

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Урбано инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Предмет: Енергетска ефикасност објеката

Број индекса: 907/2014

Наталија Б. Тасић

**Анализа потрошње енергије у згради са
соларним системом за грејање топле воде**

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. др Данијела Николић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да проучи препоручену и ширу литературу која се односи на примену соларних система за грејање санитарне воде у породичним зградама. Потребно је да се у софтверу EnergyPlus моделира једнопородични стамбени објект са уграђеним соларним колекторима и да се ураде симулације енергетског понашања зграде и соларног система на годишњем нивоу, за различите параметре соларног система за грејање санитарне воде (температура воде у систему, потрошња топле воде и површина соларних колектора). Кроз приказ добијених резултата, потребно је анализирати потрошњу енергије на годишњем нивоу (како за грејне потребе, тако и укупну потрошњу енергије у згради) и количину генерисане енергије преко соларних колектора и дати поређење добијених резултата. Такође је потребно нагласити уштеду енергије која се остварује применом соларних колектора за грејање воде и приказати основну економску анализу.

Препоручена литература:

[1] Ламбић М., Соларне технологије – топлотни и фотонапонски системи, Београд 2013.

[2] S. A. Kalogirou, *Solar thermal collectors and applications*, Progress in Energy and Combustion Science, No 30, (2004) p. 231 – 295.

[3] Др Небојша Лукић, др Милун Бабић, *Соларна енергија*, Монографија, Машински факултет у Крагујевцу, 2008.

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

Ментор:

Крагујевац

јун 2018.

Др Данијела Николић, доцент

Резиме

У раду је извршена анализа потрошње енергије у згради са соларним системом за грејање воде. Електрична енергија у згради троши се за грејање просторија, расвету, рад електричних уређаја и за припрему топле воде. Соларним колекторима се генерише топлотна енергија која се користи за грејање воде у домаћинству. 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 нацртан модел зграде, односно куће за четворочлану породицу у Google Sketch Up-у. Разматрана кућа је лоцирана у граду Крагујевцу, који има повољне услове за успешно коришћење Сунчеве енергије. Кућа се загрева електричним системом грејања. У анализама су варирани различити параметри попут месечне потрошње топле воде, температуре и површине колектора, како би се добила највећа могућа количина генерисане топлотне енергије за грејање воде у моделираној згради. На крају је дата економска анализа.

Кључне речи: зграда; соларни колектор; грејање воде; симулација; уштеда енергије

Abstract

This thesis represent energy consumption analyzes in a building with a solar water heating system. Electricity in the building is used for heating, lighting, electric equipment and domestic water heating. Solar collectors generate heat energy used to heat domestic water. The rest of the energy needs are compensated by the purchase of energy from the electricity distribution system. Data on energy consumption were obtained based on simulations performed in EnergyPlus software. Previously, a model of the building, i.e. a house for a four-member family in Google Sketch Up was designed. The analyzed building is located in the town of Kragujevac, which has favorable conditions for solar energy use. The house is heated by an electric heating system. Parameters such as monthly hot water consumption, temperature and surface area of the solar collector are varied in order to obtain the largest generated heating energy for domestic water heating in the modeled building. Finally, economic analysis is provided.

Keywords: building; solar collector; water heating; simulation; energy saving

Садржај

1. Увод.....	1
2. Алтернативни извори енергије.....	3
2.1 Потенцијал соларне енергије	4
2.2 Основне примене соларне енергије у зградарству.....	6
2.3 Соларни системи за припрему топле воде	8
2.3.1 Подела соларних колектора.....	11
2.3.1.1 Равни водени застакљени соларни колектор.....	12
3. Програми за симулацију енергетског понашања зграда	17
3.1 Симулациони софтвер Energy Plus	17
3.2 Google SketchUp софтвер са Open Studio додатком	18
4. Модел коришћеног соларног система за грејање воде.....	20
4.1 Контрола соларног система за грејање санитарне воде.....	22
4.2 Карактеристике система за грејање санитарне воде	23
5. Модел анализиране куће	24
5.1 Карактеристике куће	24
5.2 Локација куће	28
6. Резултати и анализа.....	30
6.1. Потрошња електричне енергије у згради без соларног система	30
6. 2 Зграда са соларним системом за грејање воде	32
6.2.1 Различита месечна потрошња топле воде	33
6.2.2 Различита температура топле воде у соларном систему	35
6.2.3 Различита површина соларног колектора	37
6.2.4 Најповољнији случајеви	39
7. Економска анализа.....	42
8. Закључак	43
9. Литература	44

1. Увод

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[1].

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 енергију¹. За ту трансформацију потребни су одређени системи и уређаји. При свакој трансформацији се јављају 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 мала, може узроковати велике проблеме читавом друштву од обичних људи, привреде до политичара и владе. У 2007. години светска потрошња електричне енергије износила је 16100 TWh. Процене су да ће до 2030. године светска потрошња електричне енергије порасти на 31100 TWh годишње.

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 [2].

Разна истраживања наводе да ће се свет у ближој перспективи суочити са проблемима несташнице енергије.

Данас у свету живи око 7,3 милијарде, а прогнозе су да ће 2050. године на земљи бити 12 милијарди људи, што генерише питање: Како обезбедити потребну енергију у будућности?

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 (CO₂) који узрокује ефекат стаклене баште и доводи до глобалног загревања земље. Оно може узроковати и политичке проблеме због неједнолике географске распоређености налазишта појединих облика примарне енергије.

У енергетској кризи 1973. године цена нафте на светском тржишту повећала се за четири пута. То је изненадило и уздрмало привреде многих земаља. До 1970. године цена 1 барела нафте износила је 0,9 долара. Повећање цене нафте на светском тржишту

¹ Својство енергије је да не може нити настати нити нестати, већ само може прелазити из једног облика у други –Закон о очувању енергије из 19. века.

пратио је природни гас и угаљ до 2003. године, када опет долази до наглог поскупљења нафте и природног гаса. Цена угља остала је стабилна. Након прве енергетске кризе, тј. поскупљења нафте 1973. године свет је схватио да више нема јефтиних енергетских сировина. Од тада су се фосилна горива почела рационално трошити и штедети. Такође су се почела издвајати значајна материјална средства за повишење степена корисности парнотурбинских постројења на фосилна горива, истраживању издвајања CO₂ из димних гасова и истраживању и развоју алтернативних и обновљивих извора енергије [2,3].

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 флуо 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. Овде треба 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 би се могла 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 [4].

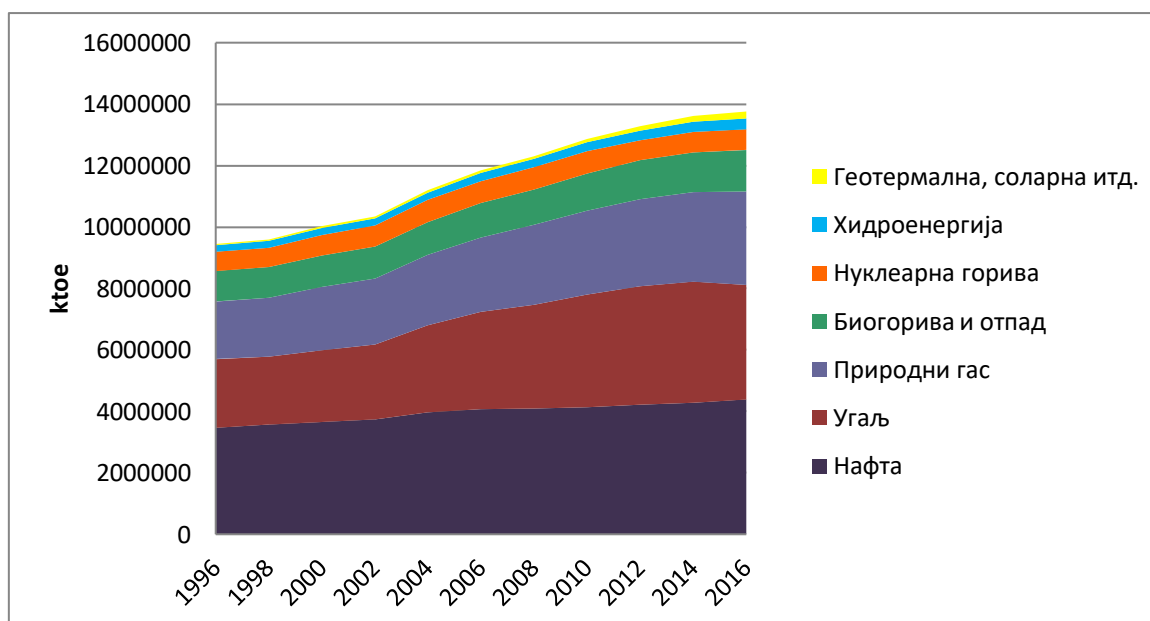
Република Србија спада у ред земаља са изузетно ниском енергетском ефикасношћу. Разлози за то су коришћење застарелих, енергетски неефикасних технологија у индустрији, грађевини и инфраструктури, неадекватна законска регулатива у овој области, низак животни стандард и недовољно развијена еколошка свест становништва. Обим и структура енергетских резерви и ресурса Србије су веома неповољни. Резерве квалитетних енергената, као што су нафта и гас су симболичне и чине мање од 1% у укупним билансним резервама Србије, док преосталих 99% енергетских резерви чине разне врсте нискоквалитетног угља, у коме доминира лигнит са процењеним учешћем од око 90% у укупним билансним резервама [5].

На темељу овога, јасно је да су неопходне одређене мере уштеде енергије и заштите околине, које ће се пре свега заснивати на принципима енергетске ефикасности и употреби алтернативних извора енергије.

2. Алтернативни извори енергије

Обновљиви или алтернативни извори енергије су сви видови енергије који се налазе у природи и обнављају се у потпуности или делимично. То су Сунце, биомаса, вода, ветар, геотермална и енергија плиме и осеке. У зависности од брзине трошења могу бити неисцрпни и исцрпиви. 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 [6].

Колико је суштински важан развој обновљивих извора, могуће је уочити на Слици 1. На њој је приказана потрошња примарне енергије (изражена у ktoe^2) у свету за период од једанаест година, односно од 1996. до 2016. године.



Слика 1. Пораст потрошње примарне енергије у свету – подаци изражени у ktoe за период 1996.-2016. [7]

Оно што је могуће приметити јесте константни раст потрошње свих облика примарне енергије, пре свега фосилних горива. Удео обновљивих извора енергије се увећава али не у значајнијем обиму за разлику од нафте или угља, и поред њихових негативних утицаја на околину и смањених резерви. Поставља се питање зашто је то тако.

Да би се неки извор енергије могао користити у пракси потребно је претходно уложити одређену количину енергије. Односно, потребно је да се оствари нето енергетски ефекат. Енергија ослобођена сагоревањем горива треба да је већа од енергије уложене у добијање и припрему горива. Генерално гледано, у овом тренутку, овај услов испуњавају само фосилна и нуклеарна горива. Енергетски ефекат искоришћења ОИЕ се стално повећава, али је још увек на релативно ниском нивоу [8].

² Примарна енергија се изражава у тонама нафтног еквивалента: $1 \text{ toe} = 48,76 \text{ GJ}$.

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 [9].

Европска унија има стратегију да у будућности све више популаризује употребу обновљивих извора енергије, са низом мера којима би се подстакле инвестиције у објекте са применом обновљивих извора енергије. Примена обновљивих извора енергије заузима важно место у биоeкономији развијених земаља. У циљу регулисања употребе обновљивих извора енергије, у Европској унији донете су бројне регулативе које се баве изазовима успостављања биоeкономије. Директивама 2001/77/ЕС о подстицању производње електричне енергије из обновљивих извора на међународном енергетском тржишту, као и 2003/30/ЕС о подстицању употребе биогорива и осталих обновљивих горива за транспорт, Европска унија је дефинисала различите типове енергије из обновљивих извора. Предвиђено је да до 2020. године удео обновљивих извора енергије у укупној потрошњи енергије износи 20%. Акционим планом Републике Србије за обновљиве изворе енергије регулисано је поштовање обавезе преузетих уговором о оснивању Енергетске заједнице, утврђене су путање за достизање циља од 27% обновљивих извора у бруто финалној потрошњи Србије 2020. године и дефинисане су мере за њихово веће коришћење [10].

2.1 Потенцијал соларне енергије

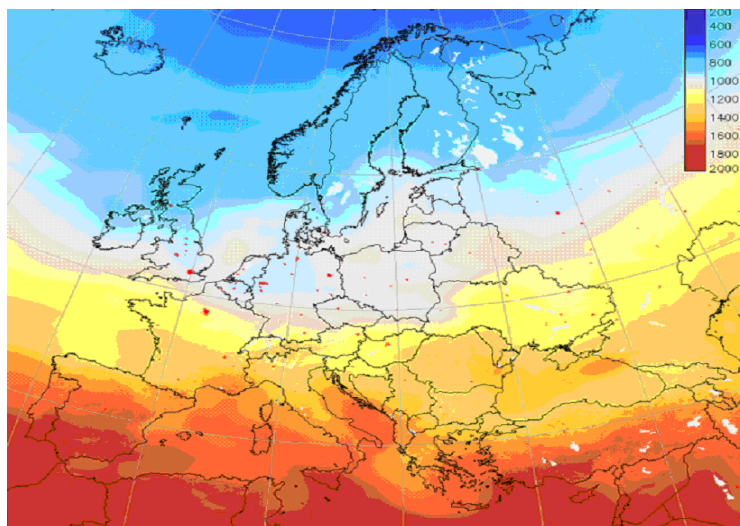
Соларна енергија је енергија сунчевог зрачења која се манифестује у облику светлости и топлоте. Сунце је навјећи извор енергије доступан на земљи. Битно је напоменути да осим непосредног зрачења које греје Земљину површину и ствара климатске услове у свим појасевима, Сунчево зрачење узрокује стално обнављање енергије ветра, морских струја, таласа, водених токова и термалног градијента у океанима. Енергија која потиче из непосредног и посредног сунчевог зрачења се сматра обновљивим извором енергије јер се њеним коришћењем не ремети равнотежа и ток материје и енергије у природи [11].

Сунце је ужарена лопта, масе од $1,99 \cdot 10^{30}$ kg, средње густине од 1410 kg/m^3 и пречника 1 391 980 km (фотосфера). Она у спољашњем слоју садржи око 75% водоника, који се у унутрашњости под високим притиском и температуром која достиже десетине милиона Келвина (процена је 13 600 000 K), у току процеса термонуклеарне фузије претвара у хелијум. Та термонуклеарна фузија производи огормну количину енергије која се излучује у Космос. Сунчева луминисценција (исијавање) износи $3,83 \cdot 10^{20}$ MW. Средња температура површине Сунца (далеко од „термонуклеарног реактора“ у унутрашњости) износи 5800 K. После брзином светлости пређеног пута од 149 597 892 km (средње удаљење Земље од Сунца), Сунчево зрачење стиже до Земље. Од укупне Сунчеве енергије, на горњу границу Земљине атмосфере стигне $174,3 \cdot 10^9$ MW, што представља њен $4,55 \cdot 10^{-10}$ део. Међутим, чак и са овом малом фракцијом, процењује се да је 30 мин Сунчевог зрачења на Земљи једнако светској потражњи енергије за годину дана [12].

Иако је Сунчева енергија узрочник већине извора енергије, у овом раду акценат је на директном искоришћавању соларног зрачења. Директно претварање Сунчеве енергије у друге облике, нарочито у електричну енергију, врши се релативно лако и једноставно, знатно лакше него претварање било ког другог облика енергије. Енергија Сунца се данас користи пасивно у грађевинарству помоћу архитектонских мера са циљем грејања и осветљавања простора, за производњу електричне енергије уз помоћ фотонапонских ћелија или уз помоћ соларних колектора за загревање воде и простора [13].

Количина Сунчевог зрачења на Земљиној површини зависи од много фактора: географске ширине места, годишњег доба, доба дана, чистоће атмосфере, облачности, оријентације и нагиба површине. Овај податак је веома битан јер се преко њега врши прорачун исплативости уређаја који користе Сунчево зрачење. Просечно Сунчево зрачење, на годишњем нивоу на јединичну хоризонталну површину, назива се годишња инсолација или само инсолација и веома је важан метеоролошки податак за посматрану локацију на Земљи.

Просечна годишња инсолација у Европи износи 1096 kWh/m^2 . Земље смештене на југу Европе имају највише инсолације. На карти која приказује инсолацијски ниво (Слика 2). види се да Европа није на врло погодном подручју за експлоатацију, али упркос томе у Европи је директно искоришћавање сунчеве енергије у великом порасту. Већином је то резултат политике појединих држава које субвенционирају инсталирање елемената за конверзију сунчеве енергије у искористиви облик енергије. Основни проблеми искоришћења су мала густоћа енергетског тока, велике осцилације интензитета зрачења и велики инвестијски трошкови [14].



Слика 2. Годишња инсолација на хоризонталној површини за подручје Европе (у kWh/m^2), [15]

У Србији је у оквиру Савезног хидрометеоролошког завода до 1987. године радио Републички центар за Сунчеву радијацију. После укидања Завода, не постоје поуздани систематски сређени подаци о инсолацији, па су меродавни они из 1987.године.

У Табели 1. приказани су подаци о средњој инсолацији за градове и места у Србији, по месецима и збирно на годишњем нивоу. Може се закључити да просечна дневна

инсолација у Србији износи око 3,8 kWh/m² а просечна годишња око 1400 kWh/m² (што је више од просечне инсолације у Европи) [14].

Табела 1. Средња дневна (по месецима) и годишња инсолација у kWh за поједине градове у Србији [16]

	Нови Сад	Београд	Крагујевац	Ниш
Јануар	1,45	1,4	1,5	1,75
Фебруар	2,35	2,2	2,4	2,6
Март	3,2	3,35	3,35	3,45
Април	4,65	4,85	4,8	5
Мај	5,8	6	5,85	6,1
Јун	6,2	6,45	6,1	6,35
Јул	6,35	6,75	6,45	6,7
Август	5,75	6	5,9	6,15
Септембар	4,4	4,65	4,85	5,35
Октобар	2,9	3,05	3,3	3,45
Новембар	1,45	1,6	1,7	1,85
Децембар	1,2	1,15	1,3	1,5
Годишње	1392,64	1446,8	1447,85	1531,4
Средња дневна	3,82	3,96	3,97	4,2

2.2 Основне примене соларне енергије у зградарству

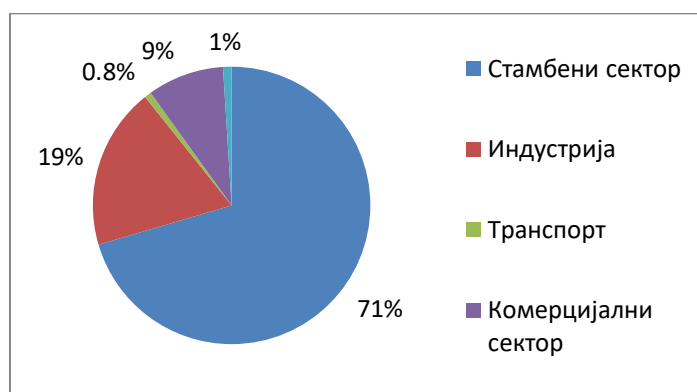
Зграде троше око 40 % укупне количине електричне енергије потрошене у државама чланицама Европске уније те постоји велики потенцијал у овој области за уштеду енергије. Европска унија обавезала се да смањи емисију гасова стаклене баште, а зграде ће имати велику улогу у постизању тог циља. Смањење потрошње енергије у зградама има високу друштвено-привредну важност, с грађевинским сектором као највећом индустријом у Европи која годишње улаже 1,37•10¹² € (2014) у разне пројекте и запошљава више од 18 милиона људи [17]. Расподела потрошње енергије варира с климатским условима. У Немачкој, где се 44 % примарне енергије троши у зградама, 32 % потребно је за грејање простора, 5 % за грејање воде, 2 % за расвету и око 5 % за осталу потрошњу електричне енергије у стамбеним просторима. Од нафтне кризе у 1970-им годинама континуирано се смањује количина топлотне енергије коришћене у зградама, нарочито новим, због поступног ојачавања законодавства у подручју енергетике. Високим стандардима топлотне изолације и вентилацијским концептима пасивних зграда постигнута је ниска потрошња топлотне енергије, која је данас око 20 пута мања него 1970. Кључни разлог за снижавање потрошње топлотне енергије пасивних грађевина јесте развој технологија израде прозора и изолације, који имају ниске губитке у преносу топлотне енергије. У новијим зградама с ниским топлотним потребама потрошња енергије у облику електричне енергије за расвету, грејање воде и остале облике потрошње енергије постаје све доминантнија. Процена је да ће се у Европској унији потрошња енергије до 2020. повећати за 50 %. У том подручју обновљиви извори енергије могу дати важан допринос у снабдевању електричном енергијом и топлотом [18].

Република Србија је, пратећи трендове у овој области, усвојила правилнике о енергетској ефикасности зграда, чијом применом је обавезна енергетска сертификација нових грађевинских објеката. На овај начин, омогућена је процена потрошње енергије у

објекту, који је још увек у фази пројектовања. Ови правилници представљају почетак доброг пута у побољшању енергетске ефикасности новоизграђених објеката у Србији [19].

У Србији је потрошња финалне енергије у енергетске сврхе 2016. Године износила 8,31Mtoe. По секторима се највише енергије трошило у сектору домаћинства 35%, затим у сектору индустрије 27% и саобраћаја 25%, док су пољопривреда и Сектор јавне и комуналне делатности и остали потрошачи учествовали са 2% и 11% [20].

Расподела по секторима, када је у питању снабдевање енергијом из обновљивих извора, приказана је на Слици 3.



Слика 3. Расподела обновљивих извора енергије у Србији по секторима у 2016.години [21]

У Србији се према подацима Међународне агенције за обновљиве изворе (енг.скраћено IRENA) највише користе течна биогорива са 11,365 TJ, што је мање од 1% од укупне потрошње. На Слици 4. су приказани обновљиви облици енергије који се користе за добијање електричне енергије у Србији [21].



Слика 4. Капацитети обновљивих извора за производњу електричне енергије у Србији у 2016. години [21]

Дакле, коришћење соларне је у нашој земљи на веома ниском нивоу. Онај мали проценат искоришћености односи се пре свега на добијање електричне енергије путем фотонапонских панела.

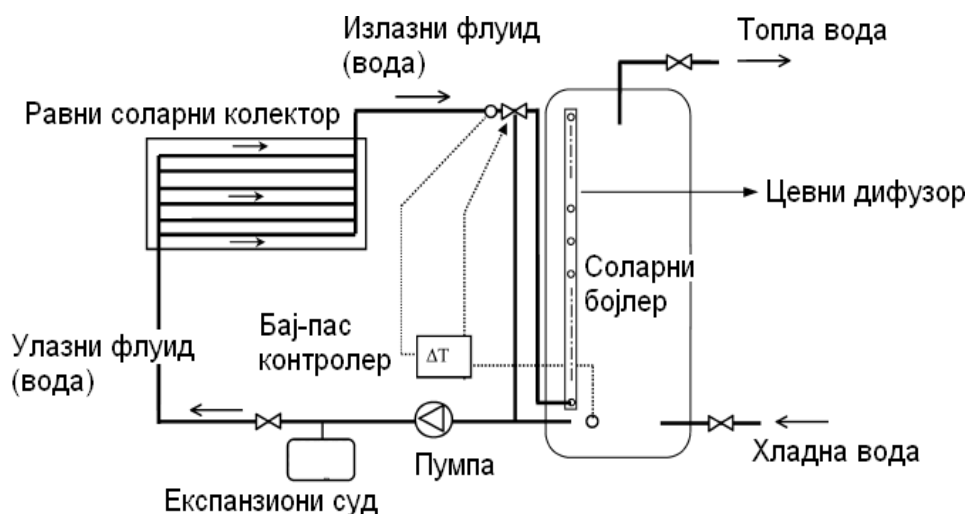
Стамбени сектор у Србији учествује са око 35% потрошње енергије, те је потребно примењивати одређене мере у циљу смањења потрошње електричне и топлотне енергије у сектору зградарства. Једна од опција је укључивање обновљивих извора у производњи енергије, пре свега соларне енергије која се може директно искористити за генерисање енергије.

2.3 Соларни системи за припрему топле воде

Ако се има у виду да се већи део потрошње електричне енергије у домаћинствима троши за грејање санитарне потрошне воде за потребе прања и купања, као и за потребе прања веша у веш-машинама, тада је јасно да је укупну штедњу енергије (електричне и топлотне) могуће остварити мерама попут грејања воде топлотним соларним системима.

Топлотни соларни системи представљају заокружене инсталације које се најчешће користе за грејање санитарне потрошне воде, грејање техничке воде, воде у базенима и друго [22].

На Слици 5. је приказан једноставни соларни систем за припрему топле воде у домаћинству.



Слика 5. Соларни систем [14,12]

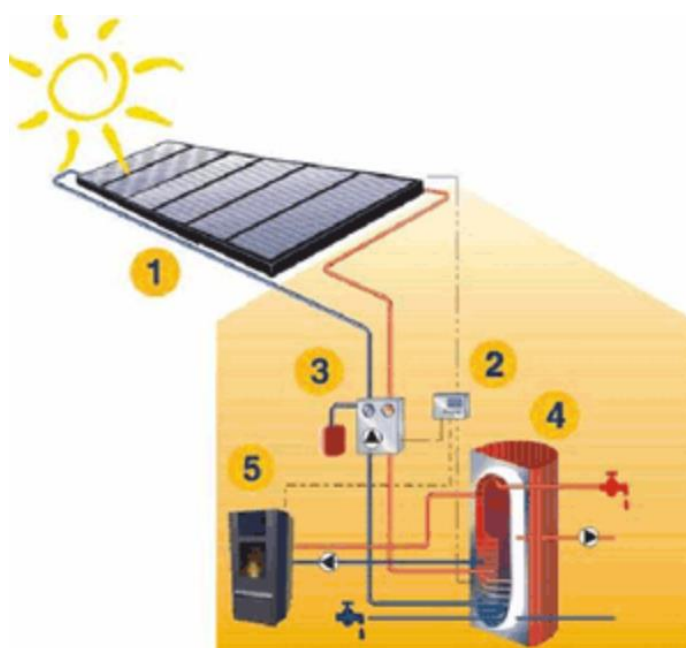
Обавезан део овог система је пријемник и уједно трансформатор енергије Сунчевог зрачења. Поред соларног пријемника који је у овом случају класични равни соларни колектор, саставно делови су и соларни бојлер, циркулациона пумпа, експанзиони суд, цевни систем, вентили и јединица за праћење и контролу функционисања система.

Соларни бојлер, поред колектора, представља централни део оваквог система. Задатак му је пре свега акумулирање произведене топлотне енергије и стављање на располагање исте у жељеном тренутку. Различите су конструкције соларног бојлера. На Слици 5. представљен је најједноставнији са само једним, примарним флуидом (водом) у оптицају. Топла вода из колектора се уводи преко дифузора (или без њега) у бојлер и даље се троши у домаћинству. Овакви једноставни (и јефтини) соларни системи могу се користити тамо где не постоји могућност замрзавања воде у систему (југ Европе,

Грчка, Кипар, Малта). Систем се може даље упростити (и појефтинити) тако што се користи термосифонски ефекат у систему без пумпе и аутоматске регулације. Топла вода из колектора се уз помоћ гравитације пење у резервоар, одакле се троши. Контролисани прекид струјања колектор-бојлер у ситуацијама када је температура воде у бојлеру виша од оне у колектору (престанак Сунчевог зрачења) је непотребан, јер се бојлер код термосифонског система, који се често назива и пасивним системом, налази, увек, изнад соларног колектора. Кома не смета естетика оваквог система, може приуштити јефтин соларни систем за грејање воде.

У крајевима где зимске температуре често могу бити испод тачке мржњења воде, користе се соларни системи са два флуида (примарним и секундарним). Кроз соларни колектор струји несмрзавајућа течност (вода са одговарајућим додатним компонентама), која своју топлотну енергију предаје у (најчешће) змијастом цевном размењивачу, смештеном у соларном бојлеру (уместо дифузора на слици 5.). У бојлеру се секундарна потрошна вода у току ове размене загрева и чува за тренутак њене потрошње (Слика 6.).

Како у појединим периодима године соларна енергија није довољна да задовољи потребе (у овом случају) домаћинства, соларном бојлеру се, најчешће, додају грејачи покретани неком другом врстом енергије (фосилна горива, електрична енергија) [14,12].



Слика 6. Активни соларни систем за загревање топле потрошне воде са примарним и секундарним флуидом: 1.соларни пријемник; 2.контролер са термостатом; 3.експанзиона посуда; 4.бојлер; 5.котао [23]

Улога соларног бојлера као акумулатора топлотне енергије може се проширивати за веће капацитете од једног дана потрошње, тако да се могу правити централни акумулатори топлоте за више стамбених јединица и за више намена (санитарна вода, грејање просторија). Овакви акумулатори су по принципу акумулирања топлоте, једнофазни или двофазни (промена фазе флуида при загревању и хлађењу).

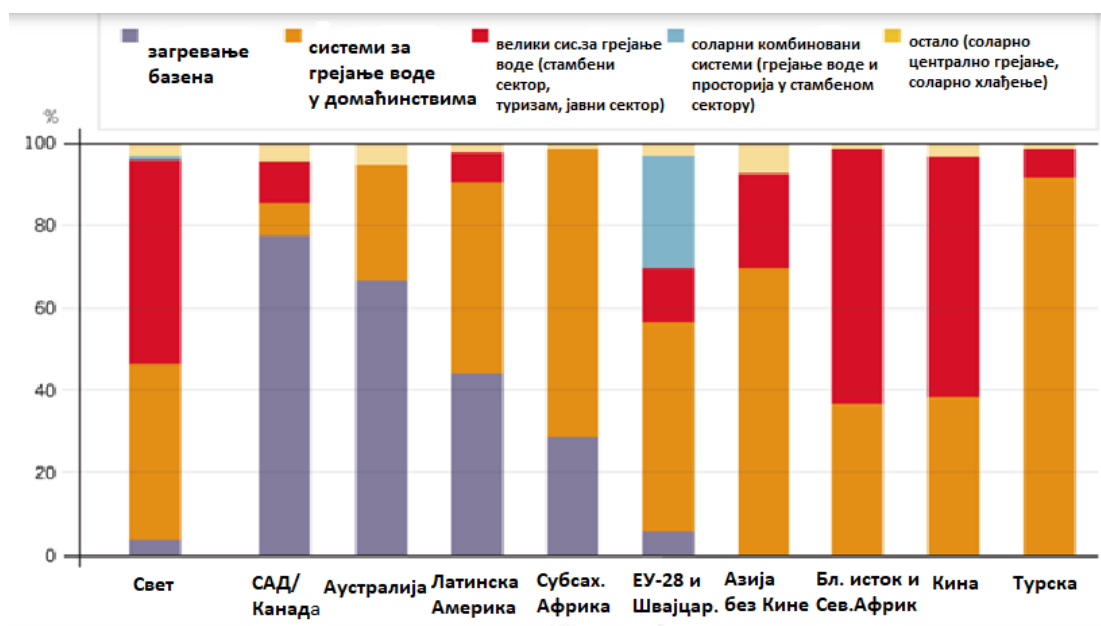
За све затворене инсталације соларног система за припрему топле воде са бојлером испод колектора, циркулациона пумпа и затворени експанзиони суд су неопходни делови инсталације.

Мерно-регулациона јединица у соларном систему може бити мање или више компликована, са праћењем и контролом мање или више параметара, што директно утиче и на цену целокупног система.

Приказани соларни систем се може усложавати до веома комплексних инсталација, које у систему подразумевају друге изворе топлоте, топлотне пумпе, различите потрошаче, више акумулатора топлоте, читаве батерије соларних колектора, различите системе регулације.

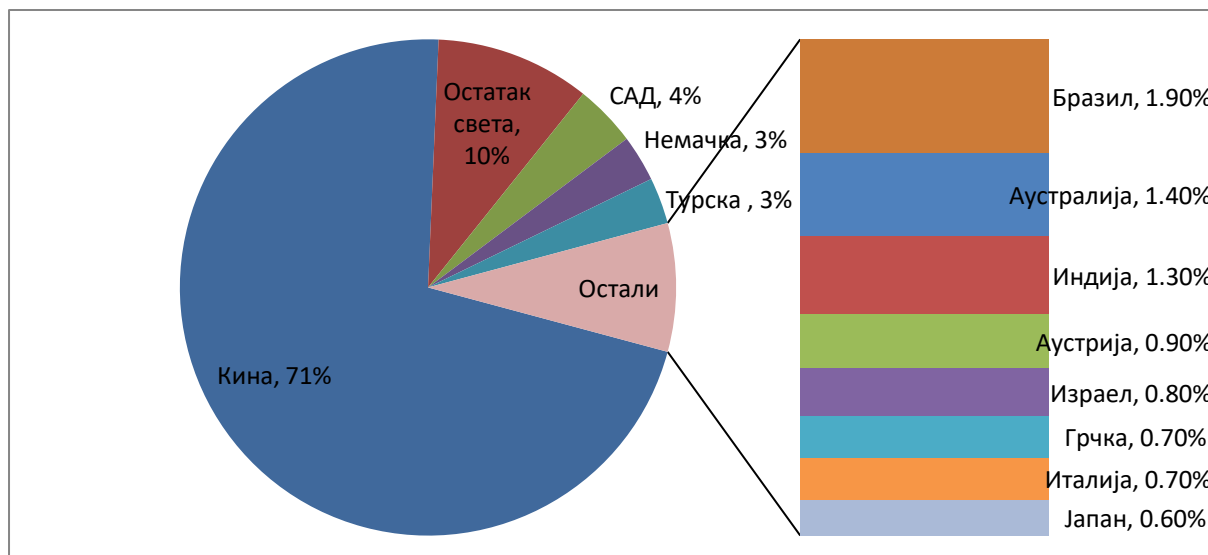
Соларни системи могу бити интегрисани у постројења за термичку десалинизацију воде, различита постројења за производњу електричне енергије без коришћења фотонапонског ефекта (директно претварање енергије зрачења у електричну), као што су парне турбине (соларни торњеви), ваздушне ветрењаче (комбинација ваздушних соларних колектора и ветрогенератора). Такође, познато је више типова соларних рерни за припрему хране [14,12].

На слици 7. приказано је у коликој мери и на који начин се користи топлотна енергија употребом соларних система у одређеним регионима и земљама.



Слика 7. Загревање воде за разне сврхе применом соларних колектора у свету,[15]

Од свих земаља у свету, Кина има највише инсталираних соларних колектора за грејање воде у зградама, што се може видети на Слици 8. Подаци су из 2014. године.



Слика 8. Процент инсталираних колектора за грејање воде у домаћинствима на свету[15]

Српско тржиште соларних колектора практично не постоји јер не постоји ни тражња. Ради се о куповинама људи који имају еколошку свест и вишак новца а таквих је мало. Једини специјализовани произвођач соларних колектора у Србији је „Елсол“ Пожаревац [14].

Корисна информација заинтересованима за инсталацију соларних колектора у Србији је то да на основу Закона о планирању и изградњи („Сл. гласник РС“, бр. 72/09, 81/09, 24/11 и 121/12) соларни колектори и соларне ћелије сматрају се случајевима за које се не издаје грађевинска дозвола. Што се тиче соларних колектора према члану 144. наведеног Закона ради се о једноставним објектима за које није потребно прибављање аката надлежног органа за градњу (локацијске дозволе и грађевинске дозволе). Ради се о објектима који се граде на истој катастарској парцели на којој је саграђен главни објект, на начин да не ометају изглед зграда, суседне објекте и пешачке стазе. [24]

2.3.1 Подела соларних колектора

Соларни колектори представљају пријемнике соларне енергије који зрачење Сунца трансформишу у топлотну енергију, тј. у унутрашњу енергију радног флуида. По врсти радног флуида који користе соларни колектори се деле на:

- Водене,
- Ваздушне,
- Који користе друге течне флуиде (термичка уља).

Према основној конструкцији соларни колектори се могу поделити на:

- Равне соларне колекторе и
- Концентришуће соларне колекторе.

Према покретљивости панела деле се на колекторе:

- Са непокретним панелом и
- Покретним панелом, који прате привидно кретање Сунца.

Соларни колектори са покретним панелом могу бити покретни око једне или две осе.

Основне врсте равних, водених соларних колектора су:

1. Незастакљени соларни колектори,
2. Застакљени соларни колектори,
3. Бојлерски соларни колектори и
4. Вакуумски соларни колектори [14].

2.3.1.1 Равни водени застакљени соларни колектор

Овај тип колектора би се могао назвати класичним. Састоји се од стаклене плоче, апсорбера, изолације и кутије колектора. Цевни систем је интегрисан (спојен) са телом апсорбера на различите конструктивне начине (Слика 9).

Принцип функционисања је једноставан. Сунчево зрачење које пада на колектор, пролази својим највећим делом кроз стаклену плочу и апсорбује се, највећим делом, на површини апсорбера. Провођењем кроз апсорбер и конвекцијом у интегрисаним цевима (или каналима) вода преузима топлотну енергију, на одговарајућем температурском нивоу. Што је радна температура виша, виши су и топлотни губици у околину, што се делимично умањује добром изолацијом која се налази у кутији колектора иза апсорберске плоче [14].



Слика 9. Равни водени застакљени соларни колектор, [12]

Изолација не належе са доње стране на плочу апсорбера, већ постоји додатни изолациони ваздушни слој између њих. Природном или принудном циркулацијом вода односи апсорбовану количину топлоте и одржава радну температуру колектора, наравно у условима стационарног зрачења.

Равни соларни колектори (FPC) су најкоришћенија врста колектора, која је такође најприсутнија на тржишту. Уобичајене радне температуре код ових колектора иду до 100 °C [14].

Карактеристике једноставног типичног равног воденог соларног колектора су дате у Табели 2.

Табела 2. Карактеристике типичног равног воденог соларног колектора, [12]

Карактеристика	Једноставни
Спајање цеви и плоче апсорбера	Коришћењем додатног материјала (лемљење)
Превлака апсорбера	Црна мат боја
Застакљење	Стакло са ниским садржајем
Специфични масени проток флуида у тест условима	0,015
Оптичка ефикасност	0,79
Коефицијент	6,67
Оптимални нагиб колектора	Географска ширина +5 до 10

1) Покривне плоче соларних колектора

Класично стакло се масовно користи при изради равних соларних колектора, јер поседује висок коефицијент дијатермије (високу транспарентност) за краткоталасно Сунчево зрачење. За стакла са малим садржајем гвожђа, коефицијент дијатермије износи од 0,85 до 0,95 при упадном углу зрака од 90°. С друге стране, стакло је практично непропусно за дуготаласна нискотемпературска зрачења таласних дужина од 3 до 70 μm . У дефинисаном таласном опсегу (дуготаласно инфрацрвено зрачење), стакло се практично понаша као апсолутно црно тело. Стакло има и своје лоше карактеристике, као покривна површина равних соларних колектора. Стакло има велику густину, што знатно увећава укупну масу колектора. Скупо је и ломљиво, што ствара проблеме при евентуалним ударима у плочу колектора. Апсорбујући дуготаласно зрачење, стакло се загрева и емитује исто делом у околину, што повећава топлотне губитке соларног колектора.

У пракси се користе и пластични материјали за покривне површине равних соларних колектора. Пластични материјали су знатно јефтинији од стакла, нису крти и ломљиви, веома су лаки (десет пута мање густине од стакла). Међутим, ови материјали имају релативно велику пропустљивост дуготаласног зрачења, непостојани су при дугом излагању ултраљубичастом зрачењу и високим температурама [14].

2) Апсорбери соларних колектора

Материјал апсорбера соларног колектора треба да има следеће карактеристике: што је могуће већи коефицијент апсорпције за краткоталасно зрачење (Сунчево зрачење), што је могуће мањи коефицијент емисије за дуготаласно зрачење, одличну топлотну

проводљивост, малу масу, трајност, отпорност на корозију и високе температуре и малу цену. Јако је тешко задовољити све ове захтеве у једном материјалу, али се увек проналазе оптимална решења. Апсорберске плоче се најчешће деле у две групе: неселективне апсорберске плоче и селективне апсорберске плоче. Неселективни апсорбер има, практично, идентичне вредности коефицијента апсорпције краткоталасног и емисије дуготаласног зрачења. Основни материјал апсорбера је метал високе топлотне проводљивости, бакар, алуминијум или нерђајући челик (који има значајно мању топлотну проводљивост у односу на Cu и Al). Као материјал апсорбера ређе се користе пластични материјали и то само за нискотемпературне соларне колекторе. Страна апсорбера изложена Сунчевом зрачењу је најчешће премазана црном апсорбујућом бојом. Неселективни апсорбери одлично апсорбују Сунчево зрачење, али и интензивно зраче краткоталасно зрачење што повећава топлотне губитке соларног колектора. Да би се ова појава елиминисала, нарочито у соларним колекторима који раде на високим радним температурама, примењују се селективни апсорбери, који су ефикаснији, али имају и знатно вишу цену. Класични селективни апсорбер састоји се од горњег врло танког слоја, филма материјала (који се мери микрометрима) који одлично апсорбује краткоталасно зрачење (кз), а минимално емитује дуготаласно зрачење (дз). Ово зрачење површински филм апсорбера пропушта, најчешће, до рефлектујуће металне површине апсорбера, која има висок коефицијент рефлексије. Могућа је и варијанта са коришћењем неселективне апсорбујуће површине апсорбера и огледала постављеног изнад апсорбера, које пропушта дуготаласно, а рефлектује краткоталасно зрачење [14].

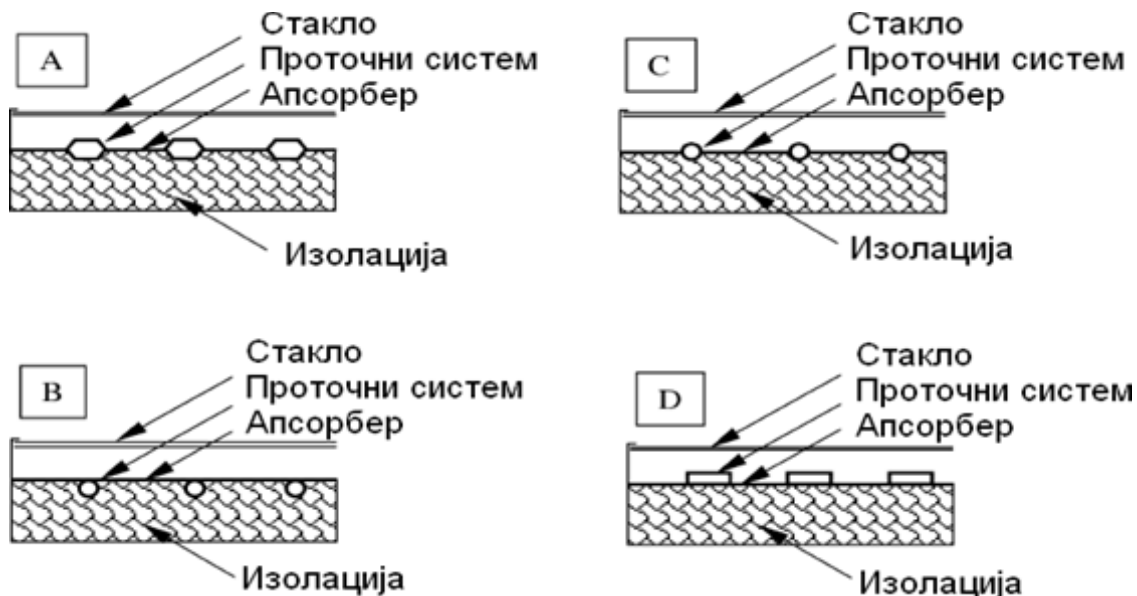
У Табели 3. дате су најчешће коришћене превлаке селективних апсорбера и њихове карактеристике.

Табела 3. *Врсте и карактеристике селективних превлака за апсорбере, [25]*

Превлака	Основа	Апсорбција Сунчевог зрачења (-)	Емисија дт. зрачења (-)	Макс. Радна темп. (°C)	Постојаност
Црни никл	Fe,Cu,Zn/Al	0,85-0,96	0,05-0,15	288	Осредња
Црни хром	Ni/Al, Cu, Fe	0,82-0,96	0,04-0,15	427	Врло добра
Црни бакар	Cu	0,85-0,95	0,10-0,15	316	-
Бакар оксид	Cu, Fe, Al	0,87-0,90	0,08-0,16	-	-
Анодни алуминијум	Al	0,90-0,96	0,10-0,23	-	-
Метал карбид	Cu, Стакло	0,82-0,93	0,02-0,05	-	-
PbS Боја	Било која	0,9	0,3	-	-
Селективна боја	Већина	0,9,	0,3	-	-
Црна боја	Било која	0,95-0,97	0,95-0,97	-	-

Положај и начин везивања цеви или канала којим протиче радни флуид са апсорберском плочом је веома важан и технолошки захтеван.

На Слици 10. приказани су најчешћи положаји цеви и транспортних канала са апсорбером



Слика 10. Најчешће конструктивне везе између апсорбера и транспортног система радног флуида [12]

Пример А приказује апсорбер и транспортне канале израђене из једна. На овај начин је остварен одличан контакт између флуида и загрејане плоче апсорбера. Примери В и С приказују апсорберску плочу и цеви (најчешће се користе бакарне цеви) спојене са горње или доње стране плоче. Методе спајања могу бити различите, меко или тврдо лемљење, коришћење термичког цемента, металних спојки (ради појефтињења технологије израде). Пример Д приказује правоугаоне транспортне канале спојене са апсорбером. На овај начин се постиже бољи контакт флуида и апсорбера у односу на претходна два примера. Како апсорбери раде на високим температурама, за овај систем пожељно је применити сигурнији начин везивања (тврди лем, на пример) [14].

3) Изолација соларних колектора

Зависно од карактеристика и намене (радне температуре) равног воденог соларног колектора, разликује се и примењена изолација. За колекторе који раде на вишим температурама обично се користи изолација од минералне или стаклене вуне, јер је она постојана у таквим условима. На нижим температурама могу се користити компактнији изолациони материјали (стиропор). Компактни изолациони материјали знатно су отпорнији на влагу од минералне вуне. Најчешће се користи комбинација ове две врсте изолације, при чему се према апсорберској плочи поставља минерална вуна, а до доњег дела кутије полистирен. Уобичајене дебљине се крећу до 40-60 mm укупне изолације [14].

4) Материјали кутија соларних колектора

Материјали кутије равног, воденог, непокретног соларног колектора треба да поседују одређену чврстину, трајност, отпорност на корозију и остале временске утицаје, малу масу и наравно, прихватљиву цену. Ради се углавном, о нерђајућем челику и алуминијумским легурама, које имају задовољавајућу чврстину, а малу масу и добру отпорност према корозији. Пластични материјали су јефтинији од алуминијума али постоји велики проблем са њиховом трајношћу и постојаношћу карактеристика на вишим температурама и под разним метеоролошким утицајима, нарочито ултравиолетним зрачењем [14].

3. Програми за симулацију енергетског понашања зграда

У раду су коришћени програм Energy Plus и Google Sketch Up 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.

3.1 Симулациони софтвер Energy Plus

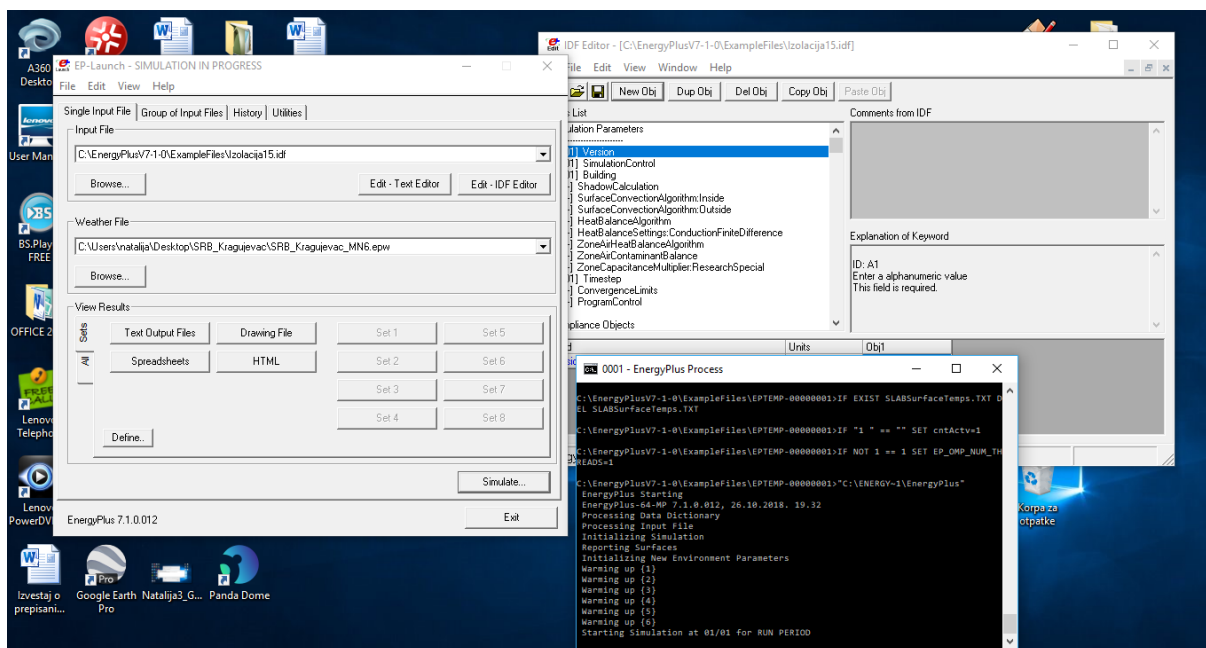
Развој софтвера EnergyPlus је започео 1996. године, а заснован је на основама два програма: DOE-2 и BLAST који су у то време били у широкој примени. BLAST (скраћеница од енгл. Building Loads Analysis and System Thermodynamics - Анализа оптерећења и термодинамичких система зграде) и DOE-2 су развијани и коришћени касних 1970-их и раних 1980-их година као алати за симулацију енергетских оптерећења зграда [26].

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 [27].

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 11. приказано је радно окружење EnergyPlus-a.



Слика 11. 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 [28].

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 [29].

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.

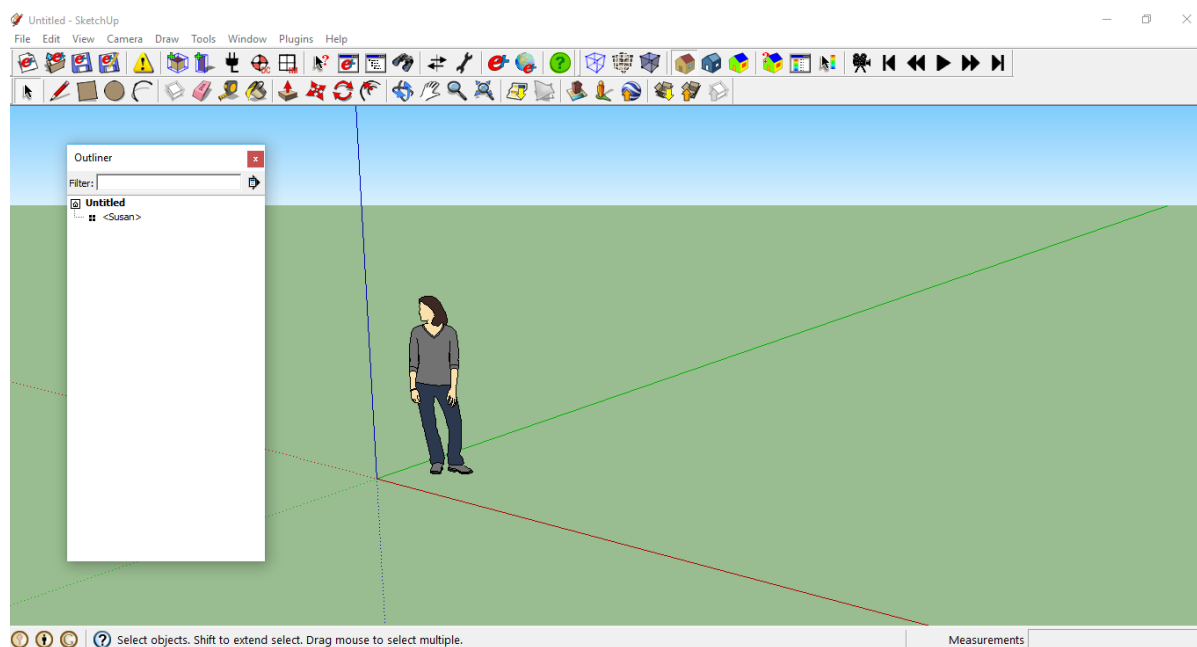
3.2 Google SketchUp софтвер са Open Studio додатком

SketchUp је бесплатан 3D софтверски алат који се користи за виртуелно дизајнирање стамбених објеката. Он комбинује сет сопствених алата са системом интелигентног дизајна [30]. 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 3Д окружењем GoogleSketchUp-а.

Овај софтвер дозвољава кориснику да креира улазни фајл EnergyPlus-а преко стандардних алата SketchUp-а, додајући при томе што више детаља и информација потребних за конструкцију зона и површина зграде. Он омогућава једноставно креирање геометрије зграде од самог почетка: формирање зона (просторија), конструкција зидова кроз које се врши пренос топлоте, цртање прозора и врата, цртање засенчених површина итд. Корисници програма могу сачувати све информације у улазној датотеци EnergyPlus-а. У жељеном тренутку може се покренути симулација креиране зграде у EnergyPlus-у и кроз добијене резултате симулације уочити евентуалне грешке и пропусти у дизајну [31].



Слика 12. Радно окружење Google SketchUp-а са Open Studio plug-ином

4. Модел коришћеног соларног система за грејање воде

Основни елемент система за грејање санитарне воде је соларни колектор, као што је већ речено у одељку 2.1. Помоћу софтверског пакета EnergyPlus се може извршити прорачун количине топлотне енергије која се генерише преко соларних колектора, као и бројних других параметара који карактеришу соларни колектор (ефикасност, упадни угао, излазна температура и сл.). Поред колектора, битан елемент система за грејање санитарне воде је централни бојлер. Целокупни систем је повезан на јавну мрежу водоснабдевања одакле узима потребну количину хладне воде.

У овом одељку приказан је модел коришћеног соларног колектора, централног бојлера, као и опис система за грејање санитарне воде у породичној згради, са свим својим пратећим елементима [28].

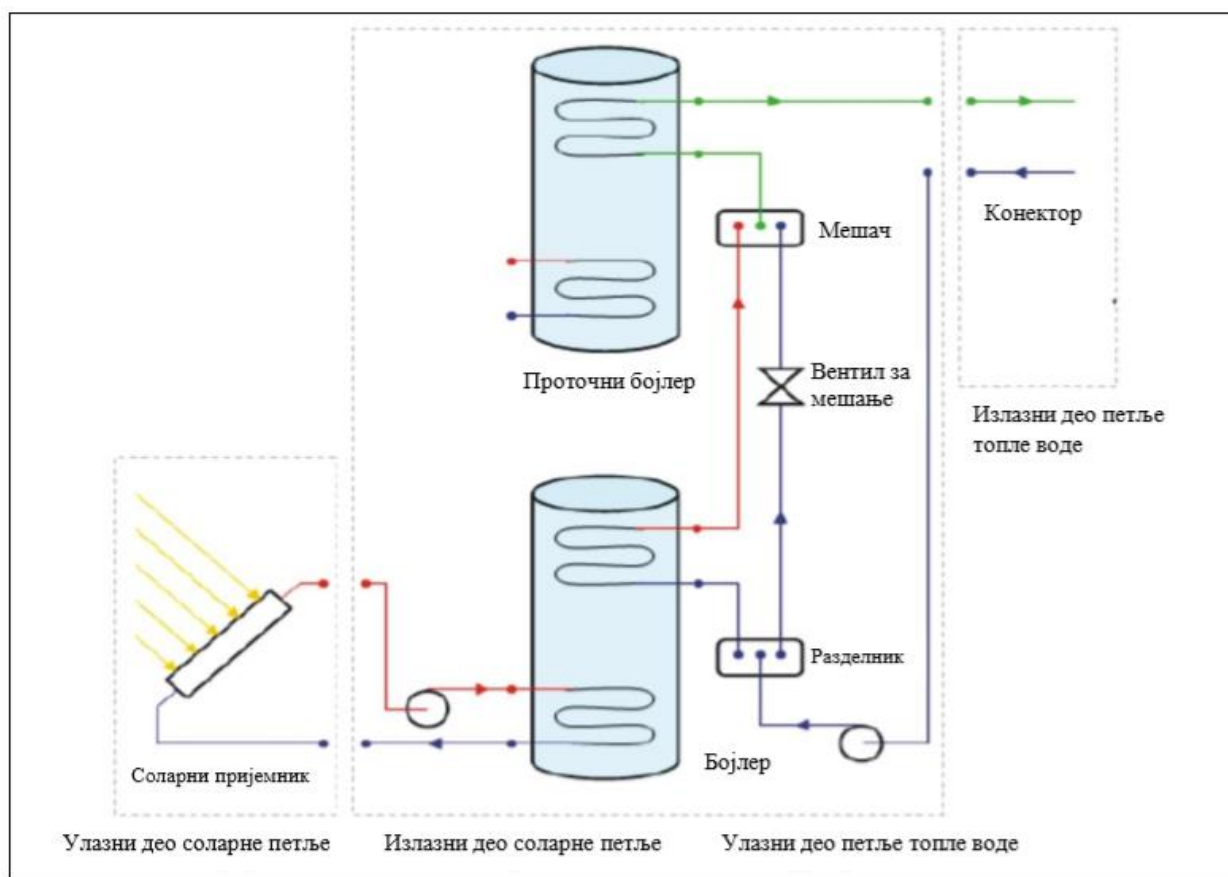
Постоји више типова соларних колектора који сам EnergyPlus нуди као опције избора при креирању модела соларног система за грејање воде. У овом раду избор су били равни двоструко застакљени соларни колектори, пошто су они најзаступљенији у комерцијалној употреби. Њихов избор се обавља у почетном кораку креирања соларне инсталације у улазној датотеци. EnergyPlus модел соларних колектора је заснован на једначинама које се налазе у ASHRAE стандардима [28].

Централни бојлер је уређај који служи за складиштење топле воде. При симулацијама у програмском пакету EnergyPlus он је спојен у тзв. соларну петљу топле воде у систему за грејање санитарне воде. Такође има и доток хладне воде и симулацијом предвиђен добар процес мешања, тако да се у њему не стварају слојеви воде различите температуре.

Да би се остварила уштеда енергије применом соларног система за грејање санитарне воде, најбоље је да се користи систем са два резервоара – централним бојлером и помоћним проточним бојлером (Слика 13). У централном бојлеру складишти се вода загрејана у соларним колекторима, за тренутну или каснију употребу. Помоћни проточни бојлер је постављен низводно у односу на централни бојлер и његова улога је догревање воде када температура из централног бојлера није довољно велика за задовољење потреба.

Систем за грејање санитарне топле воде састоји се, поред соларних колектора и наведених бојлера, још и од пумпе, мешача, разделника и вентила за мешање воде. Соларни колектори могу бити повезани редно или паралелно, ако их има више. Сви наведени елементи система чине две петље: соларну петљу и потрошачку петљу, које се међусобно преклапају.

Соларна петља обухвата соларне колекторе, пумпу која покреће воду - радни флуид и спирални размењивач топлоте у централном бојлеру. Унутар соларне петље, соларни колектор апсорбује соларну енергију и тако загрева воду која тече кроз његове бакарне цеви. Даље та топла вода загрева санитарну воду у централном бојлеру. Температура воде у централном бојлеру може да буде већа или мања од температуре задате у улазној датотеци [31].



Слика 13. Шема система за грејање санитарне воде, [28]

Потрошачка петља представља петљу потрошње санитарне топле воде. Састоји се од разделника, централног бојлера, проточног бојлера и вентила за мешање топле воде са хладном водом. У потрошачкој петљи хладна санитарна вода долази до разделника, одакле може да иде или у централни бојлер или до вентила за мешање воде. Ако је температура воде у централном бојлеру нижа од потребне, вода се додатно загрева помоћу електричне енергије у помоћном проточном бојлеру. Ако је температура санитарне топле воде виша од потребне она се снижава у мешачу мешањем са хладном водом преко вентила.

Вентил за мешање ради тако што кроз једну од својих грана пропушта хладну воду да би прилагодио температуру воде на излазу из мешача. Мешањем топле и хладне воде, добија се вода задате температуре која одлази до потрошача. Потрошачи у систему су судопера, туш, машина за прање посуђа и вешмашина. Сви потрошачи раде према утврђеном распореду задатом у улазној датотеци. Машина за прање посуђа ради једном током дана, машина за прање веша једном недељно, док је потрошња топле воде на судопери и тушу одређена временом које укућани проводе унутар куће, а то је најчешће у јутарњим и вечерњим сатима. Током дана, према дефинисаном распореду, укућани веома мало времена проводе у кући, тако да је у тим сатима и потрошња воде на тушу и судопери минимална или не постоји [31].

4.1 Контрола соларног система за грејање санитарне воде

Постоји неколико начина за контролу соларног система за грејање санитарне воде у EnergyPlus-у. Пошто соларни колектори захтевају константан проток, ограничавајући фактор је проток пумпе у соларној петљи. Ако није предвиђено распоредом, пумпа и систем ће радити све време, што није најбољи начин за рад соларног система. За бољу контролу соларне петље може се користити диференцијални термостат који пореди температуру воде у колектору са температуром воде у централном бојлеру, тако да се пумпа укључује само када постоји топлотни добитак. У улазној датотеци дефинише се разлика температура за укључивање (Temperature Difference On Limit) и искључивање пумпе (Temperature Difference Off Limit). Ове вредности износе 8-12 °C и 1-3 °C, респективно. Уколико су ове две разлике температура исувише блиске, постоји могућност да се систем укључи и искључи брзо без великог корисног топлотног добитка. До овога може доћи и када је проток кроз колектор превише велики. Без протицања, флуид у колектору се загрева много брже; када се систем укључи при великом протоку сва количина топлог флуида се одједном покреће и температура нагло пада, што доводи до искључења система. Други метод за контролу је коришћење фотонапонског панела са погон пумпе у соларној петљи. Пумпа се покреће само када постоји довољно соларног зрачења да је покрене [31].

1) Превенција против мржњења

У климатским зонама са хладним зимама, соларни систем мора бити дизајниран да избегне ризик од мржњења флуида у соларном колектору и спољним цевима и на тај начин проузрокује штету. Ово није проблем ако је радни флуид ваздух. Са водом, међутим, постоји неколико начина да се смањи овај ризик.

2) Сезонски распоред. Најједноставнија стратегија је да се систем не користи током зимског периода. Ово је незгодно јер је неопходно да се сав радни флуид уклони ручно из соларног колектора. Такође се губе и бенефити који би се остварили коришћењем соларних система током овог периода. Ово у EnergyPlus-у може бити симулирано одговарајућим распоредом рада пумпе у соларном систему.

3) Средство против мржњења. Тачка мржњења течности се снижава додавањем средства против мржњења (антифриза) води (радном флуиду). Ово се може постићи и коришћењем радног флуида са нижом тачком мржњења, што још увек нема могућност симулације у EnergyPlus-у јер се једино чиста вода користи у петљама.

4) Дренажни систем. Ова стратегија аутоматски празни колекторе када пумпа није укључена. Сценарио је моделиран у EnergyPlus-у, али додатна енергија за погон пумпе није узета у обзир у прорачуну.

5) Рециркулациони систем. Овим начином контроле, топла вода из централног бојлера се враћа назад у колектор, одржавајући систем изнад тачке мржњења. У овом случају постоје системски губици. Рециркулацијом се форсира укључивање система када спољашња температура ваздуха или излазна температура воде из колектора падне испод задатог минимума.

6) Додатна контрола. Осим спречавања замрзавања воде у соларном систему за грејање воде, такође је потребно заштитити систем и од прегревања. Ово питање сигурности је

обично везано за централни бојлер. У том случају важно је прекинути загревање воде у централном бојлеру ако је температура воде у њему већа од задате температуре, и прекинути рад пумпе да се не би оштетио соларни колектор [31].

4.2 Карактеристике система за грејање санитарне воде

У претходном излагању је наведено да су основни делови система за грејање санитарне топле воде централни и проточни бојлер. Централни бојлер има запремину $0,2 \text{ m}^3$ (200 l) а помоћни проточни бојлер је запремине $0,00568 \text{ m}^3$ (5,68 l). Максимална дозвољена температура воде у оба бојлера је ограничена на $82,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Максимална пројектована разлика температура воде при врху и при дну централног бојлера износи $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$. За контролу рада коришћења ове инсталације, у улазној датотеци је дефинисано неколико вредности температура радног флуида (воде) у соларној петљи [31]:

- Температура флуида у соларној петљи ($t_L=52 \text{ }^{\circ}\text{C}$);
- Горња гранична температура искључења соларне петље (вариране су температуре од $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$);
- Гранична температура укључења соларне петље ($0 \text{ }^{\circ}\text{C}$);
- Разлика температура на диференцијалном термостату за укључење ($10 \text{ }^{\circ}\text{C}$);
- Разлика температура на диференцијалном термостату за искључење ($2 \text{ }^{\circ}\text{C}$);

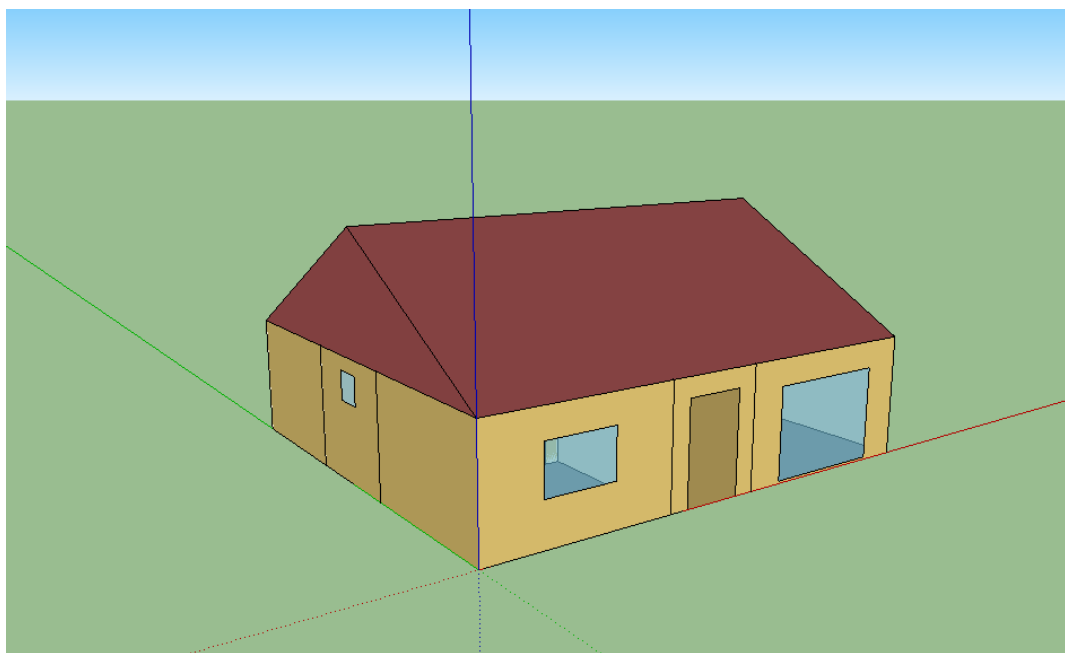
Средња годишња температура хладне воде које се користи у згради износи $14,72 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

5. Модел анализиране куће

У овом одељку описан је модел једнопородичног стамбеног објекта, лоцираног у граду Крагујевцу, у централној Србији. Описани су сви параметри који карактеришу објекат, почев од структуре омотача, система грејања па до климатских погодности саме локације. Ови параметри су важни при анализама потрошње енергије, јер сваки од њих утиче у мањој или већој мери на енергетско понашање објекта.

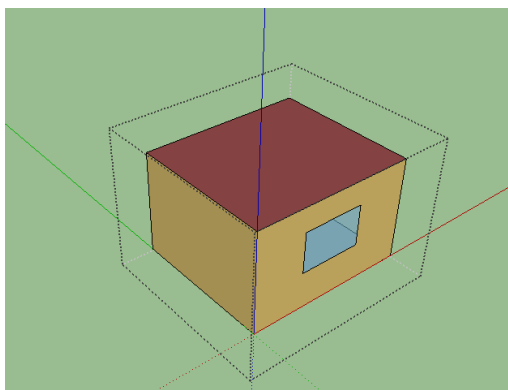
5.1 Карактеристике куће

Анализирана зграда моделирана је у Google SketchUp. У питању је кућа намењена за становање четворочлане породице, приказана на Слици 14.



Слика 14. *Изглед куће*

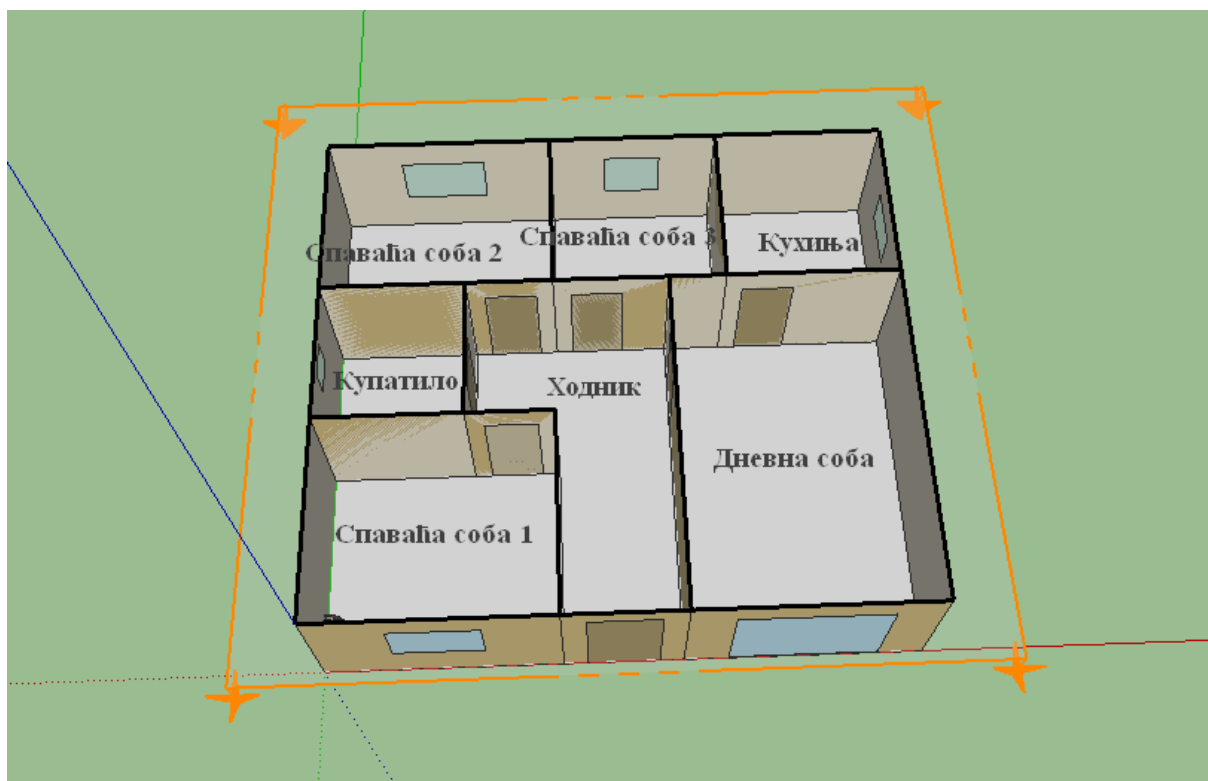
Да би рад са зградом био могућ у Energy Plus-у, просторије се морају цртати по зонама. На слици испод дат је приказ једне зоне која представља дневну собу (Слика 15.).



Слика 15. *Прва формирана зона у GoogleSketchUp-у*

Кућа у овом раду садржи осам зона, односно седам просторија и кров. Кров куће је оријентисан ка југу, због максималног генерисања енергије. Оптимални угао нагиба крова, тј. соларних инсталација за подручје Крагујевца је $37,5^{\circ}$ [32].

На Слици 16. дат је приказ свих просторија у кући: дневне собе, ходника, кухиње, купатила и спаваћих соба - једне веће намењене за две особе и две мање собе за једну особу. На зиду дневне собе који је оријентисан ка југу постављен је велики прозор, с намером да се максимално искористи природна светлост.



Слика 16. Просторије анализиране куће

У Табели 4 је приказана површина сваке просторије појединачно и укупна површина свих седам просторија.

Табела 4. Приказ површина

Просторија	Површина просторије [m ²]
Дневна соба	24
Ходник	15,75
Спаваћа соба 1	14
Спаваћа соба 2	12
Спаваћа соба 3	9
Купатило	6,25
Кухиња	9
Укупно	90

Укупна површина свих зидова износи 95 m^2 . Прозори су двоструко застакљени а њихова укупна површина износи $9,81 \text{ m}^2$. Коефицијент пролаза топлоте прозора износи $U = 2.720 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, што је вредност која не задовољава услове задате Правилником о енергетској ефикасности Републике Србије, где је највећа дозвољена вредност $1,5 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. Укупан однос површина прекривених стаклом према површини спољашњих зидова износи $10,33 \%$. При пројектовању зграде мора да се оствари оптималан однос између површине зидова и прозорских површина.

Укупна запремина просторија је 225 m^3 . Површина крова износи $102,96 \text{ m}^2$.

У раду референтни случај представља кућа, са следећим саставом спољашњег зида (идући са унутрашње стране): 100 mm цигла, 200 mm тешки бетон, стиропор као изолациони слој 150 mm , ваздушни простор и 19 mm гипс плоча. Вредност коефицијента пролаза топлоте овог зида износи $U = 0.177 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Прорачун потрошње енергије осим за овај случај извршен је још за неизоловану кућу, и за куће са дебљинама изолације од 5 cm и 10 cm .

Састав унутрашњих зидова је следећи: 19 mm гипс плоча, ваздушни простор, 19 mm гипс плоча.

Плафон гледано са унутрашње стране ка спољашњој има следећи састав: 100 mm лаки бетон, ваздушни простор, акустичне плоче, 150 mm стиропор.

Подна конструкција приземља састоји се од акустичне плоче, ваздушног простора, 100 mm лаког бетона, изолације 50 mm и 200 mm армираног бетона, а вредност коефицијента пролаза топлоте пода износи $U = 0.490 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Испод крова, односно изнад плафона просторија је негрејани простор.

За прорачун потрошње енергије у згради важни су и следећи параметри дефинисани у Energy Plus-у: начин грејања, радијатори, осветљење, електрична опрема и вентилација.

У анализираној згради, примењен је електрични систем грејања. Програм EnergyPlus у свом пакету има модул за систем конвективног електричног грејања. Овај модул подразумева примену електричних грејача у радијаторима. У већини случајева радијатори преносе значајну количину топлоте природном конвекцијом, док се извесна количина топлоте преноси зрачењем. У овом моделу компонента пренете топлоте зрачењем се занемарује и основна претопставка је да се целокупни процес преноса топлоте одвија конвекцијом. EnergyPlus претопставља да се топлота шири равномерно кроз просторију и на тај начин се остварује топлотна равнотежа ваздуха у грејаној зони, на основу које се израчунава средња температура ваздуха у просторији (mean air temperature - MAT) [31].

У овом случају снага радијатора износи 5 kW у дневној соби, кухињи и ходнику, односно 8 kW у осталим просторијама.

Време рада електричног система подешено је током радног дана од 7 h до 9 h пре подне и од 16 h до 21 h увече. Током викенда грејни систем ради непрекидно од 7 h до 21 h . Временски корак у свим симулацијама је био 15 min . Температуре у просторијама се регулишу помоћу термостата и за време рада грејних система су подешене на 20°C .

Изузетак је купатило где је пројектна температура 22°C . У периоду током дана када грејни системи не раде (9–16 h), температура у просторијама зграде је подешена на 15°C .

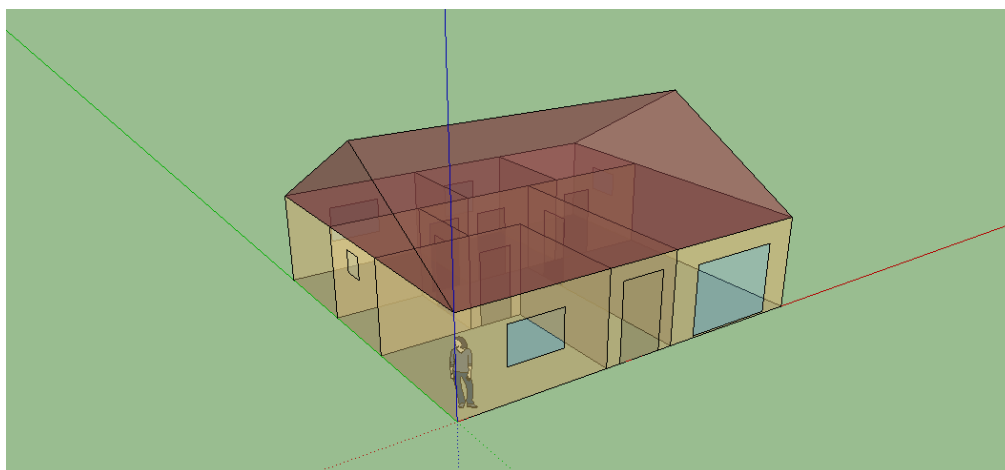
Предности коришћења овог система грејања су што не постоји опасност од пожара, не заузима додатни простор, има могућност fine регулације температуре у просторији и одржавање минималне температуре (као заштита од замрзавања). У простору који се периодично користи може се користити за грејање једне просторије (један уређај - један радијатор) или повезивање више уређаја у систем за грејање целе куће. Најзначајнија предност је што је цена уређаја нижа него за било који други извор топлоте [31].

Са аспекта потрошње енергије као и са економског аспекта, електрично грејање представља најнеповољнији систем грејања који се може применити. Наиме, код ове врсте грејања потрошња примарне енергије је изузетно велика. Стога је веома битна анализа свих параметара који могу довести до смањења потрошње укупне потребне количине примарне енергије. Са друге стране, систем електричног грејања има и највећу предност у односу на друге системе јер је генерално чист систем грејања, без велике емисије штетних гасова у атмосферу [31].

Када је реч о електричним уређајима у кући, примењени су енергетски ефикасни електрични уређаји новијих генерација. За осветљење у кући користе се Led сијалице, које су такође енергетски веома ефикасне и троше веома малу количину енергије. Кућа поседује природну вентилацију, где је број измена ваздуха на сат у свим просторијама 0,5, док је за кров број измена 3.

Када је реч о оријентацији просторија према странама света, распоред је следећи:

- Дневна соба ка југоистоку и спаваћа соба 1 ка југозападу;
- Купатило ка западу и спаваћа соба 2 ка северозападу;
- Спаваћа соба 3 ка северу и кухиња ка североистоку.

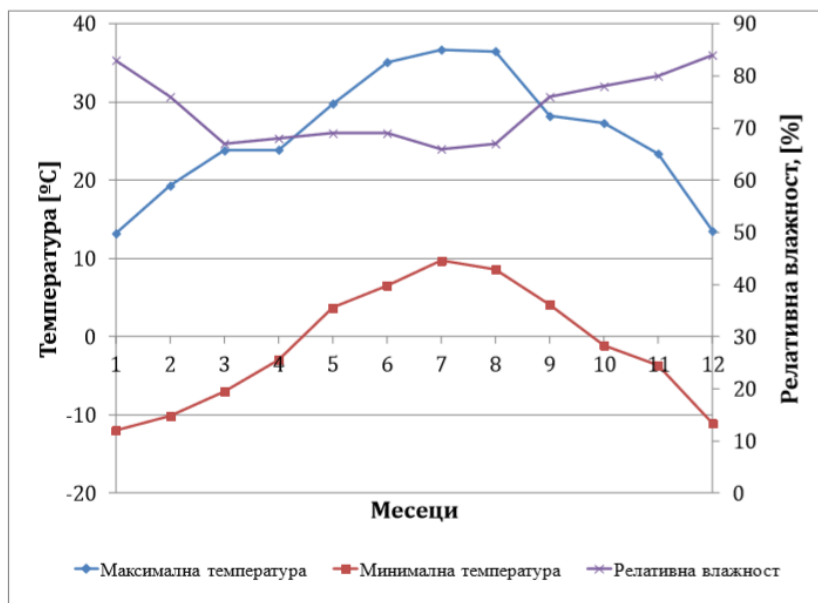


Слика 17. Перспектива зграде

Претпоставка је да око куће не постоје објекти који могу да стварају сенке над инсталираним соларним колекторима на кровној површини.

5.2 Локација куће

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 [31].

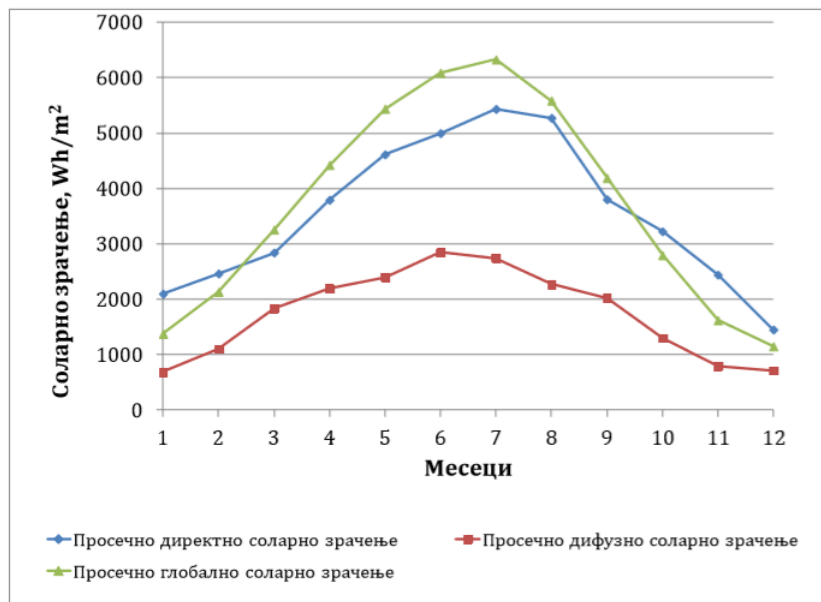


Слика 18. Временски подаци за Крагујевац

Слика 18. приказује временске податке за Крагујевац (просечна минимална и максимална температура, као и просечна релативна влажност ваздуха, по месецима). Они су преузети из датотеке EnergyPlus-a [31].

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.

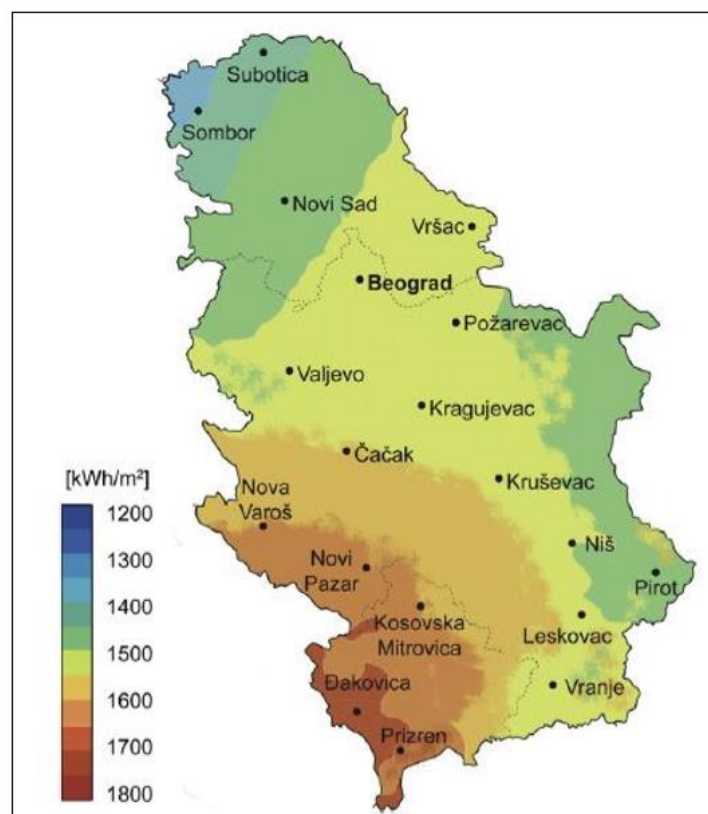
На Слици 19. приказане су месечне вредности соларног зрачења за Крагујевац, преузети из датотеке EnergyPlus-a. Соларно зрачење не зависи само од географске ширине локације, већ у великој мери зависи од климатских услова и рељефа.



Слика 19. Месечне вредности соларног зрачења за Крагујевац

У одељку 2.1 у Табели је већ приказано да годишња инсолација у Крагујевцу износи 1447,85 kWh/m², што је много више од европског просека. Овај износ је изузетно повољан за уградњу соларног колектора на крову куће.

Слика 20. представља мапу соларног зрачења у Србији (преузета из [33]).



Слика 20. Соларно зрачење у Србији [33]

6. Резултати и анализа

Након дефинисања свих параметара у програму Energy Plus, симулира се енергетско понашање куће и на основу тога програм израчунава потрошњу енергије. Тако се може сагледати где је она највећа, односно који уређаји троше највише енергије. Приказана су четири сценарија, с тим што први показује енергетско понашање зграде при различитој структури омотача када није инсталиран соларни колектор, док остала три сценарија приказују стање након његове уградње. Битно је напоменути да су сви резултати потрошње на годишњем нивоу. У свим вршеним симулацијама, грејни систем је радио од 15. октобра до 15. априла следеће године, што је уобичајена пракса у Србији.

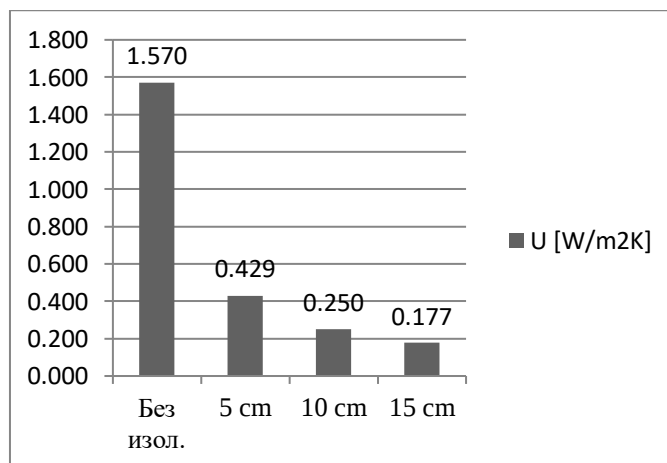
6.1. Потрошња електричне енергије у згради без соларног система

Почетне варијације односиле су се на струкуру омотача зграде. Први случај била је зграда без изолационог слоја, а затим су извршене варијације дебљине слоја изолације: за изолациони слој од 5 cm, 10 cm, и од 15 cm. Добијени резултати су приказани у Табели 5. Из табеле се може видети да се разликује количина електричне енергије која се троши на електрично грејање зграде.

Табела 5. Приказ потрошње електричне енергије на годишњем нивоу, за сва четири разматрана случаја.

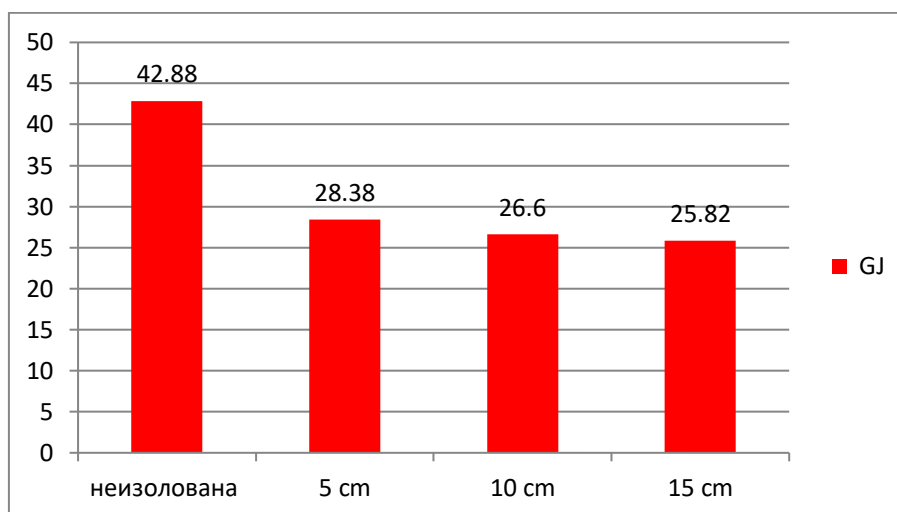
Потрошња електричне енергије [GJ]	Дебљина изолације			
	неизолована	5 cm	10 cm	15 cm
Грејање	42.88	28,38	26.60	25.82
Расвета	0.53	0,53	0,53	0,53
Електрични уређаји	4,16	4,16	4,16	4,15
Грејање воде	25,35	25,35	25,35	25,35
УКУПНО	73,02	58,42	56,64	55,85

Количина електричне енергије за грејање зграде, и самим тим укупна годишња потрошња енергије, опада са повећањем изолационог слоја. На Слици 21. приказана је промена коефицијента пролаза топлоте кроз омотач (U - W/m^2K).



Слика 21. Промена коефицијента пролаза топлоте при променама дебљине изолације

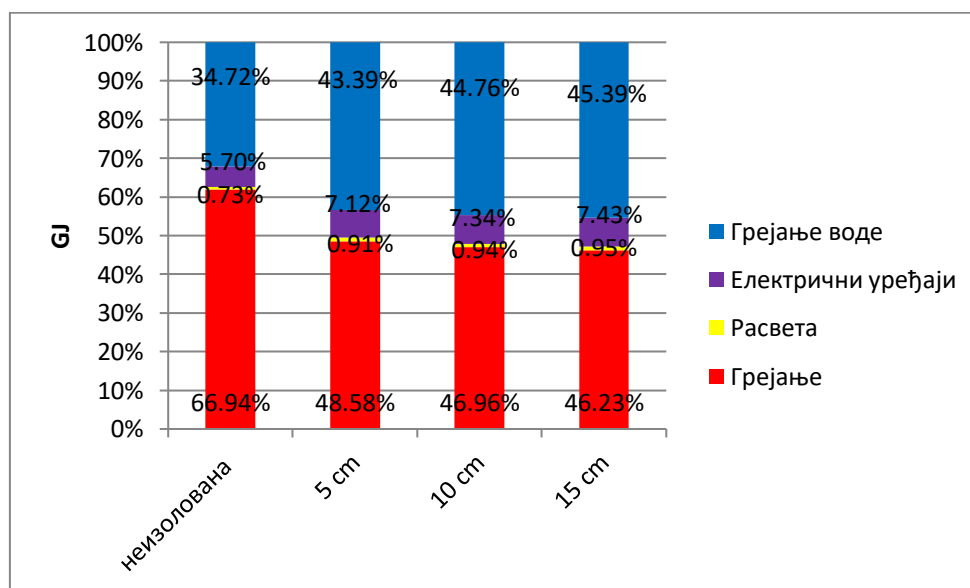
Постављањем изолационог слоја на зидове куће постиже се нижи коефицијент пролаза/трансмисије топлоте кроз омотач што доводи до мањих топлотних губитака (Слика 22.). На тај начин се смањује потрошња енергије за грејање (изражена у kWh).



Слика 22. Потрошња електричне енергије за грејање зграде за сва четири случаја

За стиропор дебљине 5 cm коефицијент пролаза топлоте кроз омотач износи $U=0,429 \text{ W/m}^2\text{K}$. Побољшањем изолације на 15 cm он износи $0,177 \text{ W/m}^2\text{K}$. Када је кућа неизолована овај коефицијент је знатно већи (у овом случају износи $U=1,570 \text{ W/m}^2\text{K}$). Зато је изолација једна од неопходних мера за смањење топлотних губитака. Према Правилнику о Енергетској ефикасности, коефицијент пролаза топлоте за спољни зид мора бити максимално $0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$.

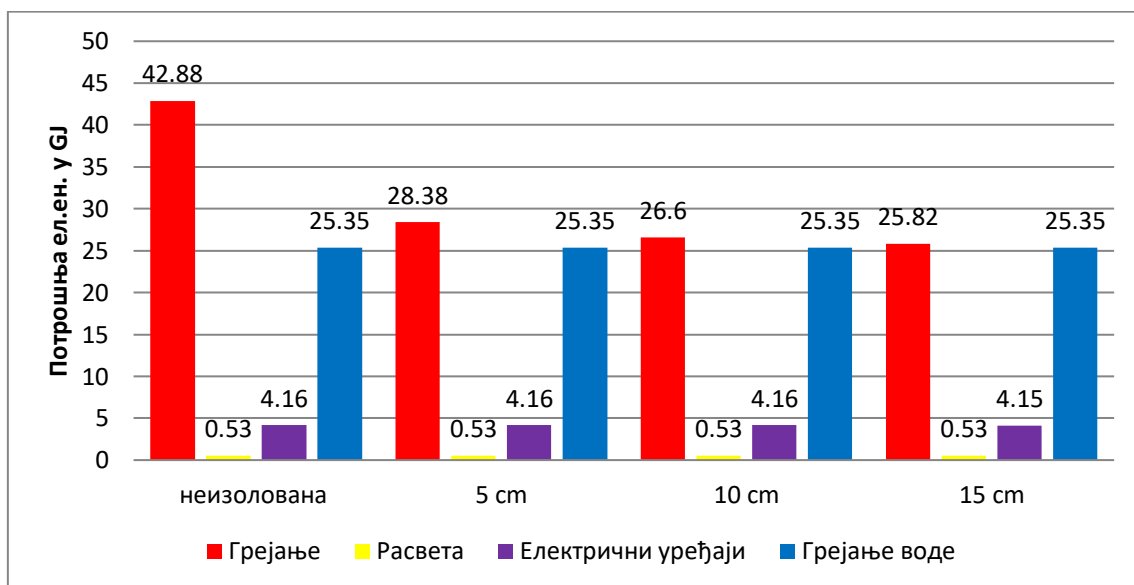
На Слици 23. где је дата расподела потрошње електричне енергије за све случајеве и види се да се велики проценат троши за грејање воде.



Слика 23. Расподела потрошње енергије за сва четири случаја

Ако се анализира количина електричне енергије која се троши за грејање воде, види се да је она једнака за сва четири случаја и износи 25,35 GJ. То значи да структура омотача утиче на потрошњу енергије за грејање просторија али не и на припрему топле воде. Потрошња топле воде у згради се односи на туш, судоперу, машину за прање судова и веш машину. Запремина бојлера је 200 l. У згради се троши топла вода различитих температура: за туш и судоперу користи се вода просечне температуре 43,3 °C, а за веш-машину и машину за прање судова користи се вода температуре 50 °C. Машина за прање судова ради свакодневно, док је рад веш-машине предвиђен два пута недељно. У референтном случају месечна потрошња топле воде је 11,5 m³/s, што одговара потрошњи топле воде просечне четворочлане породице.

На Слици 24. дати су упоредни подаци потрошње енергије за сва четири случаја.



Слика 24. Поређење добијених резултата за сва четири случаја

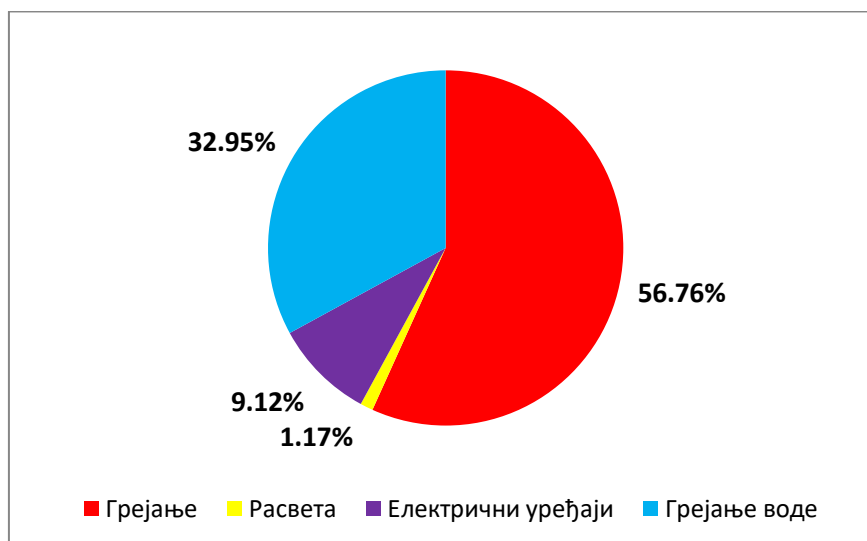
6. 2 Зграда са соларним системом за грејање воде

За наредне анализе користиће се зграда са дебелином изолационог слоја од 15 cm. На делу крова који је оријентисан ка југу сада је инсталиран соларни колектор. У референтном случају ова зграда има месечну потрошњу топле воде од 11,5 m³/s, температуру воде од 60 °C и површину колектора од 4 m². У Табели 6 су приказани резултати добијени након симулације са овим параметрима.

Табела 6. Потрошња електричне енергије у референтној згради

Потрошња електричне енергије [GJ]	Реф.
Грејање	25.82
Расвета	0,53
Електрични уређаји	4,15
Грејање воде	14.99
Укупна потрошња енергије	45,49
Генерисана топлотна енергија	10.36

Слика 25. показује расподелу потрошње енергије у референтном случају. Процентуални удео електричне енергије за грејање воде износи 32,95%.



Слика 25. Расподела потрошње енергије у згради за референтни случај

6.2.1 Различита месечна потрошња топле воде

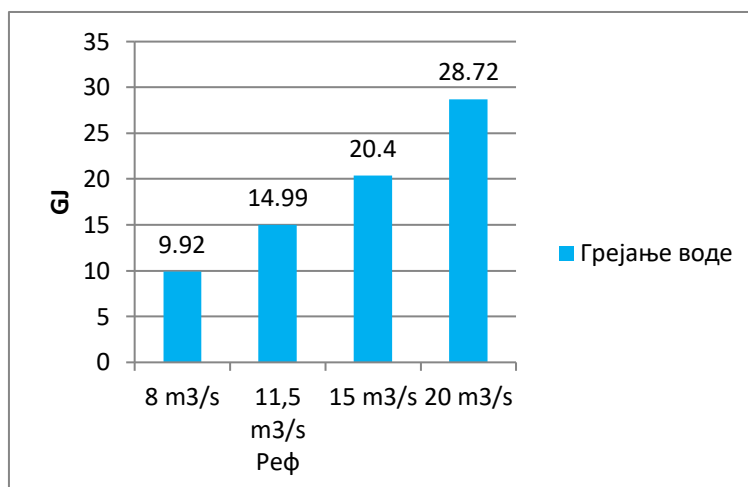
Код ових анализа енергетског понашања зграде варирана је потрошња топле воде. У референтном случају месечна потрошња топле воде је $11,5 \text{ m}^3$. Та потрошња је адекватна потрошњи топле воде просечне четворочлане породице за месец дана, ако се има у виду да је просечна укупна месечна потрошња воде по члану домаћинства 5 m^3 . Анализирани су случајеви са месечном потрошњом топле воде од 8 m^3 , 15 m^3 и 20 m^3 . Резултати потрошње енергије добијени симулацијом, као и генерисана енергија помоћу соларног система дата је у Табели 7.

Услед различите потрошње топле воде, била је потребна и различита количина енергије за њено загревање. Мала разлика у односу на референтни случај је била и код потрошње енергије електричних уређаја. Зато је и укупна потрошња енергије различита.

Табела 7. Детаљна годишња потрошња електричне енергије у згради за различите вредности потрошње топле воде

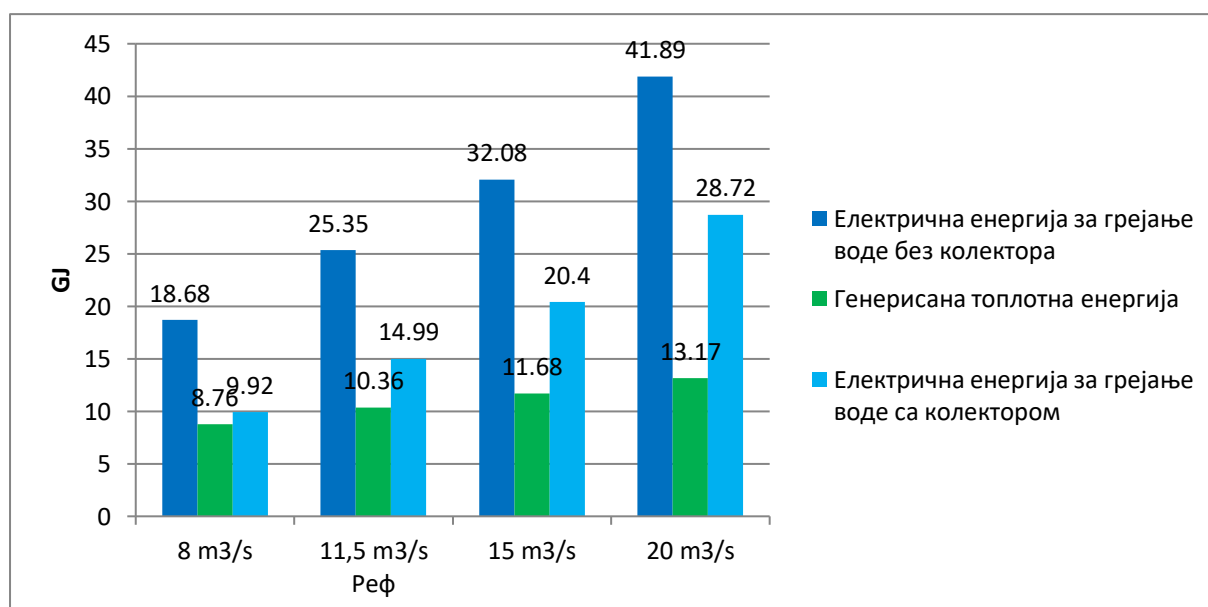
Потрошња електричне енергије [GJ]	$8 \text{ m}^3/\text{s}$	$11,5 \text{ m}^3/\text{s}$ Реф.	$15 \text{ m}^3/\text{s}$	$20 \text{ m}^3/\text{s}$
Грејање	25,82	25.82	25,82	25,82
Расвета	0,53	0,53	0,53	0,53
Електрични уређаји	4,13	4,15	4,18	4,2
Грејање воде	9.92	14.99	20.40	28.72
Укупна потрошња енергије	40,4	45,49	50,93	59,27
Генерисана топлотна енергија	8,76	10.36	11.68	13.17

Због пораста потрошње топле воде у згради, потребна је већа количина електричне енергије за њено загревање, па расте и укупна потрошња електричне енергије.



Слика 26. Годишња потрошња електричне енергије за грејање воде, при различитим месечним потрошњама топле воде

Електрична енергија која годишње одлази на потрошњу воде износи за сва четири случаја, респективно: 9,92 GJ, 14,99 GJ, 20,4 GJ и 28,72 GJ (Слика 26.). Када соларни колектор не би генерисао одређену количину топлотне енергије соларног зрачења, ове вредности би биле веће за ту количину добијену из колектора, односно електрични систем би морао да троши знатно више енергије. Тада би потрошња енергије за припрему топле воде за сва четири случаја износила респективно: 18,68 GJ, 25,35 GJ, 32,08 GJ и 41,89 GJ. На Слици 27. је дат графички приказ електричне енергије која се троши за грејање воде у поређењу са топлотном енергијом коју генерише соларни колектор и електричном енергијом која би се трошила да колектор није инсталиран.



Слика 27. Поређење резултата – Енергија за припрему топле воде пре и након уградње соларног колектора и генерисана топлотна енергија

Добијени резултати указују на следеће:

- При расту месечне потрошње воде, повећава се и потребна количина електричне енергије за грејање воде, а самим тим и укупна потрошња енергије у згради;
- Применом соларног колектора, електрична енергија за грејање воде се умањује за износ топлотне енергије коју тај колектор генерише. За месечне потрошње топле воде од 8 m³/s, 11,5 m³/s, 15 m³/s и 20 m³/s уштеда енергије за грејање воде је износила 8,76 GJ, 11.68 GJ и 13.17 GJ репективно, или процентуално 46,8 %, 40,8%, 36,4 % и 31,4 %;
- Санитарна вода при потрошњи воде у референтном случају од 11,5 m³/s захтева количину енергије за грејање од 14,99 GJ;
- При месечним потрошњама воде већим од референтног случаја, за грејање се троше количине енергије од 20,4 GJ и 28,72 GJ, што нису повољни резултати.
- У односу на референтни случај једино се у случају потрошње воде од 8 m³/s остварује уштеда енергије за грејање воде и она износи 33,82 %.

Уштеда у потрошњи енергије нема само економски значај кроз смањене рачуне за струју, већ и еколошке јер колектор користи чисту енергију Сунца те не загађује околину.

6.2.2 Различита температура топле воде у соларном систему

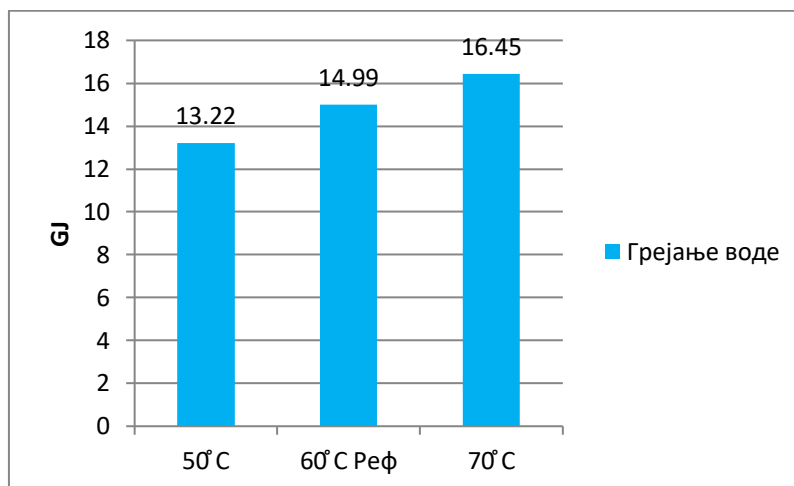
Код ових анализа енергетског понашања зграде варирана је температура топле воде. Ова температура се односи на температуру на врху бојлера, пошто је температура на дну бојлера програмски ограничена на 10 °C мање. У референтном случају, ова температура је износила 60 °C, а анализирани су случајеви када је она износила 50 °C и 70 °C. У Табели 8 су приказани добијени резултати.

Табела 8. Детаљна годишња потрошња електричне енергије у згради за различите вредности температуре топле воде

Потрошња електричне енергије [GJ]	50 °C	60 °C Реф.	70 °C
Грејање	25,82	25.82	25,82
Расвета	0,53	0,53	0,53
Електрични уређаји	4,17	4,15	4,14
Грејање воде	13.22	14.99	16.45
Укупна потрошња енергије	43,74	45,49	46,94
Генерисана топлотна енергија	11.43	10.36	9.56

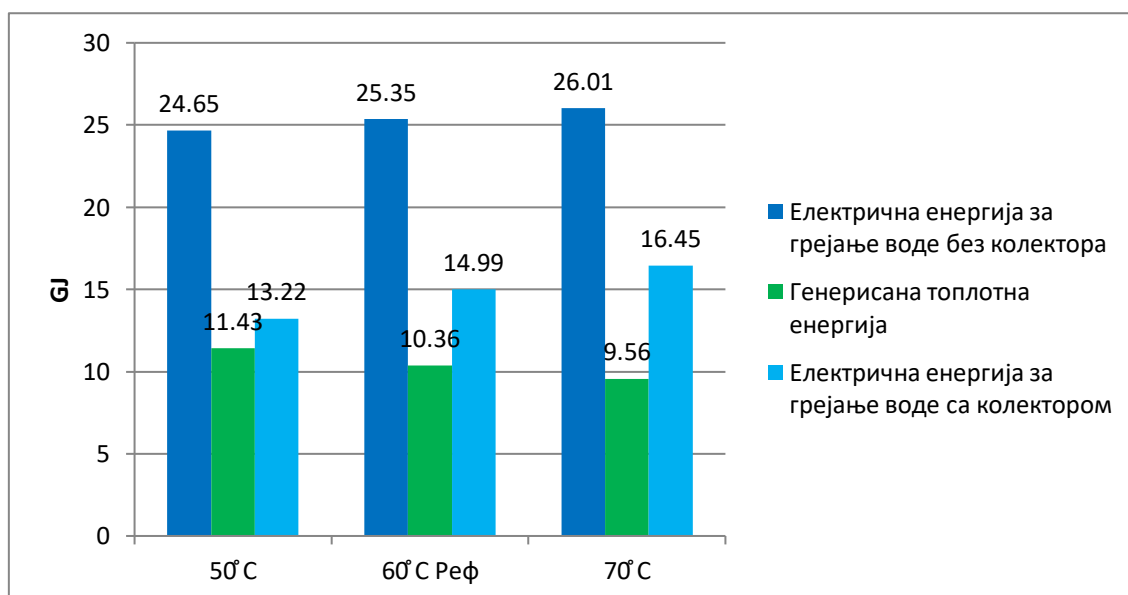
Пораст темпегатуре воде условљава пораст потрошње електричне енергије за грејање воде а самим тим и укупне енергије. Потребна електрична енергија за грејање зграде је једнака у сва три случаја.

Промена потрошње електричне енергије за грејање воде при промени температуре приказана је на Слици 28.



Слика 28. Годишња потрошња електричне енергије за грејање воде, при различитим температурама воде

Електрична енергија која се троши за грејање воде износи за сва три случаја 13,22 GJ, 14,99 GJ и 16,45 GJ, респективно. Као и у претходно анализираним случајевима, када соларни колектор не би генерисао одређену количину топлотне енергије, ове вредности би биле веће за ту количину добијену из колектора. Тада би електрични систем трошио за припрему топле воде знатно веће количине електричне енергије: 24,65 GJ, 25,35 GJ и 26,01 GJ.



Слика 29. Поређење резултата – Енергија за припрему топле воде пре и након уградње соларног колектора и генерисана топлотна енергија

На Слици 29. је дат графички приказ електричне енергије која се троши за грејање воде у поређењу са топлотном енергијом коју генерише соларни колектор и електричном енергијом која би се трошила без соларног колектора.

На основу резултата може се закључити да:

- Потребна количина електричне енергије за грејање воде расте са температуром воде;
- Применом соларног колектора, електрична енергија за грејање санитарне воде се умањује за износ топлотне енергије коју тај колектор генерише. За температуре воде од 50 °C, 60 °C и 70 °C уштеда енергије за грејање воде износи (репективно) 11,43 GJ, 10,36 GJ и 9,56 GJ или изражено у процентима: 46,3 %, 40,8 % и 36,7 %;
- За грејање санитарне воде, у референтном случају при температури од 60 °C, потребна је количина електричне енергије од 14,49 GJ;
- Када је температура воде већа него у референтном случају, троши се количина енергије од 16,45 GJ, што није повољнији резултат.
- У односу на референтни случај, једино при температури воде од 50 остварује се уштеда електричне енергије за грејање воде и она износи 11,8 %.

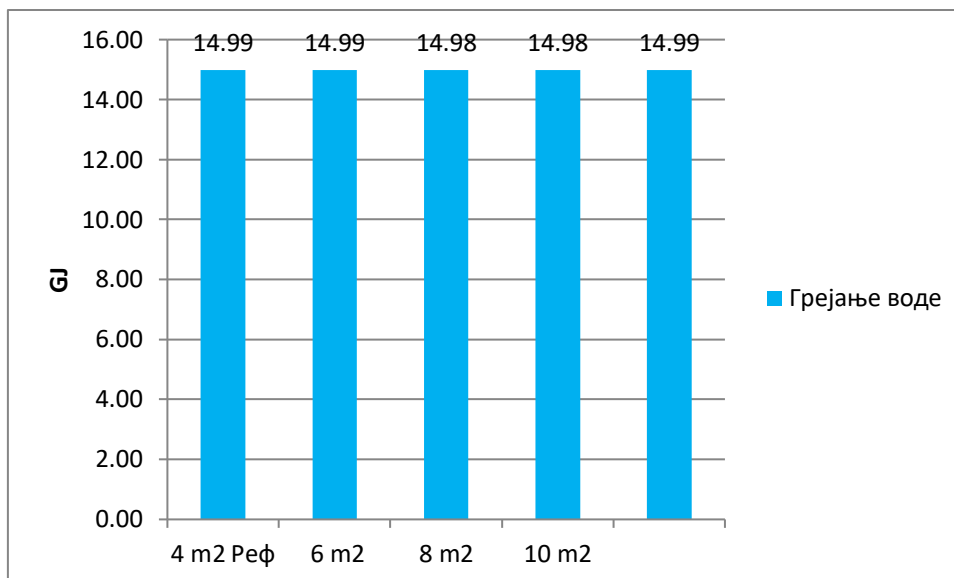
6.2.3 Различита површина соларног колектора

Код ових анализа енергетског понашања зграде варирана је површина соларног колектора. У референтном случају површина колектора износи 4 m². У Energy Plus-у симулирани су случајеви површина соларних колектора од 6, 8 и 10 m². Добијени резултати приказани су у Табели.

Табела 9. Детаљна годишња потрошња електричне енергије у згради за различите вредности површине соларног колектора

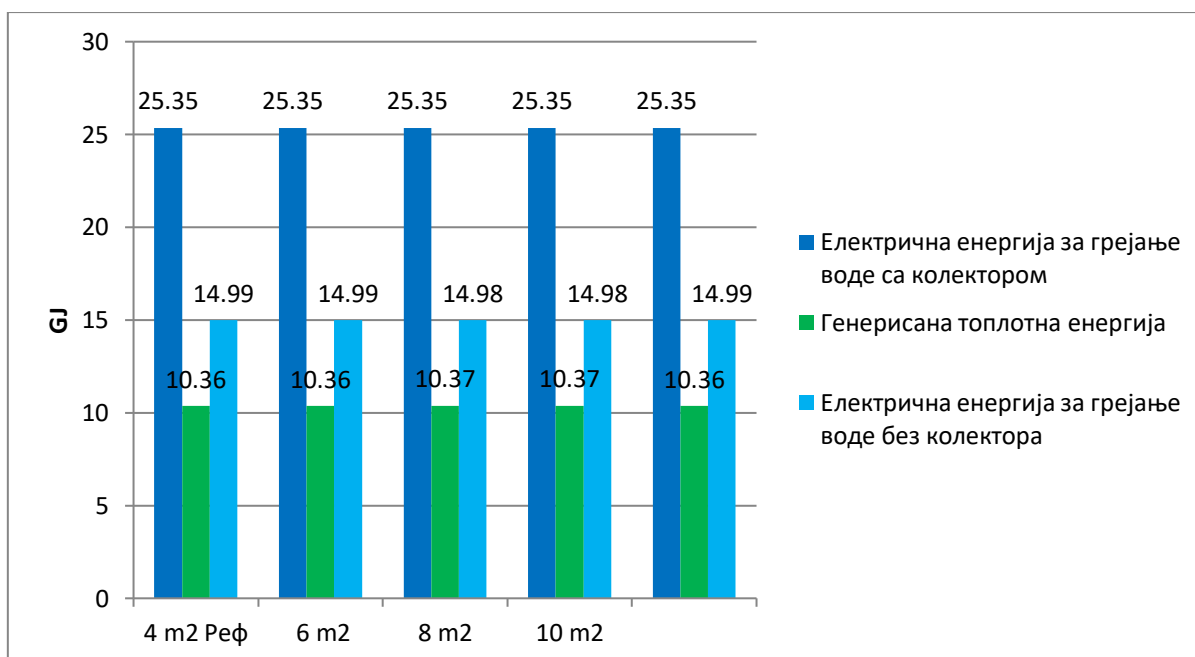
Потрошња електричне енергије [GJ]	4 m ² Реф	6 m ²	8 m ²	10 m ²
Грејање	25,82	25,82	25,82	25,82
Расвета	0,53	0,53	0,53	0,53
Електрични уређаји	4,15	4,15	4,15	4,15
Грејање воде	14,99	14,98	14,98	14,99
Укупна потрошња енергије	55,85	55,85	55,85	55,85
Генерисана топлотна енергија	10,36	10,37	10,37	10,36

Укупна потрошња енергије, као и електрична енергија за грејање воде остала је идентична, без обзира на то која се површина соларног колектора користила (Слика 39.). Генерисана топлотна енергија је готово иста у свим случајевима, јавља се разлика од свега 0,01 GJ енергије, што је практично занемарљиво. Ово можемо објаснити чињеницом да је за дефинисану месечну потрошњу топле воде од 11,5 m³ и распоредима рада туша, судопере, веш машине и машине за прање посуђа, довољна топлотна енергија која се генерише у колекторима површине 4 m². Свака већа површина колектора не би утицала на уштеду енергије, јер се потребе топлом водом задовољавају генерисањем 10,36 GJ енергије, што се постиже са површином колектора од 4 m².



Слика 30. *Годиишња потрошња електричне енергије за грејање воде, при различитим површинама соларног колектора*

На основу резултата се закључује да је уштеда енергије у свим случајевима иста, што је приказано на Слици 31. Дакле, површина соларног колектора не утиче на потрошњу електричне енергије за грејање воде.



Слика 31. *Поређење резултата – Енергија за припрему топле воде пре и након уградње соларног колектора и генерисана топлотна енергија*

6.2.4 Најповољнији случајеви

За све разматране варијације параметара у соларном систему, издвојени су најповољнији случајеви, односно случајеви где је најмања потрошња електричне енергије за грејање воде и дата је њихова упоредна анализа.

Табела 10. *Детаљна потрошња енергије у најповољнијим случајевима*

Потрошња електричне енергије [GJ]	8 m ³ /s	50 °C	4 m ²
Грејање	25,82	25,82	25,82
Расвета	0,53	0,53	0,53
Електрични уређаји	4,13	4,17	4,15
Грејање воде	9,92	13,22	14,99
Укупна потрошња енергије	40,4	43,74	55,85
<i>Генерисана топлотна енергија</i>	<i>8,76</i>	<i>11,43</i>	<i>10,36</i>

У делу где је разматрана месечна потрошња топле воде, утврђено је да је најмања потрошња електричне енергије за грејање воде ако она износи 8 m³. Када је реч о температури, најмања потрошња електричне енергије за грејање воде се добија при температури од 50 °C. Површина соларног колектора није утицала на потрошњу енергије за грејање воде. Према проценама просечна површина једног комерцијалног типа колектора је око 2 m² и два колектора су довољна за загревање воде у једном мањем домаћинству [22]. Зато је за оптималан случај изабрана површина колектора од 4 m².

Дакле, ова три случаја дају најповољније резултате, када је у питању припрема топле воде коришћењем соларног колектора за четворочлану породичну кућу лоцирану у граду Крагујевцу. Када програм Energy Plus изврши симулацију ових оптималних параметара, добијају се следећи резултати (Табела 11.):

Табела 11. *Оптималан случај – Приказ потрошње електричне енергије и генерисане топлотне енергије*

Потрошња електричне енергије [GJ]	8 m ³ /s 50°C 4 m ²
Грејање	25,82
Расвета	0,53
Електрични уређаји	4,15
Грејање воде	8,30
Укупна потрошња енергије	38,8
<i>Генерисана топлотна енергија</i>	<i>8,76</i>

У оптималном случају укупна потрошња енергије износи 38,8 GJ. Електрична енергија за грејање воде износи 8,30 GJ. Соларни колектор генерише топлотну енергију од 8,76 GJ. Дакле, у најповољнијем случају генерисана топлота је већа од утрошене електричне енергије за грејање воде, што не важи за референтни случај ($10,36 \text{ GJ} < 14,99 \text{ GJ}$).

На Слици 32. је дата расподела потрошње енергије у згради при оптималним параметрима.



Слика 32. *Расподела потрошње електричне енергије у оптималном случају*

У укупној потрошњи електричне енергије, енергија потребна за припрему топле воде учествује са 21,40 %. За референтни случај је ова расподела приказана у одељку, где се може видети да је удео потрошње електричне енергије за припрему топле воде 32,95%. Закључује се да је могуће добити повољнији случај за још 11,55% мање утрошене електричне енергије за грејање воде у односу на референтни случај.

На крају Слика 33. даје поређење потрошње електричне енергије за грејање воде за оптимални случај, случај када је кућа неизолована и референтни случај.



Слика 33. *Потрошња електричне енергије за три разматрана случаја*

Дакле, потрошена електрична енергија за припрему топле воде износи 25,35 GJ код неизоловане зграде, 14,99 GJ у референтном случају и 8,40 GJ у оптималном случају.

У структури расподеле потрошње електричне енергије, енергија за грејање воде од укупно потрошене енергије на годишњем нивоу износи:

- Неизолована зграда: 34,7%,
- Референтни случај: 32,95%,
- Оптимални случај: 21,39%.

Електрична енергија за грејање воде се смањује уградњом соларног колектора на кућу. Осим самом уградњом, уштеда може се остварити мањом месечном потрошњом топле воде, нижом температуром и одговарајућом површином колектора, што доказује чињеница да је у оптималном случају смањена потрошња за 6,69 GJ у односу на референтни случај, тј. за 43,9 %.

Дакле, да би се обезбедила рационалнија потрошња електричне енергије за грејање воде у једној згради, мора се најпре сагледати сваки параметар који утиче на енергетске губитке, почев од структуре омотача зграде, њене локације, преко употребе енергетски (не)ефикасних уређаја до експлоатације неког обновљивог извора, у овом случају соларне енергије.

7. Економска анализа

Соларни системи који углавном служе за загревање потрошне воде, састоје се од 4 до 10 m² активне површине колектора, соларног бојлера, цевног система, аутоматике, циркулационе пумпе, сигурносних уређаја (експанциони суд). Цене m² квалитетног соларног колектора се крећу од 80 до 300 евра (вакуумски и преко 400 евра). Јасно је да се ту ради о различитим примењеним технологијама и материјалима. Заједно са соларним бојлером и додатном опремом, минимална цена кућне соларне инсталације (4 m² = 2,8 MWh топлотне енергије на годишњем нивоу) креће се најчешће око 2000 евра. У земљама ЕУ, значајним субвенцијама ова цена се обара чак на испод 1000 евра, с тим да се не нарушава конкуренција између произвођача соларне опреме, чије се цене формирају на тржишту [14].

У Србији, тржиште соларних колектора је прилично неразвијено, јер не постоји тражња. Као што је већ поменуто у одељку, једини специјализовани произвођач соларних колектора код нас је фирма Елсол из Пожаревца, која производи квалитетне соларне колекторе са селективним апсорберима (гаранција 15 година, очекивани животни век 40 година), као и сву пратећу опрему за формирање соларног система. Цена соларног колектора овог произвођача је 135 евра/m² а кућног соларног система (колектори 4 m², бојлер 150 dm³) је 1900 евра (укључен ПДВ). Подаци о колекторима доступни су на интернет страни фирме [34].

На основу извршених анализа у раду, закључено је да се применом соларног колектора највећа уштеда остварује при његовој површини 4 m², када је температура воде 50⁰С а месечна потрошња топле воде 8 m³/s. Тада се за грејање воде на годишњем нивоу потроши 8,30 GJ, односно 2305,5 kWh. Укупна потрошња енергије је 38,8 GJ, односно 10 778 kWh.

У Табели 12. је дата просечна цена електричне енергије у Србији која се купује из електродистрибутивне мреже, за све три тарифе.

Табела 12. *Цена електричне енергије по тарифама*

Електрична енергија	Цена (eur/kWh)
Зелена тарифа (<350 kWh)	0,059
Плава тарифа (351-1600 kWh)	0,089
Црвена тарифа (>1600 kWh)	0,177

Генерисана топлотна енергија на годишњем нивоу износи 8,76 GJ, односно 2434 kWh (или 2,434 MWh) енергије. То би значило да се на дневном нивоу генерише око 6,7 kWh. Уколико се годишња генерисана енергија помножи са ценом од 8,9 евроценти по kWh, на годишњем нивоу се добије уштеда од 217 евра или 25718,84 динара.

Ако би се узела нека просечна цена соларне инсталације од 1500 евра, закључује се да је потребно нешто мање од 7 година како би се почетна инвестиција исплатила.

8. Закључак

Јасно је колику важност енергија има за данашњи свет и колико би њена нестабилност узроковала бројне проблеме у будућности. У том смислу, данас се све више говори о алтернативним облицима енергије због предности које нуде у односу на фосилна горива, али и о примењивању одређених мера које се заснивају на принципима енергетске ефикасности.

Соларна енергија се као највећи обновљиви извор може директно искористити за грејање топле воде у домаћинствима.

Анализирана кућа за четворочлану породицу у Крагујевцу при електричном систему грејања и без изолације троши на годишњем нивоу 73,02 GJ, што је огроман износ. Само додавањем изолације остварује се уштеда од 17,17 GJ енергије на годишњем нивоу.

Применом соларних колектора може да се постигне значајна уштеда енергије за грејање санитарне воде а самим тим и значајна уштеда потрошене енергије. У програму су извршене симулације за следеће параметре: месечна потрошња топле воде, температура воде и површина соларног колектора. Резултати ових варијација дали су најповољније случајеве, односно оне где је највећа уштеда енергије за грејање воде. Закључено је да је то случај где је месечна потрошња топле воде $8 \text{ m}^3/\text{s}$, температура воде $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и површина колектора 4 m^2 . Тада је годишња потрошња енергије за грејање воде 2305,5 kWh, што је у односу на референтни случај уштеда од 44,7 %.

За најповољнији случај, са годишном генерисаном топлотном енергијом од 2434 kWh, период повраћаја инвестиција износи мало мање од 7 година.

Поред уштеде енергије и новца, не треба занемарити еколошки значај обновљивих извора. Соларна енергија је чиста енергија, која за разлику од фосилних горива редукује емисију штетних гасова. Ипак у нашој земљи овакав вид коришћења није довољно развијен, па је потребно интензивирати активности у области енергетске ефикасности и заштите животне средине.

9. Литература

- [1] Интернет страна: <http://interestingenergyfacts.blogspot.com/2008/09/general-energy-facts.html>, приступљено 10.09.2018.
- [2] Интернет страна: https://www.vuka.hr/fileadmin/user_upload/knjiznica/on_line_izdanja/Energetski_strojevi_i_sustavi.pdf, приступљено 15.09.2018.
- [3] Б. П. Инић, М. Д. Бугарчић, Менаџмент развоја обновљивих извора енергије, Стручни рад, Београд, 2014.
- [4] Влада Републике Српске, Министарство индустрије, енергетике и рударства Извештај о енергетској ефикасности Републике Српске, Интернет страна www.vladars.net
- [5] Н. Минић, В. В. Минић, М. Кнежевић, „Методе унапређења енергетске ефикасности у зградарству, Стручни рад, Београд, 2015.
- [6] Интернет страна: file:///C:/Users/natalija/Downloads/www2_uvod_copy.pdf, приступљено 25.09.2018.
- [7] International Energy Agency, Интернет страна: <https://www.iea.org/statistics/index.php?country=WORLD&year=1996&category=Key%20indicators&indicator=TPESbySource&mode=chart&categoryBrowse=false&dataTable=BALANCES&showDataTable=true>, приступљено 21.09.2018.
- [8] Интернет страна: [file:///C:/Users/natalija/Downloads/www2_uvod_copy%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/natalija/Downloads/www2_uvod_copy%20(1).pdf), приступљено 05.10.2018.
- [9] Интернет страна: https://docplayer.net/42891932-4-obnovljivi-energetski-resursi-reneable-energy-resurses-osnove-basic-energija-energy.html#show_full_text, приступљено 05.10.2018
- [10] Интернет страна: http://www.mre.gov.rs/doc/efikasnost-izvori/NAPOIE%20KONACNO%2028_jun_2013.pdf?uri=CELEX:32009L0028, приступљено 06.10.2018.
- [11] А. Јаћимовић, Фотонапонски системи, Мастер рад, Чачак, 2012.
- [12] S. A. Kalogirou, Solar thermal collectors and applications, Progress in Enegy and Combustion Science, No 30, (2004) p. 231 – 295.
- [13] Интернет страна: <http://www.greenhome.co.me/index.php?IDSP=326&jezik=lat>
- [14] Н. Лукић, М. Бабић, Соларна енергија, Монографија, Машински факултет у Крагујевцу, 2008.
- [15] Интернет страна, <http://www.ren21.net/resources/charts-graphs/>

- [16] СХМЗ, Савезни хидро-метеоролошки завод (до 1987. године)
- [17] European Construction Sector Observatory, Интернет страна: http://pzpb.com.pl/wpcontent/uploads/2017/04/ECSO_AR_TO1_v11.3_clean.pdf
- [18] U. Eicker, Solar technologies for buildings, Wiley, West Sussex, 2003.
- [19] Инжењерска комора Србије, Интернет страна: www.ingkomora.org.rs, приступљено 12.10.2018.
- [20] Интернет страна: indicator.sepa.gov.rs, приступљено 10.10.2018.
- [21] International Renewable Energy Agency, Интернет страна: <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=18&subTopic=47>
- [22] Ламбић М., Соларне технологије – топлотни и фотонапонски системи, Београд 2013.
- [23] Интернет страна: http://www.conseko.rs/gfx/soalrna_energija_grejanje1.gif, приступљено 08.10.2018.
- [24] М Петровић, А. Болић, З. Сјенар: Студија изводљивости о могућностима коришћења соларне енергије за потребе добијања топлотне и електричне енергије на подручју града Бијељине и општине Богатић, Бијељина, 2013.
- [25] O.V. Ekechukwu, B. Norton, Review of solar energy drying system III: low temperature air-heating solar collectors for crop drying applications, Energy Conversion & Management 40 (1999) 657-666.
- [26] D. Crawley, L. Lawrie, F. Winkelmann, W. Buhl, Y. Joe Huang, C. Pedersen, R. Strand, R. Liesen, D. Fisher, M. Witte, J. Glazer, EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program, Energy and Buildings 33, 2001, 319–331
- [27] ENERGYPLUS, Input Output Reference - The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output, University of Illinois & Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009
- [28] Lawrence Berkeley National Laboratory. EnergyPlus - Engineering documentation: the reference to EnergyPlus calculations. University of Illinois & Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2001
- [29] R.H. Henninger, M.J. Witte, D.B. Crawley, Analytical and comparative testing of EnergyPlus using IEA HVAC BESTEST E100-E200 test suite, Energy and Buildings 36 (8), 2004, 855–863
- [30] M. Bojić, J. Skerlić, D. Nikolić, D. Cvetković, M. Miletić, Toward future: positive net - energy buildings, 4th IEEE International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources, EXPRES 2012, March 9-10, 2012., Subotica, Serbia, Proceedings, 49-5

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

[32] J. Skerlić, M. Bojić, Optimizing performances of solar collectors by using EnergyPlus and Hooke Jeevs algorithm, 41th International HVAC&R conference, December 1-3. 2010., Belgrade, Serbia, Conference proceedings, 472-479

[33] Т. Pavlović, D. Milosavljević, I. Radonjić, L. Pantić, A. Radivojević, M. Pavlović, Possibility of electricity generation using PV solar plants in Serbia, Renewable and Sustainable Energy Reviews 20, 2013, 201–218

[34] „Елсол“ Пожаревац, интернет страна: <http://elsol.rs/elsol-pozarevac/>.