

**Факултет инжењерских наука
Универзитет у Крагујевцу**

Ненад В. Милетић

Испитивање пасивног соларног система

Мастер рад

Крагујевац, 2015.

**Факултет инжењерских наука
Универзитет у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Обновљиви извори енергије 1

Број индекса: 393/2013.

Ненад В. Милетић

Испитивање пасивног соларног система

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Небојша Лукић - ментор

2. _____

Датум одбране: _____

3. _____

Оцена: _____

*Драгим родитељима Десанки и Владимиру,
браћу Срђану, у знак љазње и захвалности,
за несебичну подршку у животи и раду.*

Захваљујем се проф. др Небојши Лукићу, човеку који ми је од почетка студија доста помогао у стицању знања, искуства и техника из области Обновљивих извора енергије, Термоенергетских уређаја и постројења и који се осим свог изузетног знања и професионалности истиче и извредним људским квалитетима, а мени је била част да управо он буде мој ментор при изради овог мастер рада. Поред проф. др Небојше Лукића захвалност дугујем и др Новаку Николићу на свесрдној помоћи, саветима и разумевању, које су ми пружили током израде овог мастер рада.

Нарочиту захвалност дугујем свим својим пријатељима и колегама, који су ми на било који начин пружили помоћ и подршку током студирања.

Највећу заслугу за оно што сам постигао приписујем својим родитељима, који су увек били уз мене, без обзира да ли се радило о тешким или сретним тренуцима и без којих све ово што сам досад постигао не би било могуће.

Новембар, 2015. године
Крагујевац

Ненад Милетић

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да проучи препоручену, као и ширу литературу, и да објасни утицај пасивног соларног система на повећања енергетске ефикасности објекта. Пре свега треба објаснити шта је енергетска ефикасност објекта и на који начин ће се мењати постављањем додатне изолације (земље) на одговарајуће стране објекта. Кандидат је у обавези да на основу добијених прорачуна губитка топлоте и вредности уштеде енергије, остварене додатном изолацијом, прикаже табеларно и у виду дијаграма у циљу приказивања најефикасније изолације и уштеде енергије објекта.

Препоручена литература:

- [1] С. Зрнић, Ж. Ћулум, *Грејање и климатизација са применом соларне енергије*, Научна књига, Нови Сад, 1966.
- [2] Н. Лукић, М. Бабић, *Соларна енергија*, Машински факултет у Крагујевцу, 2008.
- [3] В. Милковић, *Соларне земунице - дом будућности*, Нишро Дневник, Нови Сад 1983.

Крагујевац, 22. 10. 2015.

Ментор:

Проф. др Небоша Лукић,
редовни професор

РЕЗИМЕ

Са циљем повећања енергетске ефикасности објекта, у овом раду је испитан утицај земље као изолатора објекта 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 значајна количина гасова стаклене баште, пре свега угљен-диоксида, а ипак је треба имати у виду да су фосилна горива ограничени ресурс и да се морају користити што рационалније. Управо са оваквом свешћу имамо могућности побољшања енергетске ефикасности још у фази пројектовања објекта, односно пре његове изградње. У овом раду се користио пројамски пакет EnergyPlus, који има могућност да симулира рад ових система у условима приближним реалним. Објект симулације је породична кућа на два нивоа (приземље + спрат), укупне површине 190 m^2 , корисне грејне површине 120 m^2 са локацијом у граду Крагујевцу, Србија. Као резултати симулација добијена је потребна количина енергије за грејање објекта, која се у зависности од врсте градње објекта кретала од $76,91 \text{ kWh/m}^2$ до $92,14 \text{ kWh/m}^2$, а уштеда остварена на основу изолације одређене стране објекта је у границама од 0,16 % до 35,40 %. Симулације, за исти објект, су извршене и на локацијама као што су: град Андравида, Грчка; град Хамбург, Немачка; град Санкт Петербург, Русија.

Кључне речи: Пасивни соларни системи, Грејање, Енергетска ефикасност.

ABSTRACT

In order to increase the energy efficiency of an object, in this work the influence of ground as a insulator of object is checked to reduce the spending of energy. Decreasing energy consumption has the great significance not only for the individual, but and globally, because the combustion of fossil fuels into the atmosphere emits significant quantity of the greenhouse gases, primarily carbon dioxide, and also we should have on the mind that fossil fuels have the limited resource and they have to be used as rationally as it possible. Just with this consciousness we have the possibility to improve the energy efficiency at the phase of projecting object, exactly before its upbuilding. In this study it was used the software packet EnergyPlus which has the ability to simulate the operation of these systems in the terms approximately to reals. The object of simulation is family house at two levels (ground floor + floor) which has the surface of 190 m^2 , useful heating surface 120 m^2 , situated at the city Kragujevac, Serbia. As the results of simulations is obtained the needed quantity of energy for heating object, which depending on the type of construction and was ranged from $76,91 \text{ kWh/m}^2$ to $92,14 \text{ kWh/m}^2$, and on the base of insulation of certain object side achieved saving is limited from 0,16 % to 35,40 %. Simulations for the same object have been carried out and at the other locations as are: Andraviva city, Greece; Hamburg city, Germany; Sankt Petersburg city, Russia.

Keywords: Passive solar systems, Heating, Energy efficiency.

САДРЖАЈ

УВОД	8
1. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ	9
1.1. Енергетска ефикасност у домаћинствима	9
1.2. Пасивни соларни системи	9
1.2.1. Тромбеов зид.....	10
1.3. Google SketchUp и EnergyPlus	12
1.4. Соларне земунице - Подземне куће	14
1.4.1. Историја станаовања у подземним кућама	14
1.4.2. Типологија подземних кућа	15
1.4.3. Предности подземних кућа	15
1.4.4. Неизвесна својства подземних кућа	16
1.4.5. Савремени приступ у пројектовању подземних кућа	16
2. ОПИС ОБЈЕКТА	17
2.1. Физички опис објекта	17
2.2. Материјали и конструкције објекта	19
2.3. Унутрашње оптерећење објекта	21
2.4. Извођење пасивне соларне система на објекту	24
3. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА	26
3.1. Дифузно и директно зрачење	27
3.2. Укупна пошрошња енергије	28
3.3. Пошрошња енергије за грејање	29
3.4. Приказ температуре	33
3.5. Добитак и губитак енергије кроз прозоре	35
3.6. Резултат симулација објекта на различитим локацијама.....	36
ЗАКЉУЧАК	43
ЛИТЕРАТУРА	45
ПРИЛОГ	46
I. Табеларни приказ температуре	46
II. Табеларни приказ добитка и губитка енергије кроз прозоре	48

УВОД

Заоштравање питања расипања енергије (тзв. енергетска криза) седамдесетих година XX века изазвало је озбиљна настојања за рационализацијом потрошње и штедњом енергије у свим подручјима. Тако је, заправо, тек седамдесетих година прошлог века утврђено да је, уз транспорт, становање једно од врло значајних потрошача енергије. Подаци из различитих средина говоре да потрошња енергије у стамбеном сектору обухвата од 20 до 40% од укупне потрошње енергије. Треба, међутим, знати да су ово показатељи који се односе углавном на потрошњу енергије у фази експлоатације стамбених грађана, где су највећи потрошачки системи грејања (евентуално хлађења), затим расвета и други сервиси становања (топла вода, вентилација, кућни апарати и сл.) [1].

Због тога је баш уштеда енергије у стамбеним објектима данас један од светских трендова. Заправо све се више води рачуна да животни простор мање кошта а да се потом троши исто или мање енергије. Власници кућа могу достићи уштеду до 30%, или више, при чему повећавају ниво удобности дома правећи енергетски ефикасније зграде. Додатне уштеде енергије су могуће било прављењем нових домова или реновирањем постојећих. Власници који желе још веће редукције у трошковима коришћења могу користити новије видове енергетских система, као што су пасивни соларни системи и други облици обновљивих извора енергије [1].

Циљ овог мастер рада је анализирати енергетске карактеристике објекта који је прво потребно моделирати са задатим димензијама, обичне градње и одредити потрошњу електричне енергије која се користи за грејање, расвету и коришћење електричних уређаја. Затим урадити исти поступак али у овом случају ако би се објекат делимично (све стране осим јужне стране објекта) изоловао земљом. Након тога упоредити добијене резултате и утврдити евентуалне уштеде. Оваква анализа и упоређивања овог типа су данас веома честа, нарочито развојем рачунарске технике и софтвера специјализованих за такве могућности. Способност руковања тим софтверима омогућује знатно бржи и лакши пут до циља, што је у старту уштеда у времену. Управо је један такав софтвер коришћен у овом раду о чему ће бити речи у наредним поглављима.

Моделирање објекта је рађено у програму *Google SketchUp 8*, а уношење параметара објекта и симулација у програму *EnergyPlus*. *EnergyPlus* је програм за израду симулација и анализе, помоћу којег је могуће прецизно одредити количину енергије коју троше уређаји за грејање и климатизацију. Користе га инжењери, архитекте и истраживачи за анализе потрошње енергије и воде у оквиру дефинисаног објекта. У самом програму може се дефинисати период у којем се врши симулација и унети фајл из којег програм узима вредности временских параметара за било које подручје на Земљи. За повезивање модела израђеног у *Google SketchUp* - у, коришћен је програмски пакет *OpenStudio*, као плугин за *Google SketchUp*.

1. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ

1.1. Енергетска ефикасност у домаћинствима

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.

1.2. Пасивни соларни системи

Глобални развој друштва у будућности ће у огромној мери зависити од стања у области енергетике. Проблеми са којима се суочавају, у мањој или већој мери, све земље света су повезане са обезбеђивањем енергије и очувањем животне средине. Пораст људске популације на Земљи узрокује стално повећање потребе за енергијом, самим тим и повећаног коришћења енергије добијене из фосилних горива као и негативним еколошким ефектима које они проузрокују.

У данашњем свету организација живота се у првом реду ослања на коришћење фосилних горива, што доводи до незаустављивог повећања потрошње тих горива, уз истовремену деградацију животне средине и интензивирање зависности и сиромаштва оних који ту врсту горива немају у свом поседу.

Потреба за све већом употребом обновљивих извора енергије, у овом случају Сунчеве енергије, захтева спровођење већег броја сложених истраживања на пољу повећања ефикасности система који трансформишу Сунчеву енергију у неки други вид енергије, топлотну и/или електричну.

Под појмом пасивно соларно грејање подразумевају се технологије за искоришћење Сунчевог зрачења у циљу загревања објекта. Пасивно соларно грејање је један од елемената такозваног пасивног соларног дизајна, који се базира на употреби Сунчеве енергије за производњу других облика енергије, или транспорт топлотне енергије путем природне конвекције, кондукције или зрачења. За разлику од активног соларног дизајна, ова технологија не захтева додатне уређаје, не изискује нарочито велике трошкове и најчешће је исплативост инвестиција у периоду од неколико година.

Идеја о пасивном соларном грејању полази од чињенице да Сунце у току године исија огромну количину енергије на површину Земље.

Иако свега око 50% укупног зрачења које доспе на Земљу заиста и стигне до тла, остатак се врати назад у вакуум свемира одбијањем зрачења од атмосфере, облака и слично. Од тога свега мало више од $\frac{1}{4}$ падне на копно, а остатак апсорбују океани. То је опет довољна количина енергије да вишеструко задовољи све садашње енергетске потребе планете. То је практично бесплатна енергија која је у садашњим условима готово неискоришћена. У неким случајевима је количина енергије коју прими кров објекта чак и већа од укупне количине енергије која се потроши у самом објекту [6].

Пасивно соларно грејање користи се системима који апсорбују топлотну енергију Сунца, акумулирају је, а затим, када температура опадне, та енергија се ослобађа из акумулатора, загревајући околни простор. За пријем, акумулацију и дистрибуцију енергије често се користе сами прозори, кровови, зидови или подови зграде, тако да уградња оваквих система практично не представља велике додатне трошкове, ако се уграђује у нове објекте. Код објеката којима се накнадно уграђују ови системи, трошкови могу бити већи, али углавном је период повраћаја тих инвестиција релативно кратак.

За дизајн елемената пасивног соларног грејања битни су следећи елементи:

1. правилна оријентација прозора објекта, односно оријентација ка југу, одакле током читаве године долази највећа количина Сунчевог зрачења
2. прозори и стакла које данашња технологија пружа, а који се састоје од посебних материјала, или су прекривени специјалним слојевима, који омогућавају већу акумулацију топлотне енергије
3. акумулација енергије у термалним масама, које чине грађевински материјали великог капацитета складиштења топлоте, попут цигле, бетона, земље, али и воде
4. правилно дизајнирани системи за дистрибуцију акумулиране топлотне енергије кроз објекат
5. заштитни елементи, који спречавају Сунчево зрачење да загрева објекат током лета, када је грејање непотребно [6].

Како би систем био у целости еколошки и пре свега здрав, треба водити и рачуна о материјалима који се уграђују (да ли су токсични, биоразградиви, обновљиви и сл.), као и да ли је њихова производња еколошка (да ли се стварају велике количине отпада и колико се енергије утроши приликом производње, да ли се тај отпад рециклира или поново користи, на који начин се транспортује роба и сл.).

Пасивно соларно грејање не мора бити довољно за грејање читавог објекта, али може смањити трошкове додатног загревања објекта и тако смањити употребу необновљивих горива, најчешће фосилног порекла. Поред тога, објекти са оваквим системима најчешће су добро осветљени, отворени ка околини и пријатни за становање.

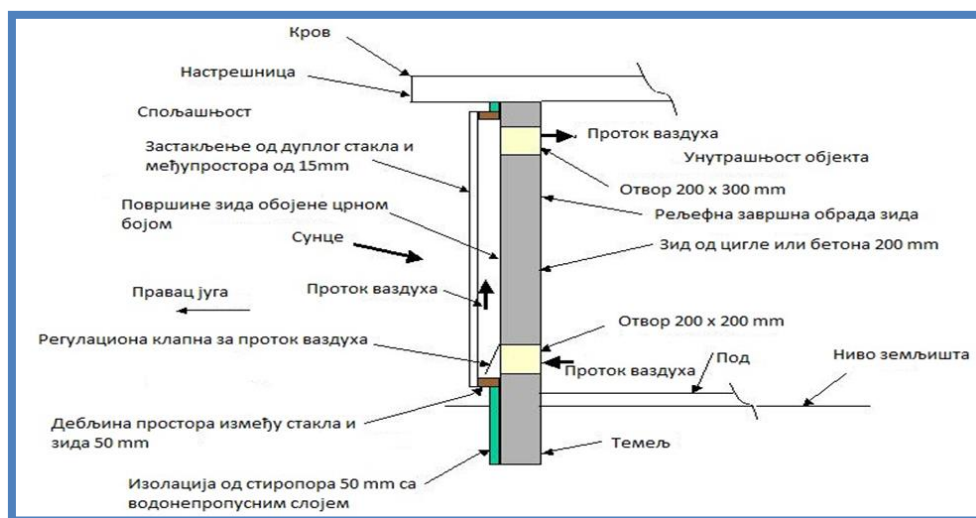
1.2.1. Тромбеов зид

Тромбеов зид је зид од грађевинског материјала великог топлотног капацитета (цигла, бетон), дебљине најчешће 200 mm. Испред зида, према спољашњости, која најчешће представља јужну страну објекта, на раздаљини од 20 до 50 mm постављено је једноструко или двоструко застакљење. Спољна површина зида је, обично, премазана аспорбујућом црном бојом, а унутрашња површина зида је обрађена рељефно без шупљина, како би размена топлоте између два зида и унутрашњости објекта била што интензивнија. На дну и врху Тромбеовог зида су направљени отвори целом дужином зида, који омогућавају унутрашњем ваздуху да струји дуж површине зида коју Сунчеви зраци загревају. Тромбеов зид се изољује на споју са плочом темеља, како би се избегла појава топлотног моста и одвођења топлоте кроз темељ објекта.

Како је у летњем периоду загревање објекта најчешће непожељно, над Тромбеовим зидом се поставља спољна настрешница, која спречава продор Сунчевих зрака, при његовим високим положајима на небеској сфери, што је карактеристика летњег времена.

Прве конструкције Тромбеовог зида нису поседовале отворе ради струјања унутрашњег ваздуха и његовог загревања конвекцијом, па су топлотни губици у току ноћи били јако велики, односно ефикасност таквог зида је била мала. Другим речима, загрејани Тромбеов зид у току ноћи зрачи дуготаласно инфрацрвено зрачење које се апсорбује на стакленој површини. Стакло се загрева и зрачењем и конвекцијом и одаје топлоту околини. Ово је било јако изражено при нижим спољним температурама. Формирањем отвора у подножју и врху зида, унутрашњи ваздух ће конвекцијом преузети акумулирану топлотну енергију у зиду [2].

Најчешће данас коришћена конструкција Тромбеовог зида је приказана на слици 1.



Слика 1. Модификовани Тромбеов зид [2]

Тромбеов зид је доживео значајан број модификација и измена. Најчешће измене Тромбеовог зида су следеће:

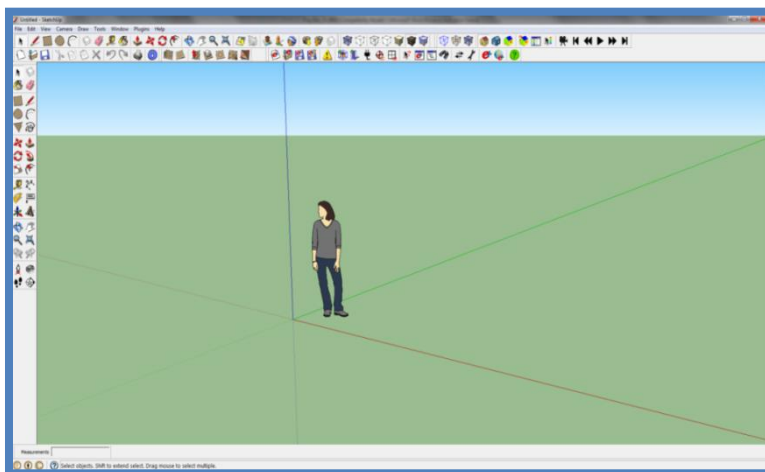
- постављање отвора са клапном ка спољашњости изнад застакљења, што омогућава хлађење Тромбеовог зида лети када грејање у објекту није потребно;
- у Тромбеовом зиду се могу постављати прозори, пре свега из разлога недостатка дневног светла у просторији; као и естетских разлога;
- додатни вентилатори поспешују струјање ваздуха дуж Тромбеовог зида и размену „заробљене“ Сунчеве енергије;
- унутрашњи зазори спречавају дуготаласно зрачење Тромбеовог зида током ноћи, а спољашњи пријем лети непожељног краткоталасног, Сунчевог зрачења споља;
- изолација спољне стране Тромбеовог зида умањује његове топлотне губитке ноћу (али и продужава период за који топлота са спољне стране зида стиже до унутрашње);
- постоји могућност коришћења водених резервоара за акумулирање топлоте Тромбеовог зида (у самом зиду или у таванском или подном простору);
- у новије време користе се и селективне површине на спољној страни Тромбеовог зида које у великој мери решавају проблем топлотних губитака у току ноћи [2].

1.3. Google SketchUp и EnergyPlus

Пре него што се започне са радом у програму *EnergyPlus* потребно је дефинисати геометрију објекта помоћу програма *Google SketchUp* (слика 2.).

За добијање геометрије потребно је моделирати објекат који симулира и експортирати га у *IDF file* који *EnergyPlus* препознаје. Само моделирање објекта се обавља коришћењем једноставних алата, а веза између два програма је *OpenStudio plugin* који је неопходно инсталирати. Свака просторија објекта се моделира засебно са тим што се води рачуна да се геометрије заједничких површина поклапају међусобно. Такође, треба водити рачуна и о распореду унутрашњих отвора и њиховом међусобном поклапању, као што је приказано на слици 3.

Након израде свих просторија, потребно је изменити имена свих површина које ограничавају просторију, ради лакшег даљег руковања истим. На крају се експортује у *IDF file* формат који олакшава рад у *EnergyPlus* - у јер би геометрија објекта морала да се уноси укупцавањем координата свих зона објекта директно у програм, док се у овом случају добија аутоматски.



Слика 2. Радно окружење Google SketchUp - а

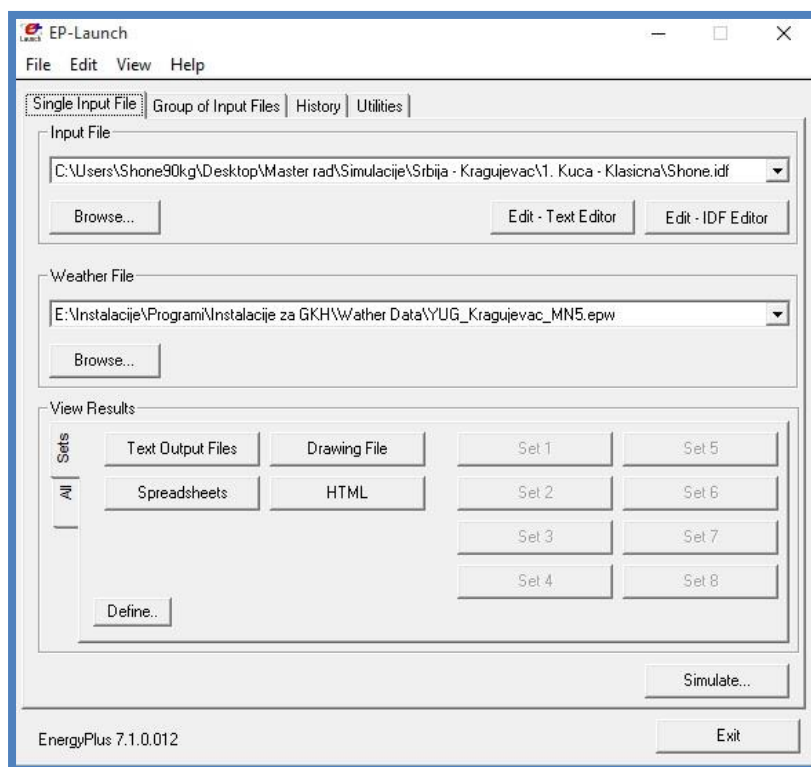


Слика 3. Модел зоне са заједничком површином

Овај софтвер моделира грејање, хлађење, осветљење, вентилацију, и друге енергетске токове као и водену мржу у домаћинству. Укључује многе иновативне способности симулације као што су временски размаци мањи од једног сата, аутоматски системи, топлотно балансиране зоне симулације, проток ваздуха кроз термичке зоне, термичку удобност, коришћење воде, као и природну вентилацију.

EnergyPlus (слика 4) има своје корене у *BLAST* и *DOE-2* програмским пакетима. Оба ова пакета, *BLAST* (*Building Loads Analysis and System Thermodynamics* - термичка анализа зграда и система термодинамике) и *DOE-2*, развијени су и објављени у касним седамдесетим и раним осамдесетим годинама XX века, као алати за термичке и енергетске симулације. Корисници ових алата били су инжењери дизајна и архитекте који би на прави начин одредили неопходну *HVAC* опрему, развијали различите студије о анализи животног циклуса, оптимизовали енергетске перформансе итд.

EnergyPlus прорачунава енергију потребну за грејање и хлађење објекта у оквиру предвиђених оптималних вредности температура, као и потрошњу енергије примарног постројења са опремом. Овај програм опонаша временске реалне услове „микроклиме“ и енергетских потреба једног објекта. Радно окружење *EnergyPlus* - а је приказано на слици 4.

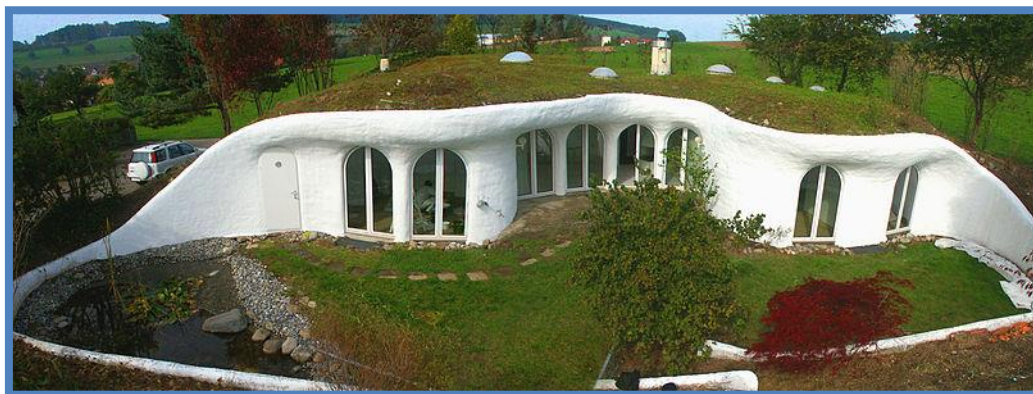


Слика 4. Радно окружење *EnergyPlus* - а

1.4. Соларне земунице - Подземне куће

Зграде представљају велике потрошаче, са просечним учешћем од око 50% укупне потрошње енергије у свету. Због интензивне употребе фосилних горива, зграде се директно сматрају одговорним за стварање велике количине угљендиоксида у атмосфери. Са тим у вези, питање градитељства у условима одрживог развоја има изузетан значај [4].

Одрживо градитељство, тј. архитектура је покрет који тежи да створи енергетски ефикасне зграде, пријатељски наклонене према окружењу, као и ефикасно руковођење природним ресурсима. На тај начин пројектују се и изводе „зелене зграде” које подразумевају висок приоритет здравља корисника, карактеристике очувања, окружења и ресурса. Мере „озелењавања” зграде подразумевају четири области: смањење потрошње енергије, минимизирање спољашњег загађења и нарушавања окружења, смањење енергије уткане у зграду и минимализовање унутрашњег загађења и нарушавања здравља. Врста куће која задовољава све наведене карактеристике је подземна кућа. Подземна кућа је стамбени објект уграђен у падину или изграђен на неки други начин, али тако да делимично или потпуно буде под земљом. Примарна корист ових структура је природна изолација. Куће изграђене на овај начин заштићене су од променљиве спољашње температуре ваздуха. Пример, овако изграђене куће, је подземна кућа у Швајцарској која је приказана на слици 5. [4].



Слика 5. Подземна кућа у Швајцарској [4]

1.4.1. Историја и станавања у подземним кућама

У народном градитељству увек су коришћени доступни материјали. У архитектонској пракси, земља се користи као топлотна маса за облагање спољашњих зидова, како би се смањили топлотни губици и како би се унутар објекта одржала стална температура. Подземни објекти, пре свега стамбени, постали су популарни, у данашње време, међу заговорницима пасивне соларне и одрживе архитектуре, али они постоје од најранијих времена док су људи још градили склоништа. Подземне куће, као и „low cost“ подземне куће нису никаква новина. Човек је живео под земљом у многим етапама и на многим местима кроз историју. Обнављање тренда у савременој архитектури десио се крајем седамдесетих и почетком осамдесетих година двадесетог века, дакле са почецима приче о енергетској ефикасности и одрживом развоју.

У Кападокији у Турској људи су живели у подземним насељима и градовима хиљадама година. Стамбене зграде, од којих су неке високе и осам спратова клесане су у меким стенама [4].

Преживеле структуре из прошлости, између осталих, могу се наћи у Шкотској, Француској, на Исланду и оне су пресвучене бусенима траве.

Другу врсту подземних стамбених објеката из прошлости чине структуре као што су Gila Cliff Dwellings у Новом Мексику, стамбени објекти у Кини. Подземни објекти из Туниса стекли су светску славу 1977. године захваљујући сету у филму Ратови звезда Лука Скајвокера. Улаз у облику дугог тунела води до централно отвореног дворишта, а понекад повезује и 2 или 3 дворишта. Око сваког дворишта, неколико соба укопано је у земљу.

У Аустралијском граду Кубер Пидиу, познатом као највеће налазиште опала на свету, три хиљаде људи живи у подземним кућама (пећинама), уклесаним у стенама, због превелике топлоте у летњим месецима. Ова традиција стара је преко сто година, од када су 1900. године, први рудари дошли у овај крај и настанили се у пећинама на обронцима брда [4].

1.4.2. Типологија подземних кућа

У одређеној мери дизајн подземне куће одређен је условима локације. Врста земљишта, топографија, падавине, ниво подземних вода, својства носивости, стабилност косине све треба пажљиво размотрити. Постоји неколико различитих типологија подземних кућа и све се заснивају на начину укопавања објекта. Најшире заступљена подела је на:

- Конструисане пећине - настају стварањем хоризонталних тунела у земљи. Иако је ово популаран поступак широм света, он може бити скуп и опасан.
- Ископати и покрити - је назив за каналне куће, али оне које су направљене од монтажних префабрикованих бетонских цеви и контејнера, са унапред утврђеним распоредом просторија, а затим закопане у земљу.
- Насип - кућа се најпре гради на равном терену или благо закошеном, а потом закопа, али тако да се оставе отвореним зид или кров због осветљавања простора.
- Елевација - Кућа је саграђена у страни брда тако да простор испред куће остане отворен.
- Атријум - називају се дворишне куће, код којих су просторије уграђене испод земље, али организоване око потопљеног врта или двориште који омогућава довод дневног светла унутар објекта [4].

1.4.3. Предности подземних кућа

Подземне куће имају многе предности у односу на конвенционалне објекте за становање. За разлику од традиционалних кућа, могу се градити на стрмим површинама и могу да обезбеде много стамбеног простора на малој површини тако што ће се градити под земљом. Поред тога материјал ископан на почетку изградње може се даље користити у процесу градње.

Подземне куће су мањих површина, на тај начин утроши се мање грађевинског материјала и трошкови одржавања су мањи. Оне су, такође, отпорне на ветар, пожар и земљотрес и обезбеђују сигурност и безбедно окружење у екстремним временским условима.

Једна од највећих предности подземне куће је њена енергетска ефикасност. Потповршинска температура земље остаје стабилна, тако да подземни станови имају користи од земљане масе и гео-термалне топлоте. Ако се систем комбинује са соларним системом, енергија добијена овим путем може свести употребу додатног вида енергије за потребе загревања и хлађења на минимум, односно на нулу и да притом обезбеди топлу воду током целе године. Додатна корист од земље је и звучна изолација. Подземни домови су изузетно тиха места за живот [4].

Коначно, подземне куће стапају се са природним пејзажом и имају најмање утицаја на локалну екологију и то не само са естетског аспекта, већ и са аспекта заштите природних станишта животиња.

1.4.4. Непроветрена својства подземних кућа

Непроветреност подземног стамбеног простора, као и влага, само су неке од лоших страна овог начина градње. Чињеница да је кућа укопана и да је тиме умањено или потпуно онемогућено дејство ветра налаже проналажење нових начина вентилирања. Вентилирање се најчешће врши системом цеви, једнима се ваздух увлачи у објекат, а другима искоришћен ваздух избацује ван.

Посебну пажњу при изградњи треба посветити заштити објекта од воде са системом дренаже како зидова, тако и крова.

Број отвора на подземним објектима је врло ограничен. Своде се на једну или две осветљене фасадне равни и евентуално увођење зениталног осветљења у објекат.

У изградњи подземних кућа не могу учествовати све врсте материјала. Најчешће се примењује бетон, као најпостојанији материјал на влагу. Како земља може бити врло тешка, конструктивни елементи могу бити предимензионирани чиме се поскупљује градња [4].

1.4.5. Савремени приступ у пројектовању подземних кућа

Пасивни соларни дизајн кључан је за зелено становање и смањење потрошње фосилних горива.

Самогрејна еколошка кућа или соларна земуница је иновативни принцип дизајна пасивне соларне градње који представљају стамбене објекте високе енергетске ефикасности који се греју помоћу Сунчеве енергије. Дизајниране су тако да уместо крова имају земљани омотач око конструкције куће са инсталираним рефлектујућим површинама око прозорских оквира као иновативном соларном технологијом за појачавање топлоте и светла које уђе у кућу.

Други начин коришћења соларне енергије за потребе подземне куће је помоћу соларних панела који се уграђују на кров и-или фасади куће.

Поред смањене потребе за електричном енергијом и природним гасом, подземни домови су савршени за коришћење система геотермалне топлотне пумпе. Геотермални системи се ослањају на коришћење загрејане паре и / или воде под земљом. Када су цеви већ инсталиране под земљом "зелена" топла вода и грејање су релативно једноставан подухват.

Градња подземне куће није скупа. Трошкови изградње су упоредиви са већином трошкова градње конвенционалних домова, а уштеде у утршеној енергије даје им предност при експлоатацији [4].

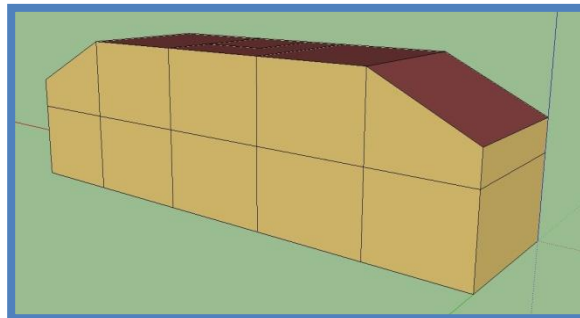
2. ОПИС ОБЈЕКТА

2.1. Физички опис објекта

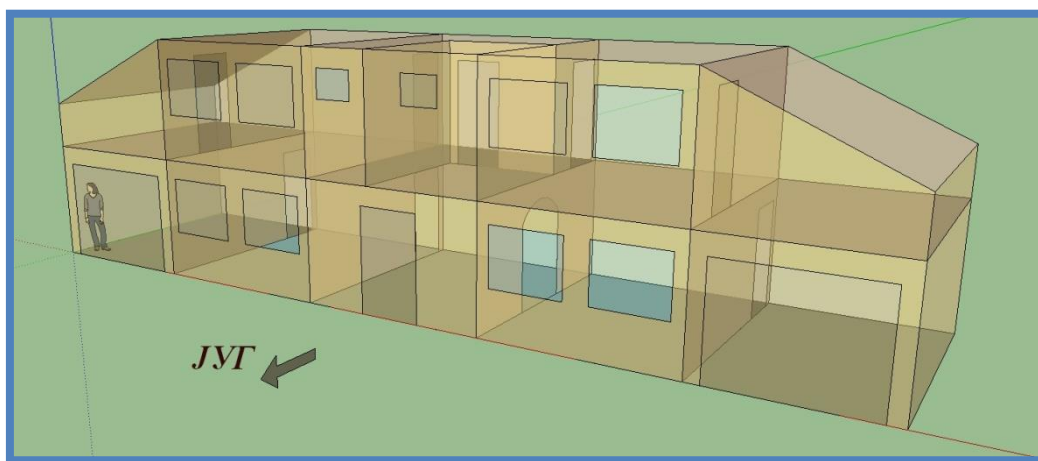
Стамбени објекат за који се врши симулација у циљу повећања енергетске ефикасности је кућа (слика 6, слика 7, слика 8), која се налази у приградском насељу града Крагујевца, Република Србија.



Слика 6. Кућа (предња страна)



Слика 7. Кућа (задња страна)



Слика 8. Кућа (View model in X-Ray Mode команда)

Објекат је постављен као слободно стојећи са све четри слободне фасаде (слике 6 и 7). Умерено изложен ветровима.

Јужни део куће је у потпуности изложен утицају Сунчевог зрачења како у летњем тако и у зимском периоду.

Кућа ($190,00 \text{ m}^2$) којој треба повећати енергетску ефикасност састоји се из приземља ($95,00 \text{ m}^2$) и спрата ($95,00 \text{ m}^2$). Кућа поседује 11 зона (Гаража 1, Кухиња и Трпезарија, Ходник - Приземље, Дневна соба, Гаража 2, Спаваћа соба 1, Спаваћа соба 2, Остава 1, Остава 2, Купатило и Ходник - Спрат).

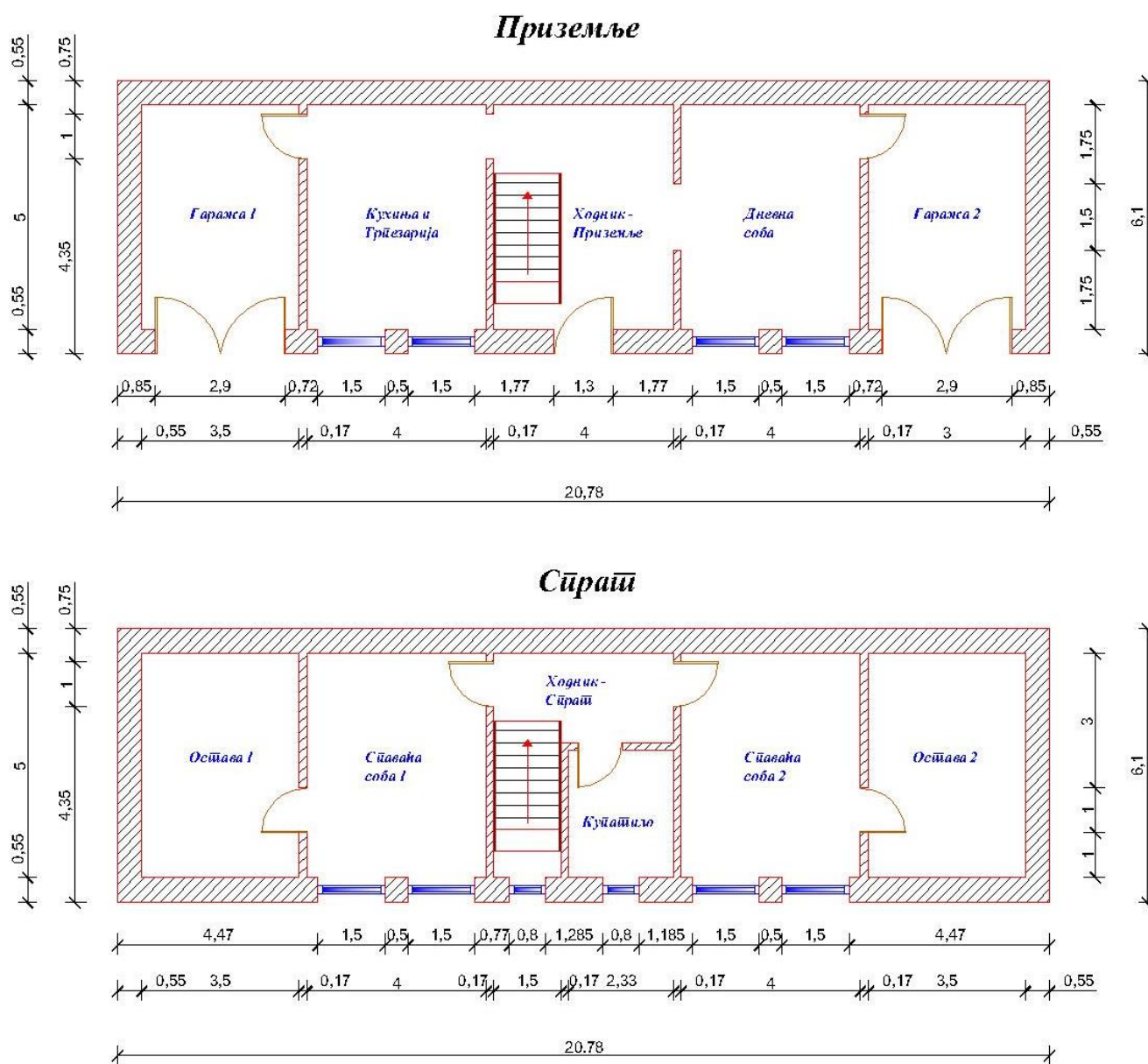
Кров куће изнад просторија Спаваћа соба 1, Спаваћа соба 2, Купатило и Ходник - Спрат је израђен као раван кров. Изнад просторија Остава 1 и Остава кров је израђен као коси кров.

У табели 1. су приказане просторије куће, њихове површине, број прозора као и број врата за дату просторију, док су на слици 9. приказане основе приземља и спрата објекта, са дефинисаним просторијама и димензијама.

Све просторије које су пројектоване за загревање се загревају помоћу панелних радијатора. Просторије као што су: Гаража 1, Гаража 2, Остава 1 и Остава 2, се не узимају у обзир када се гледа потрошња енергије по квадрату за грејање јер ове просторије нису пројектоване за грејање и дужи боравак у њима. На основу тога и вредности површина за дате просторије, укупна грејна површина објекта износи $120,00 \text{ m}^2$.

Табела 1. Подаци о објекту и просторијама

Име просторије	Број прозора	Број врата	Површина [m ²]
Кухиња и Трпезарија	2	2	20,0
Ходник - Приземље	0	3	20,0
Дневна соба	2	2	20,0
Спаваћа соба 1	2	2	20,0
Спаваћа соба 2	2	2	20,0
Купатило	1	1	7,5
Ходник - Спрат	1	3	12,5
Укупна површина за грејање			120,0



Слика 9. Основе приземља и спрата

2.2. Материјали и конструкције објекта

Материјали, од којих је изграђен објект, као и списак његових карактеристика као што су: проводљивост, густина, коефицијент апсорпције и степен грубости материјала, приказано је у табели 2.

Такође су дефинисани термички отпори ваздуха као и карактеристике стаклених површина. У програму *EnergyPlus* зидови се дефинишу као комбинација слојева предефинисаних материјала. Састав сваког зида у погледу слојева приказан је у табели 3.

Табела 2. Грађевински материјали сјамбеног објекта

Материјал	Густина [kg/m ³]	Дебљина [m]	Специфична топлота [J/kgK]	Коефицијент провођења топлоте [W/mK]
Кречни малтер	1.600	0,025	1.050	0,81
Цементна кошуљица	2.100	0,04	1.050	1,4
Памук	20	0,05	840	0,04
Керамичке плочице	1.700	0,015	920	0,87
Паркет	700	0,02	1.670	0,21
Пуна опека	1.600	0,12	920	0,64
Армирани бетон	2.400	0,03	960	2,04
Шљунак	1.700	0,05	840	0,81
Стиропор	20	0,15	1.260	0,041
Неармирани бетон	1.800	0,15	960	0,93
Монта	1.200	0,16	920	0,6
Боровина	550	0,035	2.090	0,14
Хидро изолација	1.100	0,002	1.460	0,19
Камен	2.000	0,25	920	1,16
Парна брана	900	0,002	960	0,19
Шупљи блок	1.400	0,25	920	0,61
Бетон за поравнање	1.200	0,05	920	0,52
Гитер блок	1.200	0,19	920	0,52
PVC фолија	1.460	0,00015	1.100	0,19
Стаклена вуна	50	0,0001	840	10
Стиродур - приземље	33	0,08	1.260	0,03
Стиродур - спрат	33	0,005	1.260	0,03
Стиродур - таван	33	0,17	1.260	0,03
Цреп	1.900	0,01	880	0,99
Хераклит	700	0,012	1.500	0,052
Гипсане плоче	800	0,12	1.090	0,19
Полистирен	30	0,05	1.260	0,033

Табела 3. Састав грађевинских конструкција

Грађевинска конструкција	Елементи грађевинске конструкције
Зид спољни	Кречни малтер 25 mm
	Шупљни блок 250 mm
	Ваздушни простор 13 mm
	Стиропор 150 mm
	Пуна опека 120 mm
Зид унутрашњи	Кречни малтер 25 mm
	Пуна опека 120 mm
	Кречни малтер 25 mm
Под на земљи - Паркет	Камен 250 mm
	Шљунак 50 mm
	Цементна кошуљица 40 mm
	Хидро изолација 2 mm
	Цементна кошуљица 40 mm
	Паркет 20 mm
Плафонска конструкција - Паркет	Паркет 20 mm
	Цементна кошуљица 40 mm
	Монта 160 mm
	Кречни малтер 25 mm
Врата	Боровина 35 mm
Прозор	Стакло 3 mm
	Ваздух 13 mm
	Стакло 3 mm
Плафонска конструкција - Плочнице	Керамичке плочице 15 mm
	Цементна кошуљица 40 mm
	Монта 160 mm
	Кречни малтер 25 mm
Плафонска конструкција - Кров	Шљунак 50 mm
	Хидро изолација 2 mm
	Парна брана 2 mm
	Памук 50 mm
	Парна брана 2 mm
	Бетон за поравнање 50 mm
	Цементна кошуљица 40 mm
	Монта 160 mm
	Кречни малтер 25 mm
Под - Плочице	Кречни малтер 25 mm
	Монта 160 mm
	Цементна кошуљица 40 mm
	Керамичке плочице 15 mm
Под - Паркет	Кречни малтер 25 mm
	Монта 160 mm
	Цементна кошуљица 40 mm
	Паркет 20 mm
Под на земљи - Плочице	Камен 250 mm
	Шљунак 50 mm
	Армирани бетон 300 mm
	Хидро изолација 2 mm
	Цементна кошуљица 40 mm
	Керамичке плочице 15 mm
Под на земљи - Гаража	Камен 250 mm
	Шљунак 50 mm
	Армирани бетон 300 mm
	Хидро изолација 2 mm
	Цементна кошуљица 40 mm

2.3. Унутрашње оштерећење објекта

Како би се симулирали реални услови термичког оптерећења објекта и спровео што тачнији и прецизнији прорачун истог, употребљен је софтвер *EnergyPlus* верзија 7.1. Овај програм представља веома користан алат за моделирање енергетско - еколошког понашања објекта којим је могуће приближити реалне услове дефинисањем комплексних распореда грејања и хлађења, коришћења или рада осветљења као и присутност људи у згради. Утицај Сунчевог зрачења, осенчења од стране околних објеката или инфилтрације и вентилације је такође могуће, посредством овог софтвера узети у обзир.

Количина топлоте која се ослобађа са човечијег организма се не може занемарити. Она представља топлотне добитке просторије и значајно може утицати на температуру у просторији, квалитет ваздуха, али и осећаја код људи (нарочито се мења количина топлоте која се размењује зрачењем између људи, и између људи и ствари у просторији), поготово ако се у просторији налази већи број лица.

У зависности од активности људи, количина топлоте која се одаје се мења што је приказано у табели 4.

На следећој слици (слика 10.), приказан је број људи од просторије до просторије, односно распоред присуства људи у анализираном стамбеном објекту.

Табела 4. Одавање топлоте човечијег организма у зависности од активности

Активност	Количина одате топлоте [W]
Спавање	72
Седење	108
Шетање	207
Кување	171

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9
Name		Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9
Zone or ZoneList Name		Garaza 1	Ljudi u Kuhinji i Trepanja	Ljudi u Hodniku - Ploemlje	Ljudi u Dnevnoj sobi	Ljudi u Garazi 2	Ljudi u Spavacoj sobi	Ljudi u Spavacoj sobi	Ljudi u Kupatilu	Ljudi u Hodniku - Sp...
Number of People Schedule Name		Ljudi u Garazi	Ljudi u Kuhinji i Trepanja	Ljudi u Hodniku	Ljudi u Dnevnoj sobi	Ljudi u Garazi	Ljudi u Spavacoj sobi	Ljudi u Spavacoj sobi	Ljudi u Kupatilu	Ljudi u Hodniku
Number of People Calculation Method	People	People	People	People	People	People	People	People	People	People
Number of People		1	2	1	4	1	1	2	1	1
People per Zone Floor Area	person/m2									
Zone Floor Area per Person	m2/person									
Fraction Radiant		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Sensible Heat Fraction		autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate
Activity Level Schedule Name		Toplota od ljudi - Se	Toplota od ljudi - Ku	Toplota od ljudi - Se	Toplota od ljudi - Se	Toplota od ljudi - Se	Toplota od ljudi - Sp	Toplota od ljudi - Sp	Toplota od ljudi - Sp	Toplota od ljudi - Se
Carbon Dioxide Generation Rate	m3/s-W	0.0000000382	0.0000000382	0.0000000382	0.0000000382	0.0000000382	0.0000000382	0.0000000382	0.0000000382	0.0000000382
Enable ASHRAE 55 Control Warnings		No	No	No	No	No	No	No	No	No
Mean Radiant Temperature Calculation Type		ZoneAveraged	ZoneAveraged	ZoneAveraged	ZoneAveraged	ZoneAveraged	ZoneAveraged	ZoneAveraged	ZoneAveraged	ZoneAveraged
Surface Name/Angle Factor List Name										
Work Efficiency Schedule Name										

Слика 10. Распоред присуства људи у анализираним просторијама

Осветљење је веома важна ставка приликом пројектовања објекта. Приликом изградње стамбеног објекта води се рачуна да дневна светлост буде што више искоришћена. Ослобођена количина топлоте од сијалица такође представља топлотне добитке па се за прецизне прорачуне мора узети у обзир. На слици 11. приказана је снага осветљења у свакој просторији.

The screenshot shows the IDF Editor window with the 'Lights' class selected in the Class List. The main table displays lighting levels for 11 objects (Obj1 to Obj11). The table includes columns for Name, Zone or ZoneList Name, Schedule Name, Design Level Calculation Method, Lighting Level, Watts per Zone Floor Area, Watts per Person, Return Air Fraction, Fraction Radiant, Fraction Visible, Fraction Replaceable, End-Use Subcategory, Return Air Fraction Calculated from Plenum Temperature, Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co, and Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co: 1/K.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11
Name		Svetlo u Garazi 1	Svetlo u Kuhinji i Tr	Svetlo u Hodniku -	Svetlo u Dnevnoj s	Svetlo u Garazi 2	Svetlo u Spavacoj	Svetlo u Spavacoj	Svetlo u Ostarvi 2	Svetlo u Ostarvi 1	Svetlo u Kupatilu	Svetlo u Hodniku -
Zone or ZoneList Name		Garaza 1	Kuhinja i Trpezarija	Hodnik - Pizemlje	Dnevna soba	Garaza 2	Spavaca soba 1	Spavaca soba 2	Ostava 2	Ostava 1	Kupatilo	Hodnik - Sprat
Schedule Name		Svetlo u Garazi	Svetlo u Kuhinji i Tr	Svetlo u Hodniku	Svetlo u Dnevnoj s	Svetlo u Garazi	Svetlo u Spavacoj	Svetlo u Spavacoj	Svetlo u Ostarvi	Svetlo u Ostarvi	Svetlo u Kupatilu	Svetlo u Hodniku
Design Level Calculation Method		LightingLevel	LightingLevel	LightingLevel	LightingLevel	LightingLevel	LightingLevel	LightingLevel	LightingLevel	LightingLevel	LightingLevel	LightingLevel
Lighting Level	W	75	100	60	100	75	75	75	60	60	60	60
Watts per Zone Floor Area	W/m2											
Watts per Person	W/person											
Return Air Fraction		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fraction Radiant		0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
Fraction Visible		0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
Fraction Replaceable		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
End-Use Subcategory		General	General	General	General	General	General	General	General	General	General	General
Return Air Fraction Calculated from Plenum Temperature		No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co												
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co: 1/K												

Слика 11. Распоред осветљења по просторијама и њихова снага изражена у W

Од електричних потрошача у објекту се користе типични уређаји за свако домаћинство као што су: шпорет, фрижидер, ТВ, веш машина, замрзивач, микроталасна пећ, бојлер, рачунар итд. Распоред уређаја и укупне снаге истих, за дату просторију, су приказани на слици 12.

The screenshot shows the IDF Editor window with the 'Electric Equipment' class selected in the Class List. The main table displays electric equipment levels for 5 objects (Obj1 to Obj5). The table includes columns for Name, Zone or ZoneList Name, Schedule Name, Design Level Calculation Method, Design Level, Watts per Zone Floor Area, Watts per Person, Fraction Radiant, Fraction Visible, Fraction Replaceable, End-Use Subcategory, Return Air Fraction Calculated from Plenum Temperature, Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co, and Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co: 1/K.

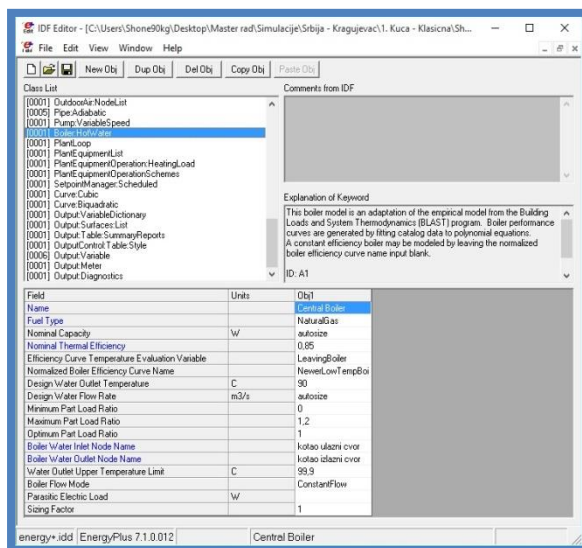
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Name		Ei uređaj u Kuhinji i Trpezariji	Ei uređaj u Dnevnoj s	Ei uređaj u Spavacoj	Ei uređaj u Spavacoj	Ei uređaj u Kupatilu
Zone or ZoneList Name		Kuhinja i Trpezarija	Dnevna soba	Spavaca soba 1	Spavaca soba 2	Kupatilo
Schedule Name		Ei oprema u Kuhinji	Ei oprema u Dnevnoj s	Ei oprema u Spavacoj	Ei oprema u Spavacoj	Ei oprema u Kupatilu
Design Level Calculation Method		EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel
Design Level	W	800	800	400	100	1000
Watts per Zone Floor Area	W/m2					
Watts per Person	W/person					
Return Air Fraction		0	0	0	0	0
Fraction Radiant		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Fraction Visible		0	0	0	0	0
Fraction Replaceable		0	0	0	0	0
End-Use Subcategory		General	General	General	General	General
Return Air Fraction Calculated from Plenum Temperature						
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co						
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co: 1/K						

Слика 12. Распоред електричних уређаја по просторијама и њихова снага изражена у W

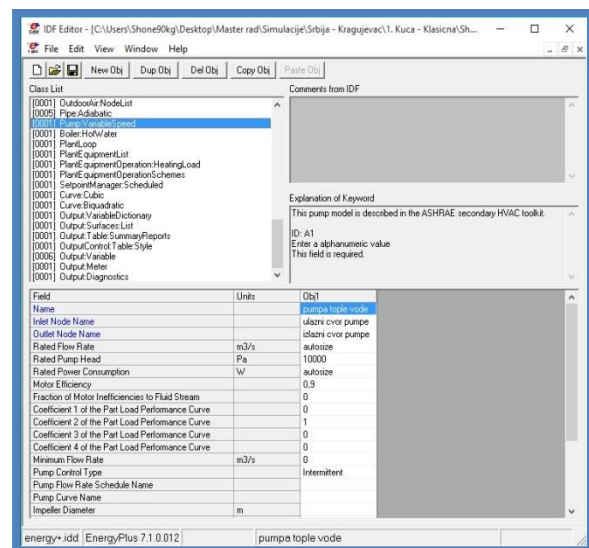
За загревање објекта се користе грејна тела (радијатори) који се загревају посредством топле воде која струји кроз њих. Распоред радијатора по просторијама приказан је на слици 15.

Топла вода за загревање радијатора настаје кад се топлота, која је продукт сагоревања природног гаса у котлу, преузме за загревање хладне воде. Топла вода се системом цевовода доводи до радијатора. Круг циркулисања се затвара на тај начин што топла вода предаје топлоту радијаторима и као охлађена се враћа на поновно загревање у котао. За циркулацију воде кроз систем цевовода користи се циркулациона пумпа.

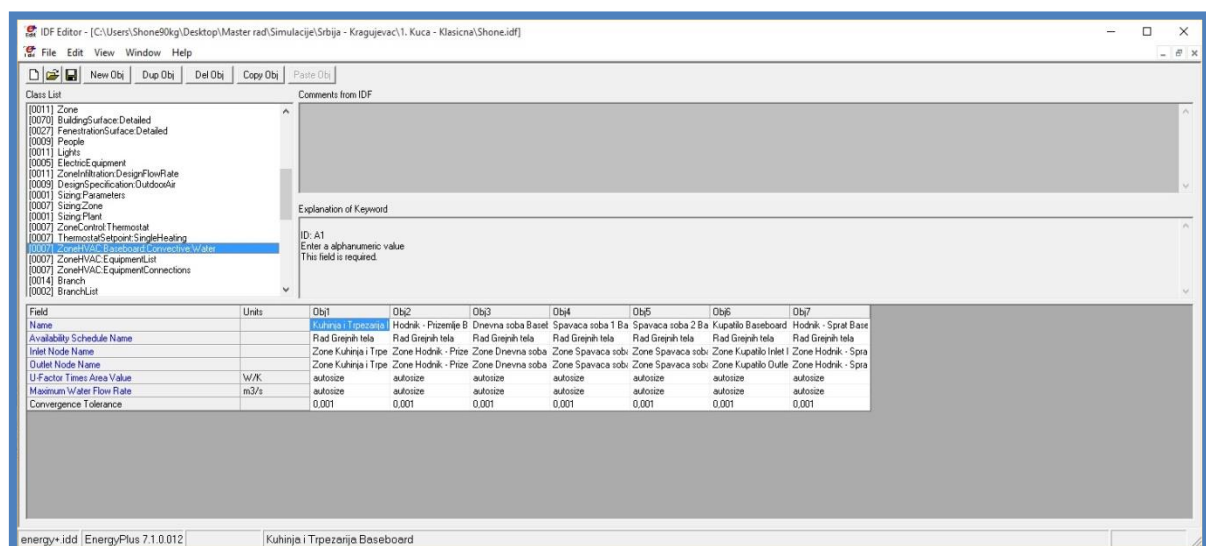
На слици 13. су приказани параметри који су се користили, у програму *EnergyPlus*, за котао за сагоревање природног гаса. Такође су коришћени и параметри за циркулациону пумпу који су приказани на слици 14.



Слика 13. Параметри којла



Слика 14. Параметри циркулационе пумпе



Слика 15. Распоред грејних тела по просторијама

2.4. Извођење пасивној соларној сисџема на објектју

Циљ овог рада је да се одреди потрошња енергије за загревање објекта у грејној сезони у зависности од додатне изолације објекта. Као додатна изолација објекта се користи земља у виду омотача око конструкције објекта, са улогом максималног задржавања бесплатне Сунчеве енергије.

Овако изолован објекат, који представља пасиван соларни систем, је окренут југу ради пријема што већег Сунчевог зрачења.

За овакав начин изолације објекта, у пракси се често користи назив Соларне земунице или подземне куће.

Пре пуштања симулације, неопходно је да се подеси период грејне сезоне (картица *RunPeriod*). За почетак симулације изабран је 15. октобар, а за крај симулације изабран је 15. април.

Потребно је унети локацију објекта (картица *Site:Location*), односно његове координате, на основу чега се симулирају временски услови за то подручје где се налази објекат. Због тога у овом случају је одабран Крагујевац, како би резултати били што реалнији.

Такође, потребно је формулисати временске периоде коришћења осветљења, електричних уређаја, као и временске периоде боравка људи у датој просторији (картица *Schedule:Compact*).

У пројектовање се укључује и подешавање захтевних температура у зависности од доба дана, за све просторије које се греју (картица *Schedule:Compact*).

Од наведених величина, односно од прецизности њиховог уношења, зависиће резултати добијени симулацијом у *EnergyPlus* - у.

Према врсти градње објекта, начину изолације објекта и на основу локације објекта извршене су симулације у програму *EnergyPlus*. Сценарио симулација које су извршене програмом *EnergyPlus*, на основу чијих анализа резултата се дефинише енергетска ефикасност објекта, представљен је у табели 5.

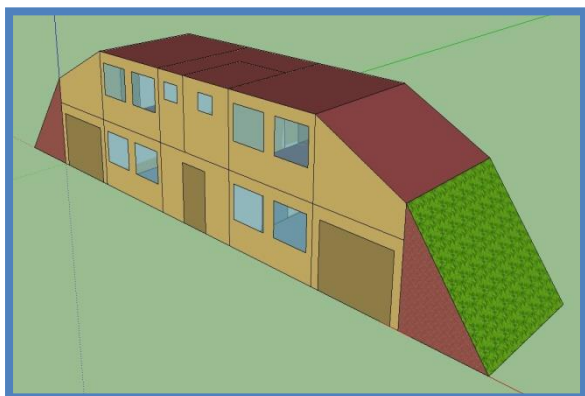
Табела 5. Сценарио симулација

Ред. бр. симулације	Локација објекта				Врста градње објекта		Додатна изолација објекта земљом				
	Град Крагујевац, Србија	Град Андравида, Грчка	Град Хамбург, Немачка	Град Санкт Петербург, Русија	Класична ¹	Армирани бетон ²	Без ³	Западна и Источна ⁴	Северна ⁵	Кров ⁶	Земља ⁷
Симулација 1	•				•		•				
Симулација 2	•				•			•			
Симулација 3	•				•				•		
Симулација 4	•				•					•	
Симулација 5	•				•						•
Симулација 6	•					•	•				
Симулација 7	•					•		•			
Симулација 8	•					•			•		
Симулација 9	•					•				•	
Симулација 10	•					•					•
Симулација 11		•			•		•				
Симулација 12		•			•						•
Симулација 13		•				•	•				
Симулација 14		•				•					•
Симулација 15			•		•		•				
Симулација 16			•		•						•
Симулација 17			•			•	•				
Симулација 18			•			•					•
Симулација 18				•	•		•				
Симулација 20				•	•						•
Симулација 21				•		•	•				
Симулација 22				•		•					•

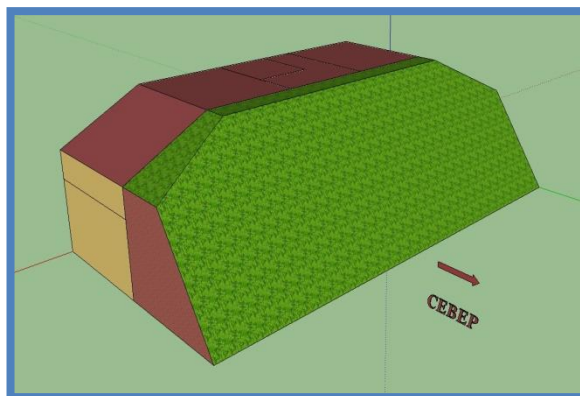
¹ Класично изграђен објекат, чије су конструкције грађевинских материјала наведене у табели 3.² Објекат изграђен, у потпуности, од специјално водонепропусног армираног бетона³ Без додатне изолације објекта земљом⁴ Објекат додатно изолован земљом само са Западне и Источне стране⁵ Објекат додатно изолован земљом само са Северне стране⁶ Објекат додатно изолован земљом само на Крову објекта⁷ Објекат додатно изолован земљом у виду омотача (не узевши у обзир јужну страну објекта)

Табела 5. је дата у циљу лакше оријентације у раду и плану испитивања и прорачуна енергетске ефикасности објекта. За два начина градње објекта, на четири различите локације а у зависности од додатне изолације објекта, у виду земље, као и од постављања додатне изолације на објекат дате су 22 симулације.

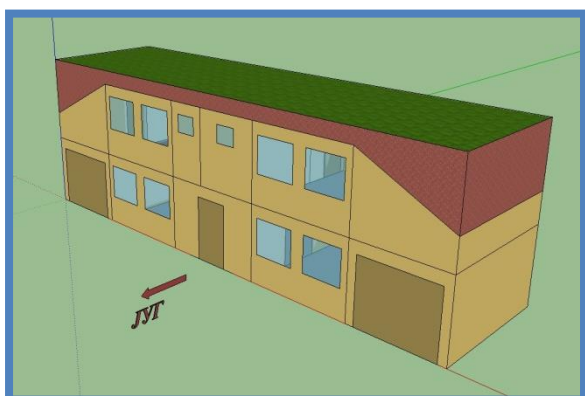
Према наведеним сценаријима симулација у табели 5., објекат се додатно изолује земљом на Западној и Источној страни (слика 16.), Северној страни (слика 17.), на Крову (слика 18.) и у виду земљаног омотача (слика 19.).



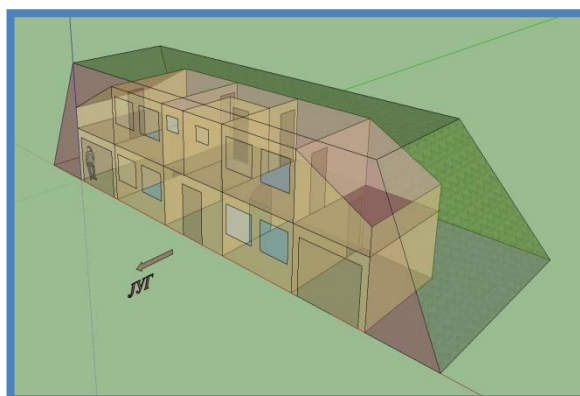
Слика 16. Објекат додатно изолован земљом са Западне и Источне стране



Слика 17. Објекат додатно изолован земљом са Северне стране



Слика 18. Објекат додатно изолован земљом на Крову



Слика 19. Објекат додатно изолован земљом у виду омотача (не узевши у обзир јужну страну)

3. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА

Резултати симулација треба да покажу колико се енергије за грејање (природни гас) троши током периода грејне сезоне у зависности од додатне изолације објекта земљом.

У наставку ће бити приказани резултати потрошње енергије (унутрашње осветљење, грејање, електрични уређаји) током периода грејне сезоне (15.10. - 15.04.). Такође ће бити приказан и добитак и губитак енергије кроз прозоре за просторију дневне собе.

Симулације су рађене, као што је наведено сценаријом симулација у табели 5., за објекат чија је градња Класична (стандардни материјали за изградњу, чији је састав грађевински конструкција приказан у табели 3.), као и за Класични објекат са додатном изолацијом у виду земље и то са Западне и Источне стране објекта, Северне стране објекта, изолацијом Крива земљом, и на крају комплетном изолацијом објекта земљом изузевши јужну страну објекта.

У процес симулације, узет је и тип објекта од Армираног бетона, који је типичан за изградњу оваквог објекта, који је предвиђен за изолацију земљом. Као и код Класичног објекта изолација је такође рађена са Западне и Источне стране објекта, Северне стране објекта, изолације Крива објекта и на крају изолације комплетног објекта изузевши јужну страну објекта.

3.1. Дифузно и директно зрачење

Светлост, тј. електромагнетно зрачење које доспева на површину Земље се делимично апсорбује на површини, док други део се рефлектује назад у атмосферу. Долазна светлост поред компоненте која директно потиче од Сунца (светлост која није наишла на препреке, која се може одредити на свакој тачки Земљине површине), постоји и део светлости који се због честица у самој атмосфери (облаци, прашина, смог и друге аеросоли) дифузно прелама те на тај начин мења спектралну расподелу инцидентне светлости [2].

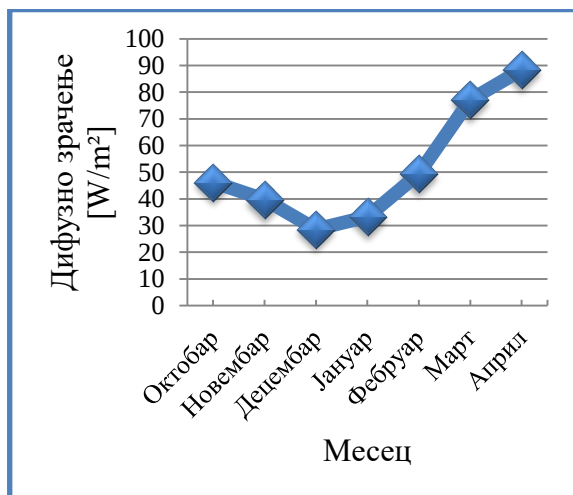
Због револуције и ротације Земље само екстратерестрично зрачење се мења у времену, мења се и глобално зрачење на хоризонталној површини тако да се јавља годишњи ход у зрачењу. Највеће је лети а зими најмање, када је облачно или магловито вредност му је мања.

На интезитет, количину и квалитет (расподела таласних дужина у спектру) утичу: астрономски, физички, метеоролошки, геометријски и географски услови. Када директна светлост пада под углом различитим од 90° тада се смањује флукс светлости на хоризонталну плочу чиме се умањује интезитет светлости.

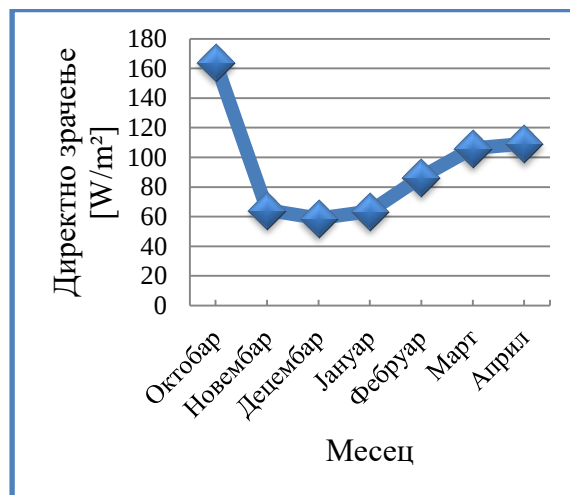
На основу сазнања о утицају Сунчевог зрачења, као битна основа за сам рад, приказано је, за локацију на којој се објекат налази, табеларно у табели 6. просечно дифузно и директно Сунчево зрачење, на месечном периоду у току грејне сезоне. На основу података из табеле 6. такође је приказано и графички на дијаграму 1. просечно дифузно Сунчево зрачење и на дијаграму 2. просечно директно Сунчево зрачење.

Табела 6. Просечно Сунчево зрачење на месечном периоду у току грејне сезоне

Врста зрачења	Грејна сезона						
	Октобар	Новембар	Децембар	Јануар	Фебруар	Март	Април
Дифузно $[W/m^2]$	46,25	39,83	28,65	33,31	49,41	77,09	88,4
Директно $[W/m^2]$	164,07	64,57	58,8	63,69	86,66	106,17	109,26



Дијаграм 1. Просечно дифузно Сунчево зрачење на месечном периоду у току грејне сезоне (15.10. - 15.04.)



Дијаграм 2. Просечно директно Сунчево зрачење на месечном периоду у току грејне сезоне (15.10. - 15.04.)

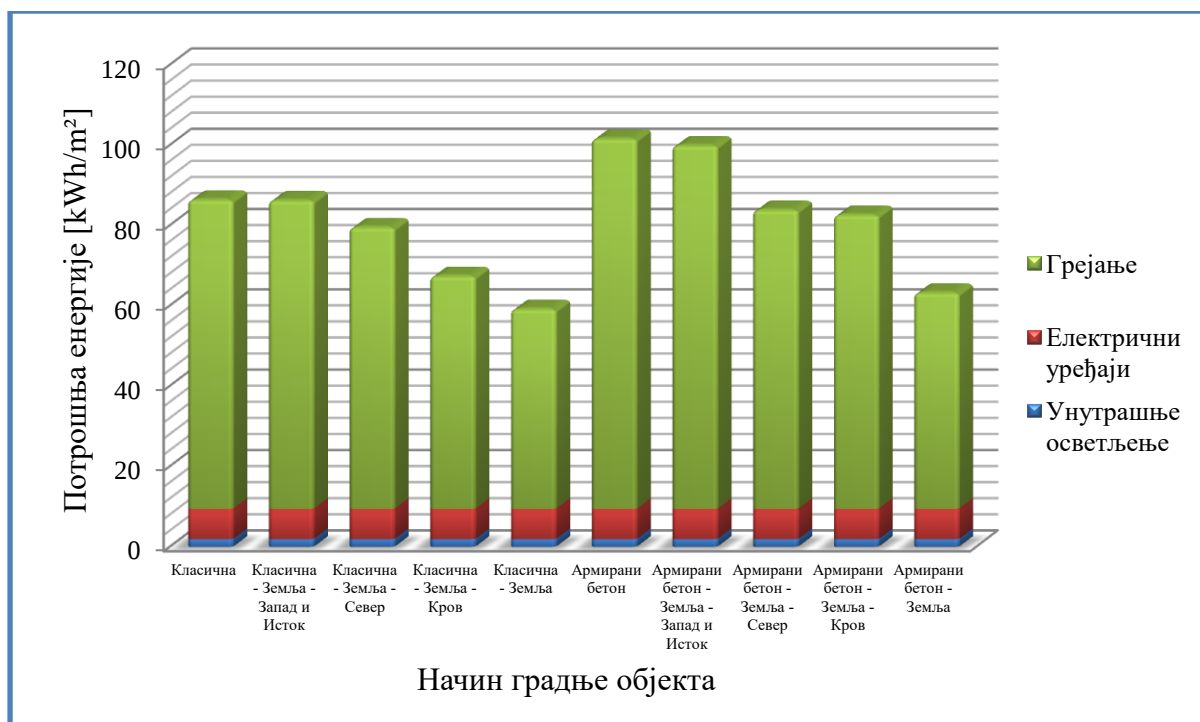
3.2. Укупна потрошња енергије

У табели 7. приказана је потрошња енергије за грејање (природни гас) и укупна потрошња енергије у току грејне сезоне (RunPeriod 15.10. - 15.4.).

На дијаграму 3. приказана је расподела укупне потрошње енергије, у току грејне сезоне, према потребама објекта (15.10. - 15.04.).

Табела 7. Укупна потрошња енергије у току грејне сезоне (15.10. - 15.04.)

Начин градње објекта	Потрошња енергије [kWh/m²]	
	Грејање	Укупна потрошња енергије
Класична	76,91	86,35
Класична - Земља - Запад и Исток	76,79	86,23
Класична - Земља - Север	70,04	79,48
Класична - Земља - Кров	57,90	67,34
Класична - Земља	49,69	59,12
Армирани бетон	92,14	101,58
Армирани бетон - Земља - Запад и Исток	90,44	99,88
Армирани бетон - Земља - Север	74,38	83,81
Армирани бетон - Земља - Кров	73,14	82,58
Армирани бетон - Земља	53,75	63,18



Дијаграм 3. Свеукупно поређење потрошње енергије у зависности од начина градње објекта у току грејне сезоне (15.10. - 15.04.)

На основу табеле 7. и дијаграма 3. може се закључити да укупна потрошња енергије објекта, за период грејне сезоне, за Класичано изграђен објекат износи 86,35 kWh/m². Висока вредност укупне потрошње енергије се смањује додатном изолацијом објекта земљом, што се може приметити да се укупна потрошња енергије смањује у зависности како се објекат изолује. Најбољи резултат укупне потрошње енергије, од 59,12 kWh/m², је постигнут уколико се објекат додатно изолије земљом са свих страна (не узевши у обзир јужну страну објекта). На тај начин је остварена уштеда од 27,23 kWh/m².

Такође, на основу табеле 7. и дијаграма 3. долази се до закључка да уколико је објекат грађен од Армираног бетона, укупна потрошња енергије за тако изграђен објекат је 101,58 kWh/m². Као и код Класичне градње објекта, највећа уштеда потрошње енергије се остварује уколико се објекат изолује додатно земљом са свих страна (не узевши у обзир јужну страну објекта). Укупна потрошња код овако изолованог објекта износи 63,18 kWh/m², што представља уштеду од 38,3 kWh/m².

Потрошња енергије за електричне уређаје, према потребама објекта, за период грејне сезоне, износи 7,54 kWh/m², док потрошња енергије за унутрашње осветљење, за исти период, износи 1,90 kWh/m².

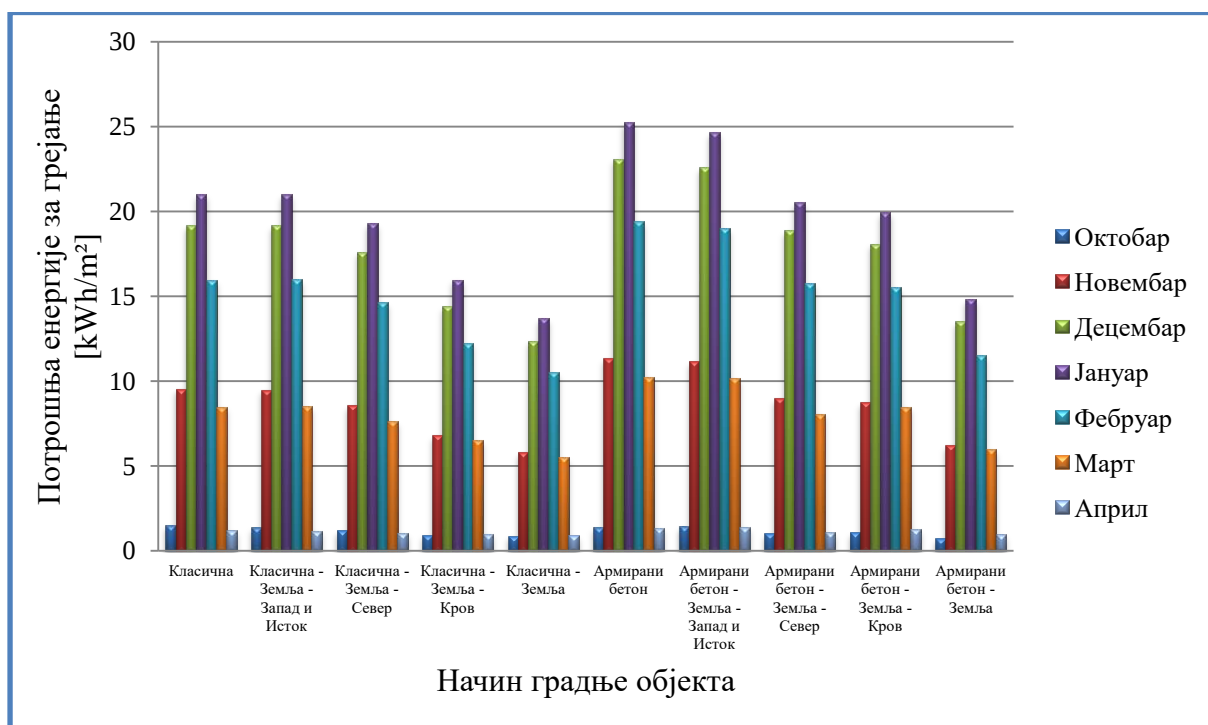
3.3. Потрошња енергије за грејање

У табели 8. приказана је потрошња енергије за грејање (природни гас) у току грејне сезоне на месечном нивоу (RunPeriod 15.10. - 15.4.).

На дијаграму 4. приказана је расподела потрошње енергије за грејање, у току грејне сезоне, према потребама објекта на месечном нивоу (15.10. - 15.04.).

Табела 8. Потрошња енергије за грејање (природни гас) на месечном нивоу [kWh/m^2]

Начин градње објекта	Месец						
	Окто-бар	Новембар	Децембар	Јануар	Фебруар	Март	Април
Класична	1,51	9,55	19,19	21,02	15,96	8,49	1,19
Класична - Земља - Запад и Исток	1,38	9,48	19,18	21,03	16,01	8,52	1,18
Класична - Земља - Север	1,20	8,57	17,63	19,31	14,65	7,62	1,06
Класична - Земља - Кров	0,94	6,82	14,40	15,98	12,27	6,50	1,00
Класична - Земља	0,88	5,83	12,38	13,69	10,50	5,50	0,90
Армирани бетон	1,39	11,36	23,10	25,24	19,42	10,26	1,37
Армирани бетон - Земља - Запад и Исток	1,44	11,17	22,57	24,67	19,01	10,19	1,40
Армирани бетон - Земља - Север	1,02	8,99	18,88	20,55	15,76	8,08	1,11
Армирани бетон - Земља - Кров	1,10	8,73	18,08	19,93	15,54	8,48	1,28
Армирани бетон - Земља	0,71	6,24	13,51	14,82	11,54	6,00	0,96



Дијаграм 4. Свеукупно поређење потрошње енергије за грејање у зависности од начина градње објекта на месечном периоду у току грејне сезоне (15.10. - 15.04.)

На основу табеле 8. и дијаграма 4. може се закључити да је потрошња енергије за грејање објекта, за све начине градње објекта и за све начине додатне изолације објекта земљом, највећа за месец Јануар а најмања за месеце Октобар и Април у периоду трајања грејне сезоне.

За објект изграђен на Класичан начин, са дијаграма 4. се уочава да потрошња енергије за грејање опада уколико се објекат додатно изолује земљом. Посматрајући месец Јануар као месец кад је највећа потреба за енергијом за грејање, Класично изграђен објекат за загревање потроши 21,02 kWh/m² енергије, док би се такав објекат додатно изоловао са свих страна земљом (не узевши у обзир јужну страну објекта) потрошња енергије би била 13,69 kWh/m².

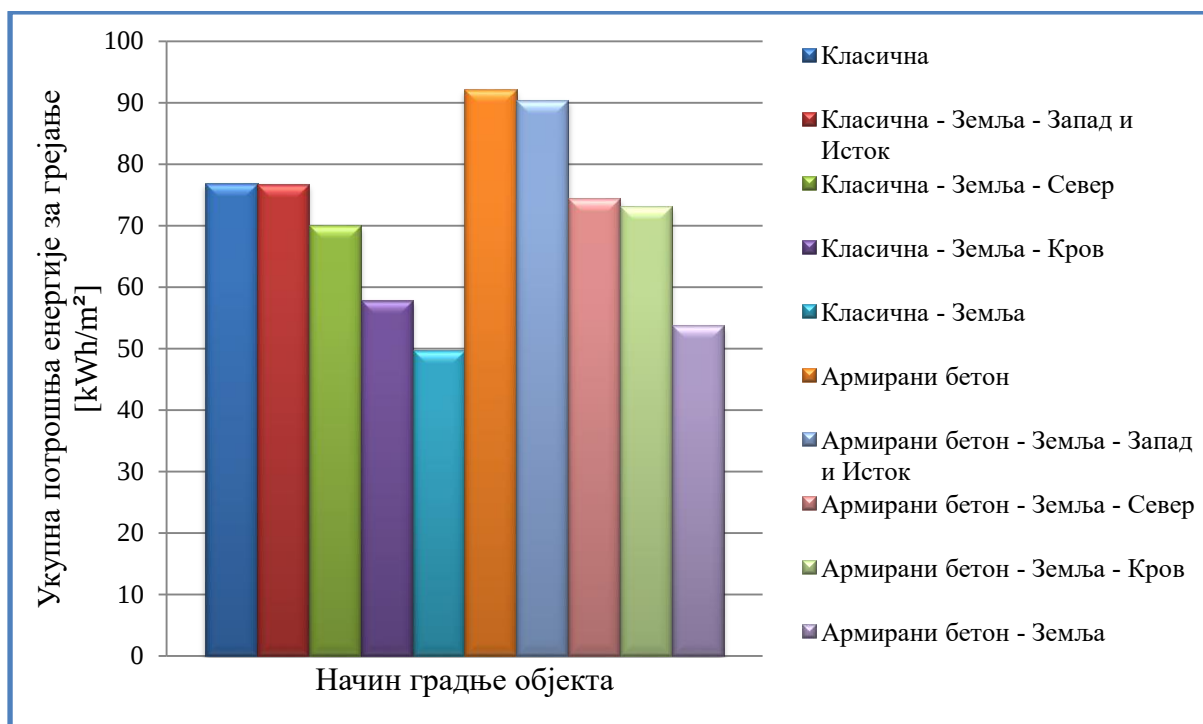
Уколико би објекат био изграђен од Армираног бетона, потрошња енергије за грејање, за месец Јануар би била 25,24 kWh/m². Као и Класично изграђеног објекта уколико би се додатном изолацијом са свих страна објекта земљом (не узевши у обзир јужну страну објекта) потрошња енергије би се значајно умањила и у овом случају би износила 14,82 kWh/m².

У табели 9. приказана је укупна потрошња енергије за грејање (природни гас) у току грејне сезоне (RunPeriod 15.10. - 15.4.).

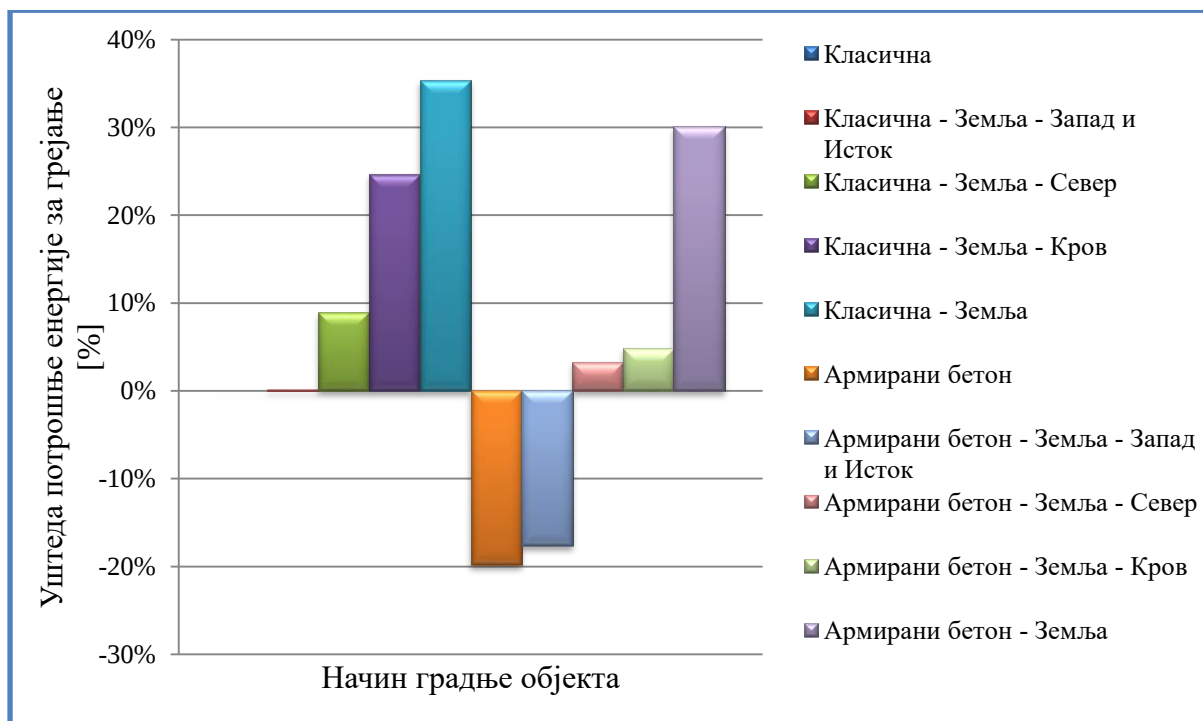
На основу података из табеле 9. дијаграмски је приказана на дијаграму 5., укупна потрошња енергије за грејање, у току грејне сезоне, према потребама објекта (15.10. - 15.04.). Такође на основу података из табле 9. на дијаграму 6. приказана је уштеда енергије за грејање, кад би се објекат додатно изоловао, у зависности потрошње енергије за грејање Класично изграђеног објекта.

Табела 9. Укупна потрошња енергије за грејање и уштеда потрошње у односу на Класичан објекат

Начин градње објекта	Енергија за грејање	
	Укупна потрошња [kWh/m ²]	Уштеда потрошње [%]
Класична	76,91	0,00
Класична - Земља - Запад и Исток	76,79	0,16
Класична - Земља - Север	70,04	8,93
Класична - Земља - Кров	57,90	24,71
Класична - Земља	49,69	35,40
Армирани бетон	92,14	-19,80
Армирани бетон - Земља - Запад и Исток	90,44	-17,59
Армирани бетон - Земља - Север	74,38	3,30
Армирани бетон - Земља - Кров	73,14	4,90
Армирани бетон - Земља	53,75	30,12



Дијаграм 5. Свеукупно поређење укупне потрошње енергије за грејање у зависности од начина градње објекта у току грејне сезоне (15.10. - 15.04.)



Дијаграм 6. Уштеда потрошње енергије за грејање за одређени начин градње објекта у односу на потрошњу енергије за грејање Класичне куће

Посматрајући дијаграме 5. и 6., може се уочити да се остварује значајна уштеда потрошње енергије за загревање, како Класично израђеног објекта тако и објекта израђеног од Армираног бетона а у зависности од додатне изолације објекта земљом.

Изолацијом Западне и Источне стране Класичног објекта остварује се мала уштеда од свега 0,16 %. Уштеда од 8,93 % се остварује уколико се изолује Северна страна објекта. Већа уштеда од 24,71 % се добија када се изолује Кров објекта, док се највећа уштеда од 35,40 % остварује уколико се објекат изолује са свих страна земљом а при томе не укључујући јужну страну објекта. Управо за овај начин изолације, где се остварује највећа уштеда потрошње енергије је објекат и пројектован.

С обзиром да се додатна изолација изводи у виду земљаног омотача објекта, при изградњи објекта треба посебно водити рачуна о хидроизолацији самог објекта. Као један део хидроизолације се препоручује начин градње од армираног бетона и то специјалног водонепропусног армираног бетона који се најчешће користи за базене. Сви зидови, све плоче, чак и преградни зидови се могу изградити од овог армираног бетона. Оваком изградњом објекта хидроизолација је изузетно остварена [5].

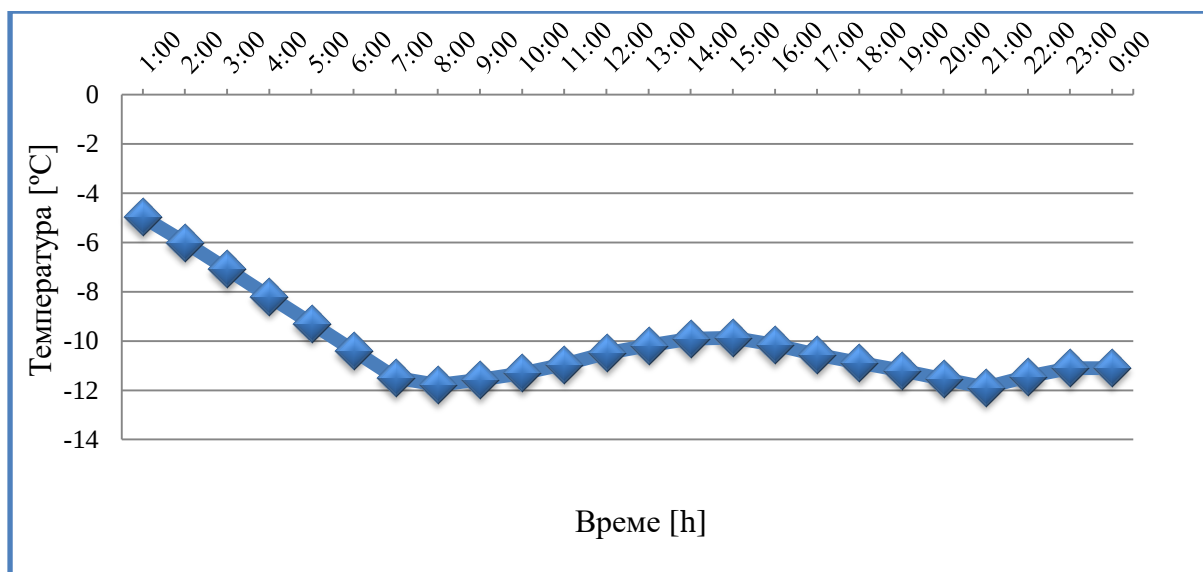
Изолацијом крова објекта земљом, добија се временом травнати земљани слој, код којег треба водити рачуна приликом пројектовања око дебљине слоја земље који належе на објекат. Такође је неопходно брижљиво неговање овог травнатог слоја, где се мора одржавати константност и коинзистенција самог земљишта. Тако да лети се не сме дозволити исушивање и нестанак траве. На основу тога трава се мора заливати и по потреби косити. Управо тај травнати слој ће касније током јесени и зиме, када почну кише и снегови, као ефекат крзна ће задржавати и топлоту и неће дозволити спирање земљишта услед јаких киша [5].

Са дијаграма 5. и 6. долази се до закључка да објекат изграђен од Армираног бетона има за скоро 20 % већу потрошњу енергије за загревање од Класично израђеног објекта. Али уколико би се Класично изграђен објекат и објекат од Армираног бетона изоловали са свих страна објекта земљом, у виду земљаног омотача објекта, не узевши у обзир јужну страну објекта, долази се до податка да је приближно за 5 % већа уштеда потрошње енергије за загревање објекта код Класично израђеног објекта. Али имајући у виду потребу за беспрекорном хидроизолацијом, објекат изграђен од Армираног бетона има предност у поређењу са Класично изграђеним објектом.

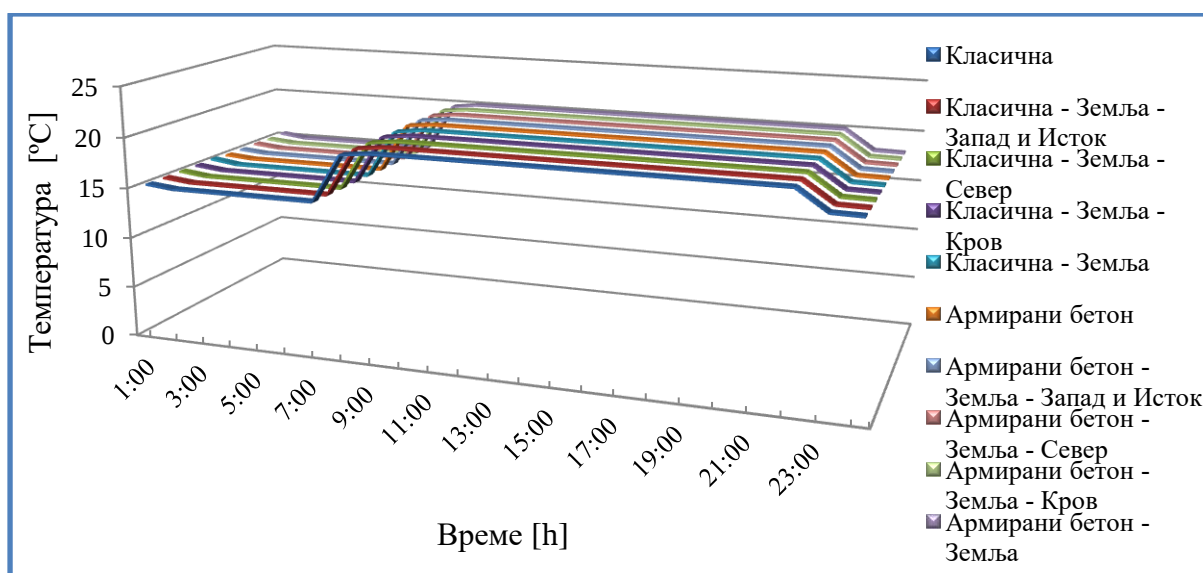
3.4. Приказ *температура*

Приликом прорачуна у програму *EnergyPlus* коришћен је временски фајл града Крагујевца, Република Србија, из 1995. године. На основу прорачуна обрађени су резултати током најхладнијег дана у години за спољну температуру и унутрашњу температуру у дневној соби. Код обраде резултата спољне температуре, као најхладнији дан је обрачунат 12. јануар.

Часовна промена спољне температуре и унутрашње температуре у дневној соби, за најхладнији дан, на основу података (Прилог I - Табеларни приказ температура) графички је приказана на дијаграмима 7. и 8.



Дијаграм 7. Спољна температура за најхладнији дан (12.01.)



Дијаграм 8. Температура у дневној соби за време најхладније дана (12.01.)

Са дијаграма 8. који приказује часовну промену температуре дневне собе за најхладнији дан у години (12.01.) може се уочити рад термостата који је постављен у свакој просторији објекта, где је предвиђено грејање.

Температура се регулише директно преко термостата са осетљивом сондом. Термостат у дневној соби је тако подешен да од 00:00 - 07:00 h одржава температуру на 15 °C, а у интервалу од 07:00 - 21:00 h одржава температуру у просторији од 20 °C. Такође је термостат подешен да у интервалу од 21:00 - 00:00 h одржава температуру на 18 °C.

У првом и трећем интервалу (00:00 - 07:00 h и 21:00 - 00:00 h) температуре просторије су нешто више у односу на подешене што је уроковано присуством изолације објекта која спречава пролаз топлоте па се објекат ноћу спорије хлади.

У другом интервалу (07:00 - 00:00 h), термостат одржава температуру просторије независно од дебљине изолације али уколико је слабија изолација објекта потребно је дуже загревање објекта што узрокује већу потрошњу енергије за загревање објекта.

3.5. Добитак и губитак енергије кроз прозоре

Према понуђеним резултатима прорачуна за приказивање, у програму *EnergyPlus* је изабрано и приказивање резултата добитка и губитка енергије кроз прозоре дневне собе у току грејне сезоне (RunPeriod 15.10. - 15.4.).

На основу података (Прилог II - Табеларни приказ добитка и губитка енергије кроз прозоре) на дијаграму 9. приказана је месечна расподела добитка и губитка енергије кроз прозоре дневне собе, у току грејне сезоне (15.10. - 15.04.).



Дијаграм 9. Добитак и губитак енергије кроз прозоре у дневној соби за месечни период у току грејне сезоне (15.10. - 15.04.)

Према сценарију симулација који је приказан у табели 5., код ове обраде резултата приказани су само резултати за начине грађње објекта као што су: Класична, Класична са земљаном изолацијом са свих страна, у виду земљног омотача (не узевши у обзир јужну страну објекта), грађња објекта од Армираног бетона и објекат од Армираног бетона за земљном изолацијом, у виду земљаног омотача објекта.

Са дијаграма 9. уочава се да је расподела добитка и губитка енергије, кроз прозоре дневне собе, за све начине грађње објекта приближно идентична.

Према временском фајлу за град Крагујевац, Република Србија, који је коришћен за прорачун, може се закључити да град Крагујевац има велики број сунчаних дана у току грејне сезоне што потврђује дијаграм 9. где се уочава да је већи добитак енергије кроз прозоре од губитка енергије кроз прозоре. Велику улогу у томе има и положај објекта, који је у потпуности оријентисан на јужну страну тако да нема отвора и пролаза на осталим странама објекта.

Додатни добитак енергије кроз прозоре је могуће остварити коришћењем доњих и горњих рефлектујућих површина на прозорима како на прозорима у приземљу тако и на прозорима на спрату. Горње рефлектујуће површине би биле фиксиране за објекат док би доње рефлектујуће површине биле покретне и могле би се подешавати у зависности од доба године и положаја Сунца. Служиле би као капак, или као заштита од Сунца док би се зими, услед великих међава, користиле за затварање и уједно за заштиту и чување топлоте самог објекта [3].

3.6. Резултати симулација објекта на различитим локацијама

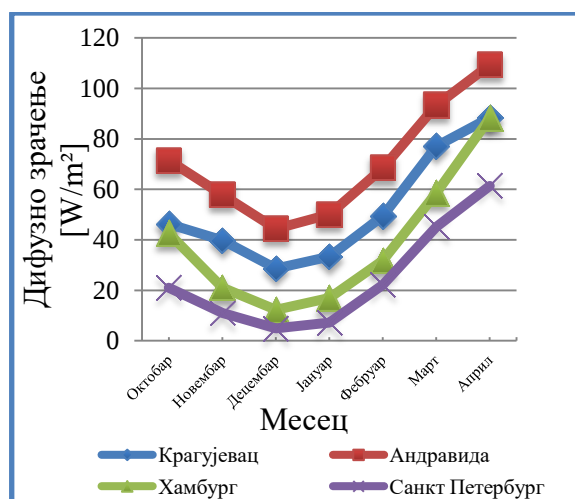
Упоредивање резултата симулација треба да покаже колико се енергије загревање троши током периода грејне сезоне у зависности од додатне изолације објекта, као и у зависности од локације на којој се објекат налази.

У наставку ће бити приказано упоређивање резултата потрошње енергије (унутрашње осветљење, грејање, електрични уређаји) током периода грејне сезоне (15.10. - 15.04.). Такође ће бити приказан и добитак и губитак енергије кроз прозоре за просторију дневне собе.

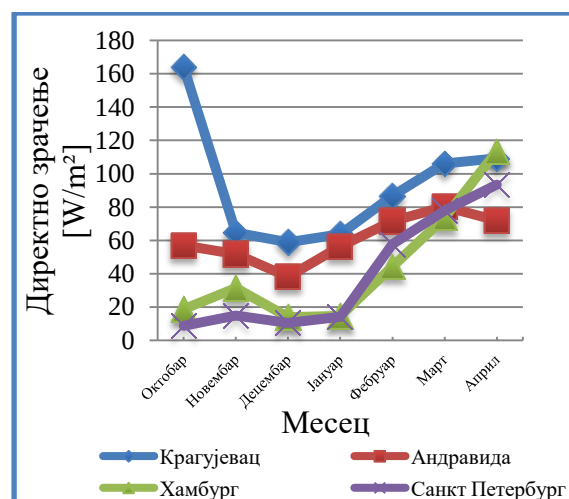
Према сценарију симулација, који је приказан у табели 5., симулације су рађене за објекат чија је градња Класична (стандардни материјали за изградњу), као и за Класични објекат са додатном изолацијом у виду земљаног омотача објекта изузевши јужну страну објекта.

У процес симулације, узет је и тип објекта од Армираног бетона, који је типичан за изградњу оваквог објекта, који је предвиђен за изолацију земљом. Као и код Класичног објекта изолација је такође рађена у виду земљаног омотача објекта изузевши јужну страну објекта.

На основу временских фајлова за градове као што су: Крагујевац (Србија), Андравида (Грчка), Хамбург (Немачка) и Санкт Петербург (Русија), вршено је поређење добијених резултата уколико би се потпуно идентичан објекат изградио на овим местима.



Дијаграм 10. Просечно дифузно Сунчево зрачење на месечном периоду у току грејне сезоне за исти објекат на различитим локацијама



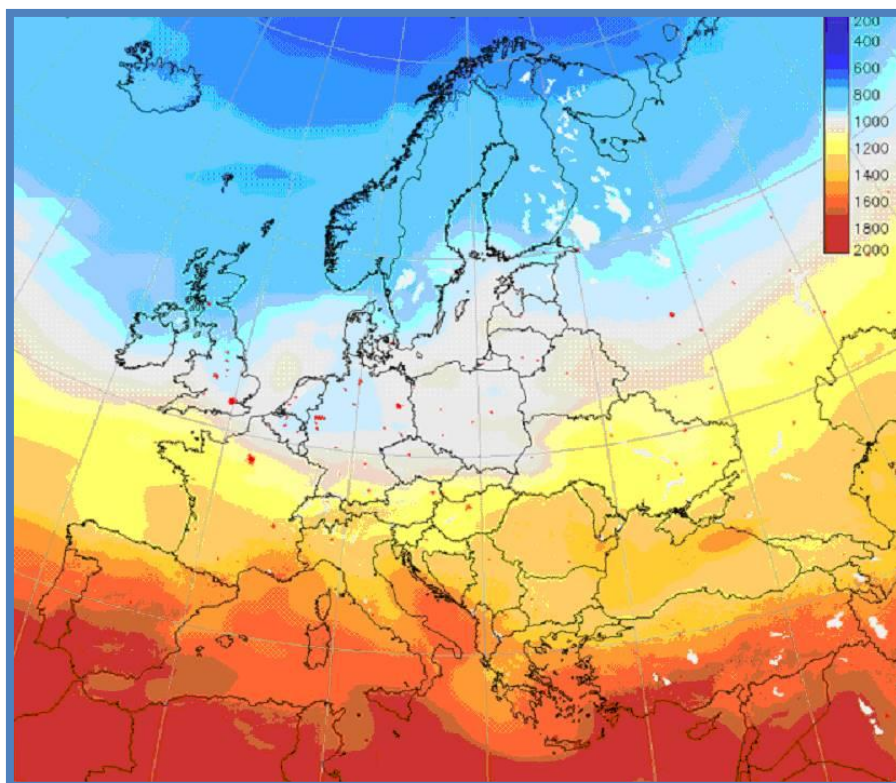
Дијаграм 11. Просечно директно Сунчево зрачење на месечном периоду у току грејне сезоне за исти објекат на различитим локацијама

Према дијаграмима 10. и 11. где су приказани просечно дифузно и директно Сунчево зрачење на месечном периоду у току грејне сезоне а у зависности од места локације објекта, уочава се да подручје града Крагујевца има велики потенцијал, за искоришћење Сунчеве енергије за загревање објекта. Најбоље шансе, у односу на остале анализиране градове, за искоришћење Сунчевог зрачења има град Андравида.

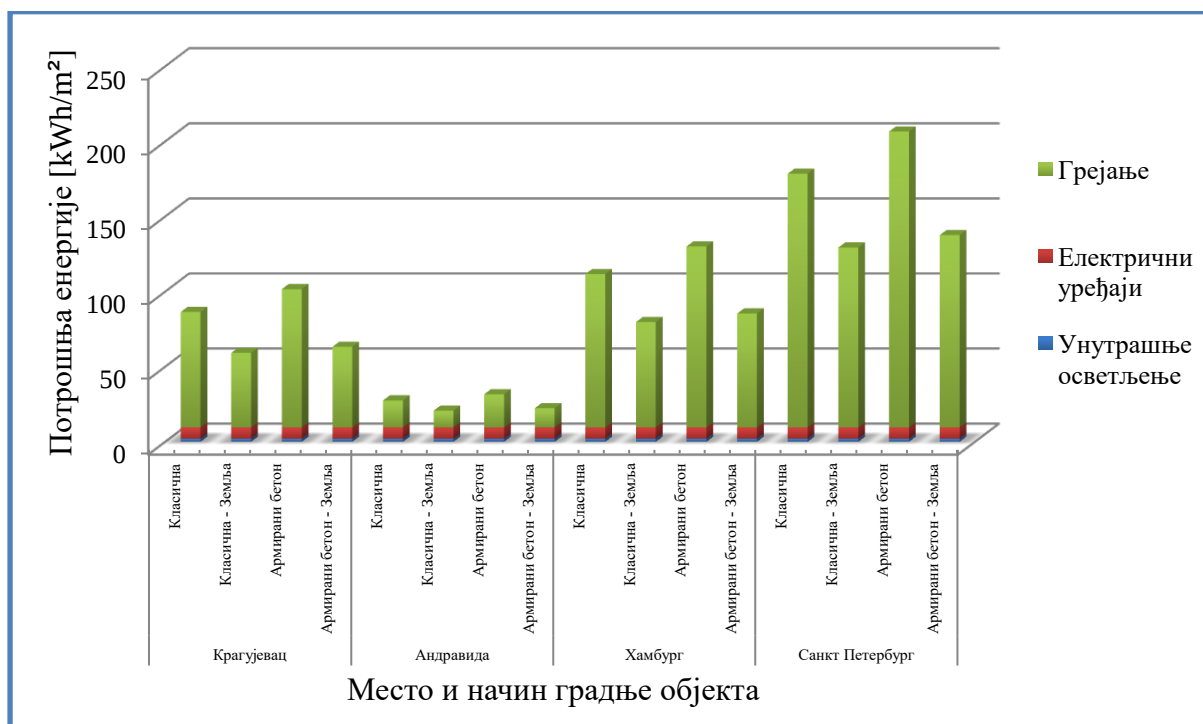
Разлог због чега град Андравида има највеће шансе за искоришћење Сунчевог зрачења огледа се у термину инсолације.

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 [2].

Количина Сунчевог зрачења на Земљиној површини зависи од много фактора: географске ширине места, годишњег доба, доба дана, чистоће атмосфере, облачности, оријентације и нагиба површине. За подручје Европе годишња инсолација је приказана на слици 20.



Слика 20. Годишња инсолација на хоризонталној површини за подручје Европе [kWh/m^2] [2]

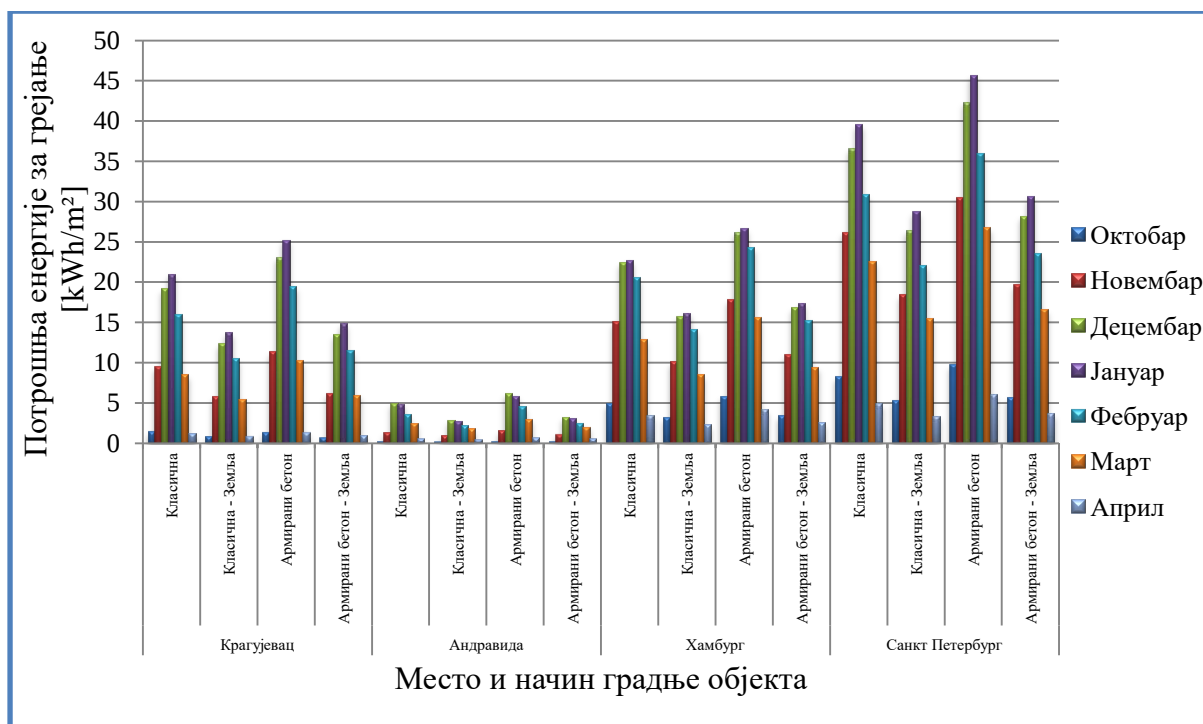


Дијаграм 12. Свеукупно поређење потрошње енергије у зависности од начина градње објекта у току грејне сезоне и у зависности од локације објекта

На основу дијаграма 12. може се уочити да укупна потрошња енергије објекта, за период грејне сезоне, за Класичано изграђен објекат, најмање износи уколико се објекат налази на локацији града Андравида и то $27,46 \text{ kWh/m}^2$, а највише на локацији града Санкт Петербурга $178,41 \text{ kWh/m}^2$. На локацији града Хамбурга објекта користи укупну енергију од $111,60 \text{ kWh/m}^2$, а на територији града Крагујевца објекат има укупну потрошњу енергије од $86,35 \text{ kWh/m}^2$ што је много боље од добијене вредности за град Санкт Петербург а не толко лошије од града Андравида.

Са дијаграма 12. се може закључити да уколико се објекат, Класичне градње, изољује земљаним омотачем да се на свим локацијама објекта остварује велика уштеда потрошње енергије. Вредности укупне потрошње енергије након изолације земљаним омотачем износе: град Андравида - $20,66 \text{ kWh/m}^2$, град Крагујевац - $59,12 \text{ kWh/m}^2$, град Хамбург - $79,63 \text{ kWh/m}^2$ и град Санкт Петербург - $129,29 \text{ kWh/m}^2$.

Као и за Класично изграђен објекат на дијаграму 12. је приказана укупна потрошња енергије за објекат изграђен од Армираног бетона у зависности од локације објекта. Смањење укупне потрошње енергије, за све локације објекта, се остварује уколико се објекат изољује земљаним омотачем. Па се на тај начин снижује вредност укупне потрошње енергије за објекат на локацији: град Андравида са $31,60 \text{ kWh/m}^2$ на $22,28 \text{ kWh/m}^2$, град Крагујевац са $101,58 \text{ kWh/m}^2$ на $63,18 \text{ kWh/m}^2$, град Хамбург са $130,00 \text{ kWh/m}^2$ на $85,34 \text{ kWh/m}^2$ и град Санкт Петербург са $206,50 \text{ kWh/m}^2$ на $137,53 \text{ kWh/m}^2$.

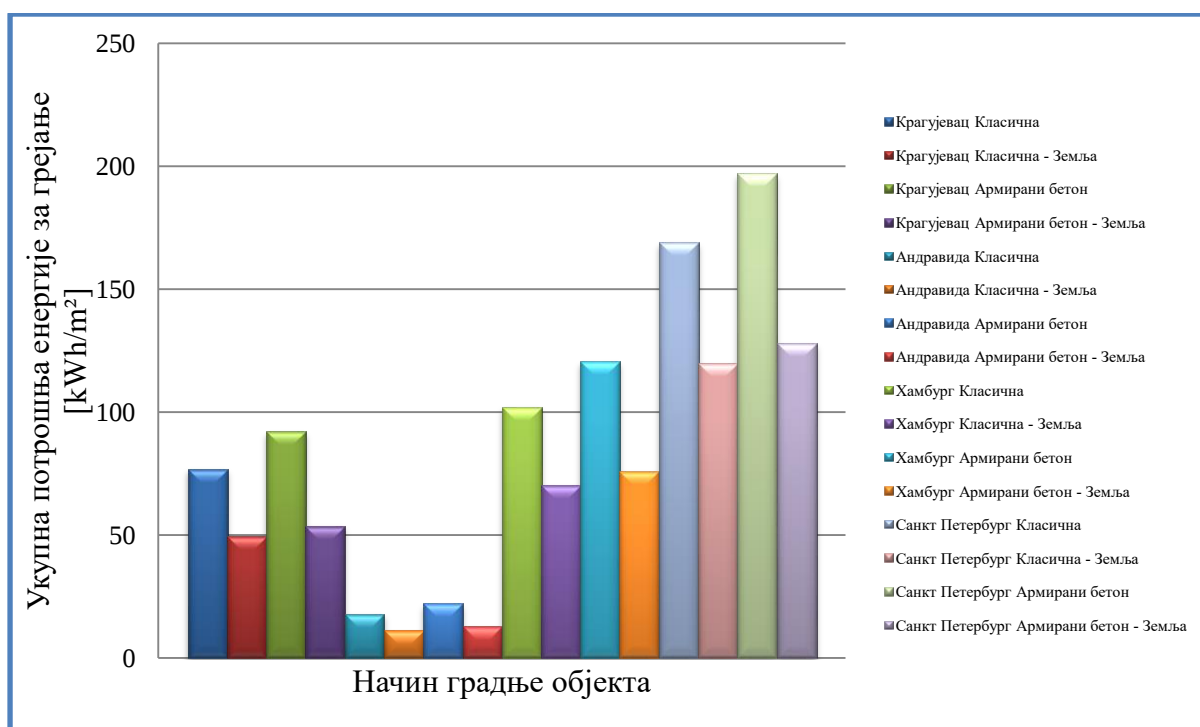


Дијаграм 13. Свеукупно поређење потрошње енергије за грејање у зависности од начина градње објекта на месечном периоду у току грејне сезоне и у зависности од локације објекта

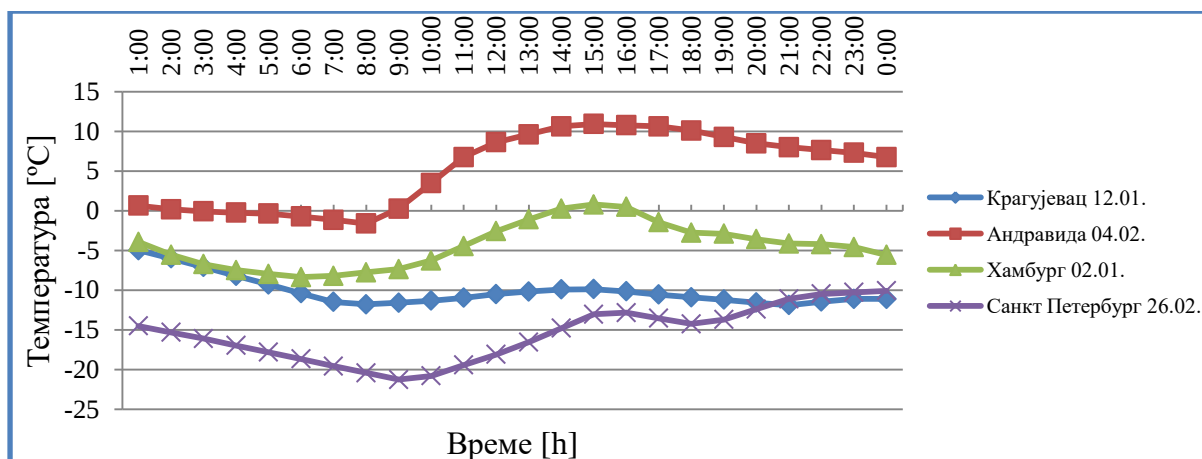
На основу дијаграма 13. може се закључити да је потрошња енергије за грејање објекта, за све начине градње објекта и за све локације објекта, највећа за месец Јануар а најмања за месеце Октобар и Април у периоду трајања грејне сезоне.

За објект изграђен на Класичан начин, са дијаграма 13. се уочава да потрошња енергије за грејање опада уколико се објекат додатно изолује земљом што важи за све локације објекта. Посматрајући месец Јануар, као месец кад је највећа потреба за енергијом за грејање, Класично изграђен објекат, у зависности од локације објекта, изолацијом објекта у виду земљаног оматача, смањује потрошњу и то за: град Анравида са 4,86 kWh/m² на 2,74 kWh/m², град Крагујевац са 21,02 kWh/m² на 13,69 kWh/m², град Хамбург са 22,73 kWh/m² на 16,18 kWh/m² и град Санкт Петербург са 39,57 kWh/m² на 28,79 kWh/m².

Као и за Класично изграђен објекат на дијаграму 13. је приказана потрошња енергије за грејање објекта изграђеног од Армираног бетона у зависности од локације објекта. Смањење потрошње енергије за грејање, за све локације објекта, се остварује уколико се објекат изолује земљаним омотачем. Па се на тај начин снижава вредност потрошње енергије за грејање за објекат на локацији: град Анравида са 5,90 kWh/m² на 3,04 kWh/m², град Крагујевац са 25,24 kWh/m² на 14,82 kWh/m², град Хамбург са 26,65 kWh/m² на 17,36 kWh/m² и град Санкт Петербург са 45,62 kWh/m² на 30,65 kWh/m².

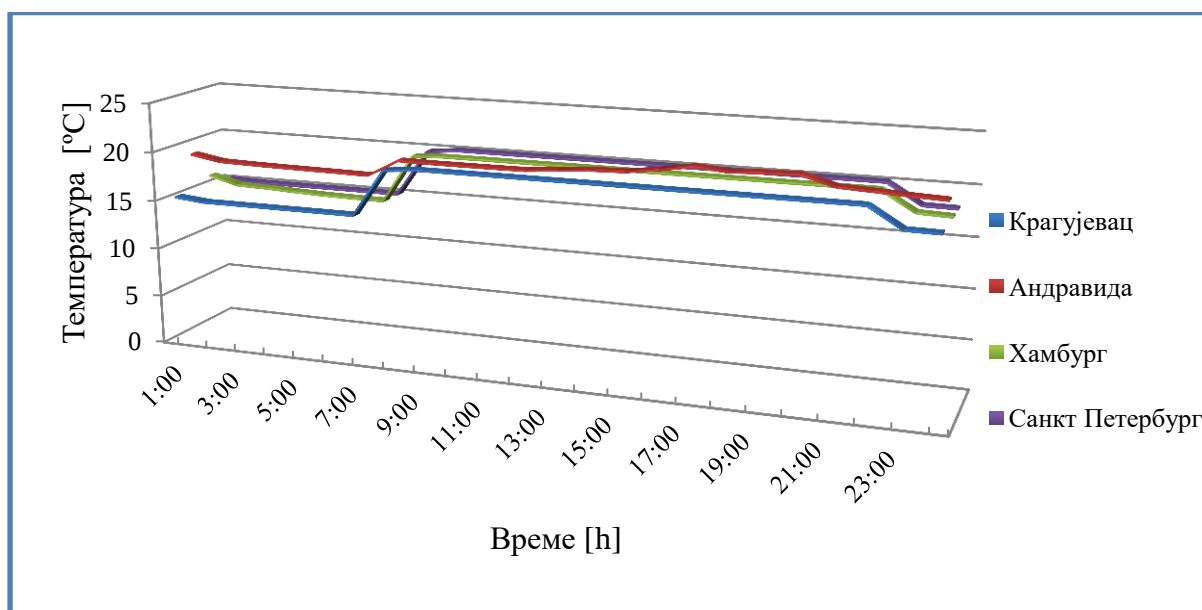


Дијаграм 14. Свеукупно поређење укупне потрошње енергије за грејање у зависности од локације и начина градње објекта у току грејне сезоне (15.10. - 15.04.)



Дијаграм 15. Спољна температура за најхладнији дан на различитим локацијама

Коришћењем временских фајлова градова као што су: Крагујевац (Србија), Андравида (Грчка), Хамбург (Немачка) и Санкт Петербург (Русија), приликом прорачуна спољне температуре за најхладнији дан добијени су различити резултати. На основу прорачуна, као најхладнији дан у периоду грејне сезоне, одређени су: 12. Јануар за град Крагујевац, 04. Фебруар за град Андравида, 02. Јануар за град Хамбург и 26. Фебруар за град Санкт Петербург, што је и приказано на дијаграму 15.

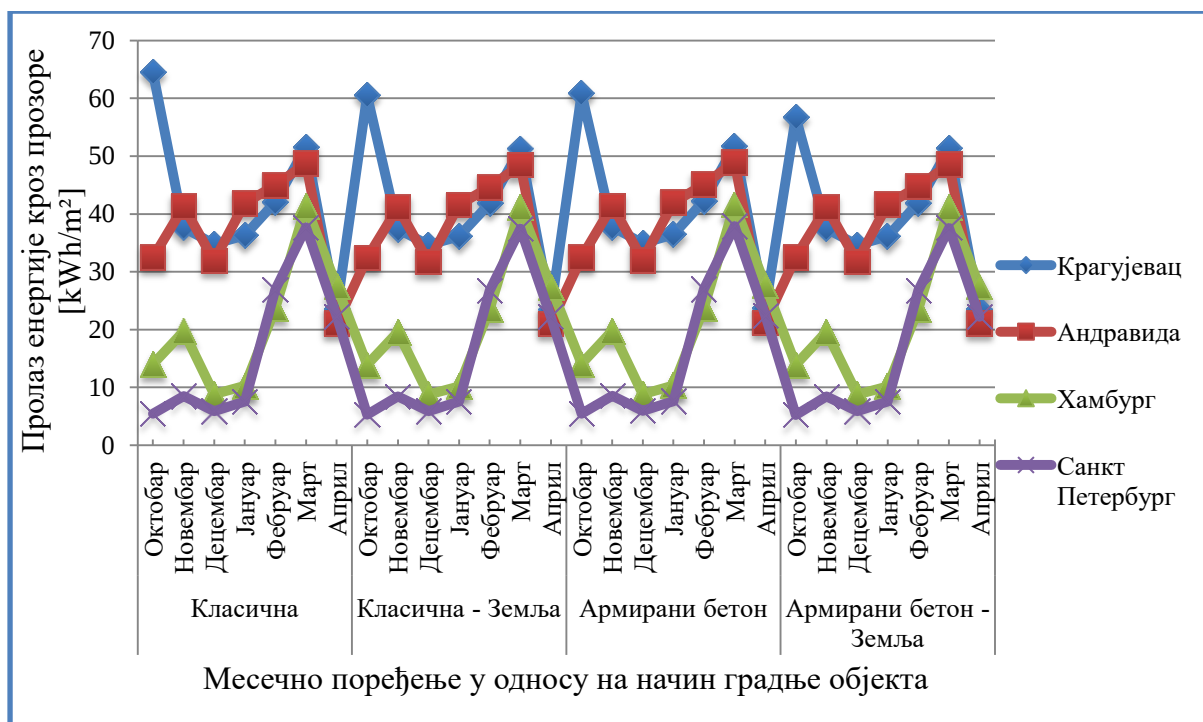


Дијаграм 16. Температура у дневној соби за време најхладније дана на различитим локацијама

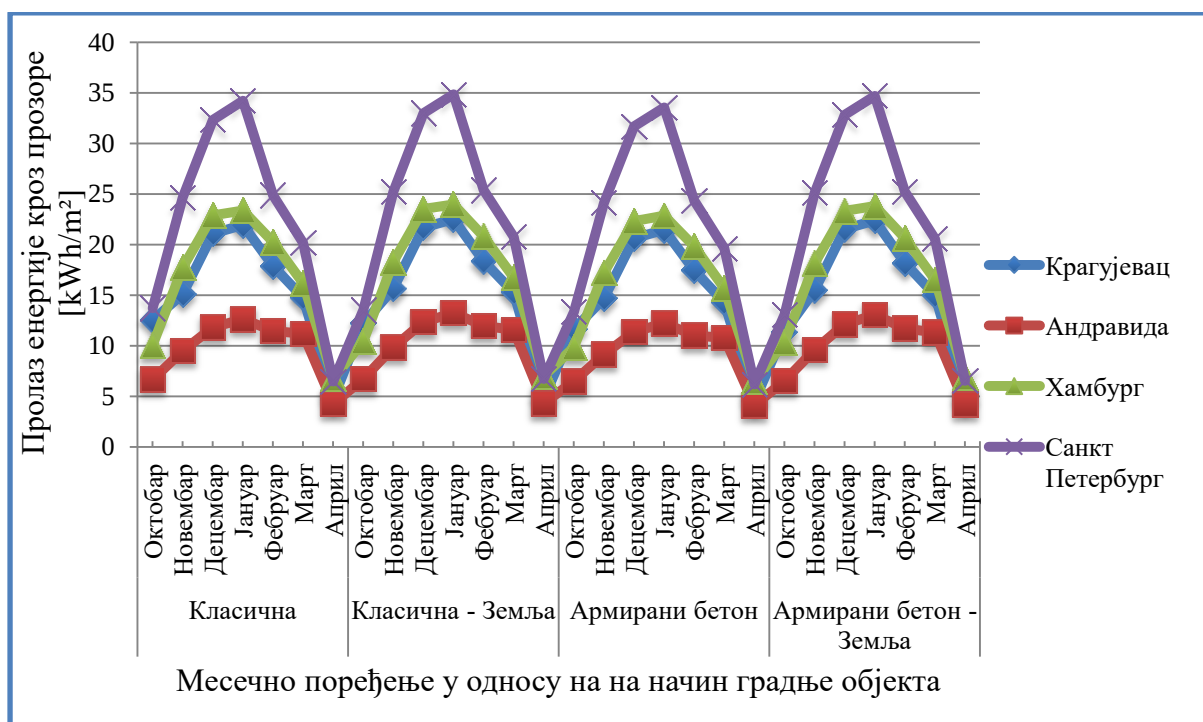
На дијаграму 16. је приказана часовна промена температуре у дневној соби за објекат на различитим локацијама. На основу приказаног графика уочава се да за објекат на различитим локацијама, ипак није иста часовна расподела температуре унутар просторије. Као разлог ове разлике се огледа у томе што је рад термостата подешен за температурне услове града Крагујеваца.

Тако да, за дан 12. Јануар спољна температура у граду Крагујевцу, у 18:00 h, износи $-10,89\text{ }^{\circ}\text{C}$ а унутрашња температура дневне собе износи $20,00\text{ }^{\circ}\text{C}$ што је регулисано термостатом, док за исти период у граду Андравида спољна температура износи $15,28\text{ }^{\circ}\text{C}$ а унутрашња температура $21,35\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Већа унутрашња температура, у дневној соби објекта, од вредности задате термостатом, је због тога што се објекат релативно брзо загреје и што је у том тренутку веће присуство људи у просторији као и изразитије коришћење уређаја у просторији, а све то утиче на повећање унутрашње температуре.



Дијаграм 17. Добитак енергије кроз прозоре у дневној соби за месечни период у току грејне сезоне на различитим локацијама



Дијаграм 18. Губитак енергије кроз прозоре у дневној соби за месечни период у току грејне сезоне на различитим локацијама

На основу временских фајлова за градове као што су: Крагујевац, Анравида, Хамбург и Санкт Петербург, на дијаграмима 17. и 18. приказани су добици односно губици енергије, на месечном периоду у току грејне сезоне, кроз прозоре дневне собе објекта.

Посматрајући график 17. уочава се да градови Крагујевац и Андравида имају сличне резултате добитка енергије и да су они већи у односу на резултате за објекат на територијама градова Хамбурга и Санкт Петербурга.

Посматрајући график 18. уочава се да градови Крагујевац и Хамбург имају сличне губитке енергије и да су они много мањи у односу на губитке за објекат на територији града Санкт Петербурга. Такође се уочава да објекат на локацији града Андравиде има најбоље резултате што се тиче губитка енергије кроз прозоре.

Упоредивањем резултата добитка и губитка енергије кроз прозоре објекта, на наведеним локацијама објекта, према дијаграмима 17. и 18., долази се до закључка да најбољи однос добитка и губитка енергије кроз прозоре има објекат на територији града Андравиде. Најлошији однос ових параметара има објекат на територији града Санкт Петербурга.

Објекат на територији града Крагујевца има задовољавајући однос добитка и губитка енергије кроз прозоре, где правилним искоришћењем наведеног потенцијала може се остварити значајна уштеда енергије за грејање и осветљење самог објекта.

ЗАКЉУЧАК

Енергија Сунца представља један од најзначајнијих обновљивих извора енергије, оних чија се продукција енергије може одвијати истом брзином којом се троши. Када се каже енергија Сунца мисли се пре свега на директно искоришћавање енергије електромагнетних таласа које оно зрачи. Уколико се енергија Сунца другачије посматра, може се рећи да, практично, сви извори енергије на Земљи (обновљиви и необновљиви), осим нуклеарне, геотермалне и енергије плиме и осеке, су створени или се стварају зрачењем са Сунца.

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

Данас када се веома води рачуна о енергетској ефикасности како би се трошкови плаћања енергената и одржавања система смањили, а све то за крајњи циљ има смањење нарушавања животне средине, програмски пакети, као што је *EnergyPlus*, су веома корисни, јер могу да дају веома прецизне податке којима ће разбистрити слику о свим параметрима о којима треба водити рачуна приликом подизања енергетске ефикасности објеката.

Коришћењем овог пакета у сарадњи са *GoogleSketchUp*-ом извршене су симулације које су нам дале резултате везане за потрошњу енергије за грејну сезону у зависности од начина градње породичног стамбеног објекта, избора стране објекта приликом додатне изолације објекта земљом, такође и у зависности од локације објекта, а све у циљу подизања енергетске ефикасности.

У зависности од начина градње објекта, поређење је рађено за објекат чија је градња Класична и објекат изграђен од Армираног бетона. Приликом додатне изолације објекта земљом, симулације су рађене за оба начина градње објекта. Стране објекта које су додатно изоловане земљом су Западна и Источна страна, Северна страна, Кров објекта и изолација у виду земљаног омотача при чему је објекат изолован са свих страна, остављајући једино јужну страну комплетно изолжену Сунцу. Индентичан поступак је симулиран за исти објекат али на различитим локацијама објекта. Приликом поређења временских услова коришћени су временски фајлови за: град Крагујевац, Србија; град Андравида, Грчка; град Хамбург, Немачка; град Санкт Петербург, Русија.

Као фокус уштеде енергије за грејање, резултати за објекат на локацији града Крагујевца, су више него задовољавајући и приказани су у табели 8. На основу вредности из ове табеле, на дијаграмима 5. и 6. приказана је потрошња енергије за грејање у зависности начина градње објекта и додатне изолације објекта земљом, као и уштеде у односу на објекат изграђен на Класичан начин. Код Класичне градње објекта највећа уштеда од 35,40 % остварује уколико се објекат изолује са свих страна земљом а при томе не укључујући јужну страну објекта. Код објекта изграђеног од Армираног бетона, такође, највећа уштеда се остварује изолацијом објекта у виду земљаног омотача, чиме се остварује уштеда од 30,12 % у односу на Класичну градњу објекта.

У наставку је дијаграмски приказан добитак и губитак енергије, на месечном периоду у току грејне сезоне, кроз прозоре дневне собе објекта. На основу чега се закључује да град Крагујевац има велики број сунчаних дана у току грејне сезоне, што потврђује дијаграм 9., где се уочава да је већи добитак енергије кроз прозоре од губитка енергије кроз прозоре. Према овим резултатима, објекат, на локацији града Крагујеваца, има велики потенцијал за искоришћење Сунчеве енергије, током грејне сезоне, у виду пасивног соларног система.

Симулације рађене за објекат на другима локацијама, показују да са променом локације објекта се мењају спољни временски фактори што даље доводи до различитог степена искоришћења Сунчеве енергије. На основу ових резултата, најбољи положај би имао објекат изграђен на локацији града Андравице, где је потреба за грејање веома мала, чиме се изолацијом у виду земљаног омотача објекта, додатно умањује. Објекат на локацији града Крагујевца, у току грејне сезоне, захтева нешто вишу енергију за грејање у односу на исти објекат на територији града Андравице, а нешто мању у односу на исти објекат на територији града Хамбурга. Највећу потребу за енергијом за грејање има исти објекат на територији града Санкт Петербург. Заједничко за све ове упоређиване временске услове, без обзира где се објекат налазио, је да се додатном изолацијом објекта, у виду земљаног омотача, остварује веома значајна уштеда потрошње енергије за грејање а да се при томе не нарушава окружење и не утиче негативно на животну средину.

Два доминантна и уско повезана проблема са којима се свет данас суочава јесу, са једне стране, недостатак и несигурност у снабдевању енергијом и са друге стране, загађење животне средине и климатске промене као последица прекомерне потрошње енергије. Један од начина да се негативни утицаји смање и да се позитивно утиче на одрживи развој јесте ефикасно коришћење енергије. Енергетска ефикасност нас чини мање осетљивим на несташицу енергије, смањује загађење и директно утиче на побољшање животних услова. Овим мастер радом је доказано да планском изградњом објекта и паметним искоришћењем обновљивих извора енергије, у овом случају Сунчеве енергије у виду пасивног соларног система, се значајно унапређује енергетска ефикасност самог објекта, што значајно доприноси сигурности снабдевања енергијом, повећању стандарда, смањењу зависности за енергијом за догревање објекта и смањењу негативних утицаја на животну средину.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] С. Зрнић, Ж. Ђулум, *Грејање и климатизација са применом соларне енергије*, Научна књига, Нови Сад, 1966.
- [2] Н. Лукић, М. Бабић, *Соларна енергија*, Машински факултет у Крагујевцу, 2008.
- [3] В. Милковић, *Соларне земунице - дом будућности*, Нишро Дневник, Нови Сад 1983.
- [4] https://sr.wikipedia.org/sr/Подземне_куће, посећено 15.06.2015.
- [5] <http://www.veljkomilkovic.com/EkoKuca2.htm>, посећено 15.06.2015.
- [6] <http://www.ekokuce.com/principi/pasivno-solarno-grejanje>, посећено 15.06.2015.

ПРИЛОГ

I. Табеларни приказ температуре

Време [h]	Спољна температура за најхладнији дан (12.01.) [°C]
1:00	-4.96
2:00	-5.99
3:00	-7.09
4:00	-8.19
5:00	-9.29
6:00	-10.39
7:00	-11.49
8:00	-11.78
9:00	-11.58
10:00	-11.31
11:00	-10.95
12:00	-10.49
13:00	-10.18
14:00	-9.91
15:00	-9.86
16:00	-10.15
17:00	-10.55
18:00	-10.89
19:00	-11.19
20:00	-11.55
21:00	-11.89
22:00	-11.44
23:00	-11.10
0:00	-11.10

Време [h]	Температура у дневној соби за најхладнији дан (12.01.) [°C]									
	Класична	Класична - Земља - Запад и Исток	Класична - Земља - Север	Класична - Земља - Кров	Класична - Земља	Армирани бетон	Армирани бетон - Земља - Запад и Исток	Армирани бетон - Земља - Север	Армирани бетон - Земља - Кров	Армирани бетон - Земља
1:00	15,29	15,30	15,33	15,32	15,39	15,23	15,24	15,28	15,25	15,34
2:00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
3:00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
4:00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
5:00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
6:00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
7:00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
8:00	19,71	19,71	19,69	19,69	19,66	19,76	19,75	19,72	19,74	19,67
9:00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
10:00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
11:00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
12:00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
13:00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
14:00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
15:00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
16:00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
17:00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
18:00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
19:00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
20:00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
21:00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
22:00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
23:00	18,04	18,05	18,05	18,05	18,05	18,04	18,04	18,05	18,04	18,05
0:00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00

II. Табеларни приказ добитка и губитка енергије кроз прозоре

Начин градње објекта	Месец	Пролаз енергије кроз прозоре [kWh/m ²]	
		Дневна соба Добитак енергије	Губитак енергије
Класична	Октобар	64,50	12,56
	Новембар	37,65	15,10
	Децембар	34,79	21,10
	Јануар	36,30	21,94
	Фебруар	42,08	17,90
	Март	51,56	14,75
	Април	23,52	4,72
Класична - Земља	Октобар	60,48	12,21
	Новембар	37,42	15,64
	Децембар	34,62	21,68
	Јануар	36,11	22,52
	Фебруар	41,86	18,37
	Март	51,28	15,25
	Април	23,47	4,80
Армирани бетон	Октобар	60,80	11,62
	Новембар	37,80	14,69
	Децембар	34,92	20,63
	Јануар	36,44	21,48
	Фебруар	42,27	17,46
	Март	51,79	14,29
	Април	23,67	4,52
Армирани бетон - Земља	Октобар	56,71	11,38
	Новембар	37,45	15,49
	Децембар	34,64	21,52
	Јануар	36,14	22,39
	Фебруар	41,92	18,18
	Март	51,36	15,03
	Април	23,57	4,65