

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Урбано инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Предмет: Енергетска ефикасност објеката

Број индекса: 906/2015

Бобан З. Јовановић

**Енергетска анализа једнопородичног
стамбеног објекта са уграђеним
хибридним соларним пријемником
дипломски рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. др Данијела Николић - ментор

Датум одбране: _____

2. _____

Оцена: _____

3. _____

У дипломском раду кандидат треба да представи енергетску анализу једнопородичног стамбеног објекта са уграђеним хибридном соларним пријемником, урађену у софтверу EnergyPlus. Потребно је да се прикажу резултати потрошње и производње електричне и топлотне енергије на годишњем нивоу.

Препоручена литература:

- [1] Zelenc M., *Fotonaponska-toplinska (PV/T) tehnologija pretvorbe sunčevog zračenja u održivoj gradnji*, Međumursko veleučilište u Čakovcu, Čakovec, 2016.
- [2] Тодоровић М., Рајчић А., *Приручник за енергетску ефикасност зграда (ЕСЗ)*, Београд, 2017.
- [3] *Правилник о енергетској ефикасности зграда*, Службени гласник РС, број 61/2011, Београд, 2011.

Резиме

У раду је извршена анализа потрошње енергије у једнопородичном стамбеном објекту са хибридним соларним пријемником. Електрична енергија у објекту се троши за грејање просторија, расвету, рад електричних уређаја и за припрему топле воде. Хибридним соларним системом се генерише топлотна енергија, која се користи за припрему топле воде у објекту, као и електрична енергија која се користи за грејање простора, расвету, електричне уређаје итд. Остатак енергетских потреба се надокнађује куповином енергије из електродистрибутивног система. Подаци о потрошњи енергије добијени су на основу извршених симулација у софтверу EnergyPlus. Претходно је дизајниран модел објекта, односно куће за четворочлану породицу у Google Sketch Up-у. Разматрани објекат је позициониран у граду Крагујевцу, који има повољне услове за успешно коришћење Сунчеве енергије. Објекат се загрева електричним системом грејања. У анализама су приказани различити параметри попут потрошње топле воде, као и потрошње енергије за грејање, за припрему топле воде, за расвету и рад електричних уређаја. Такође, у анализама је приказана генерисана топлотна и електрична енергија из хибридног соларног пријемника.

Кључне речи: стамбени објекат, хибридни соларни пријемник, грејање, припрема топле воде, генерисана енергија, симулација, уштеда енергије...

Abstract

The paper analyzes the energy consumption in a single-family residential building with a photovoltaic thermal collector. Electricity in the building is used for space heating, lighting, operation of electrical appliances and for the preparation of hot water. The hybrid solar system generates heat energy, which is used to prepare hot water in the building, as well as electricity that is used for space heating, lighting, electrical appliances, etc. The rest of the energy needs are compensated by purchasing energy from the electricity distribution system. Energy consumption data were obtained based on simulations performed in the EnergyPlus software. Previously, a model of a building, ie a house for a family of four, was designed in Google Sketch Up. The considered facility is positioned in the city of Kragujevac, which has favorable conditions for the successful use of solar energy. The building is heated by an electric heating system. The analyzes show various parameters such as hot water consumption, as well as energy consumption for heating, hot water preparation, lighting and operation of electrical devices. Also, the analyzes show the generated heat and electricity from the photovoltaic thermal collector.

Keywords: residential building, photovoltaic thermal collector, heating, hot water preparation, generated energy, simulation, energy saving...

Садржај

1. Увод.....	1
2. Енергетска ефикасност.....	3
2.1. Енергетска ефикасност објеката.....	4
2.2. Енергетски пасош	5
3. Обновљиви извори енергије	8
4. Соларна енергија.....	10
4.1. Соларна ћелија (фотонапонска ћелија).....	11
4.2. Соларни колектори	15
4.2.1. Равни соларни колектори	16
4.2.2. Вакуумски соларни колектори	18
5. Хибридни соларни пријемници	20
5.1. Основни појмови.....	21
5.2. Апсорбери и ефикасност хибридних соларних колектора	22
5.3. Утицај карактеристика фотонапонских модула на ефикасност хибридних соларних колектора.....	22
5.4. Модел истраживања хибридних система	23
6. Соларна енергија у Србији.....	25
7. Програми за симулацију енергетског понашања зграда	27
7.1. Симулациони софтвер Energy Plus.....	27
7.2. Google SketchUp софтвер са Open Studio додатком.....	29
8. Анализирани објекат	30
8.1 Модел анализираног објекта.....	31
8.2. Конструкције и остале карактеристике објекта	32
8.3. Локација објекта.....	33
9. Резултати и анализа	35
9.1. Сценарио 1	35
9.2. Сценарио 2.....	37
9.3. Сценарио 3.....	38
10. Поређење резултата	42
11. Закључак	46
12. Литература.....	47

1. Увод

Однос човека према околини пре индустријске и технолошке револуције и њеног даљег просперитета био је усмерен прилагођавању човека природи и животу у хармонији са њом. Међутим, последице постиндустријског развоја, са немилосрдним исцрпљивањем природних ресурса као и неодговарајућег начина градње објеката, допринеле су алармантном епилогу. У великој мери нарушено је и загађено природно окружење и доводи се чак у питање и опстанак човека на Земљи.

Енергетска ефикасност значи искоришћење мање количине енергије за обављање неког посла или одређене активности. Енергетски ефикасне зграде подразумевају зграде које троше мање енергије за задовољавање животних потреба, односно на одржавање угодне температуре, неопходно осветљење и друге потребе за боравак и рад људи у затвореном простору. Обично штедња подразумева одрицање од одређених добара или комфора, док мере енергетске ефикасности не смеју да умањују услове за рад и живот људи, односно да наруше осећај угодности. Добро термички изолована зграда мање троши енергију за грејање зими и за хлађење лети, а боравак у њој је угоднији и квалитетнији, другим речима, енергетски ефикасна зграда чува енергију, а њен животни век је дужи. Такође, унапређењем енергетске ефикасности у зградама доприносимо заштити животне средине и смањењу емисије штетних гасова који настају сагоревањем енергената које користимо за загревање простора [1].

Обновљиви извори енергије представљају неисцрпне изворе енергије из природе, који се обнављају у одређеном временском интервалу, у целости или делимично. Они се експлоатишу са циљем производње електричне, топлотне и механичке енергије, а њихова одржива карактеристика је нешкодљивост по околину, са смањеном или редукованом емисијом CO₂. Развој обновљивих извора енергије (енергија Сунца, ветра, хидро-енергија, геотермална енергија, енергија биомасе) важан је из више разлога. Повећање удела обновљивих извора енергије, поред редукције емисије гасова који погоршавају ефекат стаклене баште, повећава енергетску одрживост [2].

Соларна или Сунчева енергија, је енергија сунчевог зрачења коју примећујемо у облику светла и топлоте којом нас наша звезда свакодневно обасипа. Сунце је највећи извор енергије на Земљи. Сем непосредног зрачења које греје Земљину површину и ствара климатске услове у свим појасевима, ово зрачење је одговорно и за стално обнављање енергије ветра, морских струја, таласа, водних токова и термалног градијента у океанима. Поступком фотосинтезе се сунчева енергија претвара у биљну масу која на тај начин постаје претворена енергија у целулозу или други облик угљених хидрата. Енергија која потиче из посредног и непосредног сунчевог зрачења се сматра обновљивим извором енергије јер се њеним коришћењем не ремети значајно равнотежа тока материје и енергије у природи.

У класичним соларним системима, сунчева енергија се у једном систему претвара у електричну, а у другом у топлотну енергију. Један од најновијих и најсавременијих система је заједничка употреба фотонапонских модула и соларних колектора у фотонапонско-термалним колекторима или PV/T колекторима (хибридни системи). Предности PV/T система у односу на класичне системе у којима су одвојени фотонапонски и топлотни колектори су: бржи повраћај средстава, смањени трошкови уградње, лепши визуелни изглед на крову или на фасади, већа електрична ефикасност и истовремена производња топлоте и електричне енергије.

Очекује се да ће PV/T као технологија обновљиве енергије постати конкурентна конвенционалној производњи енергије и да ће у будућности имати значајан потенцијал за индустријску примену и употребу у домаћинству [3].

2. Енергетска ефикасност

Под термином енергетска ефикасност се подразумева опис квалитета коришћења енергије, као и смањење губитака енергије без нарушавања комфора и животног стандарда. Постоје два значења енергетске ефикасности, једно се односи на уређаје, а друго на потрошњу енергије [4].

Енергија се најчешће спомиње у контексту енергетских ресурса, њиховог развоја, употребе, потрошње и складиштења. С обзиром да су економске активности попут производње и транспорта енергетски веома интензивне, енергетска ефикасност, енергетска независност, енергетска безбедност и цена су од кључног значаја за целокупно друштво.

У већини енергетских процеса се примарна енергија горива (енергија добијена из природе, на пример из нафте или угља) најпре промени у топлотну, а затим у механичку и електричну енергију. За ту трансформацију потребни су одређени системи и уређаји. При свакој трансформацији јављају се и одређени губици, те се константно ради на развијању што ефикаснијих енергетских уређаја.

Једна од најважнијих енергија без које не би могло данашње цивилизовано друштво опстати, барем не у овом облику је електрична енергија. Несташница електричне енергије, чак и да је веома кратка, може узроковати велике проблеме читавом друштву од обичних људи, привреде до политичара и владе. У 2007. години светска потрошња електричне енергије износила је 16.100 TWh (57.960.000.000 GJ). Процене су да ће до 2030. године светска потрошња електричне енергије порасти на 31100 TWh (111.960.000.000 GJ) годишње [5].

Да би се стекла спознаја о важности енергије данашњем свету, довољно је истаћи чињеницу да је у годинама након другог светског рата коришћено више енергије него током читавог историјског периода пре тога. Тај тренд потрошње се и даље наставља.

Данас када се говори о рационалном коришћењу енергије, мисли се пре свега на енергетску ефикасност. Овај појам се најчешће сусреће у два могућа значења, од којих се један односи на уређаје, а други на мере и понашања. Под енергетски ефикасним уређајем сматрамо онај уређај који има велики степен корисног дејства, тј. мале губитке приликом трансформације једног вида енергије у други. Нпр. обична сијалица велики део електричне енергије претвара у топлотну енергију, а само мањи део у корисну светлосну енергију, и у том смислу та сијалица представља енергетски неефикасан уређај. Када је реч о мерама, под енергетском ефикасношћу подразумевамо мере које се примењују у циљу смањења потрошње енергије. Без обзира да ли је реч о технолошким или нетехничким мерама или о променама у понашању, све мере подразумевају исти или чак и већи степен оствареног комфора и стандарда. Битно је напоменути да енергетска ефикасност и штедња енергије нису исти појмови. Под штедњом енергије подразумева

се смањење потрошње енергије смањујући при томе достигнути комфор (нпр. смањење температуре грејања за један степен), док се под енергетском ефикасношћу подразумева смањење потрошње енергије али без потребе за смањењем достигнутог комфора. Гледајући шире, енергетска ефикасност се може схватити и као развој и примена технологија којима се остварује економска уштеда, боља заштита животне средине и смањује потрошња енергетских ресурса, а да се при томе не умањује животни стандард друштва и квалитет услуга привреде, нити се негативно утиче на привредну активност [6].

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 [7].

2.1. Енергетска ефикасност објеката

Енергетска ефикасност објеката подразумева ефикасно коришћење енергије уз примену одговарајућих мера, чији је примарни циљ смањење потрошње енергије уз финансијску уштеду, угоднији и квалитетнији боравак у згради и продужење животног века зграде.

Енергетска ефикасност грађевинских објеката зависи од термичких особина његовог омотача, заправо од материјала зидова, врсте прозора и заптивености свих отвора у фасадама зграде. Да би се достигла жељена енергетска ефикасност грађевинских објеката потребно је усредсредити се на санирање постојећих зграда, које су у већини, као и да нове зграде, које се пројектују и тек предвиђају за градњу, буду максимално енергетски ефикасне у складу са данашњим техничко-технолошким могућностима. Реконструкцијом старих зграда, заменом прозора или повећањем термичког отпора постојећих прозора, њиховим заптивањем, додатним изоловањем зидова и кровова, енергија се може смањити и свести је на најмању могућу меру. То подразумева улагања која ће се јако брзо исплатити, кроз смањење трошкова за енергенте.

Данас је енергетска ефикасност у свету препозната као најјефтинији и најбржи начин постизања циљева одрживог развоја. Са уштедом енергије постиже се енергетска сигурност јер смањена потрошња енергије чини нас мање осетљивим на промене цена енергије и њене несташице. Уједно смањује и загађење и тако директно утиче на побољшање услова живота. Истовремено доприноси већој конкурентности производње што води отварању нових радних места те тако подиже животни стандард [8].

При дефинисању пројектних захтева за изградњу приступачног, дуготрајног, енерго-ефективног и еколошког стамбеног простора, као и у циљу реализације изградње енергетски ефикасних зграда и грађевинских објеката индустријске, административне и

социјалне намене, неопходно је посебну пажњу посветити не само избору грађевинског материјала, већ и избору грађевинског система као целине, који треба да испуњава читав низ захтева савремене изградње. Највећи губитак енергије у објектима је кроз зидове неизолованих зграда и кроз лоше прозоре. У Србији преко 80% објеката нема термоизолацију и због тога су велики расипници енергије. Постављањем термоизолације фасаде, заменом столарије и осавремењивањем система грејања може се постићи уштеда чак и до 50%.

Најважнији утицајни параметри на потрошњу енергије термотехничких система у згради (система грејања, вентилације и климатизације) могу се поделити у пет група:

- климатски фактори, који су одређени локацијом на којој се зграда налази,
- термички омотач и геометрија зграде,
- карактеристике КГХ система, извора енергије и нивоа аутоматске регулације,
- режим коришћења и одржавања зграде и техничких система и
- експлоатациони трошкови, односно цене енергената и енергије [9].

2.2. Енергетски пасош

Енергетски пасош је документ који садржи обрачунате вредности потрошње енергије у оквиру одређене категорије зграда, енергетски разред и препоруке за побољшање енергетских својстава зграде. Енергетски пасош се издаје за стамбене зграде, нестамбене зграде и за зграде друге намене које користе енергију. Енергетски пасош мора да имају све нове зграде и постојеће зграде које се реконструишу, адаптирају, санирају или енергетски санирају, осим зграда које су правилником изузете од обавезе енергетске сертификације.

Правилник о условима, садржини и начину издавања сертификата о енергетским својствима зграда („Сл. гласник РС” бр. 69/2012) прописује услове, садржину и начин издавања сертификата о енергетским својствима зграде [10].

Енергетски разред се одређује на основу података о потрошњи енергије за грејање на годишњем нивоу.

Скала енергетских разреда приказана је стрелицама са словним ознакама од „А” до „G” (слика 1), при чему су стрелице различите дужине и боје. Енергетски разред „А” означава уређај са најмањом потрошњом електричне енергије, односно енергетски најефикаснији уређај, док енергетски разред „G” означава уређај са највећом потрошњом енергије, односно најмање енергетски ефикасан уређај. Енергетски разред нове зграде, који се исказује у енергетском пасошу мора бити најмање „С” или виши [11].



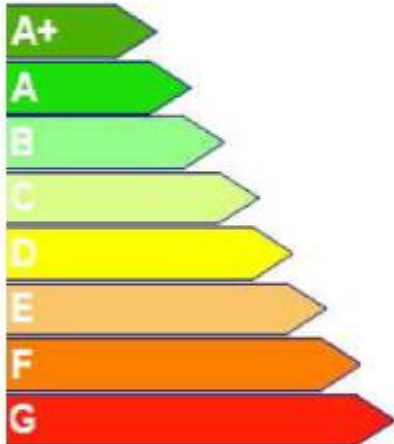
Слика 1. *Означавање енергетске ефикасности према енергетским разредима [11]*

Енергетски пасош садржи:

- информацију о згради: категоризацију зграде, место, адресу, број катастарске парцеле, годину изградње/реконструкције, итд,
- тачну намену зграде, фотографију зграде,
- податке о власнику/ инвеститору/правном заступнику,
- информацију о потребној енергији (енергетски разред),
- информацију о примењеним елементима термичког омотача и техничким системима у згради (укључујући и изворе енергије који се користе),
- информацију о енергетским потребама и емисији CO₂ и
- листу препорука за смањење енергетске потрошње и уштеде новца.

Постоје три различита типа (обрасца) енергетског пасоша:

- за стамбене зграде (слика 2),
- за нестамбене зграде и
- за зграде друге намене које користе енергију [12].

	ЗГРАДА		☐ нова	☐ постојећа	
	Категорија зграде		1. Зграда са једним станом 2. Зграда са више станова		
	Место, адреса:				
	Катастарска парцела:				
	Власник/инвеститор/правни заступник:				
	Извођач:				
	Година изградње:				
	Година реконструкције/енергетске санације:				
	Нето површина A_N [m ²]:				
Енергетски пасош за стамбене зграде	Прорачун		$Q_{H,nd,ref}$ [%]	$Q_{H,nd}$ [kWh/(m ² a)]	
			≤ 15		
			≤ 25		
			≤ 50		
			≤ 100		
			≤ 150		
			≤ 200		
			≤ 250		
			> 250		
	Подаци о лицу које је издало енергетски пасош				
	Овашћена организација:				
	Потпис овлашћеног лица и печат организације:				
	_____		М.П.		
	(потпис)				
Одговорни инжењер:					
Потпис и печат одговорног инжењера ЕЕ :					
_____		М.П.			
(потпис)					
Број пасоша:					
Датум издавања/рок важења:					

Слика 2. Енергетски пасош за стамбене зграде [13]

3. Обновљиви извори енергије

Обновљиви извори енергије представљају неисцрпне изворе енергије из природе који се обнављају у одређеном временском интервалу, у целости или делимично. ОИЕ се експлоатишу с циљем производње електричне, топлотне и механичке енергије, а њихова значајна одржива карактеристика јесте нешкодљивост за околину, са смањеном или редукованом емисијом CO_2 у процесу производње енергије.

У ОИЕ спадају Сунце, биомаса, вода, ветар, геотермална и енергија плиме и осеке. У зависности од брзине трошења могу бити неисцрпни и исцрпни. Неисцрпни обновљиви ресурси су: соларно зрачење, хидроенергија, енергија плиме, таласа и ветра. Остали обновљиви ресурси су само условно неисцрпни, односно неисцрпни су само у случају да је брзина њиховог трошења мања од брзине обнављања. Ту се пре свега мисли на биомасу или на неке видове геотермалне енергије.

Република Србија располаже обновљивим изворима енергије Сунца, воде, ветра, геотермалне енергије и биомасе. Најзначајнији потенцијал обновљивих извора енергије у Србији је енергија из биомасе и процењује се на 3,405 милиона тое (тона еквивалента нафте), а у укупном потенцијалу ОИЕ, биомаса учествује са 60,3%. Тренутно највећи степен искоришћења енергије из обновљивих извора у Србији је из хидроенергије, чији укупан бруто потенцијал на територији Републике Србије износи око 25 TWh (90.000.000 GJ) годишње [14].

Највећи део енергије (око 80%) и даље се добија из фосилних горива, односно из нафте, угља и гаса. Ако се настави са досадашњом убрзаном потрошњом фосилних горива процењује се да ће угља бити још 200 година, нафте и природног гаса 60 година, јер су залихе необновљивих извора енергије сваког дана све мање због немогућности њиховог обнављања и све веће потрошње. Други велики проблем фосилних горива нарочито угља је загађивање околине са емисијом угљен-диоксида (CO_2) који узрокује ефекат стаклене баште и доводи до глобалног загревања земље. Оно може узроковати и политичке проблеме због неједнаке географске распоређености налазишта појединих облика примарне енергије.

За разлику од необновљивих извора енергије, обновљиви извори енергије представљају облик енергије који није потрошив тј. може се потпуно или делимично сам генерисати. Овај природни вид енергије налази се свуда око нас, баш као и сама природа. Употребом обновљивих извора енергије, смањује се емисија гасова стаклене баште, као и целокупно загађење животне средине и њених медијума.

Посматрајући суштину обновљивих извора види се да су ови извори, практично, само модалитети соларне енергије. Наиме, биомаса се ствара фотосинтезом на бази соларне енергије. Струјање ваздуха - ветар настаје због разлика у температурама ваздуха на различитим местима као последица соларног зрачења. Кружење воде у природи, као и

плима и осека су, такође, последица соларног зрачења. Због огромне количине енергије коју Сунце зрачи и периода његовог живота може се сматрати да ће дозрачивање енергије са Сунца трајати веома дуго са аспекта наше цивилизације. Технологије које се користе за коришћење сунчеве енергије се могу поделити на активне и пасивне. У активне технологије се сврставају соларни панели и колектори, док се у пасивне сврставају оријентација кућа или објеката приликом градње како би се побољшала циркулација ваздуха или повећало коришћење сунчеве светлости за осветљење. Енергија сунца се може користити на различите начине и употребљавати као електрична, топлотна, механичка или хемијска енергија. Најједноставнији начин за коришћење соларне енергије је сакупљање топлотне енергије, у виду топле воде или топлог ваздуха. Соларни колектори се користе при овом процесу. Напреднији начин је производња електричне енергије, а за овај процес су потребни соларни панели. Како су соларни панели технолошки напредовали, соларна енергија је постала приступачна и доступна свима. Иако је соларна енергија технолошки све ефикаснија и даље заузима мали проценат у укупној производњи електричне енергије.

За сада, обновљиве изворе енергије највише ограничавају економски параметри, изградња нових постројења и почетна цена технологије и произведене енергије. Ипак, уобичајена пракса више није опција и обновљиви видови не могу остати само „алтернатива”, већ је неопходан озбиљнији приступ да би се дошло до значајнијег помака. Најпре због тога што је необновљивих извора на Земљи све мање, а њихов штетан утицај на околину је све израженији, с једне стране, а с друге, велики потенцијал лежи у њима и вишеструко премашује светске потребе. На пример, Сунце испоручује Земљи око петнаест хиљада пута више енергије од тренутне потрошње енергије на Земљи, док је потенцијал геотермалне енергије према неким проценама око 50.000 пута већи од укупне енергије нафте и гаса на земљи [15].

4. Соларна енергија

Енергија сунчевог зрачења, или соларна енергија, представља основу готово свих других извора енергије на земљи. Као акумулисани облик соларне енергије јављају се фосилна горива (угаљ, нафта и природни гас). Као индиректни облик појаве сунчеве енергије на земљи постоји енергија ветра, енергија водних токова и енергија биомасе. Када се говори о соларној енергији као области енергетике, мисли се на директно искоришћење енергије сунчевог зрачења за потребе производње топлотне енергије и производњу електричне енергије.

Соларна енергија се може користити у обиму који задовољава комуналне потребе, помоћу хиљада соларних панела или огледала који напајају мрежу електричном енергијом, или, у мањем обиму, у виду мањих кровних инсталација које снабдевају појединачне домове електричном енергијом и/или топлотом водом. Такви кућни системи за соларну енергију производе довољно електричне енергије за осветљење у домаћинству, напајање фрижидера или других електричних апарата, и за пуњење батерија мобилних телефона.

Постоје различити начини коришћења соларне енергије:

- **грејање соларном енергијом** - коришћење соларне енергије за загревање воде или коришћење материјала специфичних карактеристика за загревање или хлађење зграда. Овај процес се такође може користити за десалинизацију воде и за обраду отпадних вода;
- **соларна електрична енергија** - претварање соларне енергије у електричну може се вршити на два начина:
 - концентрисањем соларне енергије, где се користе огледала да би се концентрисала соларна енергија ради загревања воде до тачке кључања, како би покретала парну турбину, чиме се производи електрична енергија;
 - фотонапонским панелима, у којима се помоћу ћелија или панела светлост фотонапонским ефектом директно претвара у електричну енергију. Овај начин коришћења соларне енергије уобичајен је за производњу електричне енергије малог обима, за мини електромереже и појединачне домове.

Постоје две препреке које спречавају експанзију коришћења соларне енергије. Као прво, рани типови фотонапонских јединица били су осетљиви на локалне климатске факторе, на пример, екстремно високе температуре, ниво влаге и песак, што је све могло да умањи количину енергије коју су производиле. Скорашњи технички напредак у производњи отпорнијих соларних панела значи да фотонапонске јединице могу остати ефикасне чак и у тешким условима. Као друго, током ране фазе развоја коришћења соларне енергије, трошкови производње електричне енергије из соларних панела били су знатно виши у

односу на друге изворе енергије. Техничка побољшања, остварена током протекле деценије, у знатној мери су смањила те трошкове, до те мере да је масовна производња фотонапонских соларних постројења за производњу електричне енергије постала економски одржива и да се широко примењује [16].

Електромагнетно зрачење које долази са Сунца садржи широк спектар таласних дужина, међутим 94% укупне енергије зрачења носе зраци таласних дужина између 0,3 и 2 μm .

Основне компоненте Сунчевог спектра су ултраљубичасто ($<0,38 \mu\text{m}$), видљиво (0,38-0,78 μm) и инфрацрвено зрачење ($>0,78 \mu\text{m}$). Износи енергија, које носе ова зрачења су 6%, 48% и 46%, респективно. Енергија једног фотона, квант електромагнетног зрачења је пропорционалан његовој фреквенцији, а обрнуто пропорционалан његовој таласној дужини. Фотони ултраљубичастог зрачења имају краће таласне дужине и веће индивидуалне енергије, него фотони видљивог или инфрацрвеног зрачења и потенцијално су штетни за живе организме на земљи, иако је њихов удео у укупној енергији зрачења са Сунца значајно мањи.

Разликовање директног и дифузног зрачења је значајно за конструисање и рад система соларних пријемника. Ако је пријемник равне површине, усмерен према небу, он ће прикупљати и директно и дифузно зрачење. Међутим, код концентришућег (фокусирајућег) соларног пријемника, којим се увећава соларни флуks (густина зрачења), само ће директно зрачење бити прикупљено, што је мање од тоталног износа директног и дифузног зрачења. Однос директног и дифузног зрачења зависи од облачности, тако да ведро небо даје углавном директно зрачење, док небо, потпуно прекривено дебелим облацима, даје само дифузно зрачење.

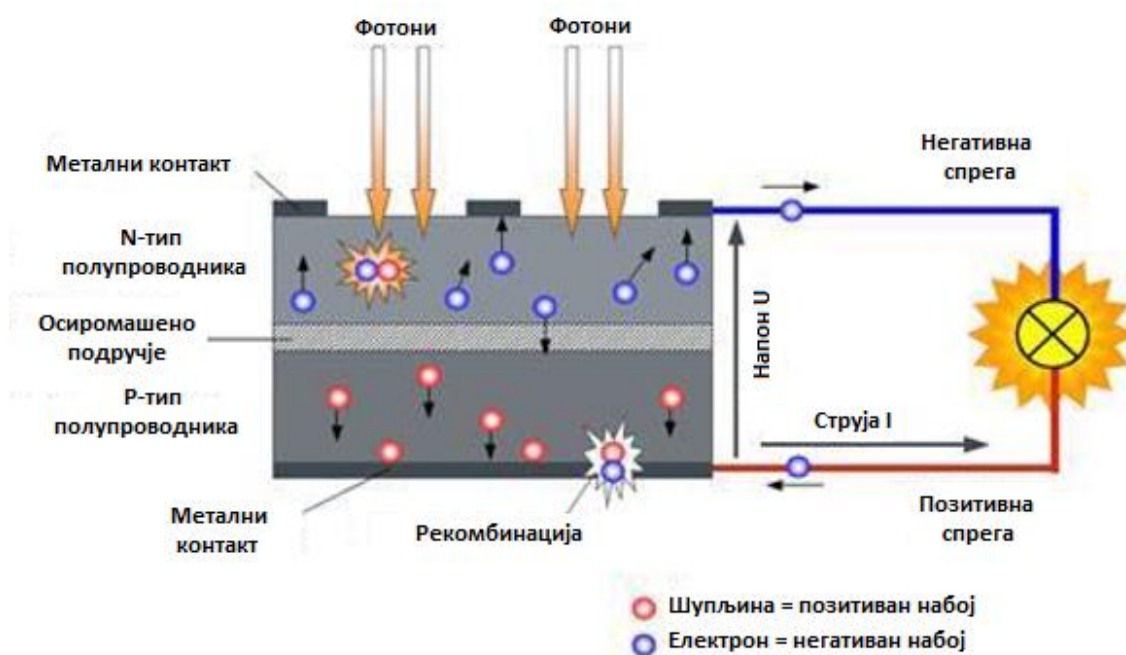
Количина соларне енергије која пада на соларни пријемник зависи од његове оријентације у односу на правац Сунца, гледано са Земљине површине. Правац Сунца се мења током дана и током године. Фиксни пријемник задржава исти положај током целе године. Уобичајене врсте фиксних соларних пријемника су хоризонтални (соларни базени), нагнути под одређеним углом у односу на хоризонталу или вертикални. Са друге стране, концентришући соларни пријемници се морају померати по вертикалном и правцу азимута, како би површина отвора пријемника била нормална на Сунчеве зраке. Сваки од типова соларних пријемника, прима различите износе соларне енергије [17].

4.1. Соларна ћелија (фотонапонска ћелија)

Фотонапонске ћелије су јединице од чврстог материјала, које генеришу електричну енергију, када су осветљене Сунчевом светлошћу (или неком другом). Оне пружају алтернативни метод за производњу електричне енергије, у односу на соларне термичке системе, који производе електричну енергију у топлотним машинама, које се топлотом снабдевају из соларних (концентришућих) колектора. Попут термичких соларних

система и у фотонапонским ћелијама, само део соларног зрачења може бити претворен у електричну енергију. Ипак, њихова механичка и електрична једноставност, занемарљиви оперативни трошкови и способност производње струје у било ком износу, чини коришћење фотонапонских производних система, веома атрактивним. Главна препрека за њихову ширу примену је тренутно њихова висока цена по јединици произведене снаге.

Соларна ћелија (фотонапонска ћелија) је полупроводнички уређај који претвара Сунчеву енергију директно у електричну помоћу фотонапонског ефекта (слика 3). Групе ћелија формирају соларне модуле, познате и као соларни панели или фотонапонске плоче. Енергија произведена соларним модулима је пример соларне енергије.

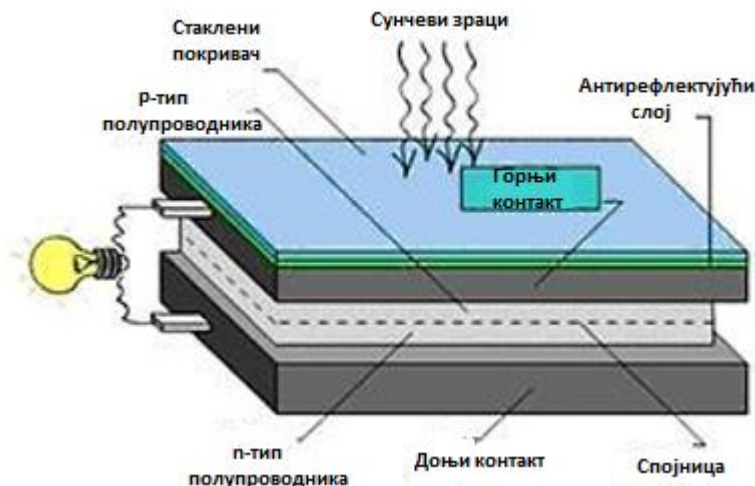


Слика 3. Илустрација фотонапонског ефекта [18]

Фотонапонска ћелија је само једна компонента реалног система за конверзију сунчевог зрачења у електричну енергију. Више појединачних ћелија мора бити повезано (редно и паралелно), да би производеле жељени ниво напона и струје и положај ћелија у простору мора бити одређен тако да омогућује пријем, што више сунчевог зрачења током дана (обично се за ФН ћелије користе двоосни системи за праћење привидног Сунчевог кретања на небу). Фотонапонска струја је једносмерна (DC) и мора бити конвертована у наизменичну (AC) за већину примена (коришћењем инвертера). Ови неопходни делови реалног ФН система увећавају инвестиционе трошкове, мада је трошак основне фотонапонске ћелије толико висок, да чини највећи део укупних инвестиционих трошкова система [17].

Соларна ћелија је PN спој (диода) (слика 4). У силицијумској соларној ћелији на површини плочице р-типа силицијума налазе се примеси, нпр. фосфор, тако да на танком

површинском слоју настане подручје n-типа полупроводника. Да би се скупила наелектрисања која су настала апсорпцијом фотона из Сунчевог зрачења, на предњој површини налази се метална решетка, а задња је страна прекривена металним контактом.



Слика 4. Пресек фотонапонске ћелије [19]

Ефикасност фотонапонске соларне ћелије дефинише се као однос електричне снаге коју даје фотонапонска соларна ћелија и снаге сунчевог зрачења, математички се то може формулисати једначином:

$$\eta = \frac{P_{el}}{P_{sol}} = \frac{U \cdot I}{E \cdot A}$$

где је:

P_{el} - излазна електрична снага;

P_{sol} - снага зрачења;

U - ефективна вредност излазног напона;

I - ефективна вредност излазне струје;

E - специфична снага зрачења и

A - површина.

Ефикасност расте са порастом интензитета зрачења и за било који ниво зрачења је максимална, за максималну излазну снагу. Ефикасност фотонапонских ћелија је процењена за зрачење од 1 kW/m^2 , под условима максималне излазне снаге. Типичне ефикасности су у рангу од 15 до 25% [20].

Снага појединачне фотонапонске ћелије је мања (до 2W), па се као таква не би могла шире употребљавати. Због тога се фотонапонске ћелије механички и електрично везују у веће целине које се називају модули. У циљу добијања још већих снага, модули се по истом принципу везују у такозване фотонапонске панеле, чије снаге иду и до реда MW.

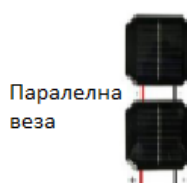
Повезивање ћелија може бити изведено на два начина:

Паралелно – паралелним спајањем долази до повећања јачине струје повећањем површине, и изводи се тако што се сви (+) полови споје на исти проводник, односно на (-) проводник (слика 5).

Редно – редним спајањем повећава се напон повећањем површине, а изводи се наизменичним спајањем (+) и (-) полова ћелија у низу (слика 6).

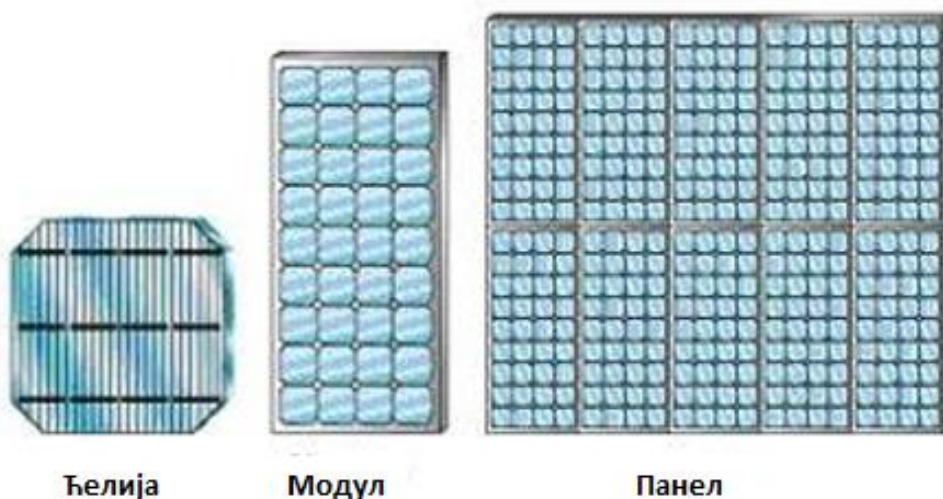


Слика 5. паралелна веза [21]



Слика 6. Редна веза [21]

Фотонапонски модули су уређаји који се састоје од више фотонапонских ћелија, које помоћу полупроводничког материјала претварају фотоне светлости у електричну енергију (слика 7). За израду се најчешће користи кристални силицијум. Количина енергије коју модули производе зависи од интензитета светлости коју примају фотонапонске ћелије. Постоје три врсте фотонапонских модула: монокристални, поликристални и аморфни.



Слика 7. Фотонапонска ћелија, модул и панел [22]

Фотонапонски системи су веома разноврсни и могу бити мањи од новчића и већи од фудбалског игралишта и могу да обезбеђују енергију за било који уређај, од часовника до читавих насеља, и уз све то једини извор енергије који користе је сунчева светлост. Уз једноставност руковања, наведени фактори их чине посебно привлачним за широк спектар примена. Недавни пораст производње фотонапонских ћелија уз смањење њихове цене, отворио је велики број нових тржишта уз велики број различитих примена. Примене као што су осветљавање, телекомуникације, расхладни системи, пумпање воде, као и обезбеђивање електричне енергије за читава насеља (нарочито у удаљеним областима), показале су се као конкурентне и профитабилне у односу на већ постојеће технологије. Уз то појавила се релативно нова примена ових система са невероватно великим потенцијалом – фотонапонски системи који замењују фасадне и кровне грађевинске елементе објеката (слика 8) [23].



Слика 8. Соларни кровни панели [24]

4.2. 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, воду или термичко уље) који теку 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.

Топлотна конверзија соларне енергије представља тренутно најзаступљенији вид коришћења обновљивих извора енергије. Соларни колектори користе се за загревање санитарне воде или као испомоћ грејању. На овакав начин се трошкови за топлотном енергијом смањују и до 80%. Четворочланом домаћинству је, за добијање топле санитарне воде, потребно 2 соларна колектора и бојлер од 200 литара воде. Уколико се

колектори користе за испомоћ грејању, систем је потребно димензионисати тако да површина колектора буде око 20% од укупне грејне површине. Тако нпр. за грејну површину 100m^2 потребно је 10 соларних колектора. Површина једног соларног колектора је око 2m^2 .

Количина соларне енергије која пада на соларни пријемник зависи од његове оријентације у односу на правац Сунца, гледано са Земљине површине. Правац Сунца се мења током дана и током године. Фиксни пријемник задржава исти положај током целе године. Уобичајене врсте фиксних соларних пријемника су хоризонтални (соларни базени), нагнути под одређеним углом у односу на хоризонталу или вертикалу. Са друге стране концентришући соларни пријемници се морају померати по вертикалном правцу како би површина отвора пријемника била нормална на Сунчеве зраке. Сваки од типова соларних пријемника прима различите износе соларне енергије.

Само део упадног соларног флуksа може бити прикупљен, у добро конструисаном соларном пријемнику (израз пријемник се односи за било који уређај који апсорбује соларно зрачење, а колектор на онај који то зрачење претвара у топлоту). Иако соларни колектор може апсорбовати висок удео упадног зрачења, он такође губи део те топлоте у атмосферу.

Иако се уређаји за соларно грејање воде користе већ дужи низ година, у задњих 20 година значајно је напредовала технологија апсорбујућег слоја, што је довело до тога да данашњи соларни колектори могу ефикасно конвертовати $>50\%$ доступне сунчеве енергије за загревање топле воде. Соларни колектор је један од најефикаснијих начина за смањивање утицаја на екологију (емисије угљен-диоксида), смањењем коришћења фосилних горива. Уградњом соларног колектора, смањује се потрошња електричне енергије или гаса, што доводи и до значајних смањења рачуна.

Одабир соларних колектора зависи од намене за коју се користе. Такође, пресудан фактор за одабир соларног колектора може бити положај објекта. Најбоља оријентација за постављање соларних колектора је југ, а нагиб може да одступа од 20 до 70 степени, у зависности од тога у ком годишњем добу се жели добити највише енергије. Постоје различити типови и технологије производње соларних колектора. Главна подела соларних колектора је на равне (плочасте) и вакуумске соларне колекторе [25].

4.2.1. Равни соларни колектори

Најпознатија и најекономичнија форма соларног колектора је раван соларни колектор. Он се састоји од апсорбера (металне високоапсорпционе плоче), који је, на овај или онај начин, спојен са цевима кроз које струји радни флуид, који топлоту апсорбера преноси до складишног резервоара (соларног бојлера). Плоча апсорбера са стране која је изложена Сунцу је третирана тако, да апсорбује што већу количину долазног зрачења. Провидни покривач колектора (најчешће стакло) је смештен паралелно изнад апсорбера,

формирајући затворен простор, који редукује топлотне губитке (ефекат стаклене баште) у околну атмосферу, чија је температура T_a , док је температура апсорбера T_c . Покривна плоча и апсорбер су повезани кутијом колектора у којој је смештен слој изолације испод апсорбера.



Слика 9. Компоненте равног соларног колектора [26]

Долазеће соларно зрачење, које пада на покривну плочу колектора, се делом рефлектује са ње (и апсорбера), делом апсорбује, а остатак пролази кроз њу и апсорбује се на апсорберу. Удео соларног зрачења, које се апсорбује на апсорберу, је β (оптичка ефикасност соларног колектора), а његов износ је βI (W/m^2). Топла плоча апсорбера губи топлоту према атмосфери, кондукцијом, конвекцијом и зрачењем, а тај износ је пропорционалан разлици температура $T_c - T_a$, између апсорбера и околног ваздуха. Константа пропорционалности U , представља укупни коефицијент пролаза топлоте, који зависи од карактеристика прелаза топлоте конвекцијом и зрачењем, као и кондукцијом кроз кутију колектора. Као последица ових топлотних губитака, нето топлотни флуks, који се предаје радном флуиду (q), представља разлику између апсорбованог зрачења и губитака колектора у околину:

$$q = \beta I - U(T_c - T_a)$$

Треба приметити да, што је виша температура апсорбера, мањи део топлоте ће бити искоришћен (расту губици), па дакле, постоји нека максимална температура (T_{cmax}), при којој је корисна топлота једнака нули:

$$(T_c)_{max} = T_a + \beta I / U$$

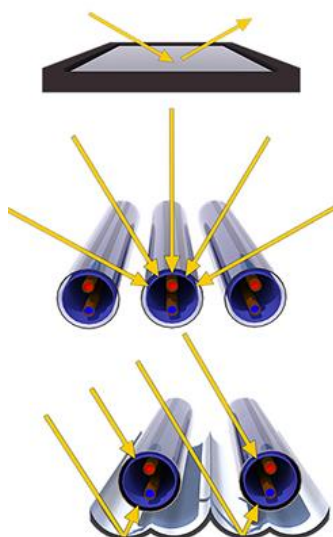
Однос корисне топлоте (предате радном флуиду) q и соларног зрачења I , се назива ефикасност соларног колектора [27]:

$$\eta = \frac{q}{I} = \beta - U(T_c - T_a)/I$$

4.2.2. Вакуумски соларни колектори

Вакуумски колектори у већини случајева обезбеђују боље перформансе од плочастих колектора. С обзиром на то да унутар цеви имају вакуум, који представља добру изолацију, губици енергије су минимални.

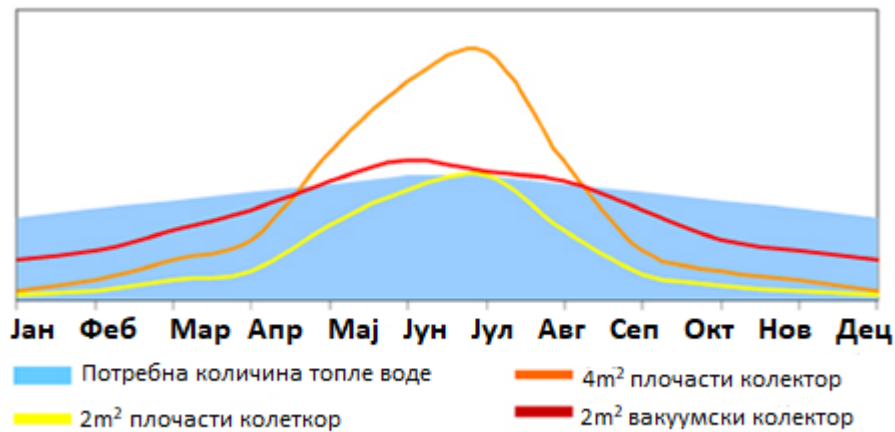
Код плочастих колектора добар део енергије рефлектује се о површину колектора што представља губитке. Вакуумски колектори, захваљујући вакууму, држе енергију заробљену унутар цеви и, самим тим, имају минималне губитке (слика 10).



Слика 10. Апсорпција соларног зрачења код плочастих и вакуумских колектора [25]

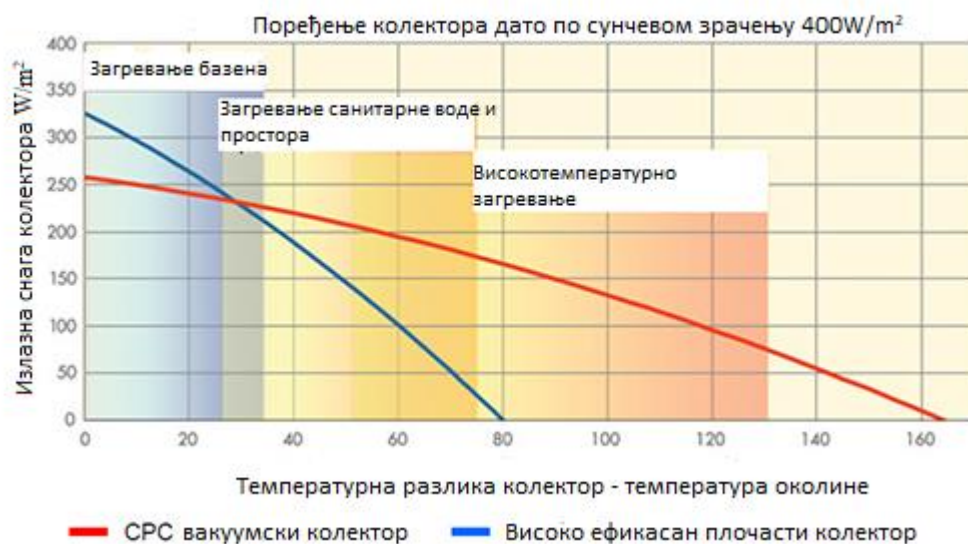
У новије време, да би се додатно повећала ефикасност вакуумских колектора, производе се „CPC” вакуумски колектори који у полеђини имају огледало које усмерава сунчеву топлоту ка цеви. „CPC” колектори омогућавају ефикасније коришћење сунчевог зрачења и, у односу на класичне вакуумске колекторе, имају и до 30% већу ефикасност. Овај колектор омогућује топлотне приносе и са задње стране колектора, а истовремено има мање губитке енергије. Вакуумски „CPC” колектори мање зависе од оријентације соларног колектора пошто преко цеви и „CPC” огледала усмеравају сунчеву енергију директно на апсорбер. Тако, ако се нпр. вакуумски „CPC” колектори инсталирају на исток или запад они ће произвести око 80% енергије у односу на јужну оријентацију, док ће плочасти колектори произвести око 60% енергије.

На слици 11 се види однос производње топлотне енергије плочастих и вакуумских соларних колектора у току читаве године. Соларни вакуумски колектор ће покрити потребе за топлотном енергијом у већем делу године. Плочасти колектор ће произвести довољно енергије лети, док ће производња у пролеће, јесен, а нарочито зими, бити значајно мања од вакуумског колектора [25].



Слика 11. Однос производње топлотне енергије плочастих и вакуумских соларних колектора [25]

На слици 12 се види да плочасти колектори имају предност код нискотемпературног загревања као што је нпр. грејање базена, док, код загревања санитарне воде и грејања простора, вакуумски колектори имају далеко већу ефикасност.



Слика 12. Поређење вакуумских и плочастих колектора [25]

5. Хибридни соларни пријемници

Хибридни соларни колектор (фотонапонски/термални соларни колектор или скраћено: PV/T колектор) представља комбинацију фотонапонских (PV) и соларно-термалних (Т) система који производе и електричну енергију и топлоту, из једне интегрисане компоненте. PV системи претварају у просеку мање од 20% сунчеве светлости у електричну енергију. Остатак се претвара у топлоту. Коришћење ове неискоришћене енергије представља генерални концепт хибридних система. Кроз примену система који могу пружити оба (топлотну и електричну енергију), енергетски принос по јединици површине крова или фасаде може бити знатно повећан. Даље предности се огледају у коришћењу преноса топлоте из PV-модула, побољшању ефикасности претварања соларне ћелије, повећању електричне производње и слично.

PV/T колектор, најважнија компонента у хибридном PV/T систему, се састоји од соларног модула монтираног на врху топлотног апсорбера. Хибридни системи су подељени у две групе:

- Течни PV/T колектори који производе оба, топлу воду и електричну енергију;
- Ваздушни PV/T колектори који су интегрисани у зграду инсталирањем на фасаду или кров зграде како би пружили топли вентилациони ваздух, као и електричну енергију.

Термичка ефикасност течног типа износи 45-65%. Што се тиче PV/T система који користе ваздух, топлотна ефикасност у великој мери зависи од протока ваздуха и дужине колектора

У применама, течни PV/T колектор се може поделити у две категорије: застакљени и незастакљени PV/T колектор. Слика 13 приказује основну структуру застакљеног и незастакљеног PV/T колектора.



Слика 13. Основна структура течног PV/T колектора (застакљени колектор лево, незастакљени десно) [28]

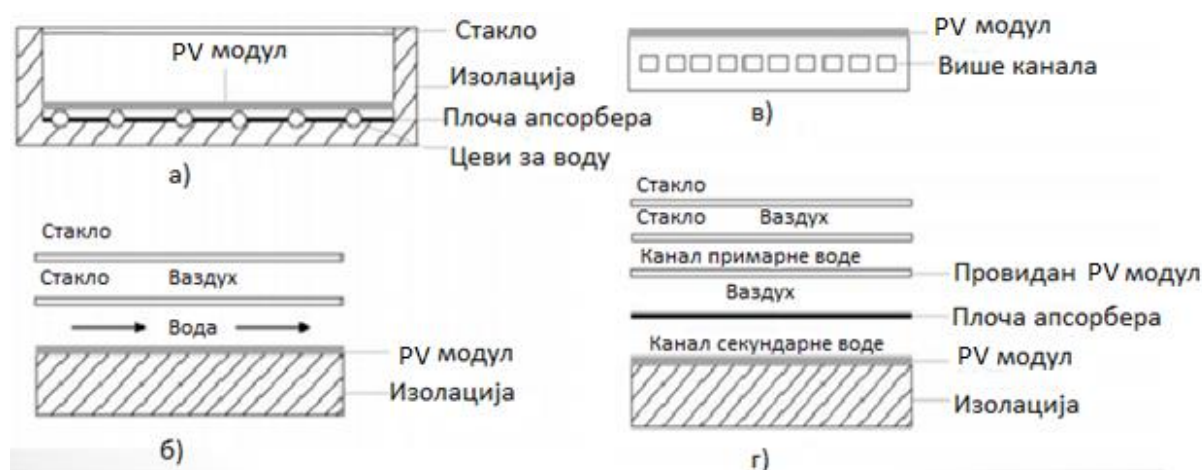
Застакљени PV/T колектор може произвести више топлотне енергије али има незнатно нижи електрични принос, док незастакљени PV/T колектор производи мање термалне енергије, али више електричне енергије. Као што је приказано на слици 13, незастакљени колектор има једноставнију структуру и састоји се од соларних фотонапонских ћелија

или модула на врху и термалног апсорбера на дну. То доноси релативно мање термалне енергије због више топлотних губитака конвекцијом на предњој површини и поседује нижу укупну ефикасност претварања од застакљеног колектора.

Главне предности незастакљеног над застакљеним PV/T колектором су једноставнија структура, једноставнија производња и нижа цена. Једноставност јефтиног незастакљеног PV/T колектора је уравнотежена са обично нижом термалном перформансом због велике термалне резистентности између течности и PV ћелије, док празнине између PV ћелије у комерцијалним PV модулима резултирају смањеном апсорпцијом сунчевог зрачења у подручју отвора.

Слика 14 представља пресеке најчешћих верзија PV/T плочастих колектора од којих:

- а) приказује основни тип PV/T колектора,
- б) течност која тече изнад PV/T модула,
- в) канални PV/T концепт у којем је течност струји испод PV/T ћелија, и
- г) PV/T модел са двоструком апсорпцијом [28].



Слика 14. Пресеци најчешћих верзија PV/T плочастих колектора

5.1. Основни појмови

Соларна ћелија има свој праг енергије фотона који одговара одређеном размаку енергетског опсега испод којег се не врши претварање електричне енергије. Фотони веће таласне дужине само троше енергију као топлоту у ћелији. PV/T модел претвара 4-17% долазног сунчевог зрачења у електричну енергију, зависно од врсте соларних ћелија и радних услова. Након одузимања рефлектованог дела више од 50% улазне соларне енергије претвара се у топлоту. То може довести до екстремно високих температура у радној ћелији које могу проузроковати негативне последице као што су смањена ефикасност ћелија или трајно структурно оштећење модула ако топлотни притисак

остане дуготрајан.

Хлађењем соларне ћелије струјом течности као што су вода и ваздух, принос електричне енергије се може побољшати. Али боља опција је поновна употреба топлоте издвојене из средства за хлађење. Тако се енергетски принос по јединици површине плоче (или фасаде ако је у питању уграђена инсталација) може побољшати. Ти подстицаји доводе до развоја PV/T хибридне соларне технологије.

PV/T хлађење се примењује на концентришуће фотонапонске системе, а у новије време и на PV/T грађевинске инсталације. Укупна излазна енергија (електрична и топлотна) хибридног PV/T система зависи од уноса соларне енергије, температуре околине, брзине ветра, радне температуре и метода екстракције топлоте. Електрични излаз је приоритет, па се радни услови система топлотних јединица морају прилагодити у складу са тим [29].

5.2. Апсорбери и ефикасност хибридних соларних колектора

Два главна проблема која настају у производњи PV/T колектора су несавршен прикључак PV модула и апсорбера и несавршен спој између апсорбера и металних цеви кроз које тече расхладно средство - вода. Приликом израде равних колектора, метално цевасте апсорбери били су једно од првих решења. Они нуде предности као што су смањење тежине и лакша уградња у систем, а поступак производње је поједностављен због мањег броја компоненти које се користе у конструкцији апсорбера и јефтинијег производа. Због ограничених перформанси металних цевастих апсорбера у водено хлађеним PV/T сакупљачима, развијен је канални тип са воденим хлађењем PV/T сакупљача са каналима од легуре алуминијума. Мерења су показала да је разлика у температури у нормалном раду између предње и задње површине апсорбера само 1°C, док су динамичке симулације показале да се бољи пренос топлоте између расхладне течности и зидова канала може постићи смањењем висине канала и повећањем броја цеви по јединици ширине [30].

5.3. Утицај карактеристика фотонапонских модула на ефикасност хибридних соларних колектора

Поред различитих начина за одвођење топлоте, перформансе PV/T система зависе и од врсте соларне ћелије. Према технологији израде, фотонапонски модули се могу поделити у две главне категорије, модули засновани на плочама монокристалног (с-Si) и поликристалног (pc-Si) силицијума и модули израђени у танкослојној технологији (силиконски танки филм, бакар/индијум/галијум селенид/сулфид (CIGS), аморфни силицијум (a-Si) и кадмијум телурид (CdTe)). Данас се технологија производње фотонапонског модула заснива на кристалним силицијумским плочицама јер је доказана

њихова поузданост и зато што је технологија позната и преузета од електронске индустрије. Цена (c-Si) је прилично висока, јер су технолошки процеси добијања силицијума одређене чистоће скуп. Поред цене, недостатак ове технологије је и велики губитак материјала током прераде. У табели 1. приказане су тренутно највеће пријављене ефикасности различитих врста тестираних соларних ћелија и модула.

Табела 1. Ефикасност за различите типове ћелија [31]

Врсте ћелија	Највећа пријављена ефикасност ћелије измерена у лабораторијским условима на узорку мале површине	Највећа пријављена ефикасност модула
c-Si	24,7%	22,7%
pc-Si	20,3%	15,3%
Cd-Te	16,5%	10,7%
CIGS	19,5%	13,4%
Микрокрystalни Si	11,7%	11,7%

Фотонапонски модули се у танкослојној технологији израђују тако да прекрију целу површину подлоге (стакло или нерђајући челик) микрометарски танким слојевима проводљивих или полупроводљивих материјала. Овим начином производње могу се постићи значајне уштеде у материјалу, као и потрошњи енергије. Тренутно је ефикасност фотонапонских модула произведених на овај начин између 5 и 15%, али са постојећим технологијама може се побољшати на 15 до 20%.

Хибридни соларни колектори омогућавају истовремено претварање соларне енергије у електричну и топлотну енергију. Уклањање вишка топлоте са фотонапонског модула такође смањује температуру соларне ћелије, што доводи до повећања електричне ефикасности модула. Укупна ефикасност хибридног колектора једнака је збиру ефикасности ћелије и ефикасности соларног колектора, док се онај са металним цевастим апсорбером показао као најприхватљивије решење [31].

5.4. Модел истраживања хибричних система

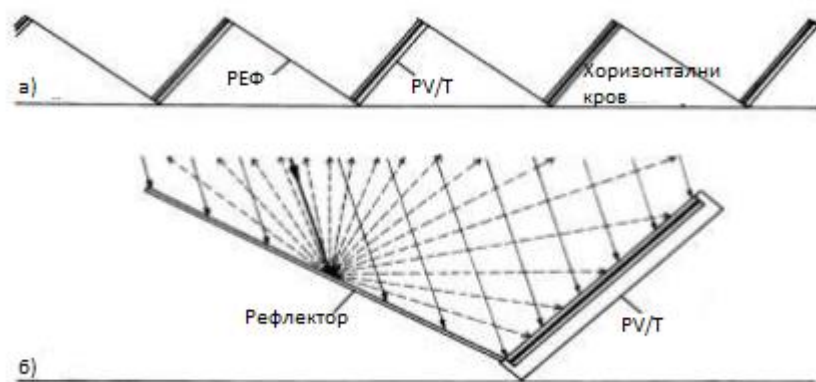
Модел који користи ваздух пружа једноставно и економично PV/T решење за хлађење, а ваздух се загрева на различитим температурама присилним или природним протоком.

Радна температура топлотне јединице у хибридном PV/T систему утиче на електричну ефикасност PV/T модула. Да би се повећао електрични излаз, PV/T модул мора бити на

нижој радној температури под одређеним условима интензитета долазећег сунчевог зрачења, температуре амбијента и брзине ветра. То се може постићи употребом течности за уклањање топлоте одговарајућег протока при ниским температурама. То резултира температурама на излазу које су корисне за загревање простора и за загревање воде у базенима, као и за загревање воде и ваздуха у индустрији.

Рад топлотне јединице на вишим температурама је кориснији за загревање воде или ваздуха, али ефикасност PV/T постаје нижа. За PV/T конструкцију на местима са ниском изолацијом и спољашњом температуром потребно је грејање простора готово током целе године, а хлађење циркулацијом ваздуха PV/T може бити корисније и исплативије од хлађења PV/T течном циркулацијом. На местима са високим улазом сунчевог зрачења и средњом температуром околине, издвајање топлоте циркулишућим ваздухом или течностју може се користити у складу са топлотним потребама и трошковима сваког дела примене хибридног система. У PV/T грађевинским инсталацијама на местима са високим улазом сунчевог зрачења и високим температурама, течна PV/T хлађење може се сматрати најефикаснијим начином загревања воде током целе године, са екстракцијом топлоте ваздуха за краће периоде у случају грејања зими или природне вентилације лети [31].

У фотонапонским стационарним постројењима PV/T модули се обично постављају у паралелне редове са размаком да се избегне засењивање. Сунчеви зраци падају на слободну водоравну површину између паралелних редова PV/T, као на слици 15.



Слика 15. а) инсталација система хоризонталног крова зграде,
б) експериментални систем са дифузном рефлексијом сунчевих зрака [31]

6. Соларна енергија у Србији

На територији Србије број сунчаних дана је већи него у осталим деловима Европе (између 1500-2000 часова годишње). Највећи потенцијал имају градови који се налазе на југу земље. Ако је површина орјентисана ка југу и ако је нагнута за 30 степени, тада се највећи годишњи приход убира у периодима март-април и август-септембар. Процењено је да у Србији има потенцијал око 2,65 милиона стамбених јединица. Уколико свака стамбена јединица угради 4 m², што представља просек потреба индивидуалног стамбеног објекта, крајња цифра уграђених соларних колектора би била 10,6 милиона m² или 720 GWh (2.592.000 GJ) годишње.

Потенцијал сунчеве енергије представља 16,7% од укупно искористивог потенцијала ОИЕ у Србији. Енергетски потенцијал сунчевог зрачења је за око 30% виши у Србији него у Средњој Европи и интензитет сунчеве радијације је међу највећима у Европи. Просечна дневна енергија глобалног зрачења за равну површину у току зимског периода креће се између 1,1 kWh/m² на северу и 1.7 kWh/m² на југу, а у току летњег периода између 5,4 kWh/m² на северу и 6.9 kWh/m² на југу. У циљу поређења, просечна вредност глобалног зрачења за територију Немачке износи око 1000 kWh/m², док је за Србију та вредност око 1400 kWh/m². Најповољније области у Србији бележе велики број сунчаних сати, а годишњи однос стварне озрачености и укупне могуће озрачености је приближно 50%.

На слици 16 можемо видети годишњи просек дневне енергије глобалног зрачења на хоризонталну површину на територији Србије.

У табели 2 представљене су средње дневне суме енергије глобалног сунчевог зрачења на хоризонталну површину за нека места у Србији.



Слика 16. Соларна енергија на територији Србије [32]

Табела 2. Средње дневне суме енергије глобалног сунчевог зрачења на површину у kWh/m²

Место	Месец												Укупно годишње	Средње годишње
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Београд	1,40	2,20	3,35	4,85	6,00	6,45	6,75	6,00	4,65	3,05	1,60	1,15	1446,80	3,96
Зрењанин	1,30	2,15	3,45	4,90	6,05	6,35	6,55	5,90	4,45	2,95	1,45	1,05	1419,45	3,89
Кикинда	1,00	2,05	3,55	5,10	6,40	6,55	6,85	5,95	4,45	3,00	1,50	1,05	1456,50	3,99
Вршац	1,00	2,00	3,35	4,40	6,00	6,40	6,55	6,85	4,60	3,00	1,55	1,00	1424,75	3,90
Долово	1,30	2,05	3,40	4,80	5,85	6,20	6,55	6,00	4,55	3,00	1,55	1,05	1412,05	3,87
Сомбор	1,35	2,15	3,35	4,85	5,95	6,30	6,15	5,65	4,20	2,80	1,35	1,40	1387,35	3,80
Палић	1,30	2,10	3,45	5,00	6,15	6,25	6,35	5,85	4,30	2,85	1,40	1,15	1407,40	3,80
Врбас	1,45	2,35	3,45	4,80	5,90	6,15	6,40	5,70	4,35	2,95	1,45	1,20	1406,85	3,85
Нови Сад	1,45	2,35	3,20	4,65	5,80	6,20	6,35	5,75	4,40	2,90	1,45	1,20	1392,64	3,82
Ђурђија	1,55	2,35	3,50	5,00	6,10	6,15	6,65	6,10	5,15	3,40	1,80	1,30	1495,40	4,10
Крушевац	1,65	2,55	3,50	4,90	5,95	6,05	6,45	5,90	5,10	3,30	1,80	1,35	1519,85	4,10
Ниш	1,75	2,60	3,45	5,00	6,10	6,35	6,70	6,15	5,35	3,45	1,85	1,50	1531,40	4,20
Куршумлија	2,15	3,00	3,60	5,05	5,85	6,05	6,55	6,10	5,30	3,50	2,00	1,75	1550,50	4,25
Пећ	1,85	2,95	3,70	4,85	5,95	6,15	6,75	6,15	4,90	3,65	2,25	1,60	1546,25	4,24
Приштина	1,85	2,90	3,70	5,25	6,30	6,60	6,95	6,30	5,10	3,35	1,90	1,60	1578,25	4,32
Врање	1,70	2,70	3,65	5,15	6,15	6,40	6,50	6,35	5,25	3,45	1,85	1,50	1543,40	4,23
К. Паланка	1,85	2,80	3,80	5,20	6,20	6,45	6,90	6,30	5,10	3,40	2,00	1,65	1567,80	4,30
Призрен	1,50	2,45	3,50	4,80	5,90	6,65	7,20	6,55	4,85	3,15	1,70	1,35	1512,25	4,14
Лозница	1,50	2,30	3,05	4,35	5,30	5,75	6,15	5,60	4,30	2,80	1,45	1,20	1333,50	3,65
Иван Седло	1,45	2,25	3,05	4,30	5,06	5,85	6,30	5,65	4,35	2,75	1,50	1,20	1332,26	3,65
Краљево	1,60	2,50	3,35	4,95	5,90	6,20	6,60	6,05	4,65	3,05	1,65	1,35	1458,40	4,00
Крагујевац	1,50	2,40	3,35	4,80	5,85	6,10	6,45	5,90	4,85	3,30	1,70	1,30	1447,85	3,97
Смедеревска Паланка	1,45	2,30	3,35	4,95	6,00	6,30	6,55	5,95	4,85	3,20	1,70	1,20	1418,80	3,89
Смедерево	1,45	2,25	3,40	4,80	5,70	6,30	6,50	5,95	4,75	3,15	1,65	1,10	1432,75	3,93
Неготин	1,35	2,05	3,25	4,85	6,05	6,60	6,95	6,25	4,75	2,90	1,45	1,20	1453,35	3,98
Прни врх	1,40	2,15	3,15	4,65	5,70	6,05	6,50	5,85	4,85	3,10	1,60	1,15	1393,10	3,82
Зајечар	1,50	2,25	3,25	4,80	6,05	6,45	6,95	6,30	4,95	2,95	1,50	1,30	1498,05	4,02
Ваљево	1,45	2,25	3,10	4,40	5,35	5,95	6,35	5,75	4,45	2,95	1,50	1,20	1362,60	3,73
Ужичка Пожега	1,35	2,15	3,15	4,40	5,20	5,40	5,70	5,10	4,00	2,25	1,45	1,10	1266,35	3,47
Златибор	1,50	2,30	3,10	4,35	5,10	5,65	5,90	5,35	4,30	2,75	1,60	1,30	1316,40	3,61

Ови подаци јасно показују да располажемо ресурсима енергије сунчевог зрачења знатно изнад европског просека уз изузетно повољан сезонски распоред и да је њено ефикасно и дугорочно коришћење неопходно осмислити у најскоријем временском периоду, између осталог, и због усклађивања са европским мерама и плановима у вези обновљивих извора енергије.

У Републици Србији према попису из 2002. године има око 2,5 милиона домаћинстава. Ако би у просеку свако пето домаћинство уградило соларни пријемник површине 4 m², годишње би се произвело око 1750 GWh/год топлотне енергије која би највећим делом заменила потрошњу електричне енергије, а делом фосилна горива која се користе за загревање санитарне воде, и омогућила смањење емисија угљен-диоксида за 2,3 милиона тона годишње.

Енергија коју сунце током године емитује на 1 m² крова куће у Србији је једнака енергији која се добије сагоревањем 130 литара нафте - а при томе је потпуно бесплатна. Највећи потенцијал за коришћење соларне енергије имају градови у јужном делу Србије - Ниш, Куршумлија, Врање [32].

7. Програми за симулацију енергетског понашања зграда

У раду су коришћени програми EnergyPlus и Google SketchUp са Open Studio додатком. Ови програми нуде детаљне прорачуне потрошње будућег објекта како би пројектант могао да пронађе оптимална конструктивна и обликовна решења, да изабере материјале, додатне системе управљања објектом, итд.

7.1. Симулациони софтвер Energy Plus

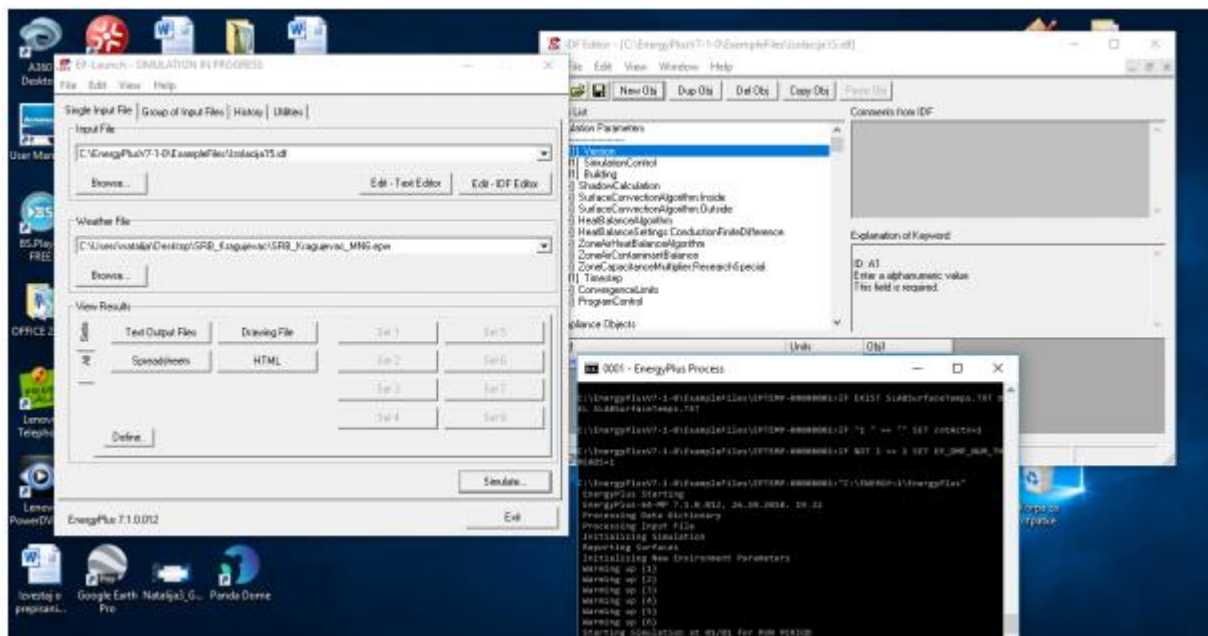
Развој софтвера EnergyPlus је започео 1996. године, а заснован је на основама два програма: DOE-2 и BLAST који су у то време били у широкој примени. BLAST (скраћеница од енгл. Building Loads Analysis and System Thermodynamics - Анализа оптерећења и термодинамичких система зграде) и DOE-2 су развијани и коришћени касних 1970-их и раних 1980-их година као алати за симулацију енергетских оптерећења зграда [33].

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. 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 [34].

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).

На слици 17. приказано је радно окружење EnergyPlus-a.



Слика 17. Радно окружење EP Launch-a – EP Lunch, IDF Editor, Симулациони процес

Прве верзије програма су садржале карактеристике везане само за топлотни биланс зграде. Наредне верзије су се развијале узимајући у обзир све савремене системе који могу бити инсталирани у зградама, попут електричних система, система за грејање топле воде помоћу соларних колектора, уградња ФН панела, вентилационих система, различитих система грејања и бројних других [35].

Остале карактеристике симулација софтвером EnergyPlus су: временски кораци који се могу мењати, модулари системи које може да конфигурише сам корисник, као и улазне и излазне структуре података које такође дефинише корисник програма. Валидност софтвера је испитивана више пута, нарочито су поређени добијени резултати са поставкама ASHRAE стандарда. Свакако најбитнија потврда валидности је добијена на тестовима који су вршени по процедурама IEA HVAC BESTTEST E100E200 [36].

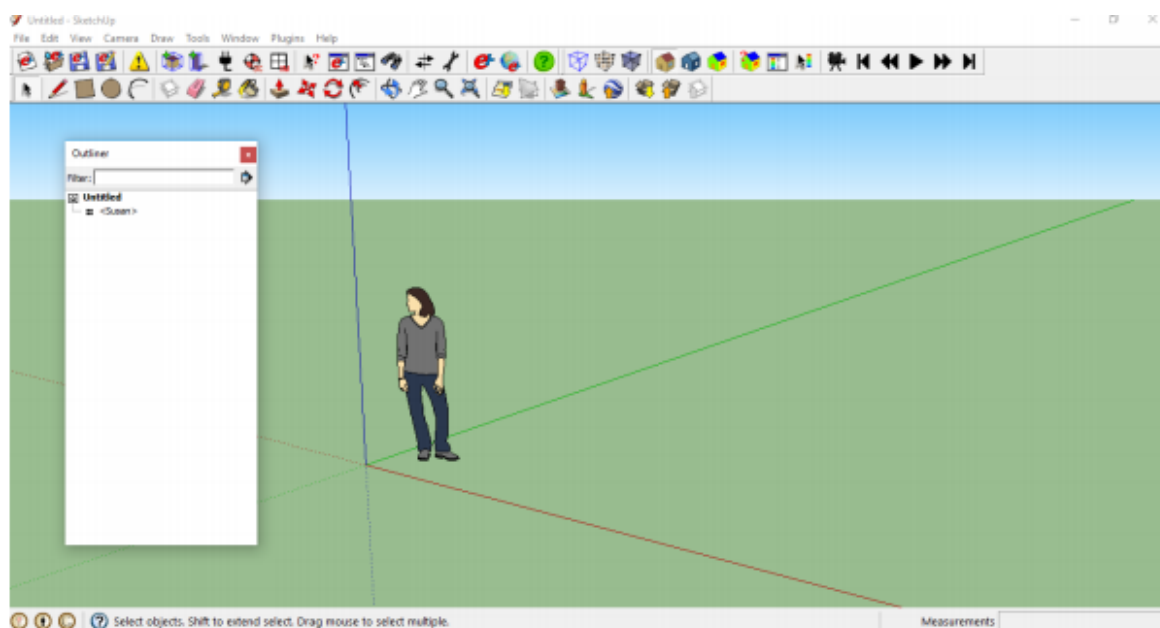
EnergyPlus користи податке о времену за локацију зграде која се симулира. Временски подаци постоје за преко 2 000 локација, и смештени су у посебним датотекама које EnergyPlus аутоматски читава.

7.2. Google SketchUp софтвер са Open Studio додатком

SketchUp је бесплатан 3D софтверски алат који се користи за виртуелно дизајнирање стамбених објеката. Он комбинује сет сопствених алата са системом интелигентног дизајна [37]. 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. OpenStudio је додаток софтверском пакету GoogleSketchUp којим се симулација енергетског понашања зграде у EnergyPlus-у повезује са 3D окружењем GoogleSketchUp-a.

Овај софтвер дозвољава кориснику да креира улазни фајл EnergyPlus-a преко стандардних алата SketchUp-a, 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-a. У жељеном тренутку може се покренути симулација креиране зграде у EnergyPlus-у и кроз добијене резултате симулације уочити евентуалне грешке и пропусти у дизајну [38]. На слици 18 је приказано радно окружење SketchUp-a.



Слика 18. Радно окружење Google SketchUp-a са Open Studio plug-ином

8. Анализирани објекат

Стамбени објекат димензија 11x8 m налази се у Крагујевцу. Објекат је приземан и састоји се од дневне собе, кухиње, купатила, две спаваће собе, ходника и крова. Његова оријентација према странама света у односу на улазна врата је југ.

Улазна врата воде право у ходник објекта који садржи 5 унутрашњих врата и једна спољашња. Из ходника је могуће доћи до сваке од преосталих просторија, а између кухиње и дневне собе постоје унутрашња врата, па је могуће кретање из једне у другу просторију без пролаза кроз ходник.

При улазу у ходник, одмах десно (исток) су врата од кухиње која, поред двоје унутрашњих врата, садржи и прозор оријентисан према југу димензија 1x0,8 m.

Друга врата десно од улазних врата ходника (исток) су врата дневне собе. Дневна соба је највећа просторија у објекту и поред својих унутрашњих и спољашњих зидова садржи двоја унутрашња врата и један прозор оријентисан ка северу. Као што је већ поменуто, из дневне собе је могуће директно ићи у кухињу и обрнуто, док је за приступ свакој другој просторији неопходно прићи кроз ходник. При улазу у објекат, односно ходник, право (север) се налази купатило са прозором оријентисаним ка северу, величине 0,5x0,5 m.

На западној страни куће налазе се две спаваће собе истих димензија. Обе собе садрже прозоре величине 1,5x1,2. Спаваћа соба 1 (југозапад) има прозор оријентисан ка југу, док спаваћа соба 2 (северозапад) има прозор оријентисан ка западу.

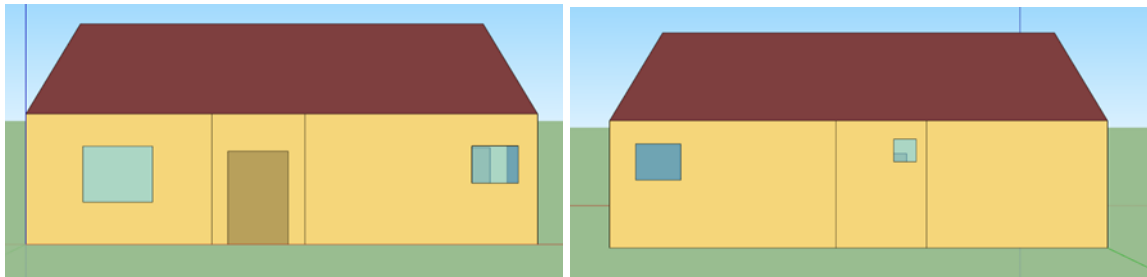
Кров је изведен на такозване „две воде”, које су оријентисане према југу и северу. За постављање хибридног соларног колектора нарочито је погодна страна крова ка југу јер она пружа најбољи могући потенцијал за коришћење соларних колектора и уопштено соларне енергије. Постављањем панела може се прикупити, односно генерисати завидна количина енергије која може да се искористи за потребе самог стамбеног објекта. Висина крова је 2,5 метара, па је бочна страна крова нагнута под углом од 32 степена.

Табела 3. Приказ површина унутрашњих просторија

Просторија	Дневна соба	Купатило	Ходник	Кухиња	Спаваћа соба 1	Спаваћа соба 2	Укупно
Површина [m ²]	30	4	12	10	16	16	88
Површина зидова [m ²]	49,28	17,22	15,12	28	35,28	35,28	/
Површина прозора [m ²]	1,2	0,25	/	0,8	1,8	1,8	5.85

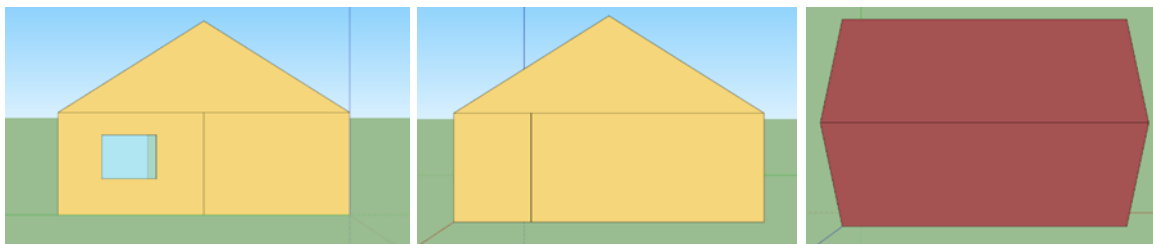
8.1 Модел анализираног објекта

Израда модела објекта је урађена у SketchUp-у. При изради модела неопходно је да свака просторија представља посебну зону, али зависну у односу на остали део објекта. Потребно је означити сваку површину на моделу и обележити је на правилан начин тако да се што јасније разуме да би се у случају грешака оне на лакши начин уклониле. При означавању је неопходно да свака површина има различито име. Следећи корак је повезивање површина које се изводи тако да две површине које су у контакту програм повеже и прихвати као једну. На следећим сликама је приказан модел објекта израђен у SketchUp-у. Предња и задња страна објекта приказане су на сликама 19 и 20.



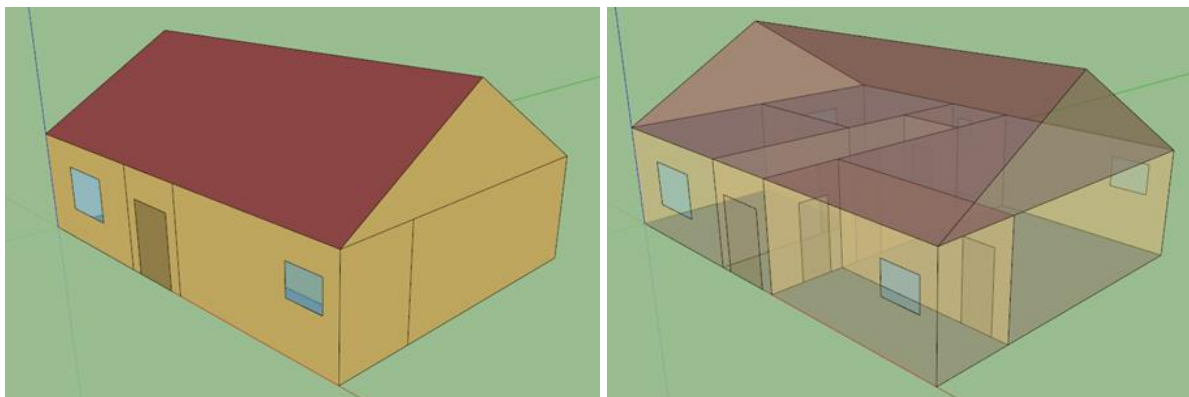
Слика 19 и 20. Предња и задња страна објекта

Објекат је оријентисан ка јужној страни због могућности искоришћења природне енергије које нам Сунце пружа. Бочне стране објекта, као и поглед одозго приказани су на сликама 21, 22 и 23.



Слика 21, 22 и 23. Западна и источна страна и облик крова (поглед са горње стране)

На слици 24 и 25 је приказан изометријски приказ куће. На слици 25 се може видети и положај унутрашњих просторија.



Слика 24 и 25. Изометриски приказ куће споља и X-ray приказ

На објекту разликујемо четири основне конструкције које подразумевају спољашњи и унутрашњи зид, као и под и таваницу, односно плафонску конструкцију.

Што се тиче спољашњег зида, он се састоји од цигле, тешког бетона, изолационог слоја (5 или 15 cm), ваздушног простора и гипс плоче. Унутрашњи зид се састоји од два слоја гипс плоча између којих је ваздушни простор, који на неки начин представља изолациони слој, јер није потребно стављати изолацију у унутрашње зидове јер се све просторије греју на исту температуру. Подна конструкција се састоји од лаког бетона, ваздушног слоја и акустичне плоче. Под је у контакту са земљом. Таваница се састоји од лаког бетона, ваздушног простора и акустичне плоче. Изнад се налази поткровље.

8.2. Конструкције и остале карактеристике објекта

У табели 4 су приказане све конструкције са дебелинама употребљеног материјала.

Табела 4. Конструкције и материјали који у њих улазе

Слој	Спољни зид	Унутрашњи зид	Под	Таваница
1	100 mm цигла	19 mm гипс плоча	Акустичне плоче	100 mm лаки бетон
2	200 mm тешки бетон	Ваздушни простор	Ваздушни слој	Ваздушни простор
3	Изолациони слој	19 mm гипс плоча	100 mm лаки бетон	Акустичне плоче
4	Ваздушни простор			
5	19 mm гипс плоча			

Грејање се врши помоћу радијатора који су распоређени у свакој просторији. Узимајући у обзир величину просторије одређена је снага радијатора. У табели 5 је приказана снага радијатора и њихов положај у објекту.

Табела 5. Снага радијатора

Просторија	Дневна соба	Кухиња	Купатило	Ходник	Спаваћа соба 1	Спаваћа соба 2
Снага радијатора [W]	8000	3000	5000	5000	5000	5000

Расвета у објекту је разведена тако да постоји у свакој просторији. Што се тиче њене јачине, свакако је најинтензивнија у дневној соби, због саме њене величине, али и потребе и времена које људи проводе у њој. Јачина осветљења и распоред по

просторијама је приказан у табели 6. Дневна соба свакако захтева висок ниво осветљења, за разлику од осталих просторија које немају такве захтеве.

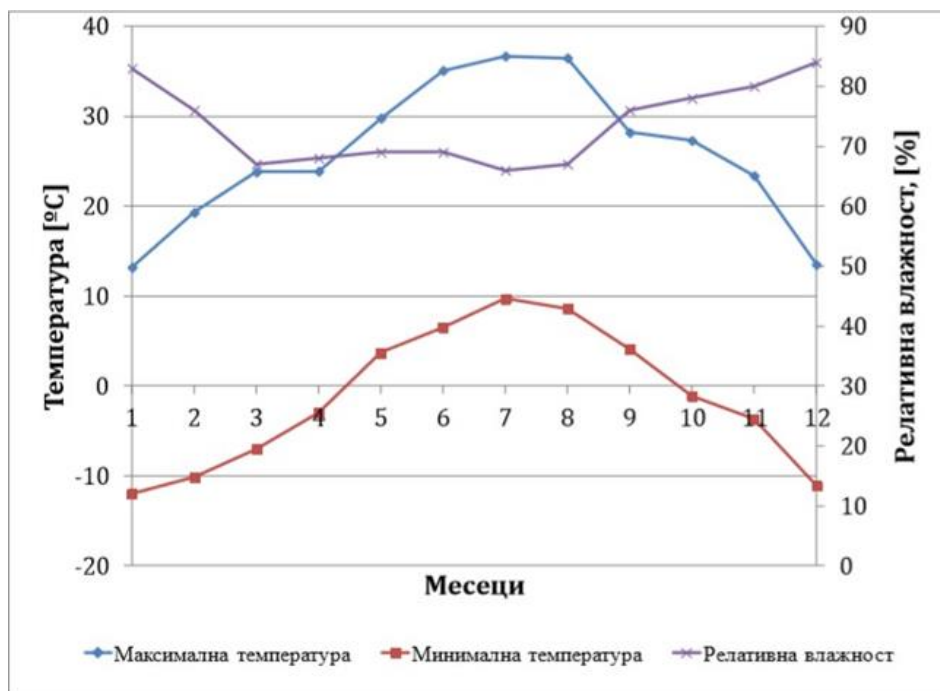
Табела 6. Јачина осветљења

Просторија	Дневна соба	Кухиња	Купатило	Ходник	Спаваћа соба 1	Спаваћа соба 2
Јачина осветљења [W]	15	6	11	9	9	9

8.3. Локација објекта

За прорачун потрошње енергије, поред карактеристика саме зграде као што је структура омотача, битна је и њена локација и оријентација. Ова кућа је лоцирана у граду Крагујевцу у централној Србији. 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. Лета су топла и влажна са температуром чак и до 37 °C. Зиме су хладне, са снегом и температурама нижим од -12 °C.

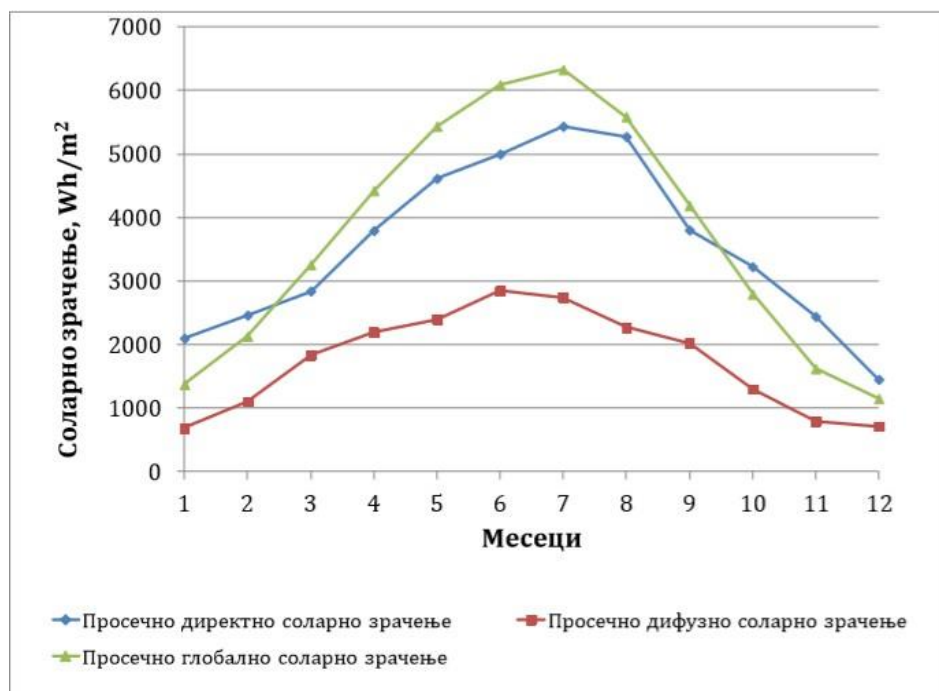
Слика 26. приказује временске податке за Крагујевац (просечна минимална и максимална температура, као и просечна релативна влажност ваздуха, по месецима). Они су преузети из датотеке EnergyPlusa.



Слика 26. Временски подаци за Крагујевац [38]

EnergyPlus при прорачунима користи климатске податке из сопствене базе са временским датотекама. Временске датотеке садрже полчасовне или часовне податке за бројне величине (барометарски притисак, температура, релативна влажност ваздуха, директно зрачење, дифузно зрачење, правац ветра, брзина ветра...) као и податке о падавинама током године.

На слици 27 приказане су месечне вредности соларног зрачења за Крагујевац, преузети из датотеке EnergyPlus-a. Соларно зрачење не зависи само од географске ширине локације, већ у великој мери зависи од климатских услова и рељефа [38].



Слика 27. Месечне вредности соларног зрачења за Крагујевац [38]

9. Резултати и анализа

Тема овог рада везана је за производњу топлотне и електричне енергије помоћу хибридног соларног пријемника. Хибридни соларни пријемник садржи 6 ХПС површине по 2 m^2 , укупно 12 m^2 . Ефикасност ПВ ћелија износи 12%, а ефикасност трансформације соларне енергије у електричну износи 30%.

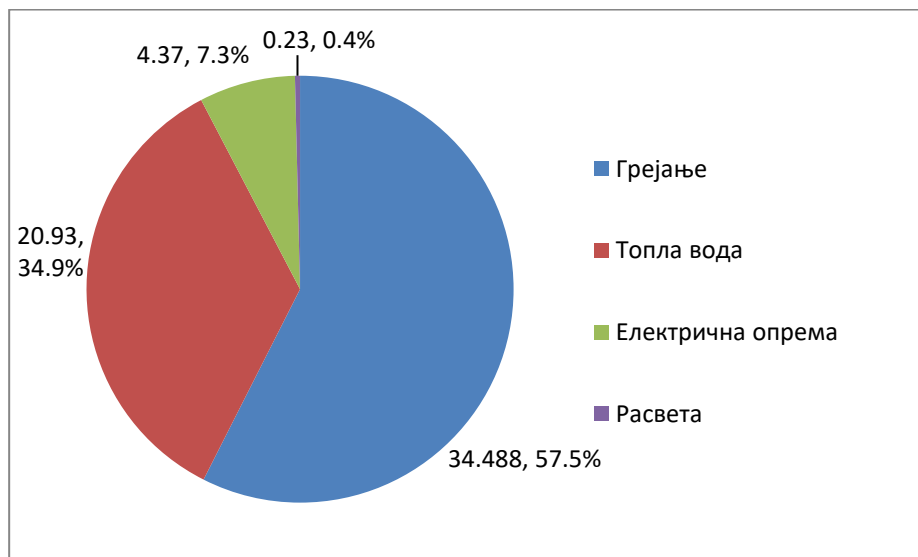
Након дефинисања свих параметара у програму EnergyPlus, симулира се енергетско понашање куће и хибридног соларног система и на основу тога програм израчунава потребне параметре.

Приказана су и поређена три сценарија:

- сценарио 1 – стамбени објекат са топлотном изолацијом од 5 cm,
- сценарио 2 – стамбени објекат са топлотном изолацијом од 15 cm и
- сценарио 3 – стамбени објекат са топлотном изолацијом од 15 cm и хибридним соларним пријемником.

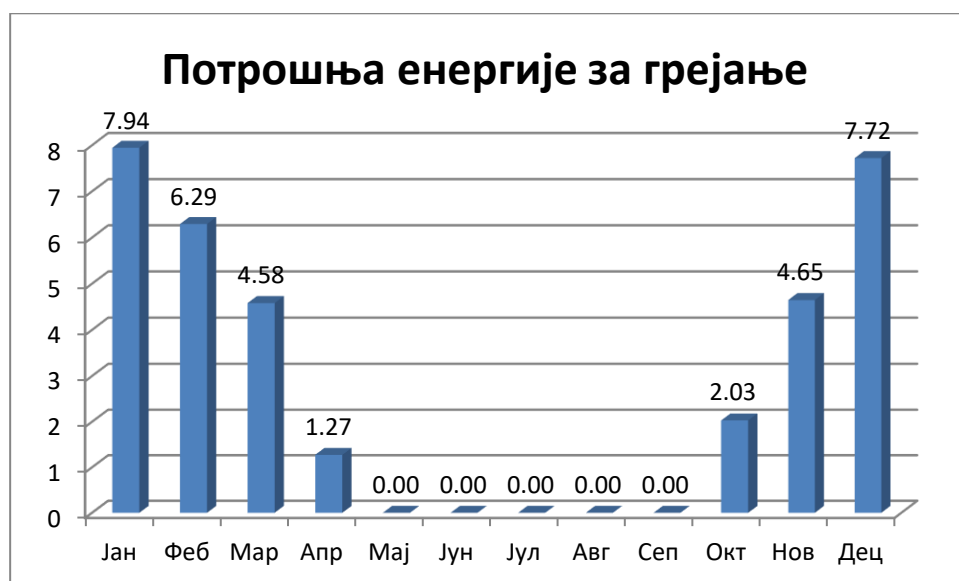
9.1. Сценарио 1

Укупна потрошња електричне енергије на годишњем нивоу у једнопородичном објекту, који је обрађен у овом раду, износи 60,018 GJ (16 671,67 kWh) за сценарио 1. На слици 28 је приказан распоред потрошње енергије у објекту за сценарио 1, где се може видети да се највише енергије троши за грејање објекта 34,49 GJ и за припрему топле воде 20,93 GJ. За електричну опрему се троши 4,37 GJ енергије, а најмање енергије се троши за расвету 0,23 GJ.



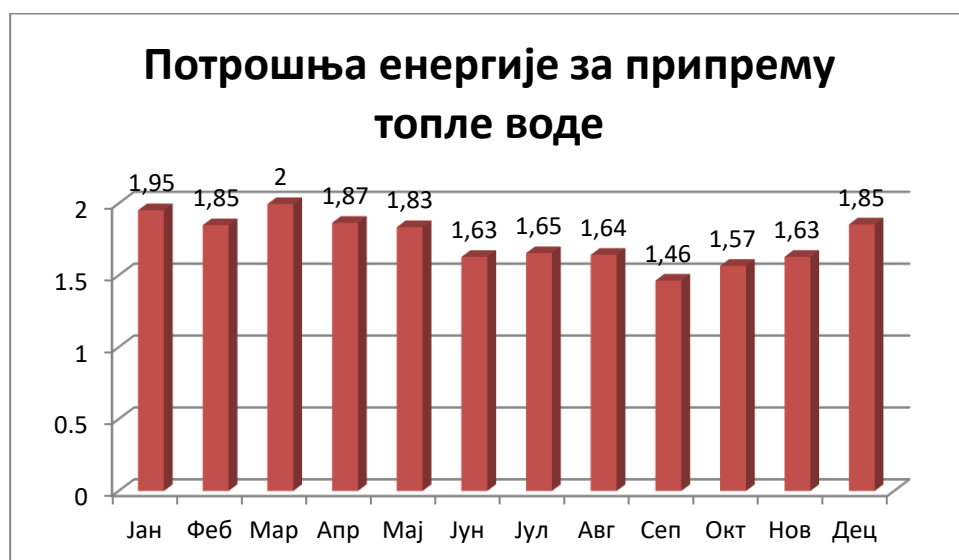
Слика 28. Распоред потрошње енергије на годишњем нивоу у GJ за сценарио 1

На слици 29 је приказана месечна потрошња енергије за грејање за сценарио 1. Укупна потрошња енергије за грејање на годишњем нивоу износи 34,488 GJ. Највећа потрошња енергије за грејање је у јануару и износи 7,94 GJ. Током летњих месеци нема потрошње енергије за грејање.



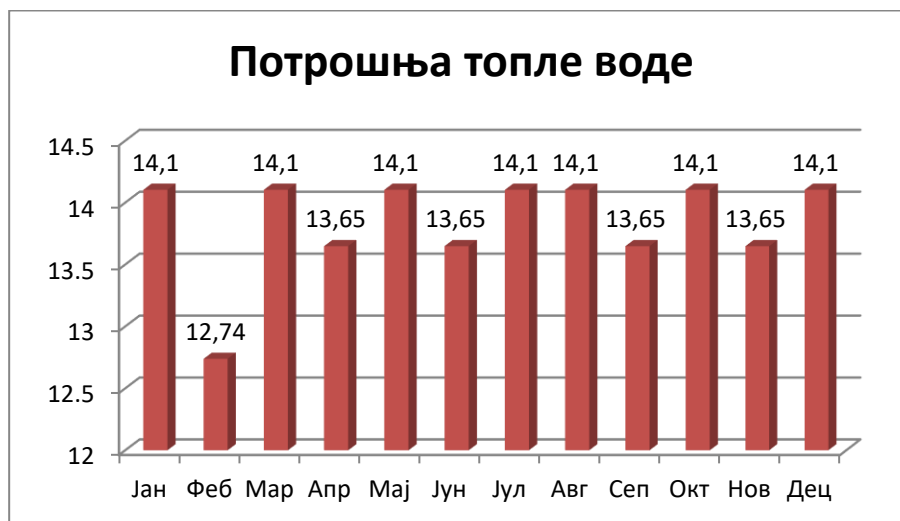
Слика 29. *Распоред потрошње енергије за грејање по месецима у GJ за сценарио 1*

На слици 30 је приказана потрошња енергије за припрему топле воде по месецима. Највећа потрошња енергије за припрему топле воде је у марту и износи 2 GJ, док је најмања у септембру и износи 1,46 GJ. Укупна потрошња енергије за припрему топле воде на годишњем нивоу износи 20,93 GJ.



Слика 30. *Распоред потрошње енергије за припрему топле воде на месечном нивоу изражен у GJ за сценарио 1*

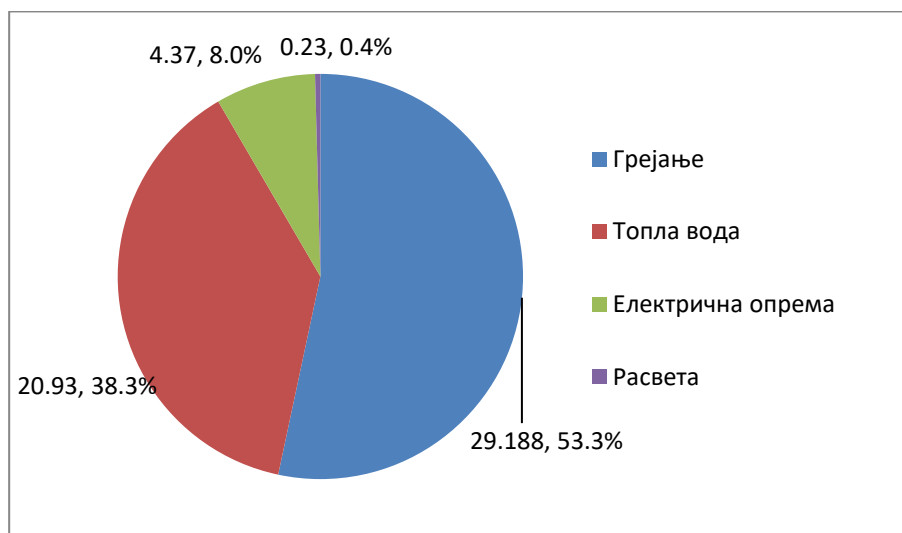
На слици 31 приказана је месечна потрошња топле воде у објекту. Распоред потрошње топле воде по месецима је без великих осцилација и износи од 12,74 до 14,1 m³. Укупна годишња потрошња топле воде износи 166,05 m³.



Слика 31. Потрошња топле воде по месецима изражена у m³ за сценарио 1

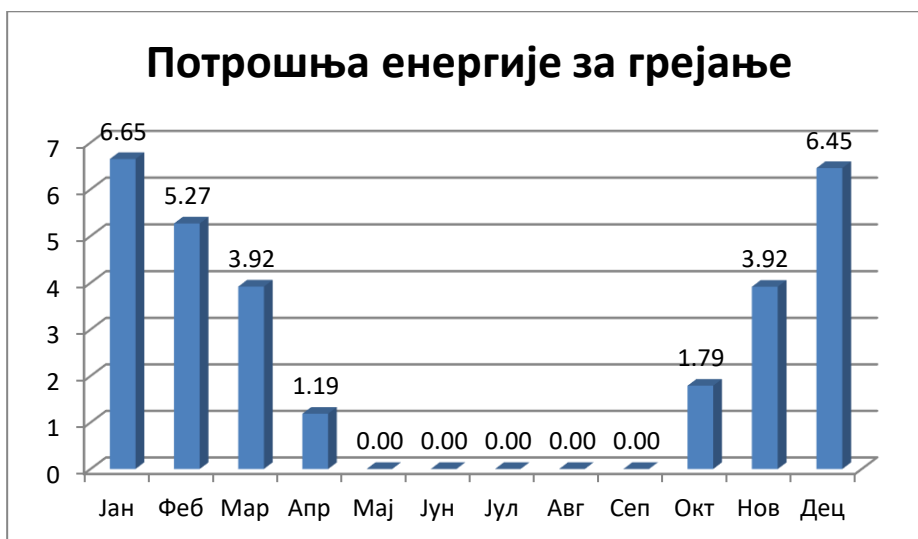
9.2. Сценарио 2

Укупна потрошња електричне енергије на годишњем нивоу у једнопородичном објекту за сценарио 2 износи 54,718 GJ (15 199,44 kWh). На слици 32 је приказан распоред потрошње енергије у објекту за сценарио 2, где се може видети да се, као и у сценарију 1, највише енергије троши за грејање објекта 29,188 GJ. Потрошња енергије за припрему топле воде, расвету и електричну опрему је иста као у сценарију 1.



Слика 32. Распоред потрошње енергије на годишњем нивоу у GJ за сценарио 2

На слици 33 је приказана месечна потрошња енергије за грејање за сценарио 2. Укупна потрошња енергије за грејање на годишњем нивоу износи 29,188 GJ. Највећа потрошња енергије за грејање је у јануару и износи 6,65 GJ. Током летњих месеци нема потрошње енергије за грејање.

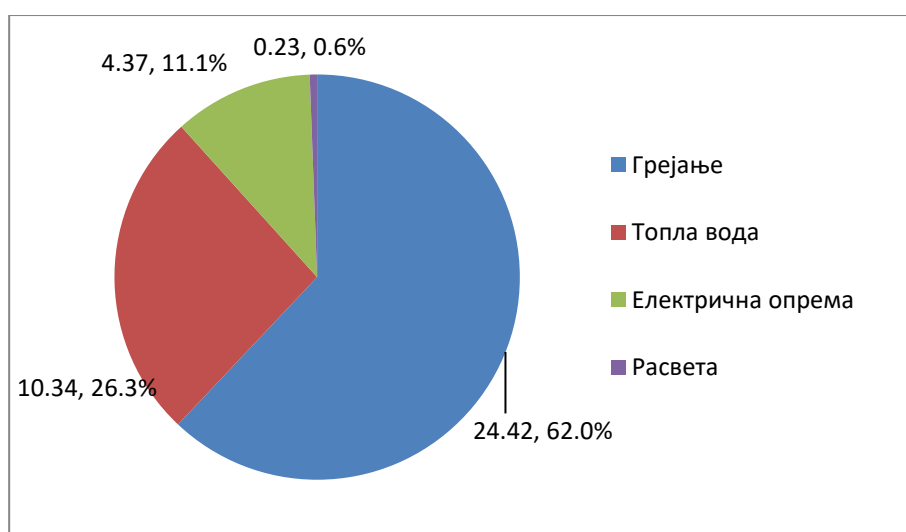


Слика 33. *Распоред потрошње енергије за грејање по месецима у GJ за сценарио 2*

Битно је напоменути да су за сценарио 2 потрошња енергије за припрему топле воде и потрошња топле воде исте као за сценарио 1, пошто промена дебљине изолације у спољашњем зиду са 5 на 15 cm нема утицај на поменуте параметре.

9.3. Сценарио 3

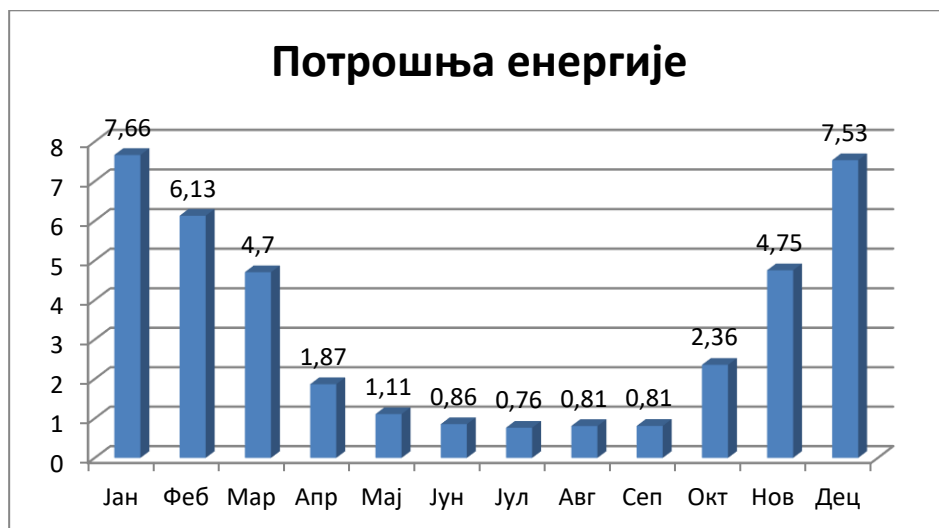
Укупна потрошња електричне енергије на годишњем нивоу у једнопородичном објекту за сценарио 3 износи 39,36 GJ (10 933,33 kWh). На слици 34 је приказан распоред потрошње енергије у објекту за сценарио 3.



Слика 34. *Распоред потрошње енергије на годишњем нивоу у GJ за сценарио 3*

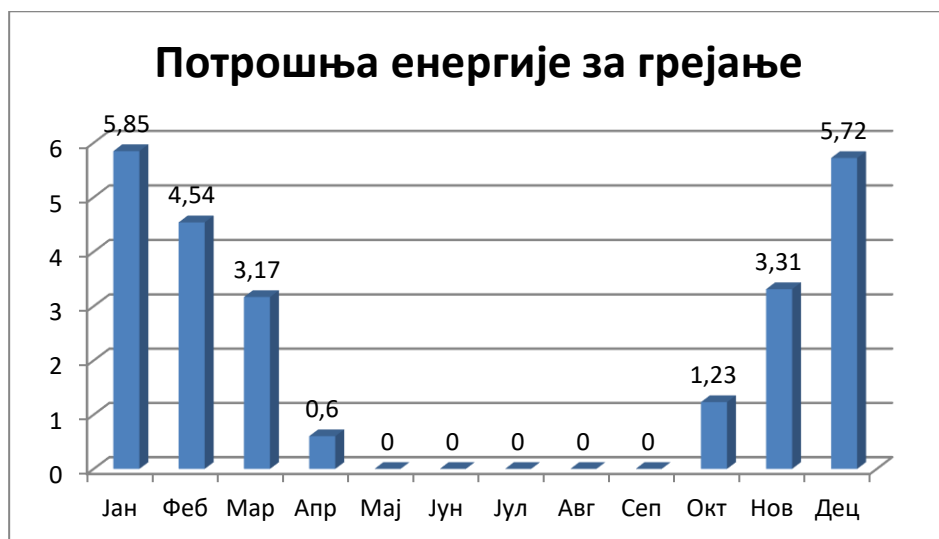
Са слике се може видети да се и у овом сценарију највише енергије троши за грејање објекта 24,42 GJ, као и за припрему топле воде 10,34 GJ. Потрошња енергије за расвету и електричну опрему је иста као у сценарију 1 и сценарију 2.

Слика 35 приказује распоред месечне потрошње енергије за сценарио 3. Са слике се може закључити да је потрошња енергије знатно виша у зимским месецима у односу на летње, што је последица потребе објекта за грејањем у том периоду, као и смањеном производњом енергије из хибридног соларног пријемника због смањеног соларног зрачења током зиме. Највећа потрошња енергије је у јануару и износи 7,66 GJ, док је најмања у јулу и износи 0,76 GJ.



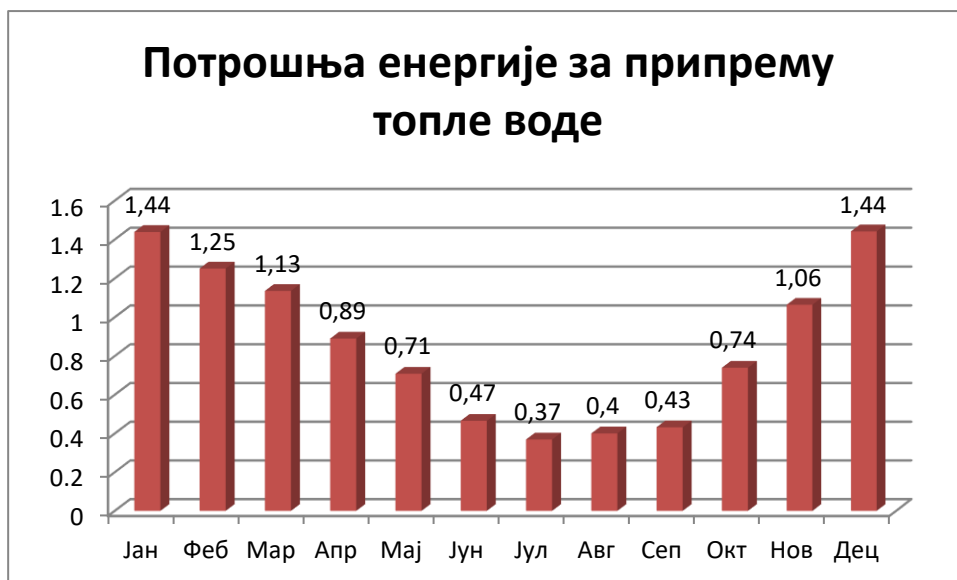
Слика 35. *Распоред потрошње енергије на месечном нивоу у GJ за сценарио 3*

На слици 36 приказана је месечна потрошња енергије за грејање објекта у сценарију 3. Укупна потрошња енергије за грејање на годишњем нивоу износи 24,42 GJ. Потрошња енергије за грејање је највиша у зимским месецима и износи 5,85 GJ у јануару, а 5,72 GJ у децембру. У летњем периоду нема потрошње енергије за грејање, већ само од октобра до априла.



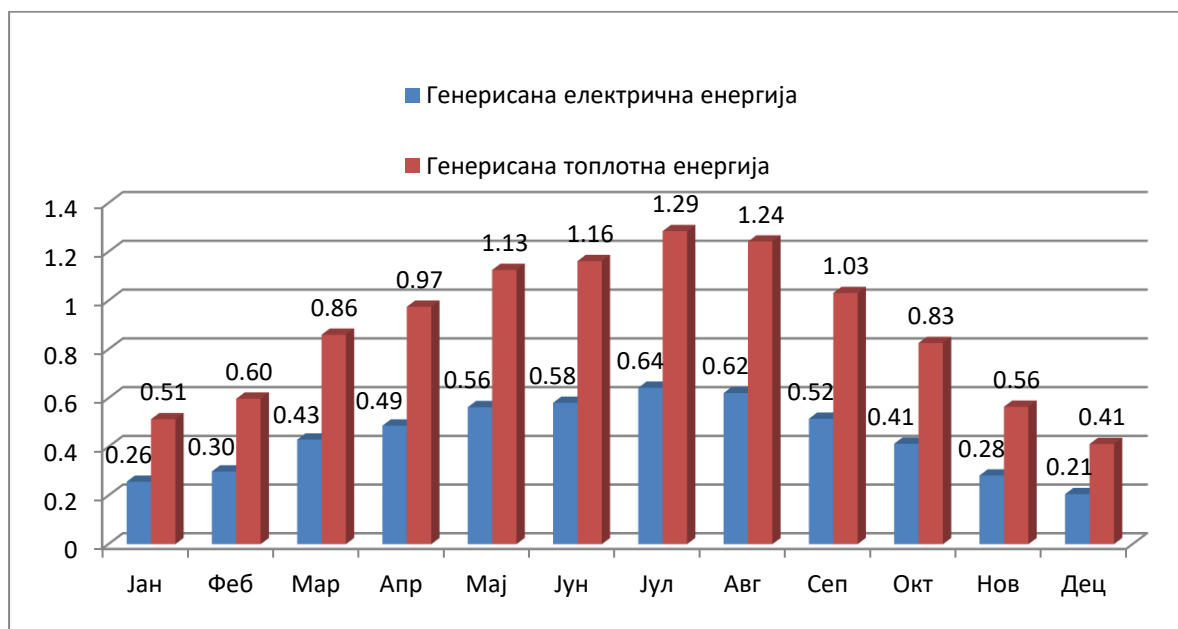
Слика 36. *Потрошња енергије за грејање по месецима у GJ за сценарио 3*

На слици 37 је приказана месечна потрошња енергије за грејање топле воде. Укупна годишња потрошња енергије за припрему топле воде износи 10,339 GJ за сценарио 3. Са слике се може закључити да је потрошња енергије за припрему топле воде нижа у летњим месецима, што је последица повећаног интензитета сунчевог зрачења. Најмања потрошња је у јулу и износи 0,37 GJ, док је највећа у децембру и износи 1,44 GJ.



Слика 37. Потрошња енергије за припрему топле воде по месецима у GJ за сценарио 3

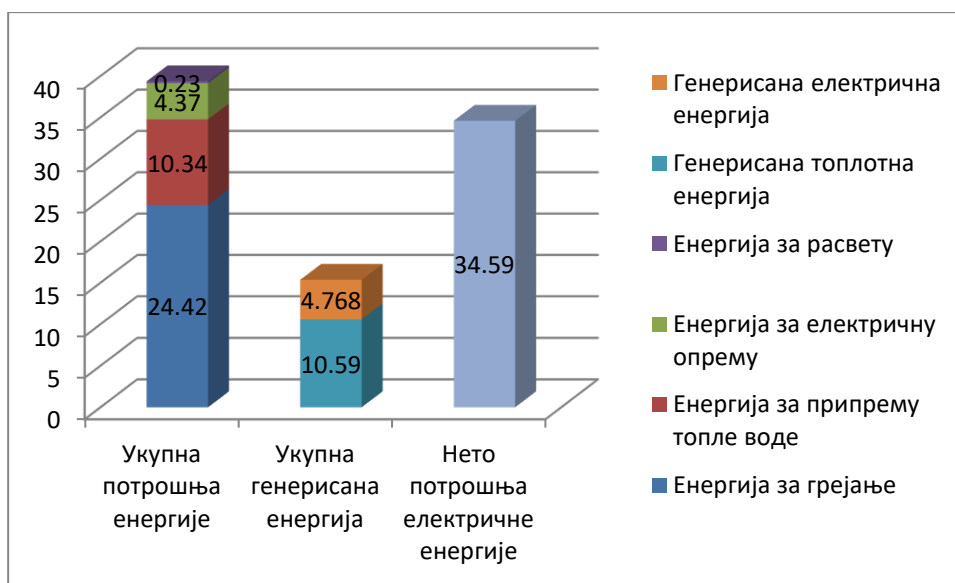
На слици 38 приказана је генерисана електрична и топлотна енергија из хибридног соларног пријемника по месецима.



Слика 38. Месечни приказ генерисане електричне и топлотне енергије из хибридног соларног пријемника у GJ за сценарио 3

Укупна количина генерисане енергије на годишњем нивоу износи 15,892 GJ (од тога 10,595 GJ топлотне енергије и 5,297 GJ електричне енергије, од чега се искористи 4,768 GJ, а остатак су губици). За разлику од потрошње енергије, код генерисане енергије се већа количина енергије производи током летњег периода. Највиша генерисана количина и електричне и топлотне енергије је у јулу месецу и износи 1,285 GJ топлотне енергије, док је износ генерисане електричне енергије у јулу 0,643 GJ.

На слици 39 приказане су укупна потрошња енергије, укупна генерисана енергија и нето потрошња електричне енергије за сценарио 3. Укупна потрошња енергије износи 39,36 GJ, укупна генерисана енергија износи 15,36 GJ и нето потрошња електричне енергије износи 34,59 GJ. Такође, на слици су приказани удели у укупним енергијама.



Слика 39. Приказ укупне потрошње енергије, укупне генерисане енергије и нето потрошње електричне енергије у GJ на годишњем нивоу за сценарио 3

10. Поређење резултата

Након детаљних описа сваког сценарија са графичким приказима резултата, у наставку следи поређење одабраних резултата.

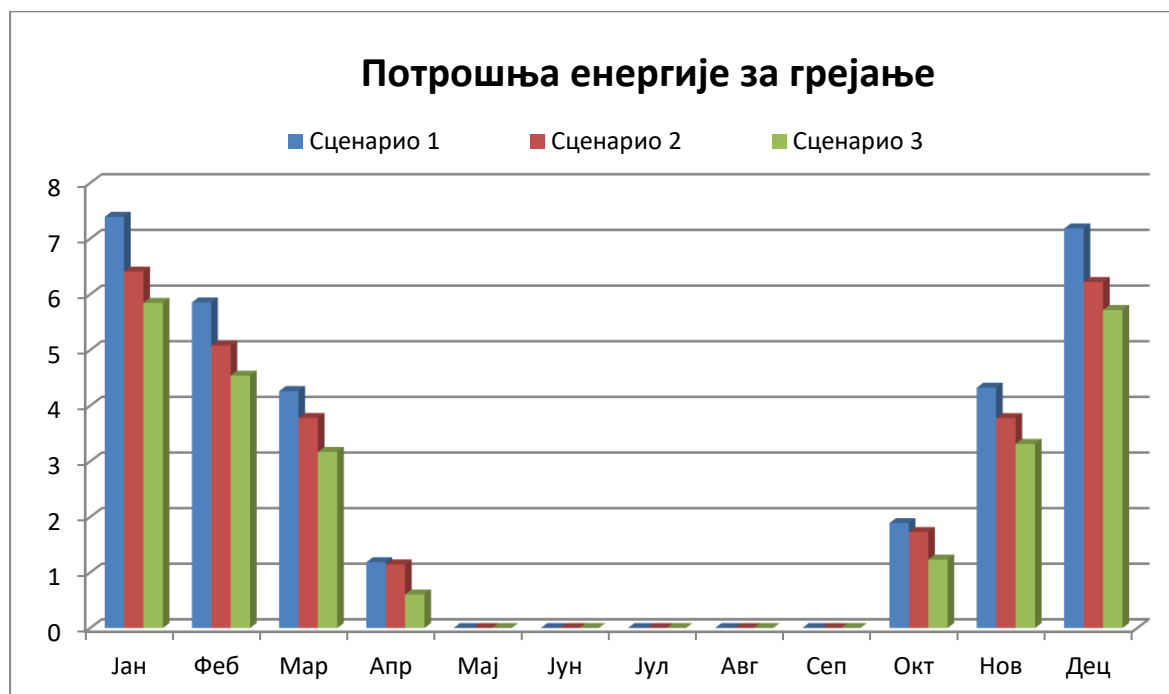
Укупна потрошња енергије за грејање за сва три сценарија приказана је у табели 7. Потрошња енергије за грејање највећа је за сценарио 1 и износи 34,488 GJ, затим је за сценарио 2 мања за 5,3 GJ од сценарија 1, а најмања је за сценарио 3, односно мања за 4,768 GJ од сценарија 2, а за 10,068 GJ од сценарија 1.

Закључује се да, када је у питању укупна потрошња енергије за грејање објекта, сценарио 3 представља најповољнији сценарио.

Табела 7. Укупна потрошња енергије за грејање на годишњем нивоу

Сценарио	1	2	3
Укупна потрошња енергије за грејање [GJ]	34,488	29,188	24,42

На слици 40 дат је приказ укупне потрошње енергије за грејање на месечном нивоу. И са слике се може закључити да се највећа количина енергије за грејање троши у сценарију 1, док је најмања потрошња у сценарију 3.



Слика 40. Приказ укупне потрошње енергије за грејање на месечном нивоу у GJ за сва три сценарија

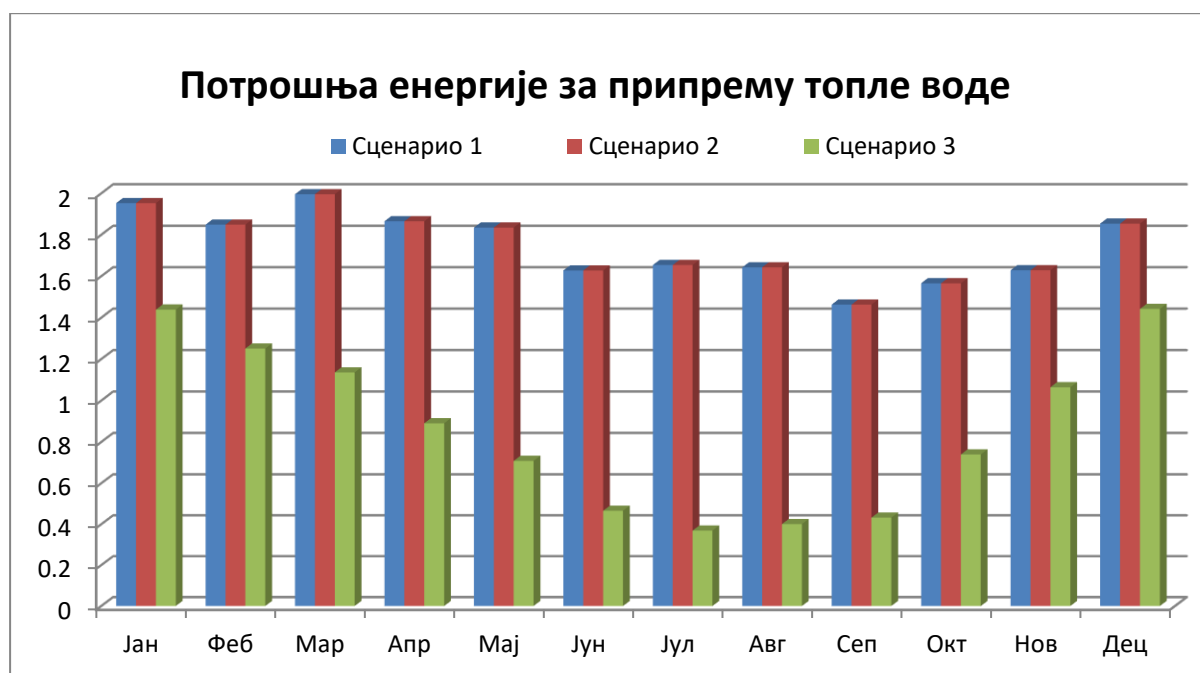
У табели 8. приказана је укупна потрошња енергије за припрему топле воде на годишњем нивоу. При сценарију 1 и 2, потрошња енергије за припрему топле воде је иста и износи 20,93 GJ на годишњем нивоу, док при сценарију 3 износи 10,34 GJ.

При сценарију 3, количина енергије за припрему топле воде је мања за 10,59 GJ од сценарија 1 и 2, што представља уштеду од скоро 51%. Количина енергије која представља уштеду при овом поређењу сценарија је у ствари топлотна енергија коју генерише хибридни соларни пријемник.

Табела 8. Укупна потрошња енергије за припрему топле воде на годишњем нивоу

Сценарио	1	2	3
Укупна потрошња енергије за припрему топле воде [GJ]	20,93	20,93	10,34

Потрошња енергије за припрему топле воде на месечном нивоу, поређена је на слици 41, где се може уочити да је потрошња енергије за припрему топле воде за сценарио три знатно мања од друга два сценарија и то нарочито током летњих месеци.



Слика 41. Поређење потрошње енергије за припрему топле воде у GJ за сва три сценарија

У табели 9 је приказана укупна годишња потрошња енергије у објекту. Највећа потрошња енергије је за сценарио 1 и износи 60,02 GJ, док је за сценарио 2 мања за 5,3 GJ од сценарија 1. Најмања потрошња енергије је при сценарију 3 и износи 39,36 GJ.

Потрошња енергије при сценарију 3 је мања од сценарија 1 за 20,66 GJ, а од сценарија 2 за 15,36 GJ.

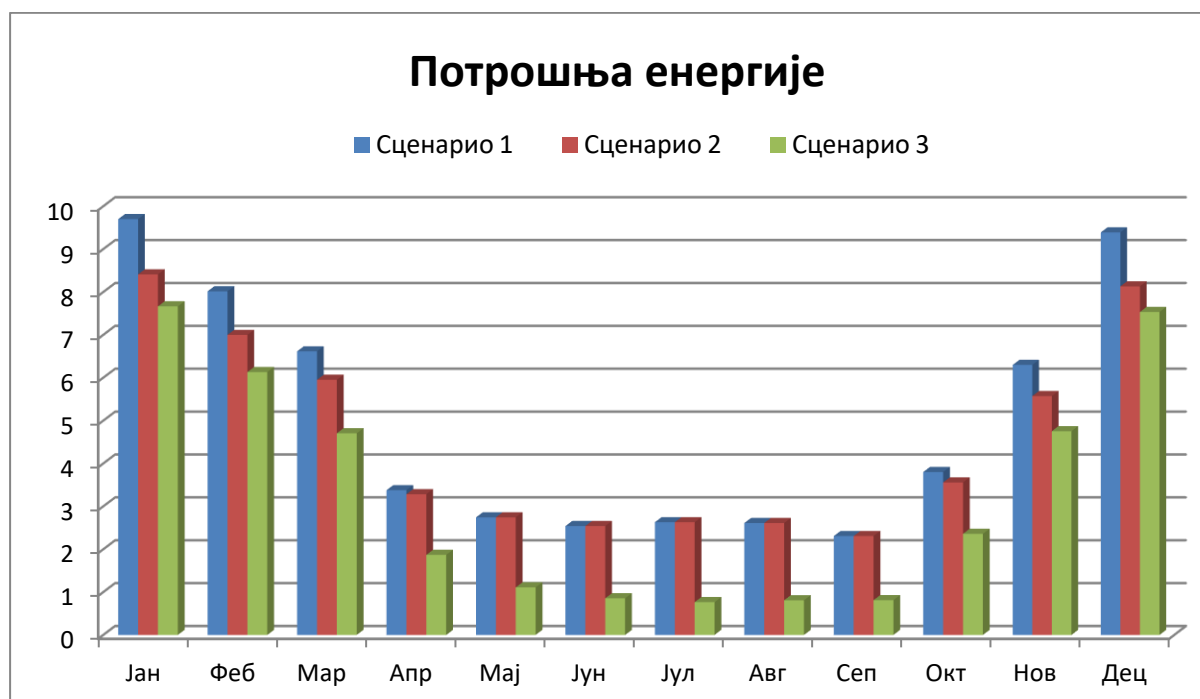
Разлика између сценарија 3 и сценарија 2 у износу од 15,36 GJ представља уштеду енергије на годишњем нивоу у корист сценарија 3, односно представља количину енергије која је генерисана у хибридном соларном пријемнику (10,59 GJ топлотна и 4,77 GJ електрична енергија).

Разлика између сценарија 1 и сценарија 3 у износу од 20,66 GJ представља уштеду енергије на годишњем нивоу у корист сценарија 3, односно представља количину енергије која је генерисана у хибридном соларном пријемнику (15,36 GJ) и количину енергије која се утроши за грејање објекта због слоја изолације мање дебљине (5 cm) у износу од 5,3 GJ.

Табела 9. *Укупна потрошња енергије у објекту на годишњем нивоу*

Сценарио	1	2	3
Укупна потрошња енергије [GJ]	60,02	54,72	39,36

Потрошња енергије у објекту на месечном нивоу приказана је на слици 42, где се може видети да је потрошња најнижа током летњих месеци.



Слика 42. *Поређење месечне потрошње енергије у објекту у GJ за сва три сценарија*

Потрошња енергије за сценарио 1 и 2 је идентична током летњих месеци, с обзиром на то да у том периоду нема потребе за грејањем, које се разликује код сценарија 1 и 2.

Потрошња енергије у сценарију 3 током летњих месеци је знатно нижа у односу на сценарио 1 и 2, док је током зимског периода та разлика мања.

При поређењу сценарија 1 и сценарија 2, уштеда енергије у корист сценарија 2 износи 8,8%.

При поређењу сценарија 2 и сценарија 3, уштеда енергије у корист сценарија 3 износи 28,1%.

При поређењу сценарија 1 и сценарија 3, уштеда енергије у корист сценарија 3 износи 34,4%.

11. Закључак

Убрзано глобално загревање и климатске промене не постављају питање да ли користити сунчеву енергију, већ предузети кораке што је брже могуће и користити их у што више аспеката живота. Будућност је окренута обновљивим изворима, а Сунце је управо извор који човеку може пружити високу енергетску ефикасност, на начин који штити животну средину и смањује количину угљен-диоксида у атмосфери.

Учинак различитих PV/T колектора проучава се теоријски и експериментално више од 3 деценије. Не постоје савршена правила за употребу PV/T колектора и система, све зависи од географског подручја и стварне примене од случаја до случаја. Данас је број комерцијално доступних колектора и система још увек врло ограничен. Главни разлози су и даље високи трошкови инвестиције, а у неким случајевима и поузданост.

Као обновљиви извор енергије, соларни системи могу се применити у многим аспектима људског живота. Од примене на крововима домаћинстава, возила и индустрије до примене на уређајима за паркирање. У Србији мали број домаћинстава има соларне системе и већина њих су системи за сопствено снабдевање енергијом, што би свакако требало повећати јер постоји велики потенцијал за развој овог облика употребе енергије. У овој технологији Србија знатно заостаје за осталим европским земљама.

Исплативост инсталирања PV/T технологије, која је описана у раду, наспрам само фотонапонске или термичке технологије је знатна, на шта указују чињенице.

Анализирани објекат за четворочлану породицу у Крагујевцу при електричном систему грејања и са топлотном изолацијом од 5cm троши на годишњем нивоу 60,018 GJ, док само променом топлотне изолације на 15cm остварује уштеду од 5,3 GJ енергије на годишњем нивоу. Инсталирањем хибридног соларног система на објекту, уштеда енергије у односу на првобитни случај износи 20,66 GJ, односно 34,4%, што представља велику уштеду енергије.

Битно је напоменути да инсталирање хибридног соларног система на објекту, поред економских предности након периода исплате, такође доноси и еколошке предности са више аспеката.

12. Литература

- [1] Stanovanje.gov; Интернет адреса: <http://stanovanje.gov.rs/latinica/energetska-efikasnost.php>, приступљено 10.06.2020.
- [2] Izzi.digital; Интернет адреса: <https://hr.izzi.digital/DOS/580/1950.html>, приступљено 14.06.2020.
- [3] Sciencedirect; Интернет адреса: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359431106002316>, приступљено 16.06.2020.
- [4] Гордић Д., *Предавања из предмета Енерго-еколошки менаџмент*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2017.
- [5] Vjetroelektrane; Интернет адреса: <http://www.vjetroelektrane.com/aktualno/2007-analiza-svjetske-proizvodnje-elektricne-energije-do-2013-sa-fokusom-na-oie>, приступљено 10.07.2020.
- [6] Влада Републике Српске, Министарство индустрије, енергетике и рударства *Извештај о енергетској ефикасности Републике Српске*, Интернет адреса: www.vladars.net, приступљено 18.06.2020.
- [7] Минић Н., Минић В., Кнежевић М., *Методе унапређења енергетске ефикасности у зградарству*, Стручни рад, Београд, 2015.
- [8] Mrpvcsistem; Интернет адреса: <https://www.mrpvcsistem.rs/energetska-efikasnost-objekata/>, приступљено 18.06.2020.
- [9] Scee; Интернет адреса: <http://scee.rs/sr/energetska-efikasnost/energetska-efikasnost-u-gradjevinarstvu.html>, приступљено 18.06.2020.
- [10] *Правилник о енергетској ефикасности зграда*, Службени гласник РС, број 61/2011, Београд, 2011.
- [11] Solarnadolina; Интернет адреса: <https://solarnadolina.rs/vesti/energetska-efikasnost-u-zgradarstvu/>, приступљено 18.06.2020.
- [12] Тодоровић М., Рајчић А., *Приручник за енергетску ефикасност зграда (ЕСЗ)*, Београд, 2017
- [13] Instainz; Интернет адреса: <http://www.instainz.co.rs/energetski-pasos.php>, приступљено 19.06.2020.
- [14] Energetskiportal; Интернет адреса: <https://www.energetskiportal.rs/obnovljivi-izvori-energije/>, приступљено 25.06.2020.

[15] Docplayer; Интернет адреса: https://docplayer.net/42891932-4-obnovljivi-energetski-resursi-reneable-energy-resurses-osnove-basic-energija-energy.html#show_full_text, приступљено 25.6.2020.

[16] Zelenaenergija; Интернет адреса: <http://zelenaenergija.pks.rs/ZelenaEnergija.aspx?id=48&p=3&>, приступљено 15.07.2020.

[17] Николић, Д., *Предавања из предмета Енергија и животна средина*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2016.

[18] Grejanje; Интернет адреса: <http://grejanje.com/strana.php?pID=172>, приступљено 29.07.2020.

[19] Obnovljivi; Интернет адреса: <https://www.obnovljivi.com/energija-sunca/53-moderni-nacini-pretvorbe-energije-sunca-u-elektricnu-energiju-fotonapon?start=1>, приступљено 25.07.2020.

[20] Grejanje; Интернет адреса: <http://grejanje.com/strana.php?pID=172>, приступљено 29.07.2020.

[21] Деспотовић Ж., *Соларни генератори као самостални извори електричне енергије*, Београд, 2016.

[22] Solarnipaneli; Интернет адреса: <https://www.solarnipaneli.org/solarni-paneli-2/>, приступљено 01.08.2020.

[23] Academia; Интернет адреса: https://www.academia.edu/16292358/Fotonaponski_i_fototermicki_uredjaji, приступљено 03.08.2020.

[24] Mojenterijer; Интернет адреса: <https://www.mojenterijer.rs/gradnja/solarna-energije-za-vas-dom>, приступљено 03.08.2020.

[25] Solarni-kolektori; Интернет адреса: <http://www.solarni-kolektori.co.rs/>, приступљено 08.08.2020.

[26] Carlsson J., De Bonis P., *Low carbon energy observatory – Solar thermal heating and cooling*, Luxembourg, 2019.

[27] Fay J., Golomb D., *Energy and the Environment*, Oxford University Press, New York, 2002.

[28] Петровић М., Болић А., Сјенар З., Мадешко М., Калчо М., Аломеровић А., Њего А., Родић А., Адемовић А., *Студија изводљивости о могућностима коришћења соларне енергије за потребе добијања топлотне и електричне енергије на подручју града*

Бјељина и општине Богатић, Сарајево 2014.

[29] Researchgate; Интернет адреса: https://www.researchgate.net/publication/223398492_Hybrid_photovoltaicthermal_solar_system, приступљено 25.08.2020.

[30] Đurišević, M.; Šunde, V., Jakopović, Ž., *Ovisnost djelotvornosti hibridnog naponsko-toplinskog sunčanog kolektora o upotrijebljenim materijalima*, Elektroničko društvo Zagreb, Zagreb, 2012.

[31] Zelenc M., *Fotonaponska-toplinska (PV/T) tehnologija pretvorbe sunčevog zračenja u održivoj gradnji*, Međumursko veleučilište u Čakovcu, Čakovec, 2016.

[32] Solarisenergy; Интернет адреса: <http://www.solarisenergy.co.rs/solarna-energija-u-srbiji/>, приступљено 28.08.2020.

[33] Crawley D., Lawrie L., Winkelmann F., Buhl W., Joe Huang Y., Pedersen C., Strand R., Liesen R., Fisher D., Witte M., Glazer J., *EnergyPlus, creating a new-generation building energy simulation program*, USA, 1999.

[34] EnergyPlus, *Input Output Reference - The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output*, University of Illinois & Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, USA, 2009

[35] EnergyPlus - *Engineering documentation: the reference to EnergyPlus calculations*, University of Illinois & Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, USA, 2001.

[36] Henninger H., Witte J., Crawley B., *Analytical and comparative testing of EnergyPlus using IEA HVAC BESTEST E100-E200 test suite*, Energy and Buildings, USA 2004.

[37] Bojić M., Skerlić J., Nikolić D., Cvetković D., Miletić M., *Toward future: positive net - energy buildings*, 4th IEEE International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources, Subotica, 2012.

[38] Д. Николић, Енергетско-ексергетска оптимизација величина фотонапонских панела и соларних колектора код кућа нето-нулте потрошње енергије, Докторска дисертација, Крагујевац 2016.