

**Факултет инжењерских наука
Универзитет у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Термоенергетски уређаји и постројења

Број индекса: 382/2014

Марко Р. Здравковић

**Потрошња енергије за грејање домаћинства – модела српске куће у
зависности од положаја и димензија прозора**

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Небојша Лукић – ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Захваљујем се проф. др Небојши Лукићу, човеку који ми је од почетка студија доста помогао у стицању знања, искуства и техника из области Преноса топлоте и масе, Обновљивих извора енергије, Термоенергетских уређаја и постројења и који се осим свог изузетног знања и професионалности истиче и изванредним 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 срећним тренуцима и без којих све ово што сам досад постигао не би било могуће.

Октобар, 2016. године
Крагујевац

Марко Здравковић

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да проучи препоручену, као и ширу литературу, и да објасни утицај положаја прозора, различитих димензија на повећање енергетске ефикасности одабраног објекта. Пре свега треба да објасни шта је енергетска ефикасност објекта, на који начин и зашто ће се мењати уградњом таквог прозора. Кандидат је у обавези да упореди ове врсте прозора и да на основу добијених прорачуна губитака топлоте и вредности уштеде енергије прикаже табеларно и у виду дијаграма најефикасније решење и уштеде енергије објекта.

Препоручена литература:

- [1] Слободан Зрнић, Живојин Ћулум, Грејање и климатизација са применом соларне енергије, Научна књига, Нови Сад, 1966.
- [2] Тодоровић, Б., Пројектовање постројења за централно грејање, Машински факултет, Београд, 2005.

Крагујевац, 18.11. 2016.

Ментор:

Проф. др Небојша Лукић,
редовни професор

РЕЗИМЕ

Енергетска ефикасност подразумева низ мера које предузимамо у циљу смањења потрошње енергије, а које при томе не нарушавају услове рада и живота.

Са циљем повећања енергетске ефикасности, у овом раду, извршене су симулације у софтверском пакету EnergyPlus, које ће показати зависност потрошње електричне енергије, која се користи за грејање објекта током грејне сезоне, од положаја прозора, различитих димензија. У првом случају је извршена симулација за одабрани објекат који није изолован, други случај је симулација истог објекта који је изолован са спољашње стране стиропором дебљине 8 cm. За оба случаја рађене су симулације објекта окренутог ка свим странама света.

Објекат симулације у овом раду је стамбена кућа у српском стилу укупне површине 223 m^2 , и грејне површине од 80 m^2 .

Кључне речи: енергетска ефикасност, EnergyPlus, изолација, стиропор, прозор, кућа у српском стилу

ABSTRACT

Energy efficiency involves a series of measures we are taking in order to reduce energy consumption, and which do not impair the conditions of work and life.

With the aim of increasing energy efficiency, in this paper were carried out simulation in EnergyPlus software package, which will demonstrate the dependence of the consumption of electricity, which is used for heating the building during the heating season, from the position of windows of different sizes. In the first case, the simulation was performed for the selected object which is not isolated, the second case is a simulation of the same object which is isolated from the outside styrofoam 8cm thick. For both cases were made simulation building, facing towards all sides of the world.

The building simulation in this paper is a residential house in the Serbian style total area of 223 m^2 , and the heated surface of 80 m^2 .

Keywords: energy efficiency, EnergyPlus, insulation, styrofoam, window, house in Serbian style

Садржај

1 Увод	7
2 GoogleSketchUp (моделирање објекта)	8
3 EnergyPlus	10
4 Теоријске основе	11
4.1 Омотач зграде и мере енергетске ефикасности на омотачу зграде	12
4.2 Губици топлоте кроз прозоре	14
4.3 Термоизолација	15
4.4 Стиропор	16
5 Опис стамбеног објекта – српске куће	18
5.1 Локација куће и услови објекта	20
5.2 Материјали објекта и конструкције	21
5.3 Грејна тела и пројектоване температуре	23
5.4 Коришћење електричне опреме у просторијама	24
6 Период грејне сезоне и сценарио симулација	27
7 Резултати симулација и дискусија	29
7.1 Резултати симулација када је прозор окренут ка западу	29
7.2 Резултати симулација када је прозор окренут ка истоку	32
7.3 Резултати симулација када је прозор окренут ка југу	35
7.4 Резултати симулација када је прозор окренут ка северу	38
7.5 Поређење резултата према странама света	41
8 Закључак	45
ЛИТЕРАТУРА	46

1 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.).

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.

Циљ мастер рада је анализирати топлотне карактеристике објекта који има прозор преко једне стране крова, за случајеве када је та страна окренута према истоку, западу, северу и југу.

Моделирање објекта је рађено у програму *Google SketchUp 8*, а уношење параметара објекта и симулација у програму *Energy Plus*. *Energy Plus* 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 за плагин за *Google SketchUp*.

2 GoogleSketchUp (моделирање објекта)

GoogleSketchUp (слика 1) је програм за 3D моделирање (предмета, зграда,...). Наменен за архитекте, грађевинске инжењере, режисере, креаторе игрица и сличним професијама. Програм је предвиђен да буде што флексибилнији и лакши за употребу од других CAD програма за 3D компјутерски дизајн.

GoogleSketchUp 8 има више функција:

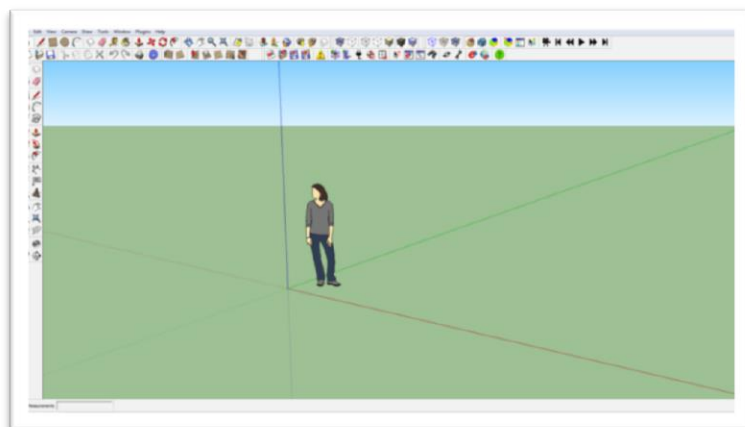
- алатке за базно и специјално 3D уређивање,
- могућност рада са сценама,
- подршка стилова,
- брзо стварање тродимензионалног текста,
- интеграција са сервисом GoogleEarth,
- могућност рада са готовим моделима,
- подршка популарних формата 3D графике.

Постоји отворена библиотека на мрежи која је препуна бесплатних модела (нпр. прозори, врата, аутомобили, итд.), 3D складиште, где корисници могу додати своје моделе. Програм обухвата израду функционалности распореда, омогућава површински "rendering" у променљивим "стиловима", подржава програме треће стране "plug-in" који пружају друге могућности.

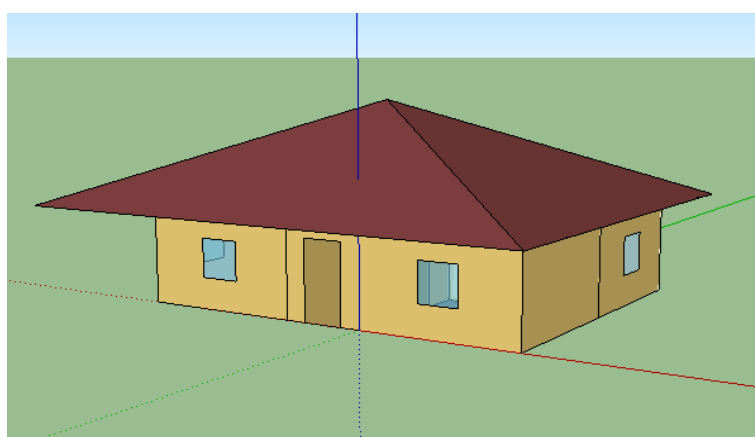
Употребом посебног plug-ina омогућава се коришћење овог програма у EnergyPlus окружењу, што је битно за овај рад.

Пре него што се започне са радом у програму Energi Plus потребно је дефинисати геометрију објекта помоћу програма Google SketchUp. За добијање геометрије потребно је моделирати објекат који симулира и експортирати га у IDF file који Energy Plus препознаје. Само моделирање објекта се обавља коришћењем једноставних алата, а веза између два програма је OpenStudio plugin који је неопходно инсталиран. Свака просторија објекта се моделира засебно са тим што се води рачуна да се геометрије заједничких површина поклапају међусобно. Такође, треба водити рачуна у и о распореду унутрашњих отвора и њиховом међусобном поклапању

Након израде свих просторија и крова као завршног дела, потребно је изменити имена свих површина које ограничавају просторију, ради лакшег даљег руковања истим. На крају се експртује у IDF file формат који олакшава рад у Energy Plus-у јер би геометрија објекта морала да се уноси укуцавањем координата свих зона објекта директно у програм, док се у овом случају добија аутоматски.



Слика 2.1 Радно окружење Google SketchUP-а



Слика 2.2 Модел зоне са заједничком површином

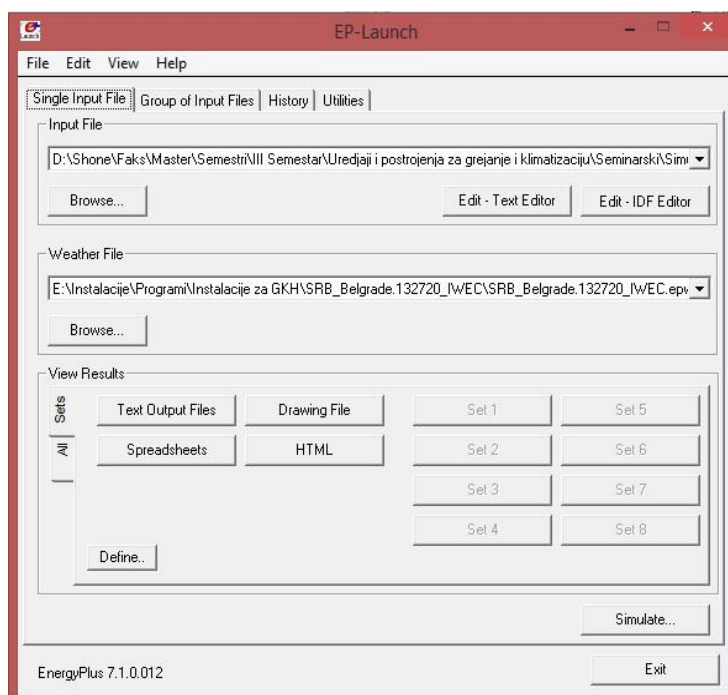
3 EnergyPlus

Овај софтвер моделира грејање, хлађење, осветљење, вентилацију, и друге енергетске токове као и водену мрежу у домаћинству. Укључује многе иновативне 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 3.1) 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 [2].

Рођени из потребе коју је изазвала енергетска криза раних седамдесетих година и самог сазнања да је потрошња енергије за загревање просторија највећа компонента статистике потрошње енергије у Америци, ова два програма су покушала да реше исти проблем из две мање-више различите перспективе.

Као и његови претходници, и *EnergyPlus* је програм за енергетску и термичку анализу и симулацију. Заснован на корисничковој дефиницији куће (зграде), у смислу физичких ограничења и зависних механичких параметара, *EnergyPlus* ће израчунати неопходне грејне и расхладне параметре који су неопходни како би се одржала термичка контрола на специфичним тачкама куће. [1]

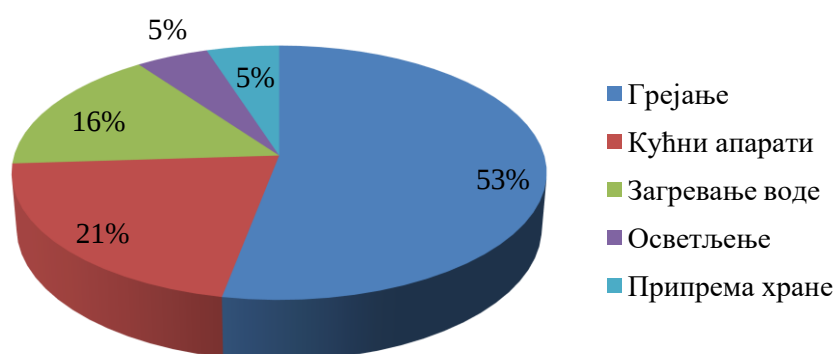


Слика 3.1 Радно окружење *EnergyPlus*-а

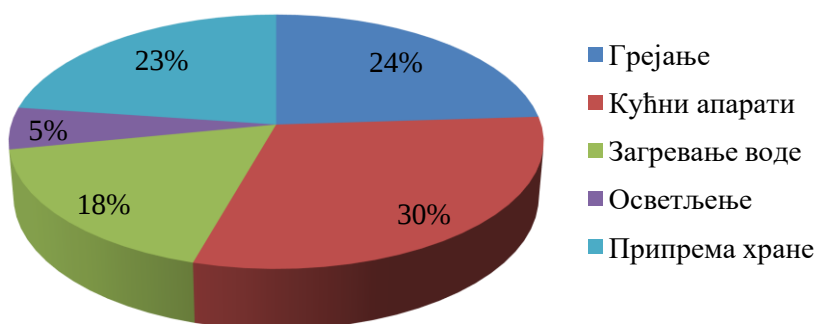
4 Теоријске основе

Према наводима ИЕА у домаћинствима у Европи за потребе грејања троши се 53%, од укупне енергије, за кућне апарате 21%, за грејање воде 16%, а за осветљење и припрему хране по 5% (Слика 4.1).

Према проценама Агенције за енергетску ефикасност у Србији се на грејање троши 24% укупне финалне енергије. Од преосталих 76% на припрему хране троши се 30%, чување хране 25%, загревање воде 23%, осветљење 7%, док се на остале потребе утроши 6,5% (Слика 4.2)



Слика 4.1 Процентуална расподела потрошње финалне енергије у домаћинствима у Европи [2]



Слика 4.2 Процентуална расподела потрошње финалне енергије у домаћинствима у Србији [3]

Количина енергије која се троши на грејање објекта зависи од сваког појединачног случаја и од многих фактора, као што су:

- тип објекта (намена);
- величина објекта;
- тип доступних горива;

- време коришћења објекта;
- број људи који борави у објекту;
- коштање опреме и монтаже;
- трошкови у експлоатацији;
- локација објекта, итд.

Типови система за грејање се могу груписати према различитим критеријумима:

- према концепту (појединачно, централно и даљинско (топификација);
- према врсти горива (природни гас, нафта, дрво и дрвени брикети, угаљ, електрична енергија, итд.);
- према носиоцу топлоте (топловодно, вреловодно, парно и ваздушно);
- према механизму одавања топлоте просторији (кондукција, конвекција, зрачење, комбиновано).

Сви системи и уређаји за грејање морају да испуне одређене услове од којих су неки [4]:

- термички и хидраулички;
- конструктивни (габаритни);
- хигијенски;
- естетски;
- економски;
- безбедни.

Веома је тешко постићи потпуно идеално задовољење свих ових услова па се њихов приоритет сврстава према намени самог објекта.

4.1 Омотач зграде и мере енергетске ефикасности на омотачу зграде

Под омотачем зграде подразумевају се сви гранични елементи који одвајају грађевински објект од спољне околине и земљишта на коме је подигнут: фасадни зидови са вратима и прозорима, кровна конструкција, као и основа зграде на којој она лежи на тлу.

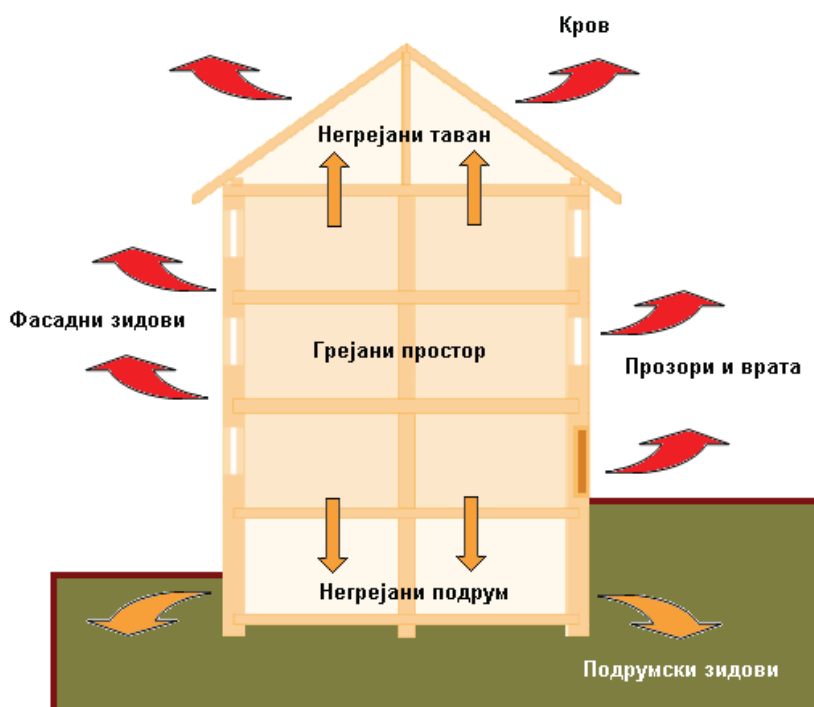
Осим својих механичких функција, омотач има задатак да штити унутрашњи простор од утицаја спољних високих или ниских температура, од падавина, од ветра,

буке и других спољних неповољности. Али и да истовремено омогућава приступ природне светлости у унутрашњости зграде као и визуелни контакт људима у њој са околном природом. [5]

Топлотна енергија се губи кроз омотач зграде, који је приказан на слици 5. Омотач зграде чине сви гранични елементи који одвајају грађевински објекат од ваздуха или тла на коме је подигнут.

Омотач зграде чине:

- кровна конструкција,
- фасадни зидови,
- прозори и врата,
- основа зграде.



Слика 5 Приказ губитака кроз омотач зграде

У основи, мере енергетске ефикасности на омотачу зграде имају три карактеристична ефекта:

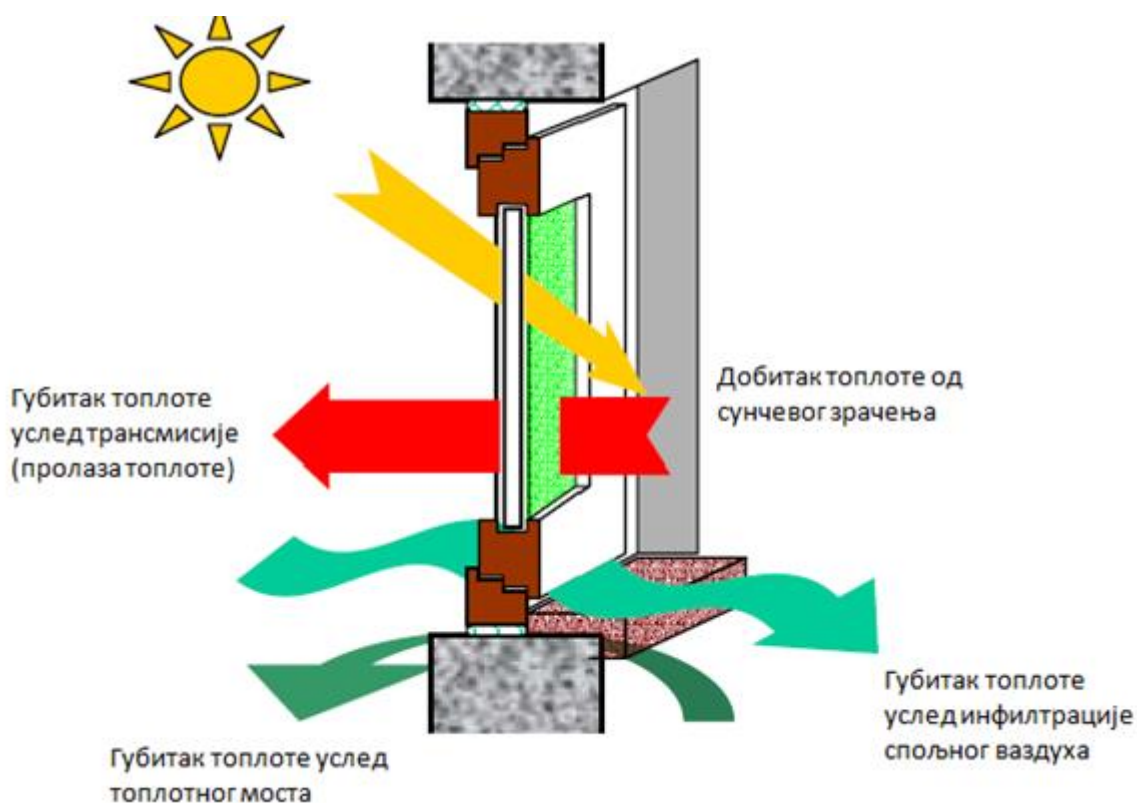
- смањује се пролаз топлоте кроз поједине сегменте омотача (трансмисиони губици топлоте),
- смањује се инфилтрација ваздуха у просторију (вентилациони губици топлоте),
- смањује се дифузија водене паре, и са њом у вези губици топлоте.

Топлотном изолацијом зграде постижу се следећи резултати:

- смањује се пролаз топлоте кроз поједине сегменте омотача (спољашњи зидови, кров и кровна конструкција, подрум),
- смањује топлотне губитке зими и прегевање простора лети,
- штити носећу конструкцију од спољашњих утицаја и јаких температурних напрезања,
- топлотно изолована зграда је термички угоднија, продужава јој се животног век и доприноси заштити околине.

4.2 Губици топлоте кроз прозоре

Губици кроз прозоре су трансмисијски, односно они кроз затворен прозор и вентилацијски, односно они кроз отворен прозор. На слици 7 су приказани губици и добити кроз прозор.



Слика 7 Приказ губитака и добитака [6]

Постоји много различитих врста прозора, а њихов коефицијент пролаза топлоте се креће од $<0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ код најбољих прозора са троструким стаклима испуњених инертним гасовима, па све до $5,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, код старих прозора са једноструким стаклом.

Основне функције прозора су обезбеђивање:

- дневне светлости у објекту,
- вентилације,
- визуелног контакта са спољашњом средином,
- смањења губитака топлоте,
- заштите унутрашњости објекта од спољашњих непогодних утицаја.

Основна карактеристика која дефинише енергетске перформансе прозора је коефицијент пролаза топлоте, који зависи од врсте и дебљине стакла, материјала оквира и рама.

Користе се следеће стратегије за побољшање енергетске ефикасности прозора:

- више стаклених панела (два или три),
- пуњење инертним гасовима,
- нискоемисиони слојеви.

4.3 Термоизолација

Изолациони слојеви повећавају отпор провођењу топлоте кроз зидове па се смањује пролаз топлоте кроз њихову конструкцију, што доприноси малој потребној количини топлоте за грејање.

Изолациона маса се може уградити са спољне или унутрашње стране зида, или као слој у његовој унутрашњости. Ако је изолација постављена на спољној страни зида, онда су температуре масе зида ниже. Тиме се умањују дилатације елемената фасаде, односно топлота напрезања конструктивних елемената, чиме се спречава појава напрстина у зидовима. У тако постављеној изолацији главна маса зида је концентрисана ка унутрашњем простору, па се по прекиду грејања акумулирана топлота у њој постепено ослобађа и преноси у просторију, те се дуже одржавају задовољавајуће температуре унутар зграде. Топлотна изолација (термоизолација) куће чува енергију, здравље и обезбеђује већи термички комфор станарима. У зимском периоду су изоловани зидови топлији са унутрашње стране, те је спречена појава кондензације и буђи. У летњем периоду изолација спречава прекомерно загревање зидова те је кућа хладнија и пријатнија за боравак. Глобално гледано добро топлотно изолована кућа има уједначену температуру током читаве године. Топлотна изолација се може сматрати дугорочном заштитом, а разлог за то је што након основног улагања дужи временски период не захтева никаква додатна улагања и одржавање.

Локације за уградњу термоизолације су:

- плафони према негрејаном простору,
- спољашњи зидови,
- подови према негрејаном простору.

Особине квалитетног термоизолационог материјала:

- што нижи коефицијент проводљивости топлоте,
- отпорност на влагу и промене температуре,
- постојаност у механичком погледу,
- једноставна уградња.

4.4 Стиропор

Материјал познат под општим називом "Стиропор" представља синтетички материјал типа полистирена који се јавља у два основна модалитета – као експандирани и као екструдирани полистирен.

У оба случаја ради се о материјалу који се добија на бази нафтних деривата, при чему су разлике између поменутих модалитета превасходно резултат различитих технолошких поступака који се примењују при њиховом добијању. У оба случаја основа за добијање предметних материјала је иста. То су тврде компактне грануле полистирена, при чему се екструдирани полистирен може добити и од тзв. кристалног полистирена.

Стиропор као експандирани термопластичан материјал, добијен полимеризацијом стирена, обично се класификује као порозан материјал затворене – алвеоларне структуре.

Код експандираног стиропора добијеног у калупима, величина унутрашњих ћелија је између 60-200 mm, док се код екструдираног стиропора та величина креће између 150-500 mm. Дебљина зидова између ћелија зависи од запреминске масе и величине ћелија. Стиропор у себи садржи 98% ваздуха и 2% полистирена. Његова запреминска маса је између 10-30 kg/m³ - за стиропор добијен у калупима, док је за екструдирани стиропор уобичајена вредност запреминске масе 33 kg/m³, мада она може да иде и до 45 kg/m³. Коефицијент провођења топлоте износи 0.035 - 0.041 (W/mK).

Стиропор се одликује малом запреминском масом, релативно добрим механичким чврстоћама, одличним изолационим својствима и малом апсорпцијом воде.

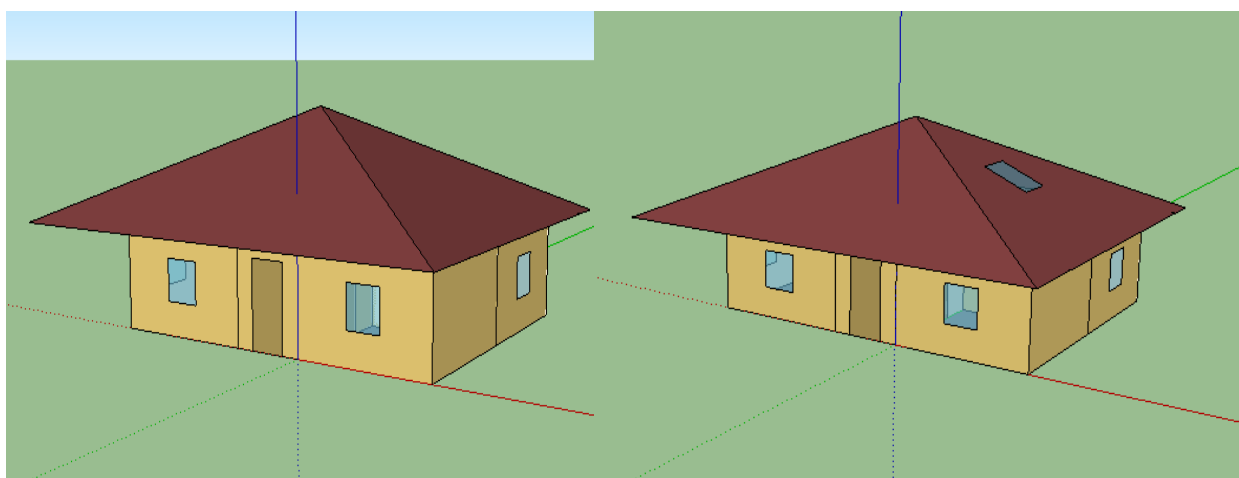
Отпоран је на гљивице и бактерије. Будући да нема хранљиву вредност, он не привлачи мраве, термите и глодаре. Он није подложен труљењу нити другим облицима корозије, није растворан у води, тако да не даје у води растворне производе који би могли да контаминирају воду. Како производња стиропора датира преко 60-так година (од 1952. год.), за то време нису примећени никакви штетни утицаји на здравље људи.

Што се тиче утицаја температуре на стиропор, практично не постоји доња граница за његову примену - уградњу. Што се, пак, тиче повишених температура, постоји податак да се до 85°C стиропор не разграђује, а да може поднети и краткотрајне температуре преко 100°C (при лепљењу битуменом по топлом поступку). Међутим, дужа излагања високим температурама доводе до његовог омекшавања и синтеровања. [7]

5 Опис стамбеног објекта – српске куће

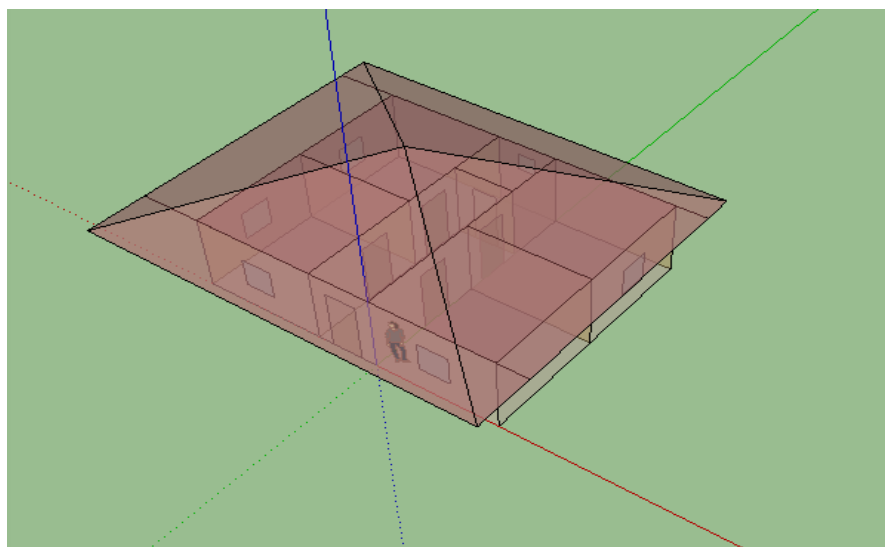
Модел српске куће је препознатљив по тремовима, истакнутим стубовима и луковима између њих. Овакав тип куће је углавном приземне конструкције, са упрошћеним распоредом просторија. Кровна конструкција код оваквих типова кућа је на чртири воде, са продуженом надстрешницом, која покрива претходно поменуте тремове. Најчешће је кречена белом фасадом. Одлике српске куће чине је ванвременским архитектонским изразом.

Модел куће (Слика 5.1, Слика 5.2, Слика 5.3) која је уједно и предмет истраживања налази се у Београду. Укупна нето површина куће је 223 m^2 од чега је 80 m^2 климатизовано.



Слика 5.1 Северна фасада објекта

Слика 5.2 Јужна фасада објекта



Слика 5.3 Кућа (Wiew model in X-Ray Mode команда)

Кућа (223 m^2) се састоји из приземља (80 m^2) и поткровља (143 m^2).

У приземљу је смештено пет просторија (Ходник – HOD, Дневна соба – DS, Спаваћа соба 1 – SS1, Спаваћа соба 2 – SS2, Кухиња – КУН, Купатило – КУР).

У поткровљу се налази само једна просторија (Поткровље – KROV).

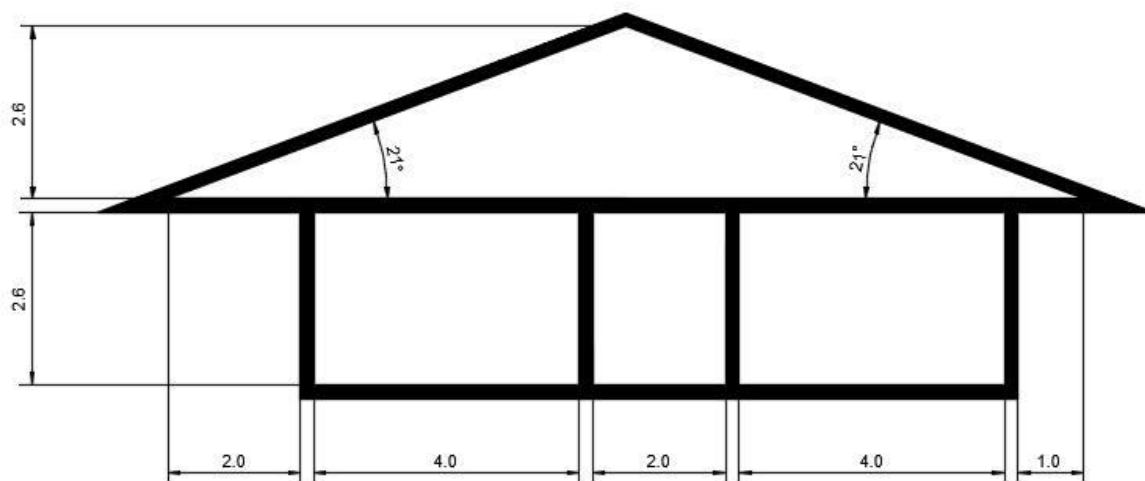
Називи свих просторија објекта, као и њихова квадратура, приказани су табеларно (Табела 5.1), док је распоред просторија са одговарајућим детаљима приказан на слици 5.4.

Табела 5.1 Називи просторија и њихова квадратура

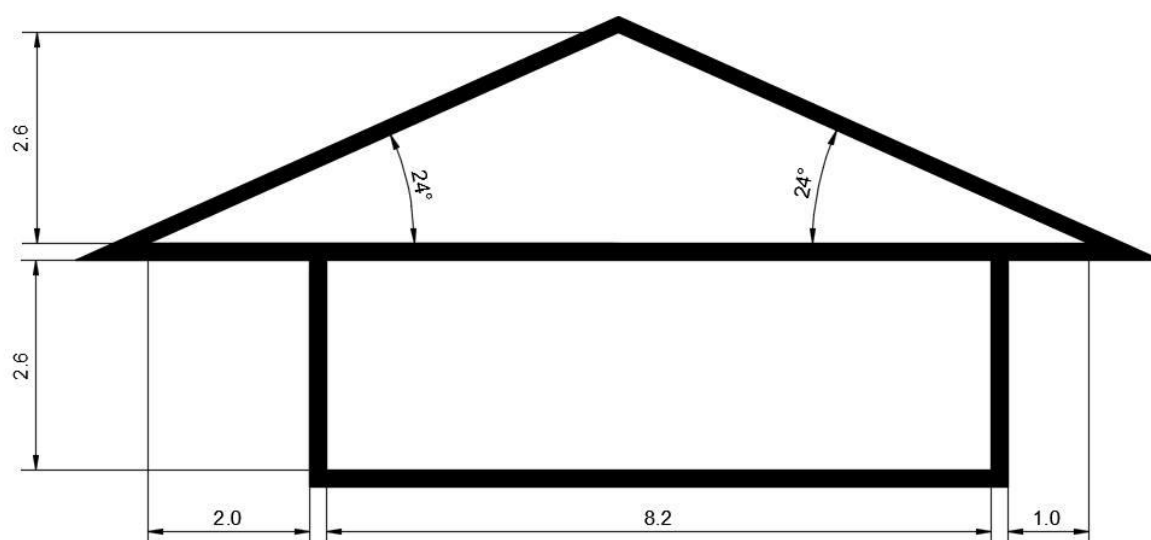
Етажа		Просторија		
Назив	Површина [m ²]	Назив	Ознака	Нето површина [m ²]
Приземље	80	Ходник	HOD	12
		Дневна соба	DS	16
		Купатило 1	KUP	4
		Спаваћа соба 1	SS1	16
		Спаваћа соба 2	SS2	16
		Кухиња	KUH	16
Поткровље	143	Поткровље	KROV	143



Слика 5.4 Технички приказ пресека просторија



Слика 5.5 Технички приказ пресека просторија



Слика 5.6 Технички приказ пресека просторија

5.1 Локација куће и услови објекта

У оквиру програмског пакета EnergyPlus коришћен је метеоролошки фајл SRB Belgrade 132720 IWEC.epw који описује метеоролошке карактеристике за Београд, Србија [8]. Просечна надморска висина Београда је 99 m, и налази се 44°82 северне географске ширине и 20°28 источне географске дужине. Има умерено континенталну климу са 4 годишња доба. Приказ главних метеоролошких параметара дат је у Табели 5.2.

Табела 5.2 Приказ главних метеоролошких параметара за Београд

Месец	Вредност	Јан	Феб	Мар	Апр	Мај	Јун	Јул	Авг	Сеп	Окт	Нов	Дец
t (°C)	Максимална	18,4	17,8	21	26,6	32	34	33,2	33,4	32,2	30	18	17
	Минимална	-10	-7,7	-3	0	4	8	10	10	8	-2,3	-3	-19
	Просек	0	1,7	5,9	12	17,5	20,3	21,7	21,6	17,7	12,3	5,4	1,3
φ (%)	Максимална	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Минимална	49	36	30	22	30	31	31	29	33	42	43	53
	Просек	86	83	71	68	69	71	68	67	73	82	85	89
I _p (Wh/m ²)	Директна просек	1277	1962	3303	3324	4077	4321	5195	4641	3675	3002	2066	987
	Дифузна просек	793	1195	1639	2249	2780	3059	2588	2413	1864	1371	818	697
	Глобална просек	1221	2044	3426	4394	5655	6172	6314	5582	4003	2814	1569	994

5.2 Материјали објекта и конструкције

Попис свих материјала, од којих је саграђен овај објект са својим карактеристикама је дат у табели 5.3.

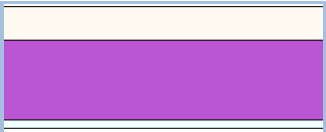
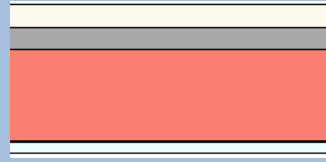
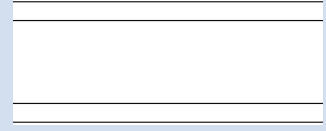
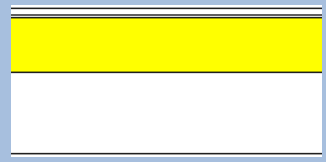
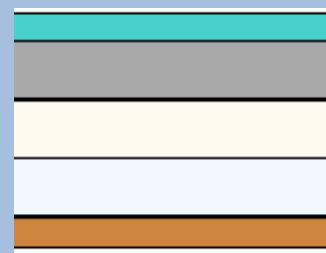
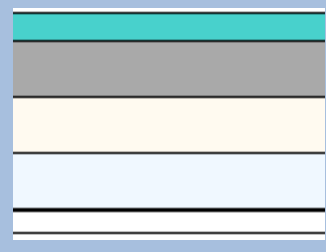
Табела 5.3 Грађевински материјали објекта са карактеристикама

Материјал	Густина [kg/m ³]	Дебљина [m]	Специфична топлота [J/kgK]	Коефицијент провођења топлоте [W/mK]
Кречни малтер	1600	0.02	1050	0.81
Цементна кошуљица	2100	0.04	1050	1.4
PVC фолија	1460	0.00015	1100	0.19
Стаклена вуна	50	0.08	840	0.038
Стиродур	33	0.04	1260	0.03
Керамичке плочице	1700	0.015	920	0.87
Паркет	700	0.02	1670	0.21
Цреп	1900	0.01	880	0.99
Гитер блок	1200	0.19	900	0.52
Армирани бетон	2400	0.04	960	2.04
Шљунак	1700	0.2	840	0.81
Неармирани бетон	1800	0.15	960	0.93
Монта	1200	0.16	920	0.6
PVC	800	0.05	960	0.12
Стиропор	20	0.05/0.1	1260	0.041

Боровина	550	0.035	2090	0.14
Хераклит	700	0.012	1500	0.052

Грађевинске конструкције са дебелином, сачињене од материјала који су приказани у табели 5.3, дате су у табели 5.4.

Табела 5.4 Састав грађевинских конструкција

Грађевинска конструкција	Елементи грађевинске конструкције	Дебљина (m)	Шема
Спољни зид	Стиропор	0,8	
	Гитер блок	0,19	
	Кречни малтер	0,02	
Унутрашњи зид	Кречни малтер	0,02	
	Гитер блок	0,19	
	Кречни малтер	0,02	
Таванска конструкција - плафон	Стиродур (таван)	0,04	
	Армирани бетон	0,04	
	Монта	0,16	
	Кречни малтер	0,02	
Врата	Боровина	0,035	
Прозор	Стакло	0,03	
	Ваздух	0,13	
	Стакло	0,03	
Кровна конструкција	Цреп	0,01	
	Ваздушни простор	0,167	
	Стаклена вуна	0,08	
	Гипсане плоче	0,12	
Под на земљи (паркет)	Шљунак	0,2	
	Неармирани бетон	0,15	
	PVC фолија	0,00015	
	Стиродур (приземље)	0,04	
	Цементна кошуљица	0,04	
	Паркет	0,02	
Под на земљи (плочице)	Шљунак	0,2	
	Неармирани бетон	0,15	
	PVC фолија	0,00015	
	Стиродур (приземље)	0,04	
	Цементна кошуљица	0,04	
	Керамичке плочице	0,015	

Спољни зид - купатило	Стиропор	0,8	
	Гитер блок	0,19	
	Кречни малтер	0,02	
	Керамичке плочице	0,15	
Унутрашњи зид - купатило	Кречни малтер	0,02	
	Гитер блок	0,19	
	Кречни малтер	0,02	
	Керамичке плочице	0,15	

5.3 Грејна тела и пројектоване температуре

Грејна тела (калорифери) користе електричну енергију. Снага грејних тела и ефикасност претварања електричне енергије у топлотну, по просторијама које се загревају, приказани су у табели 7, са називима просторија као у EnergyPlus-у. Грејна тела раде само у току грејног периода сезоне, који траје од 15. октобра до 15. априла. Све просторије се загревају од 8h ујутру до 22h увече.

Табела 5.5 Снага грејних тела и ефикасност претварања ел. енергије у топлотну

Просторија	Снага грејних тела [W]	Ефикасност претварања ел. енергије у топлотну
ДневнаСоба1	5000	0.98
Кухиња1	5000	0.98
СпаваћаСоба1	5000	0.98
СпаваћаСоба2	5000	0.98
Ходник1	5000	0.98
Купатило1	5000	0.98

Пројектоване температуре по просторијама у различитим деловима дана су приказане у табели 5.5, где се у пољу “field 4” види, за све просторије, температуре од 24-07h, затим у пољу “field 6” температуре од 07-22h и на крају у пољу “field 8” температуре од 22-24h.

Табела 5.6 Пројектоване температуре по просторијама (датотека Energy Plus)

[0001] Version [0001] SimulationControl [0001] Building [0001] Timestep [0001] Site:Location [0001] SizingPeriod:DesignDay [0001] RunPeriod [0001] Site:GroundTemperature:BuildingSurface [0008] ScheduleTypeLimits [0033] Schedule Compact [0017] Material [0001] Material:AirGap [0001] WindowMaterial:Glazing [0001] WindowMaterial:Gas [0012] Construction [0001] GlobalGeometryRules [0007] Zone [0054] BuildingSurface:Detailed		Explanation of Object and Current Field Object Description: Irregular object. Does not follow the usual definition for fields. Fields A3... are: Through: Date For: Applicable days (ref: Schedule:Week:Compact) Interpolate: Yes/No (ref: Schedule:Day:Interval) -- optional, if not used will be "No" Until: <Time> (ref: Schedule:Day:Interval) <numeric value> words "Through", "For", "Interpolate", "Until" must be included.					
Field	Units	Obj32	Obj33	Obj34	Obj35	Obj36	Obj37
Name		Htg-SetP-Sch-SS1	Htg-SetP-Sch-SS2	Htg-SetP-Sch-DS	Htg-SetP-Sch-KUH	Htg-SetP-Sch-KUP	Htg-SetP-Sch-HOD
Schedule Type Limits Name		Temperature	Temperature	Temperature	Temperature	Temperature	Temperature
Field 1	varies	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31
Field 2	varies	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays
Field 3	varies	Until: 07:00	Until: 07:00	Until: 07:00	Until: 07:00	Until: 07:00	Until: 07:00
Field 4	varies	15	15	12	12	5	10
Field 5	varies	Until: 22:00	Until: 22:00	Until: 22:00	Until: 22:00	Until: 21:00	Until: 21:00
Field 6	varies	20	20	20	20	22	18
Field 7	varies	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00
Field 8	varies	18	18	15	15	15	15
Field 9	varies						

5.4 Коришћење електричне опреме у просторијама

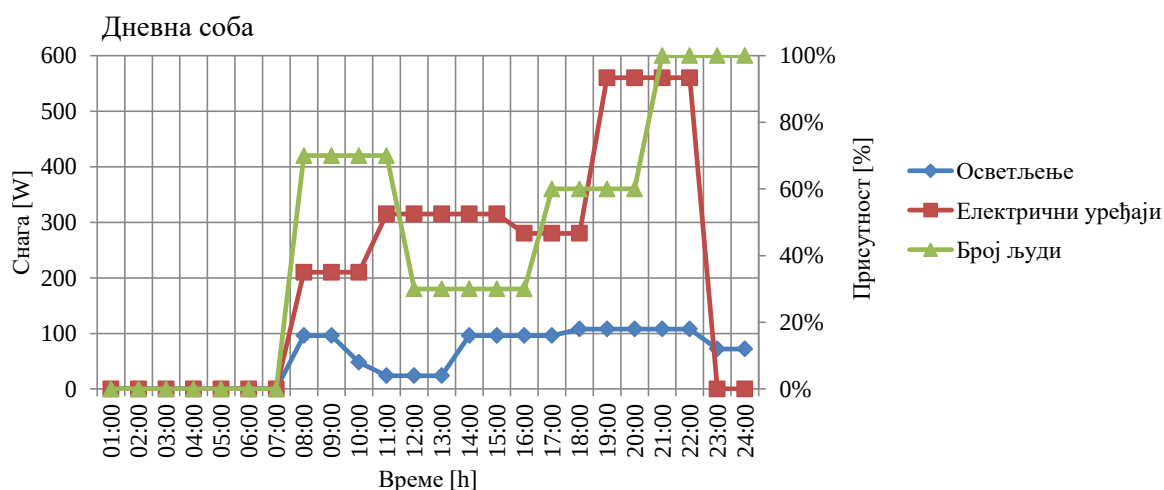
Под електричном опремом се подразумевају електрични уређаји и унутрашње осветљење. На следећим сликама (Слика 5.5, Слика 5.6, Слика 5.7, Слика 5.8, Слика 5.9) приказано је часовно коришћење електричне опреме у просторијама.

Како људи (у зависности од њиховог броја, времена боравка и врсте активности којом се баве) утичу на укупни топлотни биланс објекта, и они се морају узети у обзир.

На истим сликама (Слика 5.5, Слика 5.6, Слика 5.7, Слика 5.8, Слика 5.9) приказано је часовно присуство људи (у процентима) током дана у односу на претходно усвојен максималан број особа који може бити у одређеној просторији. Количина топлоте која се ослобађа у зависности од врсте активности, приказана је у Табели 5.7.

Табела 5.7 Количина топлоте ослобођена од људи у зависности од врсте активности

Врста активности	Ослобођена количина топлоте [W/h per]
Спавање	72
Кување	172
Седење	108
Шетање	207

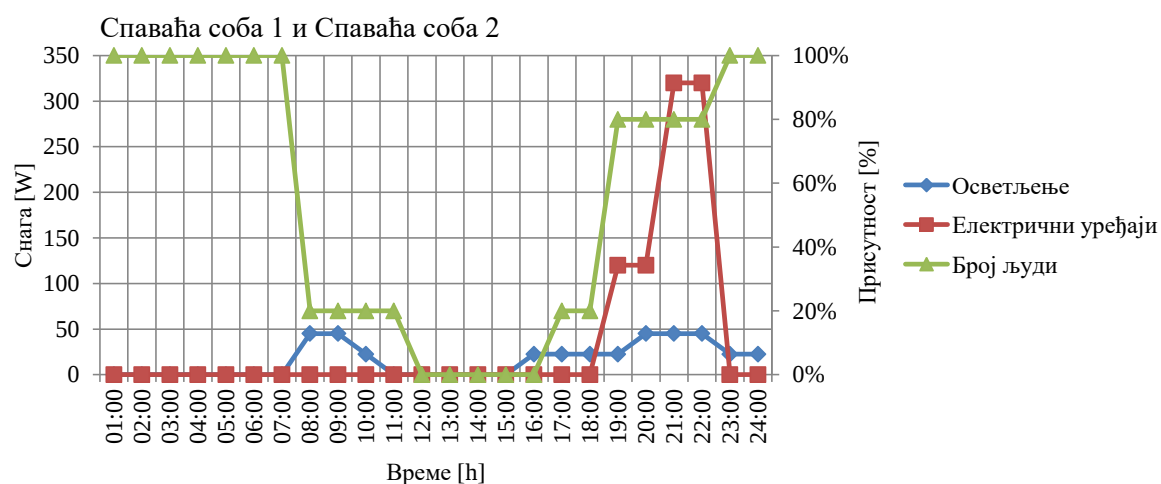


Слика 5.5 Часовно коришћење Дневне собе

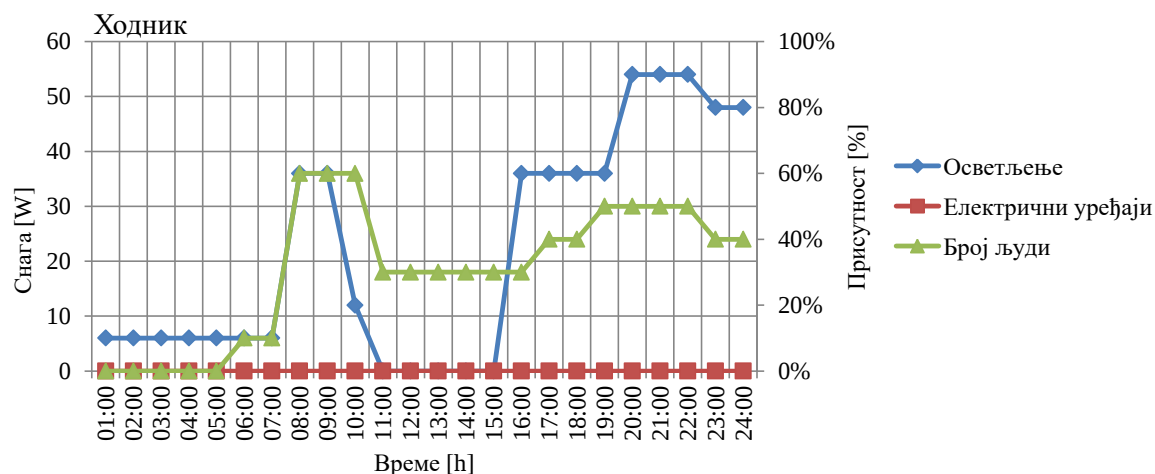
Укупна снага осветљења у Дневној соби износи 120 W, док снага осветљења у Спаваћим собама (1 и 2) износи по 75 W.

Снага свих електричних уређаја у Дневној соби износи 700 W, док снага свих електричних уређаја у Спаваћој соби 1 износи 400 W (исто важи и за Спаваћу собу 2).

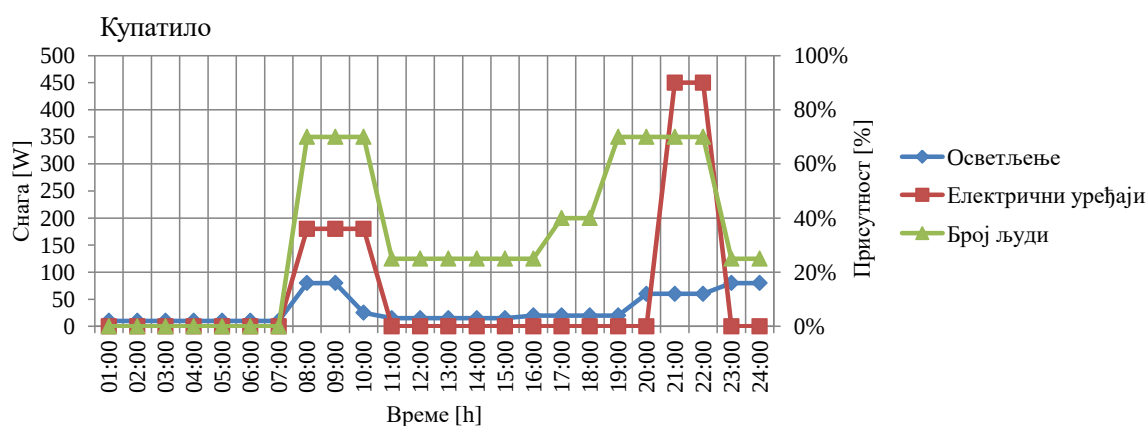
За максималан број људи у Дневној соби усвојена је вредност 4. Ова вредност за Спаваћу собу 1, као и за Спаваћу собу 2, износи 2.



Слика 5.6 Часовно коришћење Спаваће собе 1 и Спаваће собе 2



Слика 5.7 Часовно коришћење Ходника

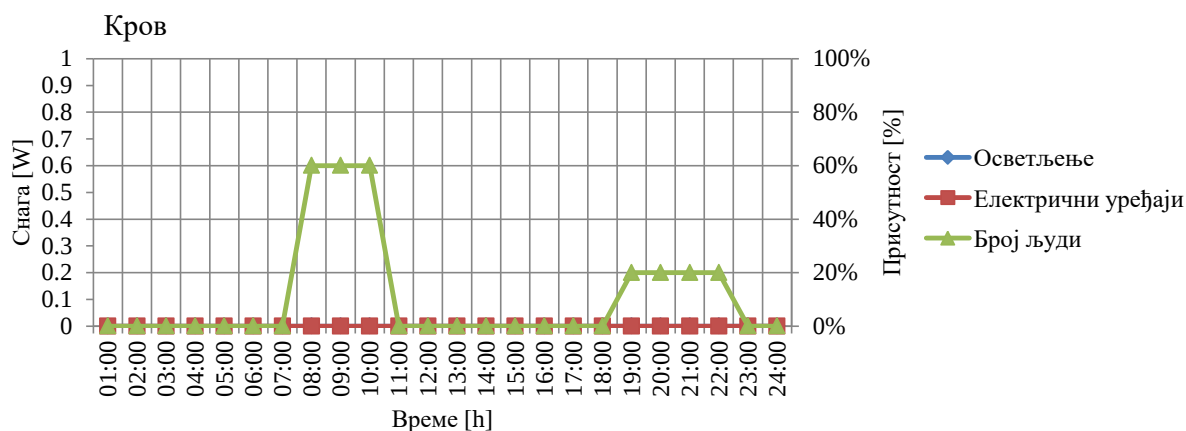


Слика 5.8 Часовно коришћење Купатила

Укупна снага електричних уређаја по просторијама је редом: Ходник (нема), Купатило (900 W), Поткровље (нема).

Укупна снага осветљења по просторијама је: Ходник (60 W), Купатило (100 W), Поткровље (120 W).

Усвојен максималан број људи по зонама (просторијама) је: Ходник (2), Купатило (1), Поткровље (2).



Слика 5.9 Часовно коришћење Поткровља

6 Период грејне сезоне и сценарио симулација

Циљ семинарског рада је да се одреди потрошња енергије на рад грејних тела у грејној сезони у зависности од промене положаја и величине прозора.

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.

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.

У овом раду су рађене симулације за различите димензије прозора окренутих ка свим странама света. Димензије прозора су дате у табели 6.1.

Табела 6.1 Димензије прозора

Величина прозора	Димензије (m)	
	Ширина	Висина
Велики	2.14	2.40
Средњи	1.64	1.90
Мали	1.14	1.40

За све три димензије прозора пуштане су симулације ка свим странама света за изоловану и неизоловану кућу. У случајевима када је објекат изолована коришћена је изолација стиропором дебљине 8 cm.

Такође су рађене симулације и за објекат који нема прозор за случајеве када је објекат изолован и када није.

За све симулације коришћен је прозор са двоструким застакљењем и ваздушним простором између стакала. Тачних димензија: стакло 3 mm, ваздух 13 mm, стакло 3 mm.

Табела 6.1 Сценарио симулација

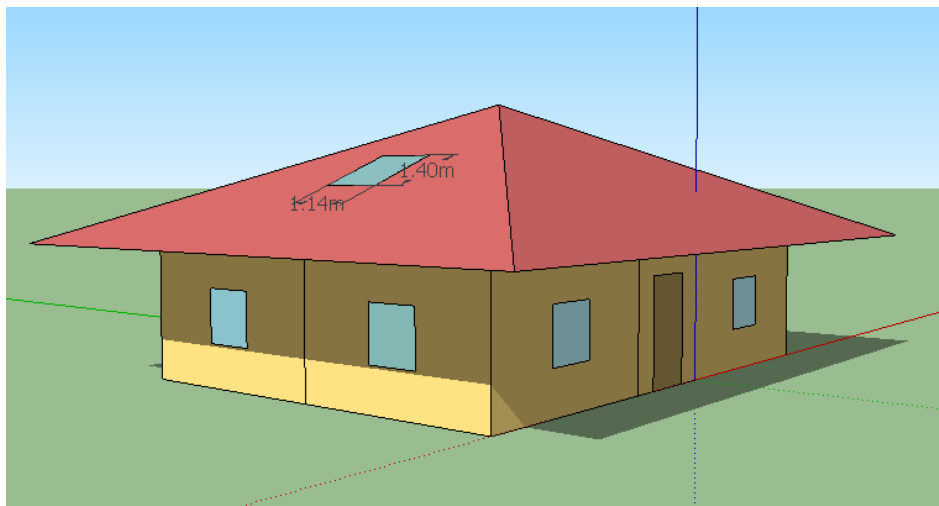
	Локација објекта: град Београд	Грејна површина: 80 m ²	Период грејне сезоне: 15. октобар - 15. април	Врста градње објекта: класична	Величина прозора ¹				Изолација спољног зида		Положај прозора			
					Велики	Средњи	Мали	Без	Изолован	Неизолован	Исток	Запад	Север	Југ
Симулација 1	*	*	*	*	*				*		*			
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 19	*	*	*	*		*				*			*	
Симулација 20	*	*	*	*		*				*				*
Симулација 21	*	*	*	*			*			*	*			
Симулација 22	*	*	*	*			*			*		*		
Симулација 23	*	*	*	*			*			*			*	
Симулација 24	*	*	*	*			*			*				*
Симулација 25	*	*	*	*				*	*					
Симулација 26	*	*	*	*				*		*				

¹ Димензије прозора су дате у табели 6.1

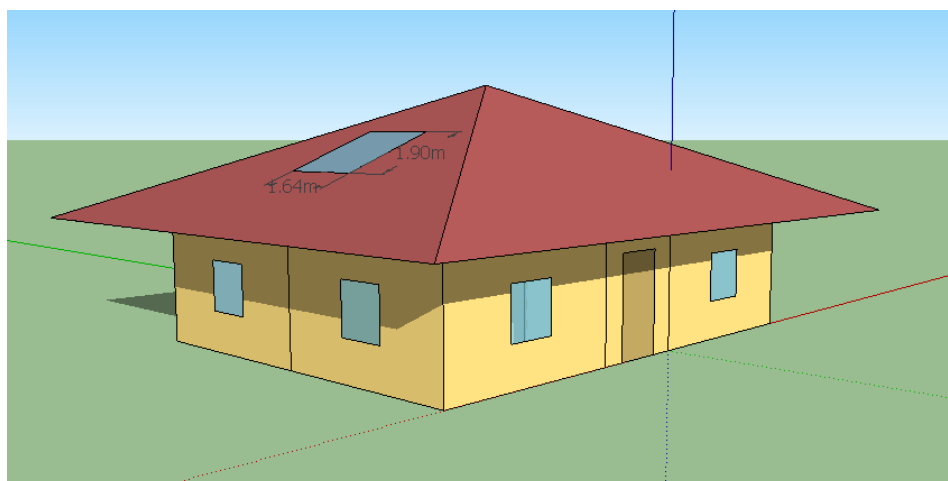
7 Резултати симулација и дискусија

7.1 Резултати симулација када је прозор окренут ка западу

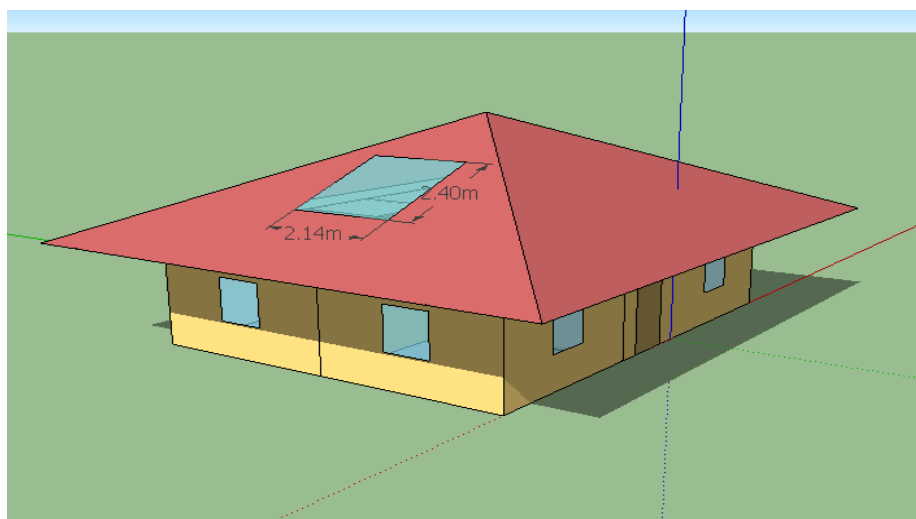
На сликама 7.1, 7.2, 7.3 приказан је изглед објекта окренутог ка западу са три различите димензије прозора.



Слика 7.1 Кућа окренута ка западу – најмања величина прозора



Слика 7.2 Кућа окренута ка западу – средња величина прозора

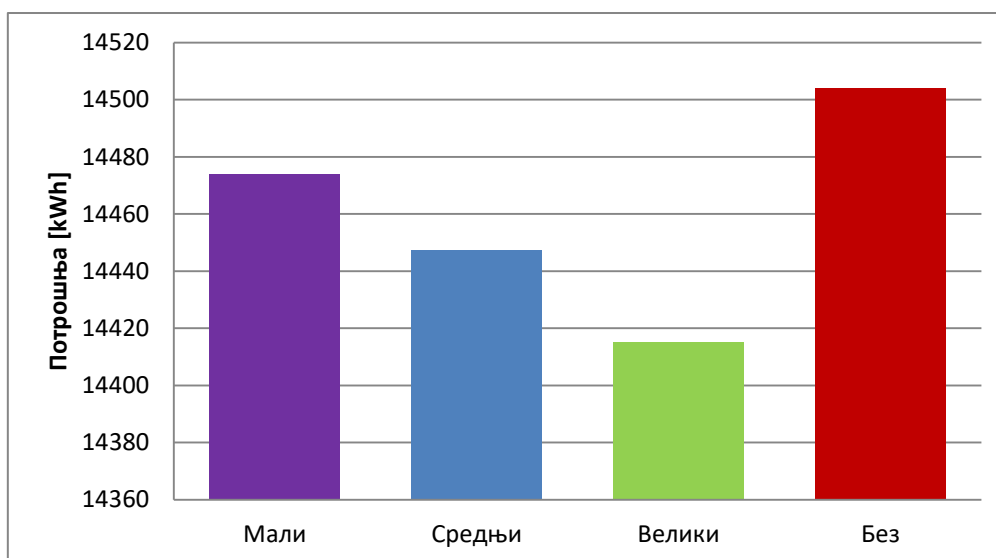


Слика 7.3 Кућа окренута ка западу – највећа величина прозора

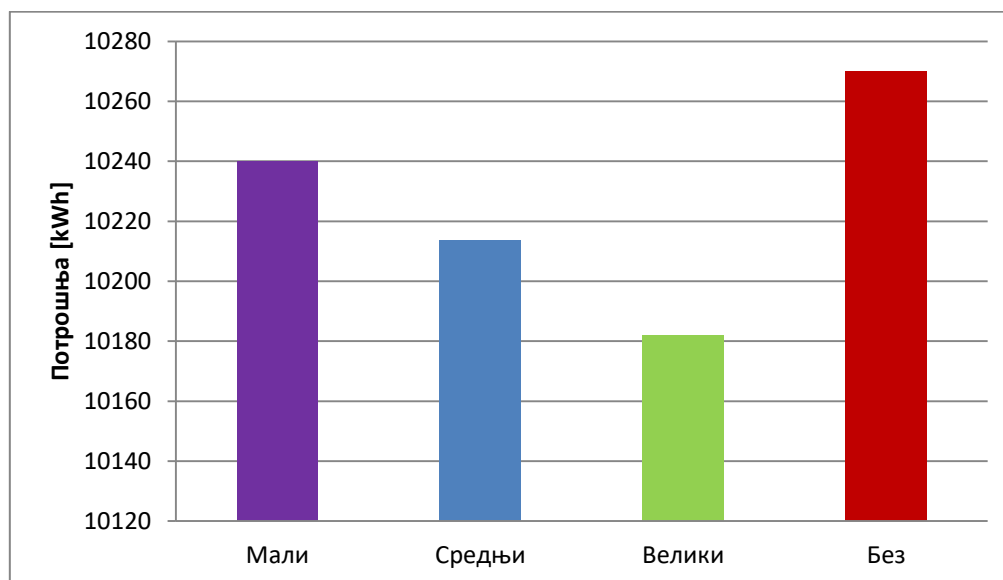
У табели 7.1 је дат приказ потрошње електричне енергије за грејање када је објекат окренут ка западу са различитим димензијама прозора, а на сликама 7.4 и 7.5 дијаграмски приказ истог. На слици 7.6 је дат дијаграмски приказ потрошње и уштеде у процентима.

Табела 7.1 Потрошња електричне енергије за грејање објекта – запад

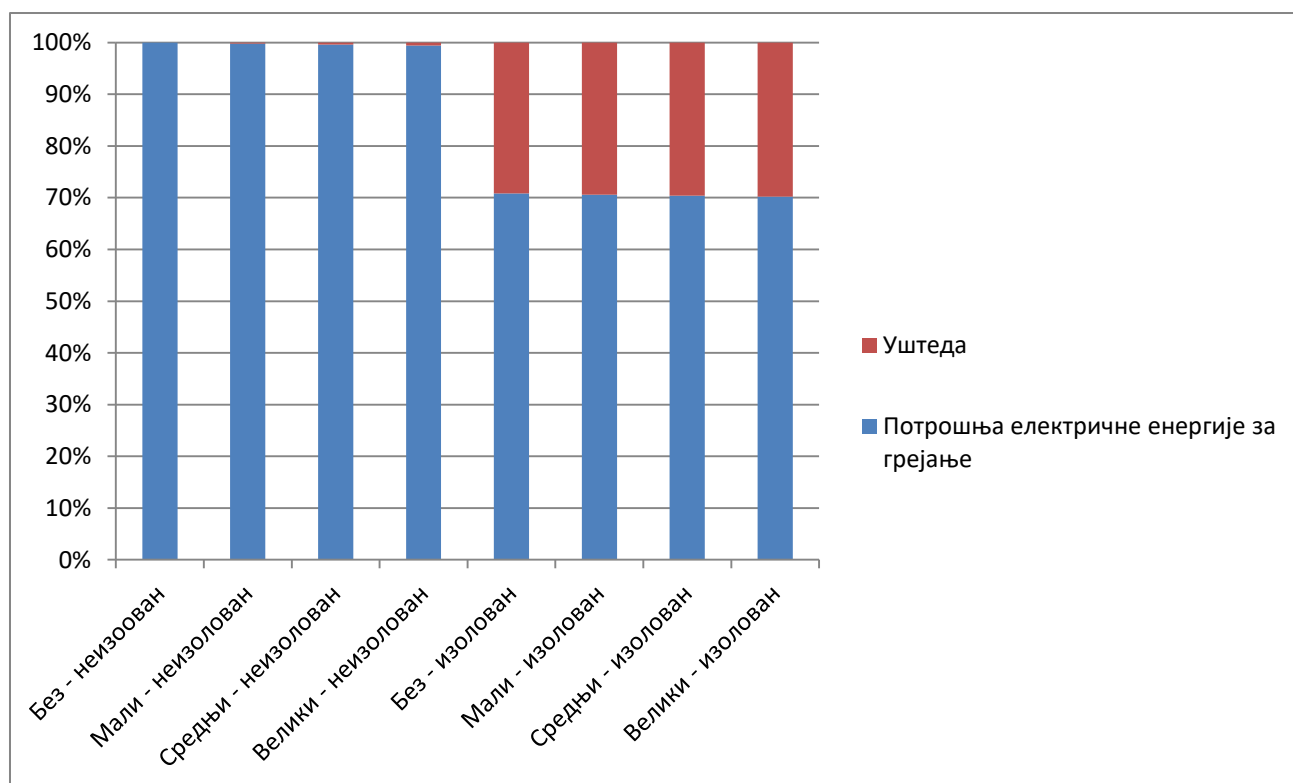
Величина прозора	Изолација	Потрошња [kWh]	Потрошња [kWh/m ²]
Мали	без	14473.85	180.923125
	са	10239.92	127.999
Средњи	без	14447.34	180.59175
	са	10213.57	127.669625
Велики	без	14414.96	180.187
	са	10181.74	127.27175
Без	без	14504	181.3
	са	10270	128.375



Слика 7.4 Дијаграмски приказ потрошње ел. ен. за грејање објекта без изолације – запад



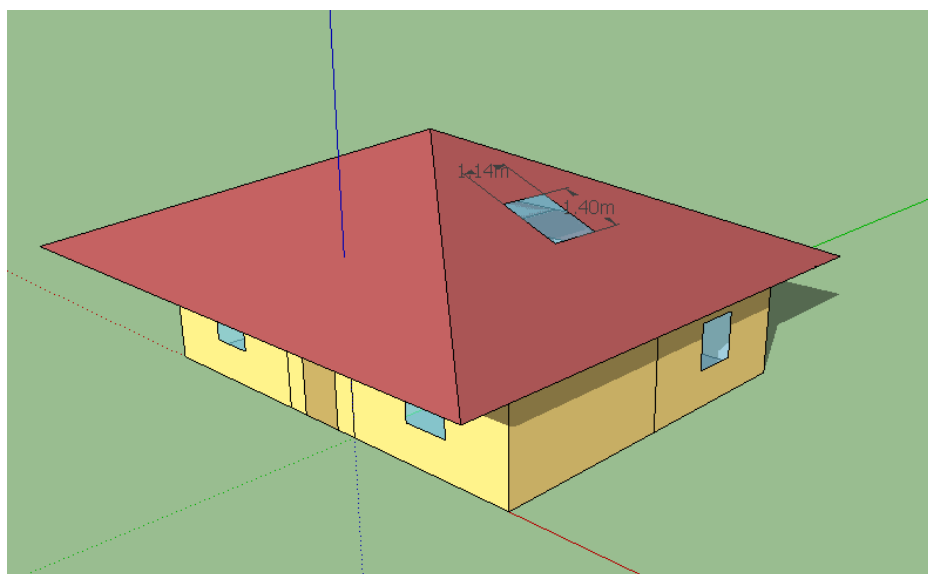
Слика 7.5 Дијаграмски приказ потрошње ел. ен. за грејање објекта са изолацијом – запад



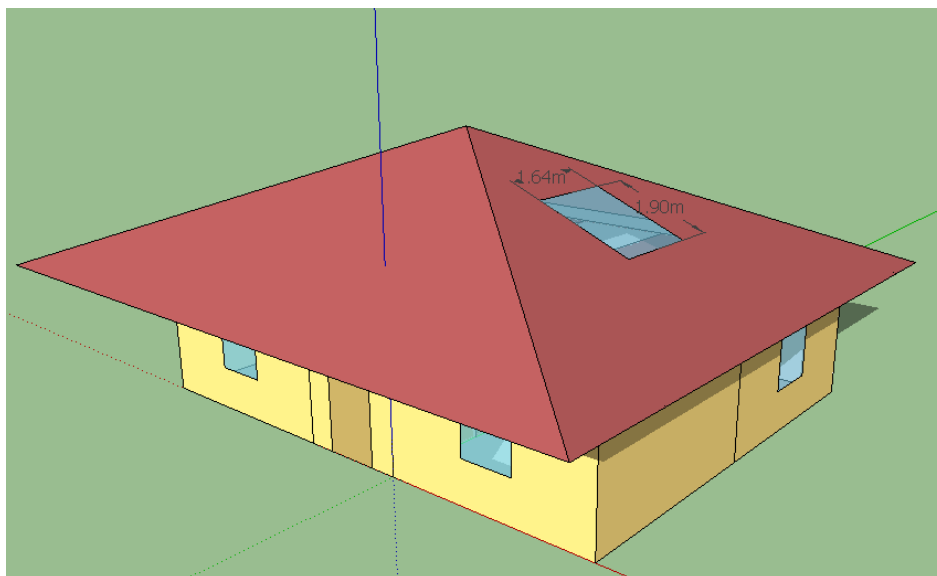
Слика 7.6 Дијаграмски приказ потрошње и уштеде - запад

7.2 Резултати симулација када је прозор окренут ка истоку

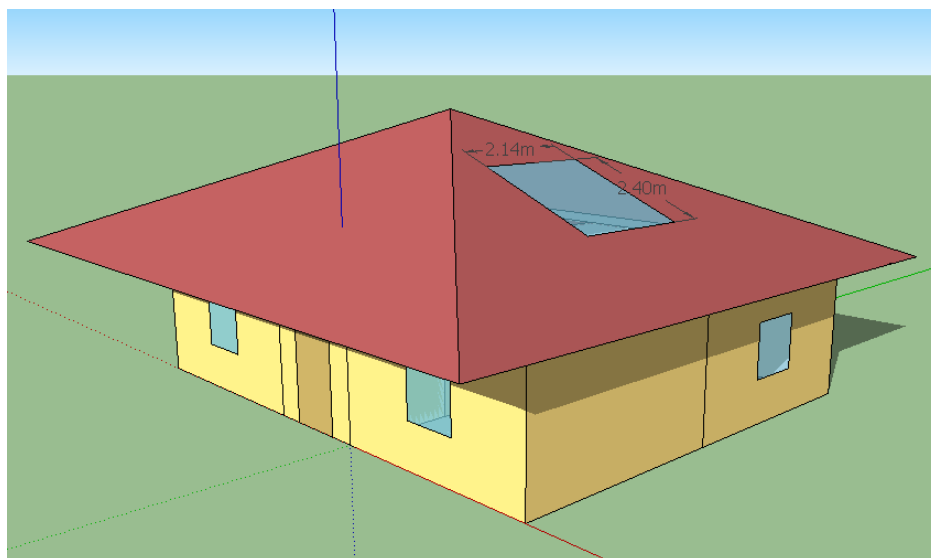
На сликама 7.7, 7.8, 7.9 приказан је изглед објекта окренутог ка западу са три различите димензије прозора.



Слика 7.7 Кућа окренута ка истоку – најмања величина прозора



Слика 7.8 Кућа окренута ка истоку – средња величина прозора



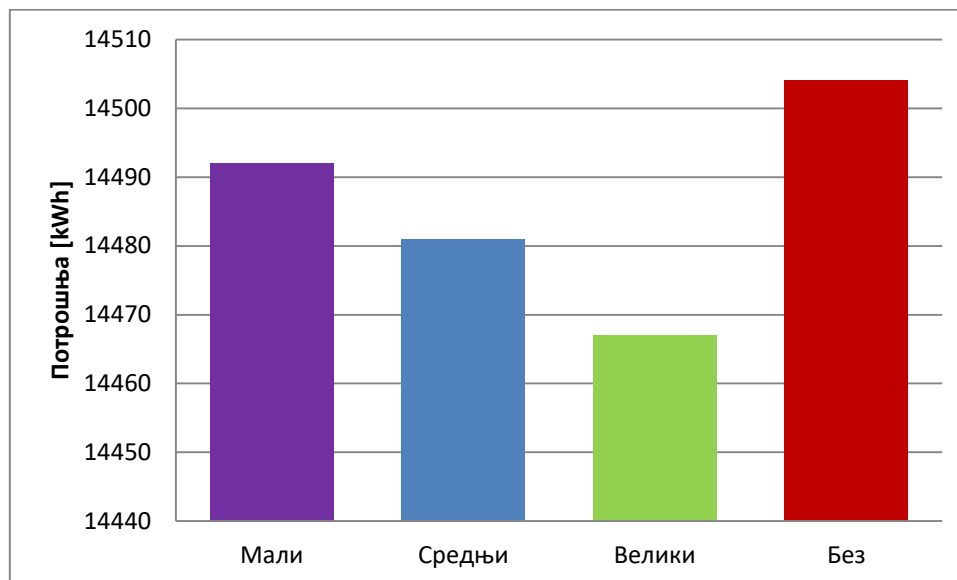
Слика 7.9 Кућа окренута ка истоку – највећа величина прозора

У табели 7.2 је дат приказ потрошње електричне енергије за грејање када је објекат окренут ка западу са различитим димензијама прозора, а на сликама 7.10 и 7.11 дијаграмски приказ истог. На слици 7.6 је дат дијаграмски приказ потрошње и уштеде у процентима.

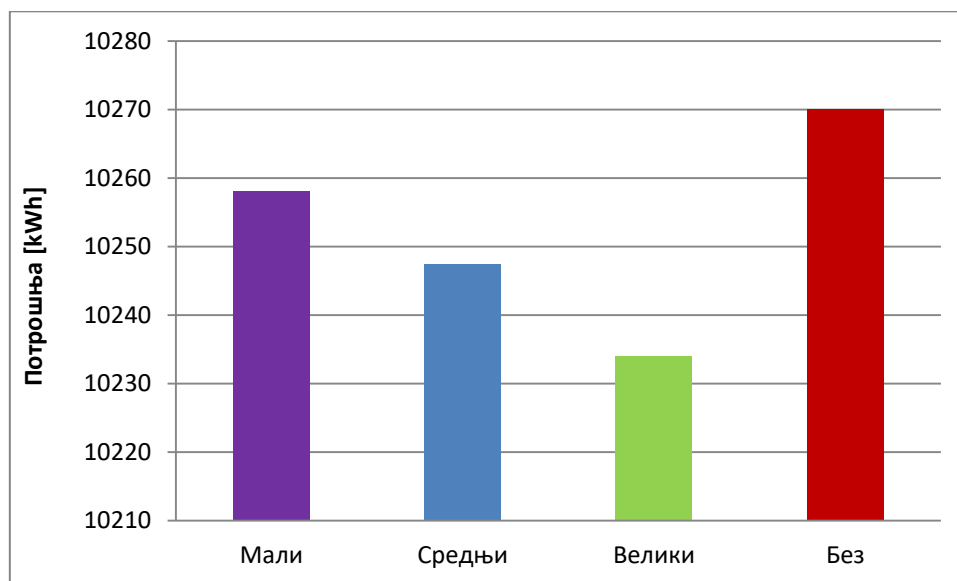
Табела 7.2 Потрошња електричне енергије за грејање објекта – исток

Величина прозора	Изолација	Потрошња [kWh]	Потрошња [kWh/m ²]
Мали	без	14472.18	180.90225
	са	10238.22	127.97775
Средњи	без	11443.33	143.041625
	са	10209.34	127.61675

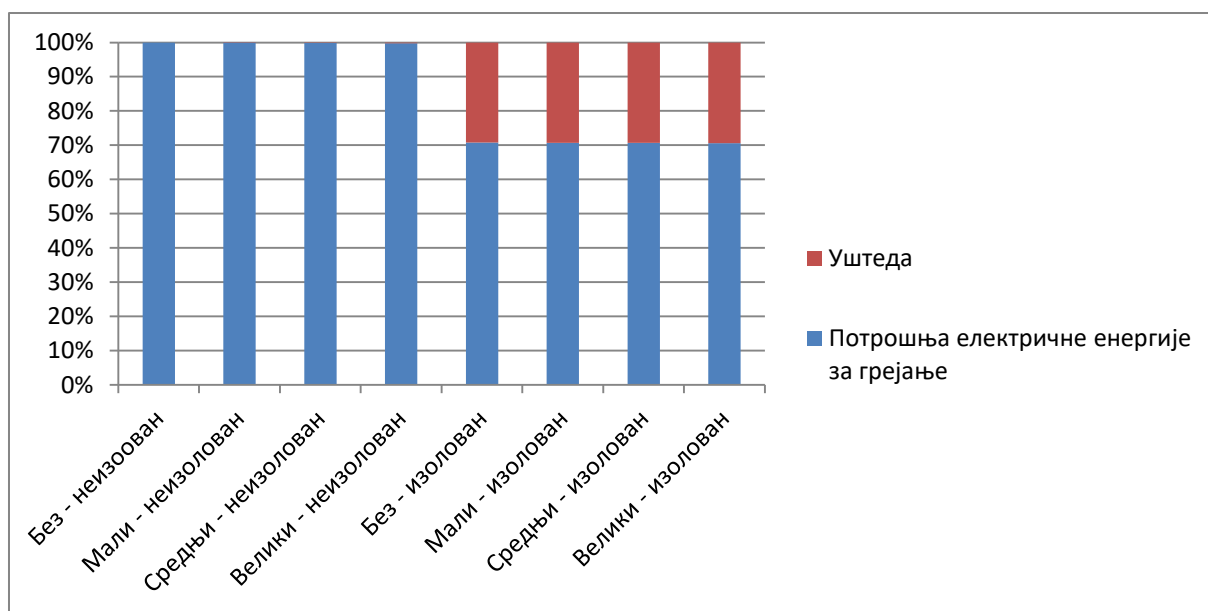
Велики	без	14408.2	180.1025
	са	10175.03	127.187875
Без	без	14504	181.3
	са	10270	128.375



Слика 7.10 Дијаграмски приказ потрошње ел. ен. за грејање објекта без изолације – исток



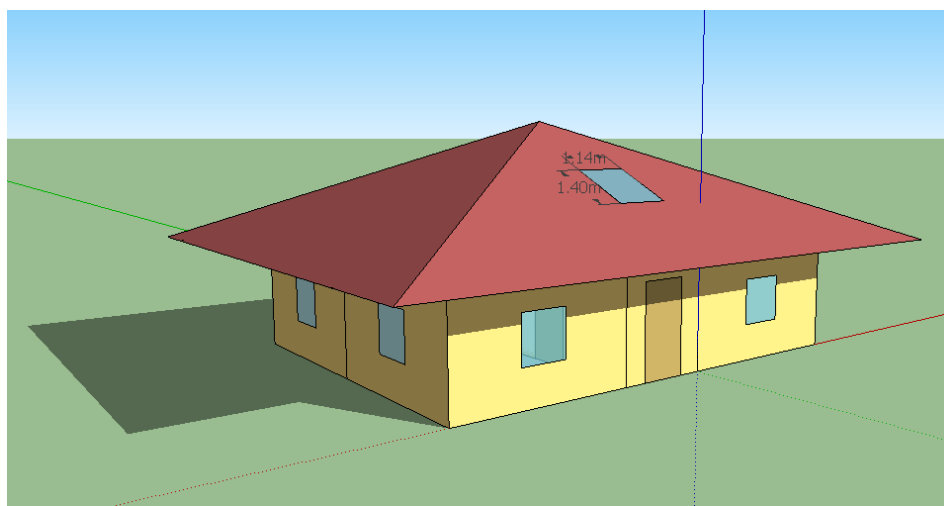
Слика 7.11 Дијаграмски приказ потрошње ел. ен. за грејање објекта са изолацијом – исток



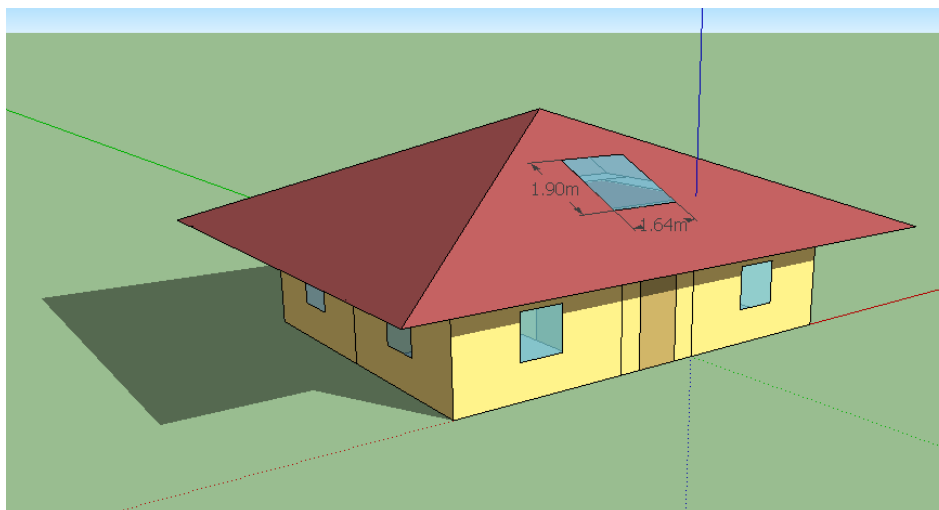
Слика 7.12 Дијаграмски приказ потрошње и уштеде - исток

7.3 Резултати симулација када је прозор окренут ка југу

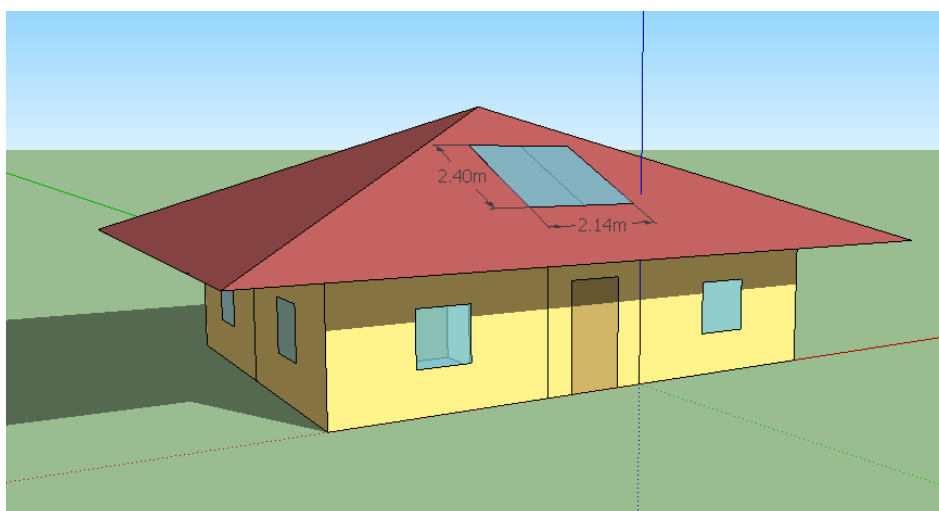
На сликама 7.13, 7.14, 7.15 приказан је изглед објекта окренутог ка западу са три различите димензије прозора.



Слика 7.13 Кућа окренута ка југу – најмања величина прозора



Слика 7.14 Кућа окренута ка југу – средња величина прозора



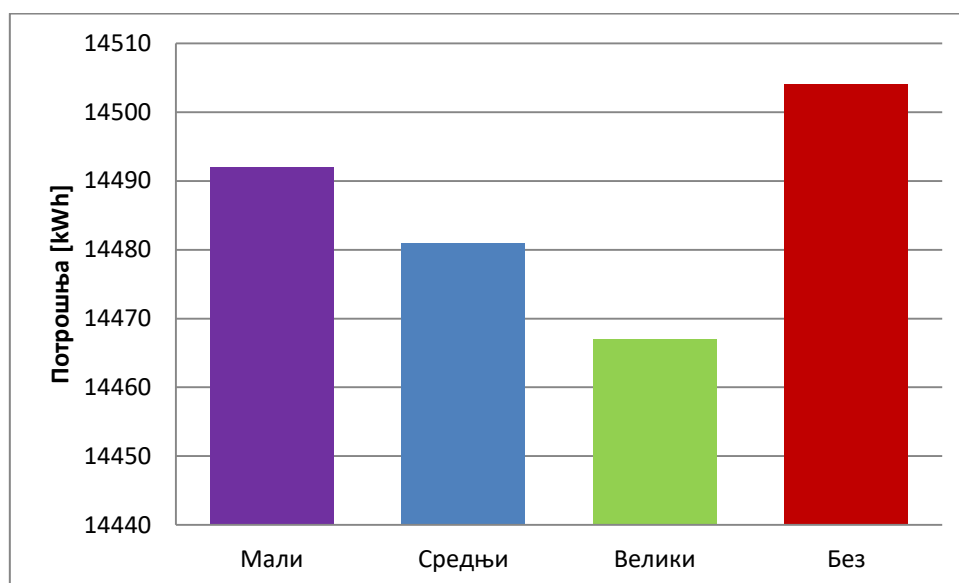
Слика 7.15 Кућа окренута ка југу – највећа величина прозора

У табели 7.3 је дат приказ потрошње електричне енергије за грејање када је објекат окренут ка западу са различитим димензијама прозора, а на сликама 7.16 и 7.17 дијаграмски приказ истог. На слици 7.18 је дат дијаграмски приказ потрошње и уштеде у процентима.

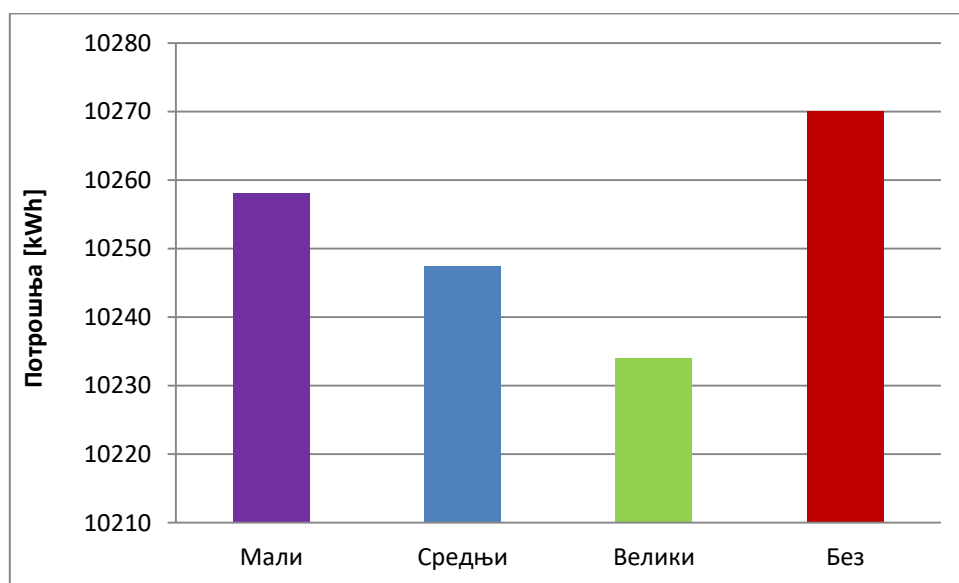
Табела 7.3 Потрошња електричне енергије за грејање објекта – југ

Величина прозора	Изолација	Потрошња [kWh]	Потрошња [kWh/m ²]
Мали	без	14457.12	180.714
	са	10223.37	127.792125
Средњи	без	14416.02	180.20025
	са	10182.19	127.277375
Велики	без	14366.56	179.582

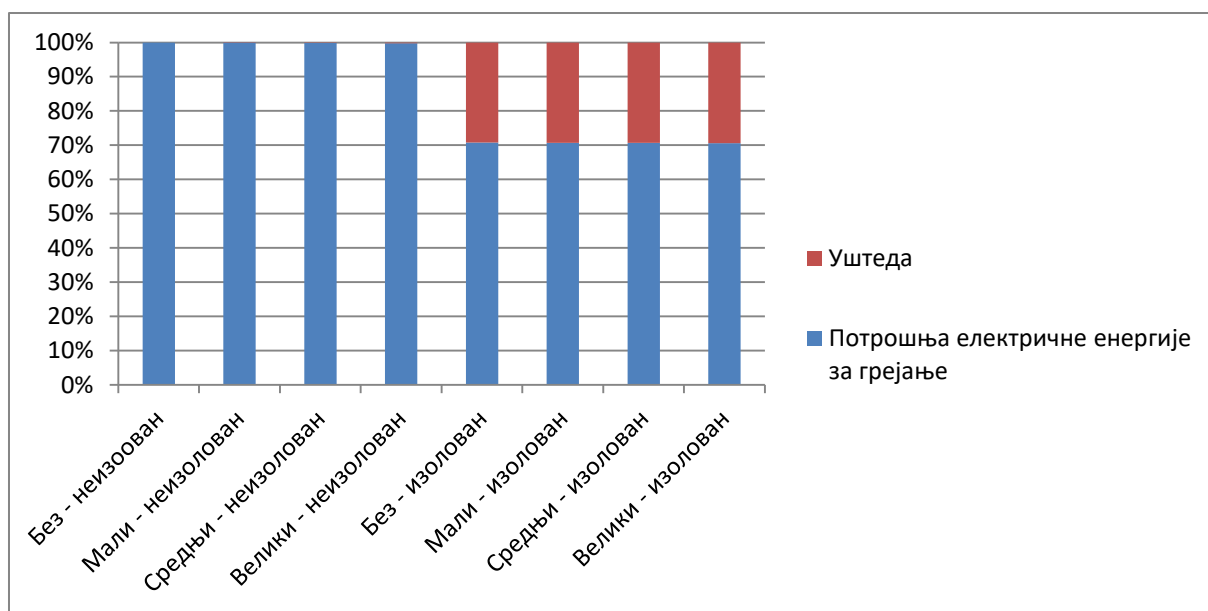
	са	10132.83	126.660375
Без	без	14504	181.3
	са	10270	128.375



Слика 7.16 Дијаграмски приказ потрошње ел. ен. за грејање објекта без изолације – југ



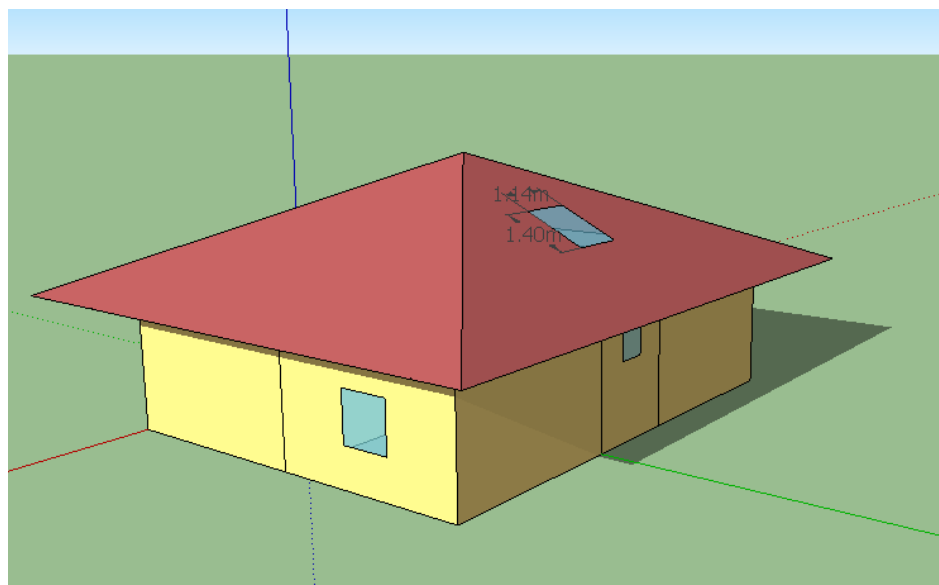
Слика 7.17 Дијаграмски приказ потрошње ел. ен. за грејање објекта са изолацијом – југ



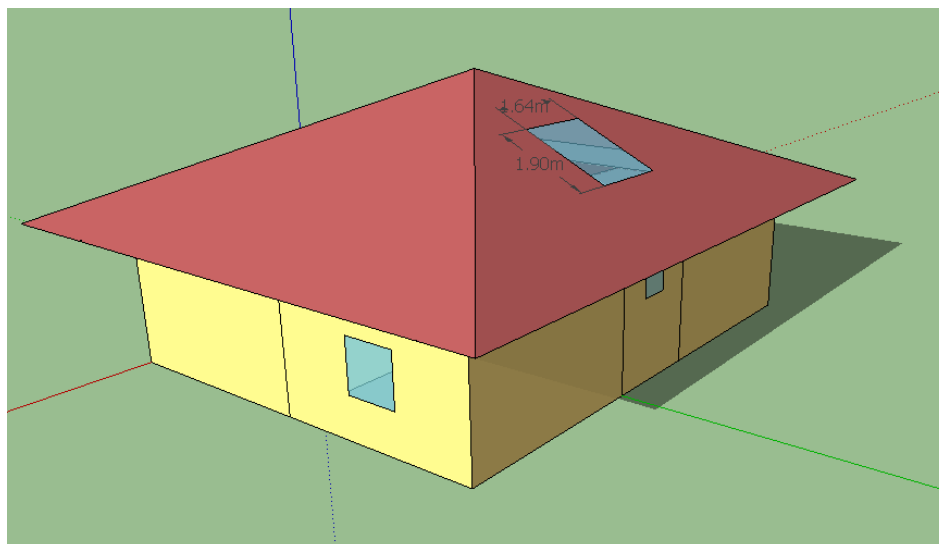
Слика 7.18 Дијаграмски приказ потрошње и уштеде – југ

7.4 Резултати симулација када је прозор окренут ка северу

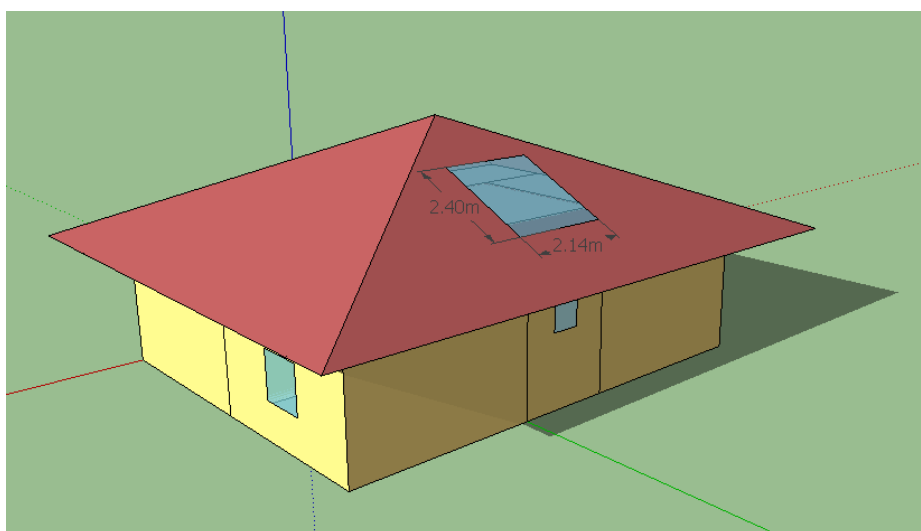
На сликама 7.19, 7.20, 7.21 приказан је изглед објекта окренутог ка западу са три различите димензије прозора.



Слика 7.19 Кућа окренута ка северу – најмања величина прозора



Слика 7.20 Кућа окренута ка северу – средња величина прозора



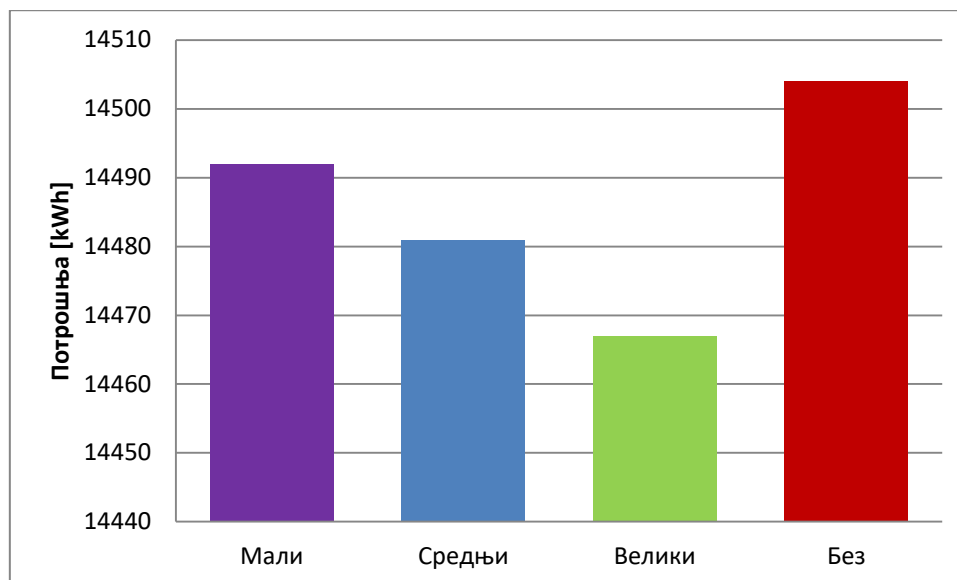
Слика 7.21 Кућа окренута ка северу – највећа

У табели 7.4 је дат приказ потрошње електричне енергије за грејање када је објекат окренут ка западу са различитим димензијама прозора, а на сликама 7.22 и 7.23 дијаграмски приказ истог. На слици 7.24 је дат дијаграмски приказ потрошње и уштеде у процентима.

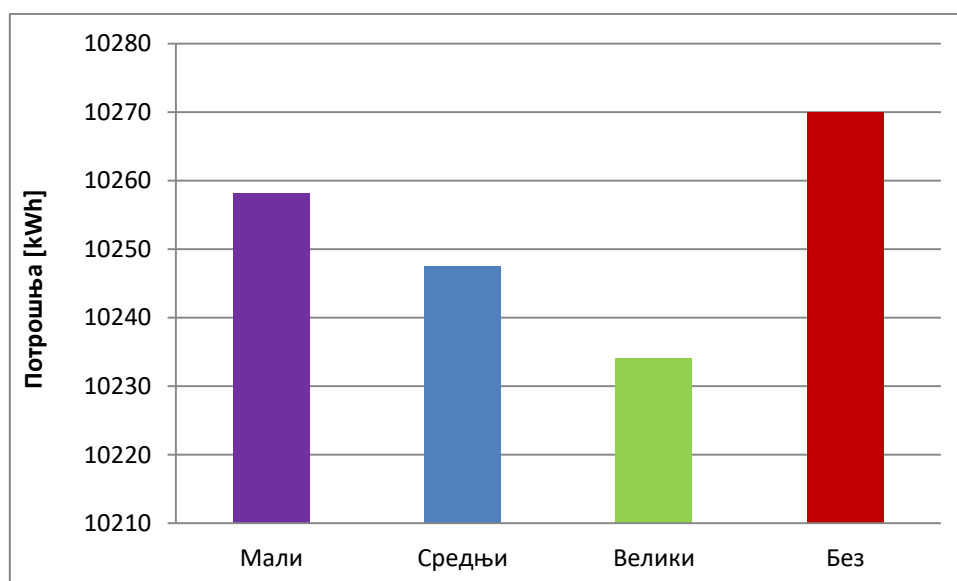
Табела 7.4 Потрошња електричне енергије за грејање објекта – север

Величина прозора	Изолација	Потрошња [kWh]	Потрошња [kWh/m ²]
Мали	без	14491.91	181.148875
	са	10258.06	128.22575
Средњи	без	14480.93	181.011625
	са	10247.42	128.09275

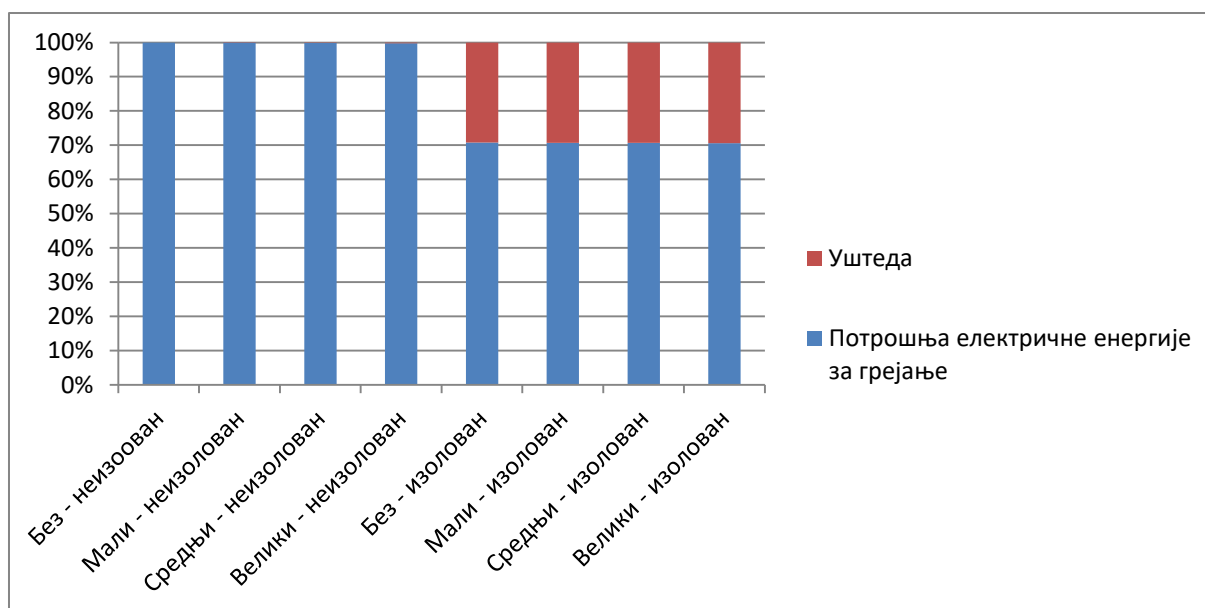
Велики	без	14467.05	180.838125
	са	10234.06	127.92575
Без	без	14504	181.3
	са	10270	128.375



Слика 7.22 Дијаграмски приказ потрошње ел. ен. за грејање објекта без изолације – север



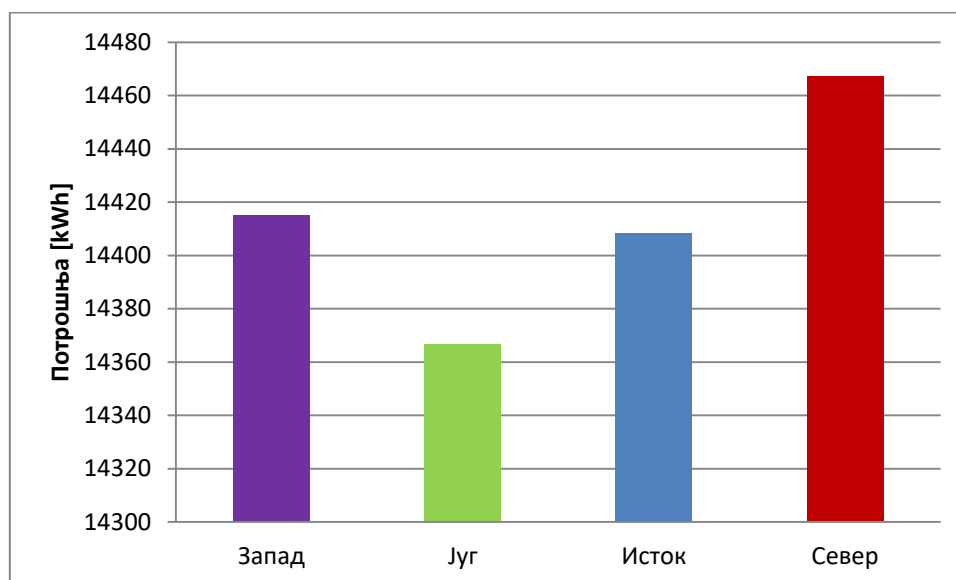
Слика 7.23 Дијаграмски приказ потрошње ел. ен. за грејање објекта са изолацијом – север



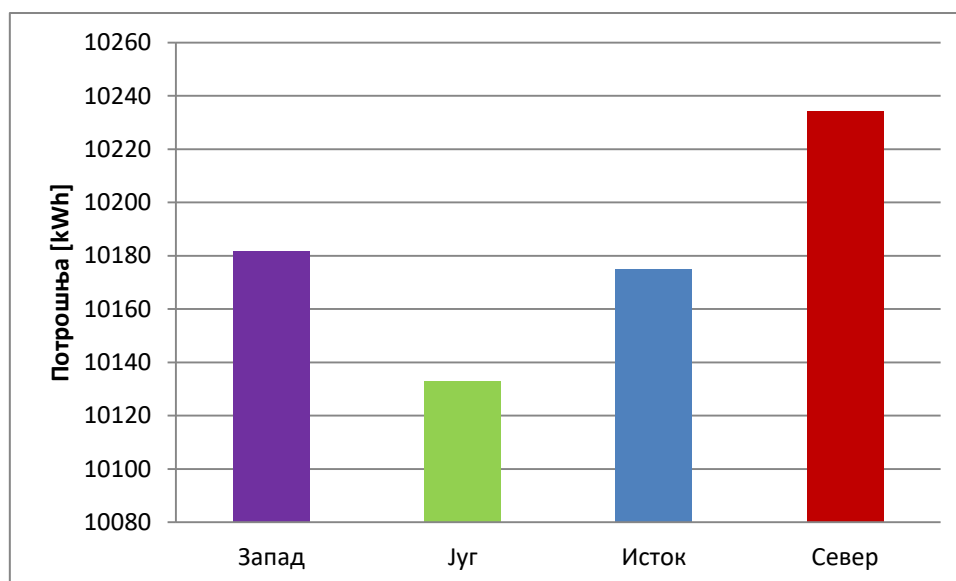
Слика 7.24 Дијаграмски приказ потрошње и уштеде – север

7.5 Поређење резултата према странама света

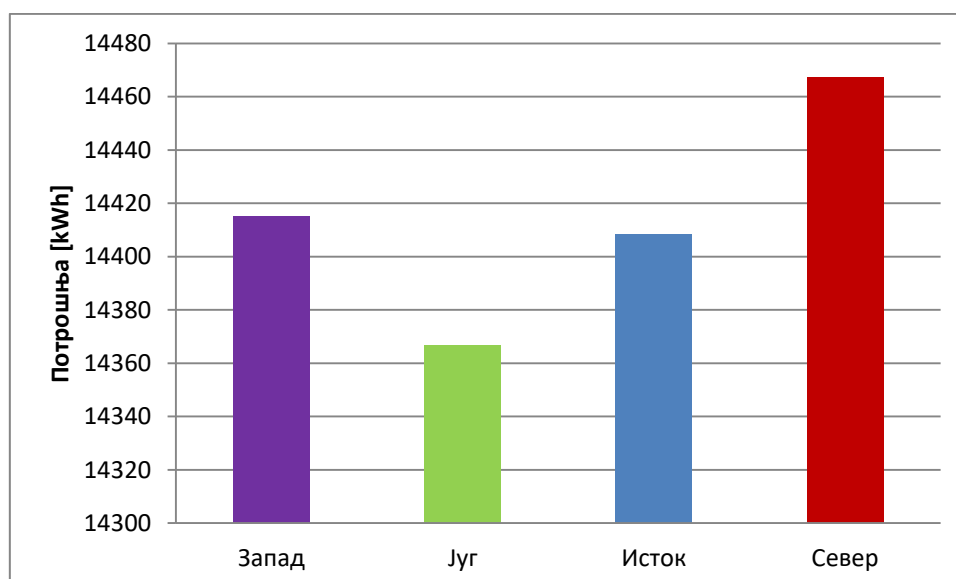
Помоћу дијаграма 7.1, 7.2, 7.3, 7.4 приказана су на сликама 7.25, 7.26, 7.27, 7.28, 7.29 и 7.20. поређења за исте величине прозора према странама света за изолован и неизолован објекат.



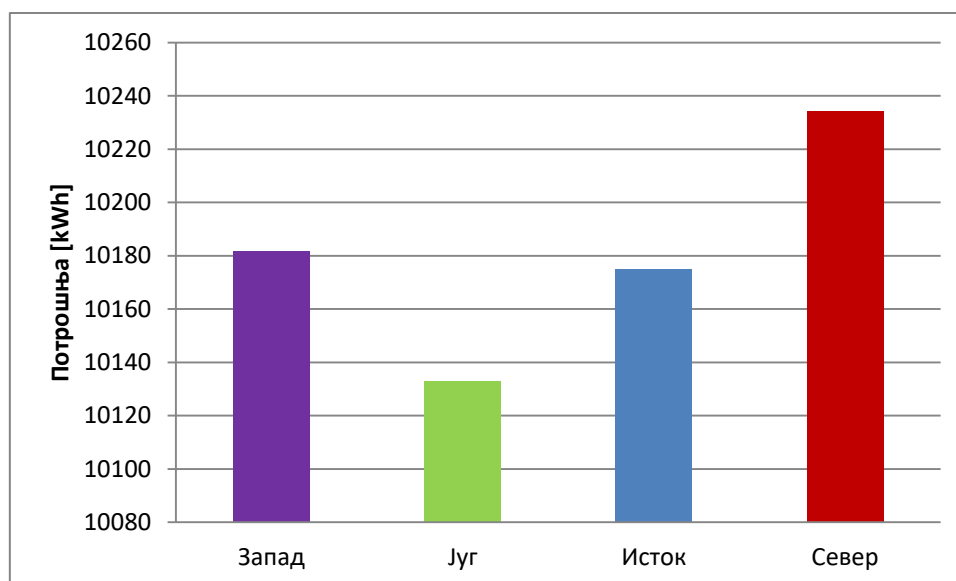
Слика 7.25 Дијаграмски приказ потрошње ел. ен. за грејање објекта без изолације – мали прозор



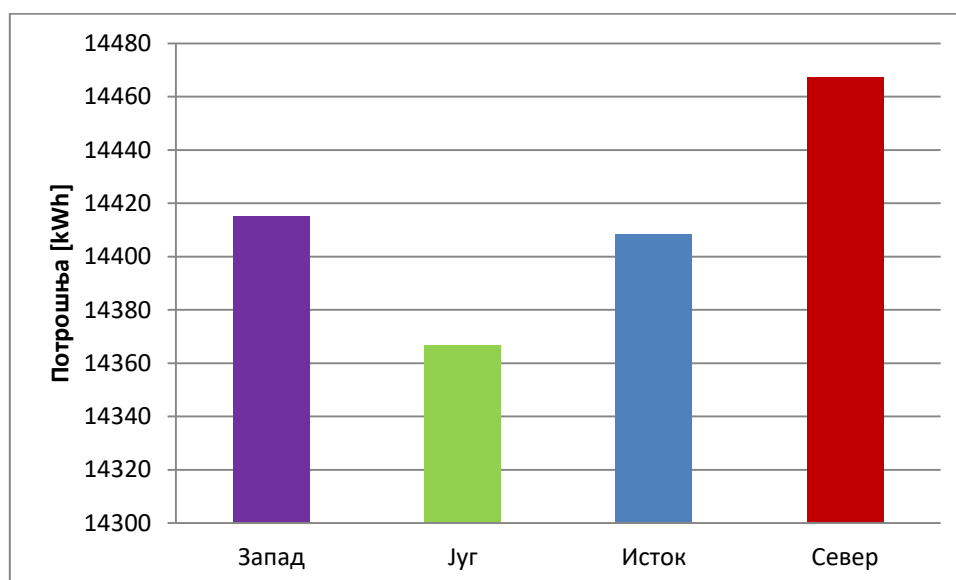
Слика 7.26 Дијаграмски приказ потрошње ел. ен. за грејање објекта са изолацијом – мали прозор



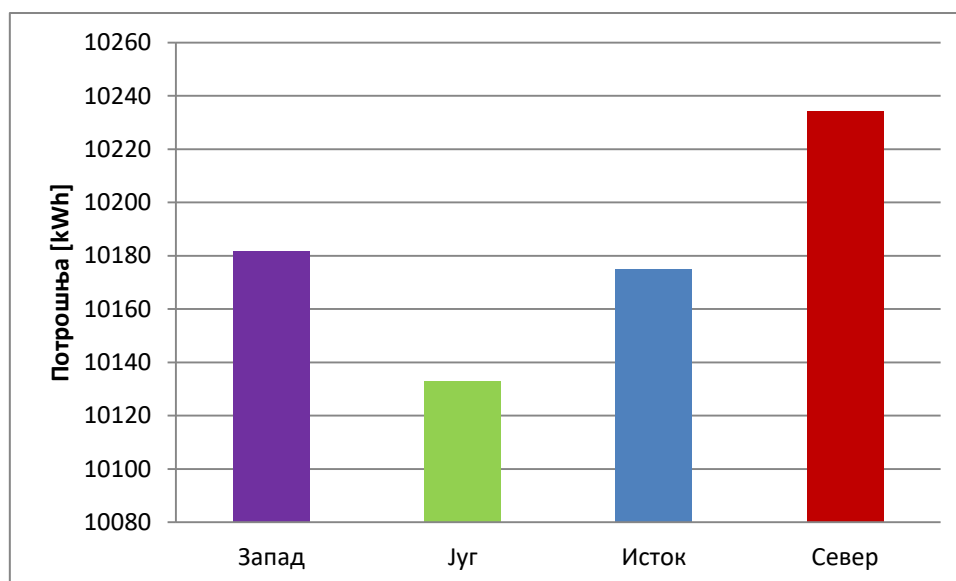
Слика 7.25 Дијаграмски приказ потрошње ел. ен. за грејање објекта без изолације – средњи прозор



Слика 7.25 Дијаграмски приказ потрошње ел. ен. за грејање објекта са изолацијом – средњи прозор



Слика 7.25 Дијаграмски приказ потрошње ел. ен. за грејање објекта без изолације – велики прозор



Слика 7.25 Дијаграмски приказ потрошње ел. ен. за грејање објекта са изолацијом – велики прозо

8 Закључак

Програмски пакети попут EnergyPlus-а су изузето корисни данас, и налазе огромну примену готово у свакој области када је неопходно прорачунати потрошњу енергија, ефикасност објеката, итд.

Данас (али бојим се са закашњењем) 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, овакви програмски пакети су веома корисни, јер могу да дају веома прецизне податке којима ће нам 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 електричне енергије за грејну сезону у зависности од уградње спољашње изолације (стиропор) и промене положаја и величине прозора на крову, а све у циљу подизања енергетске ефикасности.

Резултати су више него задовољавајући. На основу вредности добијених резултата приказана је потрошња електричне енергије у зависности од положаја и величине прозора и постављања спољашње изолације (стиропор 8 cm).

Долази се до закључка, ако се гледа према величини прозора да је најбоље решење када је прозор највећих димензија, зато што је у том случају енергетска ефикасност највећа, затим када је прозор средње величине, затим мали прозор и на крају као најгоре решење је случај када прозор не постоји.

Резултати показују да је најмања потрошња у случају када је прозор постављен на јужној страни крова, затим следе исток и запад са сличним резултатима и најгоре решење што се потрошње тиче представља северна страна.

На крају, видели смо да са уградња изолације доста утиче на смањење потрошње енергије за грејање (у нашем случају ел. енергије).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/on%20februar%202012.cfm/weather_data2.cfm/region=6_europe_wmo_region_6 - приступљено 18.08.2016.
- [2] Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency, International Energy Agency, [//www.iea.org/papers/2008/indicators_2008.pdf](http://www.iea.org/papers/2008/indicators_2008.pdf) - приступљено 22.08.2016. год.
- [3] <http://www.seea.gov.rs/> - приступљено 30.08.2016. год.
- [4] Лукић, Н.: Скрипта, *Термоенергетски уређаји и постројења*, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, 2014.
- [5] Тодоровић, Б., Пројектовање постројења за централно грејање, Машински факултет, Београд, 2005.
- [6] <http://www.efikasnost.com/> - приступљено 22.09.2016.
- [7] http://www.grf.bg.ac.rs/p/learning/termoizolacioni_materijali_1387814173320.pdf - приступљено 25.10.2016.
- [8] http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/onfebruar2012.cfm/weather_data2.cfm/region=6_europe_wmo_region_6 - приступљено 28.10.2016.