

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Соларна техника

Број индекса: 335/2014

Никола М. Танић

**Енергетска анализа породичне зграде са
уграђеним фотонапонским панелима
мастер рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Данијела Николић, доцент - ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да прикаже могућности уштеде електричне енергије применом фотонапонских панела на постојећем једнопородичном стамбеном објекату током грејне сезоне. Неопходно је да се у софтверу EnergyPlus моделира једнопородична стамбена зграда са системом електричног грејања, за коју ће се моделирати и симулирати рад фотонапонског система појединачно на јужној и северној страни крова, као и рад ФН система на целој површини крова. Урадити симулације енергетског понашања зграде током грејне сезоне за различиту фракцију соларног зрачења и за различите случајеве хелијске ефикасности фотонапонских панела.

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 и нето потрошњу финалне енергије. На крају, представити и економску добит која се остварује уградњом фотонапонског система.

Препоручена литература:

- [1] Ламбић М. Соларне технологије – топлотни и фотонапонски системи, Београд 2013.
- [2] Министарство за грађевинараство, 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

Крагујевац, Октобар 2019.

ментор:

Др Данијела Николић, доцент

Резиме:

У раду је извршена енергетска анализа породичне зграде са уграђеним фотонапонским панелима у току грејне сезоне. Фотонапонским панелима се генерише електрична енергија која се користи за рад електричних уређаја и делимично за подмиривање топлотних потреба за загревање домаћинства у периоду од 15-тог октобра до 15-тог априла, док се остатак потреба за електричном енергијом надокнађује куповином из електродистрибутивног система. Потребни подаци о потрошњи електричне енергије су добијени на основу извршених симулација помоћу софтвера EnergyPlus. Пре свега модел посматраног објекта је нацртан у Google Sketch up-у. Разматрани објекат је лоциран у општини Ћуприја и загрева се електричним системом грејања. Одабран систем загревања је калорифер који има функцију претварања електричне енергије у топлотну. У раду је приказана енергетска анализа разматраног објекта и посебно наглашена могућност уштеде енергије за различите варијабилне параметре попут површина фотонапонских панела, ћелијска ефикасност ФН панела, фракцију соларног зрачења итд...

Кључне речи: зграда; фотонапонски панели; енергетска ефикасност; уштеда енергије; симулација, EnergyPlus

Resume:

This thesis represents energy analysis of resident building with photovoltaic, during the heating season photovoltaic panels envisioned for heating of the observed household building during the heating season. Photovoltaic panels generate the needed energy for heating the building between October 15th and April 15th, while the rest of the electric consumption needs are being compensated by the purchase of energy from the electricity distribution system. Acquired data on energy consumption are obtained from performed simulations using the software EnergyPlus. Firstly, the model of the observed building has been modeled by Google Sketch Up. The analyzed building has been located in the town of Cuprija and is being heated by the electric heating system. The chosen heating system is a fan-heater which has a function of transforming electric energy into heat. Parameters such as energy analysis of the observed facility will be presented in data analysis, and highlight will be on possibility of saving the energy for different variable parameters such as (surface photovoltaic panels, cell efficiency of FN panels, etc.)

Keywords: building; photovoltaic panels; energy efficiency; energy saving; simulation; EnergyPlus

Садржај

1. УВОД	1
2. СУНЦЕ КАО ИЗВОР ЕНЕРГИЈЕ	4
2.1 Соларна константа	4
3. ФОТОНАПОНСКЕ ЋЕЛИЈЕ	5
3.1 Основни принципи функционисања фотонапонске ћелије	5
3.2 Формирање P-N споја	7
3.3 Основни типови силицијумских фотонапонских ћелија	13
3.4 Фотонапонске технологије и генерација ФН ћелија	14
4. СОФТВЕРИ	15
4.1 GoogleSketchUp софтвер	15
4.2 EnergyPlus софтвер	16
4.3 KnaufTerm софтвер	17
5. ОПИС СТАМБЕНОГ ОБЈЕКТА	20
5.1 Локација и физички опис објекта	20
5.2 Материјали објекта	23
5.3 Конструкције	23
5.4 Осветљење	25
5.5 Грејна тела	26
6. РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗА	28
6.1 Кућа без ФН панела	28
6.2 ФН панел на јужној косини крова KR_R1_S	30
6.3 ФН панел на северној страни косине крова KR_R2_N	30
6.4 ФН панели са обе стране крова	31
6.5 Поређење добијених резултата генерисане енергије	32
6.6 Анализа резултата ФН панела ефикасности 12%	36
6.6.1 ФН панел са јужне стране крова KR_R1_S фракције 0.85	37
6.6.2 ФН панел на северној страни крова KR_R2_N, соларна фракција 0.85,	38
6.6.3 ФН панели на обе стране крова, фракција 0.85	39
6.6.4 Поређење резултата генерисане енергије	39
6.7. Анализа резултата за ФН панел ћелијске ефикасности 18%	42
6.7.1 ФН панел са јужне стране крова KR_R1_S, фракција 0.5	43

6.7.2 ФН панел са северне стране крова KR_R2_N, фракција 0.5	44
6.7.3 ФН панел са обе стране крова KR_R2_N, фракција 0.5.....	45
6.7.4 Поређење резултата генерисане енергије	46
6.7.5 ФН панел са јужне стране крова KR_R1_S, фракција 0.85	48
6.7.6 ФН панел са северне стране крова KR_R2_N, фракција 0.85	49
6.7.7 ФН панел са обе стране крова, фракција 0.85.....	50
6.7.8 Поређење резултата генерисане енергије	51
7. ЗАКЉУЧАК.....	53
8. ЛИТЕРАТУРА.....	54

1. УВОД

Енергија се најчешће спомиње у контексту енергетских ресурса, развоја, употребе, потрошње и складиштења исте. Највећи део енергије (око 80%) и даље се добија из фосилних горива, односно из нафте, угља и гаса. Такође, велики проблем фосилних горива јесте загађивање околине са емисијом угљен-диоксида (CO_2) који узрокује ефекат стаклене баште.

Република Србија спада у ред земаља са изузетно ниском енергетском ефикасношћу. Разлози за то су коришћење застарелих, енергетски неефикасних технологија у индустрији, грађевини и инфраструктури, неадекватна законска регулатива у овој области, низак животни стандард и недовољно развијена еколошка свест становништва. Резерве квалитетних енергената, као што су нафта и гас су симболичне и чине мање од 1% у укупним билансним резервама Србије, док преосталих 99% енергетских резерви чине разне врсте нискоквалитетног угља, у коме доминира лигнит са процењеним учешћем од око 90% у укупним билансним резервама.

Због тих разлога, као што је повећање енергетске ефикасности, у фази пројектовања зграда се користе разни програмски пакети да би извршиле симулације и увидела потрошња, као и да ли је исплатива инвестиција, након предузетих одређених мера за смањење потрошње енергије. У овом раду користе се програмски пакети GoogleSketchUp за моделирање објекта и EnergyPlus који има могућност да симулира рад енергетских система у реалним условима.

Појам енергетска ефикасност има два могућа значења, где се једно односи на техничке уређаје, док се друго односи на одређене мере и понашања. За уређаје кажемо да су енергетски ефикасни ако имају висок степен корисног дејства тј. мале губитке приликом трансформације једног облика енергије у други. Крајњи циљ је свести потрошњу енергије на минимум, а при томе не нарушити ниво комфора већ задржати или чак повећати ниво удобности. Када помислимо на штедњу, углавном су прве асоцијације на одрицање, док ефикасна употреба енергије директно води ка повећању квалитета живота, конкурентности привреде и енергетској безбедности. Резултат повећане

ефикасности су значајне уштеде у финансијском смислу, али не треба занемарити и директан утицај на очување животне средине.

Енергетски ефикасне мере подразумевају понашање које се примењује у циљу смањења потрошње енергије. Без обзира да ли је реч о техничким или нетехничким мерама, или о променама у понашању, све мере подразумевају исти или чак и виши степен оствареног комфора и стандарда.

Најчешће мере које се предузимају у циљу смањења губитака енергије и повећања енергетске ефикасности су:

- ✓ замена необновљивих енергената обновљивим,
- ✓ замене енергетски неефикасних потрошача ефикаснијим,
- ✓ изолација простора који се греје или хлади,
- ✓ замена дотрајале или неефикасне столарије просторија које се греју или хладе,
- ✓ уградња мерних и регулационих уређаја,
- ✓ замена или уградња ефикасних система за грејање, климатизацију или вентилацију.

Потенцијал који има енергетска ефикасност је огроман, јер се уштеда енергије остварује како на страни произвођача (прерада угља, нафте, гаса и производња, преношење и дистрибуција електричне енергије) тако и на страни корисника (употреба енергије у домаћинствима, саобраћају и производњи). Због недовољне распрострањености енергетске ефикасности, у пракси њен потенцијал остаје у великој мери неискоришћен. На слици испод (слика 1) је дат приказ енергетских разреда за објекте.



Слика 1. *Енергетски пасош објекта*

Уштеда енергије у стамбеним објектима данас је један од главних светских трендова. Разлог томе је што из различитих извора говоре да потрошња енергије у домаћинствима обухвата од 20-40% од укупне потрошње енергије. Власници стамбених објеката могу достићи уштеду у енергији до 30% или више, а истовремено постижу да они буду енергетски ефикаснији.

2. СУНЦЕ КАО ИЗВОР ЕНЕРГИЈЕ

Сунце се као небеско тело формирало пре око 4.6 милијарди година и нама је најближа звезда. Сунчева енергија потиче од нуклеарних реакција. Ослобођена енергија бива израчена са сунчеве површине у облику електромагнетног зрачења и већина те енергије је доступна на Земљи у виду светлости која представља извор енергије који је заслужан за повољне климатске услове и постојање екосистема на нашој планети. Ово зрачење се састоји од две компоненте. Прва компонента је у виду директног зрачења са сунца а друга компонента је дифузна која настаје распршивањем зрака у атмосфери. Просек дневне енергије може се видети на слици испод (слика 2).

2.1 Соларна константа

Како се удаљеност Земље од Сунца мења током године, тако се мења и количина соларног зрачења долази на Земљу. Средњи топлотни флуks Сунчевог зрачења на површини Земљине атмосфере износи $I_s = 1367 \text{ W/m}^2$ [3]. Просечно сунчево зрачење на годишњем нивоу на јединичну хоризонталну површину назива се инсолација [4], просечна годишња инсолација је око 1400 kWh/m^2 , а просечна дневна око 3.8 kWh/m^2 .



Слика 2. – Годишњи просек дневне енергија

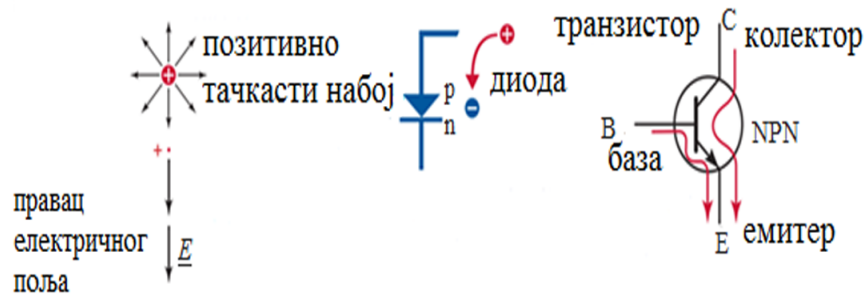
3. ФОТОНАПОНСКЕ ЋЕЛИЈЕ

Као што је познато, фотонапонски ефекат (ефекат појаве напона у материјалу под дејством светлости, или неког другог дела спектра електромагнетног зрачења) открио је Бекерел 1836. године [5]. Када светлост, у форми фотона, удари у соларну ћелију, енергија те светлости раздвоји парове електрона и "шупљина", места која нису попуњена електронима. Сваки фотон са довољно енергије ослободиће тачно један електрон, што ће резултирати и празним местом такође. Ако се ово деси довољно близу електричног поља, или ако се деси да слободни електрон и празно место залутају у домет утицаја електричног поља, електрично поље ће послати електрон на N-страну а празно место на P-страну. Онда имамо да се електрони крећу путањом до P-стране да се уједине са празним местима које је електрично поље тамо послало. Кретање електрона ствара струју, а електрично поље ћелије проузрокује стварање напона. А добро је познато да је снага производ струје и напона.

3.1 Основни принципи функционисања фотонапонске ћелије

Силицијум је најпознатији полупроводнички елемент. Један атом силицијума садржи четрнаест електрона у три орбите, прве две су попуњене, а у трећој се налази четири електрона уместо осам. На тај начин силицијум формира кристалну структуру у којој су суседни атоми спојени заједничким електронима у трећој орбити [6]. Због својих електричних својстава, силицијум је добар полупроводник. Ако је кристал силицијума чист, спољна четири електрона заузимају све ковалентне везе у кристалу. При температурама блиским апсолутној нули, електрони остају у својим везивним позицијама. У том случају, кристал силицијума је скоро савршен електрични изолатор [7]. У процесу познатом као *допинговање*, одређене примесе се доводе до чистог силицијума како би се измениле електричне карактеристике кристала. Улогу тих примеса могу преузети оређени елементи, као на пример: бор (B), фосфор (P), германијум (Ge), антимон (Sb), телур (Te) итд. Узмимо, на пример, један од горе наведених елемената, и нека то буде фосфор. Фосфор замењује неке од атома силицијума у кристалу, и када дође до тога, тај атом фосфора добија улогу примесе. Сваки од тих атома фосфора формира по четири ковалентне везе. Пети електрон, тј. онај који није укључен у формирање поменуте ковалентне везе, сада добија јако битну улогу. Тај неискоришћени електрон је прилично

слабо везан за атом фосфора, толико слабо (везивна енергија је само 0.045 eV) да се он, чак и при нормалним температурама, врло лако одвоји од атома фосфора. Када дође до тог одвајања, тај електрон се може слободно кретати по кристалу.



Слика 3. Структура P-N споја

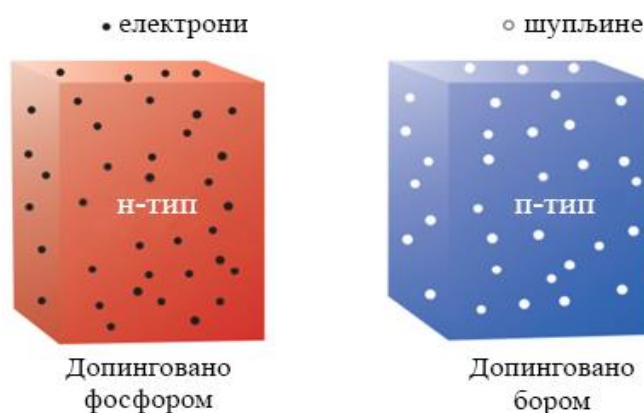
Правац електричног поља је усмерен тако као када би се позитивна тачка набоја кретала уколико би била доведена у подручје позитивног набоја. Уколико дође до тога, судар сличних напона би учинили да се та тачка помакне. Електрично поље је дакле позитивна тачка набоја. Линије електричног поља негативног набоја су усмерене према њему.

Симболи диода и транзистора користе стрелице како би показали правац у ком конвенционални смер струје може тећи. Конвенционални смер струје је од позитивног ка негативном полу, супротно од смера кретања електрона (слика 3). Уколико се батерија повеже са диодом, струја ће имати проток само уколико је позитиван пол батерије повезан на супротни крај стрелице.

Као што је већ речено, када се силицијуму дода примеса фосфора, та примеса ће заменити атоме силицијума у кристалу и формирати четири ковалентне везе. Топлотна енергија кристала раскида слабо везани пети електрон, и тај електрон се у даљем процесу слободно креће по кристалу. Атом фосфора који има улогу примесе је пак непокретан (тј. остаје фиксиран) услед ковалентне везе. Са својих четрнаест електрона и петнаест протона, фиксирани атом фосфора добија позитивно наелектрисање. Збир свих напона у *допингованом* материјалу је нула, због тога што број свих слободних електрона у њему одговара броју позитивно наелектрисаних протона у атому фосфора из кристала.

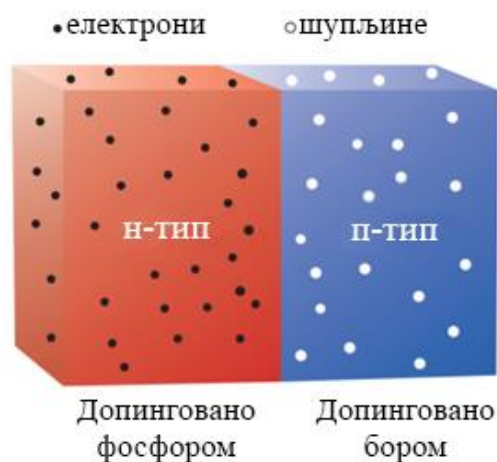
3.2 Формирање Р-Н споја

Допинговањем, може се видети на слици испод (слика 4) једне стране силицијума бором (П-тип примеса), а друге стране фосфором (Н-тип примеса) формира се Р-Н спој.



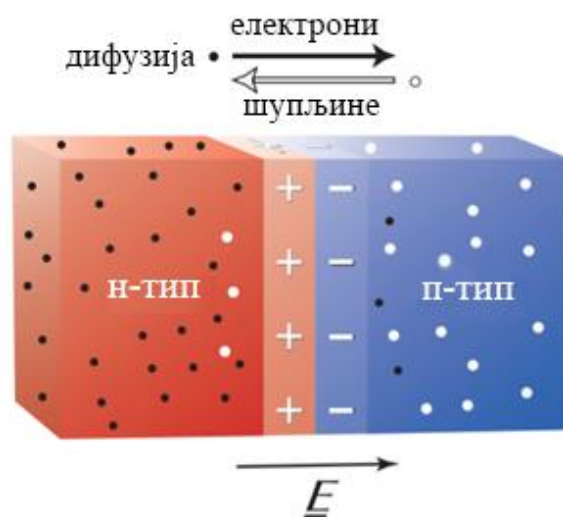
Слика 4. Приказ допингованог силицијума

Н-тип материјала поседује велики број слободних електрона који се могу кретати по материјалу. Број позитивно наелектрисаних атома фосфора (званих позитивни јони) бива избалансиран са бројем и напоном слободних електрона. Слично томе, Р-тип страна материјала поседује велики број *шупљина* (позитивно наелектрисаних) које се могу слободно кретати по материјалу. Број тих *шупљина*, као и у претходном случају, бива избалансиран са бројем негативно наелектрисаних атома бора (званих негативни јони). Изглед споја N материјала и P материјала може се видети на слици испод (слика 5).



Слика 5. Приказ спојених N-тип и P-тип материјала

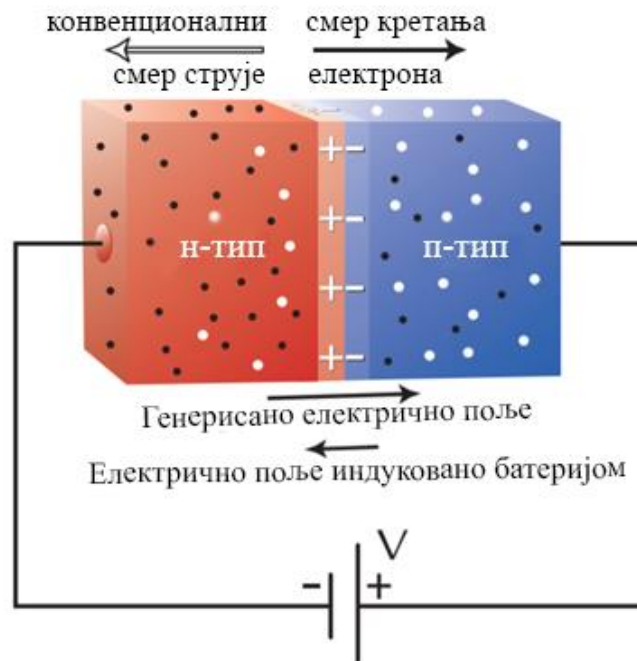
Услед допинговања кристала силицијума ствара се велики број покретних електрона на N-тип страни, али мали број истих на P-тип страни. Услед насумичног кретања слободних електрона на N-тип страни, они полако почињу да се шире на P-тип страну. Слично томе, настаје и велики број покретних *шупљина* на P-тип страни, али јако мало истих на N-тип страни. *Шупљине* се, дакле, почињу ширити на N-тип страну. Како се електрони са N-тип стране шире ка P-тип страни, за собом остављају позитивно наелектрисане јоне фосфора, близу споја између N и P области. Слично томе, позитивно наелектрисане *шупљине* у области P-тип материјала се шире ка N-тип страни и за собом остављају негативно наелектрисане јоне бора.



Слика 6. Приказ стварања електричног поља приликом дифузије

У процесу познатом као *дифузија*, насумично кретање покретних електрона и *шупљина* временом резултира њиховом подједнаком расподелом по целој површини кристала. Прелазећи преко споја, јони стварају електрично поље.

Овакав ток електрона и *шупљина* се временом избалансира, тако да укупан проток обе стране постане једнак нули. Иако је ситуација таква, на споју се формира електрично поље, и управо је то поље основа за рад диода, транзистора и соларних ћелија. Уколико се на P-тип страни примени позитивна волтажа, а негативна на N-тип страни, доћи ће до протока електричне енергије. Оваква конфигурација се назива директна поларизација и може се видети на слици испод (слика 7).



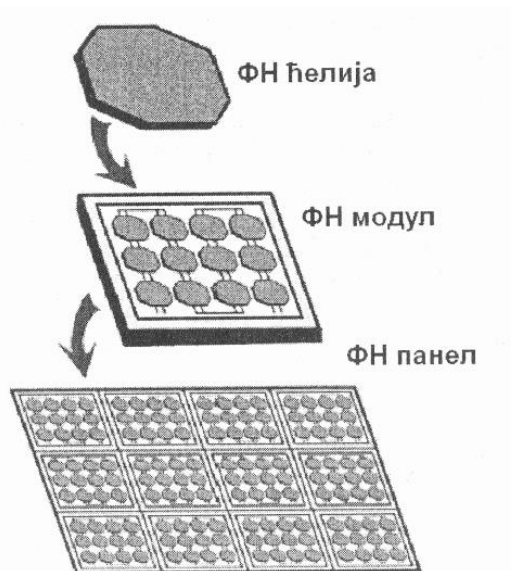
Слика 7. Директна поларизација P-N споја

Са друге стране, при *Инверзној поларизацији* P-N спој показује огроман електрични отпор и јако мали проток струје. Уколико при оваквој конфигурацији волтажа постане превелика, спој ће се распасти и струја ће имати свој проток. Могуће је направити силицијумски P-N спој тако да пробој напона буде на жељеној вредности. Такви P-N спојеви познати су и као Ценер (Зенер) диоде, чији је пробојни напон у инверзном режиму рада значајно мањи него код стандардних диода. Напон пробоја диоде при инверзној поларизацији се често зове Зенеров напон или Зенеров ефекат. Намена Зенер диоде је за стабилизацију и ограничавање напона. Од 0 до 0.5V, силицијумски P-N спој је прилично отпоран. Када примењена волтажа буде близу 0.6V, експоненцијална природа споја узрокује велико опадање отпора. Силицијумска P-N диода се понаша као електрични прекидач који се "укључи" када се примени 0.6 волти. Пошто је проток електричне енергије могућ само при директној поларизацији, диода опонаша електрични једносмерни "вентил"[6].



Слика 8. Принцип функционисања ФН ћелије

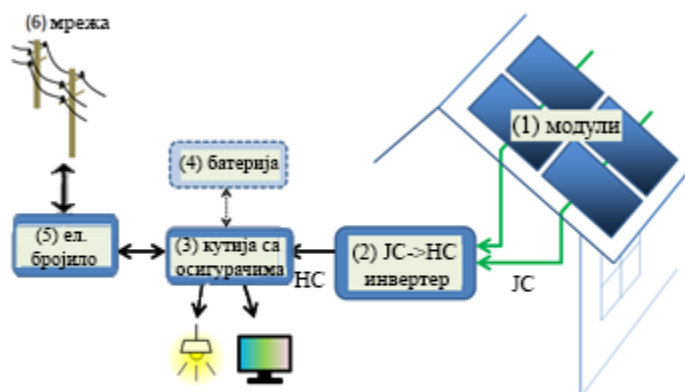
Спајањем неколико Р-Н спојева добија се једана ФН ћелија, а спајањем више ФН ћелија онда се добија ФН модул (слика 9), површина ФН ћелије је 10x10cm. Спајањем више оваквих модула добија се ФН панели површине 1m². На слици изнад (слика 8) може се видети принцип функционисања ФН ћелије.



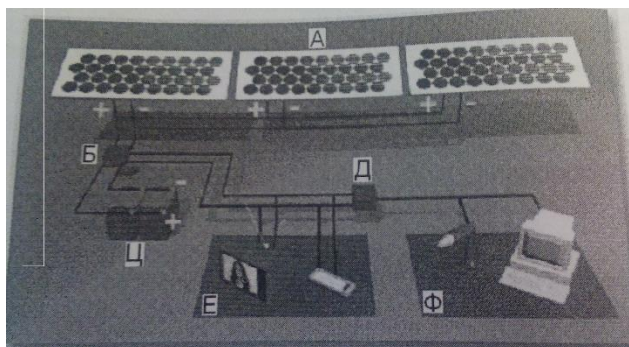
Слика 9. Повезивање ФН ћелија у модуле и панеле

Примери соларног фотонапонског система за производњу и акумулацију електричне енергије дата је на сликама 10 [8] и 10.а. Слика 10 је приказ једне соларне

апликације са прикључком на електроенергетску мрежу, док је на слици 10.а приказ једне соларне апликације која је изолована од електроенергетске мреже [9].



Слика 10. Соларне апликације са прикључком на електроенергетску мрежу, умрежени ФН панели



Слика 10.а Соларне апликације која је изолована од електроенергетске мреже

Саставни делови система су:

А-соларни пријемник

Б-регулатор пуњења

Ц-акумулатор

Д-инвертер 12V DC 220V; AC 50Hz

Е-потрошачи једносмерне струје од 12V

Ф-потрошачи наизменичне струје 220V

По начину уградње могу бити као самостални, издвојени, интегрисани и као системи за уградњу на објекат.

Самостални фотонапонски системи су одвојени од електродистрибутивне мреже и сва енергија се генерише локално у соларним модулима. Фотонапонски панел пуни акумулатор у току дана, а акумулатор обезбеђује електричну енергију потрошачима по потреби, док контролер пуњења подешава и контролише процес самог пуњења батерија. У разводном орману се налазе инструменти за надгледање и праћење система, осигурачи и прекидачи за у случају кvara или кратког споја.

По начину складиштења енергије фотонапонски системи се деле на:

- 1) директне самосталне системе, без акумулирања електричне енергије,
- 2) батеријске самосталне системе
- 3) умрежене системе, повезане и синхронизоване са јавним системом за производњу и дистрибуцију електричне енергије

Директни ФН системи су самостални не акумулирају произведену енергију, већ одмах троше све што је произведено

Датеријски ФН системи вишак произведене електричне енергије складиште у акумулаторе, а касније по потреби троше.

Умрежени ФН системи чије се инсталирање највише и подстиче су повезани и потпуно синхронизовани са јавним дистрибутивним системом електричне енергије. Када се појави вишак објекат ради као електрана шаљући електричну енергију у систем а у случају мањка он се понаша као класичан потрошач [4].

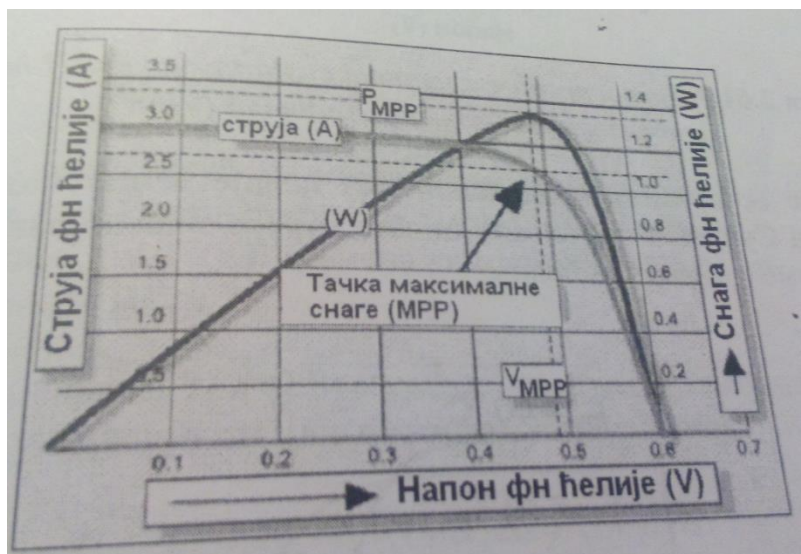
Ефикасност фотонапонске ћелије, η_{pvc} представља однос снаге трансформисане у електричну енергију, P_{pvc} и снаге сунчевог зрачења, I_p које пада на површину исте ћелије A_{pvc} .

$$\eta_{pvc} = \frac{P_{pvc}}{I_p * A_{pvc}}$$

За оцену ефикасности трансформације ФН ћелије користи се и величина фактор испуњења

$$FF = \frac{P_{pvc}}{U_{oc} * I_{sc}}$$

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



Слика 10.6. Дијаграм снаге класичне силицијумске ФН ћелије

На слици 10.6 је приказан дијаграм снаге класичне силицијумске ФН ћелије (10x10 cm) при стандардним условима ($I_p = 1000 \text{ W/m}^2$, температура ћелије $t_{pvc} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$). Са дијаграма може се видети да се тачка максималне снаге ФН ћелије добија када интезитет струје почиње да опада [4].

3.3 Основни типови силицијумских фотонапонских ћелија

Највећи проценат фотонапонских ћелија које су у употреби могу се поделити:

- ✓ монокристалне силицијумске ФН ћелије;
- ✓ поликристалне силицијумске ФН ћелије;
- ✓ ФН ћелије од аморфног материјала.

Монокристалне соларне ћелије су најскупље али зато је њихов коефицијент ефикасности 18%, поликристалне до 15% и представљају алтернативу монокристалним. Аморфне соларне ћелије имају најнижу ефикасност која износи 8 % али зато је њихова цена најмања. Монокристалне соларне ћелије су доминантан комерцијални производ. Поликристалне соларне ћелије се производе од поликристалног силицијума полупроводничке чистоће у облику траке. Услед високе цене и дуготрајног поступка производње монокристалног силицијума, и великих губитака сечења на плочице за соларне ћелије, тражен је нови материјал па је добијен аморфни силицијум.

3.4 Фотонапонске технологије и генерација ФН ћелија

У данашње време, технологија развоја фотонапонских ћелија се одвија великом брзином, тако да се данас већ говори о четири генерација ФН ћелија. Прва генерација су класичне силицијумске. У другу спадају ФН ћелије са танким филмом полупроводника нанешене на одговарајућу подлогу (кадмијум-телурид, бакар-индијум-диселенид и сл.). У трећој генерацији ФН ћелија ради се о коришћењу полимера органских ФН ћелија и нанокристала, фото-електро-хемијског ефекта. У четвртој генерацији се ради о структурама које могу апсорбовати и трансформисати различите делове електромагнетног спектра.

4. СОФТВЕРИ

Данас софтвери представљају кључ успеха већине рачунарских система и уједно фактор диференцијације организација које их поседују. Софтвер је постао битна компонента у пословном одлучивању и основа у научним истраживањима и инжењерском решавању проблема. Као такви такође представљају значајну компоненту у индустријским, транспортним, медицинским, телекомуникационим, војним и бројним другим врстама система. У овом раду су коришћени, као што је раније поменуто, следећи софтвери: GoogleSketchUp и EnergyPlus. Поред поменуто два програма искористиће се и програм KnaufTerm који ће послужити за одређивање енергетског разреда посматраног објекта. Иако одређивање енергетског разреда није тема овог рада, добијени резултат биће узет као резултат информативног карактера за посматрани објекат.

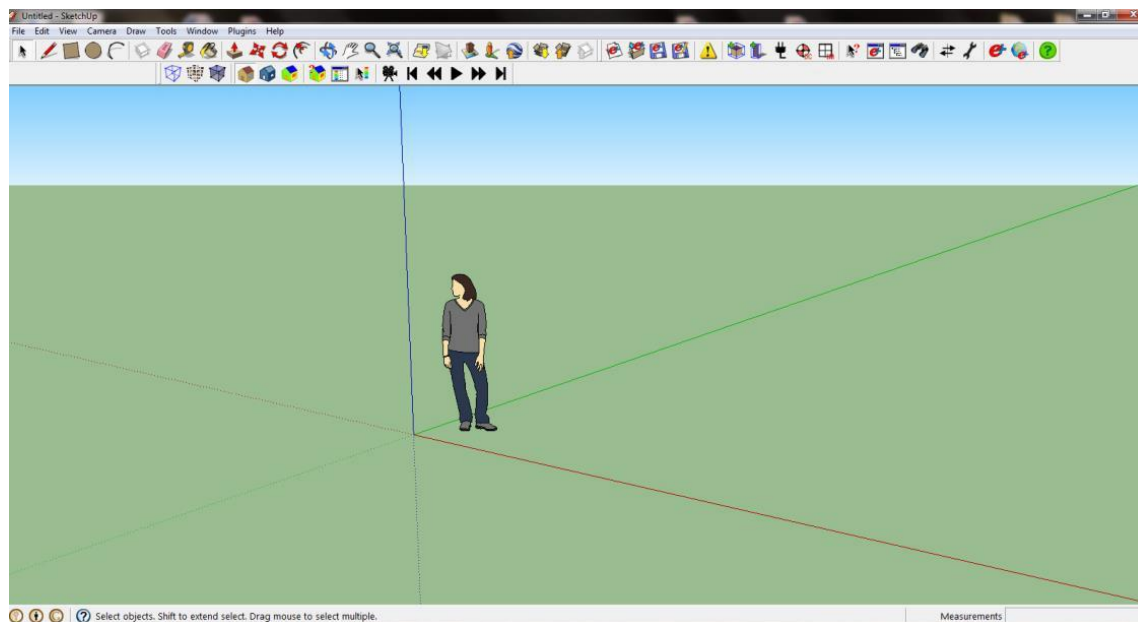
4.1 GoogleSketchUp софтвер

SketchUp је бесплатан 3D софтверски алат који се користи за виртуелно дизајнирање стамбених објеката. Он комбинује сет сопствених алата са системом интелигентног дизајна [10]. Софтвер омогућава постављање модела зграде помоћу система реалних координата, омогућава површинске приказе и подржава постављање модела у GoogleEarth апликацији. Намењен је архитектама, грађевинским инжењерима, режисерима, креаторима игрица и сличним професијама. Програм је предвиђен да буде што флексибилнији и лакши за употребу од других CAD програма за 3D компјутерски моделинг. GoogleSketchUp има више функција:

- ✓ алатке за базно и специјално 3D уређивање,
- ✓ могућност рада са сценама,
- ✓ подршка стилова,
- ✓ брзо стварање тродимензионалног текста,
- ✓ интеграција са сервисом GoogleEarth,
- ✓ могућност рада са готовим моделима,
- ✓ подршка популарних формата 3D графике.

Постоји отворена библиотека на мрежи која је препуна бесплатних модела (нпр. прозори, врата, аутомобили, итд), 3D складиште, где корисници могу додати своје моделе.

Програм обухвата израду функционалности распореда, омогућава површински “рендеринг” у променљивим “стиловима”, подржава програме треће стране “Open Studio” који пружају друге могућности. Употребом Open Studio омогућава се коришћење овог програма у EnergyPlus окружењу, што је битно за овај пројекат. Слика радног окружења GoogleSketchUp-а је приказана испод (слика 11).



Слика 11. Радно окружење GoogleSketchUp-а са потребним алатима

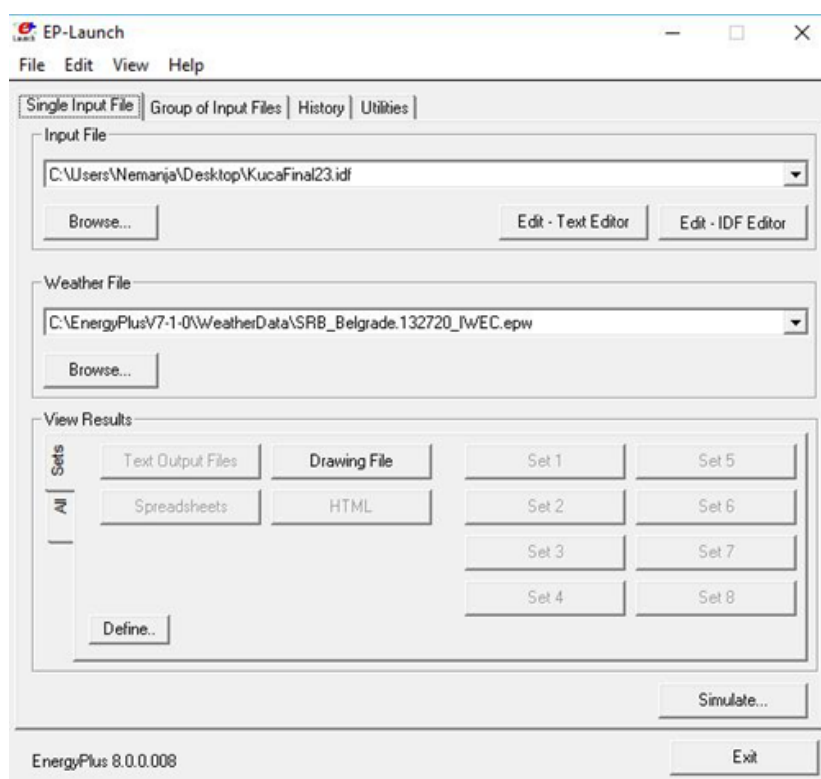
4.2 EnergyPlus софтвер

Развој софтвера EnergyPlus је започео 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 Lawrence Berkley лабораторији 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 [11].

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 [12].

EnergyPlus (слика 12) је програм за симулацију и анализу енергетских и термичких процеса грађевинских објеката. Заснован је на корисничком опису објеката, физичком изгледу зграде, повезаних механичких и других система. EnergyPlus прорачунава енергију потребну за грејање и хлађење објеката у оквиру предвиђених оптималних вредности температура, као и потрошњу енергије примарног постројења са опремом. EnergyPlus је програм који сумулира реалне услове „микроклиме” и енергетских потреба једног објекта.



Слика 12. Радно окружење EnergyPlus –а

4.3 KnaufTerm софтвер

За одређивање енергетског разреда објекта коришћен је програм KnaufTerm 2. Његова улога је:

- ✓ прорачун пролаза топлоте кроз омотач
- ✓ прорачун вентилационих губитака
- ✓ прорачун укупних трансмисионих губитака

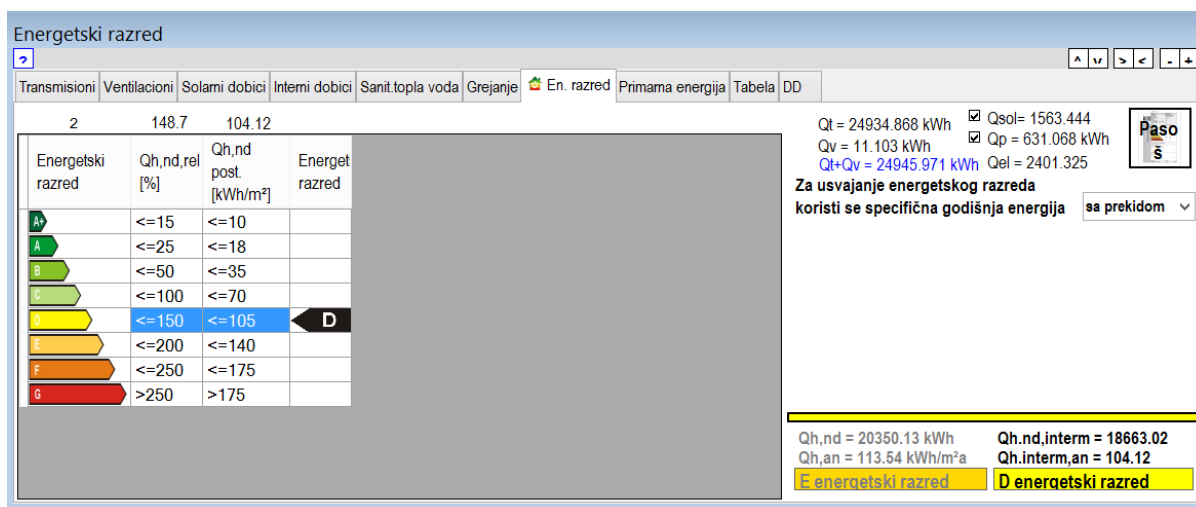
- ✓ обрачун топлотних добитака који се односе на:
- ✓ унутрашње (интерне) добитке топлоте, који су у функцији намене, заузетости површине, одавања топлоте по особи и јединици површине, присутности током дана, потрошње електричне енергије по јединици површине, протока свежег ваздуха по јединици грејаног простора и особи, као и потребној топлоти за припрему санитарне топле воде по јединици површине грејаног простора
- ✓ соларне добитке, односно добитке од сунчевог зрачења, преко фактора освештености зграде услед околних објеката, оријентације у хоризонталној равни и нагиба косих површина, фактора освештености зграде услед настрешница и вертикалних испуста на фасади

Интерфејс софтвера KnaufTerm је приказан на слици 13.



Слика 13. Интерфејс софтвера KnaufTerm 2

Уношењем неопходних података о одабраном објекту попут површинина грејног простора, прозора и врата, запремини објекта, изолацији и слично добија се картица са приказаним енергетским разредима на којима ће бити одређен енергетски разред за посмартани објекат као на слици 14.



Слика 14. Енергетски разред одабраног објекта и потрошња топлотне енергије

Са слике се види да одабрани објекат припада енергетском разреду Д што представља сасвим солидан резултат за посматран објекат. Треба напоменути да су енергетски разред и потрошња топлотне енергије добијени само за просторије које се загревају.

5. ОПИС СТАМБЕНОГ ОБЈЕКТА

У овом одељку биће описан модел стамбеног објекта, лоцираног у општини Ћуприја, у централној Србији (округ Поморавља). Описани су параметри који карактеришу објекат, почев од структуре омотача, система грејања. Ови параметри су важни при анализама потрошње енергије, јер сваки од њих утиче у мањој или већој мери на енергетско понашање објекта.

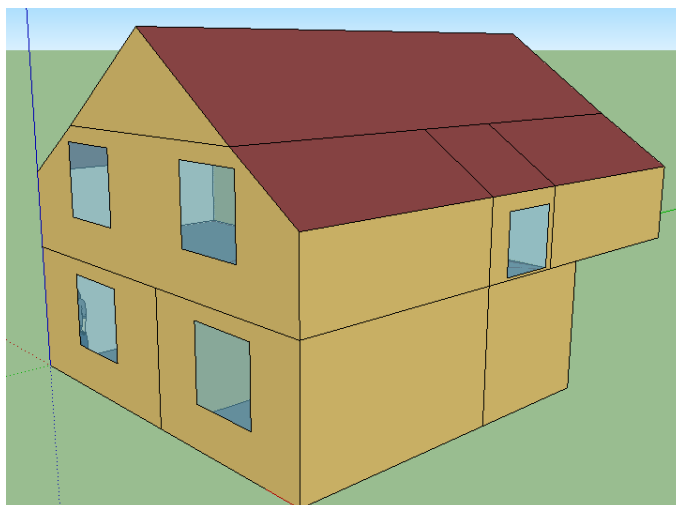
5.1 Локација и физички опис објекта

Одабрани стамбени објекат се налази у општини Ћуприја, у улици Драгоша Илића 42. На сателитском снимку који је приказан на слици 15, који је добијен помоћу програма GoogleEarth, може се видети положај објекта. У програму се не користи ова локација, него због доступних метеоролошких који су дати за Београд, радиће се као да се објекат налази у Београду.

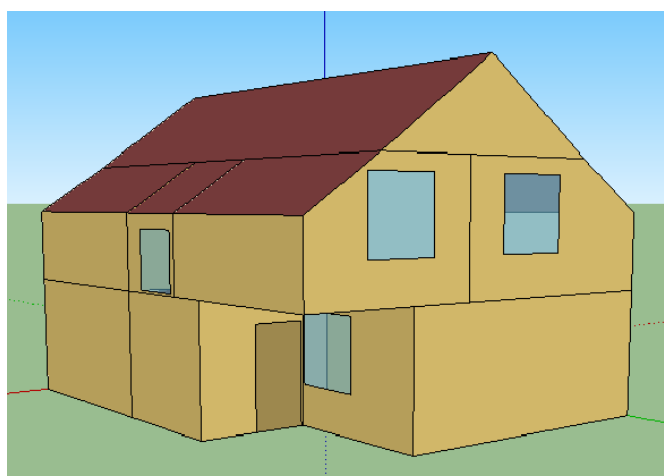


Слика15. Сателитски снимак одабраног објекта

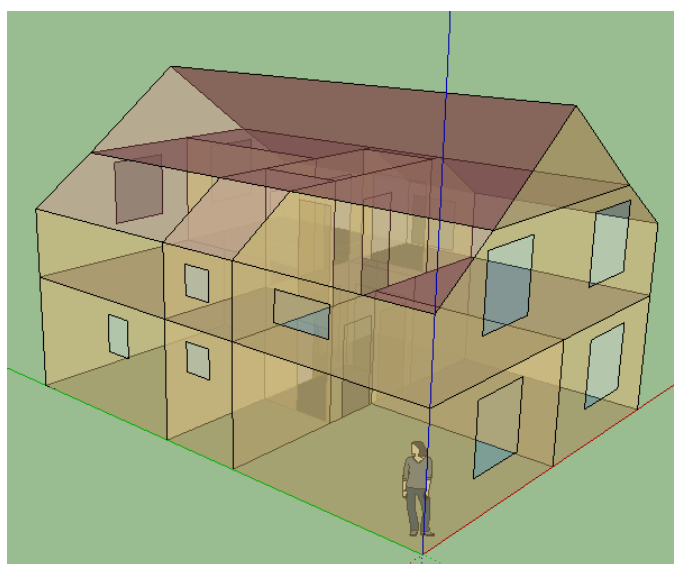
Стамбени објекат за који се врши симулација је кућа (слика 16, слика 17, слика 18) која је моделирана у софверу GoogleSketchUp. Кућа се састоји из приземља, првог спрата и тавана. Кућа се поседује 2 кухиње са дневном собом, 2 купатила, 4 спаваће собе, 2 ходника и 2 улаза и таван. Површина која се греје износи $118,79\text{m}^2$.



Слика.16 Предња страна куће

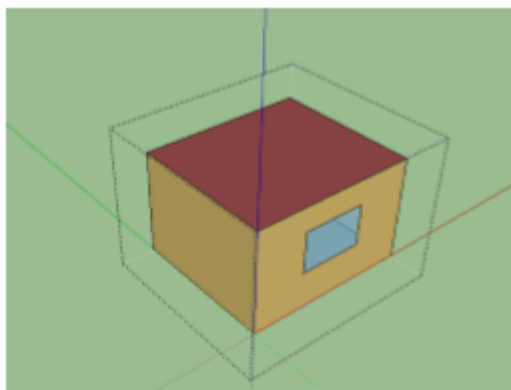


Слика. 17 Задња страна куће



Слика. 18 Кућа (Wiew model in X-Ray Mode команда)

Да би рад са зградом био могућ у Energy Plus-у, просторије се морају цртати по зонама. На слици 14. испод дат је приказ једне зоне која представља дневну собу.



Слика 17. Прва формирана зона у GoogleSketchUp-у

Укупна површина приземља је $77,17\text{m}^2$, површина спрата је $91,8\text{m}^2$. У састав омотача објекта улази и 1 улазна врата, 10 унутрашњих врата, 11 прозора и 1 светларник. Називи просторија, њихова квадратура и запремина су приказани у табели испод (табела 1).

Називи просторија у EnergyPlus	Површина просторије [m^2]	Запремина просторије [m^3]	Укупна површина [m^2]
Дневна соба 1	22,32	55,80	78,79
Спаваћа соба 1	15,12	37,80	
Спаваћа соба 2	17,56	43,89	
Купатило 1	5,04	12,60	
Ходник 1	5	12,51	
Улаз 1	5,83	14,57	
Дневна соба 2	32,68	75,39	77,8
Спаваћа соба 3	17,40	40,50	
Спаваћа соба 4	13,72	31,30	
Купатило 2	5,04	11,25	
Ходник 2	5,76	14,40	
Улаз 2	3,20	6,66	

Табела 1. -Називи просторија у EnergyPlus-у, њихова квадратура [m^2] и запремина [m^3]

5.2 Материјали објекта

Попис материја од којих је овај објекат саграђен са својим карактеристикама дат је табелом 1.а.

Материјал	Густина [kg/m ³]	Дебљина [m]	Специфична топлота [J/kgK]	Коефицијент провођења топлоте [W/mK]
Кречни малтер	1600	0.02	1050	0.81
Цементна кошуљица	2100	0.04	1050	1.4
PVC фолија	1460	0.00015	1100	0.19
Стаклена вуна	50	0.08	840	0.04
Стиродур	33	0.04	1260	0.03
Керамичке плочице	1700	0.015	920	0.87
Паркет	700	0.02	1670	0.21
Цреп	1900	0.01	880	0.99
Гитер блок	1200	0.19	900	0.52
Армирани бетон	2400	0.04	960	2.04
Шљунак	1700	0.2	840	0.81
Неармирани бетон	1800	0.15	960	0.93
Монта	1200	0.16	920	0.6
PVC	800	0.05	960	0.12
Стиропор	20	0.05/0.1	1260	0.041
Храст	800	0.05	2400	0.21

Табела 1.а Грађевинских материјали објекта са карактеристикама

5.3 Конструкције

Састав грађевинских констукција дат је табелом 1.б.

Грађевинска конструкција	Елементи конструкције
Зид спољашњи	Стиропор
	Гитер блок
	Кречни малтер

Зид спољашњи	Крешни малтер
	Гитер блок
Зид унутрашњи	Паркет
	Цементна кошуљица
	Стиродур
	PVC фолија
	Неармирани бетон
	Шљунак
Кров	Цреп
	Стиродур
	Армирани бетон
	Цементна кошуљица
Прозор једноструки	Стакло 3mm
	Ваздух 13mm
Прозор двоструки	Стакло 3mm
	Стакло 3mm
	Ваздух 13mm
Светларник	Стакло 3mm
Мали прозор	Стакло 3mm
	Ваздух 13mm
	Стакло 3mm
Унутрашња врата	Боровина
Врата спољашња	Боровина
Под на спрату	Армирани бетон
	Крешни малтер
Таваница	Цементна кошуљица
	Армирани бетон
	Стиропор
	Цреп
Зид SS3 I SS4	Гипсане плоче 12mm
	Стиропор
	Гипсане плоче 12mm
Таваница косина	Цементна кошуљица
	Армирани бетон
	Стиропор
	Минерална вуна

Табела 1.6 Састав грађевинских конструкција

5.4 Осветљење

Осветљење је веома битно при прорачуну, нарочито ако се користе сијалице са ужареним влакном, као што је случај у овом објекту. Изглед једне сијалице са ужареним влакном је приказан на слици 18.

Попис снага сијалица по просторијама је дат у табели 2.



Слика. 18 Сијалица са ужареним влакном (IL сијалица)

Просторија	Снага сијалица у ватима [W]
Дневна соба 1,2	100
Спаваћа соба 1,2,3,4	60
Ходник 1, 2	60
Улаз 1,2	60
Купатило 1,2	60

Табела 2. Снага сијалица по просторијама

Пример периода коришћења осветљења по просторијама је приказан на слици 19. ИСПОД.

[0079] Schedule:Compact		Explanation of Object and Current Field		
[0018] Material		Object Description: Irregular object. Does not follow the usual definition.		
[0001] Material:AirGap		Through: Date		
[0001] WindowMaterial:Glazing		For: Applicable days (ref: Schedule:Week:Compact)		
[0001] WindowMaterial:Gas		Interpolate: Yes/No (ref: Schedule:Day:Interval) -- optional, if not used		
[0016] Construction		Unit: <Time> (ref: Schedule:Day:Interval)		
[0001] GlobalGeometryRules		<numeric value>		
[0013] Zone		words "Through","For","Interpolate","Until" must be included.		
[0104] BuildingSurface:Detailed				
[0034] FenestrationSurface:Detailed				
Field	Units	Obj20	Obj21	Obj22
Name		Svetlo u SS1	Svetlo u DS1	Svetlo u KROV
Schedule Type Limits Name		Fraction	Fraction	Fraction
Field 1	varies	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31
Field 2	varies	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays
Field 3	varies	Unit: 7:00	Unit: 7:00	Unit: 7:00
Field 4	varies	0	0	0
Field 5	varies	Unit: 9:00	Unit: 9:00	Unit: 9:00
Field 6	varies	0.7	0.2	0
Field 7	varies	Unit: 10:00	Unit: 10:00	Unit: 10:00
Field 8	varies	0.4	0.1	0
Field 9	varies	Unit: 15:00	Unit: 15:00	Unit: 15:00

Слика 19. Употреба осветљења по просторијама

5.5 Грејна тела

Калорифери су уређаји за грејање који имају уграђен вентилатор којим се остварује принудно струјање ваздуха преко електричног грејача и тиме се поспешује прелаз топлоте. Топлота се одаје конвективним путем и ови уређаји немају могућност акумулације топлоте [13]. Грејно тело (калорифери) ради на електричну енергију. Снага тела и ефикасност претварања електричне енергије у топлотну су приказани у табели 2. Грејно тело ради само у току зимског периода сезоне, који траје од 15 октобра до 15 априла.

Просторија	Снага грејних тела [W]	Ефикасност претварања електричне енергије у топлотну
Дневна Соба 1	3500	0,98
Дневна Соба 2	3500	0,98
Спаваћа соба 1	2500	0,98
Спаваћа соба 2	2500	0,98
Спаваћа соба 3	2500	0,98
Спаваћа соба 4	3500	0,98

Табела 2. Снага грејних тела и ефикасност претварања ел. Енергије у топлотну

На слици је приказан пример пројектоване температуре за просторију у различитим деловима дана је приказана (слика 20).

[0079] Schedule: Compact		Object Description: Irregular object. Does not follow the usual definition for fields. Fields A3... are:				
[0018] Material		Through: Date				
[0001] Material: AirGap		For: Applicable days (ref: Schedule: Week: Compact)				
[0001] WindowMaterial: Glazing		Interpolate: Yes/No (ref: Schedule: Day: Interval) -- optional, if not used will be "No"				
[0001] WindowMaterial: Gas		Until: <Time> (ref: Schedule: Day: Interval)				
[0016] Construction		<numeric value>				
[0001] GlobalGeometryRules		words "Through", "For", "Interpolate", "Until" must be included.				
[0013] Zone						
Field	Units	Obj75	Obj76	Obj77	Obj78	Obj79
Name		El.oprema u UL2	Htg-SetP-Sch-SS2	Htg-SetP-Sch-SS3	Htg-SetP-Sch-SS4	Htg-SetP-Sch-DS2
Schedule Type Limits Name		Fraction	Temperature	Temperature	Temperature	Temperature
Field 1	varies	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31
Field 2	varies	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays
Field 3	varies	Until: 7:00	Until: 07:00	Until: 07:00	Until: 07:00	Until: 07:00
Field 4	varies	0	15	15	15	16
Field 5	varies	Until: 10:00	Until: 22:00	Until: 22:00	Until: 22:00	Until: 22:00
Field 6	varies	0	22	22	22	22
Field 7	varies	Until: 14:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00
Field 8	varies	0	15	15	15	16
Field 9	varies	Until: 18:00				

Слика 20. Пројектоване температуре по просторијама

6. РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗА

Након дефинисања свих параметара у програму EnergyPlus, симулира се енергетско понашање куће. Циљ симулације је одређивање потрошње електричне енергије за рад електричних грејних тела у зимској сезони и приказ резултата добијених након симулација са уградњом ФН панела (у софтверу EnergyPlus називом KR_R1_S је означена површина, односно страна крова на којој се панел налази, а називом KR_R2_N је означена површина, односно друга страна крова на којој се налази панел, при чему је са ознакама S и N дата георафска оријентација: S- југ; N- север). Резултати симулације су за зимски период сезоне, од 15. октобра до 15. априла. Одрађене су симулације за следеће случајеве:

- ✓ када на објекту нема постављених ФН панела на косинама крова
- ✓ када је на објекту постављен ФН панел са јужне стране косине крова
KR_R1_S
- ✓ када је на објекту постављен ФН панел са северне стране косине крова
KR_R2_N
- ✓ када је на објекту постављен ФН панел са обе стране крова

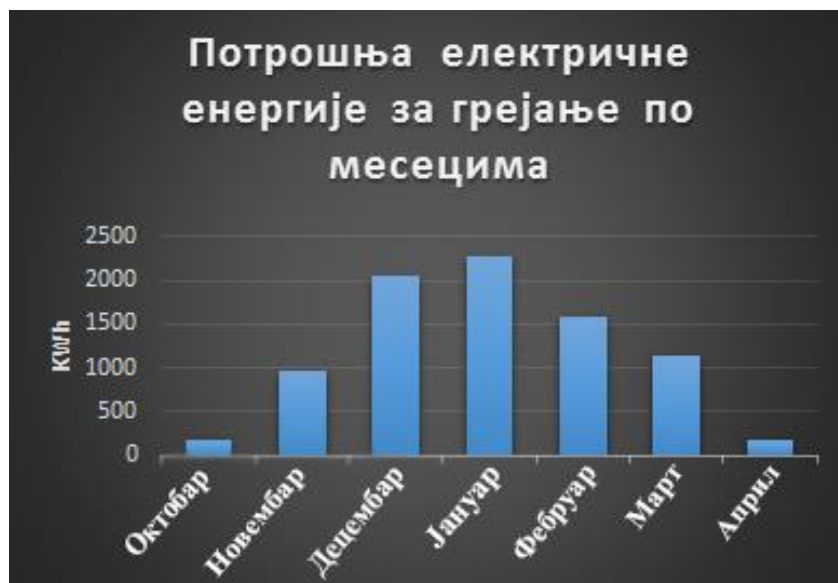
Након добијених резултата одрадиће се поновне симулације и приказати енергетска анализа разматраног објекта за различите варијабилне параметре попут промене површина фотонапонских панела, хелијске ефикасности панела, фракције соларног зрачења итд.

6.1 Кућа без ФН панела

Резултати након прве симулације за тренутно стање објекта када нису постављени ФН панели су приказани у табели 3 (Потрошња електричне енергије). Приказана је потрошња електричне енергије за грејање, унутрашње осветљење и електричне уређаје. Када се добијене вредности поделе са 196.47 добија се потрошња електричне енергије по метру квадрату.

Потрошачи електричне енергије	Потрошња електричне енергије за целу грејну сезону [kWh]	Потрошња електричне енергије за целу грејну сезону [kWh/m ²]
Енергија за грејање	8810.40	45.14
Унутрашње осветљење	1079.33	5.49
Електрични уређаји	3356.95	17.08
Укупно	13246.68	67.81

Табела 3. Потрошња електричне енергије без ФН панела



Дијаграм 1. Потрошња електричне енергије за грејање по месецима

Дијаграмом 1. је приказана потрошња количине електричне енергије за грејање стамбеног објекта дате по месецима. За месец октобар је количина утрошене енергија најмања, односно није потребно пуно загревати домаћинство због спољашњих температура. Може се видети са дијаграма да је потрошња електричне енергије за децембар и јануар највећа јер су у том периоду и спољашње температуре најниже па је тад и највећа потражња за електричном енергијом. Пошто промена дебљине изолационог слоја није тема рада, она ће остати непромењена за све случајеве 5cm.

6.2 ФН панел на јужној косини крова KR_R1_S

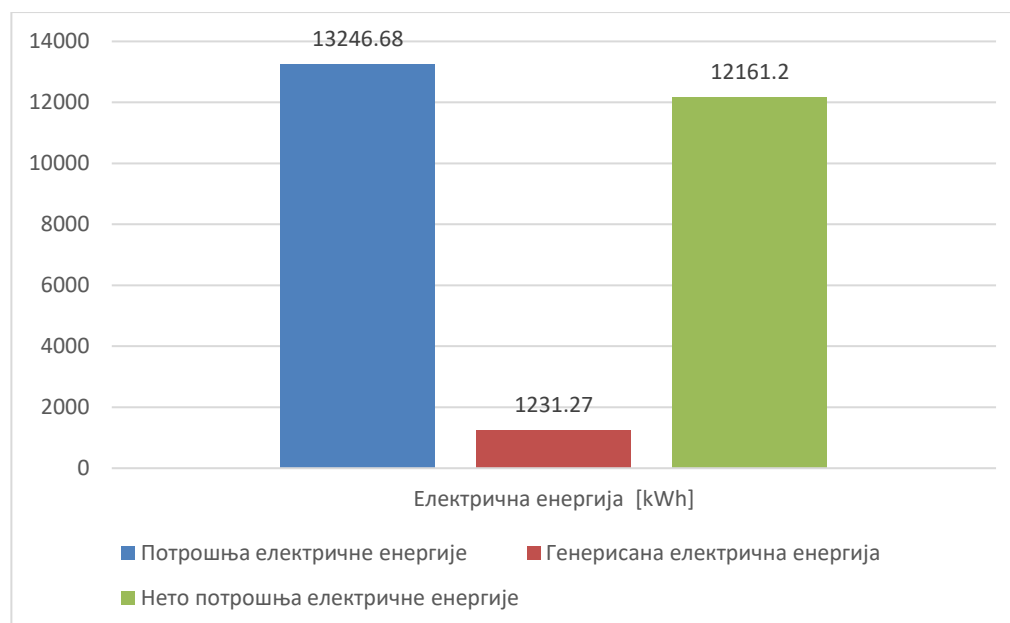
Након симулације у другом случају када је ФН панел фракције 0.5, површине 4m² и ефикасности 12% постављен са јужне стране крова KR_R1_S, добијени резултати су приказани у табели 4.

	Електрична енергија [kWh]
Потрошња електричне енергије	13246.68
Генерисана електрична енергија	1231.27
Нето потрошња електричне енергије	12161.2

Табела 4

Генерисана електрична енергија ФН панела на јужној страни KR_R1_S

Графички приказ добијених резултата дат је на дијаграму 2.



Дијаграм 2. Графички приказ генерисане електричне енергије ФН панела

6.3 ФН панел на северној страни косине крова KR_R2_N

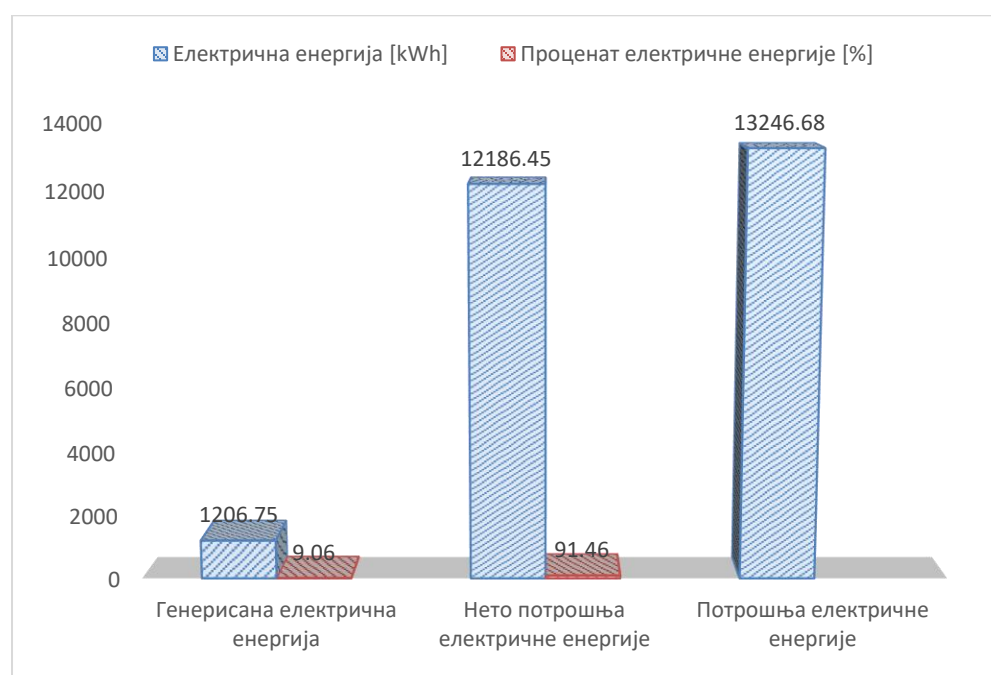
Након симулације у трећем случају када је панел постављен са северне стране крова KR_R2_N, добијени резултати су приказани у табели 5. ФН панели фракције 0.5, површине 4m² и ефикасности 12% са северне стране крова дају нешто мање вредности него сто је то случај кад је на јужној страни разлика је свега 24.52 kWh па је нето

утрошена електрична енергија скоро идентична. Разлог томе јесте што је посматран само грејни период а не цела календарска година.

	Електрична енергија [kWh]	Проценат електричне енергије [%]
Генерисана електрична енергија	1206.75	9.06
Нето потрошња електричне енергије	12186.45	91.46
Потрошња електричне енергије	13246.68	

Табела 5. Генерисана електрична енергија ФН панела са стране крова krova KR_R2_N

Графички приказ добијених резултата у овом случају.



Дијаграм 3. Графички приказ генерисане електричне енергије ФН панела на северној страни крова

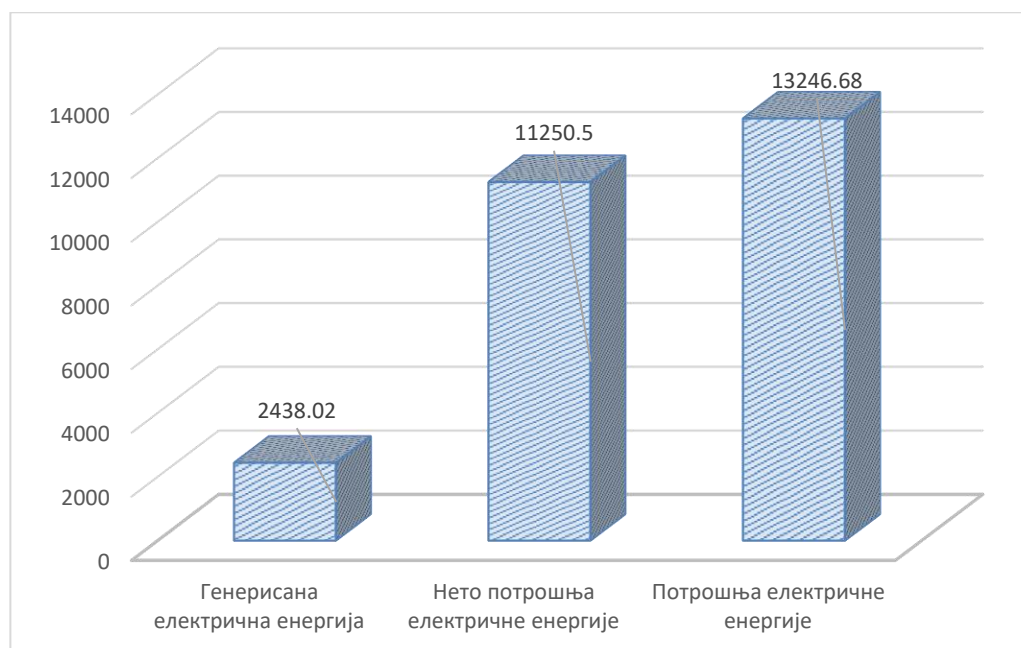
6.4 ФН панели са обе стране крова

У овом случају се разматрана је ситуација када су панели постављени са обе стране крова. Резултати након четврте симулације су приказани у табели 6 са одговарајућим дијаграмом генерисане електричне енергије (дијаграм 4) као у претходним случајевима исти ФН панел фракције 0.5, површине 4m² и ефикасности 12% сада се налази са обе стране и може се видети да су добијени бољи резултати, тј генерисана је већа количина електричне енергије и самим тим је утошена мања количина нето енергије.

	Електрична енергија [kWh]	Проценат електричне енергије [%]
Потрошња електричне енергије	13246,68	84.43
Генерисана електрична енергија	2438.02	18.3
Нето потрошња електричне енергије	11250.5	

Табела 6. Генерисана електрична енергија ФН панела са обе стране крова

На дијаграму су графички приказани добијени резултати за разматрани случај. Може се видети да је генерисана већа количина електричне енергије за 9.24%



Дијаграм 4. Дијаграм генерисане електричне енергије ФН панела са обе стране крова

6.5 Поређење добијених резултата генерисане енергије

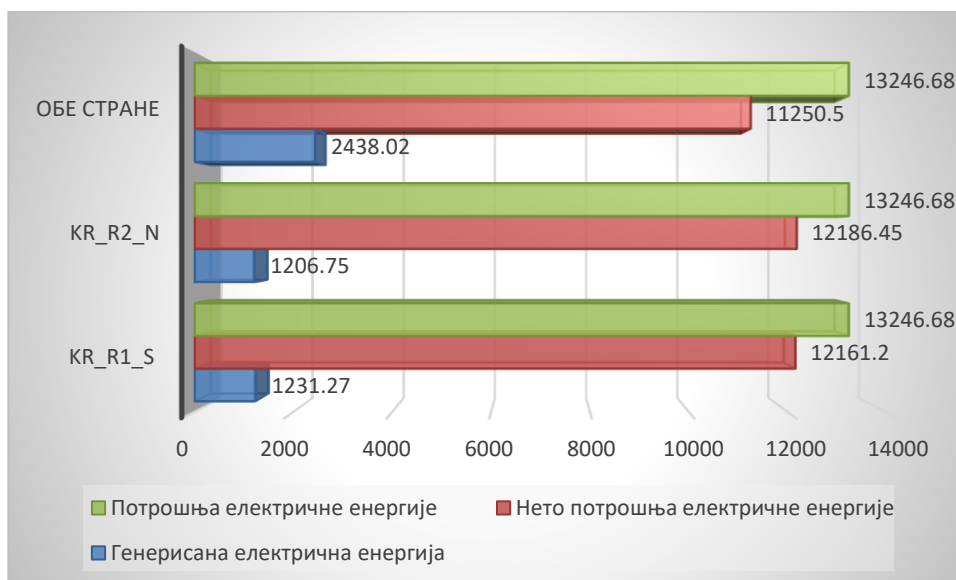
Након извршених симулација објекта, могу се упоредити сви резултати и може се видети остварена уштеда у kWh у току целе грејне сезоне. На основу датих табела из поглавља 6.1 и 6.2 и 6.3 и 6.4 може се формирати табела поређења генерисања електричне енергије и нето потрошене електричне енергије (Табела 7.) где се може упоредити укупна добијена електрична енергија током грејне сезоне употребом ФН панела у сваком од случајева. Из табеле се види да је највећа генерисана енергија у случају ФН панела са обе

стране крова 2438.02 kWh па је самим тим и нето потрошња електричне енергије најмања од сва три случаја и она износи 11250.5 kWh за грејну сезону.

	KR_R1_S	KR_R2_N	Обе стране
Генерисана електрична енергија	1231.27	1206.75	2438.02
Нето потрошња електричне енергије	12161.2	12186.45	11250.5
Потрошња електричне енергије	13246.68	13246.68	13246.68

Табела 7. Поређење генерисане електричне енергије по датим случајевима

Графички приказ добијених резултата употребом ФН панела са истим карактеристикама у сва три случаја. Њихове вредности и поређење графички су да те дијаграмима 5 и 6.



Дијаграм 5. Дијаграм генерисане електричне енергије ФН панела

Графички приказ добијених вредности према посматраним случајевима дат у процентима. Са дијаграма може се приметити да је разлика у постављању са северне или јужне стране крова мала свега 0.18% док је она највећа уколико је упоредимо са случајем када су панели постављени са обе стране. Ако се упореди нето утошена енергија између случаја 6.4 и 6.3 добија се разлика од 7.03% , односно уштеда од 7.03%



Дијаграм 6. Дијаграм генерисане електричне енергије ФН панела KWh дат у %

Место постављања ФН панела на одабраној страни крова има утицаја на производњу електричне енергије и ефикасност, као и сам положај објекта на коме се овакав систем поставља (мисли се на то како је посматрани објекат оријентисан у односу на север, што је јако битно приликом цртања посматраног објекта у GoogleSketchUp програму), такође временски услови. Неки од спољашњих услова у који могу утицати на генерисање електричне енергије ФН панелима јесте да ли је употреба оваквог система у летњем или зимском периоду (број сунчаних дана у току године, угао излагања сунцу), какве су временске прилике да ли ће бити облачно или кишовито, од прашине на површини панела итд. Као што се може видети према табели за поређење генерисане електричне енергије (табела 7), разлика између случајева када се панел налази на странама крова KR_R1_S и KR_R2_N врло мала што важи искључиво за разматрани зимски период, док се може приметити да у случају када су панели постављени са обе стране крова количина генерисане енергије је доста већа. Ове вредности би биле далеко веће да се ради симулација за целу календарску годину.

У табели 8 је приказана укупна потрошња електричне енергије по грејној сезони (када нису уграђени ФН панели) и подељена на нижу и на вишу тарифу. Време рада у нижој и вишој тарифи је одређено према пројектованим температурама и помоћу познатих

периода ниже и више тарифе електричне енергије, чиме је процењено да се 60% електричне енергије троши у вишој тарифи а 40% у нижој тарифи. Поређење укупне електричне енергије потребне за загревање објекта (такође је овај податак дат и према одговарајућим тарифама) са укупном електричном енергијом генерисане уз помоћ ФН система према одговарајућим случајевима дате је табелом 9.

Грејна сезона		Укупна KWh	зелена тарифа		плава тарифа		црвена тарифа		Укупно RSD
	Без панела	13246.68	Нижа Тарифа kWh	Виша Тарифа kWh	Нижа Тарифа kWh	Виша Тарифа kWh	Нижа Тарифа kWh	Виша Тарифа kWh	
		8831	817	1633	2917	5833	1365	682	128,195.64
		4416							

Табела 8. Укупна потрошња електричне енергије за грејање без ФН панела по тарифама у kWh и произведена количина електричне енергије путем ФН панела

Табеле 7 и 8 показују да се укупна потрошња енергија за грејну сезону умањује за количину добијене енергије након уградње ФН панела за дате случајеве. Тако да би нето потрошња електричне енергије за случај 6.2 износила 12015.42 kWh ; за случај 6.3 12039.93 kWh; за случај 6.4 10808.67 kWh.

Према калкулатору потрошње за домаћинства[14] добила би се цена у РСД за нето утрошену електричну енергију у одговарајућим случајевима:

- ✓ у случају 6.2 било би 106,692.02 РСД
- ✓ у случају 6.3 било би 107,142.57 РСД
- ✓ у случају 6.4 било би 89,036.54 РСД

Након добијених износа у РСД можемо израчунати уштеду која би се добила уградњом ФН панела према одговарајућим случајевима тако што се од цене за укупно утрошену електричну енергију за грејну сезону одузме цена нето утрошене електричне енергије, тако би добили уштеду према разматраним случајевима:

- ✓ у случају 6.2 било би $128,195.64 - 106,692.02 = 21,503.62$ РСД
- ✓ у случају 6.3 било би $128,195.64 - 107,142.57 = 21,053.07$ РСД
- ✓ у случају 6.4 било би $128,195.64 - 89,036.54 = 39,159.10$ РСД

Недостаци су: нема производње ноћу и када су дани облачни, а 3 до 4 сата за време зимских дана. Неравномерна производња отвара проблем складиштења енергије [15]. Проблем је могуће решењем на два начина: уградњом акумулаторских батерија које могу дати аутономију рада од 15 минута до 2-3 сата или више. Други начин био би прикључење на јавну мрежу.

ФН панели могу да обезбеђују електричну енергију у време највеће потражње (преко дана) и тако растеређују преносну и градску дистрибутивну мрежу (уколико је апликација изведена на такав начин), не захтевају посебно одржавање. Цена једног панела варира од произвођача до произвођача, па је узет просек од 730€ за систем који није прикључен на мрежу [15]. У ту цену улази соларни панел 2 x 140W, контролер 30A, дисплеј, соларна батерија 120Ah, инвертор напона 1000W.

Уколоко се узме да је примера ради $1\text{€} = 118\text{РСД}$, па с тога је $730 \cdot 118 = 86140$ РСД цена једне овакве соларне апликације нпр, зависила би од потреба корисника, жељене снаге и економских могућности као и да ли је цео систем рађен као самосталан или са прикључен на мрежу. Уколико се посматрају случајеви према табели 8 и према одељцима 6.2, 6.3 и 6.4, било би у случају само са стране KR_R1_S 1231.27 kWh генерисаних помоћу ФН панела за грејну сезону и уштеду у динарима од 21,503.62 РСД и када је ФН панел са обе стране крова 2438.02 kWh генерисаних помоћу ФН панела за грејну сезону што је 39,185,10 РСД уштеде. Што би значило да у првом посматраном случају период отплате износи $86140/21,503.62 = 4$ године, у случају 6.3 $86140/21,053.07 = 4.09$ године отплате, у трећем посматраном случају када се панели постављају са обе стране крова, период отплате износи око 2,19 година.

6.6 Анализа резултата ФН панела ефикасности 12%

Сада ће се извршити симулација за тражене случајеве када је ФН панел исте површине 4m^2 , повећане соларне фракције са 0.5 на 0.85, ефикасност 12%. Добијени резултати биће приказани када се ФН панели налазе на јужној страни крова, на северној страни крова и када је ФН панел постављен на обе стране крова.

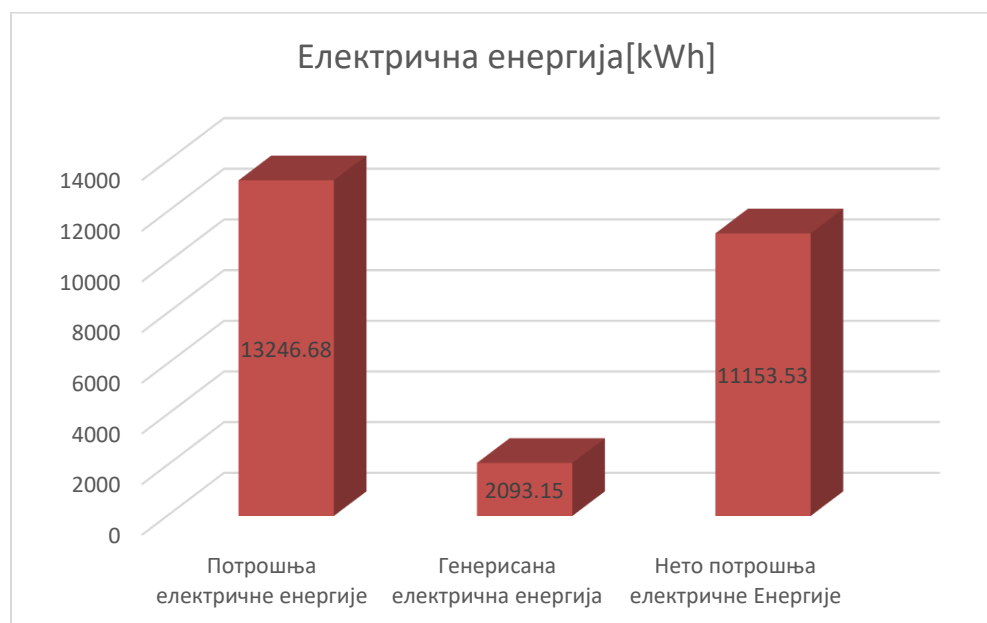
6.6.1 ФН панел са јужне стране крова KR_R1_S фракције 0.85

Након повећања соларне фракције на 0.85 извршиће се анализа добијених резултата ФН панела са јужне стране крова, површине 4m² и ефикасност 12%, дакле подаци су исти као у претходно разматраном случају. Добијени резултати о нето потрошњи електричне енергије и генерисане електричне енергије биће представљени у табели 9.

	Електрична енергија [kWh]
Потрошња електричне енергије	13246.68
Нето потрошња електричне енергије	11153.53
Генерисана електрична енергија	2093.15

Табела 9. Генерисана електрична енергија ФН панела са KR_R1_S стране крова

Графички приказани резултати са могу се видети на дијаграму 7. На основу дијаграма може се видети да при већој соларној фракцији ФН панел са јужне стране крова сада генерише доста већу количину електричне енергије него у претходном случају за 6,56% или 861.88 kWh.



Дијаграм 7. Дијаграм генерисане електричне енергије ФН панела KR_R1_S стране крова

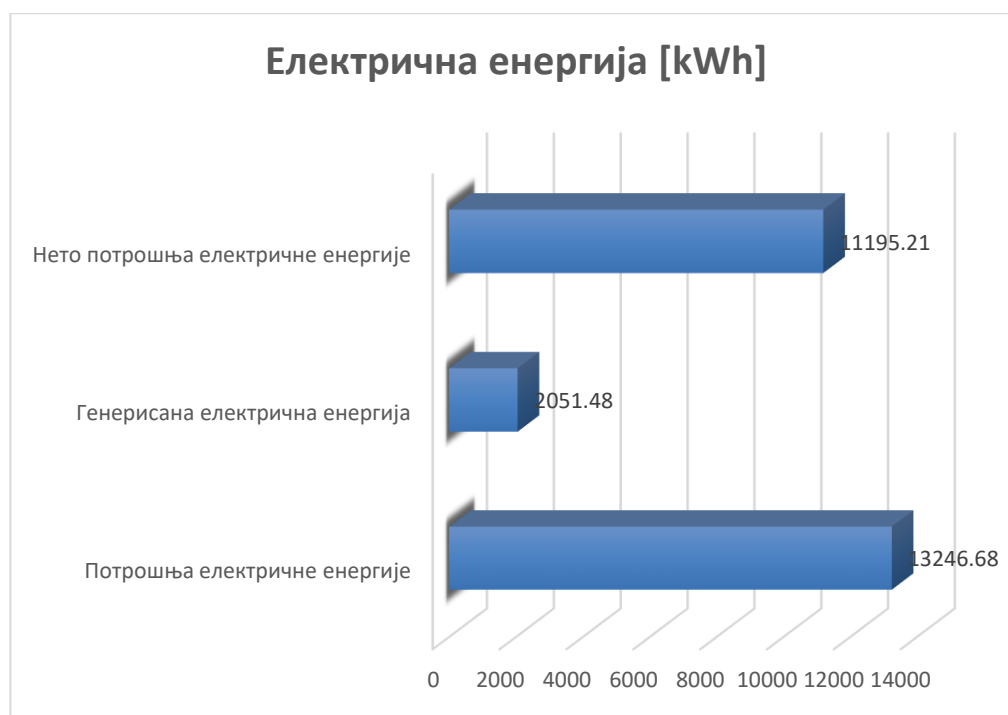
6.6.2 ФН панел на северној страни крова KR_R2_N, соларна фракција 0.85, ефикасност 12%

Након симулације када је ФН панел са северне стране KR_R2_N крова при истим условима као што су претходно разматрани, добијени резултати који су остварили ФН панели, односно количину електричне енергије која је генерисана и укупна потрошња нето енергије биће приказани у табели 10.

	Електрична енергија[kWh]
Потрошња електричне енергије	13246.68
Генерисана електрична енергија	2051.48
Нето потрошња електричне енергије	11195.21

Табела 10. Генерисана електрична енергија ФН панела са KR_R2_N стране крова

На дијаграму 8 су графички приказани резултати који су остварили ФН панели на северној страни крова са којих се може видети да је генерисана количина електричне енергије нешто мања него када су панели са јужне стране свега 41.67 kWh.



Дијаграм 8. Дијаграм генерисане електричне енергије ФН панела са KR_R2_N стране крова

6.6.3 ФН панели на обе стране крова, фракција 0.85

У овом случају је разматрана симулација када су ФН панели постављени на обе стране крова, површине 4m^2 , фракција 0.85 и ефикасност 12% . Добијени резултати који би представљали најповољнији случај приказани су у табели 11.

	Електрична енергија[kWh]
Потрошња електричне енергије	13246.68
Генерисана електрична енергија	4144.63
Нето потрошња електричне енергије	9102.05

Табела 11. Генерисана електрична енергија ФН панела са обе стране

На дијаграму 13 су приказани резултати који су остварили ФН панели, односно количину генерисане електричне енергије у задатом периоду и укупна потрошња енергије и нето потрошња енергије за најповољнији случај. Остварени резултати су за 15.8% већи него у претходно разматраном случају 6.6.1. или за 2051.48 kWh.



Дијаграм 9. Дијаграм генерисане електричне енергије ФН панела са обе стране

6.6.4 Поређење резултата генерисане енергије

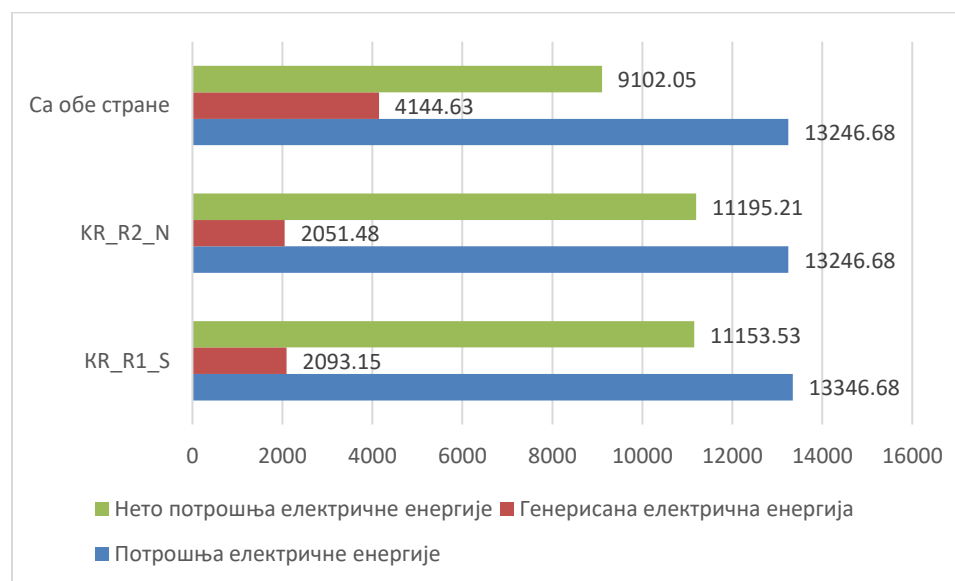
Након извршених симулација могу се упоредити резултати и може се видети остварена уштеда у kWh у току целе грејне сезоне . На основу датих табела 9, 10, 11 можемо формирати табелу 12. У табели биће приказани резултати који су остварили

панели у различитим ситуацијама за период грејне сезоне у условима када је површина ФН панела m^2 , соларна фракција 0.85 и ефикасност 12%

	KR_R1_S	KR_R2_N	Са обе стране
Потрошња електричне енергије	13346.68	13246.68	13246.68
Генерисана електрична енергија	2093.15	2051.48	4144.63
Нето потрошња електричне енергије	11153.53	11195.21	9102.05

Табела 12. Поређење генерисане електричне енергије по датим случајевима

Графички приказ поређења генерисане електричне енергије и нето потрошња електричне енергије ФН панелима за све три симулације у најповољнијем случају (дијаграм 10).



Дијаграм 10. Дијаграм поређења генерисане електричне Енергије и нето потрошње ФН панела

Затим да би се изачунала потрошња у РСД мора се одредити на нивоу грејне сезоне потрошња по тарифама. Пошто се ради о двотарифном бројилу, прикључак је трофазни а одобрена снага 17.25А, приступа се по принципу да се 24 сата (дакле 1 дан) дели у односу 2:1. То значи да у току дана имамо 16 сати скупе струје и 8 сати јефтине. Зоне су распоређене по утрошњи kWh: зелена до 350, плава до 1600 и црвена преко 1600 kWh.

Према калкулатору потрошње за домаћинства[14] добила би се цена у РСД за грејну сезону у одговарајућим случајевима. Овај програм у много чему олакшава рачунање по тарифама јер сав посао ради уместо корисника а послужиће у овом раду ради добијања цене енергије утрошене за грејање

Када смо одредили нето потрошњу електричне енергије сада можемо одредити уштеде који би били остварени за сваки случај. Ово ћемо урадити тако што ћемо прво од износа цене електричне енергије за целу сезону одузети износ цене нето потрошње за целу сезону:

- ✓ у случају KR_R1_S: $129,542.08 - 93,398 = 36,144.08$ РСД
- ✓ у случају KR_R2_N: $129,542.08 - 94,154.75 = 35,387.33$ РСД
- ✓ у случају са обе стране $129,542.08 - 74,922.71 = 54,619.37$ РСД

Уколико је цена инсталације иста (као у до сада описаним случајевима) 730€ онда оваква инсталација кошта $730 * 118 = 86,140$ РСД, када се ова цена подели са уштедом онда ћемо добити приближно време отплате:

- ✓ у случају KR_R1_S: $86,140 / 36,144 = 2,38$ год
- ✓ у случају KR_R2_N: $86,140 / 35,387.33 = 2,43$ год
- ✓ у случају са обе стране: $86,140 / 54,619 = 1,57$ год

Као што се може видети табеле 9, 10 и 11 које су добијене из података након поново урађених симулација ФН панела површине 4m^2 , соларне фракције 0.85 и ефикасност 12%. Разлог за промену варијабилних параметара јесте тај да без обзира на број урађених симулација под различитим условима не може се добити *стварна потрошња* односно *генерација* у реалним условима. Ово пре свега зависи великој мери од атмосферских утицаја, географског положаја зграде и самог типа инсталације као и самог ФН панела. Употребом програмског пакета GoogleSketchUp и Energy Plus могу се добити резултати као што су приказани досад у овом раду у одељцима од 6 до 7 који дају приближну слику о целокупној ситуацији за посматрани објект на основу које се може закључити да је најповољнији случај када је ФН панел постављен са обе стране крова.

6.7. Анализа резултата за ФН панел ћелијске ефикасности 18%

До сада је урађена симулација и приказани су резултати за случајеве када се ФН панели налазе само са једне стране крова или на обе стране крова. Међутим резултати добијени симулацијом не пружају најбољу слику о целокупној ситуацији за посматрани објекат. Неки од разлога који утичу на симулацију а самим тим и на добијене резултате су промена површине фотонапонског панела, фракција соларног зрачења, ћелијска ефикасност (она варира од произвођача до произвођача) која може бити у сличају класичних силицијумских ФН панела 12%, високо ефикасних од 15 до 18% као и ултра ефикасних више од 18% тј од 20% до 22%, итд.

Пре него што се поново приступи симулацијама за различите случајеве извршиће се промена варијабилних параметара. Површина фотонапонског панела биће 4m^2 , фракција соларног зрачења 0.5 и 0.85, ћелијска ефикасност 18%. Соларна фракција је зависан интезитета сунчевог зрачења од активне површине ФН панела, то значи да услед временских услова панел ће поризвести различиту количину електричне енергије. Тако да за фракцију од 0.5 на ФН панел пада само 50% од укупног зрачења, нпр ако је интезитет зрачења $1000 [\text{W}/\text{m}^2]$ а панел 180W онда ће ФН панел произвести само 90W.

У траженом зимском периоду соларна фракција ФН панела никако не може достићи 1(100% активне површине) зато ћемо узети да је фракција панела 0.5 и 0.85. Након извршених симулација када се добију резултати упоређивања прикупљених податка поновиће се симулације за исте случајеве али овог пута биће узет. Циљ овога јесте да се за тражене случајеве могу упоредити резултати са онима који би се добили избором других панела који имају бољу или лошију ефикасност. На овај начин би се прикупили подаци који би помогли кориснику да се одлучи за сам избор ФН панела који би се уградили на посматрани објекат и који би се резултати добили у том случају. Треба напоменути да се резултати добијени симулацијама разликују од оних који би се добили у пракси због различитих утицаја.

Након дефинисања свих параметара у програму Energy Plus, симулира се енергетско понашање куће.

6.7.1 ФН панел са јужне стране крова KR_R1_S, фракција 0.5

Пошто је извршена промена ефикасности ФН панела поступиће се поновним симулацијама при истим условима који су и до сада разматрани.

Дакле након симулације у првом случају када је ФН панел са јужне стране крова KR_R1_S, површине 4m^2 , соларне фракције 0.5 и ефикасности 18%, добијени резултати резултати генерисане електричне енергије, нето утрошена електрична енергија и укупне потрошње електричне енергије биће приказани табелом 13.

	Електрична енергија[kWh]
Потрошња електричне енергије	13246.78
Нето потрошња електричне енергије	11399.78
Генерисана електрична енергија	1846.9

Табела 13. Генерисана електрична енергија ФН панела са јужне стране

Дијаграмом 11 дат је графички приказ генерисане електричне енергије за посматрани случај када је ФН панел са јужне стране крова KR_R1_S и може се видети да је количина електричне енергије генерисане ФН панелом по својој вредности мања од оне које смо добили након симулације 6.6.1 за 246,25 kWh.



Дијаграм 11. Дијаграм генерисане електричне енергије ФН панела

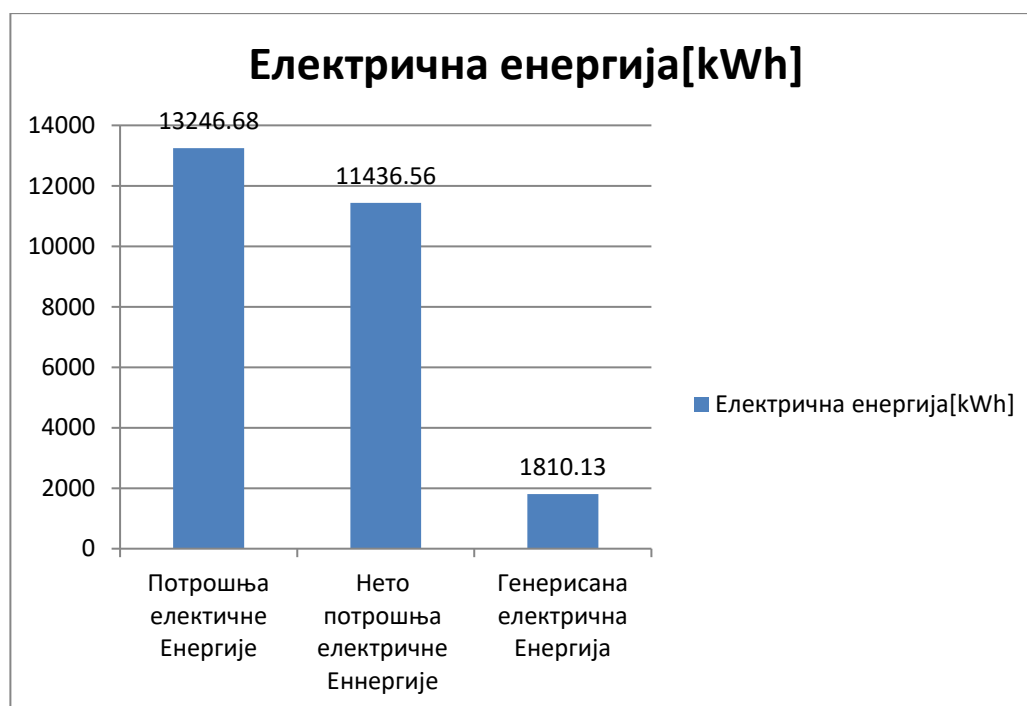
6.7.2 ФН панел са северне стране крова KR_R2_N, фракција 0.5

Након извршених симулација у другом случају када су ФН панели постављени на северној страни крова KR_R2_N, површине 4m^2 , соларне фракције 0.5 и ефикасности 18%, добијени резултати генерисаних електричних енергија ФН панела и нето потрошње биће приказани табелом 14.

	Електрична енергија[kWh]
Потрошња електричне енергије	13246.68
Нето потрошња електричне енергије	11436.56
Генерисана електрична енергија	1810.13

Табела 14. Генерисана електрична енергија ФН панела са северне стране крова

Графички приказ добијених вредности генерисане електричне енергије дат дијаграмом 12. Као и до сада на северној страни крова генерише се мања количина електричне енергије него на јужној страни крова за вредност од 283,02 kWh



Дијаграм 12. Дијаграм генерисане електричне енергије са северне стране крова

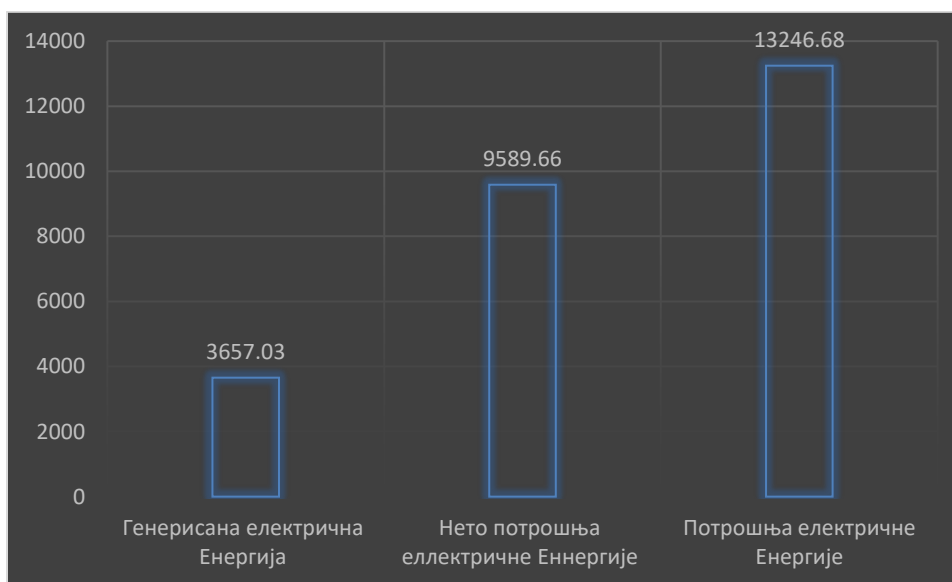
6.7.3 ФН панел са обе стране крова KR_R2_N, фракција 0.5

У овом слушају разматрано је постављање панела са обе стране крова. Као и до сада ово је најповољнији случај за уградњу ФН панела. Након извршених симулација приказани су резултати који су остварили ФН панели, односно количину генерисане електричне енергије у задатом периоду и укупна потрошња енергије и нето потрошња енергије за најповољнији случај приказани су табелом 15.

	Електрична енергија [kWh]
Потрошња електричне енергије	13246.78
Нето потрошња електричне енергије	9589.66
Генерисана електрична енергија	3657.03

Табела 15. Генерисана електрична енергија ФН панела са обе стране крова

На дијаграму 13 су графички приказани резултати који су остварили ФН панели. Са дијаграма види се да је остварена већа генерација електричне енергије у поређењу са дијаграмом 4 за 1219.01 kWh за исти случај.



Дијаграм 13. Дијаграм генерисане електричне енергије са обе стране крова

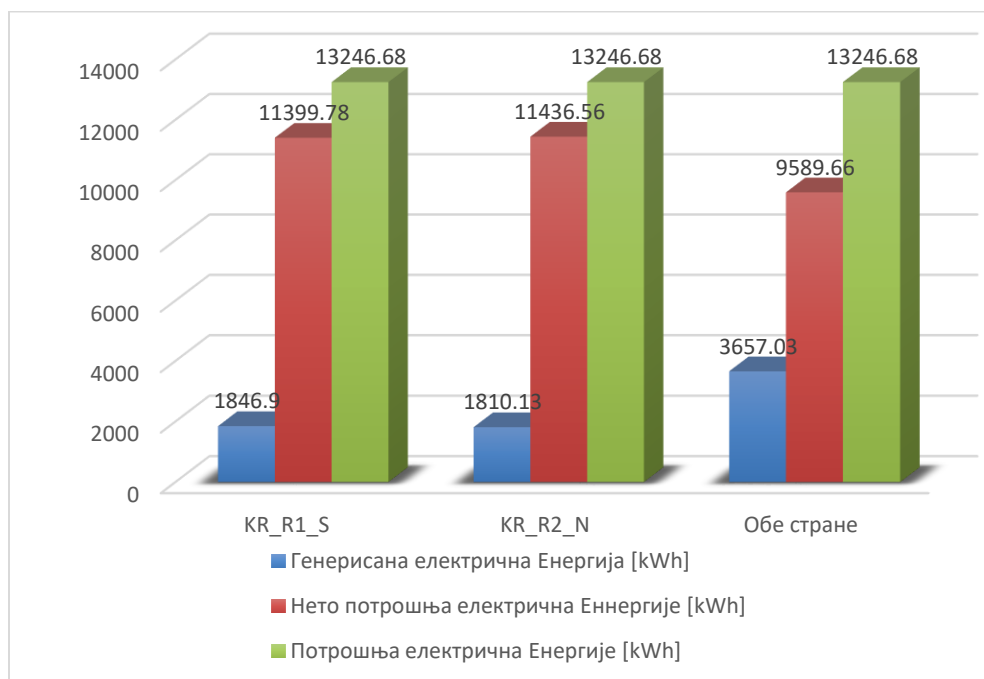
6.7.4 Поређење резултата генерисане енергије

Након извршених симулација објекта, могу се упоредити сви резултати и може се видети остварена уштеда у kWh за разматрану грејну сезону. На основу табела 13,14 и 15 може се формирати табела поређења генерисане електричне енергије, нето утрошена електрична енергија (табела 16).

	KR_R1_S	KR_R2_N	Обе стране
Генерисана електричне енергија	1846.9	1810.13	3657.03
Нето потрошња електричн енергије	11399.78	11436.56	9589.66
Потрошња електричне енергије	13246.68	13246.68	13246.68

Табела 16. Поређење генерисане електричне енергије

Графички приказ добијених резултата употребом ФН панела са истим карактеристикам је дат дијаграмом 14. Можемо приметити да је разлика у ефикасности панела при истим условима допринела повећању генерисане електричне енергије. Ако се ово упоређи са резултатом из одељка 6.4 који су остварили ФН уградњом са обе стране крова добићемо разлику од 1219.01[kWh]



Дијаграм 14. Дијаграм генерисане електричне енергије

Као што је и до сада разматрано у одељку 6.5 цена нето утрошене електричне енергије за разматране случајеве 7.1, 7.2 и 7.3 делимо у односу 2:1 да би добили потрошњу према тарифама и након тога цену електричне енергије у РСД према правилнику електропривреде о потрошњи према тарифама.

На тај начин добијамо да је за грејну сезону укупно РСД на нето електричне енергије:

- У слушају KR_R1_S: 95398 РСД
- У случају KR_R2_N: 96614.52 РСД
- У случају са обе стране: 78328.14 РСД

Уштеду добијамо када од укупне цене према табели 8 одузмемо добијене цене за нето утрошену електричну енергију по грејној сезони.

- У слушају KR_R1_S: 34,144.08 РСД
- У случају KR_R2_N: 32,927.56 РСД
- У случају са обе стране: 51,213.94 РСД

Период отплате био би када цену инсталације 68140 РСД поделимо са добијеном уштедом.

- У слушају KR_R1_S: $86140/34,144.08 \text{ РСД} = 2.52 \text{ год}$
- У случају KR_R2_N: $86140/32,927.56 \text{ РСД} = 2.61 \text{ год}$
- У случају са обе стране: $86140/51,213.94 \text{ РСД} = 1.68 \text{ год}$

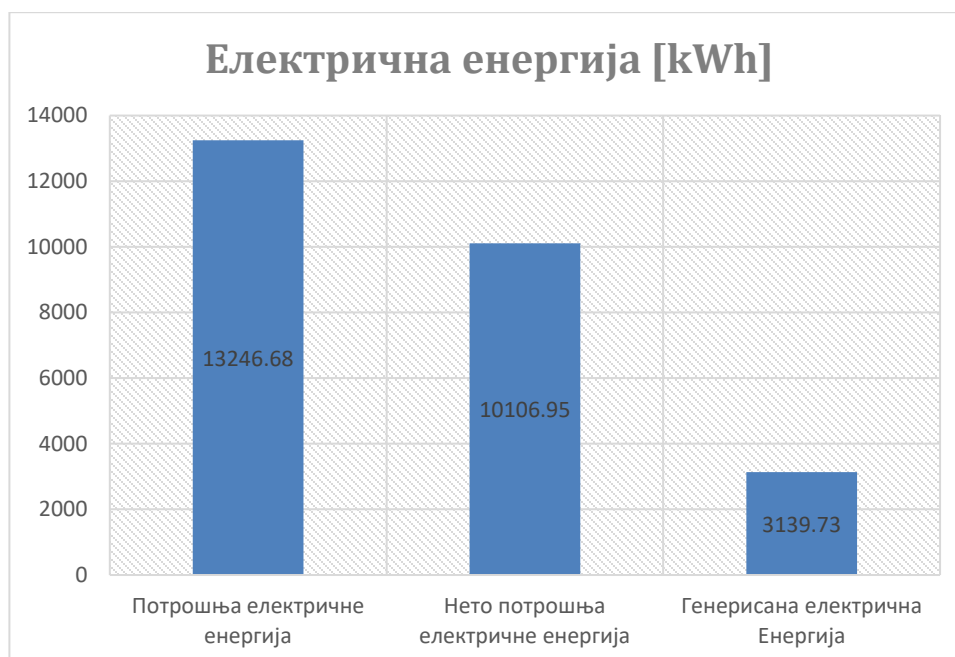
6.7.5 ФН панел са јужне стране крова KR_R1_S, фракција 0.85

Пошто је извршена симулација у случају када је ФН панел постављен на јужној страни крова, површине 4m^2 , соларна фракција 0.85 и ефикасност 18% добијени резултати су приказани у табели 17. Ови услови су повољни за посматрани грејни период и добиће се боља генерација електричне енергије него у до сада свим посматраним случајевима.

	Електрична енергија[kWh]
Потрошња електричне енергија	13246.68
Нето потрошња електричне енергија	10106.95
Генерисана електрична енергија	3139.73

Табела 17. Генерисана електрична енергија ФН панела на јужној страни крова

Графички приказ добијених вредности дат је на дијаграму 15. Са дијаграма поређења може се видети да генерисана електрична енергија и нето утрошена електрична енергија у најповољнијем случају. Остварени су резултати су за 1046.58 kWh већи него у случају 6.6.1



Дијаграм 15. Дијаграм генерисане електричне енергије ФН панела са јужне стране куће

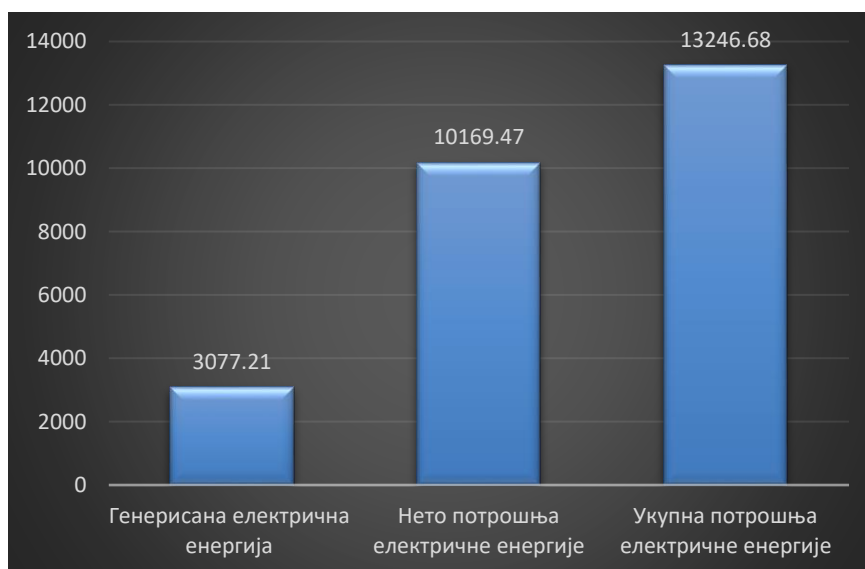
6.7.6 ФН панел са северне стране крова KR_R2_N, фракција 0.85

Након симулације када је ФН панел са северне стране крова KR_R2_N, површина панела 4m^2 , соларна фракција 0.85 и ефикасност 18%, добијени су резултати за укупно генерисану електричну енергију и укупну нето потрошњу електричне енергије за најповољнији случај ФН на северној страни крова. Ови резултати су представљени табелом 18.

	Електрична енергија[kWh]
Генерисана електрична енергија	3077.21
Нето потрошња електричне енергије	10169.47
Укупна потрошња електричне енергије	13246.68

Табела 18. Генерисана електрична енергија ФН панела на KR_R2_N страни крова

На дијаграму 16 је графички приказ добијених резултата који су остварили ФН панели на северној страни крова. Може се видети да је генерисана количина електричне енергије нешто мања него са јужне стране крова свега 62.52 kWh, али и најповољнији резултат уколико се упоређи са резултатом за исту страну крова у случају 6.6.2, разлика је у 1025.73 kWh.



Дијаграм 16. Дијаграм генерисане електричне енергије ФН панела са северној страни крова

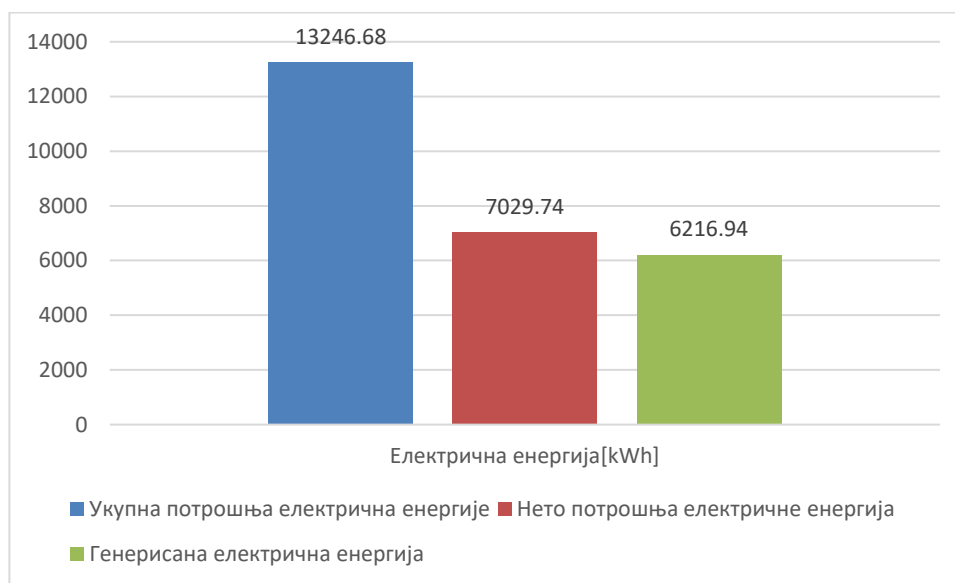
6.7.7 ФН панел са обе стране крова, фракција 0.85

Након завршене симулације када је ФН панел постављен са обе стране крова, површине 4m^2 , соларне фракције 0.85 и ефикасност 18%. Ова симулација представља најповољнији случај до сада у раду. Претходно разматрани резултати који су остварили ФН панели дати су табелом Табелом 19.

	Електрична енергија [kWh]
Укупна потрошња електричне енергије	13246.68
Нето потрошња електричне енергије	7029.74
Генерисана електрична енергија	6216.94

Табела 19. Генерисана електрична енергија ФН панела са обе стране

На дијаграму 17 су графички приказани добијени резултати. Може се закључити након симулација које су одрађене да је ово најповољнији случај када су на обе стране крова постављени ФН панели. Уколико се вредност генерисане електричне енергије ФН панела упореди са истом из дијаграма 9 добија се разлика од 2072.31 kWh.



Дијаграм 17. Дијаграм генерисане електричне енергије

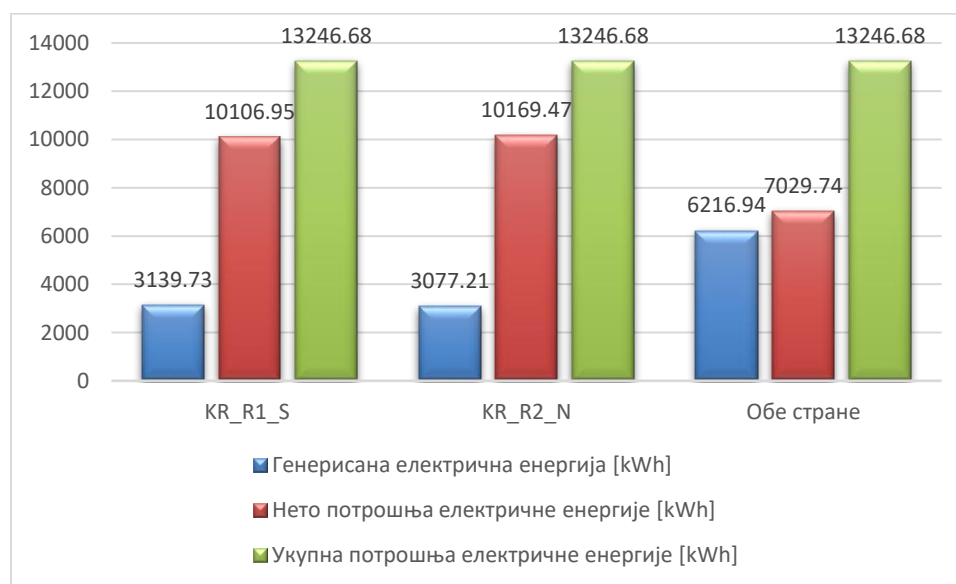
6.7.8 Поређење резултата генерисане енергије

Након што су извршене симулације објекта, могу се упоредити сви добијени резултати из којих се може видети остварена уштеда у kWh. Табела поређења генерисане електричне енергије и нето утрошене енергије биће формирана као и у претходно описаним случајевима, а по истом принципу одредиће се као према одељку 6.5 и 6.6.4 цена нето утрошене електричне енергије за посматрани случај, као и остварене уштеде и период отплате.

	KR_R1_S	KR_R2_N	Обе стране
Генерисана електрична енергија [kWh]	3139.73	3077.21	6216.94
Нето потрошња електричне енергије [kWh]	10106.95	10169.47	7029.74
Укупна потрошња електричне енергије [kWh]	13246.68	13246.68	13246.68

Табела 20. Поређење генерисане електричне енергије по датим случајевима

Графички приказ поређења генерисане електричне енергије и нето утрошене електричне енергије ФН панелима за све три симулације у најповољнијем случају дат је дијаграмом 18.



Дијаграм 18. Дијаграм поређења генерисане електричне енергије

Табеле 8 и 20 показују да се укупна потрошња енергије за грејну сезону умањује за количину добијене енергије уградњом ФН панела у посматраним случајевима.

Употребом калкулатора потрошње добија се цена у РСД за нето утрошену електричну енергију током грејне сезоне, што би одговарало:

- у случају 7.2 KR_R1_S: 82,864.7 РСД
- у случају 7.2.1 KR_R2_N: 82,282.74 РСД
- у случају 7.2.2 са обе стране: 37,900.28 РСД

Након добијених износа цена за нето утрошену електричну енергију за грејну сезону у РСД може се израчунати уштеда након уградње ФН панела ефикасности 18%. према одговарајућим случајевима:

- у случају 7.2 KR_R1_S: $128,195,64 - 82,864.7 = 45,330.94$ РСД
- у случају 7.2.1 KR_R2_N: $128,195,64 - 82,282.74 = 45,912.9$ РСД
- у случају 7.2.2 са обе стране: $128,195,64 - 37,900.28 = 90,295.36$ РСД

Период отплате се добија тако што се цена инсталације подели са уштедом.

- у случају 7.2 KR_R1_S: $86140 / 45,330.94 = 1.9$ год
- у случају 7.2.1 KR_R2_N: $86140 / 45,912.9 = 1.86$ год
- у случају 7.2.2 са обе стране: $86140 / 90,295.36 = 0.95$ год

Као што се може видети из резултата добијених у овом раду, ФН панели уграђени на обе стране крова дају најбоље резултате што их чини најповољнијим случајевима.

Упоредивањем табела 20 и 12 види се да у оба случаја за генерисану електричну енергију добија највећа вредност од 6216.94 kWh и 4144.63 kWh.

7. ЗАКЉУЧАК

Из ових симулација можемо закључити да је недостатак што нема производње. Исто тако мора се узети у обзир да генерација електричне енергије путем ФН система не загађује околину. Што се тиче самог рада можемо закључити да се употреба овог система најбоље може искористити у прелазним периодима, док би се у осталим случајевима енергија могла складиштити путем батерија. Уколико је инсталација изведена тако да је прикључена на електродистрибутивну мрежу онда је могуће да се недостатак потребне енергије надокнађује из исте, а у периодима када ФН панел производи вишак електричне енергије шаље у мрежу. У случајевима да се неко домаћинство одлучи на то да постане произвођач електричне енергије путем ФН система онда се у складу са законом склапа уговор са електропривредом при чему се гарантује откуп о одређеном периоду. За посматрано домаћинство и у складу са циљем овог рада систем би се извео као изолован са мреже и служио би у сврху догревања за прелазне периоде, будући да се за загревање објекта зими користи чврсти огрев тј дрво.

Могућности за уштеду енергије пре свега били би да се на овом ФН систему уграде батерије за складиштење енергије и тиме омогући употреба електричне енергије када за то има потребе.

Оно што можемо урадити у овом случају јесте да додамо још један слој изолационог материјала у спољном омотачу, тако да би укупан слој био уместо почетних 5 cm био 10-15cm нпр. Ако би повећали слој изолације несумњиво да би се добили бољи резултати што би се огледало у количини потрошеног грева за зимску сезону и нижој потрошњи електричне енергије потребне за загревање објекта.

Затим могло би се заменити стара грејна тела новим, нпр алуминијумским. Следећи корак био би замена свих дрвених прозора са спрата новим Trocal 70 CL топлотне изолације U_f -вредност $1,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, звучне изолација до 45 dB. На овај начин би се додатно смањили трансмисиони губици и потигла боља запивеност у односу на постојеће дрвене прозоре. Након предложених мера може се приступити заменом свих ИЛ сијалица са новим ЛЕД сијалицама. Ове мере би значајно утицале на побољшање енергетске ефикасности разматраног објекта и на смањење укупне потрошње енергије.

8. ЛИТЕРАТУРА

1. Минић, В. В. Минић, М. Кнежевић, „Методе унапређења енергетске ефикасности у зградарству, Стручни рад, Београд, 2015
2. Радуловић, Ј. Ј, М. Бојић, Ј. Скерлић, Д. Николић, Д. Тарановић, Energy generation and CO₂ emissions of PV systems, 6th International Quality Conference, Faculty of Engineering, Университу оф Крагујевац (2012) 802–808. [2]
3. Небојша Лукић, Милун Бабић. Соларна енергија. Машински Факултет у Крагујевцу. 2008. [3] Стр 8; [4] Стр 14; [4] Стр 16-17; [6] Стр 106; [9] Стр 44; [10]
4. Интернет страна: http://www2.pv.unsw.edu.au/nsite-files/pdfs/UNSW_Understanding_the_p-n_Junction.pdf?fbclid=IwAR3lsOi9lwQhhquxfFgXu-iW5ArGgdD7sHbxvbQb71y01jUUWifaHgckfbI, приступљено 19.10.2019, [5]; [7]
5. Solar Cells and their Applications Second Edition, Lewis Fraas, Larry Partain, Wiley, 2010, ИСБН 978-0-470-44633-1, Фигуре 10.2. Доступно на: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:PV-system-schematics-residential-Eng.png> [8]
6. М. Bojić, J. Skerlić, D. Nikolić, D. Cvetković, M. Miletić, Toward future: positive net - energy buildings, 4th IEEE International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources, EXPRES 2012, March 9-10, 2012., Subotica, Serbia, Proceedings, 49-5 [10]
7. D. Crawley, L. Lawrie, F. Winkelmann, W. Buhl, Y. Joe Huang, C. Pedersen, R. Strand, R. Liesen, D. Fisher, M. Witte, J. Glazer, EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program, Energy and Buildings 33, 2001, 319–331 [11]
8. ENERGYPLUS, Input Output Reference - The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output, University of Illinois & Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009 [12]
9. Интернет страна: <https://www.knaufinsulation.rs/knaufterm3d> приступљено 16.10.2019
10. Одлука о регулисаној цени ЕЕ на гарантованом снабдевању
11. Д. Гордић, Енерго-еко менаџмент у индустрији намештаја, Машински факултет, Крагујевац, 2005. [13]
12. Интернет страна: <http://kalkulator.eps-snabdevanje.rs/kalkulator> приступљено 16.10.2019
13. Соларни панели. Преузето 2016. У 23:30. Доступно на: <http://www.solarnipaneli.org/solarni-paneli-2/>

14. Интернетсајт:<https://www.hram032.rs/premium-line-pvc-stolarija.html> приступљено 16,2019
15. Ламбић М., Соларне технологије – топлотни и фотонапонски системи, Београд 2013.
16. Министарство за грађевинарство, саобраћај и инфраструктуру, Енергетска ефикасност у зградама, Београд, 2017