

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Урбано инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Предмет: Енергетска ефикасност објеката

Број индекса: 923/2014

Тина Г. Мирковић

Енергетска анализа стамбеног објекта са уграђеним соларним системима

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 проучи препоручену и ширу литературу која се односи на унапређење енергетске ефикасности породичног објекта применом соларних система за генерисање енергије, и то фотонапонског система и соларних колектора. Користећи стечена знања, потребно је у софтверу *EnergyPlus* моделирати једнопородичну стамбену зграду са уграђеним фотонапонским системом и соларним колекторима; након моделирања урадити симулације енергетског понашања зграде на годишњем нивоу, за различите случајеве хелијске ефикасности фотонапонских модула, као и за различите случајеве температуре санитарне топле воде у систему.

Кроз приказ добијених резултата, потребно је анализирати потрошњу енергије на годишњем нивоу (како за грејне потребе, тако и укупну потрошњу енергије у згради), количину генерисане енергије преко соларних система и дати поређење добијених резултата. Посебан осврт дати на могућности уштеде енергије применом соларних система у изолованој и неизолованој згради.

Препоручена литература:

- [1] Ламбић М., Соларне технологије – топлотни и фотонапонски системи, Београд 2013.
- [2] Razykov T.M., Ferekides C.S., Morel D., Stefanakos E., Ullal H.S., Solar photovoltaic electricity: Current status and future prospects, *Solar Energy* 85 (2011), p. 1580–1608
- [3] ENERGYPLUS, Input Output Reference - The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output, University of Illinois & Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009

Крагујевац
јун 2018.

Ментор:

Др Данијела Николић, доцент

РЕЗИМЕ

Дипломски рад се заснива на енергетској анализи куће која је на крову имала инсталирани систем фотонапонских панела и систем соларних колектора. Соларна фотонапонска технологија је чисто решење за генерисање електричне енергије, по животну средину. Генерисана електрична енергија може да се троши у кући или да се продаје електро-дистрибутивној мрежи. У кући електрична енергија се троши за грејање, осветљење, рад електричних уређаја и за грејање санитарне воде. Соларним колекторима се генерише топлотна енергија која се користи за грејање санитарне воде.

Разматрана је кућа са електричним грејањем, за коју је извршена енергетска анализа са главним циљем одређивања оптималних вредности дебљине изолације, ефикасности фотонапонских панела и температуре санитарне топле воде у соларном систему. Са оптималним вредностима наведених параметара, потрошња енергије се може значајно смањити.

Модел куће је симулиран у окружењу софтвера *EnergyPlus*, док је *Open Studio* додатак за *GoogleSketchUp* коришћен за дизајнирање куће.

Кључне речи: Фотонапонски панели, соларни колектори, зграда, енергија, симулација.

ABSTRACT

Thesis is based on energy analyse of house with roof that contains photovoltaic panels and system of solar collectors. Solar photovoltaic technology is a clean environmental solution for generating electric energy. Generated electric energy can be used in house or as produced energy it can be sold to the power distribution network. In building, electric energy can be used for heating, lighting, electric equipment and for water heating. Solar collectors are generating heat energy wich is used for domestic water heating.

Building with electric space heating is analyzed, with main purpose to determine optimal values of thermal insulation thickness, PV cell efficiency and hot water temperature in solar system. With this optimal values consumption of energy can be significantly reduced.

Building model is simulated in *EnergyPlus* environment, while *Open Studio Plug-in* was used for building design.

Keywords: Photovoltaic panels, solar collectors, building, energy, simulation.

САДРЖАЈ

1. УВОД.....	1
2. ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ У ЗГРАДАРСТВУ.....	2
3. СИСТЕМИ И ТЕХНОЛОГИЈЕ ЗА КОРИШЋЕЊЕ СОЛАРНЕ ЕНЕРГИЈЕ.....	4
3.1 СОЛАРНИ КОЛЕКТОРИ.....	4
3.1.1 РАВАН ЗАСТАКЉЕНИ СОЛАРНИ КОЛЕКТОР.....	5
3.2 ФОТОНАПОНСКЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ.....	7
3.2.1 ВРСТА И МАТЕРИЈАЛИ ФОТОНАПОНСКИХ ТЕХНОЛОГИЈА.....	9
3.2.2 МРЕЖНО СПОЈЕНИ ФН СИСТЕМИ (ON-GRID).....	10
3.2.3 ЕФИКАСНОСТ ФОТОНАПОНСКЕ ЋЕЛИЈЕ.....	11
3.3.4 ФН ТЕХНОЛОГИЈА НА СВЕТСКОМ ТРЖИШТУ.....	12
3.3.5 СТАЊЕ ФН ТЕХНОЛОГИЈЕ У СРБИЈИ.....	14
4. СИМУЛАЦИОНИ СОФТВЕРИ.....	15
4.1 СИМУЛАЦИОНИ СОФТВЕР ENERGY PLUS.....	15
5. АНАЛИЗА СТАМБЕНОГ ОБЈЕКТА.....	17
5.1 АРХИТЕКТОНСКО РЕШЕЊЕ СТАМБЕНОГ ОБЈЕКТА.....	17
5.2 АНАЛИЗИРАНИ СИСТЕМ ГРЕЈАЊА.....	19
5.3 СИСТЕМИ ЗА ГЕНЕРИСАЊЕ ЕНЕРГИЈЕ У АНАЛИЗИРАНОЈ КУЋИ.....	20
5.4 ЛОКАЦИЈА И МЕТЕОРОЛОШКИ ПОДАЦИ.....	21
6. РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗА.....	22
6.1 АНАЛИЗА ПОТРОШЊЕ ЕНЕРГИЈЕ У КУЋИ У ЗАВИСНОСТИ ОД ДЕБЉИНЕ ИЗОЛАЦИОНОГ СЛОЈА.....	23
6.2 КУЋА СА ФН ПАНЕЛИМА ЕФИКАСНОСТИ 12 % И РАЗЛИЧИТОМ ТЕМПЕРАТУРОМ ТОПЛЕ ВОДЕ У СОЛАРНОМ СИСТЕМУ.....	25
6.3 КУЋА СА ТЕМПЕРАТУРОМ ТОПЛЕ ВОДЕ У СОЛАРНОМ СИСТЕМУ 70 °C И ФН ПАНЕЛИМА РАЗЛИЧИТЕ ЋЕЛИЈСКЕ ЕФИКАСНОСТИ.....	31
6.4 ПОРЕЂЕЊЕ РЕЗУЛТАТА.....	35
6.5 НАЈПОВОЉНИИ СЛУЧАЈ - КУЋА СА ИЗОЛАЦИЈОМ 15 cm, ЋЕЛИЈСКА ЕФИКАСНОСТ ФН ПАНЕЛА 16 % И ТЕМПЕРАТУРА ТОПЛЕ ВОДЕ 50 °C.....	41
6.6 АНАЛИЗА УШТЕДЕ ЕНЕРГИЈЕ.....	46
7. ЗАКЉУЧАК.....	50
8. ЛИТЕРАТУРА.....	51

1. УВОД

Савремени свет је већ увелико суочен са потребом глобалне, заједничке одговорности за развој у складу са потребама људи и природе, и схватањем да се планета Земља мора очувати како за садашње тако и за будуће генерације људи на прихватљив начин [1].

Проблеми одрживог развоја намећу се као најважнија глобална тема на свим светским скуповима везаним за области енергетике, екологије, економије и привреде већ дуго година. Ова проблематика је повезана са несигурношћу снабдевања енергијом са једне стране, и са загађењем животне средине и глобалним променама климе због велике и нерационалне потрошње енергије са друге стране [2].

Потреба рационалног коришћења енергије први пут се на глобалном нивоу појавила током нафтне кризе 1973. године. Тада су многе државе донеле строжије прописе у циљу смањења потрошње енергије, а између осталог и прве прописе о топлотној заштити објекта. Убрзо након стабилизације цене енергената, интерес за енергетску ефикасност зграда се смањио, али тај проблем је поново актуелан у истраживањима утицаја потрошње енергије на промену климе. Енергетски сектор је један од кључних у погледу утицаја на животну средину. Проблеми животне средине и енергетски проблеми се посматрају глобално. На тај начин, негативан утицај изазван нерационалним искоришћавањем енергије на глобалном нивоу могуће је смањити само заједничким деловањем свих земаља. Због тога се морају пронаћи што чистији енергетски извори, а само искоришћавање потребно је рационализовати. У будућности енергенти ће бити све скупљи, а највећи део енергије добијаће се из фосилних горива [2].

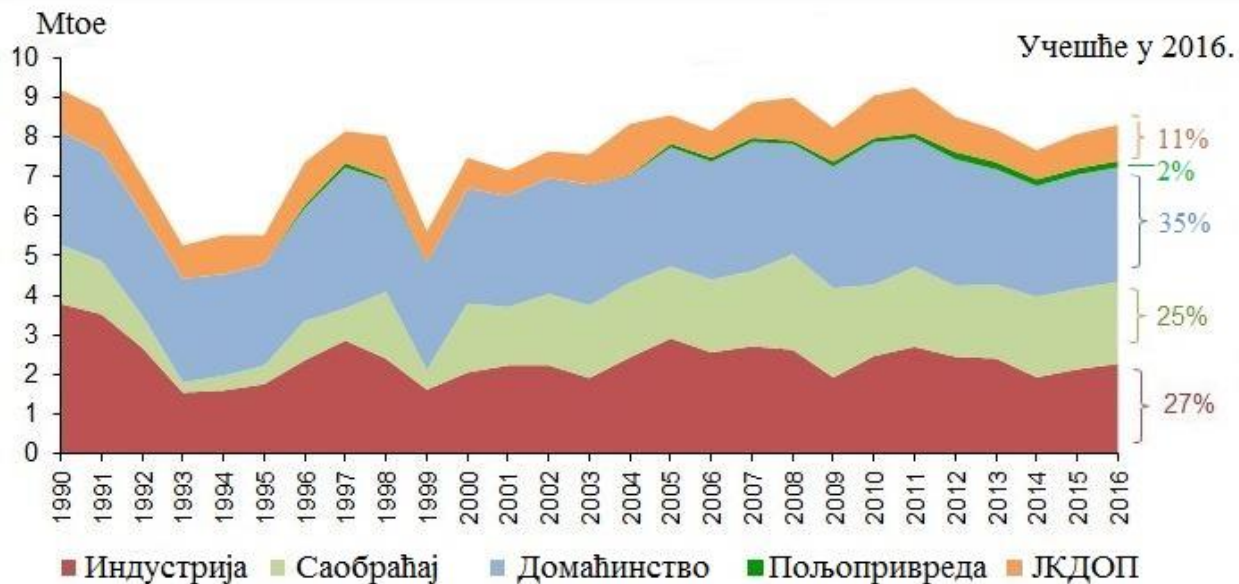
Досадашња недовољно контролисана потрошња енергије је у будућности тешко замислива. Конвенционални извори енергије стално се смањују и недвосмислено је да ће њихове цене и даље расти, што ствара простор за примену обновљивих извора енергије и развој концепта енергетске ефикасности. Због тога се као приоритет намеће одржива потрошња енергије, преко рационалног планирања и повећања енергетске ефикасности свих елемената у енергетском систему неке земље [3].

2. ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ У ЗГРАДАРСТВУ

Енергетска ефикасност подразумева ефикасну употребу енергије у свим секторима финалне потрошње енергије: индустрији, саобраћају, услужним делатностима, пољопривреди и зградарству [4].

Зграде су препознате као системи у којима може да се постигне велика уштеда енергије уз примену обновљивих извора енергије, при чему се задовољавају енергетске потребе и побољшава комфор – током целе године се одржавају термички параметри унутрашње средине, квалитет ваздуха, потребан ниво осветљености, обезбеђује довољна количина топле санитарне воде. Зато је интезивирано коришћење алтернативних и обновљивих извора енергије, као што су: соларна енергија, енергија ветра, енергија биомасе, геотермална енергија, хидроенергија, као и коришћење "отпадне" топлоте [4].

Према подацима из 2016. године, потрошња финалне енергије у Србији износила је 8,31 Мтое¹ (милиона тона еквивалентне нафте). По секторима, највише енергије се трошило у сектору домаћинства 35%, затим у индустрији 27% и саобраћаја 25%, док су пољопривреда и сектор јавне и комуналне делатности и остали потрошачи (ЈКДОП) учествовали 2% и 11% (слика 1) [5].



Слика 1. Потрошња финалне енергије по секторима у Србији [5]

Уколико се посматра потрошња енергије у сектору домаћинства (стамбене и нестамбене зграде), примећује се стални пораст потрошње финалне енергије. Укупни потенцијал енергетских уштеда за грејање, припрему топле воде, хлађење и расвету, у стамбеном и јавном сектору зграда у земљама Европске Уније процењен је на укупно 24% садашње енергетске потрошње, уз претпоставку основног одржавања и извођења неопходних реконструкција [5].

¹ 1 toe = 41,87 GJ

Република Србија је данас суочена са великим проблемима везаним за енергију: недостатак енергије и несигурност у снабдевању енергијом, сталан раст цене енергије и енергената, сталан раст потрошње како топлотне енергије за грејање објеката, тако и енергије за хлађење, посебно растом стандарда и масовним увођењем климатизације у зграде. Због чињенице да зграде као највећи потрошачи енергије имају велики енергетски и еколошки утицај, енергетска ефикасност, одржива градња и могућност употребе обновљивих извора енергије намећу се као приоритет савремене градње, те је потребно да Република Србија ове захтеве имплементира у сопствено законодавство [6].

Потрошња енергије у згради зависи од карактеристика саме зграде (облика и материјала који је коришћен), енергетске инфраструктуре у њој (система грејања, електричних апарата и уређаја, осветљења итд.), од климатских услова у којима се зграда налази, али и од начина коришћења зграде. Свака зграда треба да се разматра као посебан систем [7].

Применом различитих мера могуће је побољшати енергетску ефикасност, при чему треба водити рачуна о финансијским ефектима примењених мера [7]. Мере које се примењују за побољшање енергетске ефикасности у зградама могу се поделити у три основне групе:

1. Мере побољшања карактеристика саме зграде кроз смањење потребе за грејањем у зимском и хлађења у летњем периоду (термичка изолованост и заптивеност, заштита од Сунчевог зрачења лети),
2. Мере унапређења термотехничких инсталација кроз примену опреме и уређаја са високим степеном корисности, коришћења отпадне топлоте и обновљивих извора енергије (боље коришћење примарне енергије),
3. Мере оптимизације експлоатације техничких система кроз увођење аутоматског управљања рада инсталација грејања, хлађења, вентилације и вештачког осветљења (термички параметри средине се одржавају на жељеном нивоу само у периоду коришћења просторија у згради).

Бројна истраживања у свету су показала да је побољшање енергетске ефикасности у зградарству једна од технолошки најмање захтевних и најисплативијих метода за смањење емисија гасова стаклене баште [8].

Коришћење соларне енергије у зградарству доприноси смањењу потрошње енергије. Примена соларне енергије за енергетски ефикасно грејање зграда изазива највеће интересовање у широј јавности. Сама чињеница да су данашњи издаци за огрев високи и што ниједан од постојећих енергетских извора за грејање није сасвим поуздан и увек расположив, нити је задовољавајући у погледу цене, практичности или заштите животне средине, ставља примену соларне енергије на водеће место.

3. СИСТЕМИ И ТЕХНОЛОГИЈЕ ЗА КОРИШЋЕЊЕ СОЛАРНЕ ЕНЕРГИЈЕ

Сунчева светлост представља извор енергије који је заслужан за повољне климатске услове и постојање екосистема на нашој планети. Већина енергије која је доступна на Земљи долази од Сунца, а чак и енергија која се црпи из ветра, воде, биомасе и свих фосилних горива заправо потиче из овог извора. Одговарајућом технологијом може се искористити овај бесплатан, еколошки и вечан извор енергије [9].

Соларна технологија се користи за унапређење животног стандарда. Она пре свега представља извор у објектима на удаљеним подручјима где је могућност прикључења на електродистрибутивну мрежу било само отежано или пак уопште не постоји. Такође, то није једини начин њене примене. Соларна технологија омогућава и енергетску независност од електродистрибутивне мреже у објектима са већ постојећим прикључком. Коришћењем ове енергије може се обезбедити добијање топле воде и струје из обновљивих извора енергије који не производе штетне гасове, а тиме се такође утиче и на ублажавање насталих климатских промена [9].

Подела пријемника соларне енергије према начину трансформације се може извршити на:

- соларне колекторе,
- фотонапонске ћелије,
- хибридне соларне колекторе.

Према врсти радног флуида који се користи, соларни колектори се деле на:

- водене,
- ваздушне,
- који користе друге течне флуиде (термичка уља).

Соларни колектори служе за трансформисање соларне енергије у топлотну енергију, фотонапонске ћелије служе за трансформисање соларне енергије у електричну енергију, док хибридни соларни колектори једним делом соларну енергију трансформишу у топлотну, а другим делом у електричну енергију [9].

3.1 СОЛАРНИ КОЛЕКТОРИ

Соларни колектори су посебна врста размењивача топлоте који трансформишу соларну енергију у унутрашњу енергију радног флуида (топлотну енергију). То је уређај који апсорбује долазеће сунчево зрачење, претвара га у топлоту, и преноси ту топлоту на флуид (обично ваздух, вода или термичко уље) који тече кроз колектор. Овако трансформисана енергија може да се користи директно преко циркулационог флуида за грејање стамбеног простора или воде, или да се складишти па користи касније током ноћи и/или током облачних дана [10].

Соларни колектори се најчешће користе за загревање санитарне воде или као испомоћ грејању. На овај начин трошкови за топлотном енергијом се смањују и до 80%. Четворочланом домаћинству је, за добијање топле санитарне воде, потребно два соларна колектора и бојлер од 200 l воде. Уколико се колектори користе за испомоћ грејању, потребно је систем димензионисати тако да површина колектора буде око 20 % од укупне грејне површине. Површина једног соларног колектора је око 2 m² [10].

Одабир соларних колектора зависи од намене за коју се користи. Такође, пресудан фактор за одабир соларног колектора може бити положај објекта. Југ је најбоља оријентација за постављање соларних колектора, а нагиб може да одступа од 20-70 °, у зависности од тога у ком годишњем добу се жели добити највише енергије. Постоје различите технологије и типови производње соларних колектора. Соларни колектори који се највише користе су:

- равни (плочасти) соларни колектори,
- вакуумски соларни колектори.

3.1.1 РАВАН ЗАСТАКЉЕНИ СОЛАРНИ КОЛЕКТОР

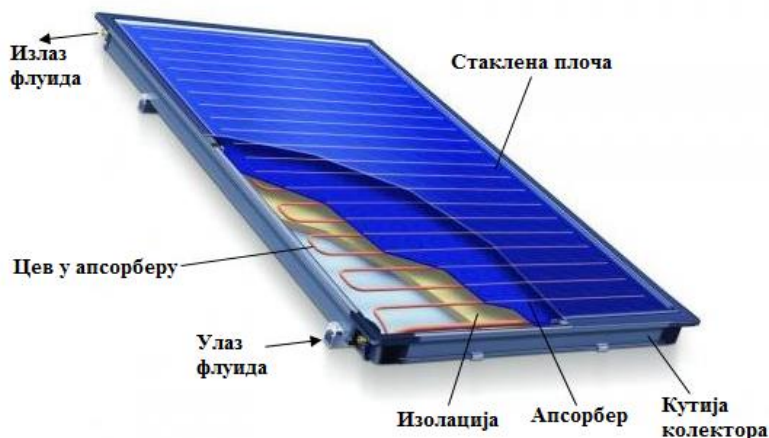
Равани застакљени соларни колектори су најзаступљенији тип колектора у употреби. Углавном се користе за ниске температуре, до 100 °C, мада неки нови модели са вакуумом могу да постигну и веће вредности. Код напредних и специјалних класичних колектора, радне температуре могу износити и до 200 °C [10].

Равни застакљени колектори који се данас користе су различитих дизајна, и праве се од различитих материјала. Намена им је углавном за грејање флуида као што су вода или вода са антифризом као адитивом. Њихов главни задатак је да прикупе што више сунчеве енергије. Колектори такође треба да имају дуг и ефикасан животни век, упркос неповољним ефектима УВ зрачења Сунца, корозије и зачепљења (због киселости, алкалности или тврдоће у течностима за пренос топлоте), замрзавање воде или депозиције прашине или влаге на стаклу, и на крају лома стакла због термичког ширења, града, вандализма или других узрока. Ови узроци могу бити сведени на минимум употребом каљеног стакла.

Равни колектори су обично фиксирани и не захтевају праћење Сунца. Оптимални угао нагиба колектора је једнак географској ширини локације са варијацијом угла 10-15 ° мање или више у зависности од начина примене [10].

Са слике 2 може се видети да раван застакљени соларни колектор чине следећи елементи:

- кутија колектора,
- стаклена плоча,
- апсорбер,
- цеви у апсорберу (са улазом и излазом),
- изолација.



Слика 2. Раван застакљен соларни колектор [11]

Застакљивање

Стакло има широку примену за глазирање соларних колектора, јер може пропустити до 90 % соларног зрачења. Застакљивање се обично остварује са једним или више слојева стакла или других дијатермичких материјала. У ову сврху могу да се користе и пластични филмови, с тим што је примена пластике ограничена у погледу температуре, због њених структурних и димензионалних промена. Антирефлектујући премази и површинска заштита такође значајно унапређује пренос топлоте. Ефекат прљавштине и прашине на колекторском стаклу је веома мали (сами се чисте атмосферским падавинама) и обично одговара преносу 2-4 % од своје максималне вредности.

Апсорбер или апсорпциона плоча

Апсорбер је плоча на којој су цеви или канали којима се креће радни флуид. Плоче такође могу бити интегрисане са цевима. Апсорпциона плоча апсорбује велики део зрачења које пролази кроз стакло. Апсорпциона моћ колектора зависи од природе и боје премаза и од угла нагиба. Обично се користи црна боја, али постоје и премази других боја који се користе из естетских разлога. Површина апсорбера се производи са високом моћи апсорпције соларног зрачења и ниском емисивношћу таласа дугих таласних дужина. Најчешће коришћени материјали за апсорпционе плоче су бакар, алуминијум и нерђајући челик.

Заглавље

Омогућава проток и пражњење радног флуида.

Цеви или канали

Воде усмеравају радни флуид који са собом носи топлоту од улаза до излаза. Канали морају бити интегрисани са плочом или чврсто везани за њу.

Изолација

Изолација служи са смањење губитака топлоте са задње и бочне стране колектора. За колекторе који раде на вишим температурама обично се користи изолација од минералне или стаклене вуне, јер је она постојана у таквим условима. На нижим температурама могу се користити компактнији изолациони материјали (стиропор). Компактнији изолациони

материјали су знатно отпорнији на влагу од минералне вуне. Најчешће се користи комбинација ове две врсте изолације, при чему се према апсорберској плочи поставља минерална вуна, а до доњег дела кутије полистирен. Уобичајене дебљине се крећу од 40-60mm укупне изолације.

Кућиште

Обједињује све компоненте и штити их од прашине, влаге и других спољних утицаја. Ради се углавном, о нерђајућем челику и алуминијумским легурама, које имају задовољавајућу чврстину, а малу масу и добру отпорност према корозији. Пластични материјали су јефтинији од алуминијума али постоји велики проблем са њиховом трајношћу и постојаношћу карактеристика на вишим температурама и под разним метеоролошким утицајима, нарочито ултравиолетним зрачењем.

Принцип рада

Сунчево зрачење које пада на колектор, пролази својим највећим делом кроз стаклену плочу и апсорбује се, највећим делом, на површини апсорбера. Провођењем кроз апсорбер и конвекцијом у интегрисаним цевима (или каналима) вода преузима топлотну енергију, на одговарајућем температурском нивоу. Изолација не належе са доње стране на плочу апсорбера, већ постоји додатни изолациони ваздушни слој између њих. Природном, или принудном, циркулацијом вода односи апсорбовану количину топлоте и одржава радну температуру колектора, наравно у условима стационарног зрачења [10].

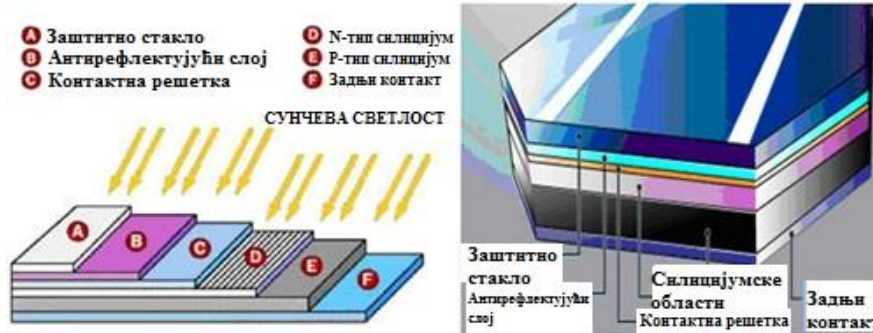
3.2 ФОТОНАПОНСКЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ

Фотонапонска технологија (*ФН или PV технологија*) представља један од потенцијално значајних обновљивих извора енергије. Термин фотонапонски (*photovoltaic – PV*) први пут је употребљен крајем 19. века, а настао је спајањем речи *photo* (грч. *светло*) и волт (по *Александру Волту*). Принцип рада фотонапонских ћелија заснива се на претварању Сунчеве енергије зрачења у електричну енергију путем фотонапонског ефекта. Конверзија се одвија директним путем [12].

Основу ФН технологије представљају ћелије које конвертују Сунчево зрачење у електрицитет. У унутрашњости сваке ћелије постоје слојеви полупроводничког материјала. Светлост која падне на површину ћелије ствара електрично поље између слојева и изазива проток наелектрисања. Интезитет светла се одређује количином електрицитета коју генерише ћелија. Спајањем ФН ћелија добијају се модули а повезивањем фотонапонских модула настају фотонапонски системи.

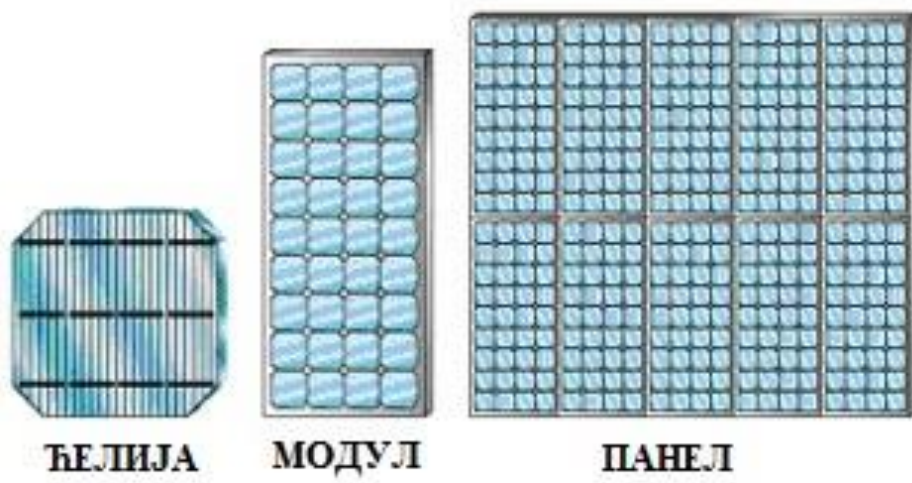
Некада се соларна фотонапонска технологија користила углавном у свемирским програмима или на удаљеним локацијама које нису биле повезане на дистрибутивну електро-мрежу. Последњих 30 година развој ФН технологије је веома убрзан, тако да она данас има примену у многим сферама. У 2000. години укупни инсталирани светски капацитети фотонапонских технологија премашили су 1000 MW, а у развијеним земљама је било преко милион домаћинстава која су користила електричну енергију добијену фотонапонском конверзијом [12].

ФН или соларне ћелије се израђују из више слојева. Горњи слој је заштитно стакло тј. SiO_2 , који штити ћелију од атмосферских и физичких оштећења. Испод је антирефлектујући слој који смањује рефлекцију светлости и обезбеђује да што више енергије доспе до полупроводника (служи за повећање степена искоришћења соларне ћелије). Затим се налази систем транспарентних електрода. Оне остварују контакт полипровоника са p - n спојем у коме се врши сакупљање фотона Сунчеве светлости. Са доње стране је метализација која има добру отпорност на воду и корозију – задњи контакт. Тако израђена ФН ћелија поставља се у алуминијумски оквир чиме се постиже робусност и могућност практичног и једноставног постављања на разне површине [12]. На слици 3 је приказан попречни пресек соларне ћелије.



Слика 3. Попречни пресек соларне ћелије [12]

Фотонапонска ћелија је основни градивни блок фотонапонског система. Индивидуалне ФН ћелије су обично малих димензија (1-15 cm) и у просеку производе 1-2 W. Будући да је излазна снага ћелије премала, ћелије се повезују у фотонапонски модул како би се остварила адекватна излазна снага. Фотонапонски модули се могу даље повезати како би обликовали ФН панеле [12]. Модули се повезују редно или паралелно. Соларни модули се производе у широком опсегу снага од 1 W до 170 W. На пример, модул снаге 170 W има димензије од 790x1600 mm (слика 4).



Слика 4. Поступак монтаже ФН ћелија у ФН модул и ФН панел [12]

Фотонапонска технологија представља технологију са највећим годишњим растом производње – преко 40 %, у поређењу са свим до сада развијеним технологијама.

Ефикасност соларних ћелија је један од важних параметара који има за циљ да одржи ову технологију на тржишту. Тренутно, обиман истраживачки рад се спроводи са циљем побољшања карактеристика соларних ћелија за комерцијалну употребу.

3.2.1 ВРСТА И МАТЕРИЈАЛИ ФОТОНАПОНСКИХ ТЕХНОЛОГИЈА

Прве соларне ћелије су развијене 1950. године, које су служиле за потребе свемирске индустрије, и то су биле силицијумске соларне ћелије са ефикасношћу 6-10 %. Силицијум је водећи материјал у технологији фотонапонских соларних ћелија због своје високе ефикасности. Стандардне силицијумске фотонапонске ћелије су дебљине реда 200-500 μm . Други тип су фотонапонске ћелије направљене од танкослојног материјала, филмова, дебљине од неколико микрона реда 1-10 μm . Ове ћелије су једноставније за производњу. За њихову израду најчешће се користе аморфни силицијум, поликристални материјали, кадмијум-телурид (CdTe) и други [12].

Последње две деценије су развијене фотонапонске ћелије ткз. "треће генерације". Фотонапонске ћелије су подељене у три велике групе.

I група – Силицијумске фотонапонске ћелије:

- ФН ћелије од кристалног силицијума:
 - Монокристалне силицијумске ћелије ($mc\text{-Si}$),
 - Поликристалне силицијумске ћелије ($pc\text{-Si}$).
- ФН ћелије од аморфног силицијума ($a\text{-Si}$),
- Хибридне соларне ћелије.

II група – Халкогене фотонапонске ћелије (несилицијумске технологије):

- ФН ћелије од кадмијум-телурида (CdTe) и кадмијум-сулфида (CdS),
- CIGS/CIS ФН ћелија типа бакар/индијум/галијум/селенид, бакар/индијум/селенид,
- ФН ћелија са фотоосетљивим пигментима ($DSSC$).

III група – Фотонапонске ћелије треће генерације:

- Наноцеви ($Nanotubes\text{-CNT}$),
- Квантне тачке ($quantum\ dots\text{-QDs}$),
- НС соларне ћелије ($hot\ carrier$).

3.2.2 МРЕЖНО СПОЈЕНИ ФН СИСТЕМИ (ON-GRID)

Код мрежно повезаних ФН система, системи фотонапонских модула су повезани на локалну мрежу електричне енергије. То значи да током дана, електрична енергија коју генерише ФН систем може одмах да се користи, или може бити продата електро-мрежи као вишак (што је случај код домаћих-кућних система где људи током дана не бораве у објектима становања). У вечерњим сатима, када соларни систем није у могућности да обезбеди целокупну потребну количину електричне енергије, она може да се "врати" из мреже. Уствари, мрежа се понаша као енергетски систем за складиштење, што значи да ФН систем не треба да укључује батерије са складиштење електричне енергије [15].

Основни делови мрежно спојеног ФН система су фотонапонски модули, фотонапонски инвертор, монтажна подконструкција, затим прикључно мерни ормар са заштитном и инсталираном опремом (слика 5).



Слика 5. Мрежно повезани фотонапонски систем [15]

Фотонапонски модули претварају Сунчеву енергију у једносмерну струју, а фотонапонски измењивач (инвертор) прилагођава тако произведену енергију у облик у којем се може предати у јавну електроенергетску мрежу.

Фотонапонски измењивач (инвертор) се најчешће налази у згради у затвореном простору, иако постоје и измењивачи за спољно уграђивање, при чему треба пазити да нису директно изложени Сунчевом зрачењу. Измењивачи производе квалитетну електричну енергију одговарајућег напона и погодни су за мрежне фотонапонске системе. Мрежни измењивачи раде као и сваки други измењивачи, с том разликом да мрежни измењивачи морају осигурати да ће напон који испоручују бити у фази с мрежним напоном [15].

Када се изгради *On-grid* соларни систем неопходно је уградити неколико додатних уређаја. Неопходан је прекидач и контролер система који ће услед нестанка струје наш систем укинути са мреже безбедно и према правилима, неугрожавајући живот радника на електричној мрежи. Потребни су акумулатори који ће премостити сате када нема Сунчеве светлости. Потребан је много мањи број акумулатора него у систему који не може да сарађује са мрежом.

Снага *On-grid* система креће се од неколико стотина W до неколико MW снаге. За домаћинства најчешће се изграђују *On-grid* ФН системи од 3-8 kW снаге. Употреба електричне енергије у домаћинствима, са овим системима, се може у потпуности задовољити. Малим и средњим предузећима препоручују се *On-grid* соларни системи од 10-50 kW снаге, а великим потрошачима, погонима, великим робним кућама соларни системи капацитета већих од 50 kW [15].

На основу досадашњег искуства код *On-grid* соларних система на подручју Србије и околних земаља, соларни систем снаге 1 kW годишње генеришу од 1150-1250 kWh електричне енергије [15].

3.2.3 ЕФИКАСНОСТ ФОТОНАПОНСКЕ ЋЕЛИЈЕ

Ефикасност фотонапонских ћелија је један од важних параметара који има за циљ да одржи ову технологију на тржишту. Познато је да на ефикасност фотонапонских ћелија утиче више фактора, од којих су главни:

- температура соларне ћелије,
- ефекат прашине на соларним ћелијама,
- утицај појаве топлотног споја (*Hot Spot-a*),
- соларно зрачење.

Утицај температуре је знатно већи код монокристалних силицијумских ћелија него код поликристалних силицијумских ћелија и ћелија танког филма. Пад ефикасности од 15% и 5 % јавља се код ћелија од монокристалног силицијума и ћелија танког филма.

Прашина такође има негативан утицај на ефикасност PV конверзије услед блокирања долазећег зрачења на ФН модуле. Излазна снага опада драстично са порастом густине прашине и порастом брзине ветра. Прашина у ваздуху смањује струју кратког споја и утиче на ефикасност ФН модула, која опада линеарно са порастом густине наслага прашине. Са густином наслага прашине од 0-22 g/m², одговарајућа редукција излазне ефикасности ФН модула се креће од 0-26 % [16].

Појава топлотног споја (*Hot Spot-a*) се јавља када је соларна ћелија осенчена, односно соларна ћелија се загрева до екстремних температура, и такве високе температуре доводе до трајног оштећења соларне ћелије. Под нормалним условима рада соларна ћелија генерише електричну енергију. Насупрот томе, осенчена соларна ћелија не генерише електричну енергију али кроз њу пролази струја из других ћелија. Струја из других ћелија пролази кроз затамњену ћелију која се у том случају понаша као отпорник, долази до повећања температуре ћелије која на крају доводи до оштећења исте. Појава топлотног споја (*Hot Spot-a*) је веома честа, посебно у урбаним срединама. Да би се спречила појава топлотног споја (*Hot Spot-a*) у свим стандардним модулима, користе се преносне диоде.

Повећање соларног зрачења има за последицу пораст ефикасности ФН модула услед све већег броја фотона који падају на модул. Формира се велики број електронских парова услед повећања зрачења што резултује ставарањем електричне енергије. На годишњој

основи, најосетљивији материјал је аморфни силицијум. Процењено је да се фракција аморфног силицијума креће од +6 % до -9 %, респективно на годишњем просеку [16].

Што се тиче самих вредности ефикасности, силицијумска технологија је водећа у производњи соларних ћелија због своје велике ефикасности.

3.3.4 ФН ТЕХНОЛОГИЈА НА СВЕТСКОМ ТРЖИШТУ

Од 1990. године ФН индустрија показује константан годишњи раст од преко 20 %, а од 1997. преко 33 % годишње. У 2000. години, укупни инсталирани капацитети у свету премашили су 1 GW, а од тада па до данас тренд раста превазилази 40 % на годишњем нивоу [16]. У земљама у развоју више од милион домаћинстава користи електричну енергију произведену помоћу фотонапонских система.

Све већи број компанија и организација активно учествује у промоцији, развоју и производњи фотонапонских система. Компаније које производе и дистрибуирају електричну енергију у сарадњи са произвођачима соларних уређаја, градским организацијама и фондовима планирају и реализују све веће пројекте стичући неопходно искуство, мобилишући пажњу јавности, а при томе снижавајући цену електричне енергије. Тржишна вредност ФН индустрије 2010. године износила је 10 милијарди долара. Представници ФН индустрије су неке од водећих светских компанија као што су *Sharp*, *Mitsubishi*, *Sanyo*, *BP*, *Shell*, *Kyocer-a*, итд. Крајем 2009. године укупни инсталирани фотонапонски капацитети широм света износе 15 GW, што за скоро 50 % премашује предвиђања дата почетком 21. века [17].



Слика 6. Годишња производња фотонапонских система у свету [17]

Примена ФН система је прогресивна и ова технологија своја највећа тржишта има углавном у САД, Јапану, Европској унији (највише Немачка) и Кини. Годишња производња ФН модула у САД, Јапану, Европској унији и Кини у 2009. години је била 595 MW, 1,5 GW, 1,93 GW и 5,19 GW, респективно. 2010. године. Укупни инсталирани светски капацитети су

били преко 24 GW, а током 2015. Ниво инсталираних капацитета је био око 40 GW (слика 6) [17].

У периоду од 2000. до 2005. године остварен је релативни пораст од 50 % годишње у броју умрежених соларних ФН електрана. Штавише, студије Европске фотонапонске индустрије асоцијација (EPIA) и организација *Greenpeace* предвиђају да ће половина од 207 GW капацитета у 2020. години бити повезани на електро-дистрибутивну мрежу од којих ће 80% бити инсталирани у резиденцијалним зградама [17].

Циљ Европске уније је био да до 2010. године укупни капацитет инсталираних ФН система достигне 3 GW, али је тај циљ достигнут већ 2006. године тако да су укупни капацитети на крају 2008. године износили 9,5 GW, што је преко три пута више него што је планирано. Иако је EPIA² (*European Photovoltaic Industry Association*) предвидела да би се овај циљ могао остварити под условом да се цена модула смање испод 2 €/W, што би условило да цене комплетних ФН система буду између 2,75-3 €/W [17].

Тренутно цене ФН модула износе око 2,5–3,5 €/W, а комплетни системи се инсталирају по цени од 4-6 €/W, у зависности од типа и величине система. Уз типичну годишњу произведену снагу између 750 kWh и 1500 kWh по инсталираном kW, добија се цена соларне електричне енергије од 20-40 ¢€/kWh (еуроценти по коловат-часу). Константан пораст производних капацитета уз сталан напредак истраживања и развоја омогућио је поуздано предвиђање цене ниже од 2 €/W у 2010. години [18]. Очекује се да цена најјефтинијих ФН система који се састоје од танкослојних ФН модула (*a-Si, CdTe ili CIGS технологија*) износи око 1,7 €/W, што би значило да је цена фотонапонски генерисане струје мања од 10 ¢€/kWh (еуроценти по коловат-часу). Тиме би се цена струје добијене из ФН инсталација изједначила или пала испод цене електричне енергије која се добија из традиционалних електрана.

Државе Европске уније задале су себи амбициозан циљ да повећају удео обновљивих извора енергије са 8,5 % у 2005. години на 20 % целокупне потрошње енергије у Европској унији до 2020. године. Ово повећање удела обновљивих извора енергије је нужни допринос у борби са глобалним климатским променама и велики искорак према већој енергетској независности Уније, што је такође врло важан дугорочни циљ држава чланица Европске уније [18].

Јапанско Министарство за економију, трговину и индустрију (*METI*), планира да инсталира фотонапонске системе снаге скоро 5 GW до 2020. године, а предвиђа се да до 2030. године ови капацитети порасту на 82,8 GW. Очекује се да се у току истог периода цена система снаге 3 kW смањи са 3 \$/W на 1,5 \$/W [18].

² EPIA - Европска асоцијација фотонапонске индустрије

3.3.5 СТАЊЕ ФН ТЕХНОЛОГИЈЕ У СРБИЈИ

Развој и коришћење ФН технологије у ЕУ могу да представљају подстицај унутар кога би Србија могла да искористи своје климатске ресурсе, али и истраживачке и индустријске потенцијале за што бржу адаптацију европским стандардима и прикључак развојним плановима и програмима. Сличан приступ би требало усвојити и за остале обновљиве изворе енергије.

Србија ће морати у току 21. века да примени мудру енергетску стратегију која ће обухватити неколико иновативних мера ефикасног коришћења енергије, брз пораст обновљивих енергетских капацитета и коришћење фосилних горива уз придржавање високих еколошких норми у циљу очувања природне средине и климатских услова.

Допринос фотонапонским технологијама ће константно расти, како у урбаним тако и најудаљенијим местима у Србији. Инсталациони потенцијали за ФН системе до 2012. године износи око 20 MW [19]. Планови и стратегија за развој ФН технологије требало би да буду путоказ домаћој научној и политичкој јавности које све активности у истраживачком, технолошком, корисничком и политичком домену треба да предузме у циљу што бржег и ефикаснијег интегрисања у европске програме. С друге стране, због недовољне енергетске ефикасности у Србији, изузетно неповољне економске ситуације те нестабилних цена фосилних горива, али и честих повећања цена електричне енергије, требало би што пре почети са применом ФН технологије уз стварање одговарајуће стратегије развоја у складу са европским плановима, наравно колико то тренутне економске могућности дозвољавају.

Постоји неколико веома успешних пројеката које финансира Министарство за науку и технолошки развој (*MNTR*), који односе се на истраживања у области нано-материјала. Ови пројекти су у индиректној вези са ФН технологијом, и могли би лако да се уклопе или креирају сарадњу са европским пројектима везаним са ФН истраживања и развој, али и да се резултати истраживања искористе за повезивање домаћих развојних центара са европском индустријом. Не треба заборавити да је један од европских циљева освајање огромног тржишта у Азији, Африци и Јужној Америци, и чак и мали удео Србије у оквиру кооперације са европским индустријским центрима би значио много и за домаћу индустрију и за економију. Требало би посебно обратити пажњу на пројекте технолошког развоја који се односе на повезивање ФН система са дистрибутивном мрежом у светлу велике експанзије овог већ развијеног начина производње електричне енергије у Европи, и то у земљама са мање повољним климатским условима од Србије [19].

Треба подстаћи научне институције да организују научне пројекте чији програм обухвата основна и примењена истраживања чији се резултати могу користити у ФН технологији. Ово се првенствено односи на пројекте који имају за циљ ефикасно коришћење ФН система и њихову интеграцију у дистрибутивни електро-енергетски систем.

4. СИМУЛАЦИОНИ СОФТВЕРИ

За симулацију моделиране куће са инсталираним соларним системима за генерисање енергије, у овом раду је коришћен софтверски пакет *EnergyPlus*. *EnergyPlus* софтвер је коришћен за симулацију (верзија 7.1), док је *Open Studio plug-in* у оквиру *Google SketchUp*-а коришћен за виртуелни дизајн куће.

4.1 СИМУЛАЦИОНИ СОФТВЕР ENERGY PLUS

Развој софтвера *EnergyPlus* је започет 1996. године, а заснован је на основама два програма: *DOE-2* и *BLAST* који су у то време били у широкој примени. *BLAST* (скраћеница од енгл. *Building Loads Analysis and System Thermodynamics* – Анализа оптерећења и термодинамичких система зграде) и *DOE-2* су развијани и коришћени касних 1970-их и раних 1980-их година као алати за симулацију енергетских оптерећења зграда. Овај софтвер је развијан у САД а користили су га инжењери пројектанти и архитекте да би правилно дизајнирали опрему за грејање, климатизацију и вентилацију (*ГКВ*, енгл. *HVAC*), за израду студија животног циклуса зграда, оптимизацију енергетских перформанси итд [20].

Након енергетске кризе раних седамдесетих година прошлог века, и препознавања зграде као главног потрошача енергије у америчком друштву, почело се са решавањем наведених проблема коришћењем *BLAST* и *DOE-2* програма, са два потпуно различита аспекта. Оба програма су имала своје предности али и недостатке. Затим је, препознајући добре стране оба програма, уследио развој јединственог програмског решења и тако настаје *EnergyPlus*. Попут својих матичних програма, и *EnergyPlus* представља програм за енергетску анализу и симулацију топлотног оптерећења зграда, тј. за симулацију енергетског понашања зграда као и симулацију употребе обновљивих извора енергије у зградама. На основу описа зграде од стране корисника са аспекта физике, примењених механичких система итд. *EnergyPlus* израчунава потребе за грејањем и потребе за хлађењем неопходне за одржавање и контролу жељене температуре, омогућава правилно пројектовање система за *ГКВ*, одређује потрошњу примарне енергије, и у стању је да симулира бројна друга енергетска понашања зграде, у складу са понашањем у реалном окружењу, тј. у реалним експлоатационим условима.

Програм *EnergyPlus* је скуп бројних програмских модула који раде заједно, у циљу израчунавања енергетских потреба зграде, користећи при томе различите системе и енергетске изворе. То се постиже симулацијама понашања зграде и пратећих енергетских система када су они изложени различитим еколошким и радним условима. Основа симулације је модел зграде заснован на основним принципима топлотног биланса. Ниједан програм није у могућности да сам изврши сваку могућу симулацију реалних ситуација. Тако и *EnergyPlus* даје могућност пројектовања система за грејање, хлађење и климатизацију директно или индиректно кроз линкове ка другим програмима, а све у циљу прорачуна топлотног оптерећења и/или потрошње енергије током једног дана или знатно дужих периода (и до једне године).

Валидност софтвера је испитивана више пута, нарочито су поређени добијени резултати са поставкама *ASHRAE*³ стандарда. Свакако најбитнија потврда валидности је добијена на тестовима који су вршени по процедурама *IEA HVAC BESTTEST E100-E200* [20].

EnergyPlus користи податке о времену за локацију зграде која се симулира. Временски подаци постоје за преко 2000 локација, и смештени су у посебним датотекама које *EnergyPlus* аутоматски читава.

4.2 GOOGLE SKETCH-UP СОФТВЕР СА OPEN STUDIO ДОДАТКОМ

SketchUp је бесплатан 3Д софтверски алат који се користи за виртуелно дизајнирање стамбених објеката. Он комбинује сет сопствених алата са системом интелигентног дизајна. Развила га је компанија *Last Software Boulder* из Колорада, САД, током 2000. године, а његови корисници су архитекте, дизајнери, градитељи, произвођачи и инжењери – другим речима људи који обликују физички свет.

Софтвер омогућава постављање модела зграде помоћу система реалних координата, омогућава површинске приказе и подржава постављање модела у *GoogleEarth* апликацији. Доступан је за бесплатно коришћење и веома лак за употребу. Постоје десетине видео туторијала као и опсежни помоћни центар (*Help Centre*) за заједницу корисника широм света [20].

OpenStudio је додатак софтверском пакету *GoogleSketchUp* којим се симулација енергетског понашања зграде у *EnergyPlus*-у повезује са 3Д окружењем *GoogleSketchUp*-а.

Овај софтвер дозвољава кориснику да креира улазни фајл *EnergyPlus*-а преко стандардних алата *SketchUp*-а, додајући при томе што више детаља и информација потребних за конструкцију зона и површина зграде. Он омогућава једноставно креирање геометрије зграде од самог почетка: формирање зона (просторија), конструкција зидова кроз које се врши пренос топлоте, цртање прозора и врата, цртање засенчених површина итд. Корисници програма могу сачувати све информације у улазној датотеци *EnergyPlus*-а. У жељеном тренутку може се покренути симулација креиране зграде у *EnergyPlus*-у и кроз добијене резултате симулације уочити евентуалне грешке и пропусти у дизајну.

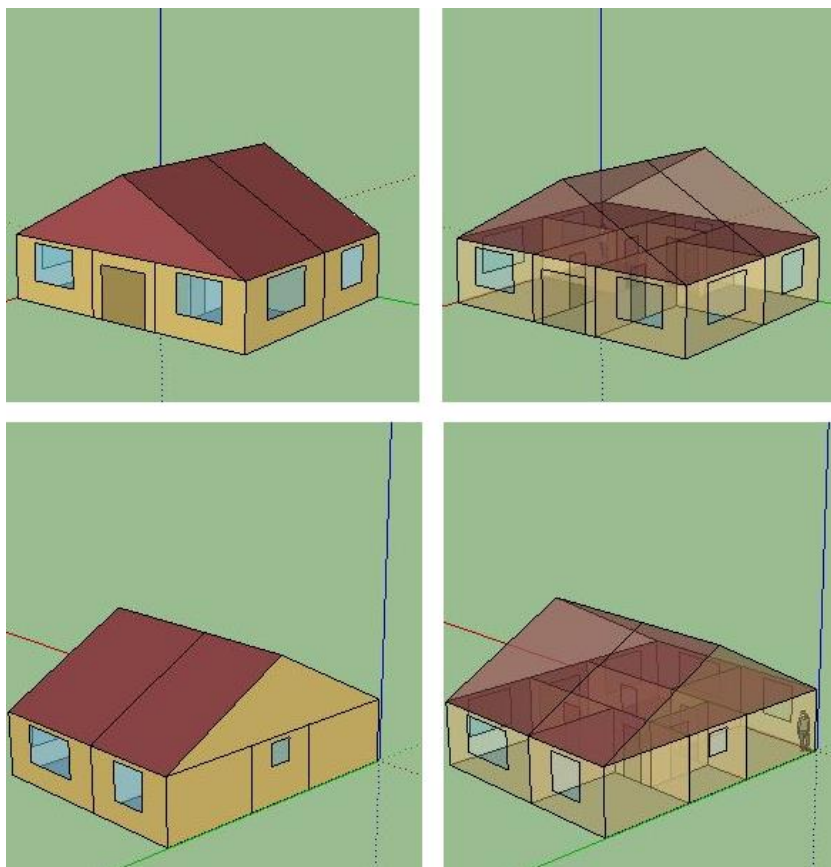
³ *ASHRAE* стандард је глобално удружење које тежи унапређењу система за грејање, вентилацију, климатизацију и хлађење.

5. АНАЛИЗА СТАМБЕНОГ ОБЈЕКТА

Ово поглавље обухвата архитектонско решење стамбеног објекта (куће), потрошњу електричне енергије и топле воде у стамбеном објекту, опис грејног система који се користи у анализираном објекту, као и опис соларних система за генерисање енергије са њиховим главним карактеристикама, који су постављени на крову анализираног објекта. На крају поглавља су дати и метеоролошки услови локације куће.

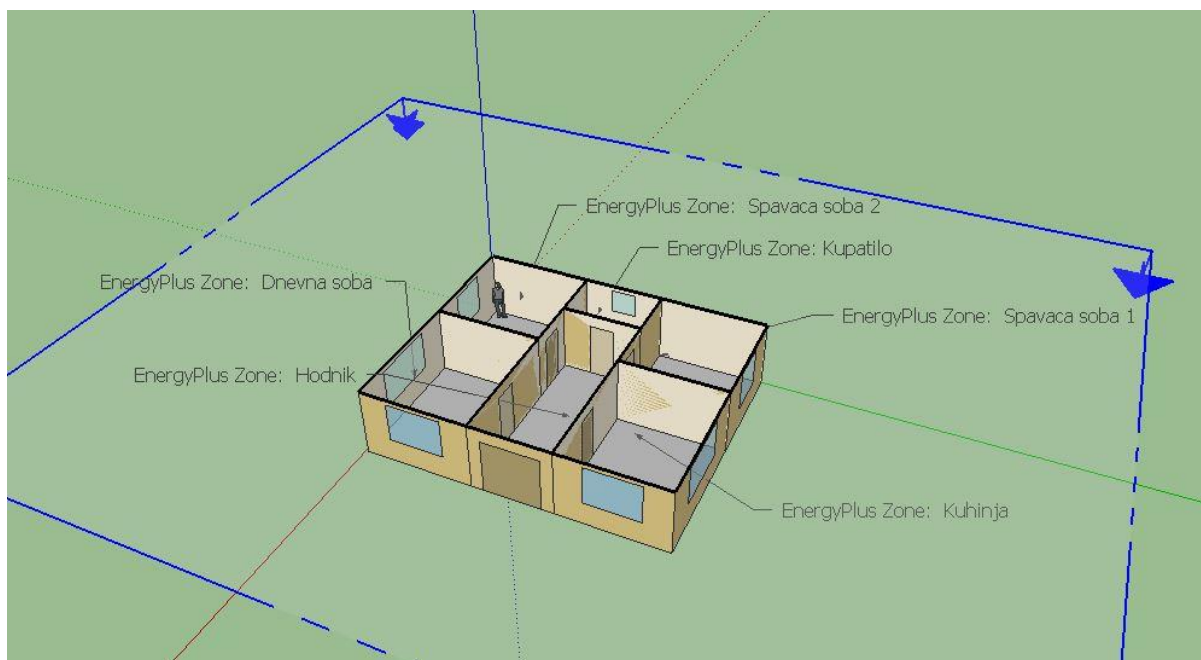
5.1 АРХИТЕКТОНСКО РЕШЕЊЕ СТАМБЕНОГ ОБЈЕКТА

Стамбени објекат односно кућа која је анализирана у овом дипломском раду је намењена за четворочлану породицу. Кућа има кров на две воде, који је оријентисан ка северу и југу, на јужној страни крова су инсталирани соларни системи. Модел куће је дан на слици 7.



Слика 7. Модел анализиране куће добијен софтвером Google SketchUp са додатком Open Studio

Стамбени објекат (кућа) садржи приземље у коме се налази 6 зона које се греју зими (слика 8). На приземљу се налази дневна соба, кухиња, две спаваће собе, ходник и купатило. Кућа није окружена објектима који могу да створе засенчење површини соларних система.



Слика 8. Пресек приземља у Google SketchUp-у

Укупна површина куће износи 99 m^2 , сви зидови имају површину 104 m^2 и све просторије имају запремину од $257,4 \text{ m}^3$.

Кућа је изолована стиропором дебљине 15 cm , у референтном случају. Прозори су двоструко застакљени (дебљина стакла 3 mm), са укупном површином $18,51 \text{ m}^2$, а њихов коефицијент пролаза топлоте износи $U = 2,72 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Спољашњи зидови се састоје од више слојева: 100 mm цигле, 200 mm тешки бетон, изолациони слој (15 cm за референтни случај), ваздушни простор и 19 mm гипс плоча. Вредност коефицијента пролаза топлоте спољашњег зида варира у опсегу $U = 0,177 - 1,570 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. За случај референтне куће са изолационим слојем од 15 cm , коефицијент пролаза топлоте износи $U = 0,177 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. У анализама је разматрана и кућа без изолације, као и кућа са дебљином изолационог слоја од 5 cm .

Унутрашњи зидови се такође састоје из више слојева: 19 mm гипс плоча, ваздушни простор и 19 mm гипс плоча. Вредност коефицијента пролаза топлоте унутрашњих зидова износи $U=0,490 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Плафон је такође вишеслојан, и састоји се од слоја 100 mm лаког бетона, ваздушног простора и акустичне плоче. Вредност коефицијента пролаза топлоте плафона износи $U=0,490 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Подна конструкција састоји се од слојева: акустичне плоче, ваздушни слој и 100 mm лаки бетон. Вредност коефицијента пролаза топлоте подне конструкције износи $U=0,490 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

5.2 АНАЛИЗИРАНИ СИСТЕМ ГРЕЈАЊА

Без обзира на врсту грејног система који је примењен у анализираној кући, распоредом у програму *EnergyPlus* подешено је време његовог рада током радног дана од 7 h до 9 h пре подне и од 16 h до 21 h увече. Током викенда грејни систем ради непрекидно од 7 h до 21 h. У свим вршеним симулацијама, грејни системи су радили од 15. октобра до 15. априла следеће године, што је уобичајена пракса у Србији. Временски корак у свим симулацијама је био 15 min. Температуре у просторијама се регулише помоћу термостата и за време рада грејних система су подешене на 20 °C. Изузетак је купатило где је пројектна температура 22°C. У периоду током дана када грејни систем не ради (9-16 h), температура у просторијама куће је подешена на 15 °C.

Програм *EnergyPlus* има модул са систем конвективног електричног грејача. Овај модул обухвата примену електричних грејача у радијаторима. У већини случајева радијатори преносе значајну количину топлоте природном конвекцијом, док се извесна количина топлоте преноси зрачењем. Компонента пренете топлоте се занемарује и основна претпоставка је да се целокупни процес преноса топлоте одвија конвекцијом.

EnergyPlus претпоставља да се топлота шири равномерно кроз просторију и на тај начин се остварује топлотна равнотежа ваздуха у грејној зони, на основу које се израчунава средња температура ваздуха у просторији.

Модел конвективних електричних радијатора захтева јасан распоред рада. Поред распореда рада, неопходно је знати снагу електричног грејача и ефикасност целокупног радијатора.

При симулацијама ове врсте грејања, снага радијатора има вредности 5 kW и 8 kW у зависности од посматране просторије, а ефикасност 97 %.

Електрични грејач је намењен за загревање различитих система, од мањих као што су сушачи пешкира до радијатора у системима централног грејања. Конструкционо је решен тако да се лако уграђују у све врсте цевних, ливених, челичних, алуминијумских и панелних радијатора. Уређај се састоји од цевног грејача посебне конструкције и електронског терморегулатора са термичким осигурачем, који су смештени у пластично кућиште.

Предност коришћења овог система грејања су што не постоји опасност од пожара, не заузима додатни простор, има могућност fine регулације температуре у просторији и одржавање минималне температуре (као заштита од замрзавања).

У простору који се периодично користи може се користити за грејање једне просторије (један уређај – један радијатор) или повезивање више уређаја у систем за грејање целе куће. Најзначајнија предност је нижа цена уређаја него за било који други извор топлоте.

5.3 СИСТЕМИ ЗА ГЕНЕРИСАЊЕ ЕНЕРГИЈЕ У АНАЛИЗИРАНОЈ КУЋИ

Енергија код анализиране куће се генерише преко фотонапонског система и соларних колектора, који су постављени на јужном крову зграде.

Шематски приказ анализиране куће са инсталираним системима за генерисање енергије електричне и топлотне енергије дат је на слици 9.



Слика 9. Приказ куће са инсталираним системима за генерисање енергије

Карактеристике фотонапонског система

Фотонапонски систем инсталиран на крову куће, састоји се од фотонапонских панела. При симулацији куће са ФН панелом коришћен је Simple модел ФН панела ћелијске ефикасности 12 %, у референтном случају. Код примене овог модела, корисник има директан приступ вредности ћелијске ефикасности тако да може произвољно да је мења. У циљу генерисања што веће количине електричне енергије, вршене су симулације за различите вредности ћелијске ефикасности (12 %, 14 % и 16 %).

При анализи куће коришћене су поликристалне силицијумске ћелије (pc-Si). Ћелије су четвртастог облика које се слажу у ФН модуле, затим се модули слажу у ФН панел површине 28,17 m².

Карактеристике соларних колектора

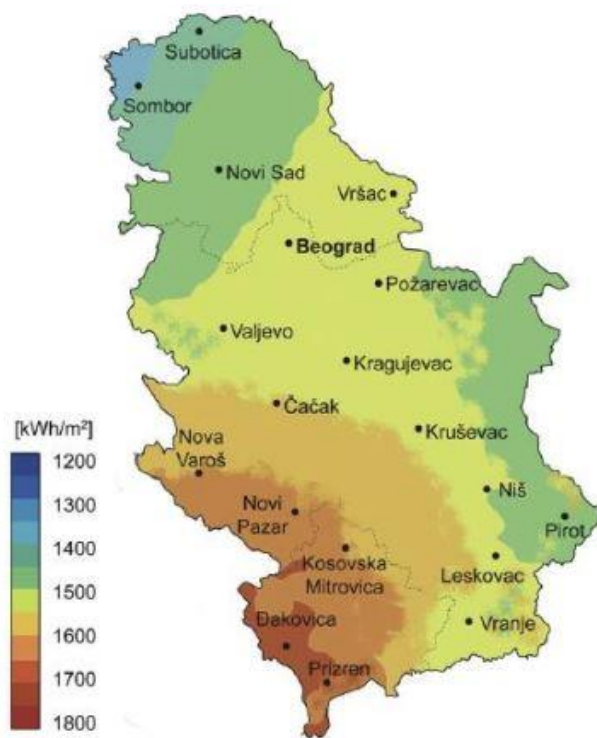
Соларни колектори који су инсталиран на крову куће су равани застакљени соларни колектори. При симулацији куће са равним застакљеним соларним колекторима коришћени су Ae – 32 моделу, који регулишу температуру топле воде у домаћинству (50 °C, 60 °C и 70 °C) у референтном случају 70°C. Површина ових колектора износе 6 m².

5.4 ЛОКАЦИЈА И МЕТЕОРОЛОШКИ ПОДАЦИ

Испитивана кућа је лоцирана у Крагујевцу, граду у централној Србији, држави на Балканском полуострву која спада у регион југоисточне Европе. Крагујевац има надморску висину 209 m. Налази се на 44° 22' северне географске ширине и 20° 56' источне географске дужине, са временском зоном GMT + 1.0 h. Град има континенталну климу са четири различита годишња доба. Лети су топла и влажна са температуром чак и до 37 °C. Зиме су хладне, са снегом и температурама нижим од -12 °C [21]. *EnergyPlus* при прорачунима користи климатске податке из сопствене базе са временским датотекама.

Локација објекта који се испитује је веома битна за прорачун потрошње енергије. Улазна датотека садржи параметре који омогућавају *EnergyPlus*-у да израчуна соларно зрачење са било који дан у години.

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 до 5,9 kWh/m² на северу до 6,6 kWh/m² на југу током јула месеца. Средња годишња вредност соларног зрачења у Србији износи између 1200 kWh/m² на северозападу до чак 1800 kWh/m² на југу Србије, док је у реону централне Србије, којој припада Крагујевац, ова вредност око 1550 kWh/m² [21]. Соларно зрачење не зависи само од географске ширине локације, већ у великој мери зависи од климатских услова и рељефа. Слика 10 представља мапу соларног зрачења у Србији.



Слика 10. Мапа средњих годишњих вредности соларног зрачења у Србији [21]

Јасно је да Србија има велики потенцијал у погледу искоришћења соларне енергије. Према претпоставкама о учешћу појединих врста обновљивих извора у укупном обновљивом енергетском потенцијалу Србије, соларна енергија има удео од 14% [21].

6. РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗА

Општа тежња истраживања у овом дипломском раду је анализа енергетског понашања зграде са инсталираним соларним системима, при чему је акценат на уштеди енергије. Разматрана кућа користи системе електричног грејања и соларне системе (ФН панеле и соларне колекторе) за генерисање енергије. На основу тога, потребне вредности ћелијске ефикасности ФН панела и температуре санитарне топле воде у колекторском систему, које треба инсталирати на јужној страни крова куће, дефинисане су са циљем генерисања што веће количине енергије. Генерисањем веће количине енергије смањује се укупна потрошња енергије у згради (кући) као и емисија гасова стаклене баште у атмосферу.

У даљем раду су дати резултати анализе различитих случајева ћелијске ефикасности фотонапонских панела и температуре санитарне топле воде у соларном систему, при чему је узета у обзир и дебљина изолације. На крају је приказана анализа најповољнијег могућег решења, као и поређење добијених резултата.

Кућа у неким периодима може имати већу производњу енергије од својих енергетских потреба. Тада се произведена енергије "продаје" електричној мрежи по тзв. "*feed-in*" тарифи. У резултатима истраживања приказана је и произведена енергија и купљена енергија из система електро-дистрибуције.

Стварна потрошња енергије у кући се добија тако што се од укупне потрошње електричне енергије одузме генерисана енергија, која се добија помоћу соларних система.

Сви резултати добијени симулацијом енергетског понашања моделиране куће са инсталираним соларним системима су приказани на годишњем нивоу.

6.1 АНАЛИЗА ПОТРОШЊЕ ЕНЕРГИЈЕ У КУЋИ У ЗАВИСНОСТИ ОД ДЕБЉИНЕ ИЗОЛАЦИОНОГ СЛОЈА

У овом делу истраживања извршена је варијација дебљине изолационог слоја у циљу израчунавања потрошње енергије у згради. Анализирана је зграда са ФН панелима хелијске ефикасности 12% и температуром топле воде у соларном систему од 70 °С. Разматрани случајеви зграде су:

- **Без изолације,**
- **Дебљина изолације 5 cm,**
- **Дебљина изолације 15 cm.**

У приложеном се види да је највећа потрошња електричне енергије у случају куће без изолације јер долази до великих губитака кроз омотач куће. Соларни системи генеришу исту количину енергије за сва три случаја (константна вредност: хелијске ефикасности ФН панела 12 % и температуре санитарне топле воде у соларном систему 70 °С). У табели 1 је дат детаљан приказ потрошње електричне енергије у кући, по ставкама, за сва три разматрана случаја.

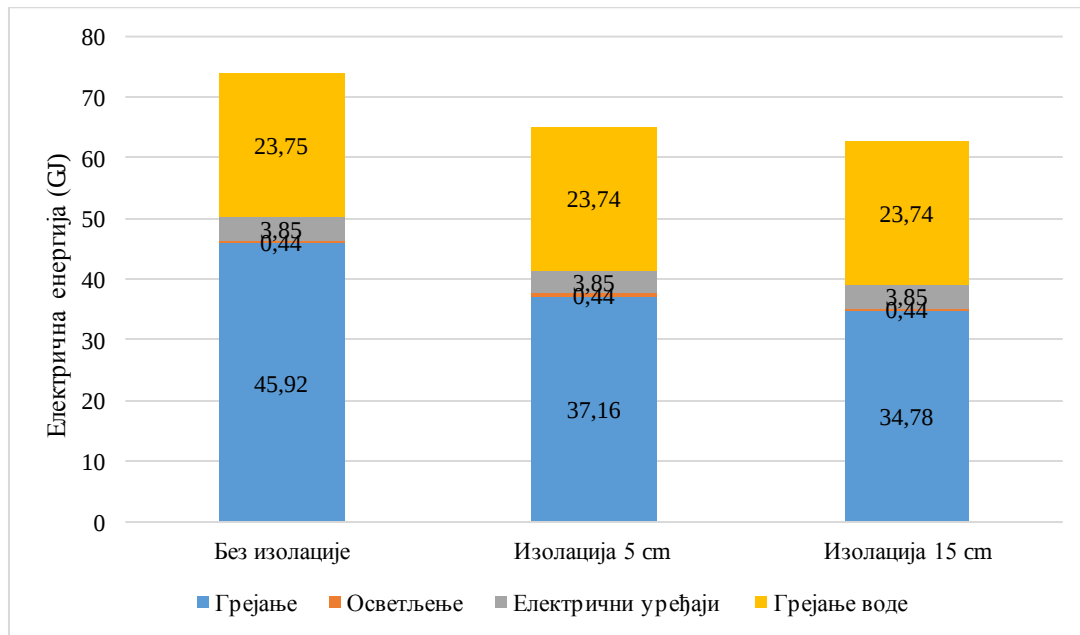
Табела 1. Детаљна годишња потрошња електричне енергије у кући за различите вредности дебљине изолације

	Без изолације	Изолација 5 cm	Изолација 15 cm
Грејање (GJ)	45,92	37,16	34,78
Осветљење (GJ)	0,44	0,44	0,44
Електрични уређаји (GJ)	3,85	3,85	3,85
Грејање воде (GJ)	23,75	23,75	23,75
Укупна потрошња енергије (GJ)	73,96	65,19	62,81

Количина електричне енергије која се троши на осветљење, грејање воде и електричне уређаје је иста у сва три случаја. Једина ставка која се разликује по количини електричне енергије за сва три случаја је електрично грејање. Наравно, она расте, као и укупна годишња потрошња електричне енергије, уколико дебљина изолационог слоја опада, што се може видети на слици 11. Наиме, уколико је дебљи изолациони слој, топлотни губици кроз омотач куће ће бити мањи, а самим тим и потрошња енергије за грејање.

Као референтни случај, посматрана је кућа са дебљином изолације 15 cm, хелијске ефикасности ФН панела 12 % и температура санитарне топле воде 70 °С чија је годишња потрошња енергије за грејање 34,78 GJ, осветљење 0,44 GJ, електричне уређаје 3,85 GJ и грејање воде 23,74 GJ. Укупна генерисана енергија у соларним системима је 18,88 GJ.

Уколико се на кућу постави дебљина изолационог слоја од 5 cm, укупна потрошња електричне енергије се повећава за 2,38 GJ, у односу на референтни случај (дебљина изолационог слоја 15 cm). Уколико би се разматрао случај без изолације, укупна електричне енергија би се повећала за 11,5 GJ.



Слика 11. Графички приказ годишње потрошње електричне енергије за различите вредности дебљине изолације

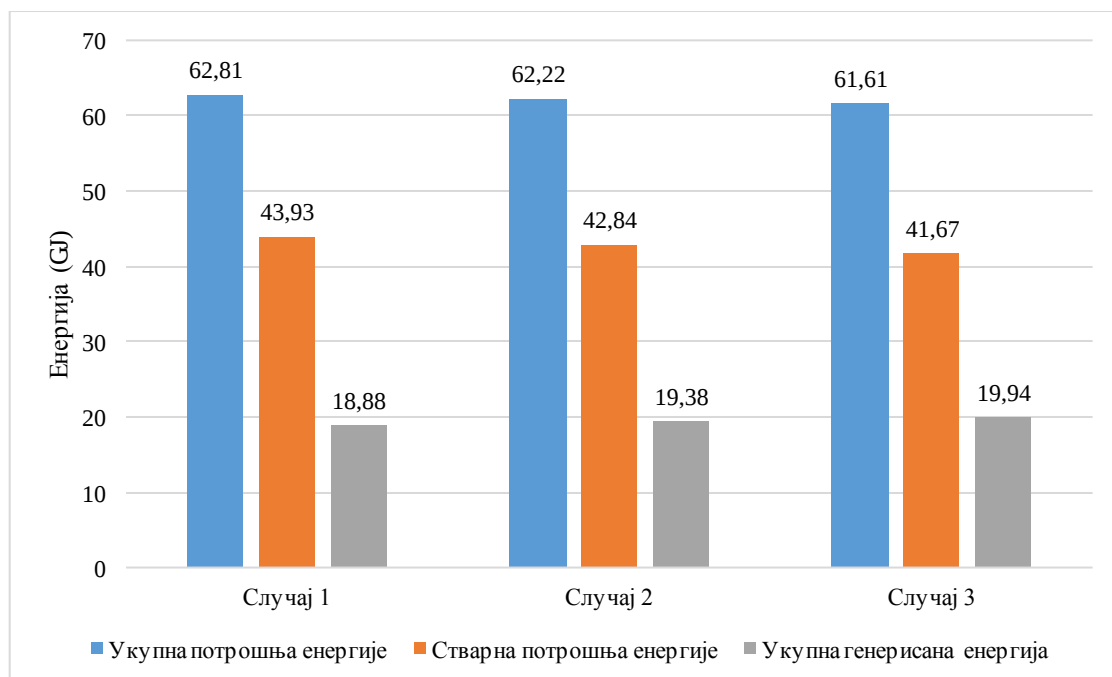
6.2 КУЋА СА ФН ПАНЕЛИМА ЕФИКАСНОСТИ 12 % И РАЗЛИЧИТОМ ТЕМПЕРАТУРОМ ТОПЛЕ ВОДЕ У СОЛАРНОМ СИСТЕМУ

У овим истраживањима варирана је температура топле воде у бојлеру (капацитет бојлера 200 л) у соларној инсталацији за грејање санитарне воде. У референтном случају, температура је износила 70 °С, а анализирани су случајеви када је она износила 50 °С и 60°С. Разматрани случајеви су:

- **Случај 1** – изолација 15 см, хелијска ефикасност ФН панела 12 % и температура санитарне топле воде 70 °С у соларном систему,
- **Случај 2** - изолација 15 см, хелијска ефикасност ФН панела 12 % и температура санитарне топле воде 60 °С у соларном систему,
- **Случај 3** – изолација 15 см, хелијска ефикасност ФН панела 12 % и температура санитарне топле воде 50 °С у соларном систему.

Услед различитих захтевних температура топле воде, дошло је до промене потрошње електричне енергије, која се односила на удео електричне енергије за рад електричних уређаја и за потребе грејање воде.

На слици 12 су приказане вредности укупне потрошње енергије, стварне потрошње енергије и укупне генерисане енергије. Уштеда енергије у процентима је 30,05 % за случају 1, 31,1 % за случај 2 и 32,4 % за случај 3.



Слика 12. Графички приказ годишње укупне потрошње, стварне потрошње и генерисане енергије, за сва три случаја

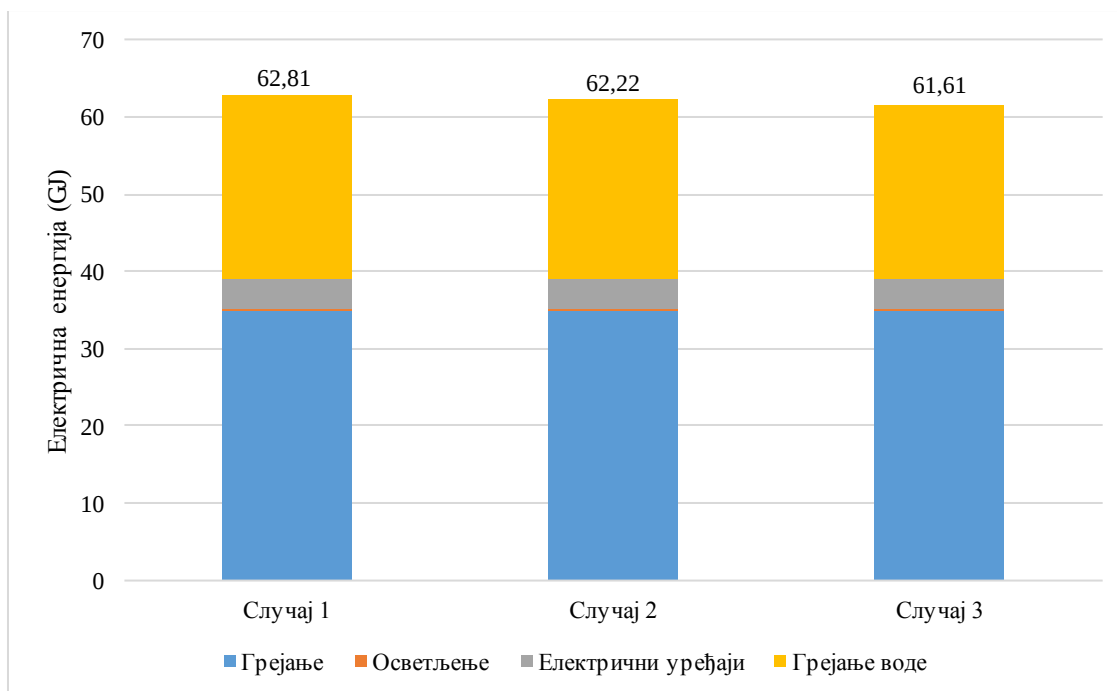
У табели 2 дат је приказ потрошње електричне енергије у кући, са све разматране случајеве.

Вредност највеће генерисане енергије у соларним колекторима (случај 3) је већа за 1,06 GJ у поређењу са референтним случајем (случај 1). Када се случај 3 упореди са другим случајем, генерисана енергија је већа за 0,56 GJ. Односно када се ради о мањој температури санитарне топле воде, соларни колектори генеришу већу количину енергије.

Табела 2. Детаљна годишња потрошња електричне енергије у кући за сва три случаја

	Случај 1	Случај 2	Случај 3
Грејање (GJ)	34,78	34,78	34,78
Осветљење (GJ)	0,44	0,44	0,44
Електрични уређаји (GJ)	3,85	3,86	3,87
Грејање воде (GJ)	23,74	23,14	22,52
Укупна потрошња енергије (GJ)	62,81	62,22	61,61
Генерисана енергија у соларним колекторима (GJ)	5,87	6,37	6,93
Генерисана енергија у ФН панелу (GJ)	13,01	13,01	13,01
Стварна потрошња енергије (GJ)	43,93	42,84	41,67

Пошто се мења температура санитарне топле воде, на слици 13 се може видети да при већој температури санитарне топле воде, потрошња електричне енергије за грејање воде расте тако да за случај 1 она износи 62,81 GJ, супротно, при мањој температури санитарне топле воде, потрошња електричне енергије за грејање воде се смањује на вредност 61,61 GJ (случај 3).



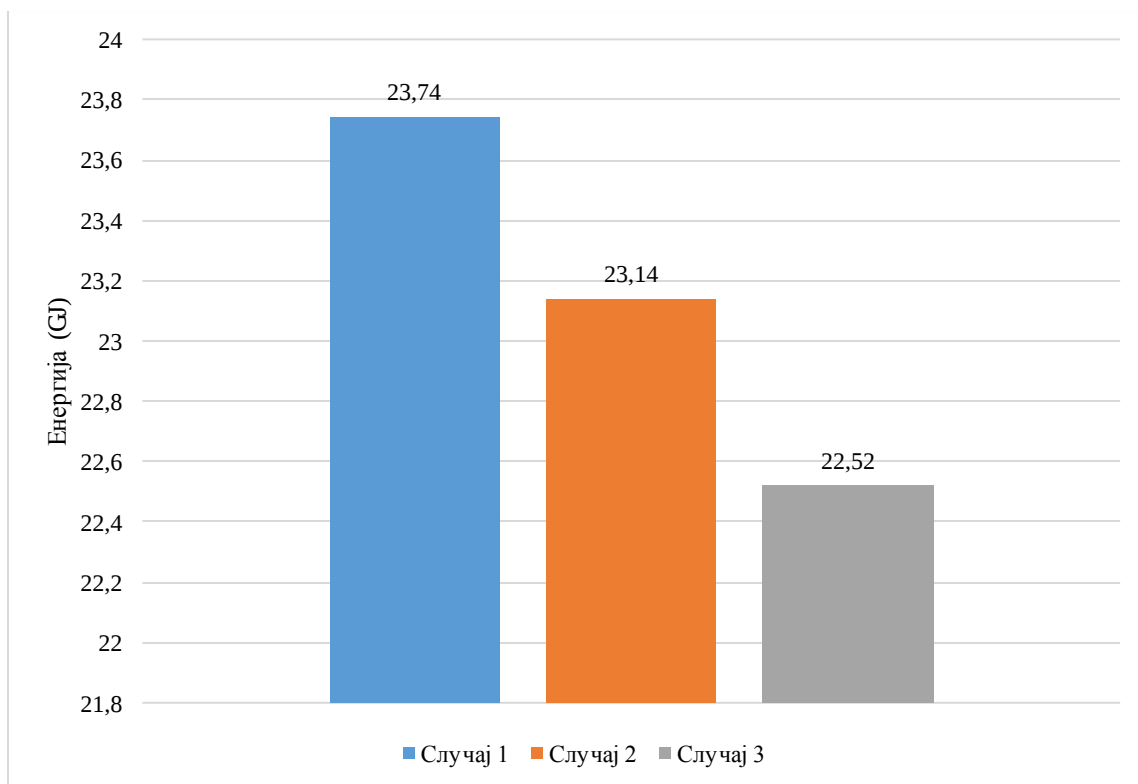
Слика 13. Графички приказ годишње потрошње електричне енергије у кући, за сва три случаја

При овој анализи, вредност потрошње електричне енергије за грејање санитарне топле воде је највећа за случај 1 и износи 23,74 GJ, најмања за случај 3 и износи 22,52 GJ. У табели 3 је приказана потрошња електричне енергије за грејање санитарне топле воде за сва три случаја.

Табела 3. Годишња потрошња електричне енергије за грејање санитарне топле воде за сва три случаја

	Случај 1	Случај 2	Случај 3
Потрошња електричне енергије за грејање санитарне воде (GJ)	23,74	23,14	22,52

Потрошња електричне енергије за грејање санитарне воде се повећава са повећањем температуре (слика 14).



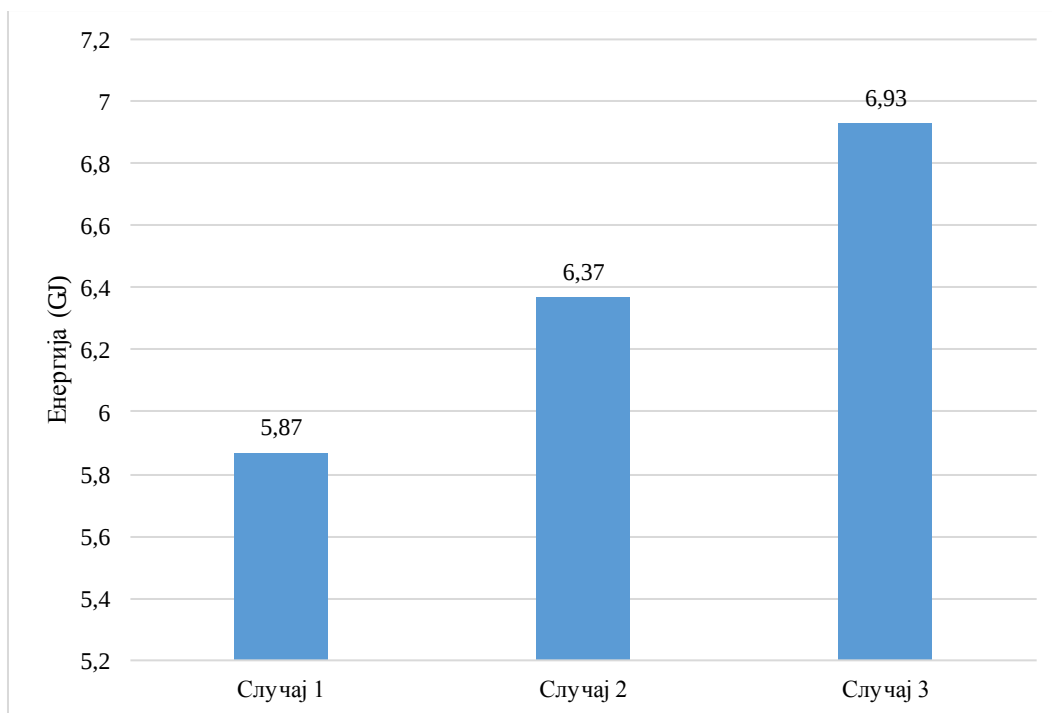
Слика 14. Графички приказ годишње потрошње електричне енергије за грејање санитарне воде за сва три сличаја

У табели 4 су приказани резултати генерисане количине топлотне енергије у соларним колекторима за различиту температуру топле воде.

Табела 4. Генерисана количина топлотне енергије у соларном колектору за различиту температуру топле воде

	Случај 1	Случај 2	Случај 3
Генерисана количина топлтне енергије (GJ)	5,87	6,37	6,93

Код ове анализе, генерисана количина топлотне енергије у соларним колекторима се повећава при мањој температури санитарне топле воде (случај 3 – 6,93 GJ). Супротно, генерисана количина топлотне енергије у соларним колекторима се смањује при већој температури санитарне топле воде (случај 1 – 5,87 GJ). На слици 15 је приказана генерисана количина топлотне енергије у соларним колекторима за различиту температуру санитарне топле воде. На овај начин се врши уштеда енергије у домаћинству, јер да нема уграђених соларних колектора, генерисана топлотна енергија би морала да се надокнади електричном енергијом.



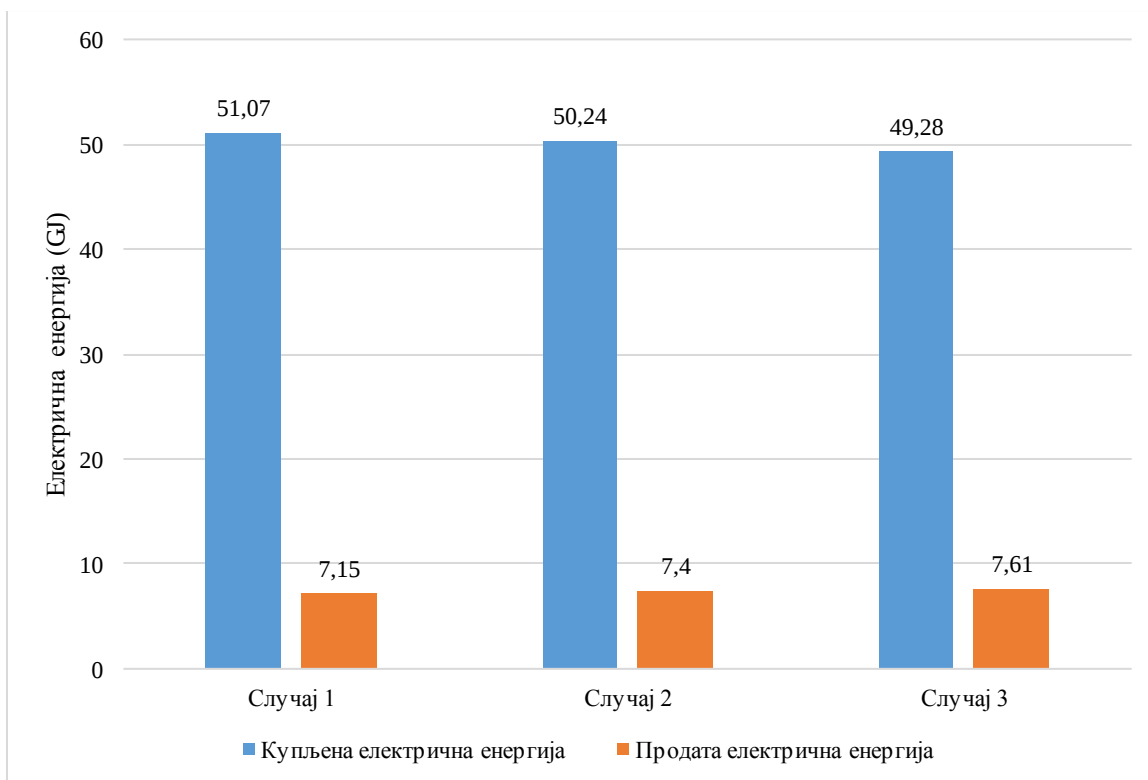
Слика 15. Генерисана количина топлотне енергије у соларним колекторима за различиту температуру топле воде

Што је већа температура топле воде у соларном систему, већа је и потрошња електричне енергије, па је већа и количина купљене електричне енергије (случај 1 – 51,07 GJ), а продата електрична енергија је највећа при најмањој температури санитарне топле воде у соларним колекторима (случај 3 – 7,61 GJ). У табели 5 су приказане вредности купљене и продате електричне енергије.

Табела 5. Купљена и продате електрична енергија са различитом температуром санитарне топле воде

	Случај 1	Случај 2	Случај 3
Купљена електричне енергије (GJ)	51,07	50,24	49,28
Продата електрична енергија (GJ)	7,15	7,4	7,61

Са слике 16 се закључује да је вишак електричне енергије мањи услед повећања енергетских потреба када расте температура топле воде у соларном систему.



Слика 16. Графички приказ купљене и продате електричне енергије са различитом температуром воде

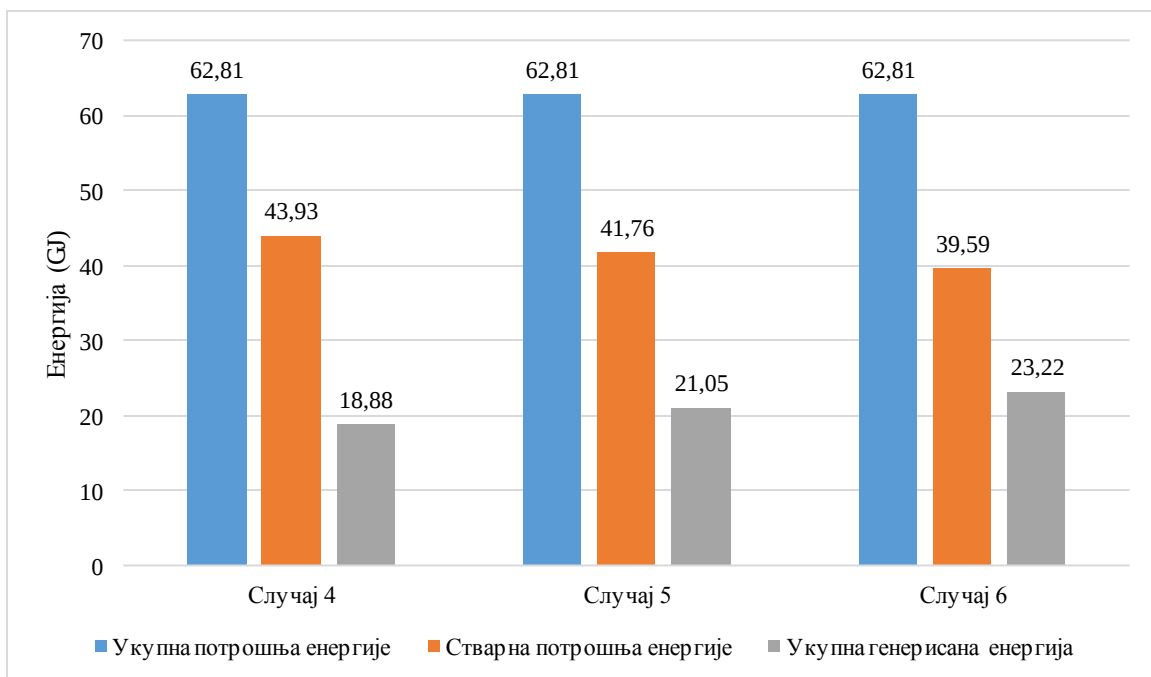
6.3 КУЋА СА ТЕМПЕРАТУРОМ ТОПЛЕ ВОДЕ У СОЛАРНОМ СИСТЕМУ 70 °C И ФН ПАНЕЛИМА РАЗЛИЧИТЕ ЋЕЛИЈСКЕ ЕФИКАСНОСТИ

Анализирани су случајеви различите ћелијске ефикасности инсталираног фотонапонског панела. Референтни случај је симулиран са ћелијском ефикасношћу ФН панела од 12 %, а вршена је симулација за ћелијску ефикасност ФН панела од 14 % и 16 %. Анализирани случајеви су:

- **Случај 4 (1)** – изолација 15 cm, ћелијска ефикасност ФН панела 12 % и температура санитарне топле воде 70 °C,
- **Случај 5** – изолација 15 cm, ћелијска ефикасност ФН панела 14 % и температура санитарне топле воде 70 °C,
- **Случај 6** - изолација 15 cm, ћелијска ефикасност ФН панела 16 % и температура санитарне топле воде 70 °C.

Услед различитих вредности ћелијске ефикасности ФН, дошло је до промене генерисане електричне енергије, а самим тим и до промене стварне потрошње електричне енергије.

На слици 17 су приказане вредности укупне потрошње енергије, стварне потрошње енергије и укупне генерисане енергије. Уштеда енергије у процентима је 30,1 % за случају 4, 33,5 % за случај 5 и 37 % за случај 6.



Слика 17. Графички приказ годишње укупне потрошње, стварне потрошње и генерисане енергије, за сва три случаја

У табели 6 дат је приказ потрошње електричне енергије у кући, са све разматране случајеве.

За случај хелијске ефикасности од 16%, добија се највећа вредност генерисане електричне енергије (случај 6 – 17,35 GJ). Када се случај 6 упореди са референтним случајем, генерисана енергија је већа за 4,34 GJ, а у односу на случај 5 вредност је већа за 2,17 GJ.

Табела 6. Детаљна годишња потрошња електричне енергије у кући за наведене случајеве

	Случај 4	Случај 5	Случај 6
Грејање (GJ)	34,78	34,78	34,78
Осветљење (GJ)	0,44	0,44	0,44
Електрични уређаји (GJ)	3,85	3,85	3,85
Грејање воде (GJ)	23,74	23,74	23,74
Укупна потрошња енергије (GJ)	62,81	62,81	62,81
Генерисана енергија у соларним колекторима (GJ)	5,87	5,87	5,87
Генерисана енергија у ФН панелу (GJ)	13,01	15,18	17,35
Стварна потрошња електричне енергије (GJ)	43,93	41,76	39,59

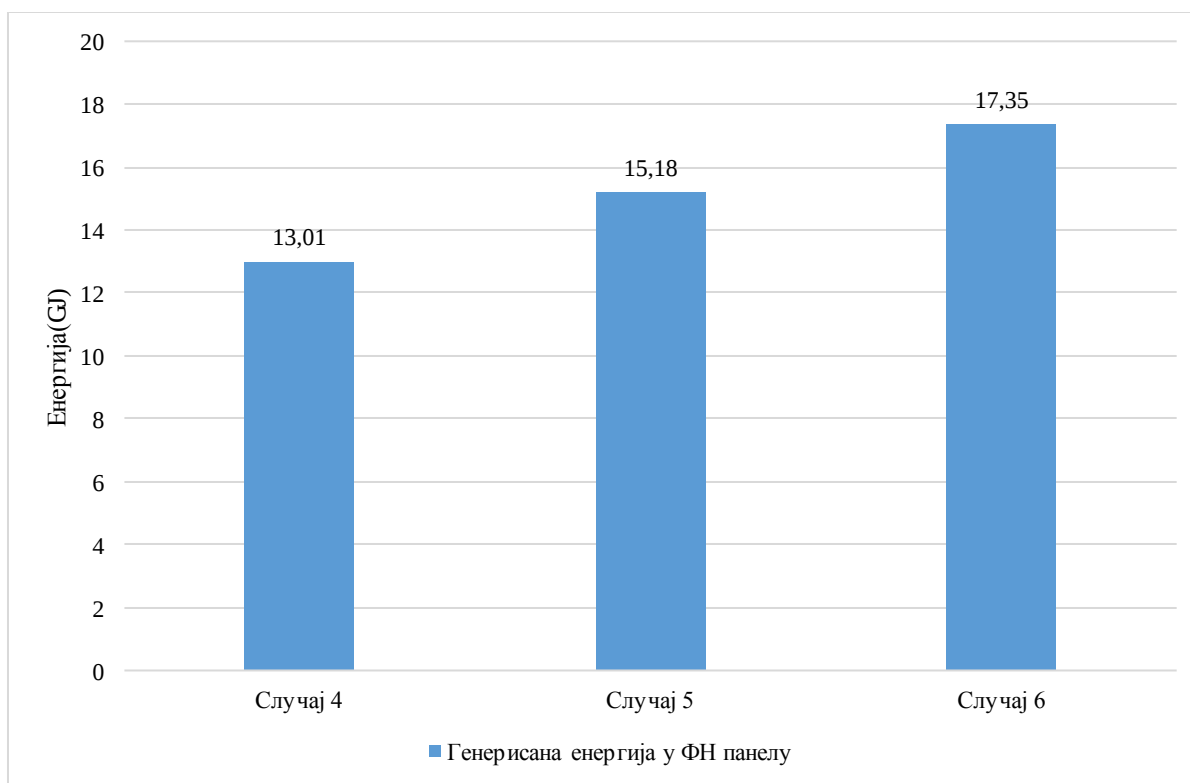
У табели 7 су приказани резултати генерисане количине електричне енергије у ФН панелима, при различитој хелијској ефикасности.

Табела 7. Генерисана количина електричне енергије у ФН панелима за различиту хелијску ефикасност

	Случај 4	Случај 5	Случај 6
Генерисана енергија у ФН панелу (GJ)	13,01	15,18	17,35

Уколико се на кућу инсталира ФН панел са хелијском ефикасношћу од 14 %, он ће генерисати 15,18 GJ (случај 5) електричне енергије, што је у односу на референтни случај (13,01 GJ генерисане електричне енергије – случај 4), повећање од 2,17 GJ. Уколико би се употребио ФН панел са хелијском ефикасношћу од 16 % генерисана електрична енергија би износила 17,35 GJ (случај 6), чиме би се постигло повећање од 4,34 GJ.

Слика 18 приказује генерисану количину електричне енергије у ФН панелима у приказаним случајевима.



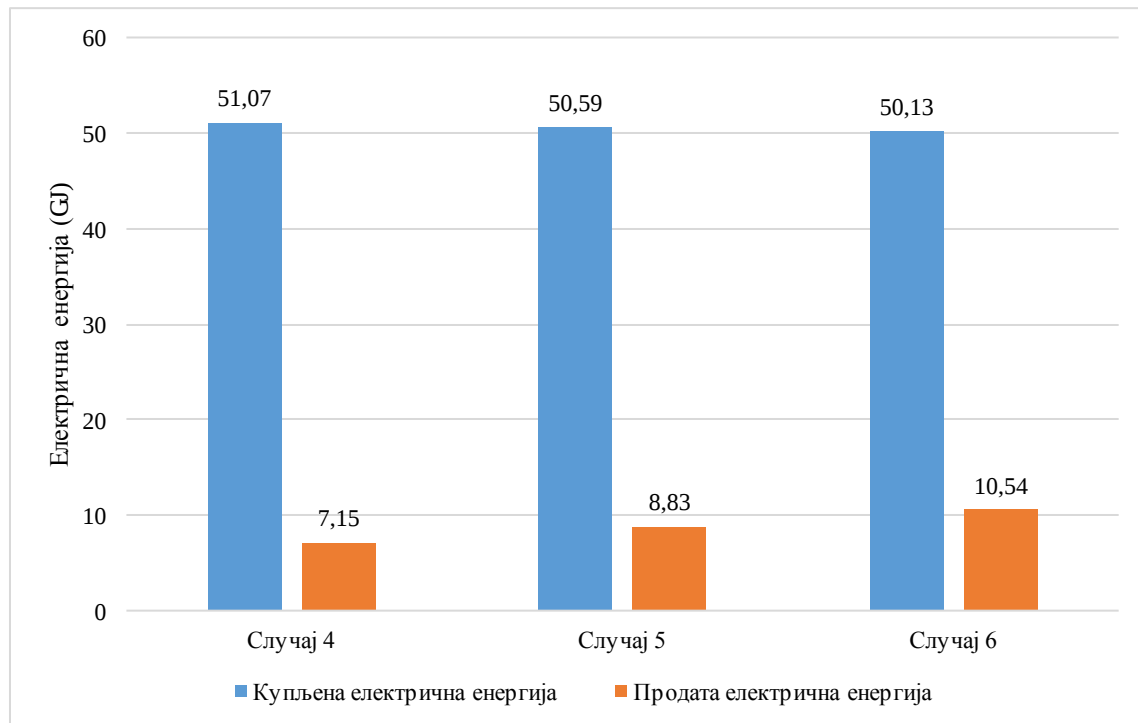
Слика 18. Графички приказ генерисане количине електричне енергије у ФН панелима у приказаним случајевима

При већој хелијској ефикасност ФН панела генерише се више електричне енергије која се продаје електро-мрежи (случај 6 – 10,54 GJ). Наравно, мања хелијска ефикасност ФН панела, доводи до веће количине купљене електричне енергије из електро-мреже (случај 4 – 51,07 GJ). У табели 8 су приказане вредности купљене и продате електричне енергије.

Табела 8. Купљена и продата електрична енергија при различитој ћелијској ефикасности ФН панела

	Случај 4	Случај 5	Случај 6
Купљена електрична енергија (GJ)	51,07	50,59	50,13
Продата електрична енергија (GJ)	7,15	8,83	10,54

Са слике 19 се закључује да је продата електрична енергија највећа за највећу вредност ћелијске ефикасности ФН панела 16 %.

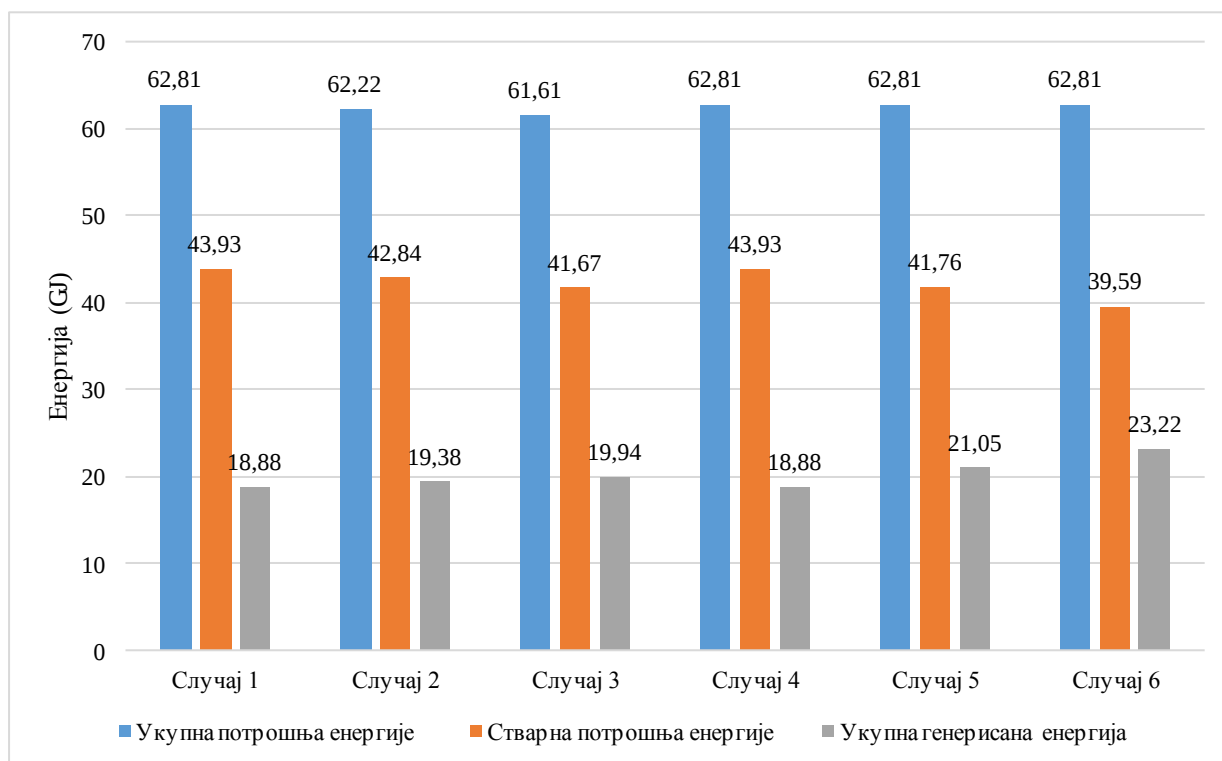


Слика 19. Графички приказ купљене и продате електричне енергије

6.4 ПОРЕЂЕЊЕ РЕЗУЛТАТА

У претходним анализама представљена је енергетска анализа куће са системом електричног грејања и инсталираним соларним системима (ФН панели и соларни колектори) у којима се врши генерисање електричне и топлотне енергије. Помоћу ФН панела и соларних колектора су извршене значајне уштеде енергије, при чему је узета у обзир и изолација зграде.

На слици 20 су приказане вредности укупне потрошње енергије, стварне потрошње енергије и укупне генерисане енергије. Највећа уштеда енергије се јавља у случају 6, где се добија 37 % генерисане енергије.



Слика 20. Графички приказ годишње укупне потрошње, стварне потрошње и генерисане енергије, у свим случајевима

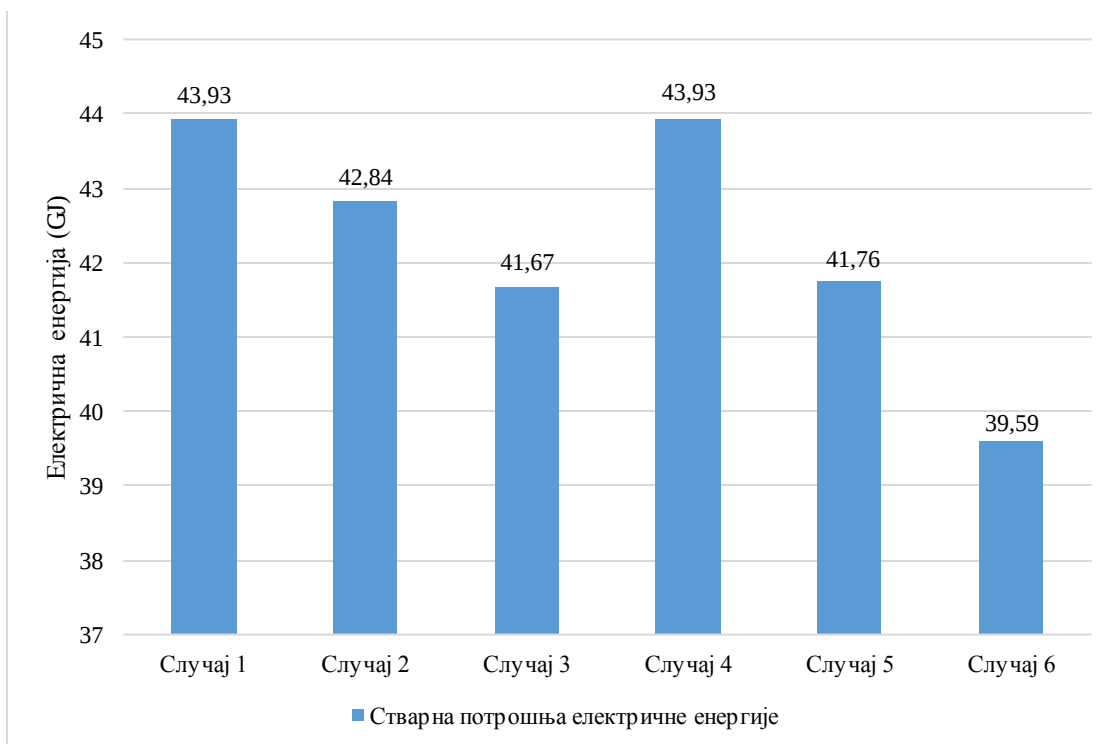
У табели 9 је приказана потрошња електричне енергије по ставкама, генерисана енергија, као и укупна и стварна потрошња електричне енергије у свим случајевима.

Потрошња електричне енергије је најмања за кућу изолације 15 cm, ћелијску ефикасност ФН панела 16 % и температуру санитарне топле воде у соларном систему од 50°C. Разлог је висока вредност количине генерисане топлотне енергије у соларним колекторима која износи 6,93 GJ, као и количине генерисане електричне енергије у ФН систему која износи 17,35 GJ. У свим случајевима се трошила иста количина енергије за грејање, јер се ради о истој вредности дебљине изолационог слоја која износи 15 cm.

Табела 9. Детаљна годишња потрошња електричне енергије у кући свих случајева

	Случај 1	Случај 2	Случај 3	Случај 4	Случај 5	Случај 6
Грејање (GJ)	34,78	34,78	34,78	34,78	34,78	34,78
Осветљење (GJ)	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
Електрични уређаји (GJ)	3,85	3,86	3,87	3,85	3,85	3,85
Грејање воде (GJ)	23,74	23,14	22,52	23,74	23,74	23,74
Укупна потрошња електричне енергије (GJ)	62,81	62,22	61,61	62,81	62,81	62,81
Генерисана енергија у соларним колекторима (GJ)	5,87	6,37	6,93	5,87	5,87	5,87
Генерисана енергија у ФН панелу (GJ)	13,01	13,01	13,01	13,01	15,18	17,35
Стварна потрошња енергије (GJ)	43,93	42,84	41,67	43,93	41,76	39,59

Са слике 21 може се закључити да се највећа уштеда енергије јавља у случају 6. Такође, када се упореди случај 6 са референтним случајем (случај 4) уштеди се енергије за 4,34 GJ. Разлози су високе ефикасности соларних система (ћелијска ефикасност ФН панела од 16 % и температура санитарне топле воде у колекторском систему од 50 °C).



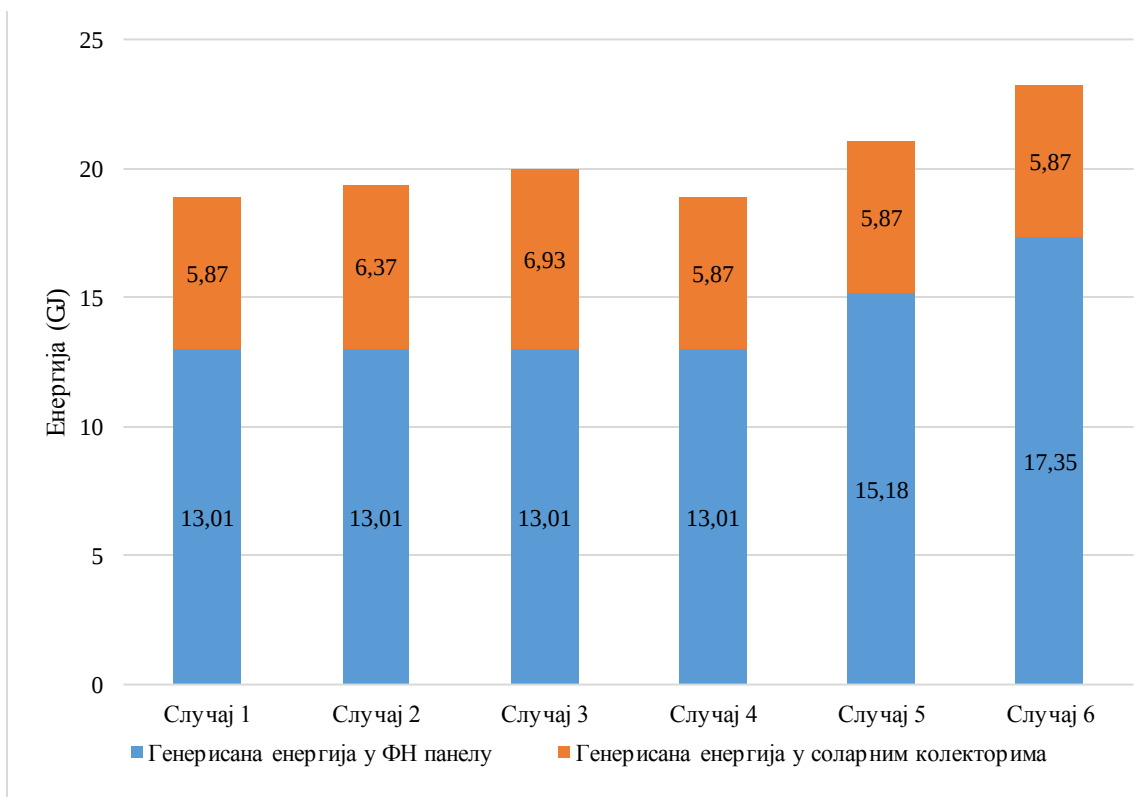
Слика 21. Графички приказ годишње стварне потрошње електричне енергије у свим случајевима

Највећа вредност генерисане енергије у ФН панелу се јавља у случају 6 која износи 17,35 GJ, јер се ради о ћелијској ефикасности ФН панела од 16 %. У случају генерисане енергије у соларним колекторима највећа вредност се јавља у случају 3 која износи 6,93 GJ, јер се ради о температури санитарне топле воде у соларним колекторима од 50 °C. У табели 10 је приказана генерисана количина енергија у соларним системима.

Табела 10. Генерисана количина енергије у соларним системима

	Случај 1	Случај 2	Случај 3	Случај 4	Случај 5	Случај 6
Генерисана енергија у ФН панелу (GJ)	13,01	13,01	13,01	13,01	15,18	17,35
Генерисана енергија у соларним колекторима (GJ)	5,87	6,37	6,93	5,87	5,87	5,87

Као што је већ речено, са порастом ћелијске ефикасности ФН панела, расте количина генерисане електричне енергије. Исто тако са смањењем температуре санитарне топле воде у соларном колектору, расте количина генерисане топлотне енергије (слика 22).



Слика 22. Графички приказ генерисане количине енергије у соларним системима

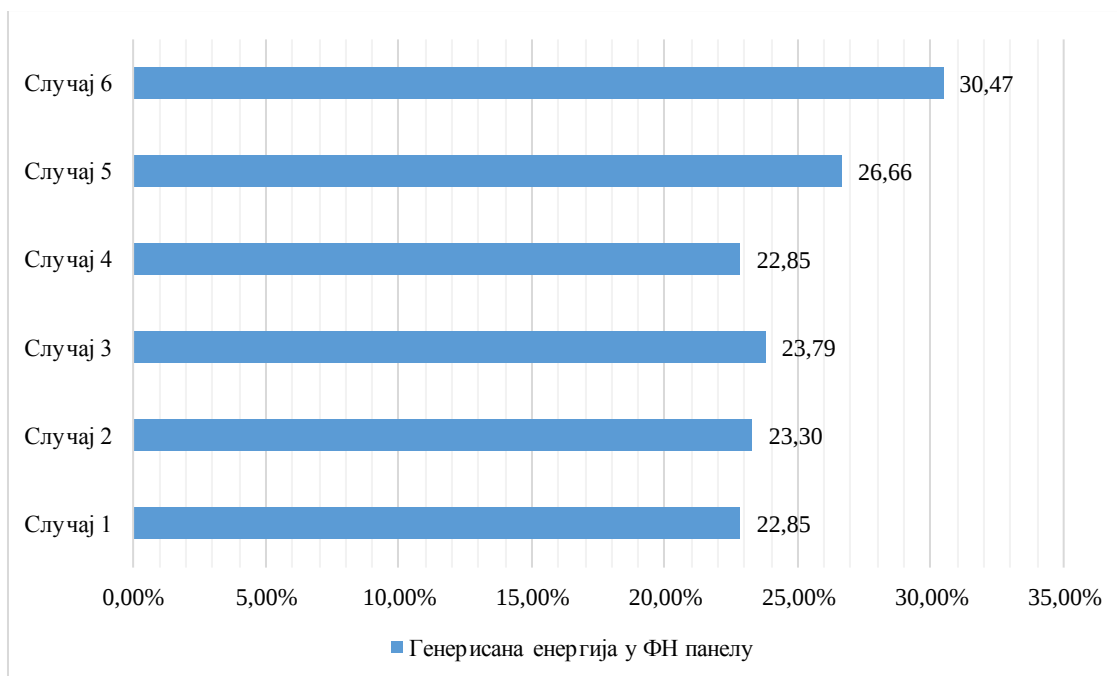
Последњих година фотонапонска технологија бележи велики напредак у развоју тако да се у широј употреби све више налазе панели веће ћелијске ефикасности. Зато је посебно битна анализа генерисане и потрошене енергије за фотонапонске панеле ћелијске ефикасности 14 % и 16 %. Применом ових панела генерише се знатно већа количина електричне енергије у поређењу са панелима ћелијске ефикасности 12 %, па су испитивањима добијени и другачије вредности генерисане енергије у ФН панелу.

Табела 11 приказује генерисану енергију у ФН систему у процентима.

Табела 11. Генерисана количина енергије у ФН систему у процентима

	Случај 1	Случај 2	Случај 3	Случај 4	Случај 5	Случај 6
Генерисана енергија у ФН панелу (%)	22,85	23,30	23,79	22,85	26,66	30,47

Количина генерисане енергије у ФН систему у процентима (у зависности од потрошње енергије у посматраној кући) је графички приказана на слици 23.



Слика 23. Генерисана енергија ФН система у процентима

У табели 12 су приказане вредности купљене и продате електричне енергије. Највећа вредност купљене електричне енергија се јавља у референтним случајевима (случај 1 и 4) која износи 51,07 GJ. Разлог је најмања вредност ћелијске ефикасности ФН панела од 12 % и највећа температура санитарне топле воде у соларним колекторима од 70 °C. Најмања вредност купљене електричне енергије се јавља у случају 3 која износи 49,28 GJ.

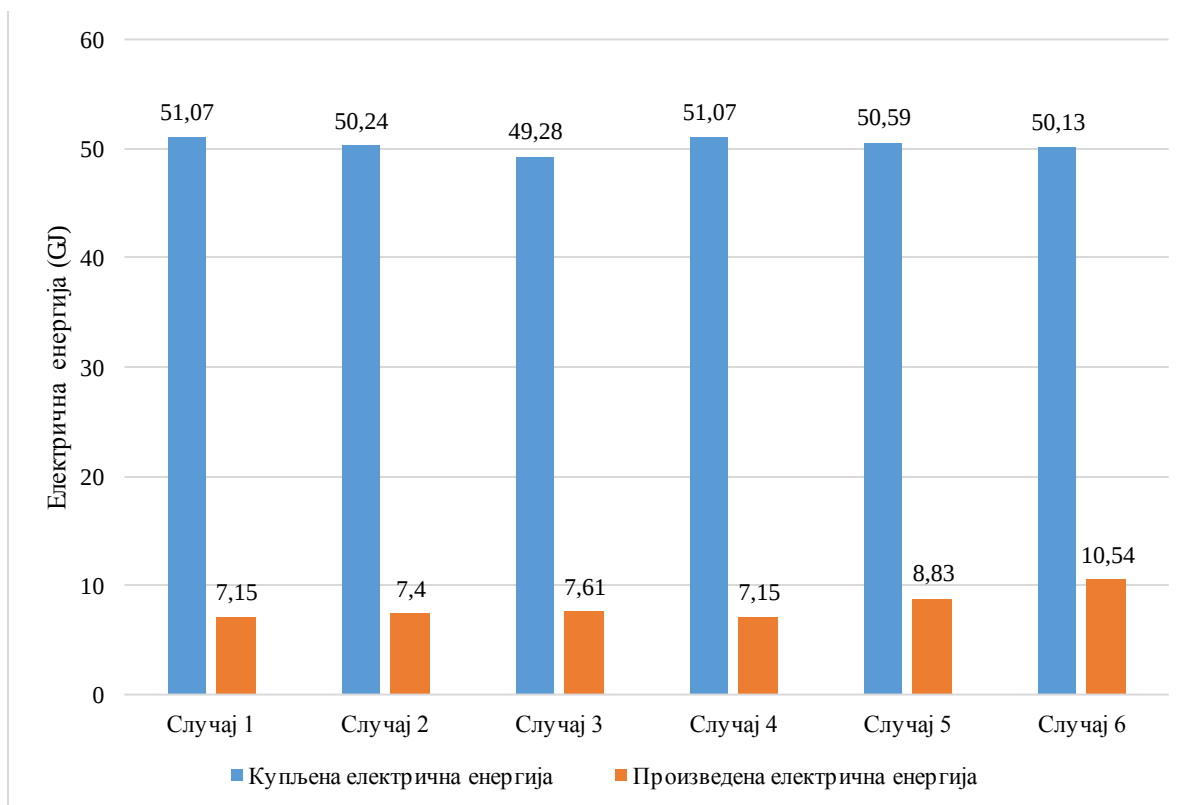
Када се говори о произведеној електричној енергији, највеће вредност се јавља у случају 6 која износи 10,54 GJ, јер се ради о ћелијској ефикасности ФН панела од 16 %.

У табели 12 су приказане вредности купљене и продате електричне енергије у свим случајевима.

Табела 12. Купљена и продата електрична енергија у свим случајевима

	Случај 1	Случај 2	Случај 3	Случај 4	Случај 5	Случај 6
Купљена електрична енергија (GJ)	51,07	50,24	49,28	51,07	50,59	50,13
Продата електрична енергија (GJ)	7,15	7,4	7,61	7,15	8,83	10,54

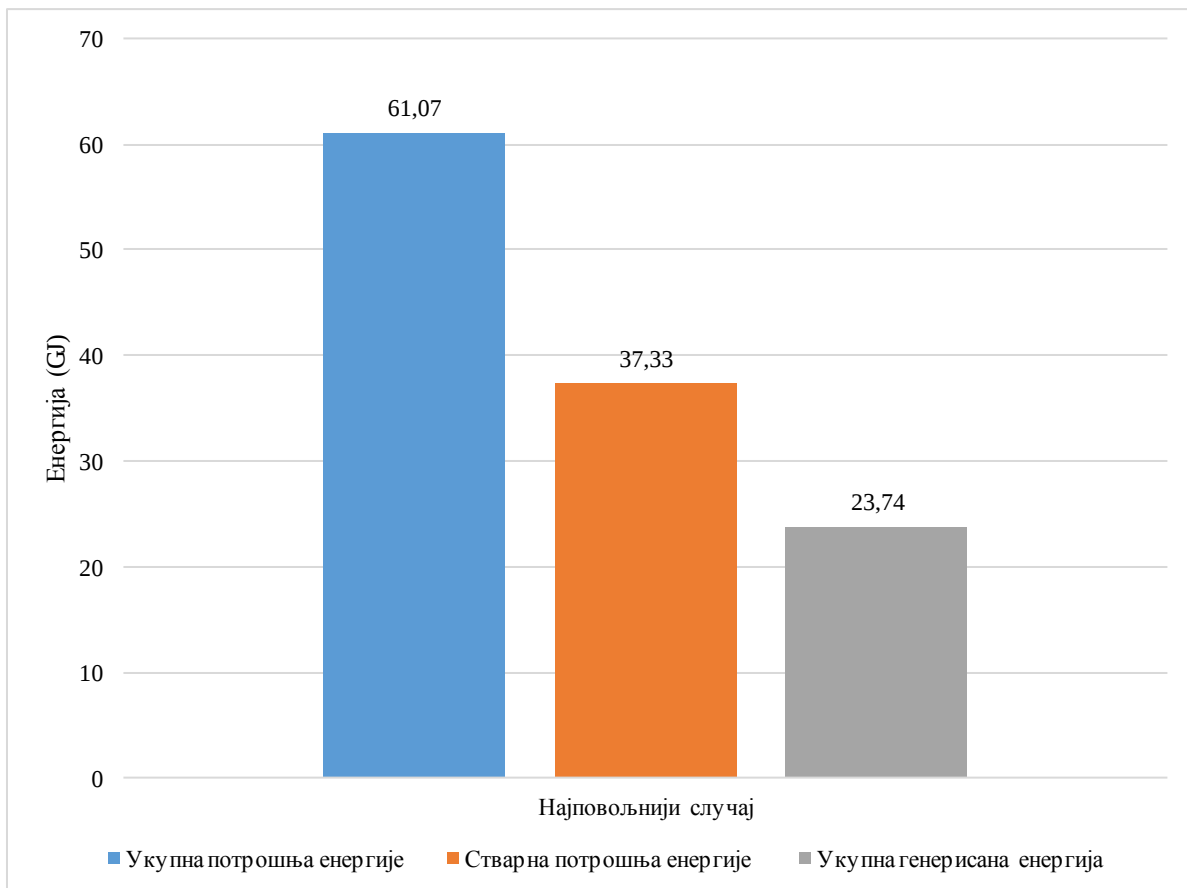
Са слике 24 се закључује да је продата електрична енергија мања при већој укупној потрошњи енергије у згради, због повећања енергетских потреба.



Слика 24. Графички приказ купљене и продате електричне енергије

6.5 НАЈПОВОЉНИЈИ СЛУЧАЈ - КУЋА СА ИЗОЛАЦИЈОМ 15 cm, ЋЕЛИЈСКА ЕФИКАСНОСТ ФН ПАНЕЛА 16 % И ТЕМПЕРАТУРА ТОПЛЕ ВОДЕ 50 °C

Најповољнији случај генерише највећи количину енергије, и њена вредности у процентима износи 39%. На слици 25 су приказане вредности укупне потрошње енергије, стварне потрошње енергије и укупне генерисане енергије за најповољнији случај.



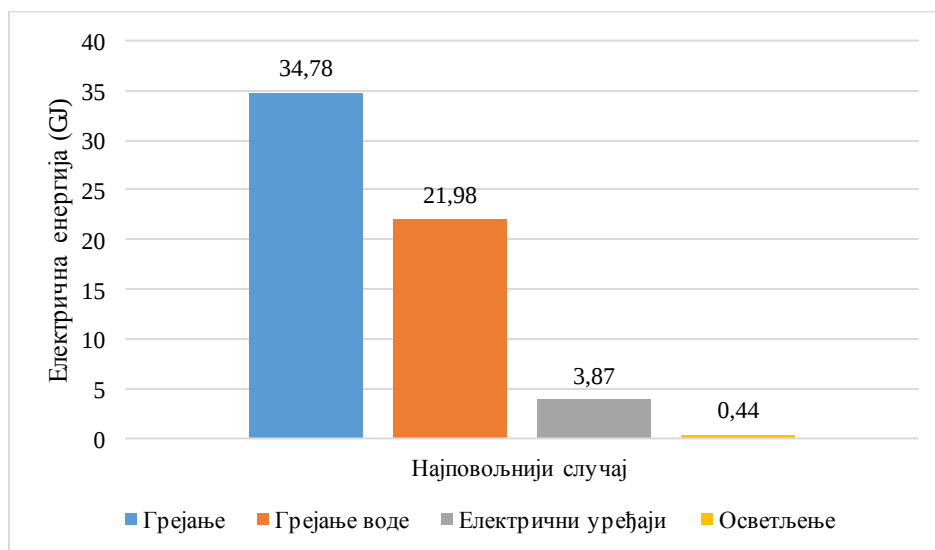
Слика 25. Графички приказ годишње укупне потрошње, стварне потрошње и генерисане енергије, за најповољнији случај

При анализи наповољнијег случаја добија се најмања потрошња електричне енергије 61,07 GJ. Самим тим долази до значајне уштеде енергије, где стварна потрошња електричне енергије износи 37,33 GJ из разлога што се у том случају генерише највећа количина енергије у соларним системима. У табели 13 су приказане вредности потрошње електричне енергије по ставкама као и вредности генерисане енергије.

Табела 13. Детаљна годишња потрошња и прозводња електричне енергије у кући за најповољнији случај

Најповољнији случај	
Грејање (GJ)	34,78
Осветљење (GJ)	0,44
Електрични уређаји (GJ)	3,87
Грејање воде (GJ)	21,98
Укупна потрошња електричне енергије (GJ)	61,07
Генерисана енергија у соларним колекторима (GJ)	6,39
Генерисана енергија у ФН панелу (GJ)	17,35
Стварна потрошња електричне енергије (GJ)	37,33

На слици 26 су графички приказане вредности потрошње електричне енергије за најповољнији случај.



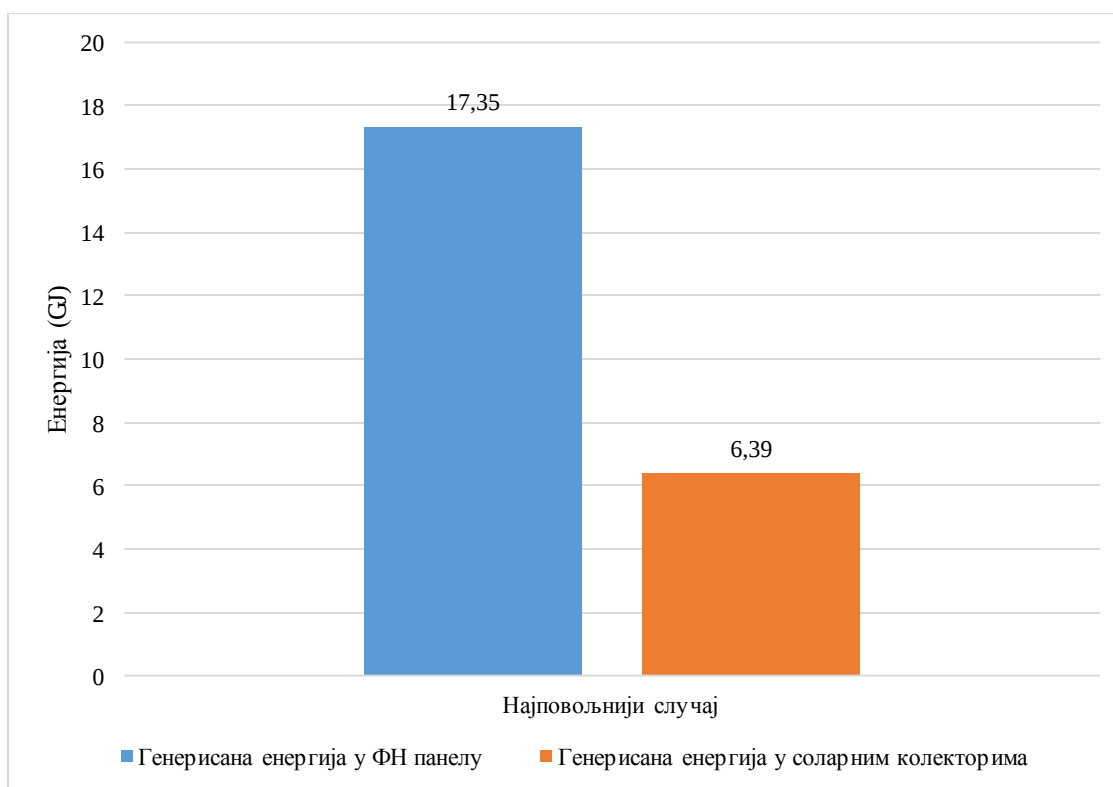
Слика 26. Графички приказ годишње потрошње електричне енергије за најповољнији случај

Из претходних анализа се може закључити да се највећа генерисана енергија јавља при већој вредности ћелијске ефикасности ФН панела од 16 % (17,35 GJ) и најнижој температури санитарне топле воде у колекторском систему од 50 °C (6,39 GJ). Укупна генерисана енергија у соларним системима је приказана у табели 14.

Табела 14. Генерисана количина енергије у соларним системима за најповољнији случај

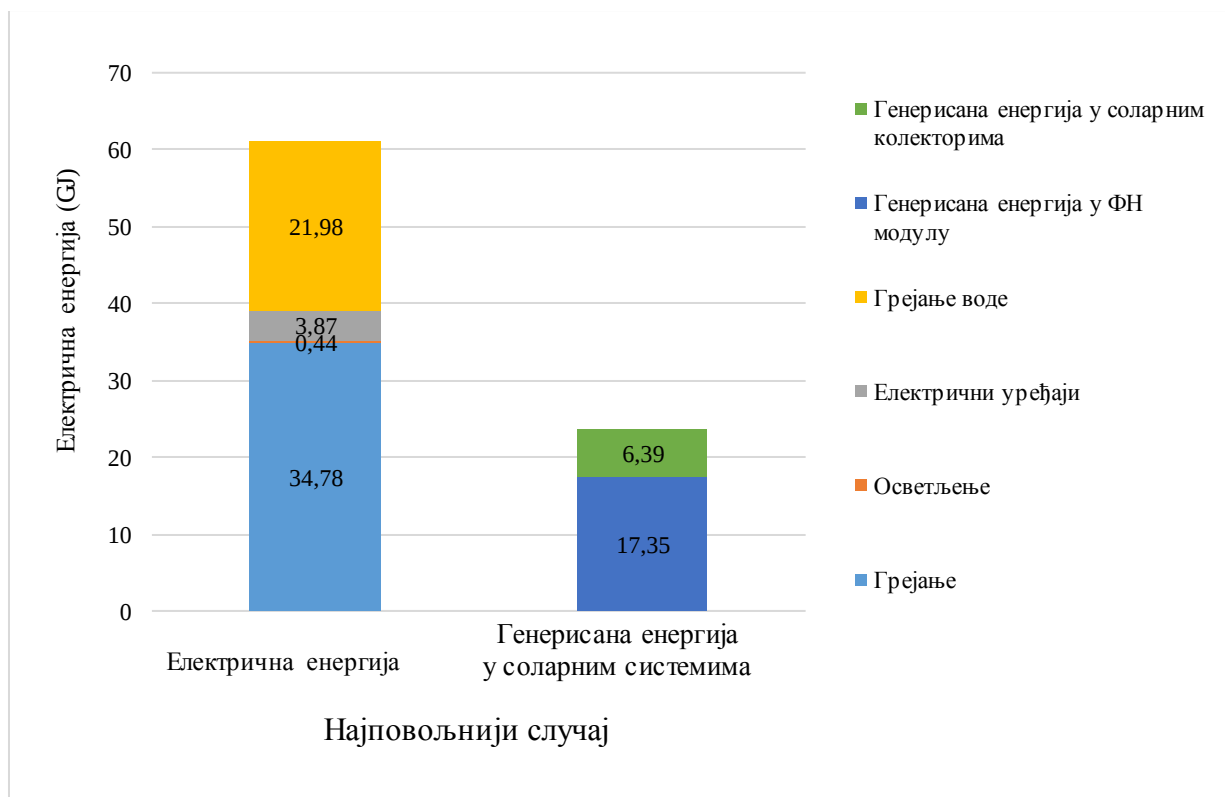
Најповољнији случај	
Генерисана енергија у ФН панелу (GJ)	17,35
Генерисана енергија у соларном колектору (GJ)	6,39
Укупна генерисана енергија у соларним системима (GJ)	23,74

На слици 27 су графички приказане вредности генерисане енергије у соларним системима.



Слика 27. Графички приказ генерисане енергије у соларним системима за најповољнији случај

На слици 28 се јасно виде ставке које утичу на потрошњу енергије и ставке које се односе на генерисану енергију у соларним системима.



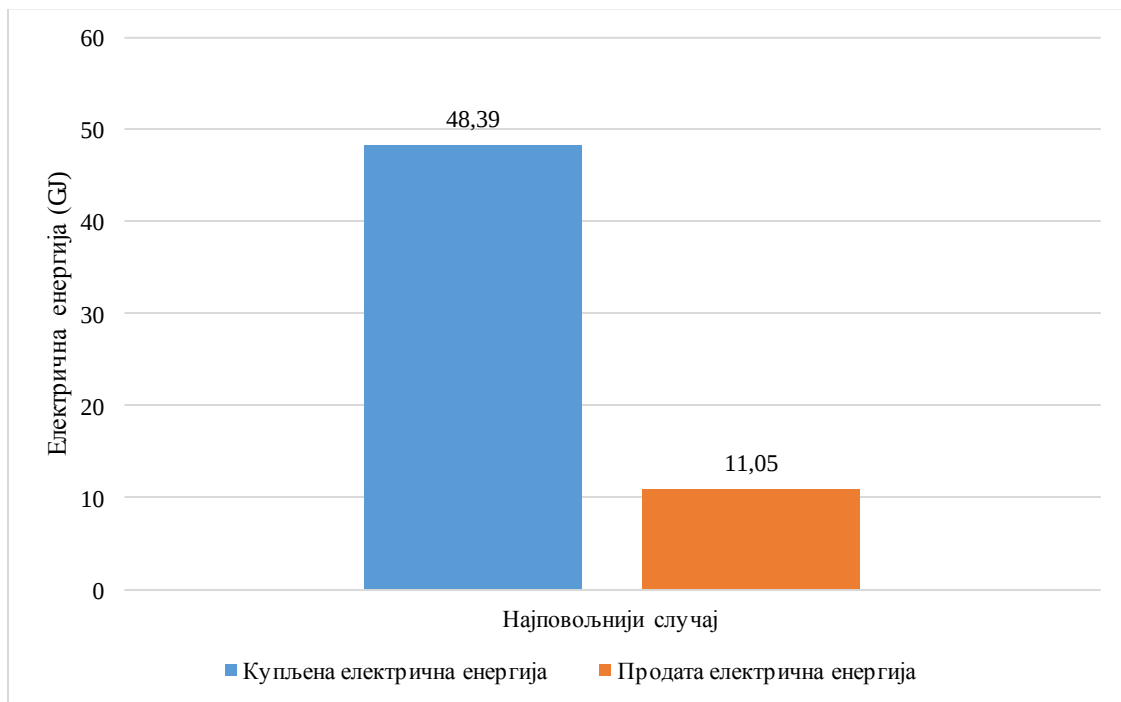
Слика 28. Графички приказ потрошње електричне енергије и генерисане енергије у соларним системима

Продата електрична енергија (11,05 GJ) расте при већој хелијској ефикасности ФН панела 16 % и при мањој температури санитарне топле воде у соларном колектору од 50 °C (најповољнији случај) који се продаје дистрибутивној мрежи. Укупна купљена електрична енергија за најповољнији случај износи 48,39 GJ. У табели 15 су приказане вредности купљене и продате електричне енергије за најповољнији случај.

Табела 15. Купљена и продата електрична енергија за најповољнији случај

Најповољнији случај	
Купљена електрична енергија (GJ)	48,39
Продата електрична енергија (GJ)	11,05

Графички приказане вредности купљене и продате електричне енергије су дате на слици 29.



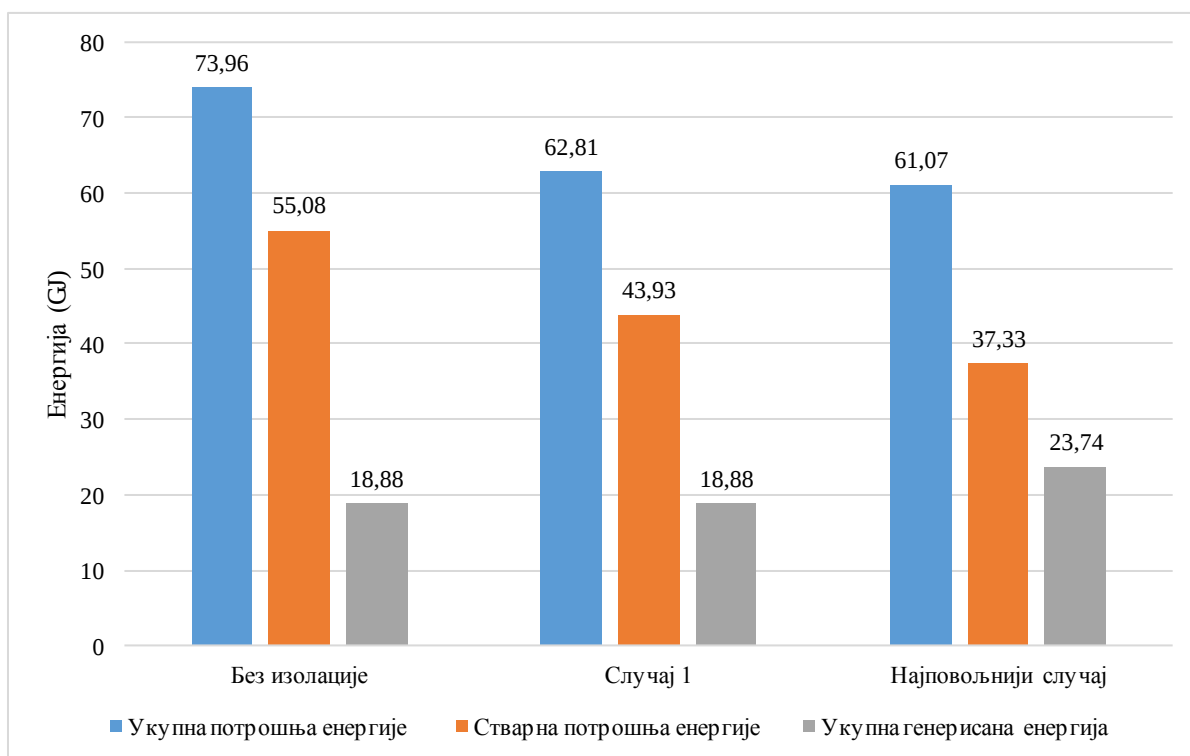
Слика 29. Графички приказ купљене и продате електричне енергије за најповољнији случај

6.6 АНАЛИЗА УШТЕДЕ ЕНЕРГИЈЕ

На крају истраживања врши се поређење добијених резултата за случајеве:

- **Без изолације** – референтне вредности изолације 15 cm, ефикасности ФН панела 12 % и температура санитарне топле воде у соларном колектору од 70 °C;
- **Случај 1** – изолација 15 cm, хелијска ефикасност модула ФН панела 12 % и температура санитарне топле воде у соларном колектору од 70 °C;
- **Најповољнији случај** – изолација 15 cm, ефикасност ФН панела 16 % и температура санитарне топле воде у соларном колектору од 50 °C;

Као што је већ речено најповољнији случај генерише највећу количину енергије, супротно томе је случај без изолације који генерише најмању количину енергије од 25,52 %. На слици 30 су приказане вредности укупне потрошње енергије, стварне потрошње енергије и укупне генерисане енергије за карактеристичне случајеве.



Слика 30. Графички приказ годишње укупне потрошње, стварне потрошње и генерисане енергије, за најповољнији случај

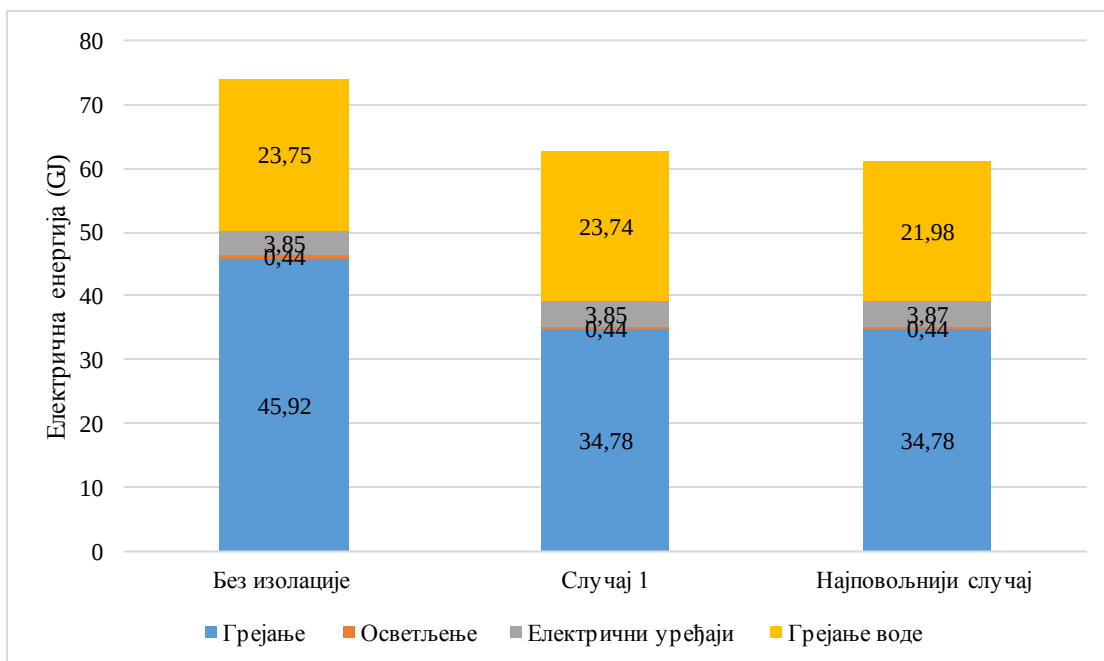
У табели 16 су приказане вредности укупне и стварне потрошње електричне енергије, које су раздвојене по ставкама, за карактеристичне случајеве.

У случају без изолације добијена је највећа вредност укупне потрошње електричне енергије јер долази до великих губитака кроз омотач куће као и ниске ефикасности соларних система. Највећа генерисана енергија се јавља у најповољнијем случају због високе ефикасности фотонапонског система у кући.

Табела 16. Детаљна годишња потрошња енергије у кући за карактеристичне случајеве

	Без изолације	Случај 1	Најповољнији случај
Грејање (GJ)	45,92	34,78	34,78
Осветљење (GJ)	0,44	0,44	0,44
Електрични уређаји (GJ)	3,85	3,85	3,87
Грејање воде (GJ)	23,75	23,74	21,98
Укупна потрошња електричне енергије (GJ)	73,96	62,81	61,07
Генерисана енергија у соларним колекторима (GJ)	5,87	5,87	6,39
Генерисана енергија у ФН панелу (GJ)	13,01	13,01	17,35
Стварна потрошња електричне енергије (GJ)	55,08	43,93	37,33

Са слике 31 се уочава да је највећа потрошња електричне енергије у случају без изолације, разлози су велики топлотни губици кроз омотач и ниска ефикасност соларних система. Уколико се најповољнији случај упореди са референтним случајем (случај 1), најповољнији случај ће генерисати 6,6 GJ више електричне енергије у односу на референтни случај. Такође, ако се најповољнији случај упореди са случајем без изолације, он ће генерисати 17,75 GJ више електричне енергије од случаја без изолације.



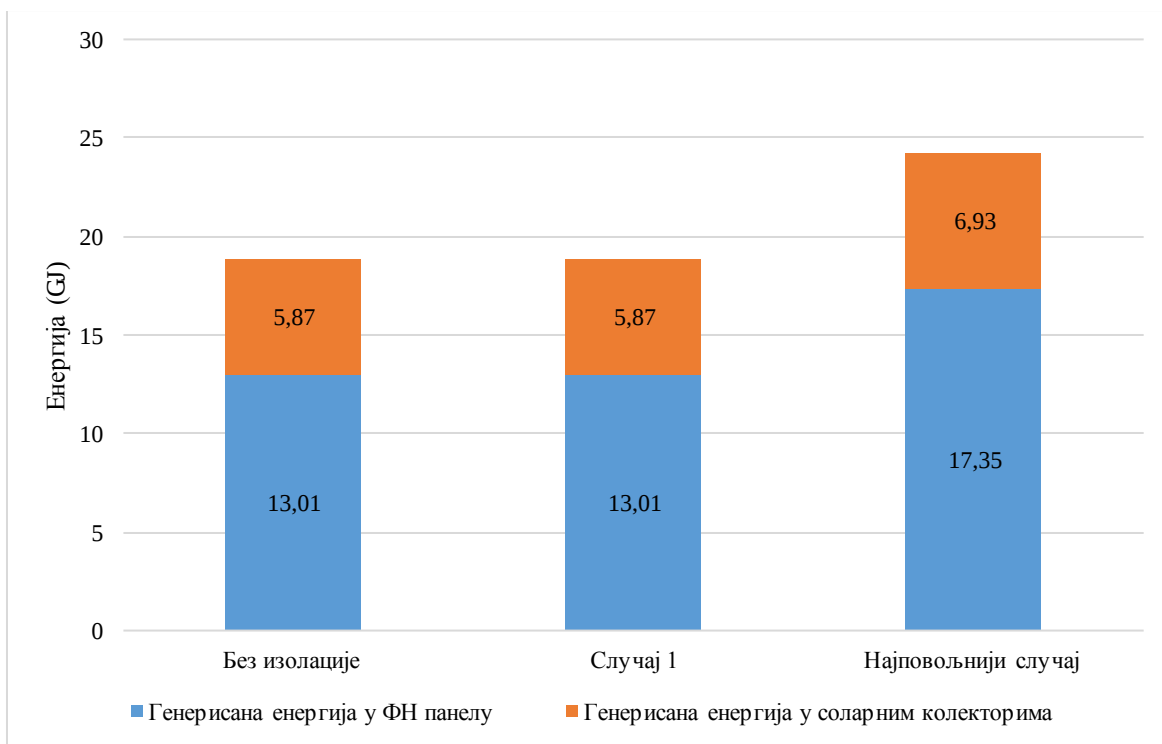
Слика 31. Графички приказ годишње потрошње електричне енергије у карактеристичним случајевима

Такође, највећа ефикасност соларних система се јавља у наповољнијем случају. У табели 17 су приказане вредности генерисане енергије у соларним системима.

Табела 17. Генерисана количина енергије у соларним системима за карактеристичне случајеве

	Без изолатије	Случај 1	Најповољнији случај
Генерисање енергије у ФН панелу (GJ)	13,01	13,01	17,35
Генерисање енергије у соларним колекторима (GJ)	5,87	5,87	6,93
Укупна генерисана енергија у соларним системима	18,88	18,88	24,28

Графички приказ генерисане енергије у соларним системима за ова 3 разматрана случаја је приказан на слици 32.



Слика 32. Графички приказ генерисане енергије у соларним системима за карактеристичне случајеве

За побољшање енергетске ефикасности, препорука је примена соларних система инсталираних на било којој површини (најбоље окренутој ка југу) који генеришу што већу количину енергије. Већ је показано у претходним истраживањима, да је кућа са дебљином изолације од 15 cm, хелијске ефикасности ФН панела од 16 % и температуре санитарне топле воде у соларном систему од 50 °C најефикаснија, односно да се у том случају постижу се значајне уштеде енергије.

7. ЗАКЉУЧАК

Основни циљ овог дипломског рада био је да се помоћу софтвера најпре дефинишу енергетске потребе зграде, а затим и утврде утицаји инсталираних соларних система – фотонапонских панела и соларних колектора на максималну могућу количину генерисане енергије и максималну уштеду електричне енергије. Основни концепт на коме се заснива истраживање је да кућа сама производи енергију из обновљивих извора енергије којом делимично или потпуно задовољава своје енергетске потребе.

Нумеричка истраживања су спроведена помоћу програма *EnergyPlus* који веома добро симулира енергетско понашање куће и свих инсталираних система, узимајући у обзир све реалне утицаје. На почетку је дефинисан референтни модел куће који је имао реалне параметре конструкције и реалну потрошњу електричне енергије и топле воде која одговара просечној четворочлавној породици у Србији.

Разматрана је анализа потрошње енергије у кући у зависности од дебљине изолационог слоја (случајеви: без изолације, изолација дебљине 5 cm и изолација дебљине 15 cm). Након ове анализе уочено је да се са већом дебљином изолационог слоја смањују потребе за грејањем куће, самим тим вредност укупне потрошње електричне енергије опада.

Посебно су разматрана три случаја куће са дебљином изолационог слоја од 15 cm, ФН панелима ефикасности 12 % и различитом температуром санитарне топле воде у колекторском систему (50 °C, 60 °C и референтни случај 70 °C). Овом анализом се добија највећа вредност генерисане енергије у соларним колекторима са температуром санитарне топле воде од 50°C (случај 3 – 6,39 GJ), где се значајно мења вредност стварне потрошње енергије која је износила 41,67 GJ.

Затим следећа три случаја су се односила на кућу са дебљином изолационог слоја од 15 cm, променом хелијске ефикасности ФН панела (референтни случај 12 %, 14 % и 16 %) и температуром санитарне топле воде у колекторском систему од 70 °C. Већа вредност хелијске ефикасности генерише већу количину енергије у ФН панелу, па је тако најефикаснији случај са хелијском ефикасношћу ФН панела од 16 % (случај 6 – 17,35 GJ).

На самом крају је извршено поређење резултата где се највећа уштеда јављала у случају 6 (хелијска ефикасност ФН панела 16 % и температура санитарне топле воде у колекторском систему 70 °C) која је износила 39,59 GJ. У овом случају је генерисана највећа количина енергије - 23,22 GJ.

На основу поређених резултата, закључује се да је најповољнији случај са највећом хелијском ефикасношћу ФН панела од 16 % и температуром санитарне топле воде у колекторском систему од 50 °C.

Генерални закључак је да се одговарајућом ефикасношћу у фотонапонским панелима и температуром санитарне топле воде у колекторском систему може постићи велика уштеда у укупној потрошњи енергије у кући. Такође се у финансијском смислу може доћи до уштеда. Применом соларних система у великој мери смањује утицај највећег загађивача – угљен-диоксид на животну средину.

Што се тиче даљих смерница истраживања, то је свакако примена нискотемпературних система грејања и додатних обновљивих технологија (нпр. геотермалних пумпи) чиме би се потрошња енергије свела на још мању меру.

8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Zervos A., Kjaer C.: Pure Power–Wind Energy Scenarios up to 2030, EWEA (European Wind Energy Association), March 2008.
- [2] Министарство за инфраструктуру и енергетику, Енергија и клима у Србији – Изазови и могућности, Београд, 2012.
- [3] Kalogirou S.: Solar thermal collectors and applications, Progress in Energy and Combustion Science 30, 2004
- [4] Bourrelle J. S, Andresen I., Gustavsen A.: Energy and Buildings, Norway 2013.
- [5] Интернет страница: <http://indicator.sepa.gov.rs/pretrazivanje-indikatora/indikatorilat/allfindpf/29efd23d37f34940b45f4d31a0fdc7a9> приступљено 23.07.2018.
- [6] Интернет страница: <http://portal.sinteza.singidunum.ac.rs/Media/files/2015/218-223.pdf> приступљено 23.07.2018.
- [7] Живковић: Предлог мера за финансирање енергетске ефикасности у зградарству у Србији, Грађевинска књига, Нови Сад, 2011
- [8] Good C., Andresen I., Hestnes A.: Solar energy for net zero energy buildings – A comparison between solar thermal, PV and photovoltaic–thermal (PV/T) systems, Norway 2015
- [9] Интернет страница: <http://www.solarni-kolektori.co.rs/> приступљено 01.08.2018
- [10] Лукић Н., Бабић М.: Соларна енергија, Машински факултет, Крагујевац 2008.
- [11] Интернет страница: <http://www.solarni-kolektori.org/> приступљено 01.08.2018.
- [12] Razykov T.M., Ferekides C.S., Morel D., Stefanakos E., Ullal H.S., Solar photovoltaic electricity: Current status and future prospects, Solar Energy 85 (2011), p. 1580–1608
- [14] Интернет страница: <https://www.solarnipaneli.org/solarni-paneli-2/> приступљено 01.08.2018.
- [15] Ламбић М., Соларне технологије – топлотни и фотонапонски системи, Београд 2013.
- [16] Tyagi V., Nurul A.A., Rahim N. A., Jeyraj A., Selvaraj L., Progress in solar PV technology: Research and achievement, Renewable and Sustainable Energy Reviews 20, 2013
- [17] Green M. A., Zhao J., Wang A., Wenhan S. R., Progress and outlook for high efficiency crystalline silicon solar cells, Solar Energy Materials and Solar Cells 65, 2001
- [18] Интернет страница: <http://www.solarbuzz.com/Moduleprices.htm> приступљено 15.08.2018.
- [19] Др Стаменић Љ., истраживачки рад: Коришћење соларне фотонапонске енергије у Србији, 2009
- [20] ENERGYPLUS, Input Output Reference - The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output, University of Illinois & Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009
- [21] Павловић Т., Милосављевић Д., Радоњић И., Пантић Л., Радивојевић А., Павловић М.: Possibility of electricity generation using PV solar plants in Serbia, 2013