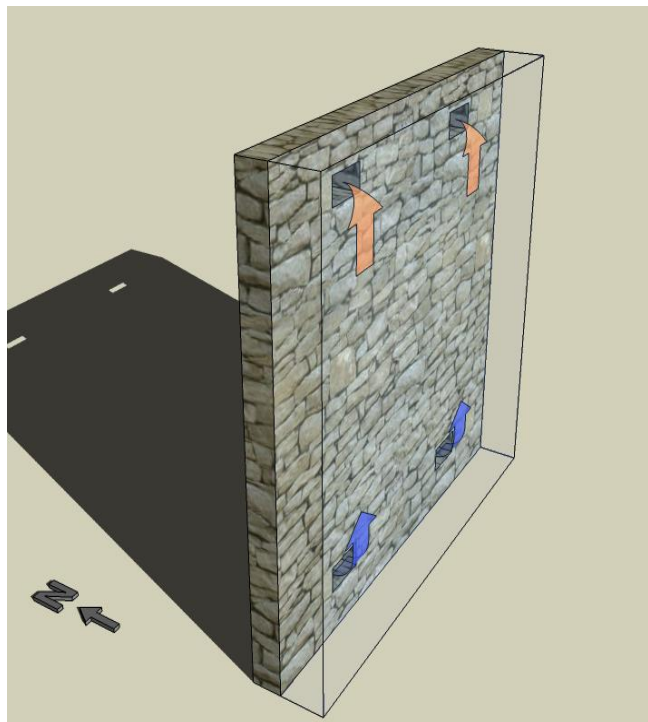
3. Системи за коришћење соларне енергије у зградама

Сунце се састоји од два елемента: водоник и хелијум. Присутни су још неки тешки елементи: гвожђе, силицијум, неон и угљеник, али се они у саставу Сунца налазе у малим количинама. Водоник има удео од 75 %, а хелијум удео од 25 % у саставу Сунца. Температура Сунца у унутрашњости износи око 5 100 000 °С, а на површини износи око 5800 °С. Енергија Сунца представља најважнији обновљиви извор енергије. Сунце представља ужалену лопту масе $1,99 \times 10^{30}$ која је најближа Земљи. Сунчево зрачење долази на Земљу у облику директног и дифузног зрачења, са соларном константом од 1367 W/m^2 . Део енергије се рефлектује и враћа назад у свемир, а други део апсорбује Земља.

Енергија која долази од Сунца може директно да се користи помоћу соларних колектора за производњу топле воде, фотонапонских панела за директну производњу електричне енергије и хибридних соларних пријемника који истовремено производе електричну и топлотну енергију [6].

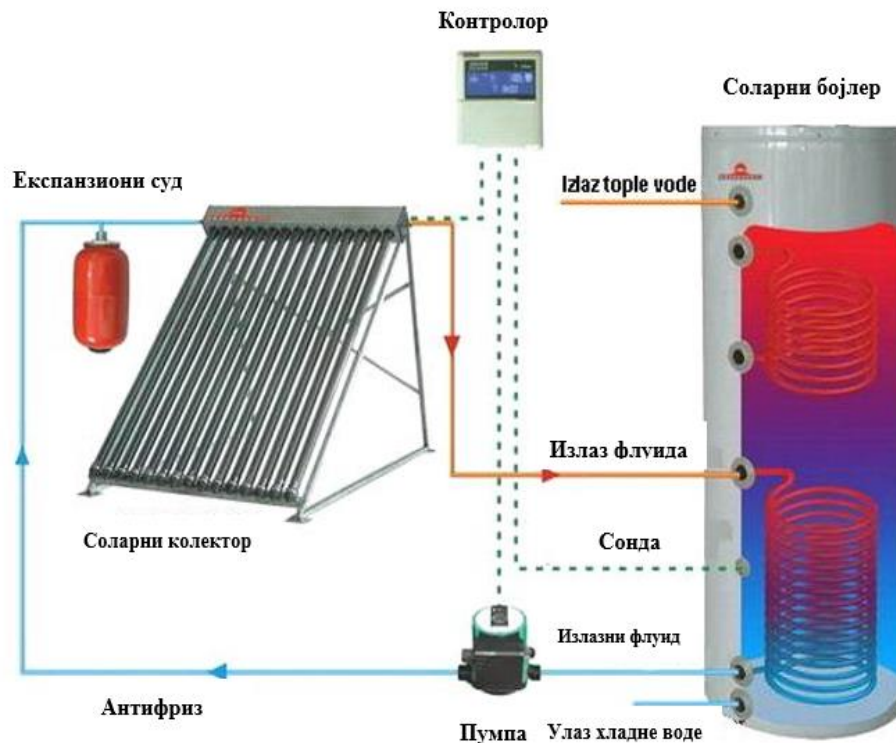
Соларна енергија у зградарству се може користити преко пасивних и активних соларних система. Пасивни соларни систем представља разне архитектонске мере у циљу што веће апсорпције и акумулирања енергије у зградама. Класичан пример пасивног соларног система представља Тромбов зид (слика 3).

Тромбов зид је од материјала великог топлотног капацитета углавном од бетона и цигле, дебљине 20 см. Зид је окренут ка јужној страни, на раздаљини од 2 - 5 см од зида налази се једноструко или двоструко стакло. Спољашња површина зида премазана је апсорбујућом црном бојом, а унутрашња страна зида је обрађена рељефно без шупљина. Тромбов зид је отворен на врху и при дну. Ови отвори омогућавају унутрашњем ваздуху да струји дуж зида који Сунчеви зраци загревају. Тромбов зид се углавном изолује са плочом темеља како не би дошло до топлотних мостова. Изнад Тромбовог зида се поставља надстрешница како не би дошло до прегревања просторије у летњем периоду.



Слика 3. Тромбов зид [7]

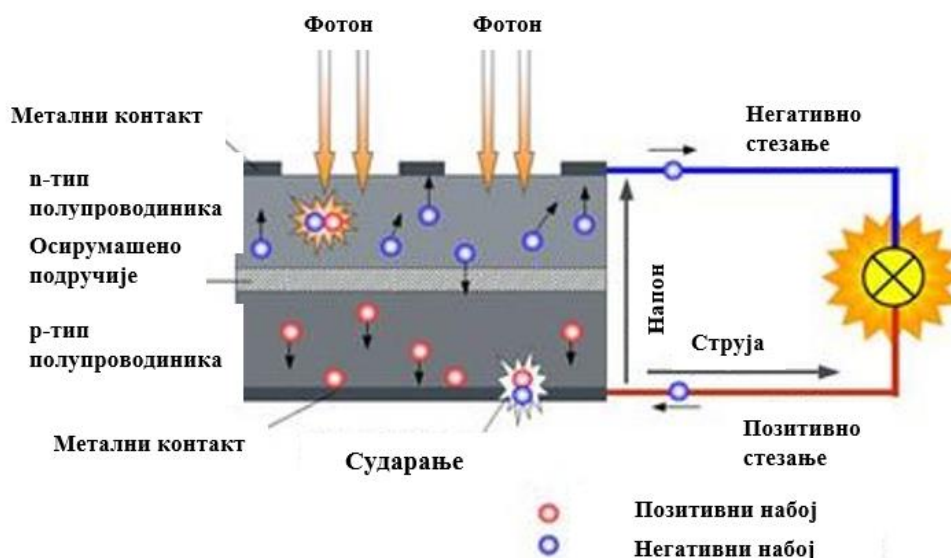
Активни соларни системи користе одређене технологије за трансформацију соларне енергије. Код ових система је потребан пријемник који уједно треба да буде и трансформатор енергије. Често се ови системи користе за загревање воде (слика 4) у домаћинствима. Соларни системи су састављени од соларног пријемника (најчешће раван застакљени соларни колектор), бојлера, циркулационих пумпи, експанзионог суда, цевних система, вентила и јединица за праћење и контролу функционисања система [7].



Слика 4. Систем за грејање воде са соларним колектором [8]

Фотонапонски панели се инсталирају углавном на равним и косим крововима зграда. Постављају се са јужне стране зграде. Угао постављања пријемника зависи од много фактора: намене система, локације на којој се налази итд [9].

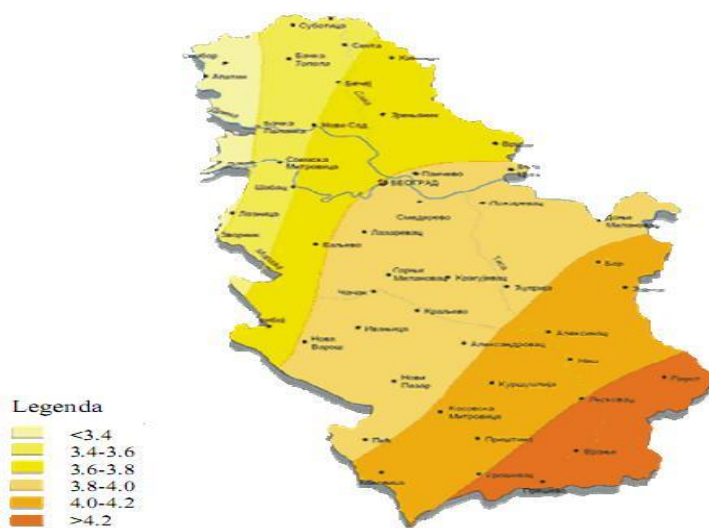
Соларне ћелије раде под утицајем Сунчевог зрачења (слика 4). Када соларна ћелија апсорбује Сунчево зрачење, фотонапонским ефектом се на њеним крајевима производи електромоторна сила и тако соларна ћелија производи електричну енергију. Соларне ћелије се праве углавном од силицијума, ређе од других материјала. Силицијумска ћелија се састоји од p и n споја. Када се соларна ћелија осветли, односно када апсорбује фотоне производе се парови електрон-шупљина. Уколико апсорпција настаје ван $p - n$ споја, настали пар се рекомбинује, а ако је апсорпција унутар, близу $p - n$ споја одвајају се настали електрони и шупљина. Електрони се крећу према n - споју, а шупљина према p - споју. Због тога што се електрони и шупљине крећу према одговарајућим странама настаје електромоторна сила на крајевима ћелије. Када се соларна ћелија осветли p - спој постаје позитиван, а n - спој негативан. Ако дође до спајања ћелије и сијалице како се види на слици 5, кроз сијалицу ће проћи електрична струја...



Слика 5. Соларна ћелија у електричном колу [10]

Што се тиче примене соларне енергије у Републици Србији, она се углавном користи за загревање санитарне воде и као допуна система за грејање у стамбеним објектима, спортским центрима, студентским домовима, хотелима, базенима и спа-центрима, вртићима, школама... У Републици Србији се енергија Сунца мање користи за директну производњу електричне енергије помоћу фотонапонских панела због великих инвестиционих трошкова.

У свету и ЕУ искоришћење енергије соларног зрачења у укупној потрошњи износи 0,1%. Соларни системи у комбинацији са конвенционалним системима значајно утичу на повећање ефикасности система. Република Србија има велике потенцијале (слика 6) за коришћење енергије сунчевог зрачења [11].



Слика 6. Годишњи просек дневне енергије глобалног зрачења на хоризонталну површину [11]

Република Србија има умерено континенталну климу (умерено топла лета и оштре зиме са температурама испод 0 °C) и велике потребе за топлотном енергијом у периоду када је сунчево зрачење слабо. У овим периодима сунчева енергија не може да се користи као основни извор за грејање простора и санитарне топле воде, већ се у овим случајевима користи као допуна [11].

4. Фотонапонска технологија за генерисање електричне енергије

Фотонапонска технологија се заснива на соларној енергији - обновљивом извору енергије и сматра се да ће ова технологија у будућности бити много више коришћена, јер почива на непресушном енергетском извору - Сунцу. Термин фотонапонски (photovoltaic-PV) први пут је употребљена у 19. веку, а настао је спајањем речи photo (грчка реч светло) и волт (по Александру Волти).

4.1 Функционисање фотонапонских ћелија

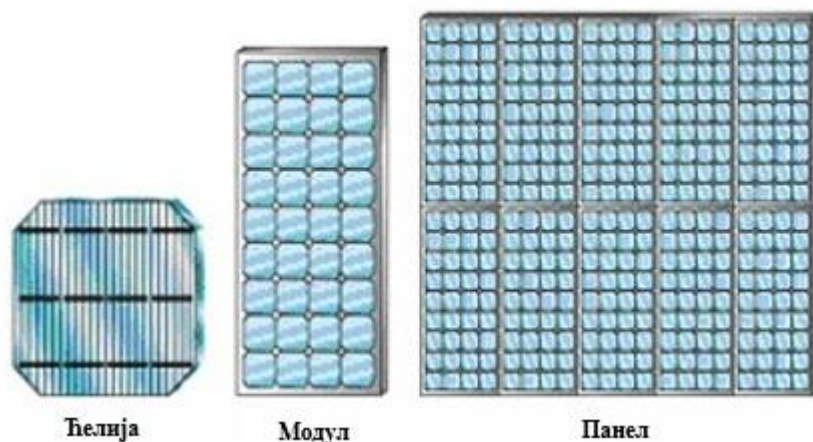
Основа фотонапонске технологије је ћелија која конвертује светлосно зрачење у електрицитет. У самој основи ћелије налази се полупроводнички материјал. Светлост пада на површину ћелије стварајући електрично поље између спојева и изазива проток наелектрисања. Колична електрицитета коју ћелија генерише одређује интезитет светлости која на њу падне. Углавном је она мала, али ако се фотонапонске ћелије споје у модул могу производити више електрицитета. Касније се ови модули могу спајати у фотонапонски панел [7].

Силицијум је доминантан у фотонапонским ћелијама. Он је најпознатији полу-проводнички елемент и други елемент по распрострањености у природи. Специфичан отпор силицијума се налази између специфичних отпорности проводника и изолатора. Атоми силицијума су правилно распоређени у простору и тако формирају кристалну решетку. Код чистих полупроводника електрична проводљивост је јако мала. Да би се побољшала, могу се додавати други елементи: фосфор и бром. Ако силицијуму додамо фосфор, добија се полупроводник n типа. Ако се чистом силицијуму дода бром, добија се кристална структура названа полупроводник p типа. Спајањем p и n типа полупроводника технолошким поступком добија се $p - n$ полупроводнички спој.

Класична фотонапонска ћелија је димензије 10 x 10 cm, а напон који се добије у њој износи око 0,5 V. Фотонапонске ћелије се везују редно у соларне модуле чији напон износи 12 V. Соларни модули се могу повезивати паралелно у фотонапонски панел (слика 6).

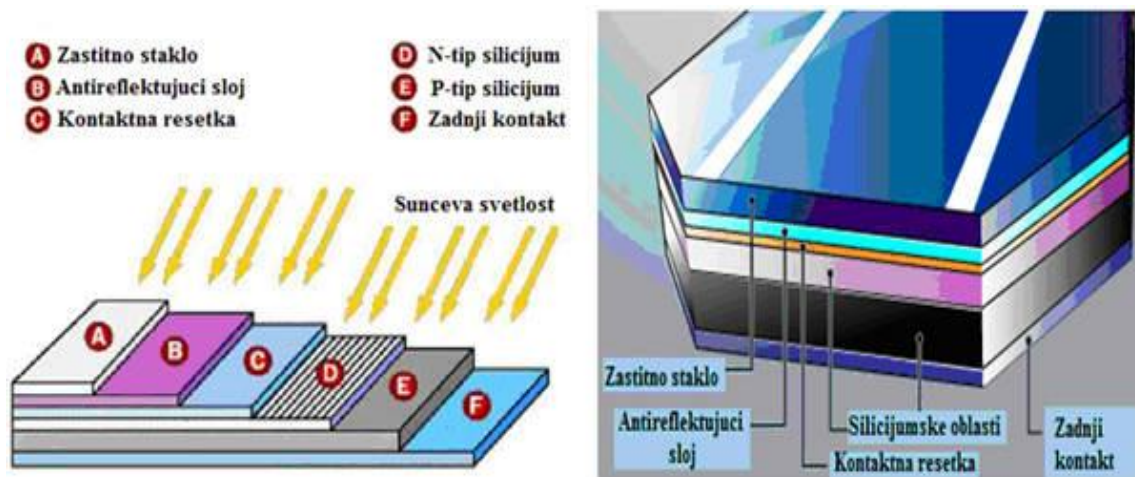
ФН ћелије у 95 % направљене су од силицијумских ћелија. Постоје три типа силицијумских ФН ћелија (слике 8, 9 и 10):

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



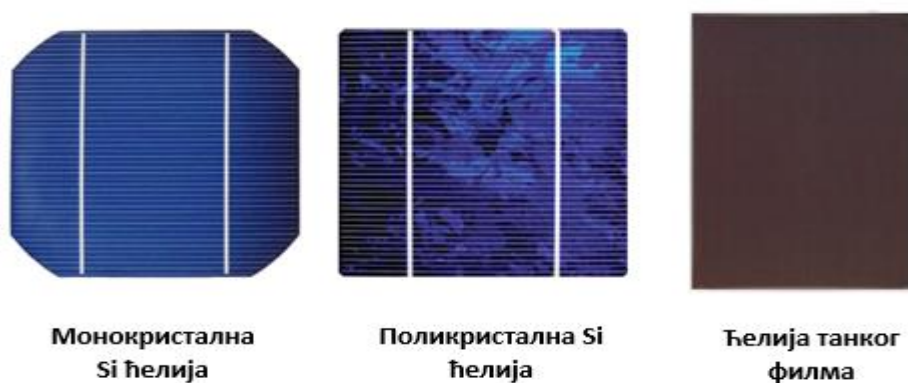
Слика 7. Поступак настанка ФН панела од ФН ћелије преко ФН модула до крајњег производа [12]

Монокристалне Si ФН ћелије настају издвајањем чистог силицијума из масе силицијума. Чист силицијум се кристализује као монокристал, а потом се реже специјалним поступком на танке плоче. Монокристалне Si ФН ћелије осветљење су у области таласних дужина од 0,4-1,1 μm , а максимум њиховог осветљења се налази на таласним дужинама између 0,8-0,9 μm , што значи да ове ћелије не припадају спектру Сунца. Ова чињеница нам говори да монокристалне Si ћелије нису погодне за израду соларних ћелија. У комерцијалним условима монокристалне Si ћелије имају ефикасност 15 %, а у лабораторијским условима 20 %.



Слика 8. Силицијумска ФН ћелија [13]

Полукристалне Si ФН ћелије се добијају јефтинијим поступком. Течни силицијум се лије у калуп, потом се кристализује и стварају се неправилни кристали, који се потом режу на танке плоче. Најбољи модул од поликристалног Si има ефикасност 2-3 % мању од монокристалних ћелија. У комерцијалним условима поликристалне Si ћелије имају ефикасност 14 %, а у лабораторијским условима 18 %.



Слика 9. Монокристалне, поликристалне и ћелије танког филма [14]

Када се слој силицијума наноси у виду филма на стакло и неки други материјал, настају ФН ћелије од аморфног силицијума. Аморфни Si (слика 10) је некрystalни облик силицијума који има 40 пута већу апсорпцију светлости у односу на монокристални силицијум. Ове ћелије немају кристалну структуру и садрже велики број дефеката који се могу делимично уклонити уградњом мале количине водоника. Постоје и хибридне соларне ћелије, оне се добијају комбинацијом кристалног силицијума са некрystalним силицијумом [7].

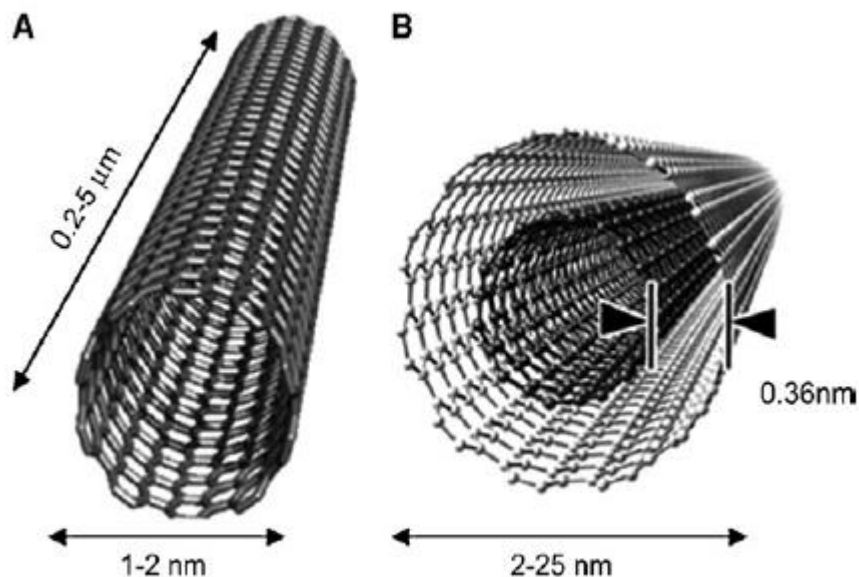


Слика 10. Аморфна Si ћелија [15]

Постоје и не-силицијумске технологије ФН ћелија, оне користе кадмијум-телурид и кадмијум-сулфид, бакар-индијум-галијум-селенид/бакар-индијум-селенид и ћелије са фото-осетљивим пигментом. Ове технологије имају бољу апсорпцију и већу ефикасност, чак до 15 %. Са употребом су почеле од 1970. године и у поређењу са претходним су јефтиније. Кадмијум-телурид ФН ћелије у лабораторијским условима имају ефикасност 16 %, за разлику од комерцијалних аморфних чија је ефикасност око 8 % [16].

Данас се ради на побољшању карактеристика соларних ћелија, и због тога су развијене ФН технологије тзв. “треће генерације”. Ове технологије имају повећану ефикасност у конверзији соларне енергије. Наноцеви, квантне тачке и НС су соларне ћелије које спадају у најновије и најсавременије технологије у производњи ФН ћелија [17].

Наноцеви (слика 11) могу бити металне или полупроводничке. Угљеникове наноцеви су формиране као шестоугаоне решетке атома угљеника. Наноцеви имају одлична механичка и електрична својства. Могу се наћи у више облика као: једнозидне угљеничне наноцеви, угљеничне са двоструким зидом и вишеслојене угљеничне наноцеви. Имају малу ефикасност 3 – 4 %, али се спроводе многа истраживања како би се унапредиле ове технологије.



Слика 11. Наноцеви [18]

Квантне тачке представљају кристалне проводнике нано величине које се производе различитим технологијама. Предност је што код њих може да се подешава праг апсорпције једноставним подешавањем пречника.

НС соларне ћелије су сакупљене из апсорбера у веома малом опсегу енергије са селективним енергетским контактом. Ово је најновији тренд у производњи фотонапонских ћелија. Имају ефикасност од 66 %, што је три пута веће него код постојећих ћелија од Si. Док се не нађе прави материјал за ове ћелије, ове технологије се не могу примењивати на тржишту.

4.2 Ефикасност соларних ћелија

Ефикасност соларних ћелија једна је од најважнијих карактеристика која има за циљ да одржи ову технологију на тржишту. На ефикасност соларних ћелија утиче више фактора:

- температура соларне ћелије,
- ефекат прашине на соларним ћелијама,
- утицај појаве топлотног споја?,
- соларно зрачење.

Утицај температуре је већи код монокристалних силицијумских ћелија него код поликристалних силицијумских ћелија и ћелија танког филма. Ефикасност опада за 15% и 5% код ћелија монокристалног силицијума и ћелија танког филма?.

Прашина има негативан утицај приликом конверзије услед блокирања долазног зрачења на модул. Прашина у ваздуху смањује струју кратког споја и утиче на ефикасност модула, која опада линеарно са порастом густине наслага прашине.

Појава топлог споја или “Hot Spot”-а настаје услед осенчења соларне ћелије. Тада се соларна ћелија загрева до екстремних температура. Овако високе температуре доводе до оштећења соларне ћелије. Ако соларна ћелија ради у нормалним условима она генерише струју. Уколико је осенчена, соларна ћелија не може да генерише струју. Кроз њу тада пролази струја из друге ћелије. Струја пролази кроз затамњену ћелију која се понаша као отпорник, долази до повећања температуре и на крају до оштећења соларне ћелије. Ова појава се често јавља у урбаним срединама.

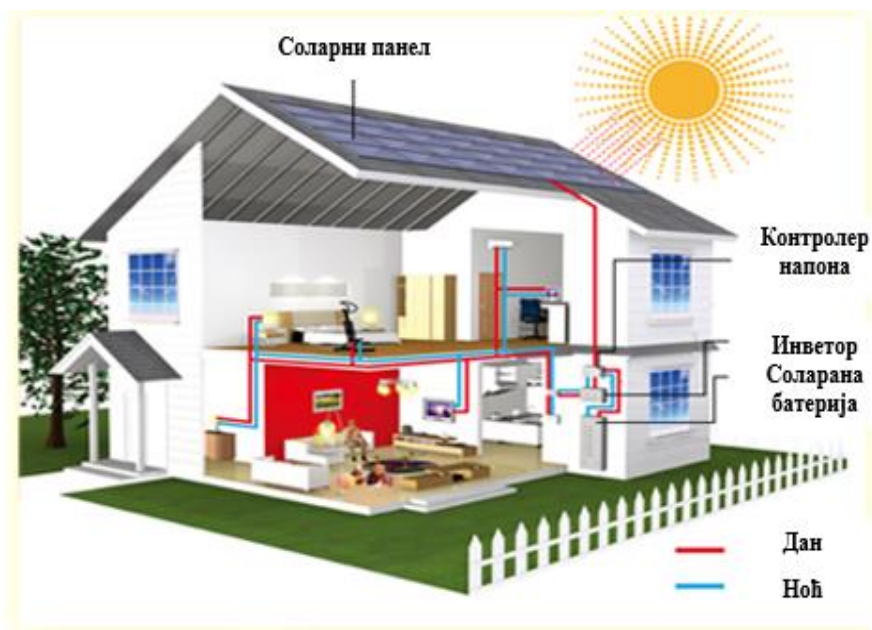
Повећање соларног зрачења има за последицу пораст ефикасности модула услед све већег броја фотона који падају на модул. Затим се ствара велики борј електронских парова услед повећања зрачења што утиче на стварање електричне енергије.

4.3 Подела фотонапонских система

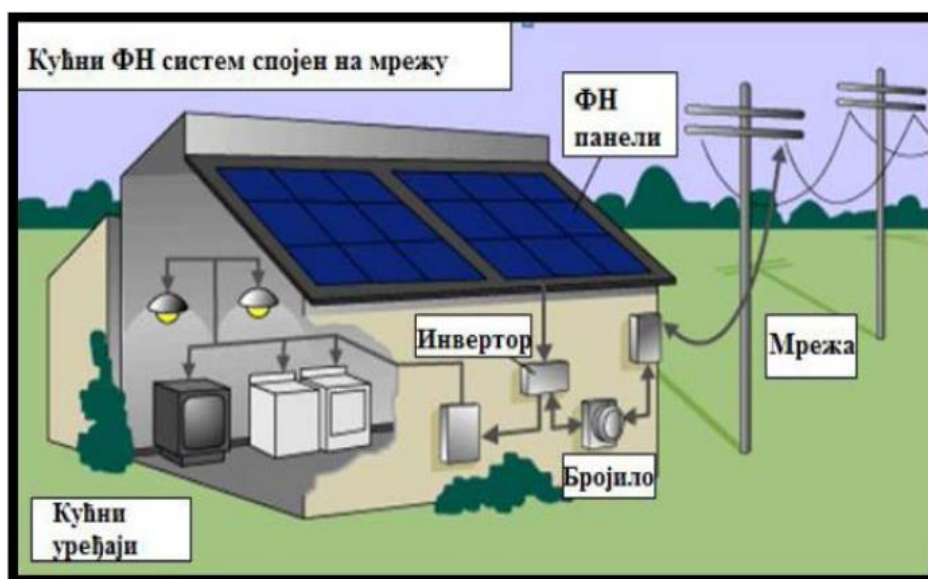
ФН системи се могу поделити на два типа: самосталне и мрежно повезане ФН системе.

Самостални ФН системи (слика 12) се користе у областима које нису лако доступне и немају приступ мрежи електричне енергије. Добијена енергија се складишти у батерији, мада неки системи немају батерије за складиштење. Један самостални систем се састоји од ФН модула, батерије и контролног пуњења. У систем се може прикључити и инвертор? који може претворити једносмерну струју у наизменичну коју користе кућни апарати за свој рад. Понекад се користе и конструкције хибридних самосталних система који могу да раде заједно са ветрогенераторима, дизел-генераторима, постројењима са горивим ћелијама или постројењима која користе когенерацију.

Када је реч о мрежно повезаним ФН системима (слика 13), фотонапонски модул је повезан са локалном мрежом електричне енергије. Енергија која се генерише у току дана може се користити одмах, или продавати електричној мрежи као вишак. Соларни систем у току ноћи не може да обезбеђује енергију, и тада се користи енергија из мреже (енергија се враћа из електричне мреже). У овом случају ФН систем не захтева батерију за складиштење енергије, зато што се електрична мрежа понаша као батерија за складиштење [19].



Слика 12. Самостални ФН систем[20]



Слика 13. Мрежно повезани ФН систем [21]

4.4 Инсталирање соларних система на зградама

Хотели, дворане, фасаде, кровови су површине на којима се могу уградити соларни системи – ФН панели и соларни колектори. Уградања зависи од структуре, функционалних и естетских варијација соларних система. Развој ових технологија за истраживаче је велики изазов, почев од уградње, преко заштите од временских непогода, до одржавања.

Соларни колектори се уграђују у омотач зграде и морају да испуне одређене услове, за разлику од обичних колектора који се постављају на кровове. Соларни колектори поред тога што се користе за припрему топле воде могу де се користе и за замену неког конвенционалног материјала који се користи у омотачу, могу да штите објекат од различитих временских услова, имају улогу изолатора. Дизајн соларних колектора интегрисаних у омотач зграде је веома компликован из више разлога: положаја зграде, архитектуре, окружења, климе итд. Ефикасност зависи од оријентације и нагиба апсорберске плоче. Најчешће се примењује раван застакљени колектор, али се могу применити конвексни и конкавни облици.

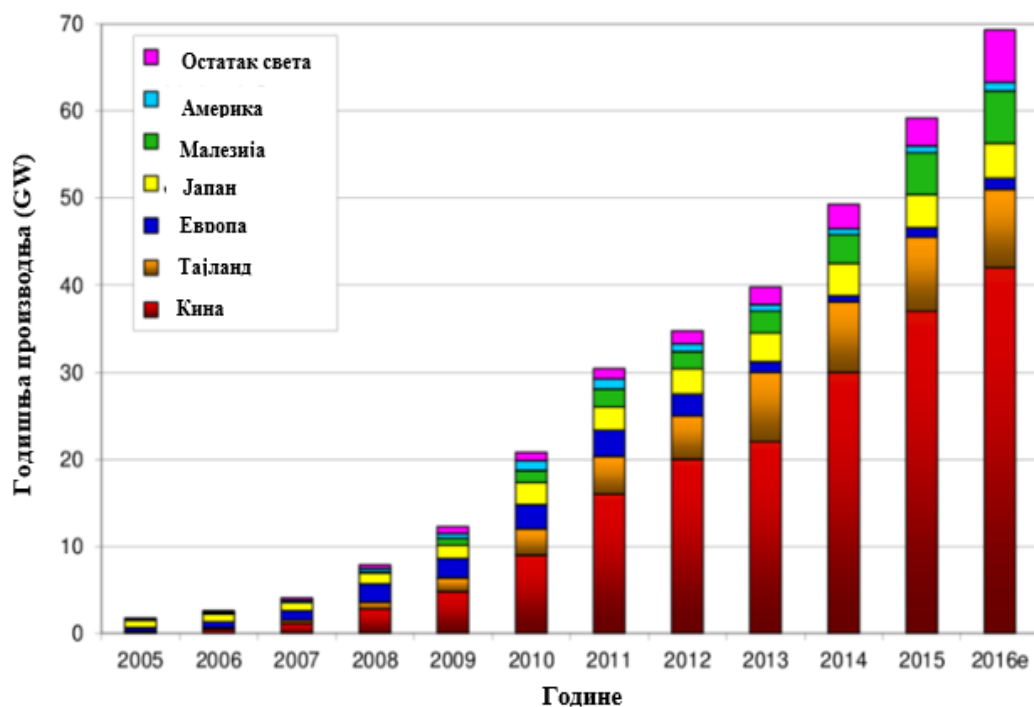
Кровови (слика 14) представљају велике површине које су неискоришћене и које представљају идеално место за постављање фотонапонских система. Ове ћелије су боље осветљење него када се налазе на крововима него на нижим деловима или на тлу. Фотонапонски панели продужавају животни век крова, штитећи га од ултраљубичастог зрачења и утицаја воде. Разликује се инсталирање фотонапонских панела на равним и косим крововима. Равни кровови имају предност добре доступности, лаке инсталације и лаког избора оријентације за панеле. Приликом инсталације треба се водити рачуна да се не оштети кров и слој изолације, као и о тежини инсталираних панела и утицају ветра који може да одува конструкцију. Коси кровови су добра подлога за инсталирање фотонапонских панела.



Слика 14. Фотонапонски панели инсталирани на крову породичне куће [22]

4.5 Стање ФН технологије на светском тржишту

На светском тржишту од 1990. године ФН индустрија је показала константан раст преко 20 %, а од 1997. године преко 33 % годишње. Од 2000. године до данас пораст производње је 40 % на годишњем нивоу. У развијеним земљама домаћинства у великој мери користе фотонапонске системе за производњу електричне енергије [23].



Слика 15. Годишња производња фотонапонских система у свету [24]

Највећу примену ФН система има САД, Јапан, Европска унија и Кина. У 2009. години производња ФН модула у САД, Јапану, Европској унији и Кини је била 595 MW, 1,5 GW, 1,93 GW и 5,19 GW, респективно. У 2010. години укупни инсталирани светски капацитет износио је преко 24 GW, а током 2015. године инсталирани капацитет је износио 40 % (слика 15). Истраживања показују да ће у 2020. години половина од 207 GW капацитета бити повезана на електричну мрежу од којих ће 80 % бити инсталирани у резиденцијалним зградама [25].

4.6 Стање ФН технологије у Србији

У ЕУ ФН технологије имају велику примену и оне могу да подстакну Србију да искористи своје климатске ресурсе, као и истраживачке и индустријске потенцијале. Ово би Србији помогло да се што лакше адаптира европским стандардима и прикључи развојним плановима и програмима.

Србија ће током 21. века морати да примени енергетске стратегије како би обухватила неке иновативне мере за ефикасно коришћење енергије, као и бољу и бржу примену обновљивих извора енергије и смањење коришћење фосилних горива, али уз примену високих еколошких норми ради очувања природне средине и климатских услова. Инсталирани потенцијал ФН система до 2012. године износио је око 20 MW. ЕУ треба да буде путоказ домаћој научној и политичкој јавности како треба применити ФН технологије у циљу што бржег и ефикаснијег интегрисања Србије у европске програме. Због недовољне енергетске ефикасности у Србији, неповољне економске ситуације, нестабилне цене фосилних горива, сталног повећања цене електричне енергије, треба што пре почети са применом ФН технологија, колико то економске могућности дозвољавају [26].

5. Симулациони софтвери

У раду су коришћени програми Energy Plus i Google Sketch Up који садржи додатак Open Studio. Помоћу ових програма могу се добити резултати који показују потрошњу енергије у стамбеним објектима, као и могућност добијања идеалних решења кроз разне варијације утицајних параметара. Програми нам омогућавају да користимо велики број различитих материјала, као и самих система у објекту, дајући комплетну енергетску анализу посматране зграде.

5.1 Симулациони софтвер Energy Plus

Energy Plus је софтвер који је развијен 1997. године, а настао је од два програма DOE-2 и BLAST који су имали широку преимену. Програм DOE-2 је развијен 1980-их и коришћен је као алат за симулацију енергетских оптерећења зграда, а програм BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) је везан за анализу оптерећења и термодинамичких система зграде.

Софтвер је развијен у САД, а користили су га инжењери за пројекте и архитектонско пројектовање опреме за грејање, вентилацију и климатизацију. Енергетска криза која је захватила седамдесете године прошлог века, препознала је зграде као највеће потрошаче енергије у Америци, и тада су програми DOE-2 и BLAST успешно решавали дате проблеме. Наравно као и сваки програми, па и ова два имали су своје предности и недостатке. Комбинацијом добрих страна ових програма настао је програм Energy Plus. Energy Plus представља програм за енергетску анализу, као и симулацију топлотног оптерећења зграда, и има слична својства како његови претходници. На основу унетих подата о објекту, програм израчунава потребе за грејањем и потребе за хлађењем, одређује потрошњу финалне и примарне енергије. Такође, програм омогућава правилно пројектовање система за ГКВ и многе друге симулације везане за енергетско понашање зграде.

Програм Energy Plus ради како скуп бројних програма, како би израчунао енергетске потребе зграде, а при томе користи различите системе и енергетске изворе. Основна симулација је модел зграде заснован на основним принципима топлотног биланса. Ниједан софтвер није у могућности да сам изврши сваку могућу симулацију реалних ситуација, тако да нам Energy Plus даје могућност пројектовања система грејања, хлађења и климатизације директно или индиректно кроз линкове ка другим програмима, а све у циљу одређивања топлотног оптерећења.

Тачност софтвера је испитана више пута, добијени резултати су упоређени са поставкама ASHRAE² стандарда. Наравно најбитнија потврда тачности је добијена на тестовима који су вршени по процедурама IEA HVAC BESTTEST E100-200.

Energy Plus има могућност коришћења података о времену за локацију зграде. Програм садржи преко 2000 локација, које су смештене у посебним датотекама које се аутоматски читавају [27].

²ASHRAE организација је глобално удружење које тежи унапређењу система за грејање, вентилацију, климатизацију и хлађење

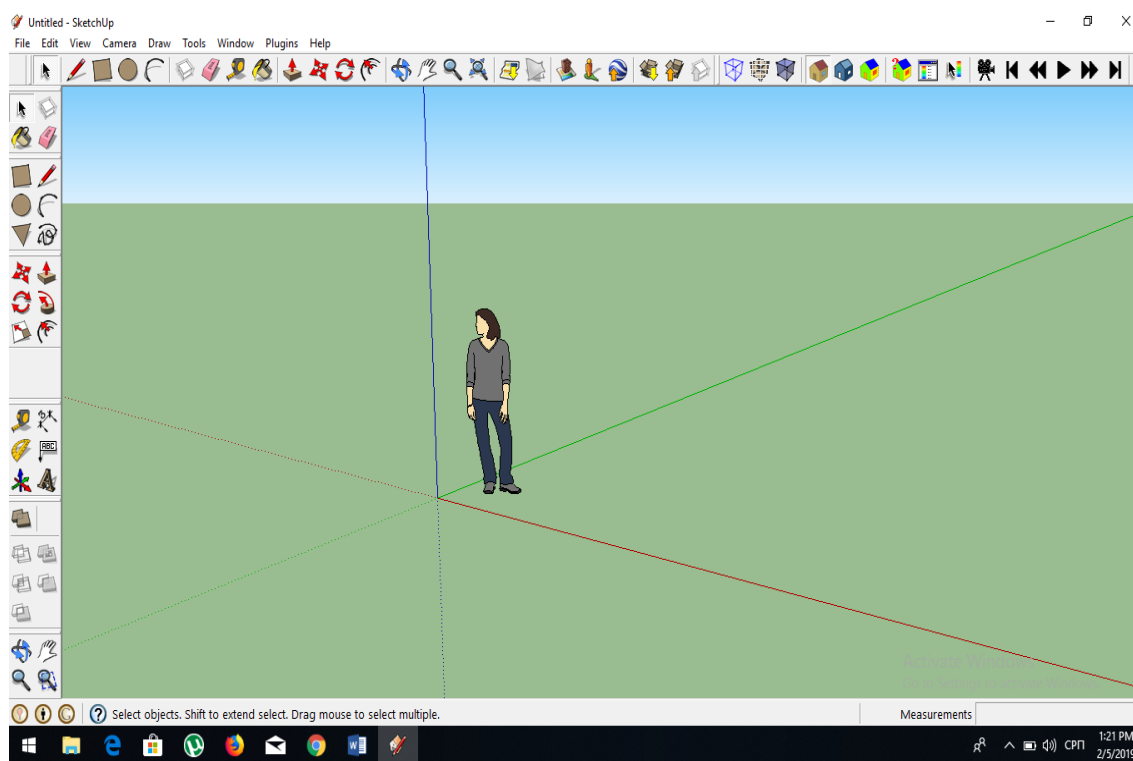
5.2 Google Sketch Up са Open Studio додатком

Sketch Up (слика 16) је 3D софтвер који се користи за виртуелно дизајнирање стамбених објеката. Користи комбинацију сета алатки са системом интелигентног дизајна. Развијен је у Колораду, САД, током 2000. године. Углавном га користе архитекте, дизајнери, грађевинци, произвођачи и инжењери.

Софтвер омогућава приказивање модела зграде у реалним координатама и постављање модела у Google Earth апликацији. Може се користити бесплатно и веома се лако рукује са њим. Помоћ при коришћењу програма су видео туторијали, као и алат за помоћ [28].

Како би постојала повезаност између GoogleSketch Up и Energy Plus програма, користи се додатак Open Studio. Open Studio је додатак софтерском пакету GoogleSketch Up који симулира енергетско понашање зграде у Energy Plus окружењу.

Овај софтвер омогућава кориснику да креира улазни фајл Energy Plus-а преко стандардних алатки Sketch Up-а. При томе се додаје што више детаља и информација потребних за конструисање зона и површина зграде. Омогућава једноставно креирање геометрије зграде: формирање зона, конструисање зидова, цртање прозора и врата, цртање засенчених површина. Сви подаци о објекту се чувају, тако да корисник увек има приступ жељеним подацима.



Слика 16. Радно окружење GoogleSketch Up са Open Studio

6. Анализа стамбеног објекта

У овом поглављу је дат стамбени објект који се налази у граду Крагујевцу. Анализирани су подаци о стамбеном објекту, потрошња енергије, опис система грејања, климатски услови и могућности уштеде енергије уз примену фотонапонских технологија.

Разматрани су различити случајеви: када је ФН систем инсталиран на половини и на целој површини јужне страни крова (ћелијска ефикасност модула је 12 %). Затим је анализиран случај када се на целој површини јужне страни крова посматране зграде инсталирају ФН модули различите ћелијске ефикасности (12 %, 14 % и 16 %).

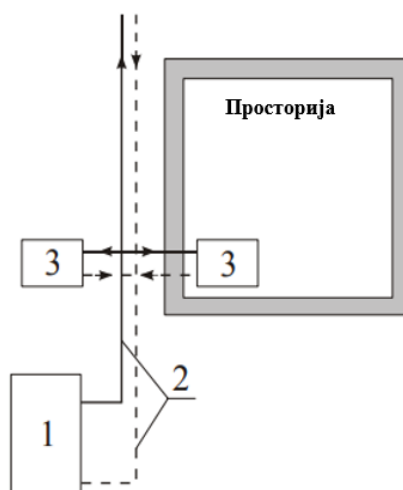
6.1 Систем грејања у анализираном објекту

У стамбеном објекту који се обрађује у дипломском раду за снабдевање топлоте користи се систем даљинског грејања или како га популарније данас називају централно грејање.

Даљинско грејање представља централизовано снабдевање топлотом већег броја потрошача.

Код постројења за централно грејање је карактеристично што је један извор топлоте везан за већи број грејних тела. Због тога што се ложење одвија на једном месту централизовано овај систем има назив централно грејање. Овакав тип грејања је заступљен у урбаним срединама. Систем се састоји из три основна елемента (слика 17), а то су:

1. Извор топлоте (котао на чврсто, течно или гасовито гориво; топоводни или парни котао; топлотна пумпа; електрични котао)
2. Дистрибуција топлоте (развод топлоте, цевни развод, цевна мрежа код водених система грејања; код ваздушних система грејања користе се каналне мереже)
3. Грејна тела (функција одавања топлоте и загревање простора)



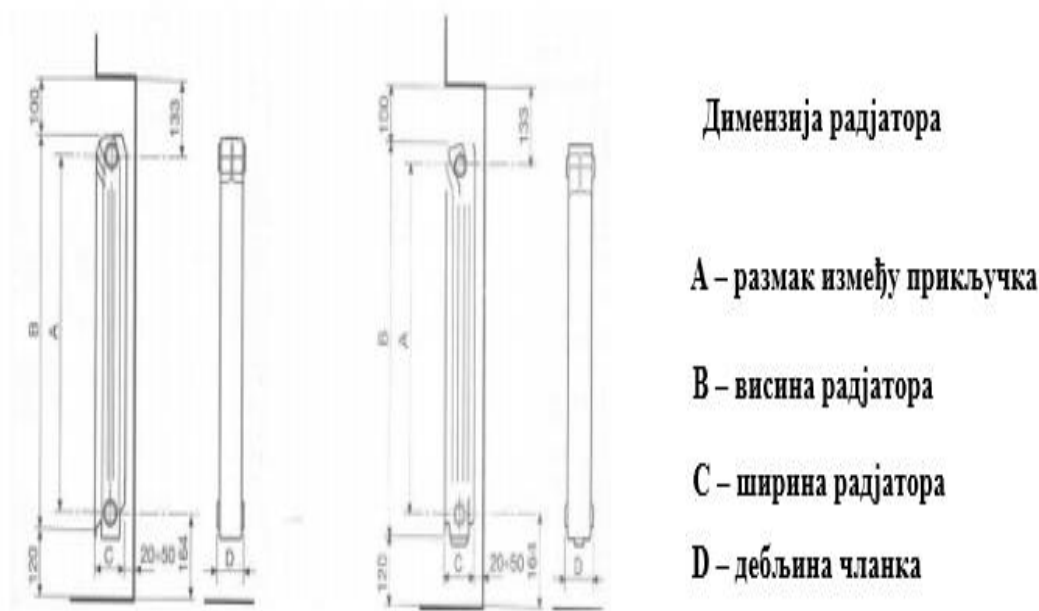
Слика 17. Основни елемент система за централно грејање [5]

Постројење за централно грејање има низ предности у односу на локалне уређаје. Централно грејање подразумева централни извор топлоте, у коме се врши сагоревање горива на једном месту, топлота се даље дистрибуира до потрошача. Тако се омогућава боља контрола процеса сагоревања. Тиме се избегава разношење горива и сакупљање горива на више места и умањује се опасност од појаве пожара. Код овог система грејања грејна тела се постављају уз

спољашње зидове како би се омогућила повољна расподела температуре и бољи услови угодности [5].

Кућа која је описана у дипломском раду топлотну енергију добија из система даљинског (централног) грејања. Котларница из које се допрема топлота налази се у Клиничком болничком центру Крагујевац. Снага котларнице је 34 MW. Гориво које се користи је гас и мазут. Јачину топлоте контролишемо уз помоћ калориметра. Грејање почиње 15. октобра и завршава се 15. априла (траје 6 месеци) [27].

Грејно тело које се кориси у стамбеном објекту је радијатор (слика 18). У свакој просторији се налази по једно грејно тело различите површине. Радијатори су чланкаста грејана тела. Површина радијатора зависи од броја чланака. Спајање чланака се врши помоћу назувица [5].



Слика 18. Димензије радјатора [5]

6.2 Систем за грејање санитарне воде у објекту

Загревање санитарне воде може се извести локалним или централним системима. Локално грејање санитарне воде користи се за појединачне потрошаче. За загревање воде се могу користити појединачни плински грејачи или акумулациони електрични бојлери (слика 19).

Електрични бојлери су подешени на економичан рад, што подразумева температуру воде између 55 °C и 60 °C. Снага грејача код акумулационих бојлера износи 1,5 – 2,6 kW уз време загревања од 10 минута до 3 сата у зависности од величине. У бојлеру се налази цевни грејач који служи да загреје сву количину воде. Размена топлоте између воде која се греје и грејача се врши помоћу омотача бојлера. Унутрашњи зидови бојлера су изоловани [5].

Стамбени објект воду добија из Гружанског језера, а за загревање воде се користе два акумулациона бојлера. Један бојлер се налази у кухињи и његова запремина је 10 l, а други је у купатилу запремине 90 l. Просечна потрошња топле воде на месечном нивоу за четворочлану породицу која живи у стамбеном објекту, износи 10 m³.

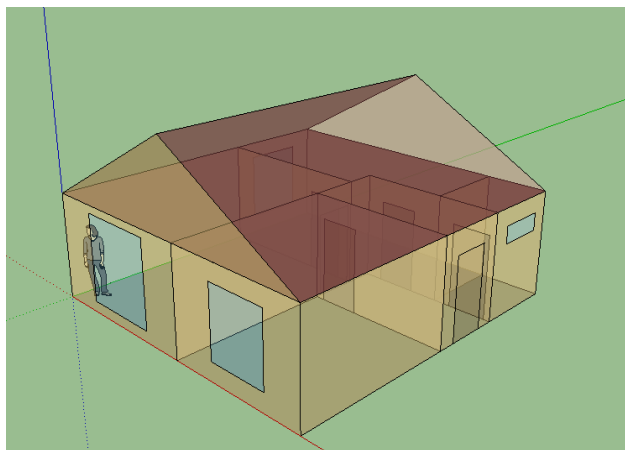
Укупна потрошња енергије за грејање санитарне топле воде, на годишњем нивоу износи 15,22 GJ.



Слика 19. *Акумулациони бојлер [29]*

6.3 Архитектонски модел анализиране куће

Модел куће који је дат у дипломском раду намењен је за становање четворочлане породице. Стамбени објекат (слика 20) се налази на брдовитом пределу, у ширем центру града. Припада низу од шест стамбених објеката исте намене и структуре. Основа објекта је у облику правилне геометријске фигуре (правоугаоник).



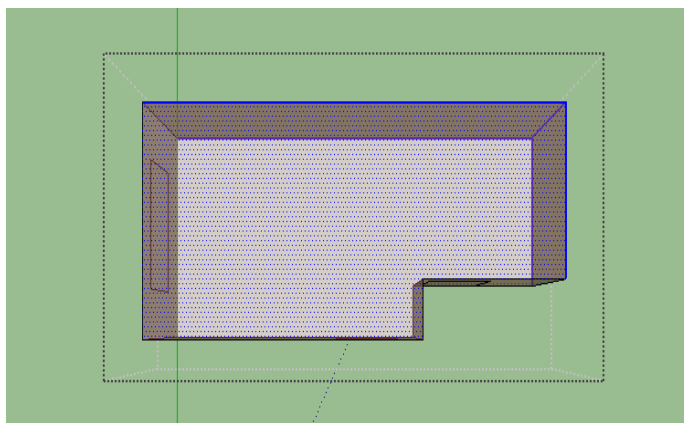
Слика 20. *Стамбени објекат приказан у софтверу Google SketchUp са додатком Open Studio*

Клима у области где се налази кућа је умерено континентална са сва четири годишња доба. Лета су топла и влажна са температуром до 37 °C, а зиме су хладне са снегом и температуре су ниже од -12 °C. EnergyPlus нам даје могућност коришћења климатских података за Крагујевац из сопствене базе података са метеоролошким подацима за различите локације. У табели 1 дати су подаци за Крагујевац.

Табела 1. Локација и климатски подаци

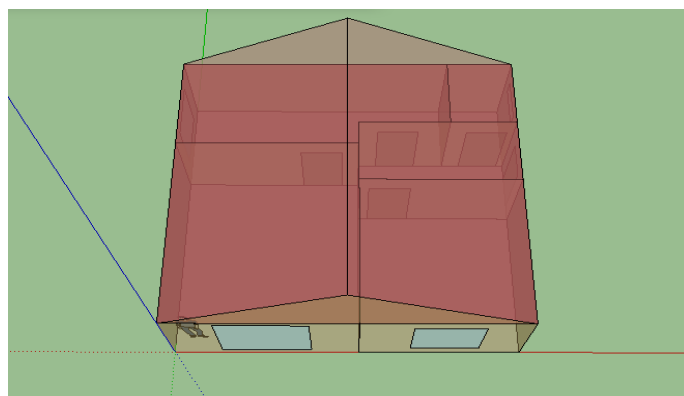
Климатски подаци	
Локација	Крагујевац
Број степена дана грејања DDAY	2610
Број дана грејне сезоне	180
Средња температура грејног периода $^{\circ}\text{C}$	5,5
Унутрашња пројектна температура за зимски период $^{\circ}\text{C}$	20
Утицај ветра	
Положај страна	Умерено заклоњен
Број фасада изложених ветру	4

Средња дневна вредност соларног зрачења на територији Републике Србије варира од 1,1 kWh/m² на северу до 1,7 kWh/m² на југу током јануара месеца, и од 5,9 kWh/m² на северу до 6,6 kWh/m² на југу током месеца јула. Средња годишња вредност соларног зрачења износи 1 200 kWh/m² на северозападу до чак 1 800 kWh/m² на југу Србије, док у региону централне Србије, којој припада Крагујевац она износи 1 550 kWh/m². Србија има велики потенцијал у погледу искоришћења соларне енергије. Потенцијал соларне енергије износи 14%.



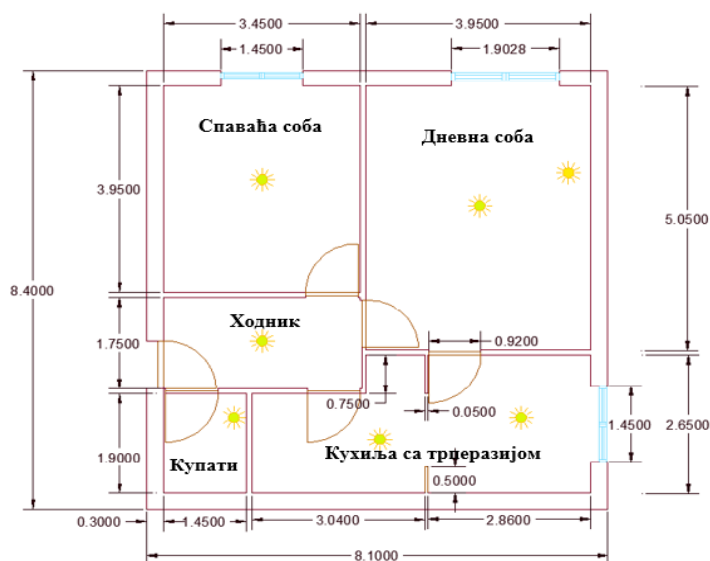
Слика 21. Приказ једне зоне формирање у Google SketchUp-у

Стамбени објекат (кућа) састоји се од 6 зона, односно 5 просторија и крова. Кров је оријентисан ка југу, због максималног генерисања енергије. Оптимални угао нагиба крова за Крагујевац износи 37,5⁰.



Слика 22. Поглед одозго у Google SketchUp-у

На слици 23 је дат распоред просторија у кући: дневна соба, кухиња са трпезаријом, спаваћа соба, ходник и купатило.



Слика 23. Распоред просторија у објекту приказан у AutoCad-у

У табели 2. дата је површина сваке просторије појединачно и укупне површине свих просторија.

Табела 2. Приказ површина

Просторија	Површина просторије [m ²]
Дневна соба	19,95
Спаваћа соба	13,63
Кухиња са трпезаријом	13,87
Ходник	6,04
Купатило	2,76
Укупна површина	56,25

Површина куће износи 56,25 m². Стаклене површине (прозори) у кући се налазе у свим просторија сем у ходнику и дате су у табели 3. Стакло је двоструко. Дебљина стакла је 2 mm, а оквир је од дрвета. У летњем периоду заштита од Сунца се остварује уз помоћ ролетни. Ролетне су направљене од лима и пластике беле боје.

Табела 3. Површина прозора

Просторије	Површина прозора [m ²]
Дневна соба	3,8
Спаваћа соба	2,32
Кухиња са трпезаријом	2,32
Купатило	0,44
Укупна површина	8,88

У табели 4. дата је јачина расвете у просторијама. За осветљење су коришћене штедљиве ЛЕД сијалице мале снаге.

Табела 4. Јачина расвете

Зона	Дневна соба	Спаваћа соба	Ходник	Кухиња	Купатило
Јачина расвете [W]	15	9	9	9	11

За основу куће су се користиле конструкције од армираног бетона. Спољашњи зидови су дебљине 300 mm и прављени су као сендвич структура. Идући од унутрашњости ка спољашности, зид се састоји од слоја цементног малтера, опека блока, цигле и поново слоја цементног малтера. Коефицијент пролаза топлоте износи $U = 1,88 \text{ W/m}^2\text{K}$. Фасада је обложена циглом.

Унутрашњи зидови су од шупље опеке и бетона. Коефицијент пролаза топлоте је $U=1,692 \text{ W/m}^2\text{K}$. Под је направљен од паркета, цементне кошуљице, термоизолационог слоја, хидроизолационог слоја и армираног бетона. Коефицијент пролаза топлоте износи $U = 0,312 \text{ W/m}^2\text{K}$. Плафон је направљен од армираног бетона.

Кућа је укопана, а кровна конструкција је коса покривена црепом. Решење за одвод атмосферских падавина се остварује помоћу висећих олука. Вентилација се остварује природним путем. У табели 5 је приказан број измена ваздуха на сат у просторијама преко природне вентилације.

Табела 5. Број измена ваздуха у просторијама

Зона	Дневна соба	Спаваћа соба	Купатило	Кухиња	Ходник
Вентилација	2,35	2	2,5	2	2,5

Грејна тела која се користе у кући прикључена су на систем даљинског грејања. Грејна тела (радијатори) се налазе у свим просторијама. EnergyPlus програм је симулирао коришћење система даљинског грејања.

Овим путем је могуће извршити симулацију енергетске потрошње у анализираној кући приликом коришћења даљинског грејања. У табели 6 је приказана снага грејних тела распоређених у различитим просторијама.

Табела 6. Снага у просторијама

Зона	Дневна соба	Спаваћа соба	Ходник	Кухиња	Купатило
Снага радјатора [W]	5000	8000	8000	5000	5000

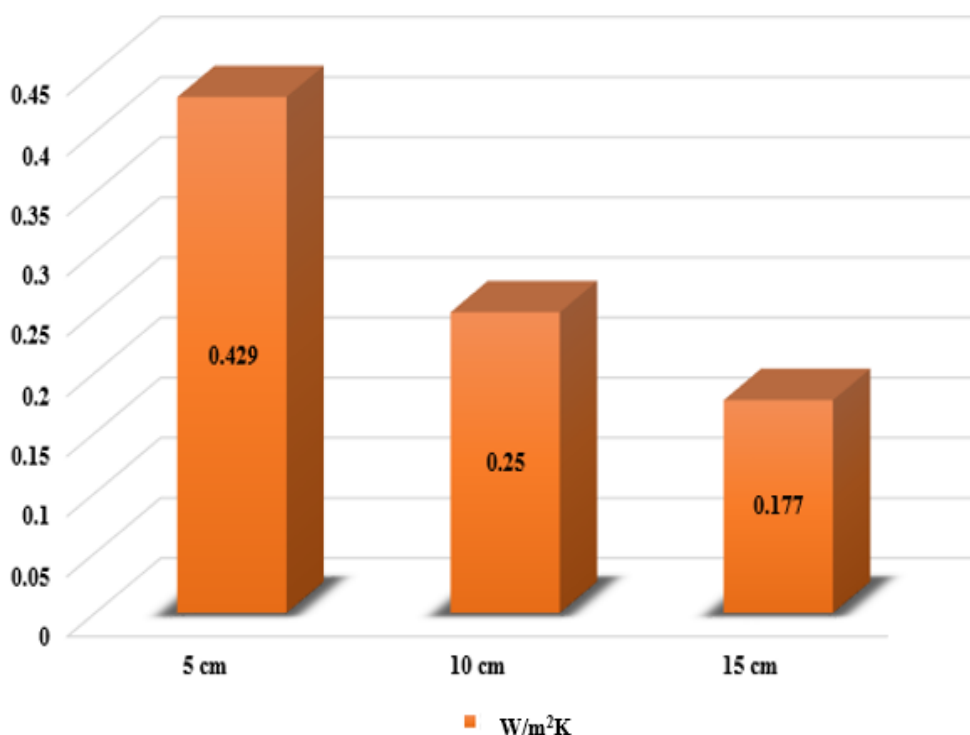
6.4 Потрошња енергије у анализираној кући

У овом делу рада су дати резултати анализе потрошње енергије у посматраној згради за случајеве без изолације и са различитом дебљином изолационог слоја од стиропора. Кућа у неком периоду године може имати веће потребе за енергијом, а с обзиром да је неизолована те потребе су велике.

Потрошња енергије за грејање неизоловане куће износи 38,52 GJ. Како бисмо побољшали потрошњу енергије кућу смо изоловали са стиропором од 5 cm, 10 cm и 15 cm.

Прво смо кућу изоловали са стиропором дебљине 5 cm. Коефицијент пролаза топлоте кроз зидове износио је $U = 0,429 \text{ W/m}^2\text{K}$. Затим смо изоловали кућу стиропором од 10 cm. Коефицијент пролаза топлоте износи $U = 0,250 \text{ W/m}^2\text{K}$ и као крајњи експеримент смо спровели за дебљину стиропора од 15 cm. Коефицијент пролаза топлоте за 15 cm износи $U = 0,177 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Слика 24 представља промену коефицијента пролаза топлоте за различиту дебљину изолационог слоја.



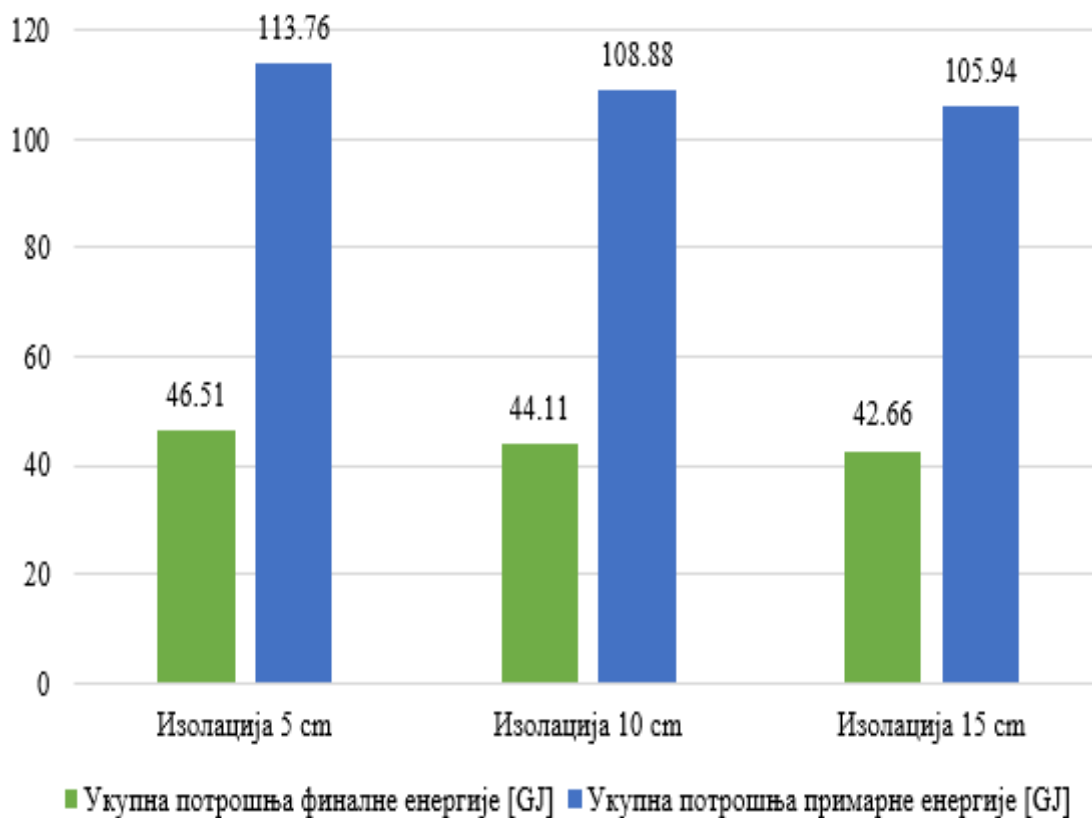
Слика 24. Промена коефицијента пролаза топлоте према дебљини изолационог слоја

Количина електричне енергије која се троши на осветљење, електричну опрему и грејање воде је иста у сва три случаја. Једино се разликују резултати за грејање. Из табеле 7 може се видети да се потрошња финалне енергије за грејање смањује са порастом дебљине изолационог слоја. Са изолацијом од 15 cm постиже се најбољи резултат потрошње енергије за грејање, и то 23,51 GJ на годишњем нивоу.

Табела 7. Укупна потрошња енергије

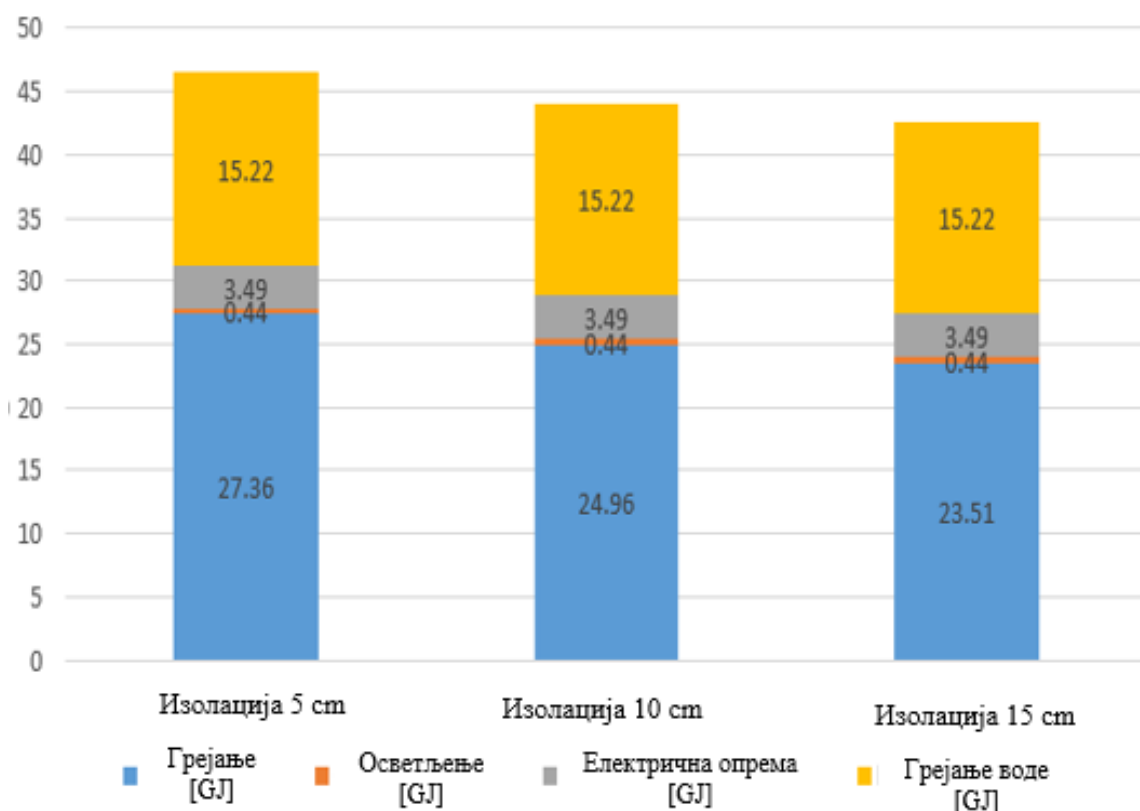
		Изолација 5 cm	Изолација 10 cm	Изолација 15 cm
Грејање [GJ]		27,36	24,96	23,51
Електрична енергија	Осветљење [GJ]	0,44	0,44	0,44
	Електрична опрема [GJ]	3,49	3,49	3,49
	Грејање воде [GJ]	15,22	15,22	15,22
Укупна потрошња електричне енергије [GJ]		19,15	19,15	19,15
Укупна потрошња финалне енергије [GJ]		46,51	44,11	42,66
Укупна потрошња примарне енергије [GJ]		113,76	108,88	105,94

Коефицијент конверзије финалне у примарну енергију код даљинског грејања износи 2,03, а код електричне енергије 3,04. На слици 25 дат је графички приказ укупне потрошње финалне и примарне енергије.



Слика 25. Графички приказ укупне потрошње финалне и примарне енергије

На слици 26 дато је поређење резултата потрошње енергије по категоријама за сва три случаја дебљине изолације од 5 cm, 10 cm и 15 cm.



Слика 26. Годишња потрошња енергије у кући са различитим дебљинама изолације

Дебљина изолације не утиче на количину електричне енергије која се користи за загревање санитарне воде, и она износи 15,22 GJ годишње. То значи да структура омотача зграде утиче на потрошњу енергије за грејање али не и за припрему топле воде. У потрошњу топле воде улази туш, судопера, веш машина и машина за прање судова.

Према Правилнику о енергетској ефикасности зграда, за енергетско рангирање зграде као индикатор користи се количина енергије потребне за грејање/ m^2 површине грејаног простора. За разматране случајеве зграда са дебљином изолације од 5 cm и 10 cm припада енергетском разреду F, док зграда са дебљином изолације од 15 cm припада енергетском разреду E.

6.5 Потрошња електричне енергије у кући са фотонапонским панелима

Како би се унапредила енергетска ефикасност анализираног стамбеног објекта и смањила потрошња електричне енергије, на крову куће су инсталирани ФН панели. У даљем тексту ће бити анализирана количина генерисане електричне енергије преко ФН система, који су постављени на јужној страни крова куће. Разматрани су случајеви различите површине ФН система и различите ћелијске ефикасности соларних ћелија, код енергетски најефикасније анализираних зграда са најмањом потрошњом енергије за грејање (дебљина изолације 15 cm).

6.5.1 ФН системи инсталирани на делу јужне стране крова

ФН панели ефикасности 12 % су тренутно најзаступљеније на тржишту. Анализирани су следећи случајеви:

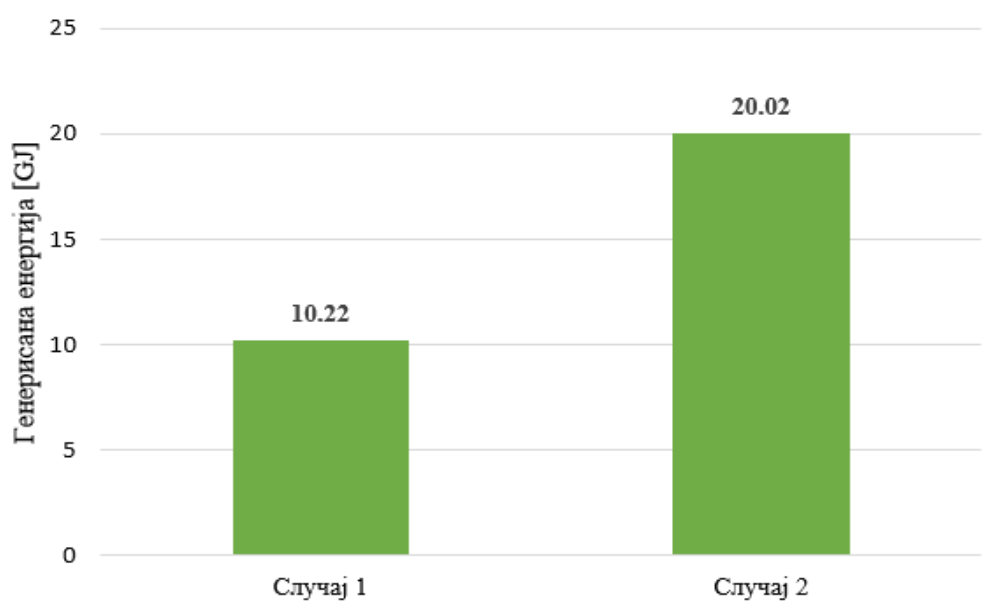
- Случај 1 - ФН панел ефикасности 12 % на половини јужне површине крова,
- Случај 2 - ФН панел ефикасности 12 % на целој јужној страни крова.

Услед различитих величина ФН панела, генерисана је различита количина електричне енергије, који зависи од површине коју панел заузима на јужној страни крова. У табели 8 дат је приказ генерисане електричне енергије у ФН панелима, за ова два разматрана случаја.

Табела 8. Потрошња финалне и примарне енергије и генерисана енергија у ФН панелима

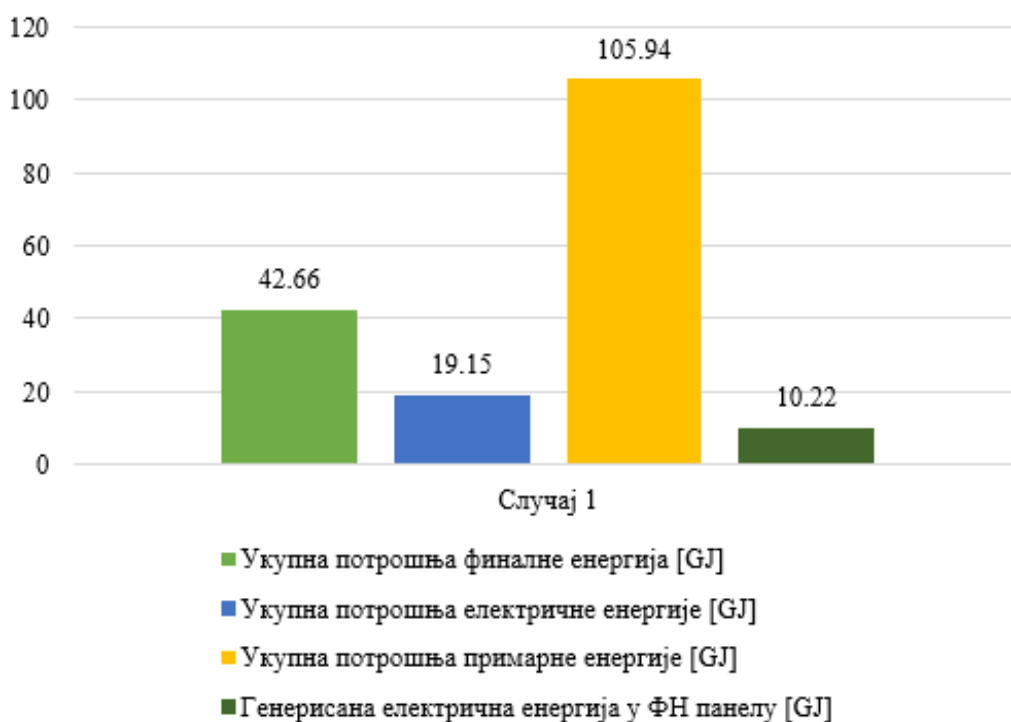
	Случај 1- Половина јужне површине крова 22 m²	Случај 2 - Цела јужна површина крова 44 m²
Грејање [GJ]	23,51	23,51
Укупна потрошња електричне енергије [GJ]	19,15	19,15
Укупна потрошња финалне енергија [GJ]	42,66	42,66
Укупна потрошња примарне енергије [GJ]	105,94	105,94
Генерисана електрична енергија у ФН панелу [GJ]	10,22	20,02
Нето потрошња финалне енергије	32,44	22,64
Нето потрошња примарне енергије	74,87	44,62

За случај 1 искоришћена је половина јужне површине крова површине 22 m², а за случај 2 је искоришћена цела јужна површина крова површине 44 m². Генерисана електрична енергија у ФН панелима у случају 1 је 10,22 GJ , а у случају 2 износи 20,02 GJ. Вредност генерисане енергије у ФН панелима у (случају 2) је већа за 9,8 GJ у поређењу са случајем 1. Ово нам говори да већа површина ФН панела генерише већу количину енергије, што је и логично.

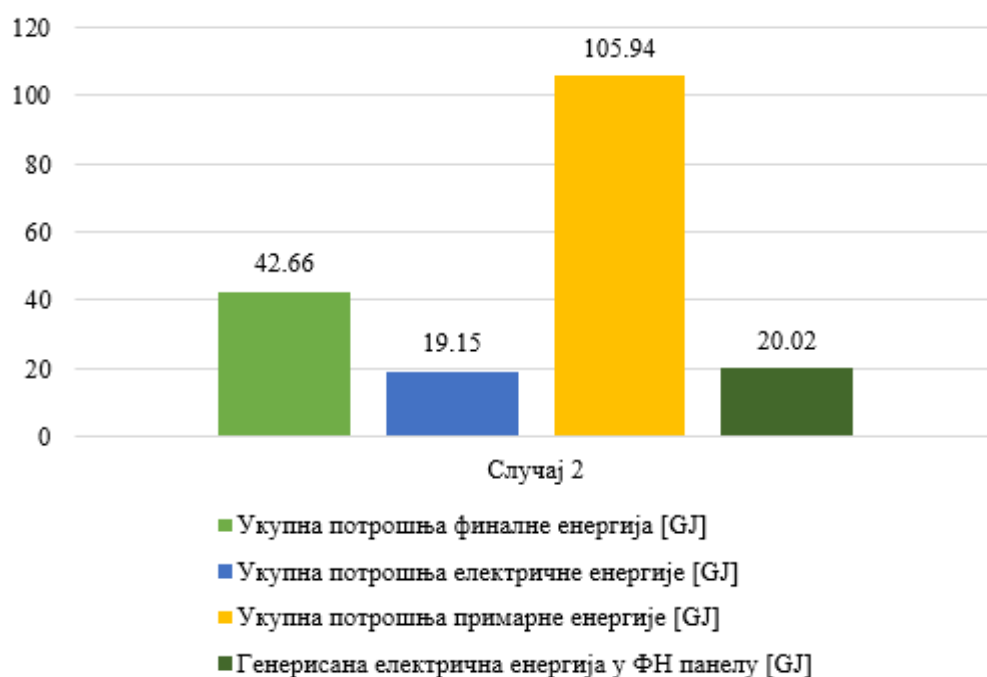


Слика 27. Генерисање електричне енергије у ФН панелу [GJ]

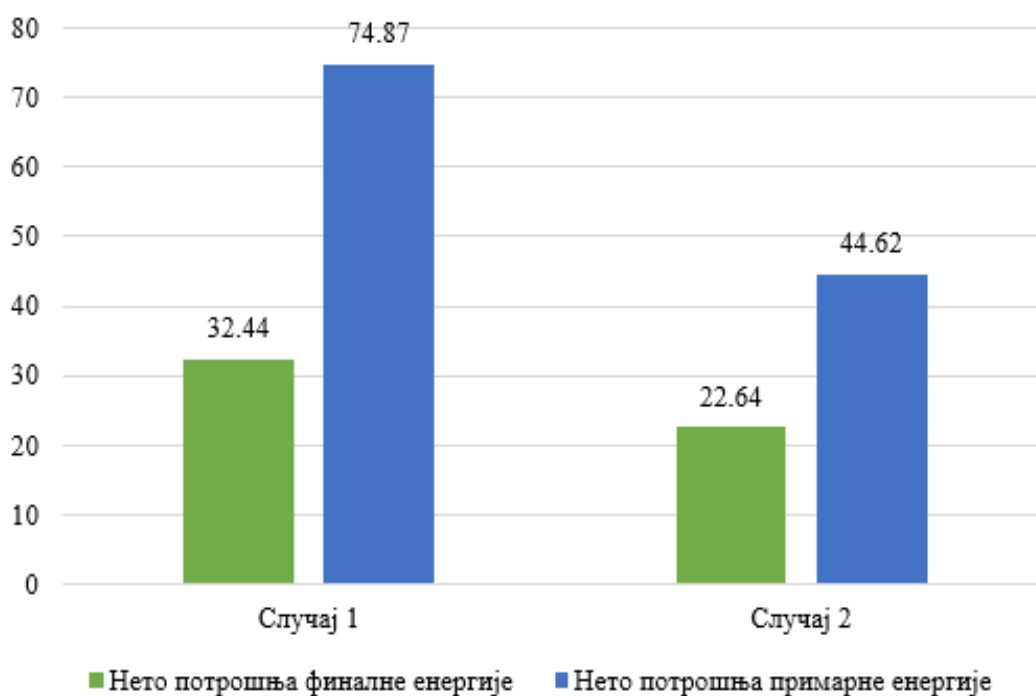
Слика 27 је показала генерисање електричне енергије у ФН панелу за различиту површину пријемника. На овај начин се врши уштеда енерије у домаћинству, јер да нема ФН панела који генеришу електричну енергију онда би морала да се користи електрична енергија из електродистрибутивне мреже.



Слика 28. Графички приказа потрошне и генерисане електричне енергије за случај 1



Слика 29. Графички приказ потрошне и генерисане електричне енергије случај 2



Слика 30. Нето потрошене финалне и примарне енергије

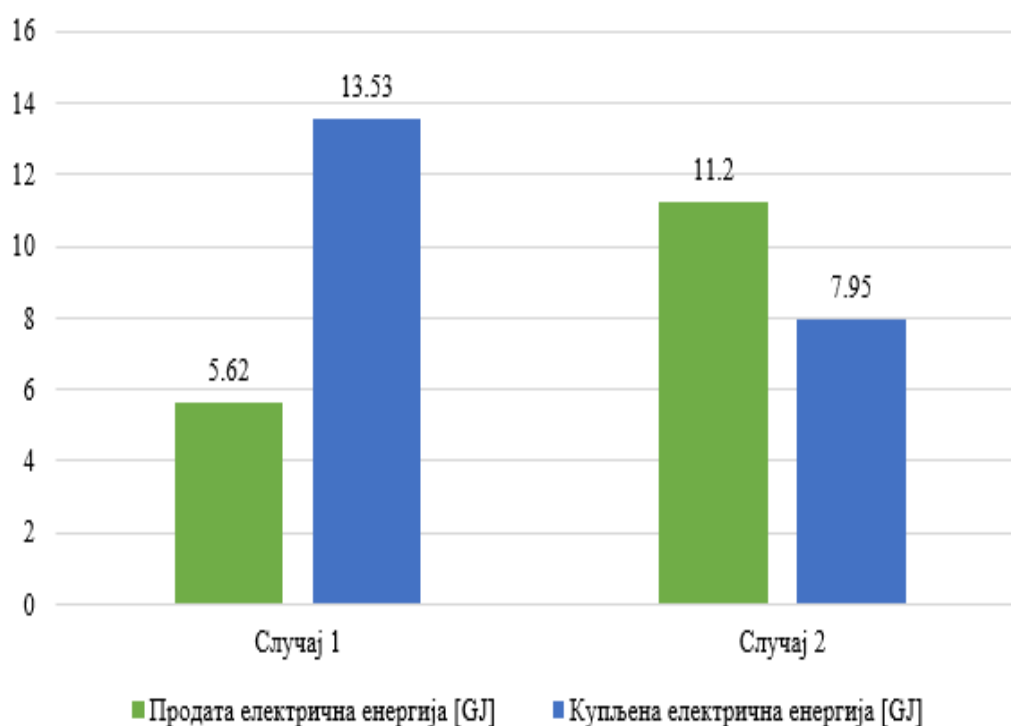
На слици 30 дата је нето потрошња финалне енергије за случај 1 - 32,44 GJ и за случај 2 - 22,64 GJ, као и нето потрошња примарне енергије за случај 1 - 74,87 GJ и случај 2 - 44,62 GJ. Можемо приметити да је у случају 2 нето потрошња финалне и примарне енергије мања него код случаја 1. Разлог је већа количина генерисане енергије у случају 2. Нето потрошњу енергије се израчунава тако што се од укупне потрошње енергије одузме количина генерисане енергије. Код примарне енергије, износ генерисане енергије се множи одговарајућим фактором конверзије (3,04).

За случај 1 продата количина електричне енергије износи 5,62 GJ, а за случај 2 она износи 11,2 GJ. Да би се израчунала купљена електрична енергија потребно је од потрошене електричне енергије одузети продату електричну енергију. У случају 1 купљена електрична енергија износи 13,53 GJ, а у случају 2 купљена електрична енергија износи 7,95 GJ.

Табела 9. *Продата и купљена електрична енергија*

	Случај 1 - Половина јужне површине крова 22 m ²	Случај 2 – Цела јужна површина крпа 44 m ²
Укупна потрошена електрична енергија[GJ]	19,15	19,15
Продата електрична енергија [GJ]	5,62	11,2
Купљена електрична енергија [GJ]	13,53	7,95

Што је већа површина ФН панела количина купљене енергије је мања, а продате електричне енергије је већа. На слици 31 дат је приказ продате и купљене електричне енергије за оба случаја.



Слика 31. *Графички приказ продате и купљене електричне енергије*

6.5.2 Различите ћелијске ефикасности ФН панела

Анализирани су случајеви различите ћелијске ефикасности инсталираних ФН панела на кући са дебљином изолационог слоја од 15 cm. Референтни случај је симулиран са ћелијском ефикасношћу ФН панела од 12 %, а рађена је и симулација за ћелијску ефикасност ФН панела од 14 % и 16 %. Ове симулације су обележене на следећи начин:

- Случај 2 – ФН панели ефикасности 12 %,
- Случај 3 – ФН панели ефикасности 14 %,
- Случај 4 – ФН панели ефикасности 16 %.

Услед различитих вредности ћелијске ефикасности ФН панела, дошло је до различитог генерисања електричне енергије. У табели 10 дат је приказ потрошње електричне енергије у кући, за разматране случајеве, као и количина генерисане електричне енергије.

За случај ћелијске ефикасности од 16 %, добија се највећа вредност генерисане електричне енергије (случај 4 – 27,23 GJ). Када случај 4 упоредимо са случајевима 2 и 3, генерисана енергија у случају 4 је већа за 7,21 GJ ного код случаја 2, а у поређењу са случајем 3 је већа за 3,61 GJ.

Табела 10. Детаљна годишња анализа потрошње финалне и примарне енергије за неведене случајеве, као и генерисана енергија

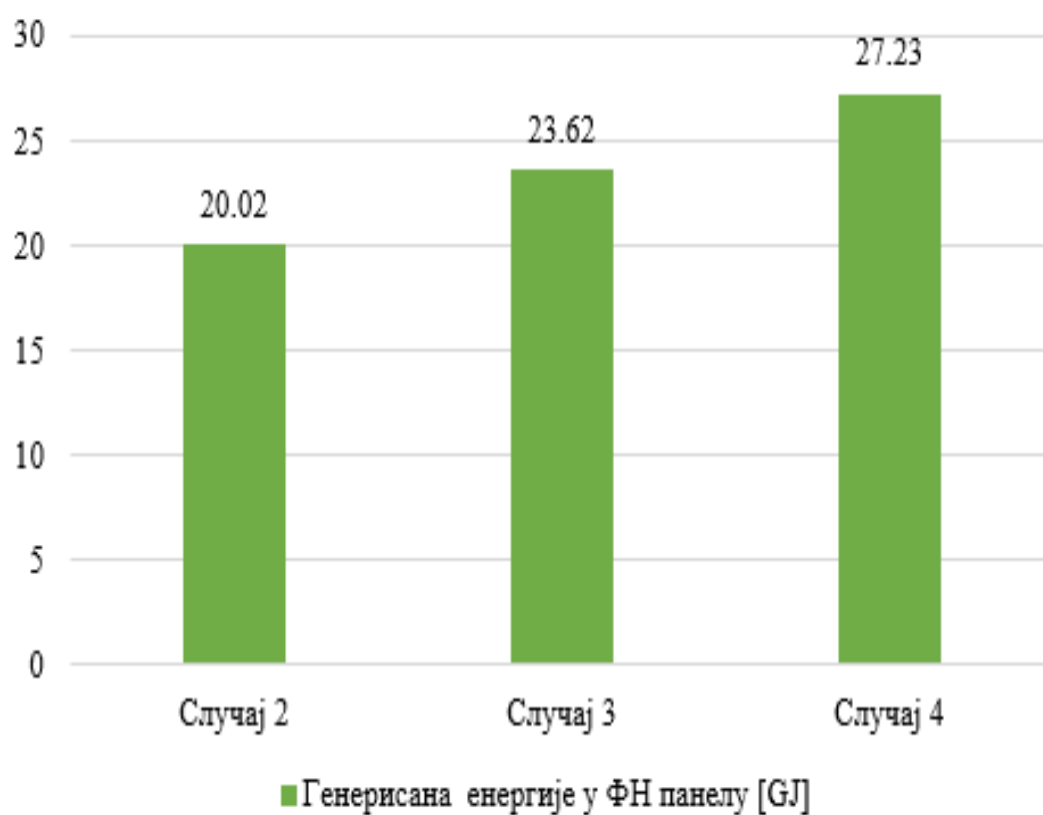
	Случај 2 – 12%	Случај 3 – 14%	Случај 4 – 16 %
Грејање [GJ]	23,51	23,51	23,51
Укупна потрошња електричне енергије [GJ]	19,15	19,15	19,15
Укупна потрошња финалне енергије [GJ]	42,66	42,66	42,66
Укупна потрошња примарне енергије [GJ]	105,49	105,49	105,49
Генерисана енергија у ФН панелу [GJ]	20,02	23,62	27,23
Нето потрошња финалне енергије	22,64	19,04	15,43
Нето потрошња примарне енергије	44,62	33,68	22,71

У табели 11 су приказани резултати количине генерисане електричне енергије у ФН панелима, при различитој ћелијској ефикасности.

Табела 11. Генерисање количине електричне енергије у ФН панелима различите ћелијске ефикасности

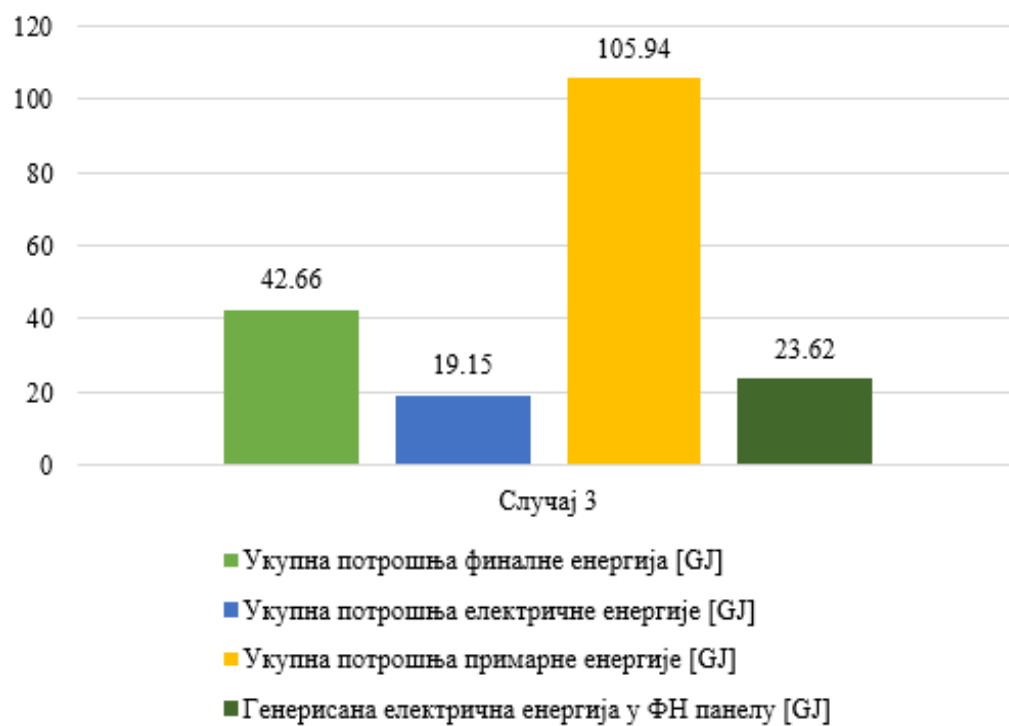
	Случај 2 – 12%	Случај 3 – 14%	Случај 4 – 16%
Генерисана енергије у ФН панелу [GJ]	20,02	23,62	27,23

Слика 32 приказује количину генерисане електричне енергије у ФН панелима за различиту ћелијску ефикасност.

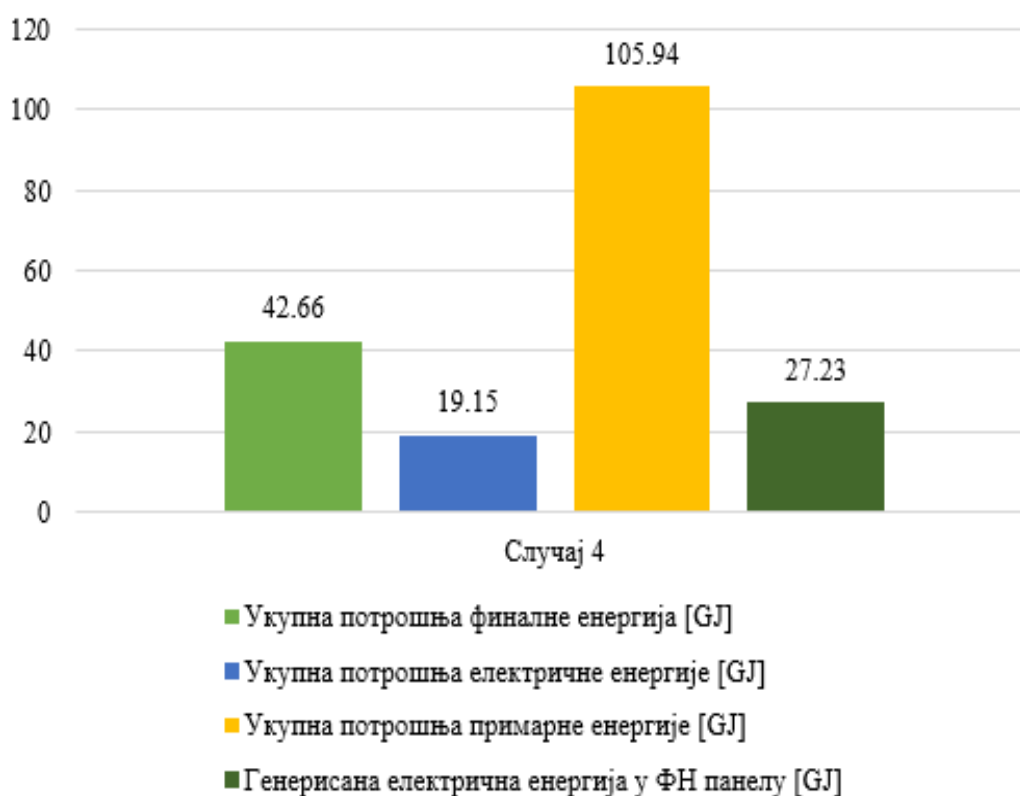


Слика 32. Графички приказ генерисане електричне енергије у ФН панелима за различиту ћелијску ефикасност

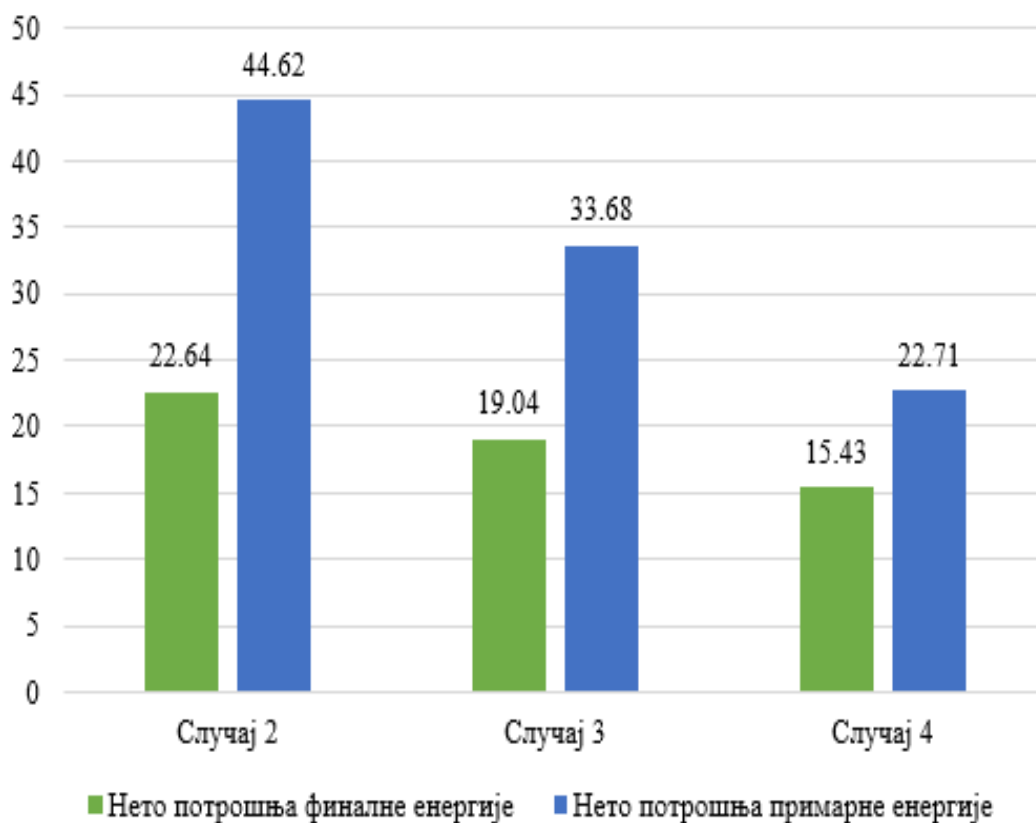
При већој ћелијској ефикасности ФН панела генерише се већа количина електричне енергије, па је и већа количина електричне енергије која се продаје електро-мрежи (случај 4). Мања ћелијска ефикасност ФН панела, доводи до веће количине купљене електричне енергије из електро-мреже (случај 2).



Слика 33. Графички приказ потрошне и генерисане електричне енергије случај 3



Слика 34. Графички приказ потрошне и генерисане електричне енергије случај 4



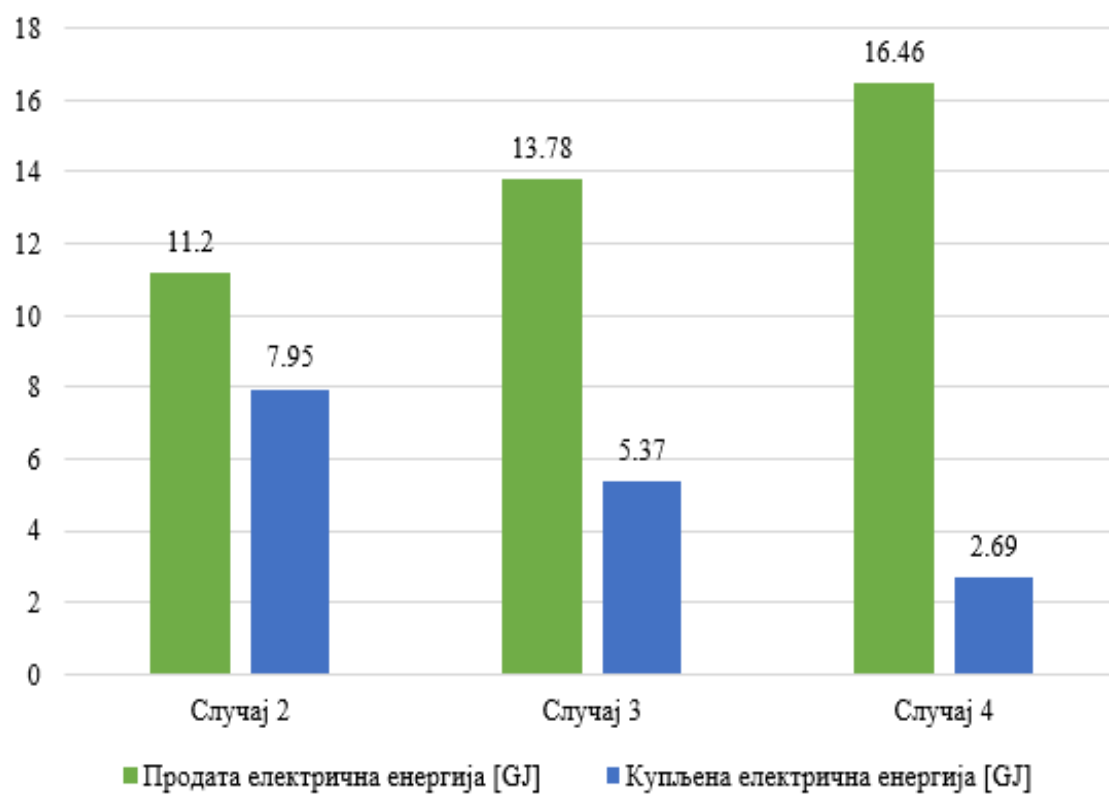
Слика 35. Нето потрошње финалне и примарне енергије за случај 2,3 и 4

На слици 35 дата је нето потрошња финалне енергије за случај 2 – 22,64 GJ, случај 3 – 19,04 GJ и случај 4 – 15,43 GJ, али и нето потрошња примарне енергије за случај 2 – 44,62 GJ, и случај 3 – 33,68 GJ и случај 4 – 22,71 GJ. Можемо приметити да је за случај 4 нето потрошња финалне и примарне енергије мања него код случајева 2 и 3. То нам показује да је најмања нето потрошена примарна и финална енергија код случаја 4.

Табела 12. Продата и купљена електрична енергија при различитој хелијској ефикасности ФН панела

	Случај 2 – 12%	Случај 3 – 14%	Случај 4 – 16%
Продата електрична енергија [GJ]	11,2	13,78	16,46
Купљена електрична енергија [GJ]	7,95	5,37	2,69

Из табеле 12 се може закључити да продата електрична енергија има највећу вредност у случају хелијске ефикасности ФН панела од 16 % и да она износи 16,46 GJ, а најмања вредност купљене енергије за случај хелијске ефикасности ФН панела од 16 % и она износи 2,69 GJ.



Слика 36. Графички приказ продате и купљене електричне енергије

6.6 Поређење резултата

У раду је представљена енергетска анализа куће са инсталираним фотонапонским системом за генерисање електричне енергије. Са уградњом ФН панела се постиже значајана уштеда енергије. Такође је разматрана и уштеда енергије са постављањем различитих дебљина изолационог слоја на анализирани објект.

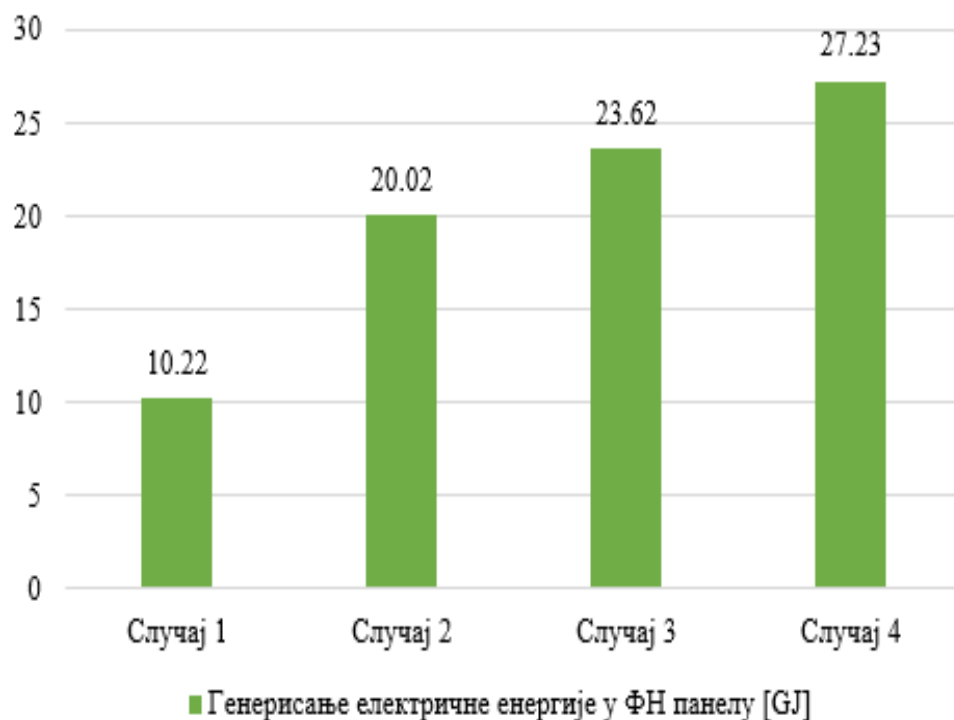
У табели 13 је приказана потрошња електричне енергије и генерисана електрична енергија у ФН панелим.

Потрошња електричне енергије је најмања за кућу изолације 15 cm и са ћелијском ефикасношћу ФН панела 16 %. Разлог најмање потрошње електричне енергије је висока вредност колочине генерисане електричне енергије у ФН систему која износи 27,23 GJ.

Табела 13. Детаљна годишња потрошња електричне енергије у кући свих случајева

	Случај 1	Случај 2	Случај 3	Случај 4
Грејање [GJ]	23,51	23,51	23,51	23,51
Укупна потрошња електричне енергије [GJ]	19,15	19,15	19,15	19,15
Укупна потрошња финалне енергије [GJ]	42,66	42,66	42,66	42,66
Укупна потрошња примарне енергије [GJ]	105,94	105,94	105,94	105,94
Генерисање електричне енергије у ФН панелу [GJ]	10,22	20,02	23,62	27,23
Нето потрошња финалне енергије	32,44	22,64	19,04	15,43
Нето потрошња примарне енергије	74,87	44,62	33,68	22,71

Са слике 37 може се закључити да се највећа уштеда енергије остварује се у случају 4 у односу на остале случајеве. Разлози су висока ћелијска ефикасност ФН панела од 16 %.



Слика 37. Генерисана електрична енергија у свим случајевима

Највећа вредност генерисане електричне енергије у ФН панелу је у случају 4 и износи 27,23 GJ.

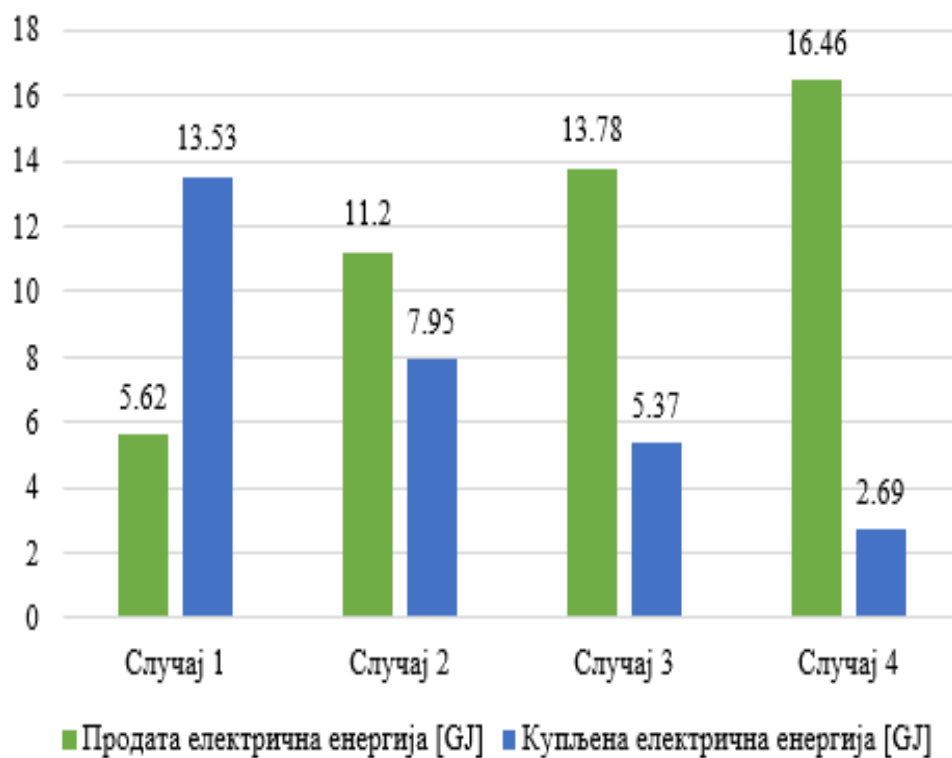
Последњих година ФН технологије бележе велики напредак у развоју као и у широј примени. Највећу примену налазе панели са већом ћелијском ефикасношћу. Због тога је веома битна анализа генерисања и потрошње енергије за фотонапонске панеле ћелијске ефикасности 14 % и 16 %. Применом панела ћелијске ефикасности 14 % и 16% може се генерисати много већа количина електричне енергијеу поређењу са панелом ћелијске ефикасности 12 %.

У табели 14 дат је приказана вредност продате и купљене електричне енергије. Највећа вредност купљене енергије је у случају 1 и она износи 13,53 GJ. Разлог је најмања вредност ћелијске ефикасности ФН панела од 12 %. Најмања вредност купљене енергије јавља се у случају 4 и она износи 2,69 GJ.

Табела 14. Продата и купљена електрична енергија за све случајеве

	Случај 1	Случај 2	Случај 3	Случај 4
Продата електрична енергија [GJ]	5,62	11,2	13,78	16.46
Купљена електрична енергија [GJ]	13,53	7,95	5,37	2,69

На слици 38 дата је количина продате и купљене електричне енергије. Можемо закључити да је продата електрична енергија најмања у случају 1 због мале површине ФН панела и ниске ћелијске ефикасности.

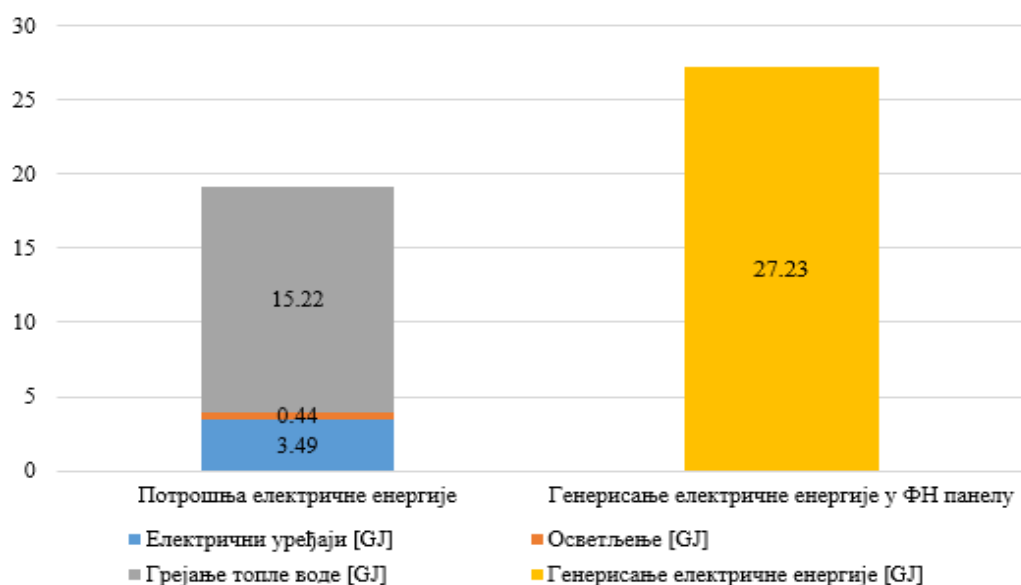


Слика 38. Графички приказ продате и купљене енергије

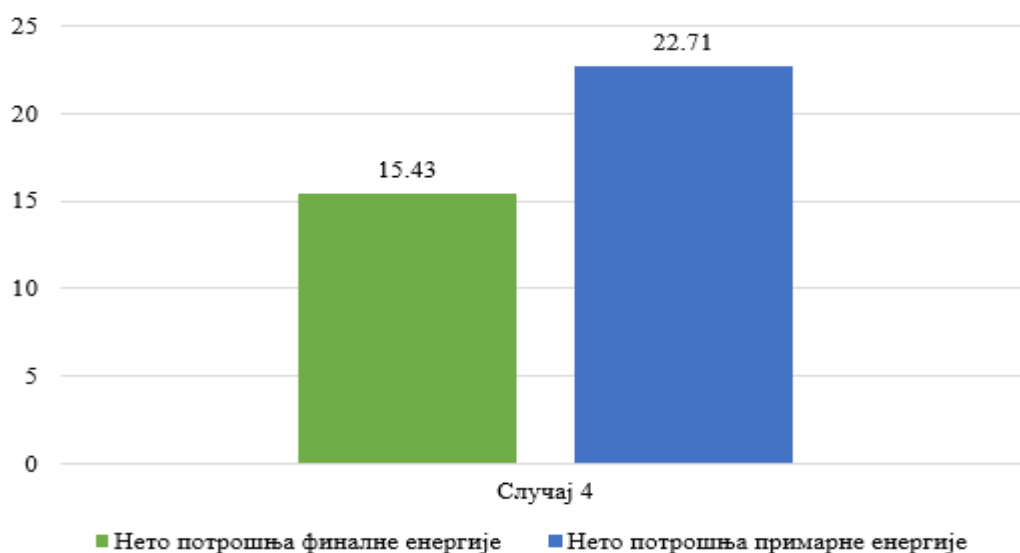
6.7 Најповољнији случај- Случај 4

Употреба ФН панела ћелијска ефикасност 16% на целој јужној страни крова куће са дебелином изолације од 15 cm, омогућава генерисање највеће количине електричне енергије - 27,23 GJ. Укупна потрошња електричне енергије износи 19,15 GJ, док је потрошња енергије за грејање 23,51 GJ.

На слици 39 се јасно види које ставке утичу на потрошњу електричне енергије и колико се електричне енергије генерише у ФН панелу ћелијске ефикасности 16 %.



Слика 39. Графички приказ потрошње и генерисања електричне енергије



Слика 40. Нето потрошња финалне и примарне енергије за најповољнији случај 4

Лако се може закључити да се додатним мерама повећања енергетске ефикасности и коришћења нискотемпературних система грејања (нпр. топлотна пумпа), уз коришћење додатних обновљивих извора енергија (нпр. ветрогенератор) може постићи и концепт зграде нето нулте потрошње енергије. Ове зграде помоћу сопствених система обновљивих извора енергије, на годишњем нивоу произведу енергију која им је потребна за задовољење сопствених енергетских потреба.

7. Закључак

У овом раду су разматране могућности унапређења енергетске ефикасности породичног стамбеног објекта најпре преко уградње термоизолационог материјала различите дебљине, а затим и коришћењем фотонапонског система за генерисање електричне енергије.

Разматрана је анализа потрошње енергије у кући у зависности од дебљине изолације (коришћена је изолација дебљине 5 cm, 10 cm и 15 cm). Након ове анализе дошло се до закључка да са већом дебљином изолације кућа има мању потрошњу енергије потребне за грејање.

У другом делу истраживања, помоћу софтвера EnergyPlus симулиран је рад ФН система на изолованом стамбеном објекту (дебљина изолације 15 cm).

Разматран је случај ФН панела ћелијске ефикасности 12 % различите површине (половина јужне стране крова и цела јужна страна крова). Овом анализом се показало да се коришћењем ФН панела ефикасности 12 % на целој јужној страни крова генерише већа количина електричне енергије него у случају половине површине.

На крају су разматрана три случаја различите ћелијске ефикасности ФН панела (12 %, 14 % и 16 %). ФН панели са највећом ћелијском ефикасношћу генеришу највећу количину електричне енергије (27,23 GJ).

На основу свих обављених симулација и добијених резултата у дипломском раду долази се до закључка да је најповољнији случај са ћелијском ефикасношћу од 16 %. ФН панела. Уз употребу додатних обновљивих извора енергије могуће је остварити и концепт зграде нето-нулте потрошње енергије.

Поред уштеде енергије и новца, не треба занемарити еколошки значај обновљивих извора. Коришћењем соларних ћелија се редукује емисија штетних гасова. У Србији није још увек довољно развијена употреба соларних система, па је потребно ширење свести о енергетској ефикасности и заштити животне средине, али су неопходне и субвенције државе за коришћење обновљивих извора енергије.

8. Литература

- [1] Интернет страница: http://www.tfzr.uns.ac.rs/Content/files/0/skripta_energija_i_okruzenje.pdf?fbclid=IwAR0ezY6q_YYVAtvnEnwtbIxIPmaumjBeAMQOA-LLsP_OC02B1bUiX-la5i4, приступљено 15.01.2019.
- [2] Интернет страница: https://www.vuka.hr/fileadmin/user_upload/knjiznica/on_line_izdanja/Energetski_strojevi_i_sustav_i.pdf, приступљено 15.01.2019.
- [3] Министарство за грађевинараство, саобраћај и инфраструктуру, Енергетска ефикасност у зградама, Београд, 2017.
- [4] Министарство за рударство и енергетику, Привредни и друштвени потенцијали и активности од значаја за животну средину- Енергетика, Потрошња финакне енергије по секторима, Београд, 2017.
- [5] Министарство за рударство и енергетику, Приручник за енергетске менаџменте за област енергетике зграда, Универзитет у Београду, Машински факултет, јун 2017.
- [6] Интернет страница: <https://sohowww.nascom.nasa.gov/>, приступљено 17.01.2019.
- [7] Н. Лукић, М. Бабић, Соларна енергија, Машински факултет у Крагујевцу, 2008.
- [8] Интернет страница: <http://www.solarni-kolektori.net/split-solarni-sistemi/>, приступљено 17.01.2019.
- [9] D. Šljivac, Z. Šimić: Obnovljivi izvori energije, 2009.
- [10] Интернет страница: https://sh.wikipedia.org/wiki/Glavna_stranica, приступљено 20.01.2019.
- [11] Програм остваривања Стратегије развоја енергетике Републике Србије до 2015. године за период од 2007. до 2012. године, Влада Републике Србији, 2007.
- [12] Интернет страница: <https://www.solarnipaneli.org/solarni-paneli-2/>, приступљено 20.01.2019.
- [13] Интернет страница: <https://maturskisolarnipaneli.wordpress.com/2014/05/12/8/>, приступљено 20.01.2019.
- [14] Интернет страница: <http://www.solarna-energija.rs/solarni-paneli/tipovi-solarnih-panela>, приступљено 20.01.2019.
- [15] Интернет страница: https://hr.wikipedia.org/wiki/Datoteka:FN_celija_od_tankog_filma.jpg, приступљено 20.01.2019.
- [16] L.El Chaar, L. A.Lamont, N. El Zein., Review of photovoltaic technologies, Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, 2011, pp. 2165-2175
- [17] E. Serrano, G. Rus, J. Garcia-Martinez, Nanotechnology for sustainable energy, Renewable and Sustainable Energy Reviews 13, 2009, 2372-2384
- [18] Интернет страница: <file:///C:/Users/Ana/Downloads/fulereni%20mogucni%20izvori%20svetlosti.pdf>, приступљено 20.01.2019
- [19] P. Norton, C. Christensen, A cold-climate case study for affordable zero energy homes. In: Solar 2006 conference, Denver, Colorado; July 9–13, 2006

- [20] Интернет страница: <https://www.parenasunce.com/samostalni-sistemi/>, приступљено 20.01.2019.
- [21] Интернет страница: <http://www.melektronik.co.rs/solarni-paneli.html>, приступљено 20.01.2019.
- [22] Интернет страница: <https://www.dominio.ba/bh-domacinstva-bi-uskoro-mogla-dobiti-subvencije-za-solarne-panele/>, приступљено 10.02.2019.
- [23] M. A. Green, J. Zhao, A. Wang, S. R. Wenhan, Progress and outlook for high efficiency crystalline silicon solar cells, Solar Energy Materials and Solar Cells 65, 2001, 9–16
- [24] Интернет страница: https://www.researchgate.net/figure/World-PV-Cell-Module-Production-from-2005-to-2016-data-source-Photon-Magazine-1-PV_fig1_301821210, приступљено 10.02.2019.
- [25] Интернет страница: <https://technology.ihs.com/Research-by-Market/450473/power-energy>, приступљено 10.02.2019.
- [26] Др Стаменић Љ., истраживачки рад: Коришћење соларне фотонапонске енергије у Србији, 2009
- [27] ENERGYPLUS, Input Output Reference - The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output, University of Illinois & Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009
- [28] Интернет страница: <http://www.energetika-kragujevac.com/index.php>, приступљено 15.02.2019.
- [29] Интернет страница: <https://www.market.metalac.com/>, приступљено 15.02.2019.