

Универзитет у Крагујевцу

Факултет инжењерских наука



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Пренос топлоте и масе

Број индекса: 312/2012.

Данило Драган Андрић

Утицај активног соларног система на повећање енергетске ефикасности објекта

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Небојша Лукић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да објасни утицај активног соларног система на повећање енергетске ефикасности објекта. Пре свега треба објаснити шта је енергетска ефикасност објекта и на који начин ће се мењати постављањем соларних пријемника различите ефикасности. Кандидат је у обавези да на основу добијеног прорачуна губитака топлоте и вредности уштеде енергије, остварене соларним пријемницима, одреди период отплате инвестиције активног соларног система.

Препоручена литература:

- [1] Зоран Д. Живковић, Младен Васић, Анђелина Кузмановић, Предлог мера за финансирање енергетске ефикасности у зградарству у Србији, Београд: Грађевинска књига, 2011.
- [2] Слободан Зрнић, Живојин Ћулум, Грејање и климатизација са применом соларне енергије, Нови Сад: Научна књига, 1966. (ISBN 86-23-43015-8).
- [3] Lukuć, N., Babić, M., Solarna energija, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 2008 (ISBN 86-86663-20-7).

Крагујевац, датум

ментор:

Име, презиме и звање ментора

Свом ментору, проф. др Небојши Лукићу захваљујем се на предложеној теми овог мастер рада, која је за мене била веома интересантна и инспиративна. Поред проф. др Небојше Лукића захвалност дугујем и др Новаку Николићу на свесрдној помоћи, саветима и разумевању, које су ми пружили током израде оваг рада.

Захваљујем се свим својим пријатељима и колегама, који су ми на било који начин пружили помоћ и подршку током мог досадашњег студирања. Посебно се захваљујем својој породици и девојци на неизмерној подршци, разумевању и љубави коју ми пружају.

Крагујевац, новембар 2014. године

Данило Андрић

Резиме

Са циљем повећања енергетске ефикасности објекта, у овом раду је испитан утицај четири типа соларних пријемника на смањење потрошње енергије. Смањење потрошње енергије је од великог значаја не само за појединца, већ и глобално, јер се сагоревањем фосилних горива у атмосферу емитује значајне количине гасова стаклене баште, пре свега угљен-диоксида, а такође треба имати у виду да су фосилна горива ограничени ресурс и да се морају користити што рационалније. Управо са оваквом свести имамо могућност побољшања енергетске ефикасности још у фази пројектовања објекта, односно пре његове изградње. У овом раду се користио програмски пакет EnergyPlus, који има могућност да симулира рад ових система у условима приближним реалним. Објекат симулације је зграда са више стамбених јединица корисне грејне површине $152,5 \text{ m}^2$ са локацијом у насељу Бресница, Крагујевац. Као резултати симулације добијена је потребна количина енергије за грејање објекта, која се у зависности од соларног пријемника кретала од $68,54 \text{ kWh/m}^2$ до $77,04 \text{ kWh/m}^2$, а уштеда остварена соларним пријемницима је у границама од 4,65% до 17,63%.

Кључне речи: енергетска ефикасност, активан соларни систем, соларни пријемник.

Abstract

To reduce energy consumption and increase the energy efficiency of a building, in this study, we tested the influence of four types of solar collectors. Reducing consumption of energy is very important not only for the individual, but also globally, as the combustion of fossil fuels into the atmosphere emits significant amounts of greenhouse gases, primarily carbon dioxide, and should also bear in mind that fossil fuels are limited resource and must be used as rationally as possible. If we use this knowledge we will be in position to improve energy efficiency at design stage facility, respectively before his construction. In this study, we used the software package EnergyPlus, which has the ability to simulate the operation of these systems in conditions approximately real. The object of simulation is the building with multiple dwelling units useful heating surface was $152,5 \text{ m}^2$ and location of object was on Bresnica, Kragujevac. As the simulation results we have obtained the required amount of energy for heating the buildin. The range of energy consumption was from $68,54 \text{ kWh/m}^2$ to $77,04 \text{ kWh/m}^2$, and the savings achieved by the solar collector is in the range of 4,65% to 17,63 %.

Keywords: energy efficiency, active solar system, solar collector.

Садржај

1 Увод.....	6
2 Теоријске основе	7
2.1 Енергетска ефикасност у зградарству.....	7
2.2 Панелно грејање – зидни панели.....	9
2.3 Активни соларни систем.....	10
2.4 Energy Plus и Google SketchUP	13
3 Опис објекта.....	14
3.1 Физички опис објекта	14
3.2 Извођење активног соларног система на објекту.....	20
3.2.1 Карактеристике соларних пријемника	22
3.3 Полазни подаци	23
4 Анализа резултата.....	32
4.1 Приказ температура	32
4.2 Потребна количина енергије за грејање.....	34
4.3 Добијена енергија од соларних пријемника.....	36
4.4 Економска анализа.....	41
5 Закључак.....	43
6 Литература.....	44
7 Прилог	45
7.1 Прилог А: Приказ температура[°C].....	45
7.2 Прилог Б: Потребна количина енергије за грејање објекта [kWh/m ²].....	50
7.3 Прилог В: Енергија добијена од соларних пријемника [kWh].....	52

1 Увод

Еволуција човека од најстаријих времена изазивала је у њему захтеве за побољшањем његовог живота, што је доприносило ефекту његовог рада и умног развитака. Данас је и научно доказано до побољшање угодности човековог живота доприноси његовој продуктивности и развоју у сваком погледу. Први услов угодности човека била је температура средине у којој је живео и радио. Грчки филозоф Сократ је ово схватио још у петом веку пре нове ере и пројектовао соларну кућу, која је на јужној фасади максимално користила Сунчево зрачење зими, а лети га искључивала. Ова корисна концепција изградње стамбених објеката у складу са природом, касније је занемарена, што је поред осталог допринело садашњој енергетској кризи. Како се не би понављале грешке из прошлости данас се велика пажња посвећује енергетској ефикасности објекта и мерама за унапређење енергетске ефикасности. Због тога је са циљем повећања енергетске ефикасности објекта испитан утицај четири типа соларних пријемника, две чине застакљени соларни пријемници, док друга два представљају вакуумске соларне пријемнике. Три панела соларног пријемника истог типа постављена су на јужној страни објекта и укључена у систем грејања, који у овом случају чине зидни панели постављени на најхладнијим, спољним зидовима. Идеја је да се прикаже који пријемник ће показати најбоље резултате, односно који ће пријемник надоместити највећу количину енергије за грејање објекта. Управо из разлога да се оствари што већа уштеда енергије долази до комбинације панелног система грејања и соларних пријемника. Соларни пријемници се наравно могу комбиновати и са радијаторским грејањем али су уштеде знатно мање. У пракси је ситуација да уколико се постављају соларни пријемници за грејање објекта они истовремено служе и за производњу санитарне топле воде. Ова чињеница не важи у овом случају што значи да се соларни пријемници користе само за грејање објекта. Како би резултати били што ближе реалним користио се програмски пакет EnergyPlus, који има могућност симулирања рада ових система. За добијене резултате биће извршена анализа на основу које ће се знати да ли је економски исплативо горе наведено.

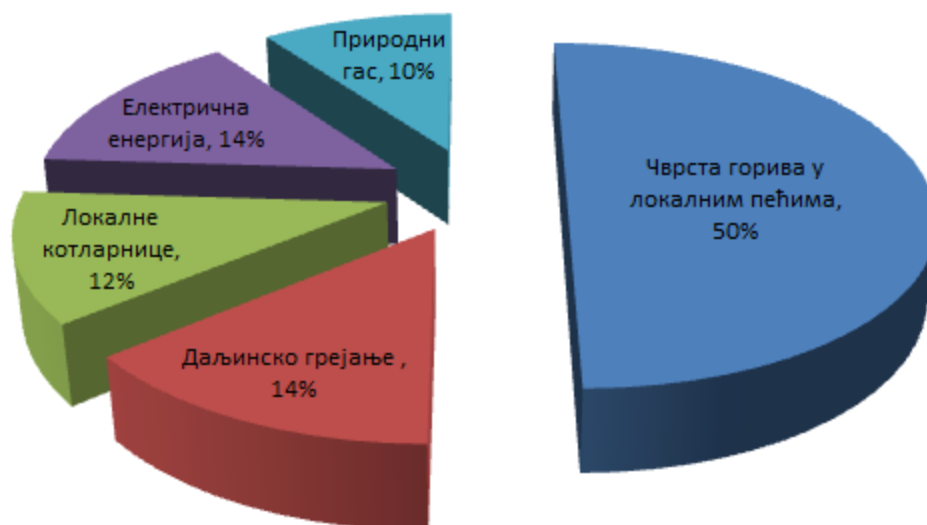
2 Теоријске основе

2.1 Енергетска ефикасност у зградарству

Под појмом енергетска ефикасност подразумевамо ефикасну употребу енергије у свим секторима крајње потрошње енергије: индустрија, саобраћај и зградарство. Важно је истаћи да се енергетска ефикасност никако не сме посматрати као штедња енергије. Наиме, штедња увек подразумева одређена одрицања, док ефикасна употреба енергије никада не нарушава услове рада и живљења. Даље, побољшање ефикасности потрошње енергије не подразумева само примену техничких решења? Штавише, свака технологија и техничка опрема, без обзира колико ефикасна била, губи то своје својство уколико не постоје едуковани људи који се њоме знају служити на најефикаснији могући начин. Према томе, може се рећи да се енергетска ефикасност односи на свест људи и њиховој вољи за променом устаљених навика према енергетски ефикасним решењима. Стога је и приликом давања препоруке за побољшање енергетске ефикасности најпре потребно размотрити навике потрошача и усмерити их ка с(а)веснијим изборима. Такве су мере бесплатне, а заиста могу донети значајне уштеде. Тек када је ниво свести потрошача о потреби ефикасне употребе енергије развијена, потребно је потрошача усмерити на нове, техничке мере за смањење потрошње енергије, о чијој примени се одлучује на темељу њихове исплативости, а чиме ће се уз енергетску постићи и економска исплативост.

Зграде су највећи појединачни потрошачи енергије, са тенденцијом пораста у складу са порастом стандарда становништва. У Европској унији се око 41% финалне енергије троши у зградарству, поред тога зграде су и велики загађивачи животне средине, јер такав тренд доводи до повећања потрошње енергије и емисије угљен-диоксида. Управо зато, енергетска ефикасност у зградарству јесте област која има највећи потенцијал за смањење потрошње енергије. Успостављање механизма који ће да обезбеде трајно смањење потрошње енергије у новим зградама (нов начин пројектовања, коришћење нових материјала) и правилно реконструисање постојећих зграда, јесте главни циљ енергетске ефикасности у зградарству.

Република Србија је суочена са великим проблемима везаним за енергију: недостатак енергије и несигурност у снабдевању енергијом, сталан раст цена енергије и енергената, сталан раст потрошње, како топлотне енергије за грејање објекта, тако и енергије за хлађење, посебно растом стандарда и масовним увођењем климатизације у зградама, застарелост технологије, као и неопходна реконструкција у чак 95% енергетских постројења. Због чињенице да зграде, као највећи потрошачи енергије имају велики енергетски и еколошки утицај, енергетска ефикасност, одржива градња и могућност употребе обновљивих извора енергије намећу се као приоритети савремене градње и енергетике, те је потребно да Република Србија ове захтеве имплементира у сопствено законодавство.



Слика 1. Начин загревања зграда у Републици Србији [1]

Што је боља термичка изолација и заптивеност прозора и врата, а мањи фактор облика, потребна инсталисана снага система за грејање ће бити мања. У нашим зградама она је за данашње енергетске и еколошке захтеве изузетно велика. У просеку гледано инсталисана снага грејних система је око 145 W/m^2 , што значи да пројектована потрошња за грејање без топле санитарне воде износи преко 200 kWh/m^2 у просечној години и то под идеалним условима одржавања грејне инсталације и функционисања регулације, као и задовољавајућој заптивености зграде. У пракси имајући у виду квалитет регулације и оджавање саме инсталације и зграде, степен корисности котлова у реалним условима одржавања и квалитет изолације грејних цевовода, просечна потрошња зграда прикључених на даљинско грејање је око 400 kWh/m^2 [1].

У средње европским земљама са климатским условима сличним или нешто оштријим од наших, данас се граде објекти са годишњом потрошњом енергије за грејање, топлу воду, климатизацију и осветљење мањом од 100 kWh/m^2 , а у огледним објектима у Енглеској и Немачкој постигнуто је и мање од 50 kWh/m^2 .

Начини загревања зграда у Републици Србији се могу видети на слици 1. Износ од 26% укупне површине се загрева из система даљинских грејања и локалних котларница са централним грејањем (14% из даљинских система и 12% из локалних котларница), 14% из електроенергетског система, 10% из система природног гаса и 50% укупних површина користи чврста горива у локалним пећима (угаљ, огревно дрво, биомаса из пољопривреде, отпад и др.) [1].

Бројна истраживања и пилот пројекти у свету су показали да је побољшање енергетске ефикасности у зградарству једна од технолошки најмање захтевних и најисплативијих метода за смањење емисије гасова стаклене баште. Израчунавањем смањења емисије CO_2 на основу постојећих прогноза смањења потрошње енергије у случају побољшања топлотне заштите стамбених објеката, показало се да може значајно допринети испуњавању међународних преузетих циљева на које се обавезала Република Србија као чланица Кјото протокола. Количина смањења емисија зависи од динамике и обима вршења реконструкције објеката.

2.2 Панелно грејање – зидни панели

Панелно грејање спада у врсту централног грејања код кога улогу радијатора врше велике грејне површине. Са ових површина топлота се углавном одаје зрачењем. Према својој конструкцији грејне површине панелних грејања могу бити у виду великих плочастих радијатора, који су причвршћени о зидове са малим растојањем од њих, или су то сами зидови, плафони или подови у којима су уграђени системи грејача. Према томе панелно грејање може бити зидно, плафонско или подно. Такође постоји могућност међусобне комбинације горе наведених. Како се зрачењем, које је претежно код ове врсте грејања, не загрева околни ваздух директно, него преко предмета, онда сви околни предмети и граничне површине које не служе као грејне површине имају већу температуру него околни ваздух, изузимајући хладне спољне зидове и прозоре. Услед овога је и одавање топлоте човечијег организма мање него у просторијама које се загревају обичним радијаторима. Имајући у виду још и да пространост грејних површина ових система грејања омогућава њихове ниже температуре може се закључити да је панелно грејање угодније и боље у хигијенском погледу. Ако је у једној загрејаној просторији температура ваздуха t_1 а температура околних површина t_2 , онда је код радијаторског грејања $t_1 > t_2$, а код панелног $t_2 > t_1$, што је у погледу угодности повољније за човечији организам [2].

Зидно грејање је варијанта панелног грејања (слика 2). Интересантно је у естетском погледу нарочито у комбинацији са неким другим системом грејања. Најједноставнији облик овог грејања је са грејачима у виду металних плоча између којих су грејне цеви у непосредном контакту са њима. Ови склопови су узидани у нивоу површине зида. Панелни грејачи у зиду се стављају до 1,5m висине. Конвекција код ове врсте грејања долази до већег изражаја него код плафонског. Врло добри резултати се постижу и када се зидни панели комбинују са плафонским панелима и у оваквим комбинацијама обавезно је издвајање токова појединих система, чиме се могу применити различите температуре флуида и бољи ефекат регулисања. Ове комбинације су нарочито погодне у подручјима где су прелазна доба дужег трајања.



Слика 2. Приказ зидних панела

2.3 Активни соларни системи

На почетку треба напоменути да је битно разликовати соларне системе од пријемника Сунчеве енергије. Соларни системи представљају целокупну инсталацију дефинисану за коришћење соларне енергије, док соларни пријемници представљају само део соларног система. Поделу соларних система можемо извршити на:

- активне системе,
- пасивне системе.

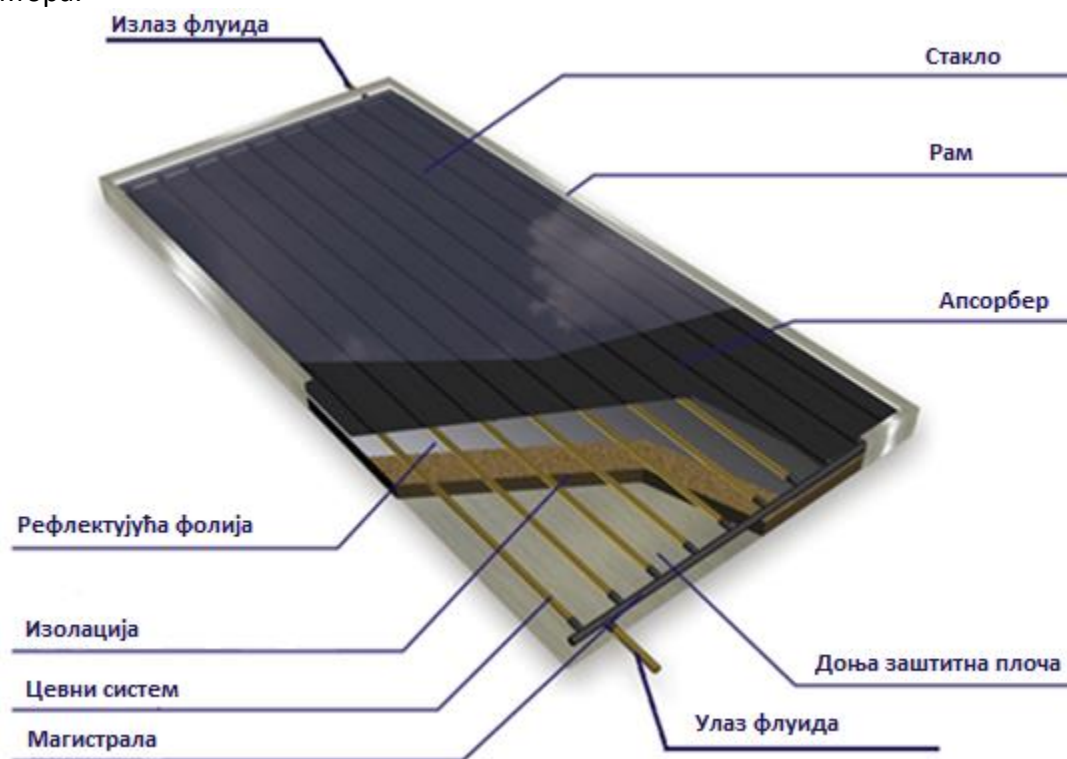
Активни соларни системи су постројења за коришћење соларне енергије. Главни део овог система је пријемник, који има улогу да трансформише енергију Сунца, а остали делови система зависе од његове намене.

Равни водени соларни пријемници су најједноставнији уређаји помоћу којих се глобално Сунчево зрачење може апсорбовати и претворити у топлоту. Равни водени соларни пријемник се састоји (слика 3) од стаклене плоче, апсорбера, изолације и кућишта.

Принцип функционисања је једноставан. Сунчево зрачење које пада на соларни пријемник, 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 (радни флуид) преузима топлотну енергију, на одговарајућем температурном нивоу. Што је радна температура виша, виши су и топлотни губици у околину, што се делимично умањује добром изолацијом која се налази у кућишту пријемника. 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 соларног пријемника.

Апсорбер равних соларних пријемника треба да има следеће карактеристике: што је могуће већи коефицијент апсорбције за краткоталасно 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. Апсорберске плоче се најчешће деле у две групе: неселективне и селективне апсорбере. Неселективни апсорбер има, практично, идентичне вредности коефицијента апсорбције краткоталасног и емисије дуготаласног зрачења. Основни материјал апсорбера је метал високе топлотне проводљивости, бакар, алуминијум или нерђајући челик. Као материјал апсорбера ређе се користе пластични материјали и то само за нискотемпературне соларне пријемнике. Неселективни апсорбери одлично апсорбују Сунчево зрачење, али и интензивно зраче краткоталасно зрачење што повећава топлотне губитке соларног пријемника. Да би се ова појава елиминисала, нарочито у соларним пријемницима који раде на високим температурама, примењују се селективни апсорбери, који су ефикаснији, али имају и знатно вишу цену. Класичан селективни апсорбер се састоји од горњег врло танког слоја, филма (који се мери микрометрима) материјала који одлично апсорбује краткоталасно зрачење, а минимално емитује дуготаласно зрачење. Ово зрачење површински филм апсорбера пропушта, најчешће, до рефлектујуће металне површине апсорбера и огледала постављеног изнад апсорбера, које пропушта дуготаласно, а рефлектује краткоталасно зрачење. Зависно од карактеристика и намене, тј. радне температуре равних водених

соларног пријемника, разликује се и примењена изолација. За пријемнике који раде на вишим температура 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, типа полистирена (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 од 40-60 mm укупне изолације. Застакљење може бити једноструко и двоструко, а ретко троструко, а има улогу образовања ефекта стаклене баште, као и заштита од спољашњих метеоролошких утицаја. Класично стакло поседује висок коефицијент дијатермије (високу транспарентност) за краткоталасно Сунчево зрачење док у случају дуготаласних нискотемпературних зрачења таласних дужина 5-50 μm стакло се практично понаша као апсолутно црно тело. Због велике густине знатно увећава укупну масу колектора.

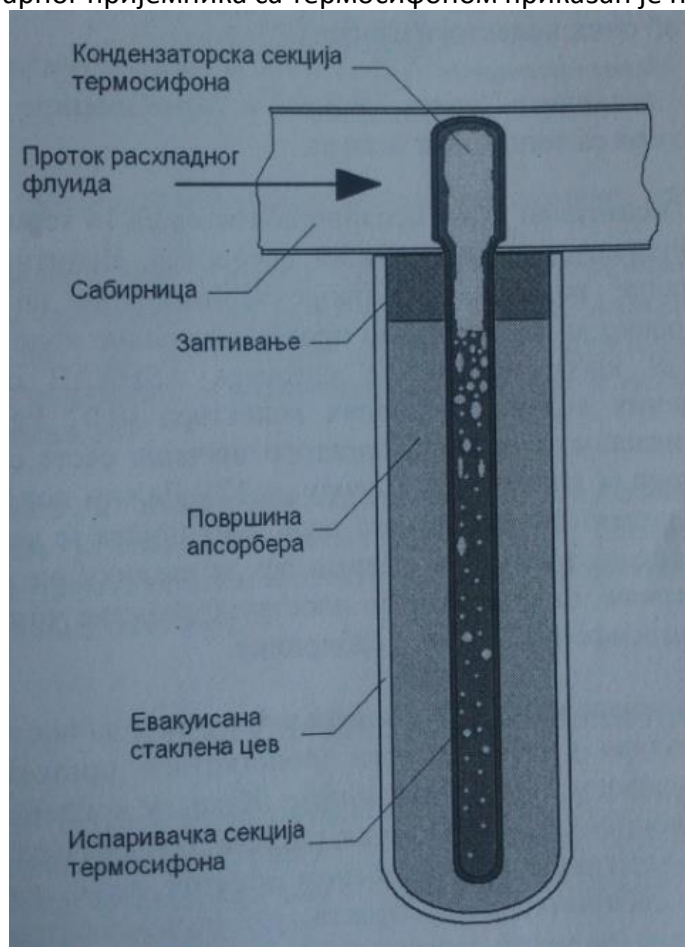


Слика 3. Раван водени застакљени соларни пријемник

Поред равних водених соларних пријемника у раду су коришћени и вакуумски соларни пријемници. Постоје више различитих конструкција вакуумских соларних пријемника (Evacuated tube collectors – ETC) Заједничко им је то да између стаклене површине и апсорбера постоји безваздушни (вакуумски) слој, који је реализован ради смањења губитака соларног пријемника на вишим радним температурама.

Вакуумски водени соларни пријемници са топлотним цевима, представљају конструкцију у којој је спојена соларна и технологија топлотних цеву. Топлотне цеву су ефикасни преносници топлотне снаге у аксијалном правцу. Свака топлотна цев (потпуно

затворена запремина) састоји се од тела, радног флуида и фитиља. У једном делу топлотне цеви радијално се доводи топлота и радни флуид под одређеним условима (притисак и температура) испарава. Ово је испаривачка секција. Пара радног флуида струји до другог краја топлотне цеви (транспортни део топлотне цеви се назива адијабатска секција), где се она радијално хлади, а радни флуид се кондензује. Тај део представља кондензаторску секцију топлотне цеви. Кондензат се враћа у испаривачку секцију уз помоћ капиларних сила које се јављају у фитиљу, специјалном порозном унутрашњем омотачу топлотне цеви. На овај начин кондензат се може слати у испаривач, без обзира на положај топлотне цеви (супротно од гравитационих сила на пример). У случају да се кондензат у испаривачку секцију враћа само уз помоћ гравитационе силе, положај топлотне цеви у односу на смер силе земљине теже је ограничен и тада се ради о најједноставнијој конструкцији топлотне цеви, термосифону. Када се каже вакуумски соларни пријемник са топлотном цевом, мисли се пре свега на термосифон, принцип функционисања соларног пријемника са термосифоном приказан је на слици 4.



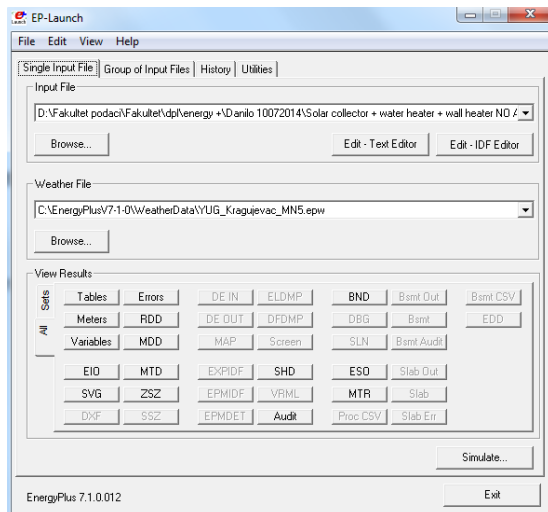
Слика 4. Вакуумски соларни пријемник са топлотном цевом (термосифоном) [3]

Монтажа соларних пријемника се може вршити на крову, фасади објекта, дворишту или на било ком другом погодном месту. Приликом монтаже мора се водити рачуна о постизању задате ефикасности соларног пријемника, што у ствари представља његова оријентација, (i) и нагиб, (G) такав да прима највећу могућу количину Сунчевог

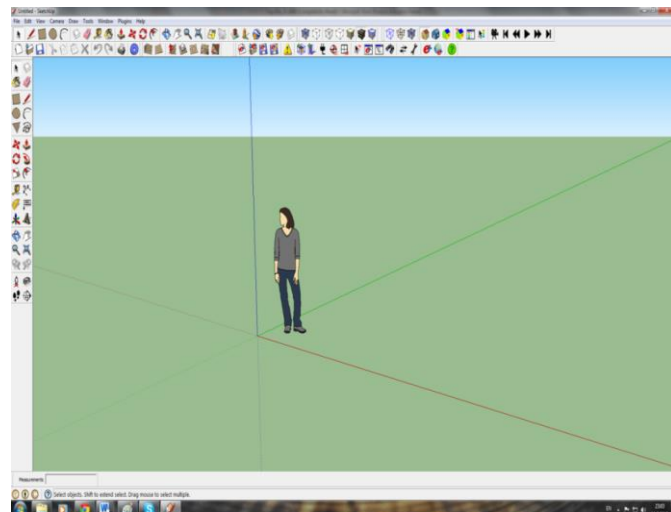
зрачења, односно да је угао нормале његове површине (раван соларни пријемник) и правца Сунчевог зрака што мањи, по могућству једнак нули. Уколико се ради о фиксном соларног пријемнику, његова оријентације је одређена смером југа (северна хемисфера), а нагиб се одређује тако да у току године панел прими максимално могућу количину зрачења. То није једноставан задатак, с обзиром на Сунчево, дневно и годишње кретање на небеској сфери. Постоје више метода одређивања оптималног нагиба соларног пријемника. Најстарији и најпримењиванији метод је према географској ширини φ . Углавном се препорке групишу око нагиба панела који је једнак $G = \varphi + (10^\circ \div 30^\circ)$ [3].

2.4 EnergyPlus и Google SketchUp

EnergyPlus (слика 5) је програм за симулацију и анализу енергетских и термичких оптерећења грађевинских објеката. На основу описа објекта, физичком изгледу зграде, повезаних механичких и других система, EnergyPlus прорачунава енергију потребну за грејање и хлађење објекта у оквиру предвиђених оптималних вредности температура, као и потрошњу енергије примарног постројења са опремом. EnergyPlus је програм који опонаша реалне услове „микроклиме“ и енергетских потреба једног објекта. Google SketchUp (слика 6) је 3D софтвер за моделирање. Једноставан је за употребу, брз и прецизан. Употребом Google SketchUp-а 3D кориснику је на располагању могућност приказивања мноштва детаља, комуникација са сарадницима и online публиковања радова. Употребом посебног plug-ина омогућава се коришћење овог програма у EnergyPlus окружењу [4].



Слика 5. Окружење EnergyPlus-а



Слика 6. Окружење Google SketchUp-а

3 Опис објекта

3.1 Физички опис објекта

Имајући у виду податке, који садржи овај рад, о потрошњи енергије, уштеде остварене соларним пријемницима и могућности реализације активног соларног система у пракси, користио се модел објекта (куће) аутора рада.

Локација куће је у приградском насељу града Крагујевца, корисне површине 305m² и постављена је као слободно стојећа са све четири слободне фасаде (слике 7 и 8). Умерено изложена ветровима.

Југо-западни и источни део куће је у току летњих месеци заштићен листопадним дрвећем од утицаја Сунчевог зрачења. Објект на приземљу садржи (слика 9): дневну собу са нишом, две спаваће собе, ходник, оставу и купатило (табела 1), а на спрату садржи (слика 10): дневну собу са нишом, три спаваће собе, ходник, оставу и купатило (табела 2). Кров је на две воде и са правцем простирања исток-запад.



Слика 7. Јужна фасада објекта

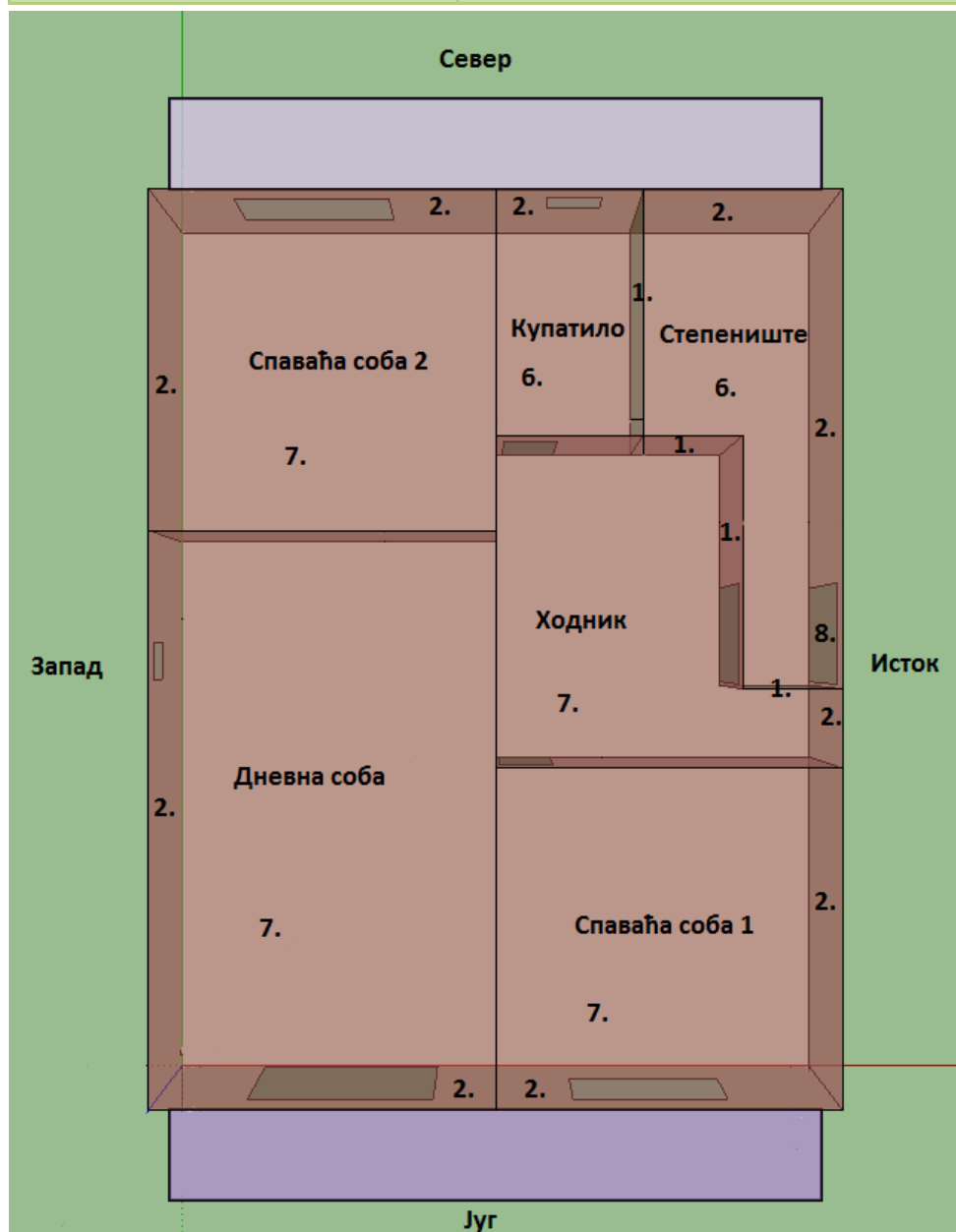


Слика 8. Југоисточна фасада објекта

Кућа је пројектована у компактној форми, а топлотно зонирање није посебно наглашено. Структура зграде је рађена као средње тешки тип градње са носећом хоризонталном и вертикалном армиранобетонском конструкцијом и зиданим фасадним испунама. Фасада је зидана са термоизолацијом и пуном циглом као испуном. Оваква структура куће обезбеђује довољан топлотни капацитет. Све собе у кући имају природно осветљење и вентилацију са прозорима.

Табела 1. Површина просторија приземља

Просторија	Површина [m ²]
Дневна соба	31,98
Спаваћа соба 1	18,86
Спаваћа соба 2	18,86
Ходник*	14,37
Купатило	5,82
Степениште*	11,8
Укупно	101,69

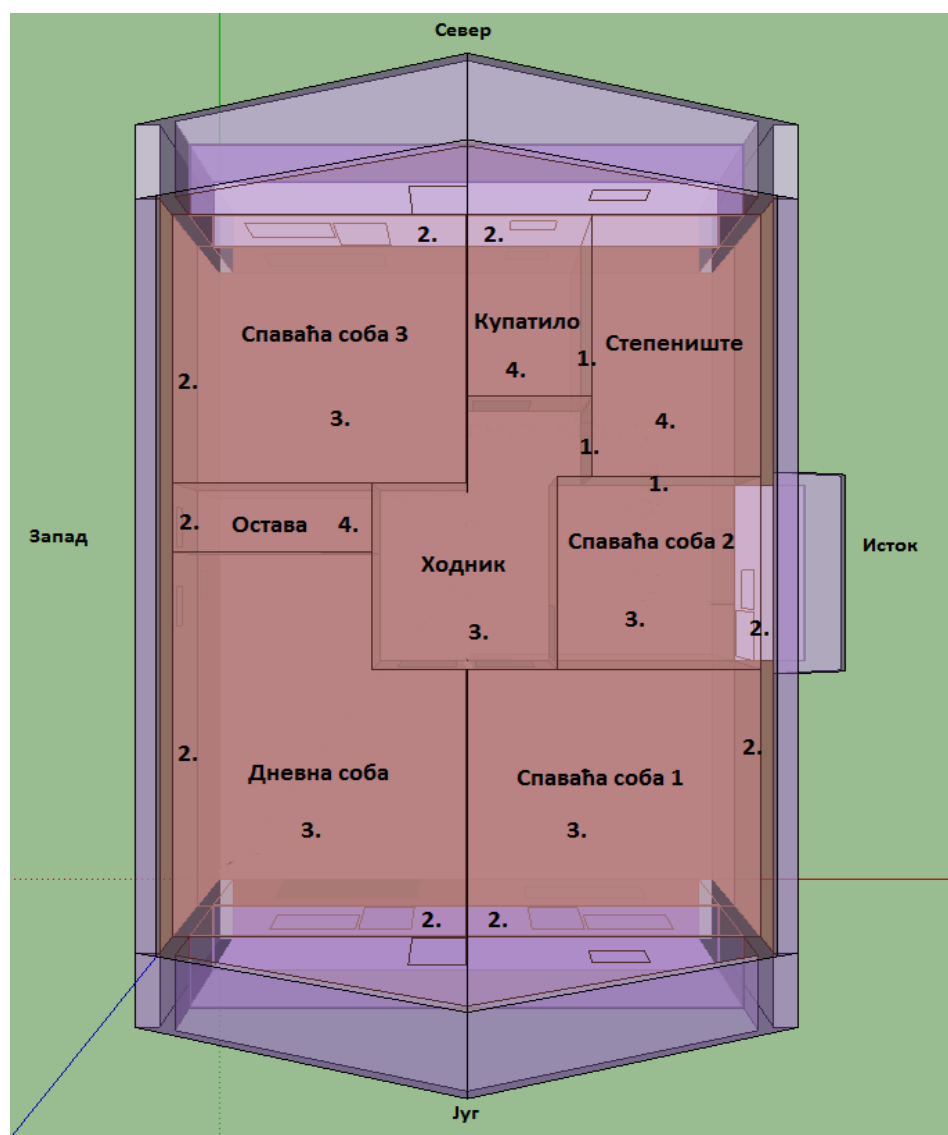


Слика 9. Распоред просторија приземља

Љубичасти елементи на слици 9 и 10 представљају надстрешнице и терасе.

Табела 2. Површина просторија спрата

Просторија	Површина [m ²]
Дневна соба	24,45
Спаваћа соба 1	18,86
Спаваћа соба 2	9,38
Спаваћа соба 3	18,86
Остава*	3,33
Ходник*	10,82
Купатило	5,44
Степениште*	10,55
Укупно	101,19



Слика 10. Распоред просторија спрата

* Негрејан простор објекта.

У табели 3 може се видети целокупан примењени грађевински материјал, са спецификационим карактеристикама у погледу густине, дебљине, специфичне топлоте и коефицијента провођења топлоте, који се користио у прорачуну.

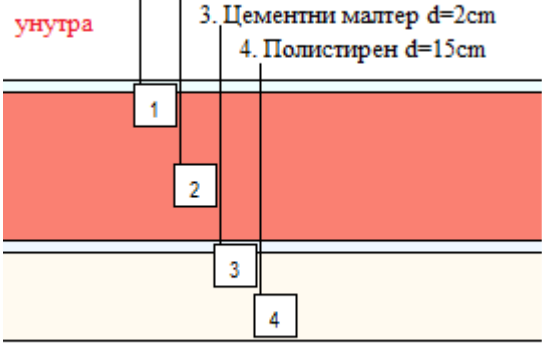
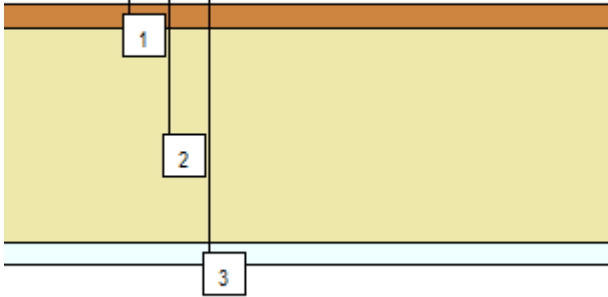
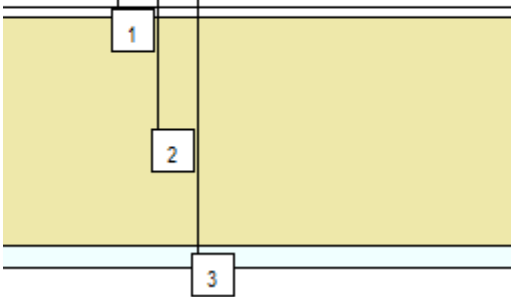
Табела 3. Грађевински материјал који се користио у прорачуну

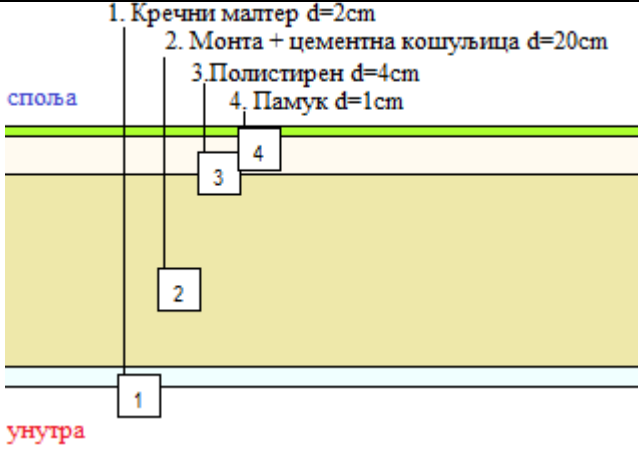
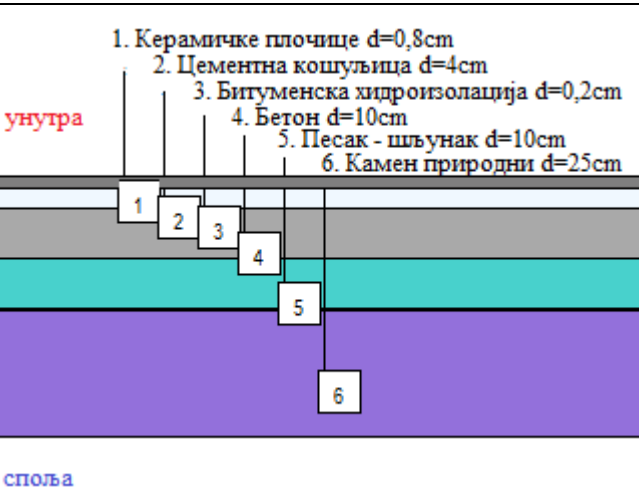
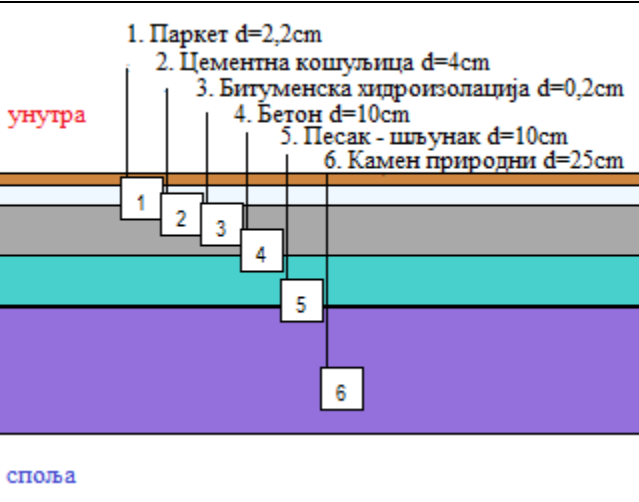
Материјал	Густина ρ (kg/m^3)	Дебљина δ (m)	Специфична топлота c (J/kgK)	Коефицијент провођења топлоте λ (W/mK)
Цементна кошуљица	2100	0,04	1050	1,4
Камен	2000	0,25	920	1,16
Шљунак	1700	0,2	840	0,81
Кречни малтер	1600	0,02	1050	0,81
Паркет	700	0,02	1670	0,21
Монта	1200	0,16	920	0,6
Пуна опека	1600	0,2	920	0,64
Полистирен	20	0,06	1260	0,041
Керамичке плочице	1700	0,015	920	0,87
Битумен	1100	0,01	1050	0,19
Памук	20	0,01	840	0,04

Грађевинске конструкције које узимају у обзир површину, тренутни коефицијент пролаза топлоте са њиховим елементима су приказани у табели 4. Свака грађевинска конструкција је обележена редним бројем ради лакшег праћења на слици 9 и 10.

Табела 4. Састав грађевинске конструкције

Грађевинска конструкција	Елементи грађевинске конструкције
1. Унутрашњи зид према негрејаном простору Површина: 31,2[m²] Укупни коефицијент пролаза топлоте U: 1.536[W/m²K]	1. Кречни малтер d=2cm 2. Пуна опека d=25cm 3. Кречни малтер d=2cm унутра споља

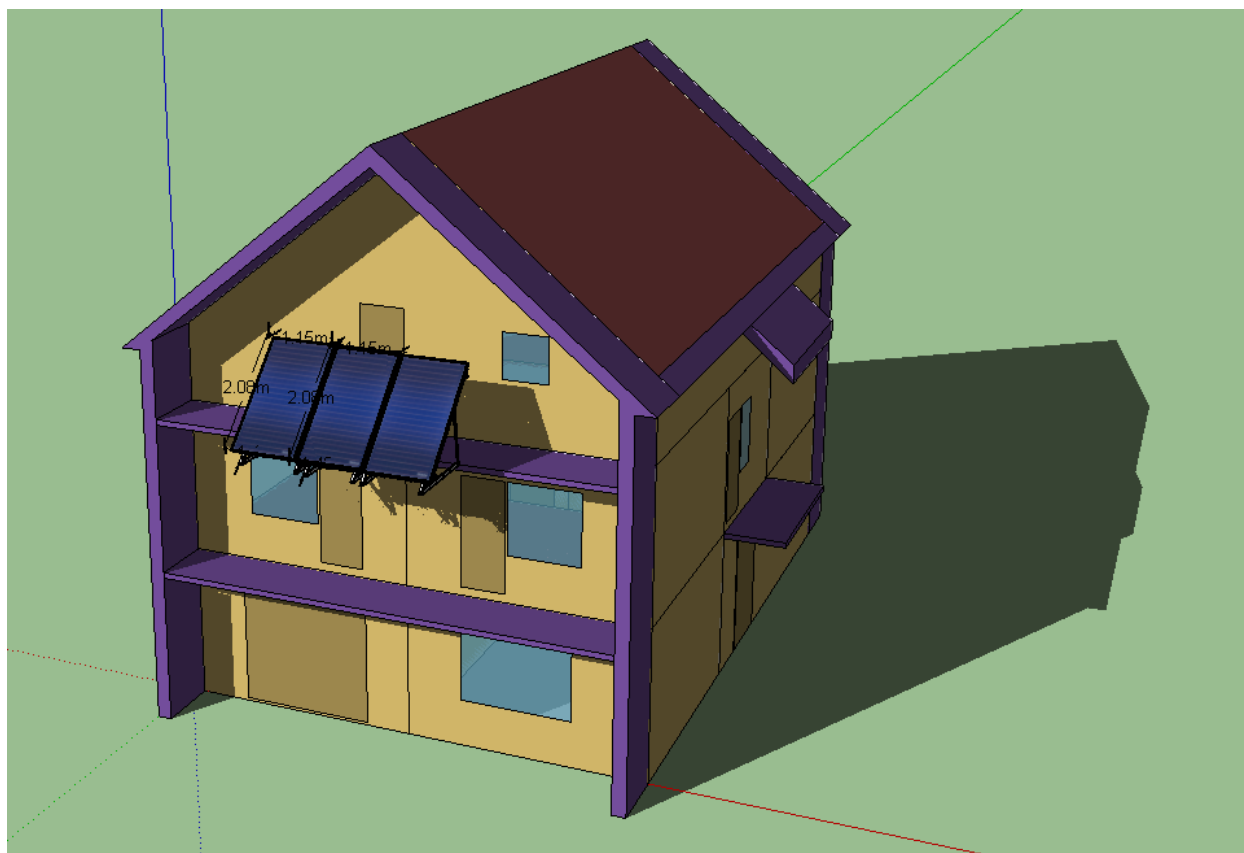
2. Спољашњи зид Површина: 196[m²] Укупни коефицијент пролаза топлоте U: 0.235[W/m²K]	1. Кречни малтер d=2cm 2. Опека пуна d=25cm 3. Цементни малтер d=2cm 4. Полистирен d=15cm  унутра споља
3. Међуспратна конструкција између грејаних простора различитих корисника (паркет)(спрат/приземље) Површина: 81,87[m²] Укупни коефицијент пролаза топлоте U: 1,745[W/m²K]	1. Паркет d=2,2cm 2. Монта + цементна кошуљица d=20cm 3. Кречни малтер d=2cm  Унутра Споља
4. Међуспратна конструкција између грејаних простора различитих корисника (плочице)(спрат/приземље) Површина: 19,32[m²] Укупни коефицијент пролаза топлоте U: 2,096[W/m²K]	1. Керамичке плочице d=0,8cm 2. Монта + цементна кошуљица d=20cm 3. Кречни малтер d=2cm  Унутра Споља

5. Међуспратна конструкција испод негрејаног простора (поткровље/спрат) Површина: 90,64[m²] Укупни коефицијент пролаза топлоте U: 0,583[W/m²K]	 1. Кречни малтер d=2cm 2. Монта + цементна кошуљица d=20cm 3. Полистирен d=4cm 4. Памук d=1cm споља унутра
6. Под на земљи плочице Површина: 26,17[m²] Укупни коефицијент пролаза топлоте U: 1,597[W/m²K]	 1. Керамичке плочице d=0,8cm 2. Цементна кошуљица d=4cm 3. Битуменска хидроизолација d=0,2cm 4. Бетон d=10cm 5. Песак - шљунак d=10cm 6. Камен природни d=25cm унутра споља
7. Под на земљи паркет Површина: 75,52[m²] Укупни коефицијент пролаза топлоте U: 1,403[W/m²K]	 1. Паркет d=2,2cm 2. Цементна кошуљица d=4cm 3. Битуменска хидроизолација d=0,2cm 4. Бетон d=10cm 5. Песак - шљунак d=10cm 6. Камен природни d=25cm унутра споља
8. Спољна врата Површина: 3,2[m²] Укупни коефицијент пролаза топлоте U: 2,5[W/m²K]	

Прозори и балконска врата грејаних просторија Површина: 34[m ²] Укупни коефицијент пролаза топлоте U: 3[W/m ² K]	Стакло 4mm Ваздух 12mm Стакло 4mm
--	---

3.2 Извођење активног соларног система на објекту

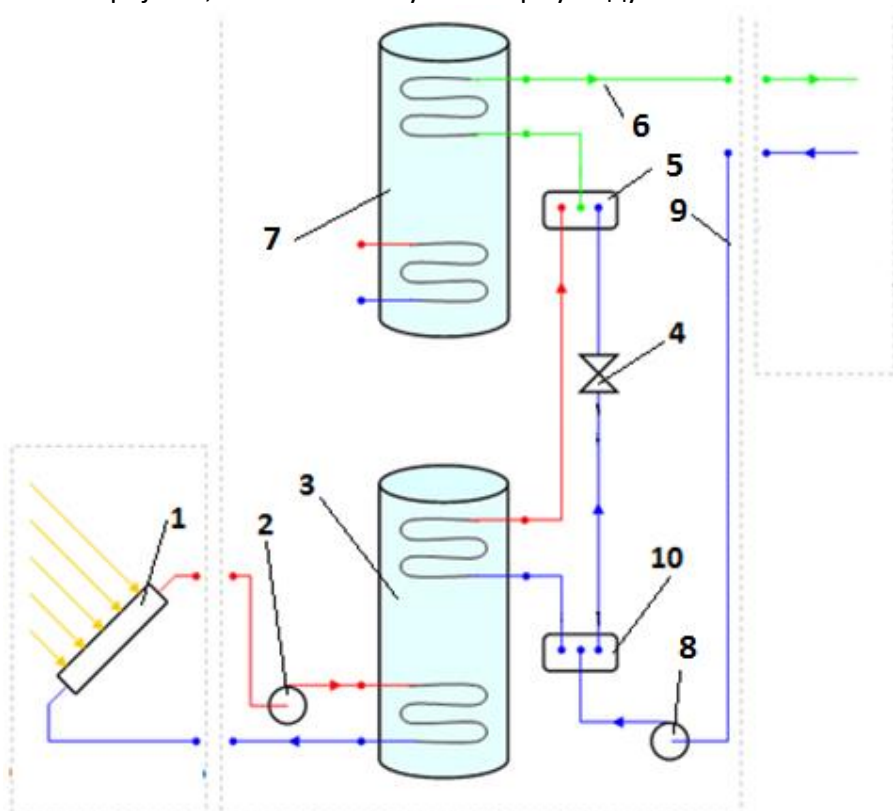
Сама суштина рада огледа се у томе колико ће се уштедети енергије за грејање објекта постављањем једног од четири типа соларних пријемника. Прва два типа представљају равне застакљене соларне пријемнике, а друга два су у категорији вакуумских соларних пријемника. На слици 11 приказан је објект са соларним пријемницима. Као што се може видети постављена су три панела соларног пријемника истог типа, површине 2,8 m² сваки. Оријентација пријемника је према југу под нагибом од 37,5° који је препоручен за Крагујевац [5].



Слика 11. Изглед објекта - модел

Функционисање система грејања у кући је следеће (слика 12). Сунчеви зраци падају на соларни пријемник 1, пролазе кроз стаклену плочу и највећим делом се апсорбују на површини апсорбера. Провођењем кроз апсорбер и конвекцијом у интегрисаним цевима

вода преузима топлотну енергију, на одговарајућем температурном нивоу. Зависности од ефикасности соларног пријемника, врсте апсорбера, изолације кућишта, вода преузима већу или мању количину топлоте. Уз помоћ пумпе 2 топла вода се преноси до резервоара 3 који у зависности од површине соларних пријемника има различиту запремину, углавном се запремина израчунава $V_{rez}=50(l) \cdot P_{pr}(m^2)$, где је P_{pr} – површина соларног пријемника. У зависности од задате температуре флуида у систему, вода се из резервоара преко регулационог вентила 4 (регулација се одоси на температуру) и сабирника 5 шаље директно преко цеви 6 у зидне панеле или у котао 7, односно примарни извор енергије, на догревање и тако у круг. Воду кроз систем грејања погони друга пумпа 8 која охлађену воду 9 враћа преко разделника 10 у резервоар и процес иде из почетка. Улога соларног пријемника у једном оваквом систему је управо догревање воде и уштеда енергије коју би потрошио котао. Зато се и води рачуна да се колектори везују у систем са панелним грејањем, било подним, зидним или плафонским, управо из разлога јер је температура флуида која тече цевима до 40°C. Соларни панели се могу везивати и у системе са радијаторским грејањем али уштеда енергије би била значајно мања него код панелног грејања. Котао као гориво за производњу топлотне енергије у овом случају користи гас, а такође је могуће користити и електричну енергију и чврсто гориво. Треба напоменути да овакав систем топлу воду произведену од стране соларних пријемника користи искључиво за грејање, а не као топлу санитарну воду.



Слика 12. Шема функционисања активног соларног система

1 – соларни пријемник, 2 – пумпа која погони воду кроз соларни пријемник, 3 – резервоар, 4 – регулациони вентил, 5 – сабирник, 6 – улаз воде у зидне панеле, 7 – котао, 8 – пумпа у систему грејања, 9 – излаз воде из зидних панела, 10 – разделник.

3.2.1 Карактеристике соларних пријемника

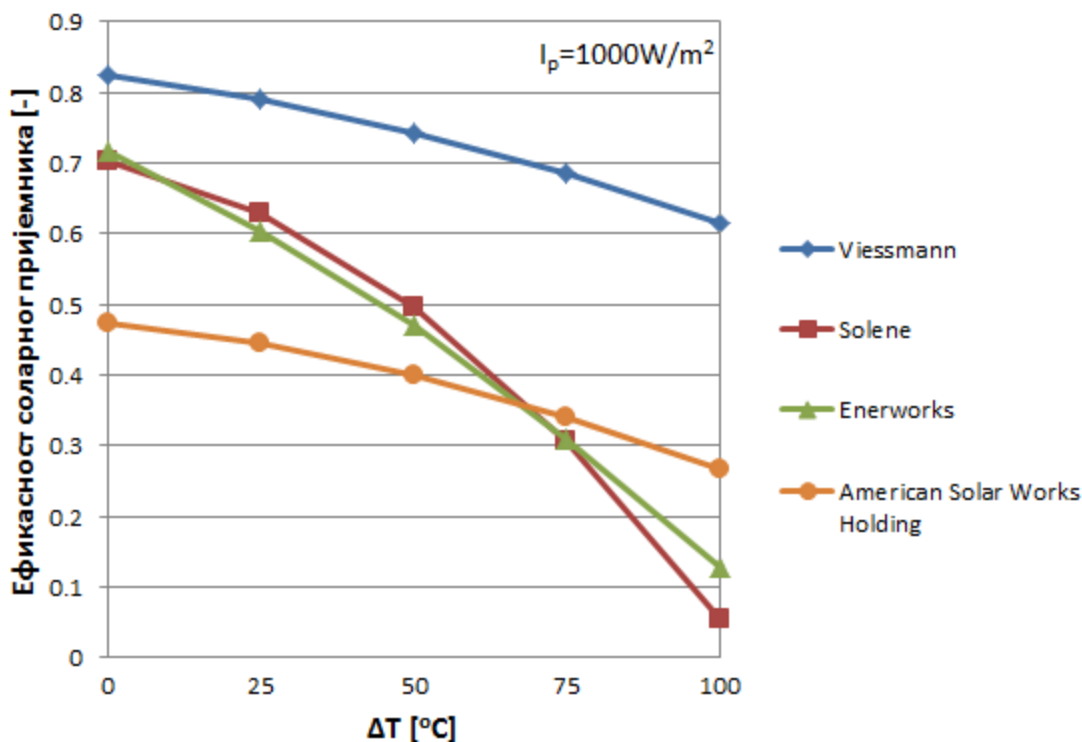
Застакљене равне соларне пријемнике чине: Enerworks Inc (COL-4x8-TL-SG1-SD10US) и Solene (SLCR-30), а вакуумске: American Solar Works Holding ASW52B (представља једну од првих генерација вакуумских соларних пријемника) и Viessmann Manufacturing (Company US Inc Type SP3 2m²), који је у категорији вакуумских соларних пријемника последње генерације, високе ефикасности. Enerworks Inc, Solene и American Solar Works Holding представљају пријемнике који су узети из библиотеке EnergyPlus-a, док Viessmann Manufacturing је преузет са званичног сајта компаније Viessmann [6]. У следећој табели (табела 5) су приказане карактеристике горе наведених пријемника, а на слици 13 криве ефикасности. На дијаграму ефикасности соларних пријемника може се видети да са порастом ΔT (разлика температуре радног флуида на улазу у соларни пријемник и спољне температуре) ефикасност соларних пријемника опада.

Табела 5. Карактеристике соларних пријемника

	Enerworks Inc	Solene	American Solar Works Holding	Viessmann Vitosol 300
Модел	COL-4x8-TL-SG1-SD10US	SLCR-30	ASW52B	SP3 2m ²
Површина стакла [m ²]	2,8741	2,8149	2,8638	2,83
Дужина, ширина, висина [cm]	2438*1219*76	2184*1270*76	2286* 1950*152	1996*1419*122
Маса [kg]	50	50	62	45
Број цеви по колектору	/	/	22	20
Апсорбер	Селективна боја	Црни хром	Алуминијум нитрид	Распршени Цермет**
Оптичка ефикасност γ [-]	0,7166	0,704	0,474	0,825
Коефицијент губитка топлоте K_{g1} [W/(m ² K)]	-4,0141	-1,7983	-0,8937	-1,19
Коефицијент губитка топлоте K_{g2} [W/(m ² K ²)]	-0,01872	-0,04697	-0,01177	-0,009
Радни притисак [bar]	5,2	10	8	6
Модификатор упадног угла I_{AM} (50 °C)	0,92	0,82	0,96	1,02

**

Цермет представља материјал који се састоји од метала (углавном се користе никл, кобалт и молибден) ојачан честицама керамике



Слика 13. Зависност ефикасности соларног колектора од $\Delta T [^{\circ}C]$, при зрачењу сунца од $1000 [W/m^2]$

Ефикасност соларног пријемника, η_{sk} (-), која у највећој мери зависи од дозраченог топлотног флуksа I_p и температурне разлике ΔT , израчунава се на следећи начин:

$$\eta_{sk} = \gamma + K_{g1} \cdot \frac{\Delta T}{I_p} + K_{g2} \cdot \frac{\Delta T^2}{I_p} \quad (1.1)$$

где је γ (-) оптичка ефикасност, а K_{g1} (W/m^2K) и K_{g2} (W/m^2K^2) одговарајући коефицијенти губитака соларног пријемника [3].

3.3 Полазни подаци

За симулацију енергетског понашања објекта коришћен је софтвер EnergyPlus у оквиру којег је могуће дефинисати архитектуру, параметре објекта и сагледати његово термичко понашање током жељеног периода. Сам програм има могућност одабира временских фајлова и због тога у овом случају је одабран Крагујевац, како би резултати били што реалнији. Геометрија објекта је рађена у програму SketchUP који је повезан са EnergyPlus-ом. У табелама испод (од табеле 6 до табеле 23) биће објашњено уношење усвојених података у горе наведеним програмима, а пошто програм садржи велики број опција, биће наведене само оне главне. Имајући у виду да одређене опције садрже велики број величина (Obj1, Obj2,...) углавном ће табеларно бити приказане само две величине, док ће остале бити напоменуте.

Задавање периода рада система за грејање може се видети у табели 6. Потребно је унети почетак у овом случају грејне сезоне везано за месец (Begin Month - 10) и дан

(Begin Day of Month - 15)(15. октобар), а такође и завршетак исте (End Month - 4, End Day of Month - 15)(15. април), с`тим да је потребно унети и временски фајл (Use Weather File) града у којем се објекат налази.

Табела 6. Период рада система за грејање (грејна сезона)

Field	Units	Obj1
Name		Grejna sezona
Begin Month		10
Begin Day of Month		15
End Month		4
End Day of Month		15
Day of Week for Start Day		UseWeatherFile
Use Weather File Holidays and Special Days		Yes
Use Weather File Daylight Saving Period		Yes
Apply Weekend Holiday Rule		No
Use Weather File Rain Indicators		Yes
Use Weather File Snow Indicators		Yes

Најважнија опција у овом програму без обзира шта желимо да симулирамо је „Schedule Compact“. Ова опција садржи 29 величина (Obj1 до Obj29) и то распореде у виду времена рада електричних и уређаја за осветљење, температуре у зависности од просторије. Температурни лимит воде у систему зидног грејања је до 37 °C. У табели 7 може се видети време боравка људи у просторијама, тј. боравак људи у спаваћој соби и дневној соби („Ljudi u SS“ i „Ljudi u DS“), па је тако временски период људи дефинисан у зависности од доба дана за све дане грејне сезоне. Бројеви који се могу видети у пољима 4, 6 и 8 (Field 4, 6, 8), а реда величина су од 0 до 1 представљају удео боравака људи у просторији. То значи да уколико се сви људи задати програмом, налазе у одређеној просторији унећемо број 1 (Field 4, Obj 1). Уколико је фреквенција или број људи по просторијама мањи од укупно унетог броја за одређену просторију, та вредност се смањује до 0, што значи да се у просторији не налазе људи.

Табела 7. Временски период боравка људи у просторији дефинисан у Schedule Compact-у

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Ljudi u SS	Ljudi u DS
Schedule Type Limits Name		Fraction	Fraction
Field 1	varies	Through: 12/31	Through: 12/31
Field 2	varies	For: AllDays	For: AllDays
Field 3	varies	Until: 7:00	Until: 7:00
Field 4	varies	1	0
Field 5	varies	Until: 11:00	Until: 11:00
Field 6	varies	0.2	0.7
Field 7	varies	Until: 16:00	Until: 16:00
Field 8	varies	0	0.3

Још једна веома битна величина ове опције је регулација система за грејање (табела 8). У овом објекту, она је зависила је од температуре у просторијама. Програмом је задато да се температура у просторијама регулише у временским интервалима и то од 7 до 22h (Field 5), у дневној (Htg-SetP-Sch-Ds) и спаваћој соби температура мора бити 20 °C (Field 6), од 22 до 24h (Field 7) температура не сме бити нижа од 18°C (Field 8) и од 24 до 7h (Field 3) температура не сме бити нижа од 15°C (Field 4). У случају купатила (Htg-SetP-Sch-KUP), програмом је задато да температура зависи од следећих временских интервала од 7 до 21h (Field 5) температура мора бити 24 °C (Field 6), од 21 до 24h (Field 7) температура не сме бити нижа од 20°C (Field 8) и од 24 до 7h (Field 3) температура не сме бити нижа од 12°C (Field 4). Уколико температура није у овим интервалима систем за грејање се активира.

Табела 8. Регулација система за грејање у зависности од температуре

Field	Units	Obj20	Obj21
Name		Htg-SetP-Sch-DS	Htg-SetP-Sch-KUP
Schedule Type Limits Name		Temperature	Temperature
Field 1	varies	Through: 12/31	Through: 12/31
Field 2	varies	For: AllDays	For: AllDays
Field 3	varies	Until: 07:00	Until: 07:00
Field 4	varies	15	12
Field 5	varies	Until: 22:00	Until: 21:00
Field 6	varies	20	24
Field 7	varies	Until: 24:00	Until: 24:00
Field 8	varies	18	20

Карактеристике грађевинског материјала који се користио у прорачуну налазе се у табели 9. Поред назива материјала потребно је унети храпавост (Roughness - програм даје одређене опције у зависности од квалитета храпавости), затим дебљину (Thickness), топлотну проводљивост (Conductivity), густину (Density) и специфичну топлоту материјала (Specific Heat). У табели се могу видети само два материјала док се остали материјали коришћени у прорачуну, са својим карактеристикама, могу наћи у табели 3.

Табела 9. Карактеристике грађевинског материјала

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Krečni malter	Cementna kosuljica
Roughness		MediumSmooth	Smooth
Thickness	m	0.025	0.04
Conductivity	W/m-K	0.81	1.4
Density	kg/m3	1600	2100
Specific Heat	J/kg-K	1050	1050

Елементи грађевинске конструкције садрже зидове плафоне и подове. У зависности од карактеристика и врсте материјала од којих су елементи сачињени, исти се уносе и задају у програм. У табели 4 налази се детаљан опис свих конструкција, док табела 10 представља елементе конструкције у EnergyPlus-у.

Табела 10 Елементи грађевинске конструкције од којих се састоји објект

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Zid spoljni	Zid unutrašnji
Outside Layer		Stiropor	Krecni malter
Layer 2		Krecni malter	Puna opeka
Layer 3		Puna opeka	Krecni malter
Layer 4		Krecni malter	
Layer 5			

Табела 11 је карактеристична и својствена само за панелне системе грејања (зидно, подно и плафонско грејање). Потребно је унети назив панелног система (Name), положај панела у конструкцији (Source Present After Layer Number), који се у овом случају (Zidni panel – Spoljasnji) налази после трећег елемента грађевинске конструкције, размак између цеви панела (Tube Spacing - 0,1m) и елементе грађевинске конструкције од спољашњег ка унутрашњем (Outside Layer, Layer 2, Layer 3,...).

Табела 11. Приказ зидних панела

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Zidni panel - Unutra	Zidni panel - Spoljas
Source Present After Layer Number		2	3
Temperature Calculation Requested After Layer Number		2	3
Dimensions for the CTF Calculation		1	1
Tube Spacing	m	0.1	0.1
Outside Layer		Krecni malter	Stiropor
Layer 2		Puna opeka	Krecni malter
Layer 3		Krecni malter	Puna opeka
Layer 4		Stiropor	Krecni malter
Layer 5			

За избор броја људи, као и то шта исти раде у одређеним просторијама (седе, кувају, крећу се...) служи нам опција која се може видети у табели 12. Ова опција спада у ред топлотних добитака и сходно врсти просторије (Name) и задацима који људи обављају (Activity Level Schedule Name), а и броју самих људи у просторији (Number of People) из табеле са жељеним излазним параметрима (Output: Variable одабрати опцију „People Total Heat Gain“) се може видети колико износе ови добици у Цулима.

Табела 12. Број и функција људи у просторији

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		dnevna soba	spavaca soba
Zone or ZoneList Name		dnevna soba zona	soba danilo zona
Number of People Schedule Name		Ljudi u DS	Ljudi u SS
Number of People Calculation Method		People	People
Number of People		5	2
People per Zone Floor Area	person/m2		
Zone Floor Area per Person	m2/person		
Fraction Radiant		0.1	0.1
Sensible Heat Fraction		autocalculate	autocalculate
Activity Level Schedule Name		Toplota od ljudi sedi	Toplota od ljudi spav
Carbon Dioxide Generation Rate	m3/s-W	0.0000000382	0.0000000382
Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings		No	No
Mean Radiant Temperature Calculation Type		ZoneAveraged	ZoneAveraged

Следећа опција (табела 13) се односи на осветљење. Потребно је унети назив просторије (Name), назив зоне у којој се просторија налази (Zone or ZoneList Name), контролу рада сијалица (Schedule Name), снагу сијалице (Lighting Level [W]).

Табела 13. Распоред сијалица по просторијама и њихова снага изражена у [W]

Field	Units	Obj7	Obj8
Name		dnevna soba lights	spavaca soba
Zone or ZoneList Name		dnevna soba zona	soba dragan olja zoi
Schedule Name		Svetlo u DS	Svetlo u SS
Design Level Calculation Method		LightingLevel	LightingLevel
Lighting Level	W	250	75
Watts per Zone Floor Area	W/m2		
Watts per Person	W/person		
Return Air Fraction		0	0
Fraction Radiant		0.42	0.42
Fraction Visible		0.18	0.18
Fraction Replaceable		0	0
End-Use Subcategory		General	General
Return Air Fraction Calculated from Plenum Temperature		No	No

Избор електричних уређаја, њихових снага као и времена рада у одређеним просторијама, а све у циљу добијања што тачнијих података о топлотним добицима се могу видети у табели испод 14.

Табела 14. Распоред ел. уређаја по просторијама и њихова снага изражена у [W]

Field	Units	Obj2	Obj3
Name		dnevna soba el. opr	kupatilo el. oprema
Zone or ZoneList Name		dnevna soba zona	kupatilo (sprat 2) zoi
Schedule Name		El.oprema u DS	El.oprema u KUP
Design Level Calculation Method		EquipmentLevel	EquipmentLevel
Design Level	W	2000	1000
Watts per Zone Floor Area	W/m2		
Watts per Person	W/person		
Fraction Latent		0	0
Fraction Radiant		0.3	0.3
Fraction Lost		0	0
End-Use Subcategory		General	General

Једна од веома битних опција (табела 15) је количина измењеног ваздуха по просторијама (вентилација). Сама количина измене ваздуха, пре свега зависи од врсте и квалитета заптивености столарије. У конкретном случају, количина измењеног ваздуха (Air Changes per Hour) кретала се од 0,5 до 0,75 [1/h], зависно од намене просторије (0,5 за дневне собе, спаваће собе и ходнике, 0,6 за степениште и 0,75 за купатило). Сама количина измењеног ваздуха директно утиче на потрошњу енергије.

Табела 15. Вентилација - инфилтрација (измена ваздуха [1/h]) по просторијама

Field	Units	Obj3	Obj4
Name		spavaca soba infiltr	kupatilo (sprat 1) infi
Zone or ZoneList Name		spavaca soba zona	kupatilo (sprat 1) zoi
Schedule Name		Infiltracija	Infiltracija
Design Flow Rate Calculation Method		AirChanges/Hour	AirChanges/Hour
Design Flow Rate	m3/s		
Flow per Zone Floor Area	m3/s-m2		
Flow per Exterior Surface Area	m3/s-m2		
Air Changes per Hour	1/hr	0.5	0.75
Constant Term Coefficient		0.606	0.606
Temperature Term Coefficient		0.036259996	0.036359996
Velocity Term Coefficient		0.1177165	0.1177165
Velocity Squared Term Coefficient		0	0

Опција слична опцији из табеле број 10, која се односи само на панелне системе или на системе са флуидом нижих температура, не већим од 50°C који тече цевима система, јесте опција „ZoneHVAC:LowTemperatureRadiant:VariableFlow” (табела 16). Саму дужину цеви и проток кроз цеви није потребно уносити јер програм сам, на основу задатог зида на који треба поставити панел, то прорачунава и после завршене симулације, вредности се могу прочитати из табеле и унети у програм (дужина Hydronic Tubing Length вредности 172,46m, Maximum Hot Water Flow вредност од 0,000064 m³/s за дневну собу). Уколико просторија садржи више спољних зидова потребно је формирати групу зидова у којима се налазе панели и то унети у опцију Surface Name or Radiant Surface Group Name, док у случају да желимо да поставимо панеле на само једном зиду из исте опције селекујемо одговарајући зид.

Табела 16. Постављање зидних панела по просторијама

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Dnevna soba water	Kupatilo (sprat 1) wa
Availability Schedule Name		Rad Grejnih tela	Rad Grejnih tela
Zone Name		dnevna soba zona	kupatilo (sprat 1) zoi
Surface Name or Radiant Surface Group Name		Grupa dnevna soba	kupatilo (sprat 1) - s
Hydronic Tubing Inside Diameter	m	0.012	0.012
Hydronic Tubing Length	m	172.46	31.64
Temperature Control Type		MeanAirTemperatur	MeanAirTemperatur
Maximum Hot Water Flow	m3/s	0.000064	0.00005
Heating Water Inlet Node Name		Zone dnevna soba	Zone kupatilo (sprat
Heating Water Outlet Node Name		Zone dnevna soba	Zone kupatilo (sprat
Heating Control Throttling Range	deltaC	2	2
Heating Control Temperature Schedule Name		Htg-SetP-Sch-DS	Htg-SetP-Sch-KUP

Сам програм EnergyPlus садржи базу од 169 соларних пријемника различитих произвођача, површина и ефикасности. Уколико се одабере одговарајући пријемник сходно потребама из базе (табела 17), није потребно уносити податке о стакленој површини (Gross Area), флуиду који тече кроз пријемник (Test Fluid), протоку флуида кроз пријемник (Test Flow Rate) и ефикасности пријемника, који у овом случају садржи три коефицијента. Први коефицијент (Coefficient 1 of Efficiency Equation) се односи на оптичку ефикасност, док се други и трећи коефицијент односе на губитке соларног пријемника.

Трећи коефицијент је значајно мањи од другог али се на дијаграму зависности ефикасности соларног пријемника од радне температуре добија крива уместо праве линије (слика 13). Уколико пак, пријемник није у бази, морају се попуњити горе наведене опције (табела 5), а за попуњавање истих нам служи „Help - EnergyPlus-a“ у коме се могу пронаћи потребне формуле.

Табела 17. Карактеристике пријемника

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		American Solar Wor	Enerworks Inc COL
Gross Area	m2	2.8638	2.8741
Test Fluid		WATER	Water
Test Flow Rate	m3/s	0.000057	0.0000561
Test Correlation Type		INLET	Inlet
Coefficient 1 of Efficiency Equation	dimensionless	0.474	0.7166
Coefficient 2 of Efficiency Equation	W/m2-K	-0.8937	-4.0141
Coefficient 3 of Efficiency Equation	W/m2-K2	-0.01177	-0.01872
Coefficient 2 of Incident Angle Modifier		0.7534	-0.11
Coefficient 3 of Incident Angle Modifier		-1.1963	-0.0506

Одабир пријемника се може видети у опцији „Solar Collector Performance Name“ у табели 18. Број истих, из предходно наведеног, чине три панела истог типа соларног пријемника (због бољег визуелног прегледа у табели су приказана два). Проток флуида кроз пријемник може се видети у опцији „Maximum Flow Rate“ који у овом случају износи 0,00012 m³/s. У зависности од површине где се постављају панели користи се опција „Surface Name“.

Табела 18. Одабир површина и постављање пријемника

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Collector 1	Collector 2
SolarCollectorPerformance Name		American Solar Wor	American Solar Wor
Surface Name		Kolektor 1	Kolektor 2
Inlet Node Name		Collector 1 Inlet Noc	Collector 2 Inlet Noc
Outlet Node Name		Collector 1 Outlet N	Collector 2 Outlet N
Maximum Flow Rate	m3/s	0.00012	0.00012

Као што је раније напоменуто активан соларни систем садржи један резервоар за складиштење топле воде из соларних пријемника (Storage Tank) и други као топлотни извор – котло на гас (Instantaneous Water Heater). На основу карактеристика из проспекта уносе се подаци о запремини (Tank Volume), максималној температури (Maximum Temperature Limit), снази (Heater Maximum Capacity), врсти енергента (Heater Fuel Type), и ефикасности истих (Heater Thermal Efficiency) (табела 19).

Табела 19. Карактеристике котла и резервоара за складиштење топле воде

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Instantaneous Water	Storage Tank
Tank Volume	m3	0.007	0.45
Setpoint Temperature Schedule Name		Hot Water Setpoint	Hot Water Setpoint
Deadband Temperature Difference	deltaC		5
Maximum Temperature Limit	C	82.2222	82.2222
Heater Control Type		MODULATE	CYCLE
Heater Maximum Capacity	W	13000	0
Heater Minimum Capacity	W		
Heater Ignition Minimum Flow Rate	m3/s		
Heater Ignition Delay	s		
Heater Fuel Type		NaturalGas	ELECTRICITY
Heater Thermal Efficiency		0.98	0.98
Part Load Factor Curve Name		NewerLowTempBoi	

Флуид кроз цеви се креће помоћу пумпе. Једна пумпа покреће флуид у систему за грејање (DHW Loop Pump), док друга пумпа служи за покретање флуида кроз соларне пријемнике (Collector Loop). Пумпе су у овом случају променљивог протока и у зависности од потреба раде различитом снагом (Pump: Variable Speed – представља опцију EnergyPlus-а а изглед опције са потребним подацима се може видети у табели 20.). Поред максималне снаге (Rated Power Consumption), задаје се још и проток (Rated Flow Rate) и ефикасност пумпе (Motor Efficiency).

Табела 20. Карактеристике пумпе које омогућавају кретање флуида кроз систем

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		DHW Loop Pump	Collector Loop Pump
Inlet Node Name		Storage Tank Use L	Storage Tank Source
Outlet Node Name		DHW Use Side Pump	Storage Tank Source
Rated Flow Rate	m3/s	0.000604	autosize
Rated Pump Head	Pa	15000	15000
Rated Power Consumption	W	13.34	autosize
Motor Efficiency		0.87	0.87
Fraction of Motor Inefficiencies to Fluid Stream		0	0
Coefficient 1 of the Part Load Performance Curve		0	0
Coefficient 2 of the Part Load Performance Curve		1	1
Coefficient 3 of the Part Load Performance Curve		0	0
Coefficient 4 of the Part Load Performance Curve		0	0
Minimum Flow Rate	m3/s	0	0
Pump Control Type		INTERMITTENT	INTERMITTENT

EnergyPlus, активан соларни систем види као целину али га је потребно разложити на две гране прву грану представља грејање, док друга грана садржи соларне пријемнике (табела 21). Под граном се подразумева цевна повезаност грејних тела са котлом односно пријемницима са резервоаром за складиштење топле воде. Потребно је дефинисати врсту флуида (Fluid Type), температуре флуида у цевима за грејање и цевима које повезују пријемник и резервоар (Maximum/Minimum Loop Temperature) и унети максималан и минималан проток кроз цеви (Maximum/Minimum Flow Rate).

Табела 21. Грана активног соларног система и система за грејање

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		DHW Loop	Collector Loop
Fluid Type		WATER	WATER
User Defined Fluid Type			
Plant Equipment Operation Scheme Name		DHW Loop Operatic	Collector Loop Oper
Loop Temperature Setpoint Node Name		Instantaneous Wate	Storage Tank Sourc
Maximum Loop Temperature	C	37	100
Minimum Loop Temperature	C	5	3
Maximum Loop Flow Rate	m3/s	0.000604	autosize
Minimum Loop Flow Rate	m3/s	0	0
Plant Loop Volume	m3	autocalculate	autocalculate
Plant Side Inlet Node Name		Storage Tank Use L	Storage Tank Sourc
Plant Side Outlet Node Name		Instantaneous Wate	Storage Tank Sourc

Једна од опција (табела 22) која има регулациони карактер је та да уколико температура у резервоару достигне 60°C долази до прекида снабдевања резервоара водом из колектора. То значи да у том случају није потребно грејати објекат.

Табела 22. Престанак рада пријемника услед високе температуре воде у резервоару

Field	Units	Obj1
Name		High Temperature T
Sensor Node Name		Storage Tank U: ...
Temperature	C	60

Последња ставка су жељени излазни параметри програма (табела 23). База садржи велики број опција, а у конкретном случају ради се о потрошњи гаса (Gas:Facility), температури у просторијама (Zone Mean Air Temperature), спољној температури (Outdoor Dry Bulb), као и о оствареној количини енергије соларних пријемника (HeatProduced:SolarWater). У зависности од тога за који временски период се обрађују подаци да ли је то период целе грејне сезоне или се ради о месечном нивоу, дневном нивоу или нивоу по часовима користи се опција „Reporting Frequency“.

Табела 23. Задати излазни параметри

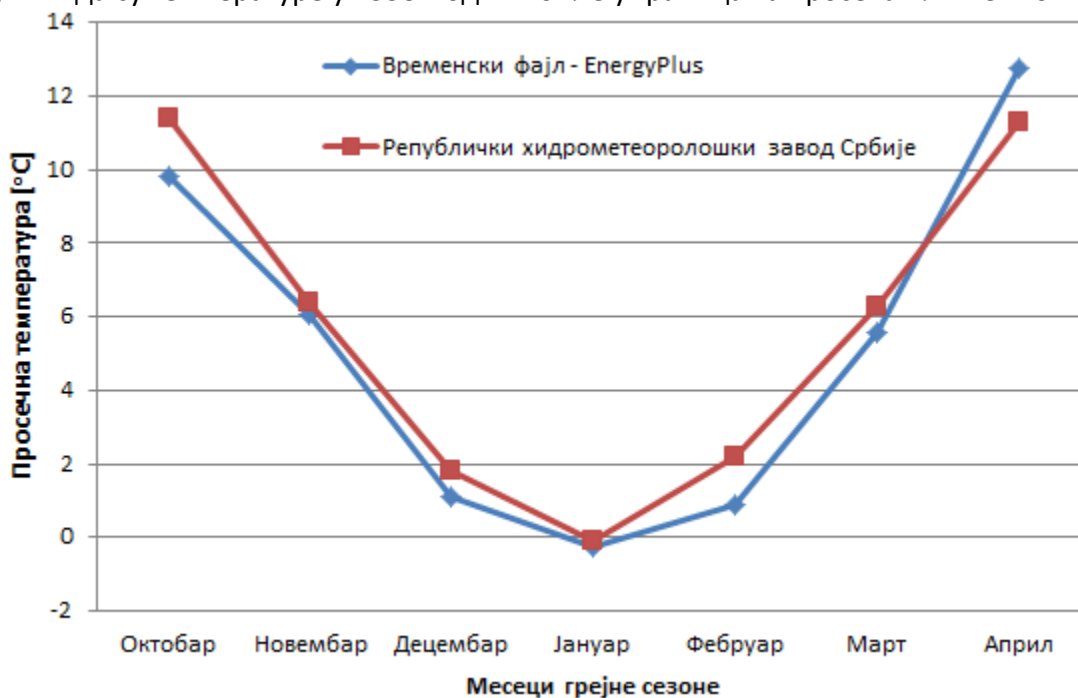
Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Gas:Facility	HeatProduced:Sola
Reporting Frequency		Monthly	Monthly

4 Анализа резултата и дискусија

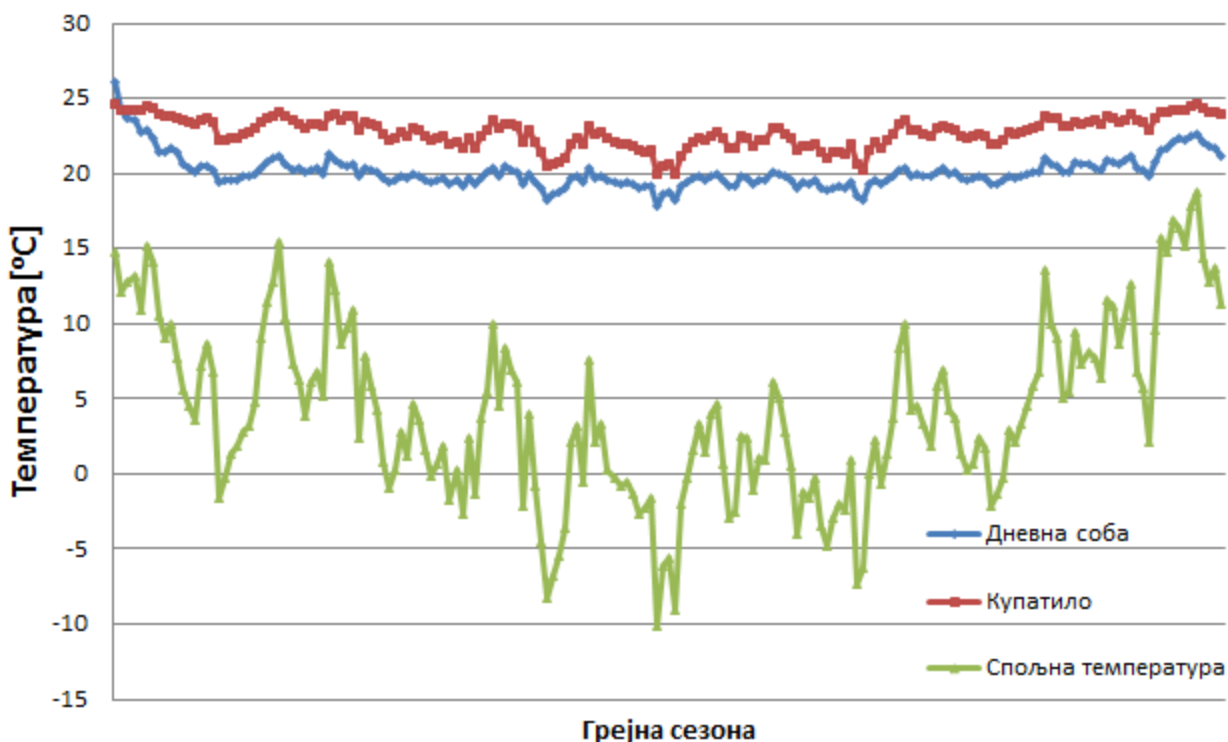
Овим радом анализиран је утицај четири различите врсте соларних пријемника, различитих по ефикасности, на уштеду у потрошњи гаса потребног за грејање. Постављена су три панела пријемника укупне површине око $8,5 \text{ m}^2$ орјентисана ка јужној страни. Потошња енергије је праћена месечно. Треба опет скренути пажњу да овакав систем топлу воду произведену од стране соларних пријемника користи искључиво за грејање, а не као топлу санитарну воду, као ни катао за гас.

4.2 Приказ температура

Као што је напоменуто у полазним подацима временски фајл града Крагујевца из 1995. године коришћен је у прорачуну. Како би смо имали увид да ли се температура кретала у границама просека или одступала од њих упоредиће се временски фајл EnergyPlus-а и подаци Републичког хидрометеоролошког завода Србије (РХЗС) о средњим температурама, у периоду од 30 година (од 1961. до 1990. године)(видети прилог А.1). Најхладнији месец је јануар са просечном температуром од $-0,24^\circ\text{C}$ док према подацима РХЗС пресечна температура за месец јануар је била $-0,1^\circ\text{C}$ [7]. Остале просечне температуре по месецима из временског фајла не одступају више од $1,6^\circ\text{C}$ у односу на температуре РХЗС (слика 14). Средња температура грејне сезоне временског фајла је $5,14^\circ\text{C}$, док према правилнику о енергетској ефикасности зграда она износи $5,5^\circ\text{C}$ [8]. Може се закључити да су температуре у 1995. години биле у границама просека или нешто ниже.

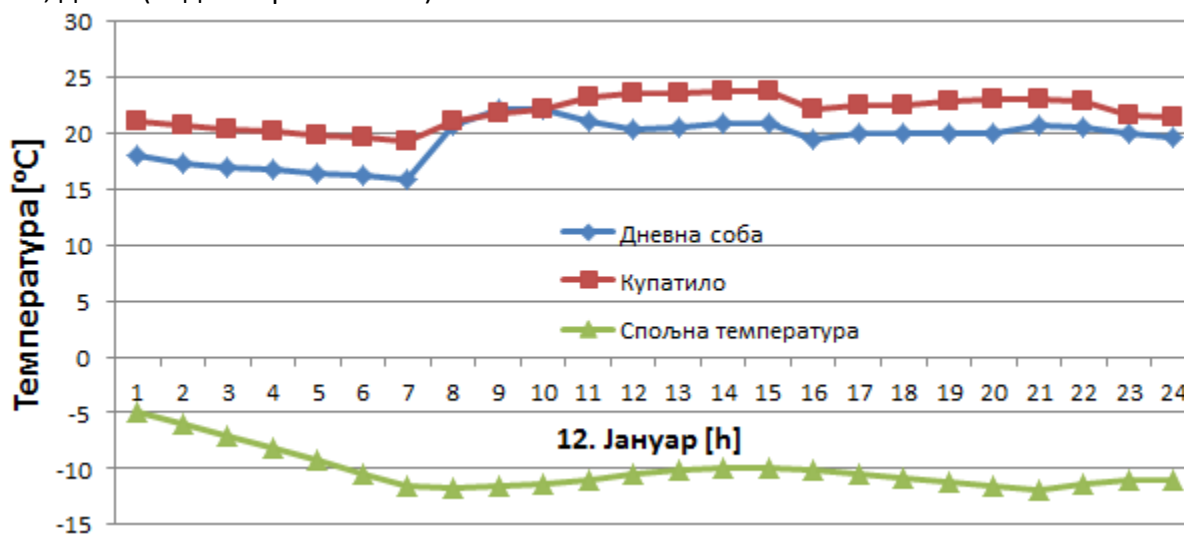


Слика 14. Просечна спољна температура ваздуха по месецима за грејну сезону



Слика 15. Спољна температура, температура дневне собе и купатила за грејну сезону

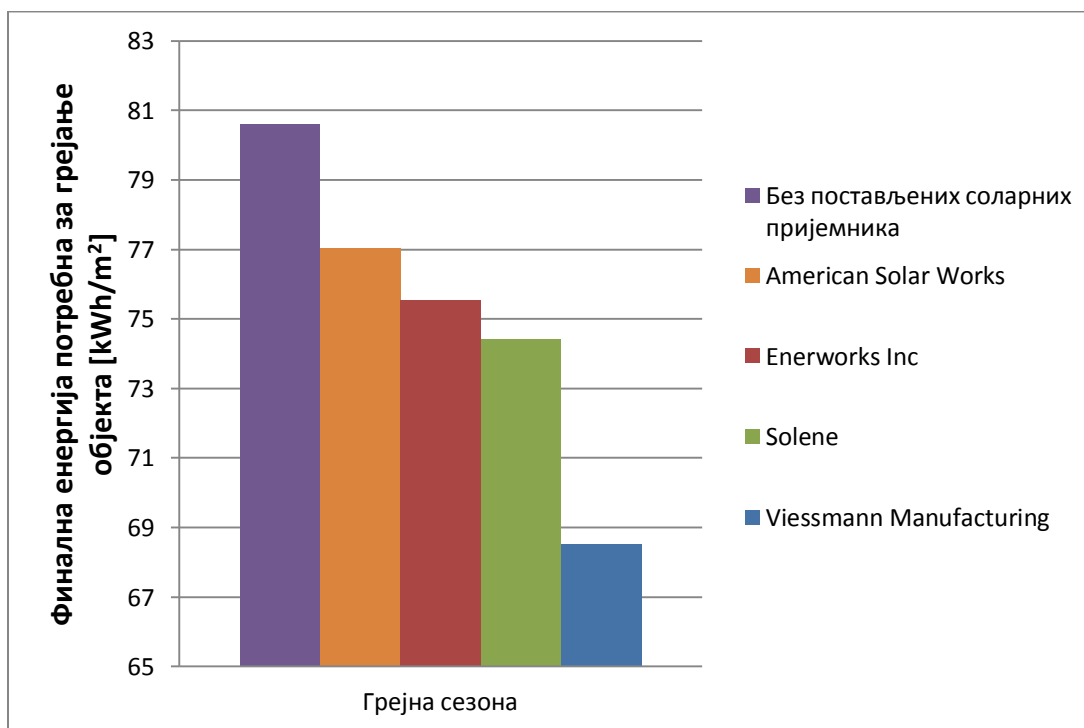
Због добре термоизолације зидни панели су према задатој регулацији испунили захтеве. Температура у просторијама је најбољи показатељ овога (видети прилог А.1.1). На слици 15 се могу видети просечне температуре, у дневној соби и купатилу, у зависности од спољне температуре за грејну сезону. На слици 16 је приказана температура за најхладнији дан у грејној сезони по часовима. Овде се може видети да температура у дневној соби није била испод задате температуре од 15°C , а у купатилу није било испод температуре од $19,24^{\circ}\text{C}$, иако је програмом задато да се може кретати и до 12°C , до 7h (видети прилог А.1.2).



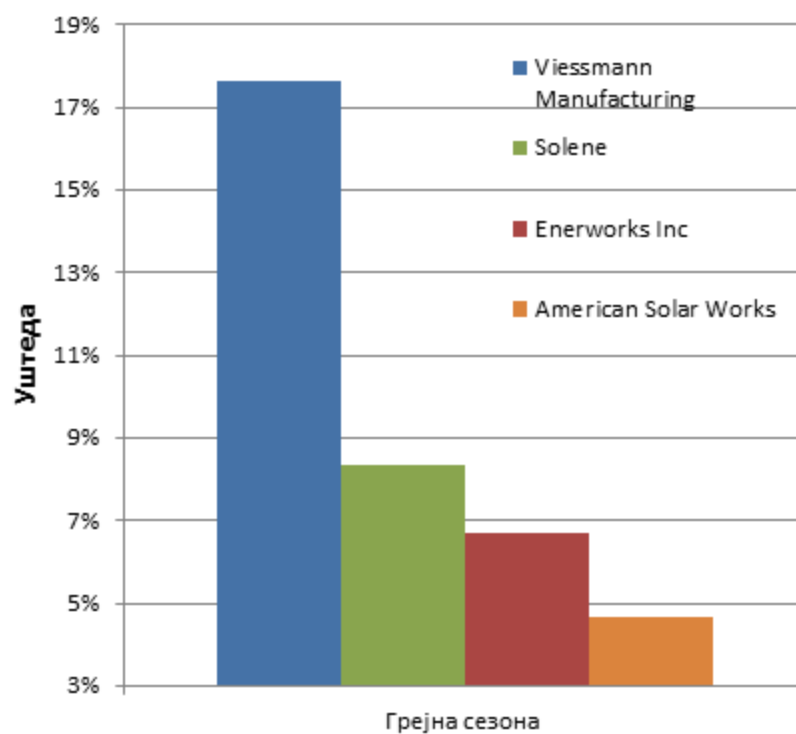
Слика 16. Приказ температуре за најхладнији дан, 12. јануар

4.2 Потребна количина енергије за грејање објекта

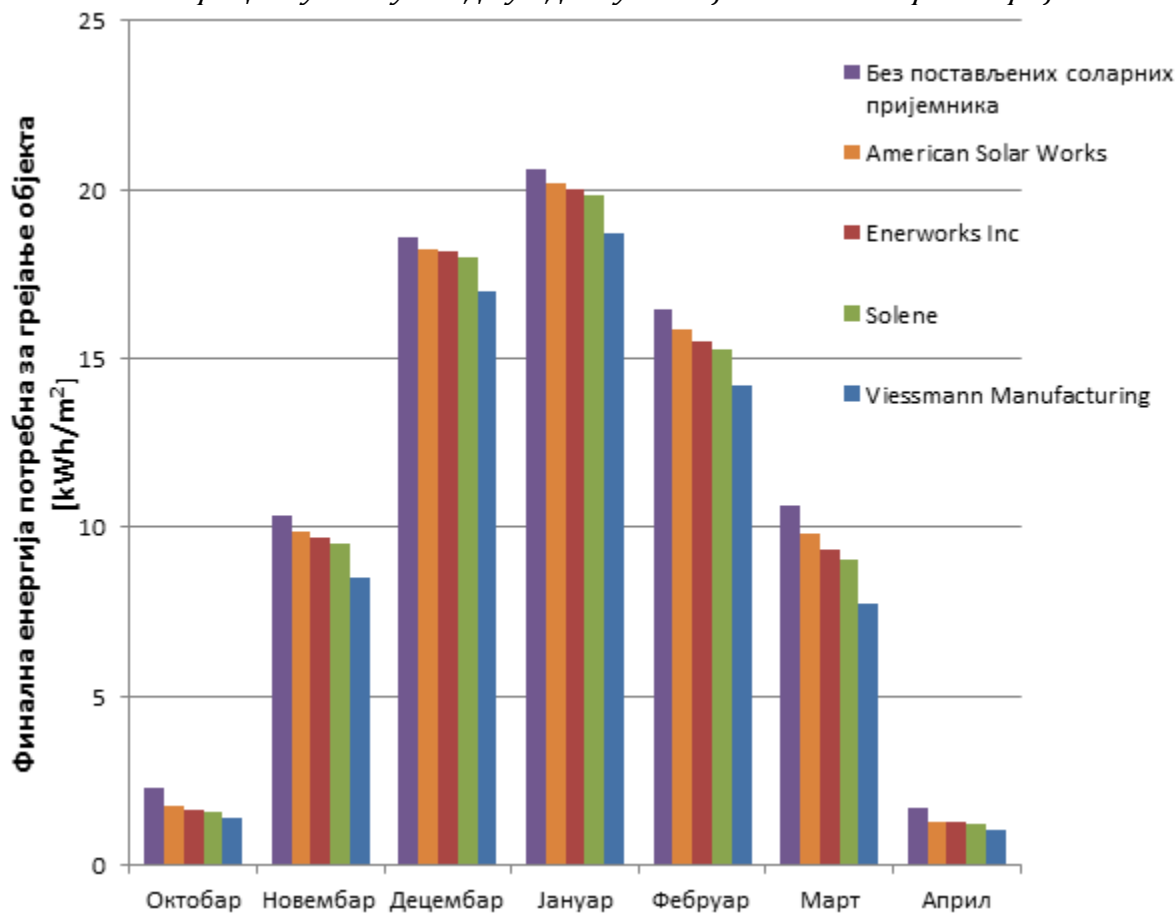
Најважнији подаци о уштеди енергије за грејање, односно о самој потрошњи исте, се могу видети на дијаграмима, укупно за целу грејну сезону (слика 17) (видети прилоге Б.1, Б.1.1, Б.1.2, Б.1.3, Б.1.4), процентуално (слика 18) (видети прилог Б.2) и по месецима грејне сезоне (слика 19). Сходно очекивањима најефикаснији је вакуумски соларни пријемник високе ефикасности (*Viessmann Manufacturing*) са највећом уштедом од 17,63%, односно потребна количина енергије за грејање објекта била је $68,54 \text{ kWh/m}^2$, затим следи соларни пријемник произвођача *Solene* са уштедом од 8,34%, односно потребном количином енергије за грејање од $74,41 \text{ kWh/m}^2$, *Enerworks Inc* је остварио уштеду од 6,71%, тј. потребна количина енергије за грејање износила је $75,55 \text{ kWh/m}^2$ и најлошији резултати су остварени једном од првих генерација вакуумских соларних пријемника *American Solar Works* са уштедом од 4,65%, односно потрошња енергије је износила $77,04 \text{ kWh/m}^2$. Сама количина потребне енергије за грејање објекта без постављених пријемника износила је $80,62 \text{ kWh/m}^2$. На слици 19, која се односи на потребну количину енергије за грејање објекта по месецима може се видети један интересантан податак. Упоређујући месеце март и новембар може се видети да је више енергије потрошено у месецу марту, када објекат не садржи соларне пријемнике. Међутим након постављања истих због већег интензитета Сунчевог зрачења потребна количина енергије за грејање објекта је мања у месецу марту него у новембру независно од типа соларног пријемника.



Слика 17. Потребна количина енергије и kWh/m^2 за грејање објекта за грејну сезону

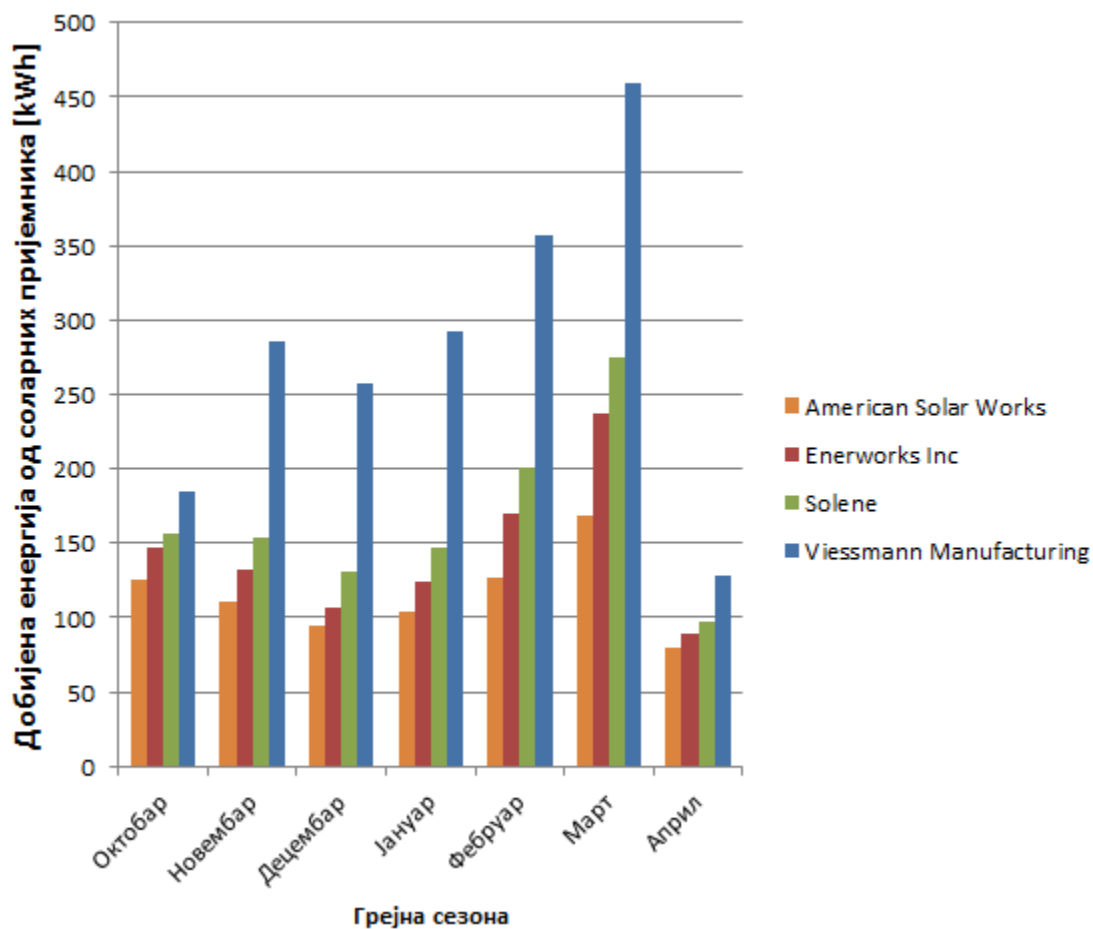


Слика 18. Процентуална уштеда у односу на објект без соларних пријемника



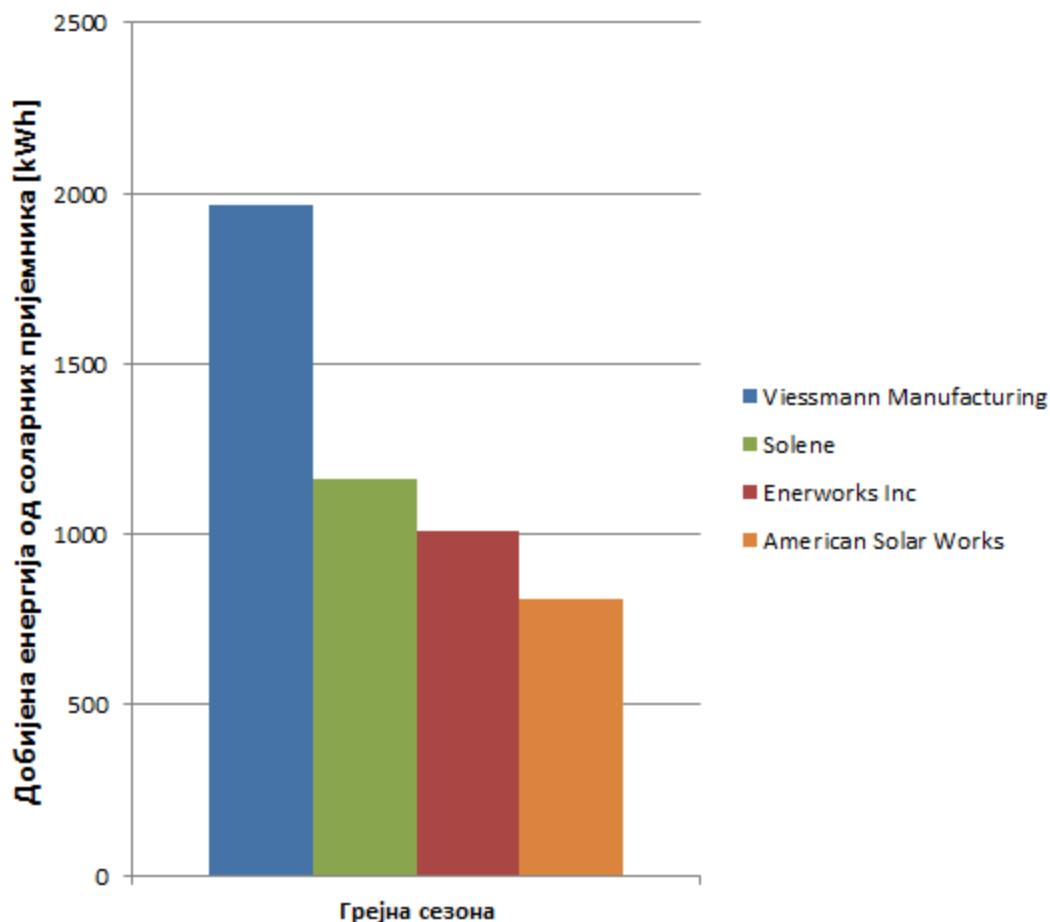
Слика 19. Потребна количина енергије и kWh/m^2 за грејање објекта по месецима

4.3 Добијена енергија од стране соларних пријемника



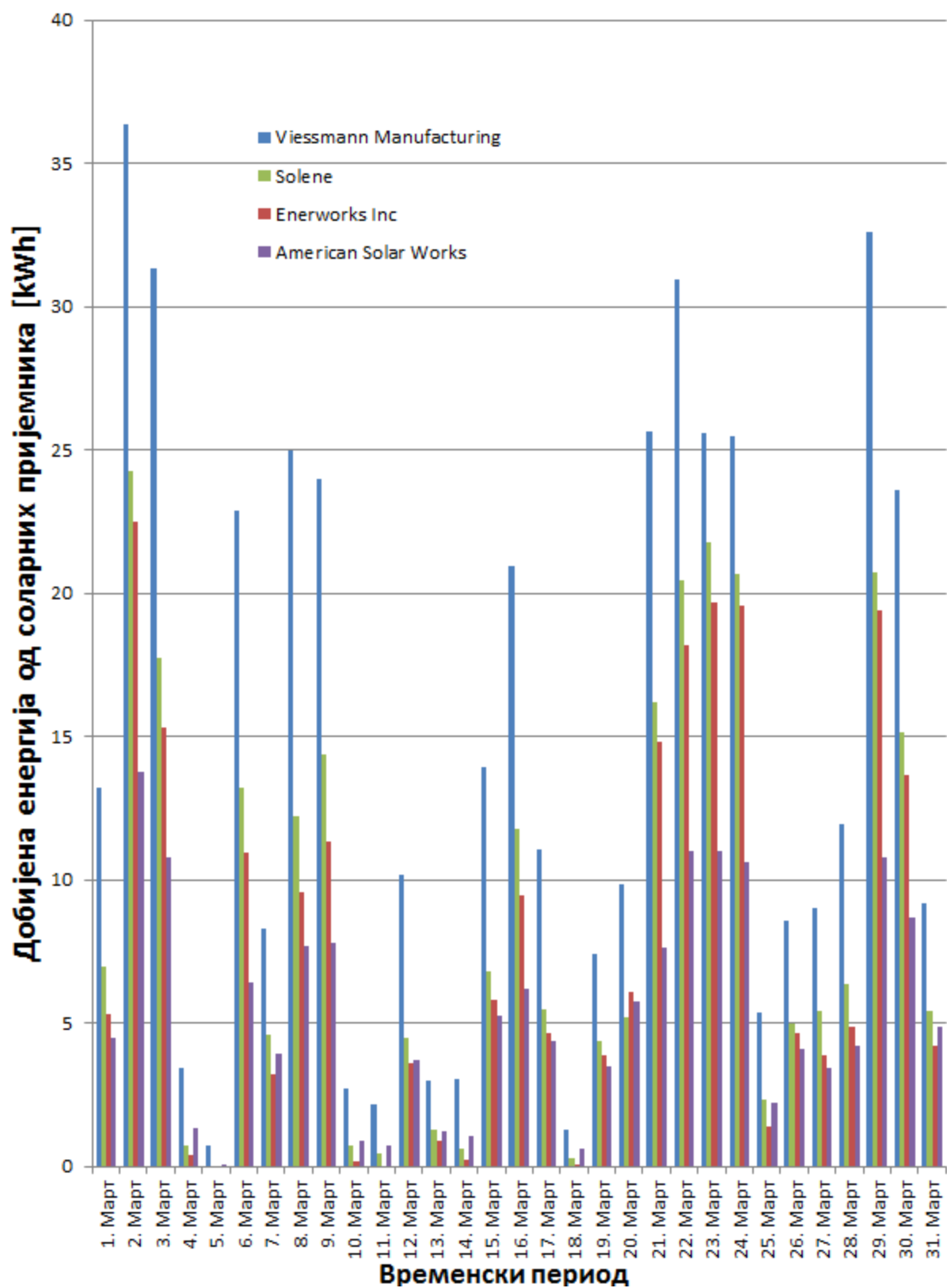
Слика 20. Упоредивање добијених енергија зависно од типа пријемника за грејну сезону по месецима [kWh]

Са слике 20 може се видети у којим месецима грејне сезоне су соларни пријемници надоместили највећу количину енергије за грејање (видети прилог В.1). Не узимајући у обзир тип пријемника највећа количина енергије је произведена у месецу марту и то за *American Solar Works* 168,16 kWh, *Enerworks Inc* 237,81 kWh, *Solene* 275,21 kWh и *Viessmann* 458,84 kWh, док је најмање произведена количина енергије у месецу априлу. Овакви резултати произилазе из чињенице да грејна сезона обухвата само прву половину априла односно до 15-ог у месецу.



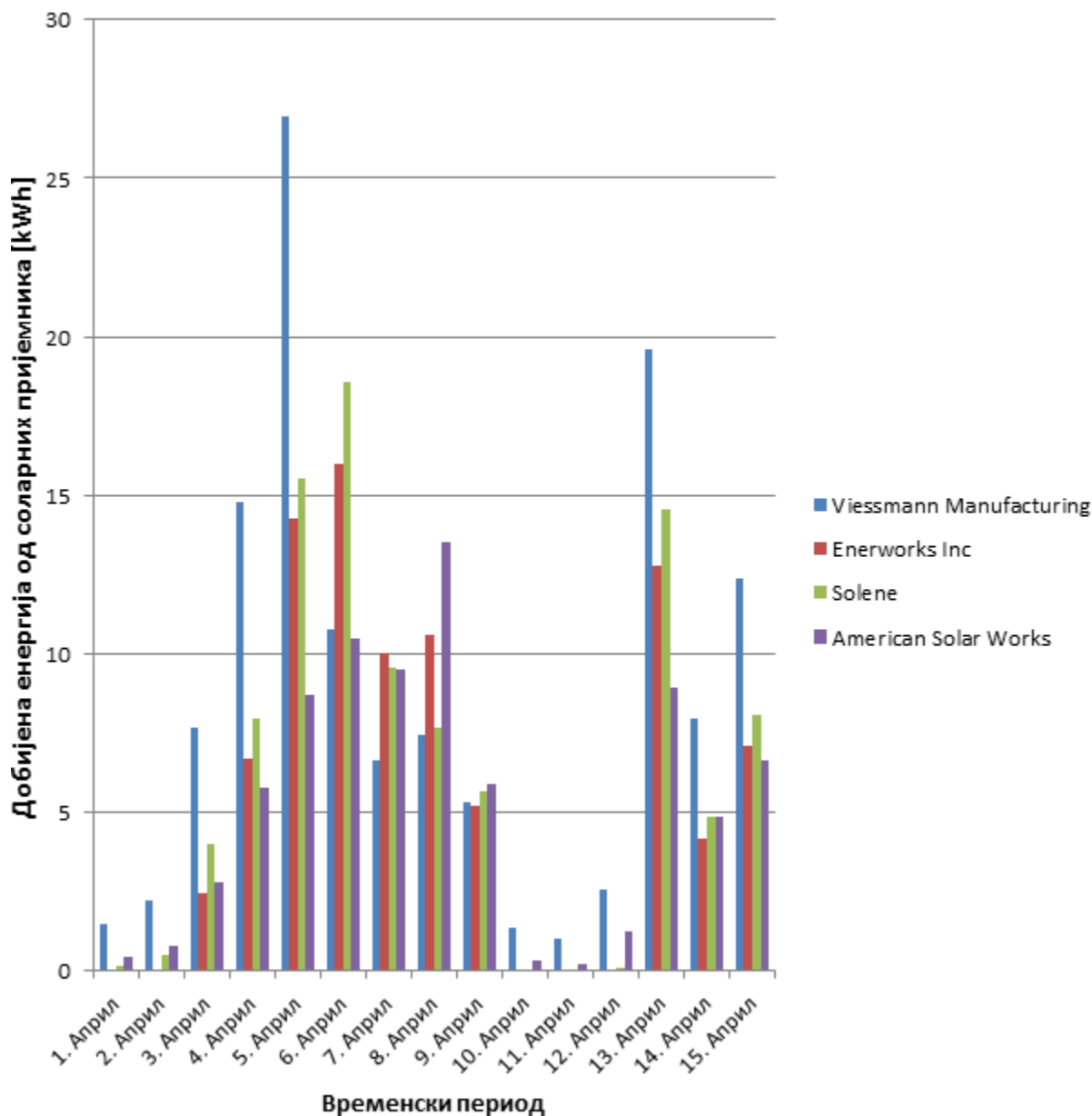
Слика 21. Упоредивање добијених енергија зависно од типа пријемника за грејну сезону [kWh]

У коначном збиру енергија по месецима за грејну сезону (слика 21.) добијена енергија од соларних пријемника износи: *American Solar Works* 809,23 kWh, *Enerworks Inc* 1007,73 kWh, *Solene* 1161,79 kWh и *Viessmann* 1963,45 kWh (видети прилог В.1). Ове резултате објашњавамо чињеницама да *Viessmann* има изразито најмање губитке али и највећу оптичку ефикасност. *Solene* има значајно мање губитке од *Enerworks Inc* али и мању оптичку ефикасност. *American Solar Works* има мање губитке од *Solene* и *Enerworks Inc* али и значајно мању оптичку ефикасност.



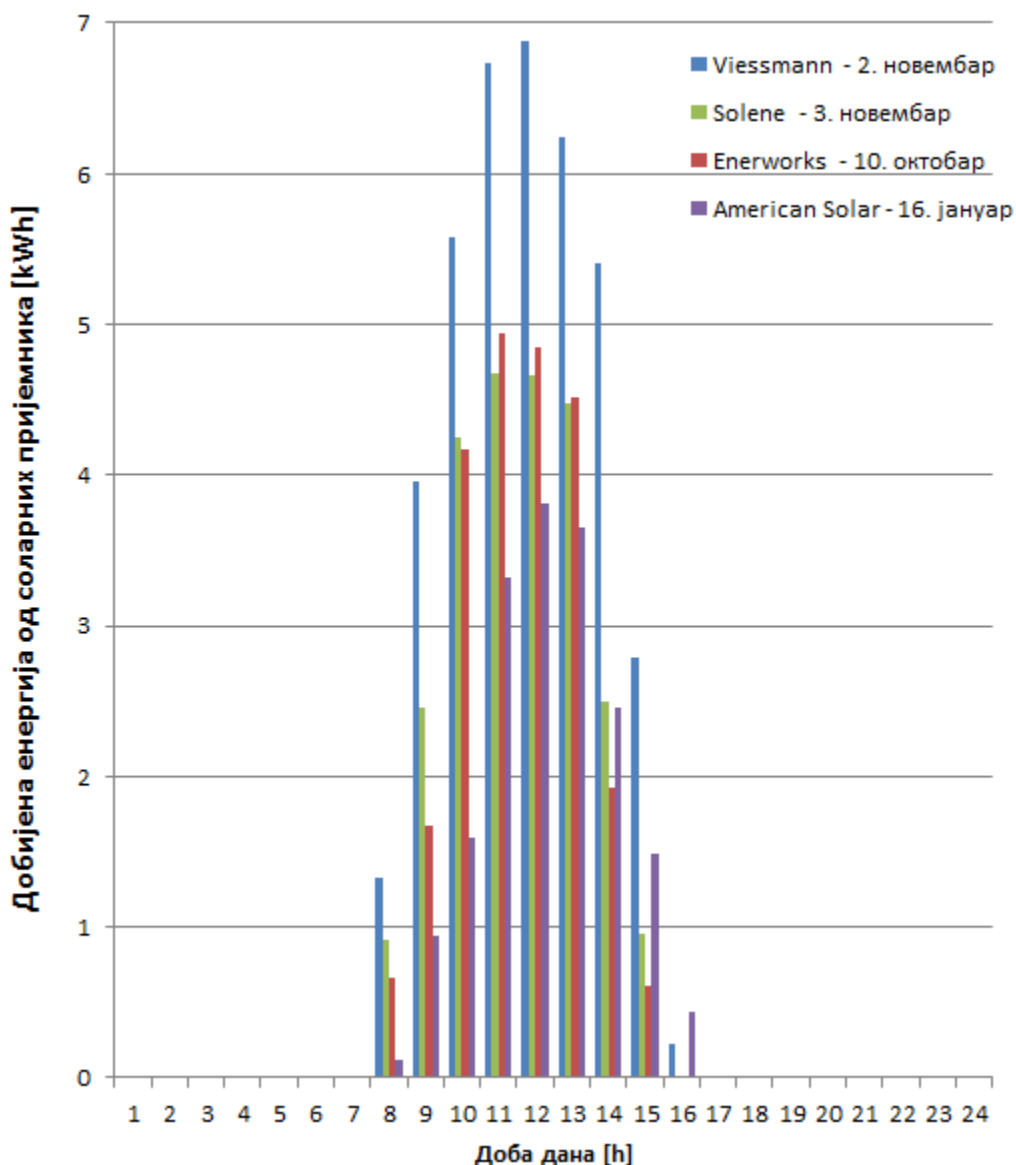
Слика 22. Највећа добијена енергија зависно од типа соларних пријемника за један месец (месец март) [kWh]

Посматрајући дијаграм (слика 22.), на коме су приказане добијене енергије по данима за месец март, може се видети да је највећа количина Сунчевог зрачења била 2, 22 и 29 дана у месецу. Сама количина добијене енергије кретала се у интервалу од 0 до 36,38 kWh (видети прилог В.1.1). Занимљиви подаци се могу видети на слици 23, где је најефикаснији и најбоље изолован пријемник седмог и осмог априла произвео мању количину енергије него остали пријемници (видети прилог В.1.2). Међутим овај податак не игра битну улогу у коначном збиру енергија, а може се објаснити чињеницом, да је управо у тим данима спољна температура била виша од температуре радног флуида уз смањено Сунчево зрачење. Самим тим најбоље изолован соларни пријемник постаје најнеповољнији у погледу производње енергије.



Слика 23. Добијена енергија зависно од типа соларних пријемника за крај грејне сезоне [kWh]

Као што смо напоменули енергија произведена од соларних пријемника највише зависи од количине Сунчевог зрачења на апсорберу. Иако су резултати показали да је најефикаснији месец март, на дијаграму испод (слика 24.) се може видети да највећа добијена енергија за један дан није у месецу марту. Сходно различитом типу соларних пријемника ови дани се разликују од пријемника до пријемника. У случају *Viessmann*-а највећа добијена енергија је за 2. новембар и износи 39,16 kWh, *Enerworks Inc* за 10. октобар и износи 23,36 kWh, *Solene* за 3. новембар и износи 24,88 kWh и *American Solar Works* за 16. јануар износи 17,79 kWh (видети прилог B.1.3).



Слика 24. Највећа добијена енергија зависно од типа соларних пријемника за један дан [kWh]

4.4 Економска анализа

Економска анализа исплативости обухвата: цену инвестиције и период отплате у зависности од типа соларног пријемника. Полазни подаци који су коришћени у прорачуну су: цена гаса од 54 (RSD-a), топлотна моћ гаса 34500 кJ/Nm² и курс евра 119,41 (RSD-a). Узимајући у обзир ефикасност котла од 97% може се (табела 24 и 25) видети остварена уштеда у зависности од типа пријемника. Треба напоменути да у цену није урачунат потрошни материјал, бакарне цеви, експанзиони суд, потребан број вентила, изолација система, испорука робе и уградња.

Табела 24. Остварена уштеда са вакуумским соларним пријемницима

	American Solar Works		Viessmann Manufacturing	
	kWh	m ³	kWh	m ³
Потребна количина енергије за грејање објекта без соларних пријемника	12293.27	1266.29	12293.27	1266.29
Потребна количина енергије за грејање објекта са соларним пријемницима	11747.20	1210.04	10451.07	1076.53
Уштеда енергије	529.69	54.56	1786.94	184.07
Уштеда у €	24.66		83.18	

Табела 25. Остварена уштеда са равним воденим соларним пријемницима

	Enerworks Inc		Solene	
	kWh	m ³	kWh	m ³
Потребна количина енергије за грејање објекта без соларних пријемника	12293.27	1266.29	12293.27	1266.29
Потребна количина енергије за грејање објекта са соларним пријемницима	11520.39	1186.68	11347.22	1168.84
Уштеда енергије	749.70	77.22	917.67	94.53
Уштеда у €	34.90		42.72	

Цена инвестиције за главне елементе соларног система се може видети у табели 26. Ефикасност и квалитет пријемника диктирају цену на тржишту, па тако вакуумски прве генерације кошта 500€ по панелу. Док за напредан вакуумски цена износи чак 2533€ по панелу. Цена равних водених соларних пријемника је знатно мања од вакуумских и креће се од 330 за Enerworks Inc до 350€ за Solene. Сходно знатно мањој цени равних водених соларних пријемника период отплате ће бити мањи, а из табеле 27 се може видети да соларни пријемник типа Solene има најмањи период отплате од 50 година. На велики период отплате утиче то да су се соларни пријемници користили само за грејање, а такође и недостатак субвенција од стране државе.

Табела 26. Цена инвестиције

	Цена инвестиције у €				
	Пумпа	Резервоар	Три панела соларних пријемника	соларни контролер	Укупно
American Solar Works	200	700	1500	180	2580
Viessmann Manufacturing	200	700	7599	180	8679
Enerworks Inc	200	700	990	180	2070
Solene	200	700	1050	180	2130

Табела 27. Период отплате

Тип колектора	American Solar Works	Viessmann Manufacturing	Enerworks Inc	Solene
Животни век	40	40	30	30
Период отплате (година)	104	104	59	50

Може се приметити да у сва четири случаја време отплате инвестиције превазилази животни век соларног пријемника.

5 Закључак

У времену када је потреба за примарном енергијом све већа, а исте је све мање, све више се посвећује пажња изградњи активних соларних система. Поред енергетске ефикасности, активни соларни системи, као један од облика обновљивих извора енергије, немају негативан утицај на животну средину.

У овом раду је извршена симулација, помоћу програма EnergyPlus, утицаја четири типа соларних пријемника на потрошњу енергије за грејање објекта. Два типа соларних пријемника су била у категорији равних водених соларних пријемника, док друга два су представљали вакуумски соларни пријемник прве генерације и високоефикасни вакуумски соларни пријемник. Три панела истог типа били су постављени на јужној страни објекта и повезани на локални систем грејања. Због веће уштеде енергије и бољег осећаја комфора локални систем грејања су чинили зидни панели постављени на спољним зидовима. Корисна грејна површина објекта је $152,5\text{m}^2$, са локацијом у насељу Бресница, Крагујевац.

Добијени резултати су показали да се уштеда енергије за грејање објекта кретала од 4,65% за вакуумски прве генерације до 17,63% за високоефикасни вакуумски соларни пријемник. Узимаћи у обзир остварене уштеде из економске анализе се може видети да је период отплате већи у просеку 2,5 пута од века соларног пријемника. Постоје два главна елемената овако дугог периода отплате. Први је да овакав систем топлу воду произведену од стране соларних пријемника користио искључиво за грејање, а не као топлу санитарну воду. Други, истовремено и најбитнији елемент, да не постоје никакве субвенције од стране државе приликом куповине активног соларног система. У оваквим условима најефикаснији соларни пријемник има најдуже време отплате.

6 Литература

- [1] – Зоран Д. Живковић, Младен Васић, Анђелина Кузмановић, Предлог мера за финансирање енергетске ефикасности у зградарству у Србији, Београд: Грађевинска књига, 2011.
- [2] – Слободан Зрнић, Живојин Ћулум, Грејање и климатизација са применом соларне енергије, Нови Сад: Научна књига, 1966. (ISBN 86-23-43015-8).
- [3] – Lukuć, N., Babić, M., Solarna energija, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 2008 (ISBN 86-86663-20-7).
- [4] - EnergyPlus Energy Simulation Software. Преузето са:
http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/on februar 2013.cfm/weather_data2.cfm/region=6_europe_wmo_region_6
- [5] – Skerlić, J., Bojić, M., Optimization of solar collector performance by using EnergyPlus and Hooke-Jeeves algorithm, Proceeding of the 41st International congress on heating, refrigerating and aid – conditioning, December 1-3, 2010, Belgrade Serbia, pp. 472-479.
- [6] - <http://acep.uaf.edu/media/62258/Viessman-System-Design-Guidelines.pdf> (приступљено 22.8.2014.)
- [7] - http://www.hidmet.gov.rs/podaci/meteorologija/latin/Temperaturni_rezim_u_Srbiji.pdf (приступљено 10.9.2014.)
- [8] - Правилник о енергетској ефикасности зграда/ Службени гласник РС: 061/2011/ Табела 6.3 – Број степен дана за грејање HDD и средња температура грејног периода $\theta_{H,mn}$ за места у Републици Србији

7 Прилог

7.1 Прилог А: Приказ температура[°C]

Прилог А.1: Просечна температура по месецима у грејној сезони и грејне сезоне[°C]

Месец	Временски фајл - EnergyPlus	Републички хидрометеоролошки завод Србије
Октобар	9,80	11,40
Новембар	6,08	6,40
Децембар	1,1	1,80
Јануар	-0,24	-0,10
Фебруар	0,87	2,20
Март	5,57	6,30
Април	12,79	11,30
Грејна сезона	5,14	5,61

Прилог А.1.1: Просечна температура по данима за грејну сезону [°C]

Временски период	Спољна температура [°C]	Дневна соба [°C]	Купатило [°C]
15.10.	14,80	26,15	24,67
16.10.	12,09	24,22	24,18
17.10.	12,81	23,63	24,28
18.10.	13,21	23,60	24,23
19.10.	10,85	22,71	24,18
20.10.	15,11	22,84	24,48
21.10.	14,04	22,38	24,37
22.10.	10,48	21,44	24,00
23.10.	9,08	21,45	23,82
24.10.	9,95	21,70	23,84
25.10.	7,77	21,40	23,66
26.10.	5,58	20,62	23,55
27.10.	4,57	20,30	23,43
28.10.	3,56	20,13	23,24
29.10.	7,24	20,44	23,58
30.10.	8,61	20,46	23,67
31.10.	6,83	20,26	23,47
1.11.	-1,61	19,40	22,25
2.11.	-0,21	19,58	22,28
3.11.	1,32	19,63	22,33
4.11.	1,79	19,63	22,40
5.11.	2,77	19,78	22,64

6.11.	3,24	19,83	22,73
7.11.	4,72	20,01	23,01
8.11.	9,06	20,38	23,48
9.11.	11,46	20,77	23,70
10.11.	12,78	20,98	23,87
11.11.	15,46	21,22	24,08
12.11.	10,41	20,58	23,77
13.11.	7,35	20,26	23,53
14.11.	6,21	20,39	23,33
15.11.	3,78	20,04	23,08
16.11.	6,13	20,21	23,31
17.11.	6,78	20,31	23,34
18.11.	5,22	20,01	23,11
19.11.	14,05	21,29	23,87
20.11.	12,24	20,87	23,90
21.11.	8,59	20,66	23,61
22.11.	9,68	20,54	23,76
23.11.	10,88	20,59	23,80
24.11.	2,45	19,80	22,89
25.11.	7,82	20,37	23,43
26.11.	5,80	20,19	23,33
27.11.	4,23	20,03	23,14
28.11.	0,82	19,66	22,61
29.11.	-1,00	19,44	22,22
30.11.	0,22	19,58	22,36
1.12.	2,79	19,85	22,71
2.12.	1,14	19,63	22,44
3.12.	4,69	20,01	22,98
4.12.	3,52	19,88	22,89
5.12.	1,57	19,63	22,55
6.12.	-0,11	19,43	22,20
7.12.	0,68	19,53	22,30
8.12.	1,83	19,69	22,53
9.12.	-1,74	19,29	21,94
10.12.	0,22	19,51	22,16
11.12.	-2,61	19,23	21,64
12.12.	2,41	19,69	22,36
13.12.	-1,32	19,23	21,71
14.12.	3,68	19,74	22,44
15.12.	5,42	20,07	22,87
16.12.	10,00	20,43	23,52

17.12.	4,53	19,89	22,97
18.12.	8,32	20,47	23,28
19.12.	6,90	20,22	23,34
20.12.	6,14	20,12	23,21
21.12.	-2,09	19,31	22,05
22.12.	3,99	19,94	22,86
23.12.	-0,88	19,40	22,14
24.12.	-4,48	18,97	21,43
25.12.	-8,22	18,26	20,45
26.12.	-6,81	18,63	20,57
27.12.	-5,50	18,73	20,72
28.12.	-3,64	18,99	21,02
29.12.	2,10	19,67	21,99
30.12.	3,15	19,81	22,38
31.12.	-0,51	19,42	21,93
1.1.	7,63	20,30	23,14
2.1.	2,10	19,70	22,57
3.1.	3,25	19,84	22,75
4.1.	0,31	19,54	22,31
5.1.	-0,32	19,44	22,15
6.1.	-0,83	19,34	21,97
7.1.	-0,60	19,48	22,02
8.1.	-1,38	19,34	21,88
9.1.	-2,73	19,09	21,51
10.1.	-2,23	19,11	21,44
11.1.	-1,63	19,19	21,53
12.1.	-10,14	17,84	19,92
13.1.	-6,15	18,59	20,53
14.1.	-5,56	18,77	20,65
15.1.	-9,00	18,19	19,91
16.1.	-2,00	19,21	21,19
17.1.	-0,27	19,46	21,65
18.1.	1,57	19,64	22,09
19.1.	3,32	19,77	22,36
20.1.	1,49	19,59	22,26
21.1.	3,94	19,84	22,52
22.1.	4,70	19,93	22,79
23.1.	0,64	19,56	22,38
24.1.	-2,96	19,17	21,73
25.1.	-2,52	19,22	21,67
26.1.	2,51	19,82	22,43

27.1.	2,32	19,67	22,39
28.1.	-1,06	19,23	21,78
29.1.	1,10	19,57	22,26
30.1.	0,87	19,54	22,25
31.1.	6,09	20,07	22,99
1.2.	5,10	19,97	22,97
2.2.	2,75	19,77	22,64
3.2.	0,57	19,59	22,40
4.2.	-4,06	19,06	21,51
5.2.	-1,25	19,37	21,85
6.2.	-1,56	19,36	21,81
7.2.	-0,34	19,50	21,99
8.2.	-3,41	19,09	21,46
9.2.	-4,74	18,84	21,07
10.2.	-2,89	19,08	21,40
11.2.	-2,00	19,15	21,49
12.2.	-2,45	19,06	21,36
13.2.	0,93	19,49	22,00
14.2.	-7,34	18,45	20,58
15.2.	-6,28	18,26	20,28
16.2.	0,01	19,29	21,55
17.2.	2,28	19,58	22,07
18.2.	-0,72	19,25	21,70
19.2.	1,37	19,58	22,21
20.2.	3,65	19,85	22,65
21.2.	8,33	20,26	23,26
22.2.	9,97	20,39	23,55
23.2.	4,24	19,82	22,93
24.2.	4,55	20,01	22,87
25.2.	3,27	19,89	22,69
26.2.	1,87	19,77	22,55
27.2.	5,89	20,14	23,09
28.2.	6,89	20,30	23,15
1.3.	4,21	20,00	23,01
2.3.	3,74	20,05	22,90
3.3.	1,26	19,74	22,56
4.3.	0,23	19,61	22,39
5.3.	0,72	19,69	22,51
6.3.	2,45	19,78	22,62
7.3.	1,70	19,68	22,52
8.3.	-2,14	19,30	21,91

9.3.	-1,29	19,35	21,94
10.3.	-0,32	19,55	22,17
11.3.	2,86	19,88	22,70
12.3.	2,09	19,76	22,61
13.3.	3,28	19,87	22,78
14.3.	4,58	19,96	22,94
15.3.	5,88	20,06	23,03
16.3.	6,74	20,16	23,16
17.3.	13,62	21,04	23,88
18.3.	10,02	20,57	23,73
19.3.	9,05	20,48	23,63
20.3.	5,08	20,07	23,22
21.3.	5,38	20,16	23,14
22.3.	9,41	20,78	23,49
23.3.	7,32	20,62	23,35
24.3.	8,10	20,63	23,47
25.3.	7,68	20,40	23,53
26.3.	6,33	20,22	23,34
27.3.	11,63	20,87	23,85
28.3.	11,15	20,72	23,71
29.3.	8,61	20,61	23,48
30.3.	10,55	20,87	23,61
31.3.	12,68	21,14	23,90
1.4.	6,76	20,43	23,53
2.4.	5,74	20,20	23,37
3.4.	2,11	19,89	22,95
4.4.	9,62	20,72	23,73
5.4.	15,76	21,57	24,11
6.4.	14,77	21,72	24,08
7.4.	16,86	22,15	24,22
8.4.	16,40	22,35	24,19
9.4.	15,23	22,24	24,25
10.4.	17,78	22,51	24,48
11.4.	18,77	22,67	24,57
12.4.	14,32	22,04	24,31
13.4.	12,71	21,79	24,13
14.4.	13,72	21,72	24,11
15.4.	11,31	21,21	23,91

Прилог А.1.2: Приказ температура за најхладнији дан грејне сезоне 12. јануар

Доба дана	Дневна соба [°C]	Купатило [°C]	Спољна температура [°C]
1	18,06	21,11	-4,96
2	17,34	20,65	-5,99
3	17,04	20,39	-7,09
4	16,78	20,13	-8,19
5	16,49	19,85	-9,29
6	16,19	19,56	-10,39
7	15,87	19,24	-11,49
8	20,69	21,02	-11,78
9	22,08	21,74	-11,58
10	22,12	22,19	-11,31
11	21,00	23,20	-10,95
12	20,38	23,54	-10,49
13	20,60	23,68	-10,18
14	20,89	23,77	-9,91
15	20,85	23,81	-9,86
16	19,55	22,09	-10,15
17	20,06	22,55	-10,55
18	20,05	22,50	-10,89
19	20,02	22,85	-11,19
20	20,08	23,10	-11,55
21	20,66	23,10	-11,89
22	20,60	22,95	-11,44
23	19,92	21,69	-11,10
24	19,65	21,44	-11,10

7.2 Прилог Б: Потребна количина енергије за грејање објекта [kWh/m²]

Прилог Б.1: Потребна количина енергије за грејање објекта без постављених пријемника

	Без постављених колектора		
	J	kWh	kWh/m ²
Октобар	1245809330	346,06	2,27
Новембар	5691186308	1580,89	10,37
Децембар	10203539022	2834,32	18,59
Јануар	11314751479	3142,99	20,61
Фебруар	9030361212	2508,43	16,45
Март	5850214342	1625,06	10,66
Април	919914741	255,53	1,68
Укупно	44255776438	12293,27	80,62

Прилог Б.1.1: Потребна количина енергије за грејање објекта са постављеним соларним пријемницима типа American Solar Works Holding ASW52B

	American Solar Works Holding ASW52B		
	J	kWh	kWh/m ²
Октобар	972121858	270,03	1,77
Новембар	5419706483	1505,47	9,87
Децембар	10020994938	2783,61	18,25
Јануар	11075376441	3076,49	20,18
Фебруар	8703668662	2417,69	15,85
Март	5390155259	1497,27	9,82
Април	707889356	196,64	1,29
Укупно	42289912999	11747,20	77,04

Прилог Б.1.2: Потребна количина енергије за грејање објекта са постављеним соларним пријемницима Enerworks Inc COL-4x8-TL-SG1-SD10US

	Enerworks Inc COL-4x8-TL-SG1-SD10US		
	J	kWh	kWh/m ²
Октобар	896364016	248,99	1,63
Новембар	5323347947	1478,71	9,70
Децембар	9959440023	2766,51	18,14
Јануар	10971237585	3047,57	19,99
Фебруар	8520562122	2366,82	15,52
Март	5114747005	1420,76	9,32
Април	687701918.6	191,03	1,25
Укупно	41473400617	11520,39	75,55

Прилог Б.1.3: Потребна количина енергије за грејање објекта са постављеним соларним пријемницима Solene SLCR-30

	Solene SLCR-30		
	J	kWh	kWh/m ²
Октобар	860050462	238,90	1,57
Новембар	5233528932	1453,76	9,53
Децембар	9860182681	2738,94	17,96
Јануар	10879608564	3022,11	19,82
Фебруар	8389249862	2330,35	15,28
Март	4966404447	1379,56	9,05
Април	660964241.9	183,60	1,20
Укупно	40849989190	11347,22	74,41

Прилог Б.1.4: Потребна количина енергије за грејање објекта са постављеним соларним пријемницима Viessmann Manufacturing

	Viessmann Manufacturing		
	J	kWh	kWh/m ²
Октобар	761503734	211,53	1,39
Новембар	4682318716	1300,64	8,53
Децембар	9337012327	2593,61	17,01
Јануар	10275950494	2854,43	18,72
Фебруар	7776753000	2160,21	14,17
Март	4231877342	1175,52	7,71
Април	558419117	155,12	1,02
Укупно	37623834732	10451,07	68,54

Прилог Б.2: Процентуална уштеда зависности од типа пријемника

	American Solar Works Holding ASW52B	Enerworks Inc COL-4x8-TL-SG1-SD10US	Solene SLCR-30	Viessmann Manufacturing
Уштеда [%]	4,65	6,71	8,34	17,63

7.3 Прилог В: Енергија добијена од соларних пријемника [kWh]

Прилог В.1: Добијена енергија зависности од типа пријемника [kWh]

Месец	American Solar Works Holding ASW52B	Enerworks Inc COL-4x8-TL-SG1-SD10US	Solene SLCR-30	Viessmann Manufacturing
Октобар	125,99	146,84	156,7	184,65
Новембар	110,59	132,85	154,08	286,02
Децембар	93,94	106,65	130,79	256,90
Јануар	103,59	124,80	146,52	291,95
Фебруар	126,76	169,63	201,27	356,97
Март	168,15	237,81	275,21	458,84
Април	80,19	89,14	97,22	128,12
Укупно	809,23	1007,73	1161,79	1963,45

Прилог В.1.1: Упоредивање добијене енергије за месец март зависно од типа пријемника [kWh]

	American Solar Works Holding ASW52B	Enerworks Inc COL-4x8-TL-SG1- SD10US	Solene SLCR-30	Viessmann Manufacturing
1. Март	4,46	5,33	6,97	13,21
2. Март	13,77	22,48	24,28	36,38
3. Март	10,79	15,31	17,73	31,34
4. Март	1,32	0,38	0,73	3,46
5. Март	0,02	0,00	0,00	0,74
6. Март	6,44	10,93	13,21	22,90
7. Март	3,93	3,21	4,62	8,30
8. Март	7,70	9,55	12,20	24,98
9. Март	7,82	11,36	14,40	23,99
10. Март	0,90	0,18	0,74	2,75
11. Март	0,76	0,00	0,45	2,16
12. Март	3,71	3,58	4,47	10,19
13. Март	1,22	0,91	1,30	3,00
14. Март	1,09	0,21	0,64	3,03
15. Март	5,27	5,84	6,83	13,93
16. Март	6,18	9,43	11,78	20,95
17. Март	4,38	4,68	5,49	11,07
18. Март	0,60	0,07	0,29	1,27
19. Март	3,47	3,87	4,39	7,41
20. Март	5,74	6,09	5,20	9,85
21. Март	7,64	14,81	16,17	25,62
22. Март	11,01	18,21	20,43	30,96
23. Март	11,02	19,68	21,78	25,58
24. Март	10,60	19,59	20,67	25,46
25. Март	2,23	1,39	2,34	5,37
26. Март	4,08	4,68	5,00	8,56
27. Март	3,46	3,88	5,42	9,01
28. Март	4,24	4,87	6,36	11,97
29. Март	10,76	19,39	20,71	32,58
30. Март	8,69	13,68	15,16	23,62
31. Март	4,86	4,24	5,43	9,18
Укупно	168,16	237,81	275,21	458,84

Прилог В.1.2: Упоредивање добијене енергије за месец април зависно од типа пријемника [kWh]

	American Solar Works Holding ASW52B	Enerworks Inc COL-4x8-TL-SG1- SD10US	Solene SLCR-30	Viessmann Manufacturing
1. Април	0,47	0,04	0,13	1,47
2. Април	0,78	0,00	0,52	2,20
3. Април	2,82	2,43	4,00	7,68
4. Април	5,78	6,70	7,96	14,81
5. Април	8,72	14,25	15,50	26,93
6. Април	10,48	15,98	18,58	10,77
7. Април	9,51	10,04	9,56	6,66
8. Април	13,52	10,57	7,67	7,46
9. Април	5,89	5,20	5,67	5,30
10. Април	0,32	0,00	0,00	1,34
11. Април	0,22	0,00	0,00	1,03
12. Април	1,26	0,00	0,11	2,57
13. Април	8,94	12,76	14,56	19,58
14. Април	4,87	4,16	4,87	7,95
15. Април	6,63	7,07	8,08	12,38
Укупно	80,19	89,19	97,22	128,12

Прилог В.1.3: *Највећа произведена енергија од пријемника за један дан*

Време у току дана [h]	American Solar Works Holding ASW52B 16. јануар	Enerworks Inc COL-4x8-TL- SG1-SD10US 10. октобар	Solene SLCR- 30 3. Новембар	Viessmann Manufacturing 2. Новембар
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0,12	0,66	0,92	1,33
9	0,94	1,68	2,46	3,96
10	1,59	4,17	4,26	5,58
11	3,32	4,94	4,68	6,74
12	3,80	4,85	4,66	6,88
13	3,65	4,52	4,47	6,24
14	2,46	1,93	2,49	5,41
15	1,48	0,61	0,95	2,79
16	0,44	0	0	0,23
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0
24	0	0	0	0
Укупно	17,79	23,36	24,882	39,16