

Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука у Крагујевцу

Зорица Р. Васиљевић

**Унапређење енергетске ефикасности зграда
применом пасивне соларне архитектуре**

Дипломски рад

Крагујевац, 2018

Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука у Крагујевцу



Назив студијског програма: Урбано инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Предмет: Енергетска ефикасност објеката

Број индекса: 902/2014

Зорица Р. Васиљевић

**Унапређење енергетске ефикасности зграда
применом пасивне соларне архитектуре**

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Данијела Николић, доцент - ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да проучи препоручену и ширу литературу која се односи на коришћење соларне енергије у зградарству и на принципе пасивног соларног пројектовања зграда. Неопходно је да се на бази усвојених знања, користећи софтвер EnergyPlus, ураде симулације потрошње енергије не примерима конкретних зграда које су пројектоване према неким принципима пасивне соларне архитектуре. Кроз приказ добијених резултата, потребно је анализирати потрошњу финалне и примарне енергије на годишњем нивоу (како за грејне потребе, тако и укупну потрошњу енергије у згради), одредити енергетске разреде зграда и дати поређење потрошње енергије при примени различитих принципа пасивног соларног пројектовања зграда.

Препоручена литература:

- [1] Sadeghsaberi J. at all, Passive solar building design, Journal of Novel Applied Sciences, 2 (S4), 2013, p. 1178-1188
- [2] Bilgic S., Passive Solar Design Strategies for Buildings: A case study on Improvement of an existing Residential building's Thermal Performance by Passive Solar Design Tools, Izmir Institute of Technology, Izmir, Turkey, 2003.
- [3] Omrany H., Marsono A. K., Optimization of Building Energy Performance through Passive Design Strategies, British Journal of Applied Science & Technology 13 (6), 2016, p. 1-16
- [4] ENERGYPLUS, Input Output Reference - The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output, University of Illinois & Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009

Ментор:

Крагујевац
јун 2018.

Др Данијела Николић, доцент

Резиме

У овом раду описана је могућност подизања енергетске ефикасности и енергетског разреда зграде пасивном употребом соларне енергије за грејање простора. У раду је осим улоге соларне енергије на Земљи, описана њена употреба кроз векове, као и основни принципи пасивног соларног пројектовања зграда. Поред тога извршена је енергетска анализа топлотних потреба четири типа објеката, који су грађени према неким принципима пасивне соларне архитектуре, ради утврђивања енергетски најефикаснијег објекта, кроз разне анализе. Прво је анализиран објекат са три различите дебљине изолационог слоја, а затим објекти грађени по неким принципима пасивне соларне архитектуре. Симулација је извршена у програму Energy Plus, док су објекти дизајнирани у Open Studio додатку за Sketch up. На крају је добијен енергетски разред зграде, који показује за колико се основни модел побољша применом неког од пасивних соларних система градње.

Кључне речи: зграда; соларна енергија; пасивни систем; соларна архитектура; симулација; енергетски разред зграде.

Abstract

This paper describes the possibility of raising energy efficiency and building energy rate, by using passive solar energy for space heating. In thesis, besides the role of solar energy on planet Earth, it is described its using through the centuries, as well as the basic principles of passive solar design. In order to determine the most energy efficient object, through various analyzes, it was performed energy analysis of the heating needs for four types of object, which were design according to the some principals of solar architecture. First, an object with three different thermal insulation thicknesses was analyzed, and after that, building with solar passive architecture. The simulation was done in the Energy Plus software, while the objects are designed in Open Studio plug in for Sketch up. At the end, an building energy rating is obtained, which shows how much the basic model is improved by applying some of the passive systems.

Key words: building; solar energy; passive systems; solar architecture; simulation; building energy rate.

САДРЖАЈ

1. Увод.....	1
2. Соларна енергија.....	2
3.Пасивни системи	5
3.1 Пасивни системи грејања	5
3.2 Стандарди пасивног соларног објекта	7
4. Принципи пасивног соларног пројектовања зграда	9
4.1 Оријентација	10
4.2 Облик објекта.....	10
4.3 Надстрешнице и засењивачи	11
4.4 Изолација	12
4.5 Прозори	13
4.6 Термална маса.....	13
4.7 Боја фасаде	14
5. Пасивне куће у свету и Србији	15
5.1 Пример пасивне куће у свету	15
5.2 Пример у Србији	16
6. Софтвери	17
6.1. О Sketch up-у	17
6.2. Energy plus.....	17
6.3. OpenStudio	18
7. Модели анализираних објеката.....	19
7.1 Основни модел објекта	19
7.2 I тип куће.....	22
7.3 II тип куће	24
7.4 III тип куће	25
8. Резултати и анализа	27
8.1 Основни модел објекта	27
8.2 I тип куће.....	30
8.3 II тип куће	33
8.4 III тип куће	37
9. Упоредна анализа.....	40
10. Закључак	45

11. Литература	46
-----------------------------	-----------

1. Увод

Енергетска ефикасност представља ефикасну употребу енергије у свим секторима потрошње: у индустрији, саобраћају, пољопривреди, зградарству и свим услужним делатностима. Енергетска ефикасност није исто што и уштеда енергије, јер штедња увек намеће нека одрицања, док ефикасна употреба енергије испуњава све услове комфора. Треба напоменути да било која опрема, која је енергетски ефикасна, губи своја основна својства уколико се не користи на прави начин. Пре свега, енергетска ефикасност се односи на промену свести и навика људи, како би примена енергетски ефикасних решења служила сврси. Дакле, тек када свест потрошача о потреби енергетски ефикасних система буде развијена, тада се може причати о смањењу потрошње енергије. Зграде представљају највеће појединачне потрошаче енергије. Како се овде користи велика количина енергије, ова област може имати највећу примену енергетски ефикасних система. У Србији у топлотне сврхе одлази чак 50 % од укупних потреба за енергијом, обухватајући све објекте како стамбене и јавне, тако и индустријске. Највише енергије се користи за грејање, чија потрошња зависи од намене објекта. У средње-европским градовима, количина енергије која се користи за припрему топле воде, осветљење и грејање не прелази 100 kWh/m^2 , а у неким огледним објектима у Немачкој и Енглеској постигнута је количина енергије мања од 50 kWh/m^2 [1]. Такође, сматра се да се употреба фосилних горива може знатно смањити уколико се она замене алтернативним изворима енергије. Соларна енергија је једна од могућности која се веома лако и свуда може користити. Неисцрпан је извор енергије, а може се користити без да се наруши комфор унутар објекта. Један од начина употребе соларне енергије јесу пасивни соларни системи, који не изискују додатну опрему за своје функционисање.

2. Соларна енергија

Соларна енергија је енергија која долази од Сунца. Сунчева светлост, између осталог, може да се користи за производњу електричне енергије, за грејање и хлађење простора и грејање воде. Ова врста енергије користи се хиљадама година уназад на различите начине. На директан или индиректан начин, Сунце је одговорно готово за све енергетске изворе на планети. Све врсте угља, нафте и природног гаса настали су пропадањем биљака милионима година. Другим речима, примарна фосилна горива која се данас користе заиста постоје захваљујући соларној енергији. Такође, ветар настаје као појава неједнаког загревања земљине атмосфере. Једини извори напајања који не долазе од Сунца су топлота која се добија радиоактивним пропадањем језгра Земље, океанске плиме које су последица Месечевог деловања и нуклеарна фисија и фузија.

Древни народи нису само користили соларну енергију већ су обожавали богове засноване на Сунцу. Пре више од 5000 година Египћани су обожавали бога Сунца Ра, као првог владара Египта. Древни грчки богови Аполон и Хелиос, такође су повезани са Сунцем, док је Шамаш био бог Сунца у Месопотамији. Поред тога што су ове богове обожавали, користили су соларну енергију за сушење усева, одеће и хране. Вековима су људи живели у пустињи и правили су куће од цигле, која је прављена од земље и сламе сушене на Сунцу. Ова врста цигли упија и складишти топлоту преко дана, што одржава хладовину унутар простора, док се топлота ослобађа ноћу [2].

Древни Грци су били свесни пасивне соларне енергије коју су користили за грејање и хлађење простора. У неком од својих радова, Сократ је описао како треба сместити објекат у односу на Сунце, тако да би се објекат лети хладио, а зими грејао. Такође, Римљани и Кинези су заснивали своје домове на принципима пасивне соларне архитектуре. Познати Римљанин Плиније је користио овај концепт у свом дому. У једној соби на прозор је поставио танак транспарентан лим. Приметио је да је ова просторија била најтоплија у кући и да му је потребно мање дрва за огрев. Римљани су користили топлоту Сунца и на други начин. У јавним купатилима која су тада била актуелна, постављали су црне плочице на зидове и подове. Плочице су биле постављене тако да их Сунце греје. Вода која је улазила у купатило прелазила је преко ових плочица и на тај начин се загревала. Римски архитекта Витрувије направио је планове за грејање купатила путем пасивне соларне архитектуре. Наиме, оријентисао је зграду тако да упија зрачење у касним поподневним сатима, посебно зими [2].

Соларна енергија коришћена је у научне сврхе вековима уназад. Научник Јозеф Пристли користио је соларну енергију за своје откриће и изоловао кисеоник 1770-тих. Он је разбио живин оксид користећи топлоту створену концентрисаним сунчевим светлом. Почетком XIX века патентиран је стакленик. Стакленик је у ствари пасивни колектор сунчеве енергије који генерише сунчеву енергију ради постицања раста биљака. Стакленици омогућавају да биљке расту и зими. У деветнаестом и двадесетом веку десила су се нека од већих открића која су унапредила употребу и ефикасност соларних технологија, као што су фотонапонске ћелије, соларни колектори итд [2].

Људи на Земљи не осећају пуну снагу Сунца јер горња земљина атмосфера одбија велику количину топлоте. Топлота се некада одбија од водене паре, облака или молекула гаса. Сунчева светлост која стиже до површине Земље назива се директно зрачење. Дифузно зрачење је део сунчевог зрачења која путујући кроз атмосферу промени смер или спектар. Зрачење које доспе на Земљу веће је 10 000 пута од оног које се тренутно користи. Велика количина енергије, чак 69 %, рефлектује се у свемир. Највећи део енергије која се апсорбује упијају океани, око 70%. Соларна енергија спречава замрзавање океана, као и Земљине атмосфере. Соларне технологије се деле на активне и пасивне системе. Пасивни соларни системи користе само сунчеву енергију, без коришћења других облика енергије. Активни соларни системи користе додатне механизме, као што су пумпе, генератори итд. Активни системи често производе топлоту или електричну енергију. Соларни системи за грејање воде могу бити пасивни или активни [2].

Соларна енергија може имати позитивне и негативне ефекте на животну средину. Са позитивне стране је то што су соларне технологије пријатељи екологије. Не загађују атмосферу гасовима који изазивају ефекат стаклене баште, не производе радиоактивни отпад као нуклеарне електране и не доприносе глобалном загревању или појави киселих киша. Већина соларних система су тихи приликом рада што смањује буку. Ако соларне технологије које производе струју у великој мери могу бити усвојене, многе земље би могле смањити зависност од електричне енергије произведене из фосилних горива. Ова промена би смањила количину загађења животне средине. Међутим, ове технологије нису савршене. Велики пројекти могу додатно негативно утицати на крајолик, као и на живи свет око њих. Изградња ових система може загадити чисто земљиште иако соларне технологије саме по себи нису прљаве. Такође, док употреба соларних система не загађује околину, производња истих би могла загађивати.

Увођење соларних технологија умногоме може утицати на економију држава или појединих заједница. Већина трошкова примене соларне енергије долази од материјала и инсталација. Материјали могу бити локални и инсталацију најчешће обавља нека од локалних фирми. Употреба соларне енергије може повећати независност држава од енергије из фосилних горива. Многе земље тренутно се ослањају на увозну нафту да би задовољиле своје енергетске потребе. Наравно, то је из пазлога што неколико земаља поседују највећи део нафтних ресурса у свету, тако да оне саме одређују цену и дистрибуцију нафте. Ако држава замени увезену нафту соларном енергијом, боље ће управљати будућим снабдевањем енергијом.

Ширење соларне енергије може омогућити појаву електричне енергије тамо где је никада није било. Становништво које живи у руралним подручјима најчешће нема могућност повезивања на електричну мрежу, посебно у мањим и неразвијеним земљама. Још 2000. године, више од две милијарде људи у свету није имало приступ електричној енергији. Соларне технологије би обезбедиле електричну енергију овим заједницама [2].

Постоје две главне препреке у имплементацији соларне енергије, а то су ефикасност и цена технологије. Постојећа соларна технологија је и даље неефикасна да би била највећи извор снабдевања енергијом. На пример, постојећи фотонапонски системи не претварају довољну количину сунчеве светлости у енергију. Друга главна препрека је цена. Током година су многи истраживачи и компаније најављивали да ће соларне технологије бити спремне и профитабилне до одређеног датума али ово обећање није испуњено. Чак иако је фотонапонска технологија постала доступна, није била јефтина како је обећано. Неки аналитичари сматрају да соларна енергија никада неће бити исплатива у тој мери да би отплатила своју скупу производњу. Пореске олакшице на нивоу државе могу додатно смањити цену соларне технологије и смањити трошак имплементације соларних система [2].

3.Пасивни системи

Пасиван соларни системи помоћу своје конструкције акумулира сунчеву енергију (на пример зидови), која је потребна за грејање и хлађење унутрашњег простора. Коришћење околне вегетације може допринети очувању неке количине енергије. Природна вентилација свакако спада у пасиван систем. Активни соларни системи за своје функционисање користе додатне инсталације које поскупљују изградњу, док се применом пасивних система постиже додатна уштеда. Велику улогу у енергетским токовима зграде има архитекта, који још приликом планирања бира материјале који ће побољшати енергетску ефикасност. Енергетска ефикасност зграде може се побољшати што већим приступом сунчевој енергији, смањењем инфилтрације, што бољом природном вентилацијом, креирањем северних површина без отвора, природном конвекцијом и соларном архитектуром. Осветљење високих перформанси и велика количина природног осветљења такође могу допринети повећању енергетске ефикасности и смањити трошкове [3].

3.1 Пасивни системи грејања

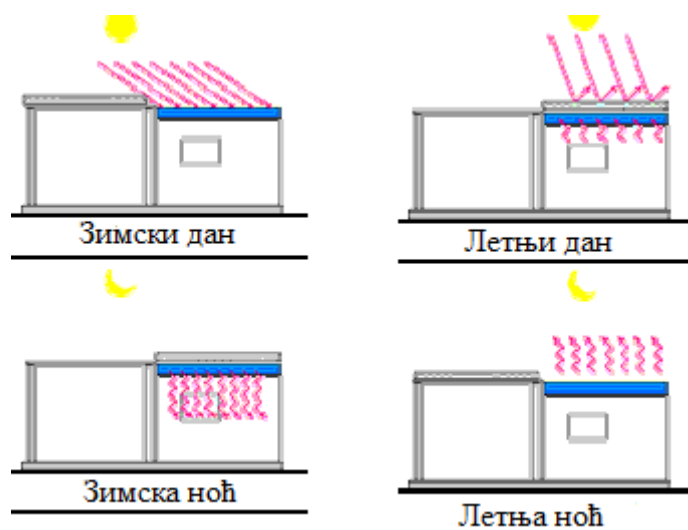
Како је већ споменуто, пасивни објекти за своје функционисање не користе додатну опрему већ цео објекат врши улогу соларног колектора. Делови и елементи објекта преузимају све функције система. Познато је да највећи део енергије која се троши у зградама одлази на грејање простора, што се лако може обезбедити употребом соларне енергије, бар за делимично подмирење грејних потреба. Зграде се могу дизајнирати тако да великим прозорима на фасади прикупљају што више соларне енергије, мада треба бити обазрив приликом пројектовања јер потребе за енергијом лети и зими нису исте. Односно, ако би се зграде пројектовале само за летње услове, могло би бити непријатно унутар објекта зими. Зато се користе разни уређаји за засењивање, да би се обезбедили слични услови током лета и зиме. Постоји три различита типа соларног пасивног грејања:

1. Директни добици су најједноставнији облик пасивног соларног система. У овом систему је више великих прозора постављено ка југу, чије је застакљивање најчешће двоструко или троструко. Такви прозори се састоје од два или три слоја стакла и ваздушним слојем између њих. Зидови и подови упијају енергију током дана, а ноћу је ослобађају унутар простора. Поред великих прозора на југу, у директне добитке спада и термална маса. Када соларна енергија доспе у простор део енергије се одмах одбија од површине и греје простор, а део се акумулира у термалној маси и отпуста ноћу. Термална маса је веома битан фактор када су у питању директни добици соларне енергије. Стакленици (слика 1) су познати као соларне стаклене баште. Они такође спадају у систем директних добитака топлоте. Зид за складиштење је неки од зидова куће на који је стакленик наслоњен. Овај систем се првенствено користи за загревање стаклене баште, али може послужити за грејање целог објекта [4].



Слика 1. Пасивна кућа са стаклеником

2. Индиректни соларни добици подразумевају систем соларног грејања, када се соларни добици не апсорбују у простор који греју, већ се складиште и преко неког другог тела шире у просторију коју греју. Неки од компоненти индиректних соларних добитака је Тромбеов зид, стакленик уколико је од просторије коју греје одвојен зидом, као и водени зид. Ови системи подразумевају сакупљање, складиштење и дистрибуцију соларне енергије у омотачу зграде, одакле се термалном масом даље греје објекат. У ову врсту објеката спада систем са резервоаром на крову. Систем са резервоаром на крову (слика 2) састоји се од резервоара напуњеног водом који прикупља соларну енергију. Затварање резервоара врши се изолованим панелима. Током зиме панели су отворени током дана да би се сакупила соларна енергија, док су ноћу затворени да се топлота не би губила. Прикупљена топлота се ослобађа унутар објекта и греје га. Током лета процес је обрнут. Преко дана панели се затварају да не би дошло до прегревања, а ноћу су отворени да би омогућили хлађење објекта [4].



Слика 2. Систем са резервоаром на крову

Тромбеов зид

Једно од решења пасивне соларне архитектуре је Тромбеов зид, који је патентиран 1881. године, али је тек 1964. године добио на значају захваљујући инжењеру Феликсу Тромбеу и архитекти Жан Мишелу. У суштини, то је зид велике дебљине обојен у црно тако да акумулира што већу количину сунчевог зрачења. Поред тога, постоји застакљење споља одвојено од површине зида, које ствара ваздушни простор који додатно штити од губитка топлоте. Оригинални Тромбеов зид није био претерано ефикасан. Радио је тако што се у току дана енергија прикупљала унутар зида а у току ноћи ширила по просторијама, мада се та топлота ширила кроз ваздушни слој и стакло напоље. Претпоставка је била да ће застакљење и ваздушни слој задржати што више топлоте унутар зида и да ће температура термалне масе бити виша од спољне и тако грејати просторије. Низом побољшања Тромбеовог зида повећана је његова ефикасност. Уведене су неке новине као што су постављени отвори на врху и на дну зида, као и на застакљењу [4, 5].

3. Изолациони добици. У изолованим системима простор за прикупљање, складиштење и дистрибуцију соларне топлоте је изолован у односу на простор који се греје. У овом процесу се најчешће јавља природна или термосифонска петља. Колектор је постављен испод стамбеног простора. Врућ ваздух који долази од соларне енергије, шири се како би загрејао простор. Овај систем се не може применити тако лако, јер захтева додатне компоненте за разлику од директних и индиректних добитака. За разлику од претходна два система, овај систем је слободнији по питању архитектуре. Само је битно да се систем за складиштење топлоте налази непосредно уз колектор, како би се избегли додатни механички уређаји и да би све текло природним током, што је циљ пасивног соларног система [4].

3.2 Стандарди пасивног соларног објекта

Стандард за пасивне куће је међународно признати протокол који се користи за градњу зграда са нултом потрошњом енергије и високим нивоима унутрашњег комфора. Може се примењивати без обзира на врсту, функцију или конструкциони систем. Стандард је установљен 1988. године истраживачким пројектом доктора Волфганга Феиста и професора Боа Адамсона. Године 1991. доктор Волфганг Феист је изградио прву пасивну кућу у округу Краинштајн у Дармштату у Немачкој, показавши притом да је могуће изградити објект који скоро да не троши енергију. Објект је константно праћен и утврђено је да за грејне потребе троши годишње 9 kWh/m^2 , што се није променило до сада. Стандард пасивне куће поставља захтеве перформанси по питању техничких и термофизичких карактеристика зграде, како би се постигла што мања укупна потрошња енергије и како би се постигао што већи ниво удобности унутрашњег простора:

- потражња енергије за грејање и хлађење простора до $15 \text{ kWh/m}^2/\text{годишње}$,
- оптерећење грејања 10 W/m^2 ,

- високоенергетске перформансе по питању потрошње примарне енергије до 120 kWh/m²/годишње за грејање, хлађење, вентилацију, грејање санитарне воде, осветљење итд.
- број измена ваздуха на сат < 0.6.

Године 2015. уведене су категорије Passive House Classic, Plus и Premium, чија је класификација извршена на основу потражње обновљиве примарне енергије и количине произведене енергије. Дизајн и техничка конструктивна решења која омогућају да се то постигне су:

- спољни зидови, подови и покривач који су добро изоловани дебелим слојем изолације до постизања топлотне проводљивости од $U < 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- смањење топлотних мостова без прекида, што се односи на темеље, терасе и углове,
- прозори са коефицијентом топлотне проводљивости $U_w < 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- правилна оријентација објекта тако да зими прима довољно топлотне енергије од Сунца а да се лети избегне прегревање,
- добра заптивеност зграде да би се избегли топлотни губици због цурења ваздуха,
- коришћење механичке вентилације са измењивачем топлоте.

Стандарди се примењују у било ком климатском подручју, у складу са климатским условима. У топлијој климатској зони више пажње ће бити обрађено на систем за хлађење и уређаје за засењивање. У хладном климатском подручју неопходно је максимално повећати топлотне добитке од Сунца. У подручјима где је клима умерена јавља се проблем јер је потребно наћи одговарајући однос између претходна два [4].

4. Принципи пасивног соларног пројектовања зграда

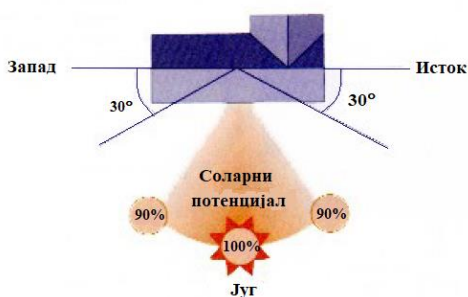
Пасивни дизајн сматра се посебним начином градње коришћењем природног кретања ваздуха и топлоте и соларних добитака, како би се одржао добар унутрашњи комфор. Приликом употребе пасивних соларних система могуће је потпуно или бар делимично искључити употребу механичких система и смањити потребу за електричном енергијом за 80%. Пасиван соларни дизајн може се користити на многим врстама објеката као што су: куће, индустријски објекти, школе, тржни центри итд. Објекти на северној хемисфери који се граде као пасивни имају најдужи зид оријентисан ка југу. Оваква оријентација обезбеђује грејање зими. Поред великих зидова, са јужне стране налазе се добро изоловани велики прозори. За зидове и подове користе се грађевински материјали који апсорбују енергију и споро је ослобађају. Такви објекти подразумевају неке од материјала као што су бетон или камен. Још један од кључних фактора пасивних објеката је надстрешница. Дизајниране су тако да дозволе да сунчева светлост допре у просторије зими, а да праве сенку лети. У подручјима где су високе летње температуре, нарочито на југу, постављање надстрешница омогућује да зграда буде много хладнија него што би била иначе. Неке од пасивних зграда пројектоване су тако да могу бити подземне или укопане у страну брда. Разлог је то што је температура земље на одређеној дубини једнака током године па је објекат хладан лети а топао зими. Још један концепт пасивног дизајна је постављање дрвећа и грмља око зграде. На пример, листопадно дрвеће зими нема лишће па светлост несметано продире у објекат док лети дрво прави хладовину и спречава да сунчева светлост допре унутар објекта. Грађевински параметри који утичу на енергетску ефикасност пасивне соларне куће су:

- оријентација,
- облик објекта,
- изолација,
- двоструко или троструко застакљивање прозора,
- топлотна маса,
- надстрешнице и засењивачи и
- боја фасаде.

Концепт пасивне соларне куће је дефинисан као: „зграде које имају веома ниску потребу за топлотном енергијом и зато им нису потреби активни системи грејања“. Институт у Дармштату развио је неколико кућа пасивне соларне архитектуре, које одговарају европској клими. Међутим, било би погрешно да све технике пасивне соларне архитектуре, посебно оне које се тичу изолације, прозора и вентилације примењивати у другој климатској зони. Стандарди морају бити прилагођени различитој климатској и географској зони. Традиција и специфични климатски услови сваког региона морају бити анализирани, да би се дошло до одговарајућег решења. Интеграција пасивних система у раној фази не кошта више од традиционалног начина градње, али се касније постиже уштеда и смањење количине CO₂.

4.1 Оријентација

Први и основни принцип пасивне градње је оријентација (слика 3), при чему се објекат оријентише ка југу уколико се налази у северној хемисери и ка северу уколико се налази у јужној (слика 4). Страница објекта у правцу исток-запад је по правилу најдужа, јер се на такав начин највећи део топлотне енергије доспе у објекат зими, што смањује његову потребу за грејањем. Оваква оријентација је посебно погодна због хлађења лети, због угла под којим зраци падају. Из тог разлога на југу се најчешће постављају објекти у којима се најчешће борави, као што су дневна и спаваћа соба [5].



Слика 3. Оријентација и соларни добици[5]

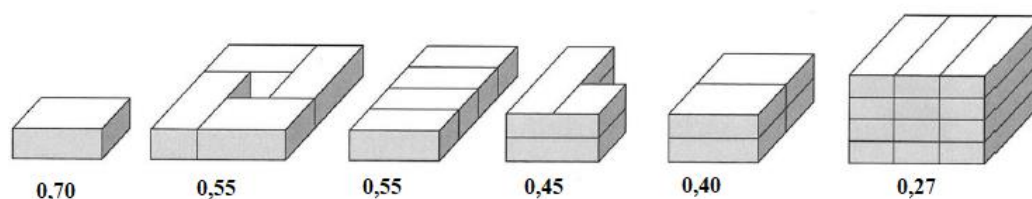


Слика 4. Јужно оријентисан пасиван објекат

4.2 Облик објекта

Геометрија објекта је важан чинилац приликом пројектовања пасивног соларног објекта. Да би се смањили трансмисиони губици, битан је однос површине и запремине објекта. Однос између површине и запремине изражава се фактором облика. Што је геометрија објекта једноставнија, фактор је повољнији. Неки од облика који имају добар фактор су кугла, коцка и квадар. Постоји уверење да кров пасивне куће мора бити једноводни, али се показало да облик крова не утиче на ефикасност пасивне куће. Тачно је да је једноводни кров добар компромис између употребне површине и укупне површине објекта. Једноводни кровови имају већу површину окренуту ка југу, што значи да ће примити већу количину зрачења. Када се пореде индивидуални породични објекти са објектима у низу или вишеспратним објектима, долази се до закључка да су

вишеспратни објекти повољнији (слика 5). Разлог је мањи однос спољашњих зидова у односу на запремину објекта, па се фактор облика креће у границама 0,3-0,7 [8].



Слика 5. Фактор облика за објекте у низу и вишеспратне објекте [8]

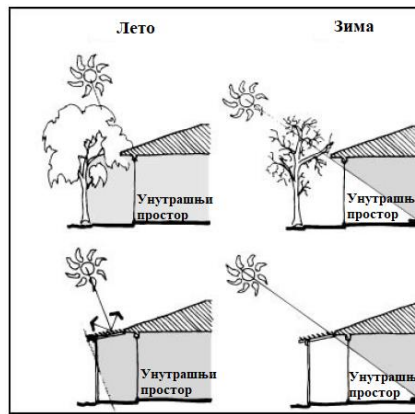
4.3 Надстрешнице и засењивачи

Надстрешнице и засењивачи су важни уређаји у пасивној кући који спречавају прегревање објекта лети. Стога је веома важни постављање ових уређаја адекватне величине. Веома је битно да јужна фасад буде адекватно засенчена или опремљена великом надстрешницом (слика 6), како би се спречило прегревање, а простор одржао хладним током летњих месеци. Приликом дизајна ових уређаја потребно је повести рачуна о величини и нагибу, тако да се узме у обзир угао под којим падају зраци лети и зими (слика 7). Тип и нагиб засењивача одређени су положајем Сунца и геометријом објекта. Како уређаји за засењивање могу имати велики утицај на изглед објекта, као и смањење потреба за хлађењем, морају бити разматрани и вредновани на почетку дизајна објекта како би били адекватно интегрисани у целокупном изгледу објекта. Постоји неколико начина засењивања, али није могуће извршити њихову генерализацију. Међутим, неке опште препоруке су наведене испод:

- за контролу директног сунчевог зрачења на јужној фасади користити фиксне надстрешнице,
- ограничити број прозора на истоку и западу, јер је теже њихово засењивање у односу на јужну страну,
- на северној страни се не постављају засењивачи, јер објекат са те стране не добија директно сунчево зрачење,
- могу се користити унутрашњи засењивачи, као што су венецијанери [5].



Слика 6. Пример пасивне соларне куће са надстрешницом



Слика 7. Положај Сунца лети и зими

4.4 Изолација

Добро изолована зграда спречава губитак топлоте зими и хладовине лети. Изолациони материјали формирају препреку између спољашњих и унутрашњих простора и одржавају ентеријер хладним уколико је лето и топлим уколико је зима. Губитак топлоте кроз конструкцију означава се коефицијентом топлотне пролазности који показује колико се топлоте губи у ватима по метру квадратном. Изолациони материјали се користе за изоловање зидова, подова и кровова, јер они проводе топлоту. Коефицијент топлотне проводљивости описује способност неког материјала да проводи топлоту. Што је топлотна проводљивост већа, то се већа количина топлоте проводи. Изолациони материјали имају низак коефицијент топлотне проводљивости, а његова вредност варира у зависности од дебљине и врсте изолационог материјала. Веома је битно да се топлотна изолација правилно постави, тако да нема рупа и пропуста и да би се топлотни мостови смањили. Топлотни мостови су локализовани делови зграде, који показују увећане топлотне губитке. Најчешће се јављају између пода и зида, зида и крова, у угловима и око прозора уколико нису добро постављени или су без топлотног прекида као алуминијумски. Постоји неколико изолационих материјала, који се користе за изолацију пасивне куће: целулоза (слика 8), памук, полиуретан (слика 9), минерална вуна и овчија вуна [5].



Слика 8. Топлотна изолација од целулозе[5]



Слика 9. Полиуретан[5]

4.5 Прозори

Прозори имају велику улогу у пасивном соларном објекту, јер омогућају да соларна енергија доспе унутар објекта и обезбеђују природну вентилацију. Начин на који се прозори позиционирају у односу на Сунце и ветар, може ефикасно повећати енергетску ефикасност и угодност унутар објекта. Најпогодније је поставити прозоре на југу, јер се тако сакупи највећа количина топлота и постиже најбоља вентилација када је то потребно. Постављање већине прозора на југу помаже у постизању максималне соларне добити. Такође врста застакљивања игра велику улогу. Из тог разлога стандарди пасивне куће препоручују коришћење двоструког стакла или троструког уколико је потребно. Кроз ово застакљење се пропусти соларна енергија, а истовремено спречава одлазак топлоте, и на тај начин се смањују топлотни губици. Двоструко стакло има два слоја стакла између којих се налази аргон, док троструко (слика 10) има три слоја стакла и између свака два слоја аргон или криптон. Овакав прозор има низак коефицијент топлотног пролаза, добар је звучни изолатор и штеди енергију. Што се тиче рама прозора, могу се производити од различитих врста материјала као што су дрво, алуминијум или PVC. Најбољи избор је дрво јер је еколошки материјал, захтева мало енергије за производњу и добар је изолациони материјал [5].



Слика 10. Прозор са двоструким и троструким стаклом

4.6 Термална маса

Концепт термалне масе се односи на чврст или течан материјал, који апсорбује и чува топлоту, а ослобађа је када је то потребно. На тај начин може доћи до вишка апсорбоване енергије, која се може искористити када нема Сунца. Заправо, ради као батерија која се преко лета пуни, а током зиме је чува и ослобађа када је потребно. Да би термална маса правилно функционисала, мора бити интегрисана са још неком пасивном техником као што су изолација и соларни добици, тако да се смањи потреба за грејањем или хлађењем простора и на тај начун смањи потреба за енергијом. Термална маса могу бити плочице, под од опеке или дебео слој бетона (слика 11), назван соларна плоча. Такође, може бити велики камин направљен од опеке или камена или унутрашњи зид од опеке. Поред тога користи се Тромбров зид или контејнери испуњени водом. Ова врста система мора бити јужно оријентисана и изложена директно Сунцу. Основне карактеристике ове масе су висока густина, добра

топлотна проводљивост и низак степен рефлексије (тамне површине апсорбују већу количину енергије и ослобађају већу количину енергије него светле површине). Материјали топлотне масе као што су опека или бетон, служе као складиште за топлоту, али и за хладноћу. У топлим климатским условима, као што је у медитеранским земљама, користе се у комбинацији са топлотном изолацијом. Ова комбинација смањује унутрашњу температуру и гарантује угодније услове унутар простора лети. Положај топлотне масе унутар објекта се мора пажљиво позиционирати, тако да је то веома битно питање приликом организације простора [7].



Слика 11. Употреба бетона као топлотне масе

4.7 Боја фасаде

Коришћење одређених боја фасаде може утицати на количину соларне енергије која ће се апсорбовати или рефлектовати. Истраживачи су испитивали колико боја фасаде утиче на температуру унутрашњег простора. Дошли су до закључка да су мале зграде у Израелу обојене у бело у просеку за 3 °C хладније лети у односу на исте зграде обојене сивом бојом. Затим је утврђено да коришћење боја са додатком минералних честица смањује потрошњу за 20%, јер минералне честице делују као изолатор. Примена светлих боја (слика 12) може допринети смањењу апсорбције енергије, док тамна боја смањује рефлексију. Која од боја ће бити изабрана зависи од климатских услова у којима се објект налази, као и од тога да ли је повећана потреба за грејањем или хлађењем. Комбинација овог фактора са изолацијом, знатно може смањити потребну количину енергије за грејање или хлађење [7].



Слика 12. Фасада светле боје у топлој климатској зони

5. Пасивне куће у свету и Србији

5.1 Пример пасивне куће у свету

Сан Хуан пасивна кућа (слика 13) налази се на Шоу острву које припада савезној држави Вашингтон, САД. Ово је био први сертификовани пројекат ове врсте на острву, а четврти у овој држави. Кућа је саграђена од префабрикованих панела и простире се на 167 m². Корисници су наставници у пензији који су хтели дом који се лако одржава, енергетски је ефикасан и на мирном месту, да би уживали у природи. Објекат је изграђен за само 330 долара по метром квадратном док се други објекти на острву граде и до 600 долара по метру квадратном. Са јужне и западне стране се налазе велики стаклени прозори који омогућују да светлост продре унутар објекта. Да би се заштитили од топлоте и добили мало приватности, постављени су покретни панели који се према потреби померају [9].



Слика 13. *Сан Хуан* пасивна кућа [9]

Прескот пасивну кућу (слика 14) изградио је Студио 804, са циљем да се за што нижу цену направи што квалитетнији животни простор, тако да је и радник са просечним примањима може себи приуштити. Налази се у граду Канзас и простире се на 160 m². Целом јужном страном објекта простиру се велики прозори са покретним засењивачима, тако да се лети спречава прегревање објекта. Цела кућа је изолована целулозном изолацијом. Конструкција која носи оптерећење објекта израђена је од ламираног дрвета [9].



Слика 14. *Прескот* пасивна кућа [9]

5.2 Пример у Србији

Прву еколошку кућу у Србији (слика 15) саградио је инжењер Александар Николић према плановима проналазача Вељка Милинковића, која се налази недалеко Новог Сада. Кућа се зими греје, а лети хлади захваљујући соларном зрачењу. Ову кућу Милинковић је патентирао 1977. године а до сада је саграђено десетак оваквих кућа. Објекат је у потпуности изграђен од бетона и прекривен 80% земљом од ископа темеља. Процењује се да овакав објекат штеди 85% енергије потребне за грејање и 30% електричне енергије потребне за освету. Површина објекта је око 140 m² али изгледа као да је много већа јер се простире целом ширином плаца како би сви прозори били окренути ка југу. Поред тога што има дужи животни век од других кућа и ниске трошкове одржавања, земљани слој штити објекат од спољашњих електромагнетних зрачења, вибрација и буке [10].

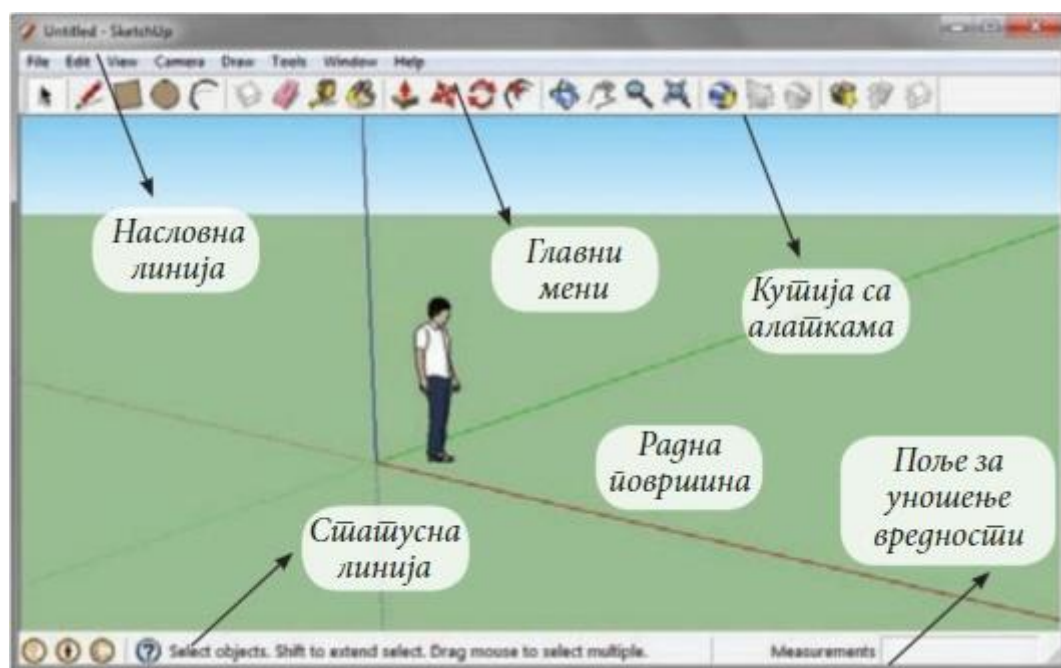


Слика 15. *Прва еколошка земуница у Србији – пасивна кућа [10]*

6. Софтвери

6.1. О Sketch up-y

Sketch up је програм за 3Д моделирање који може користити више корисника различитих занимања. Једноставан је за употребу и користи се као савршен програм за развој графичких и идејних решења. Основни прозор се састоји од насловне линије, главног менија, линије за форматирање, кутија са алаткама, радних површина, сцена, статусне линије и поља за приказивање вредности (слика 16) [11].



Слика 16. Основни прозор [11]

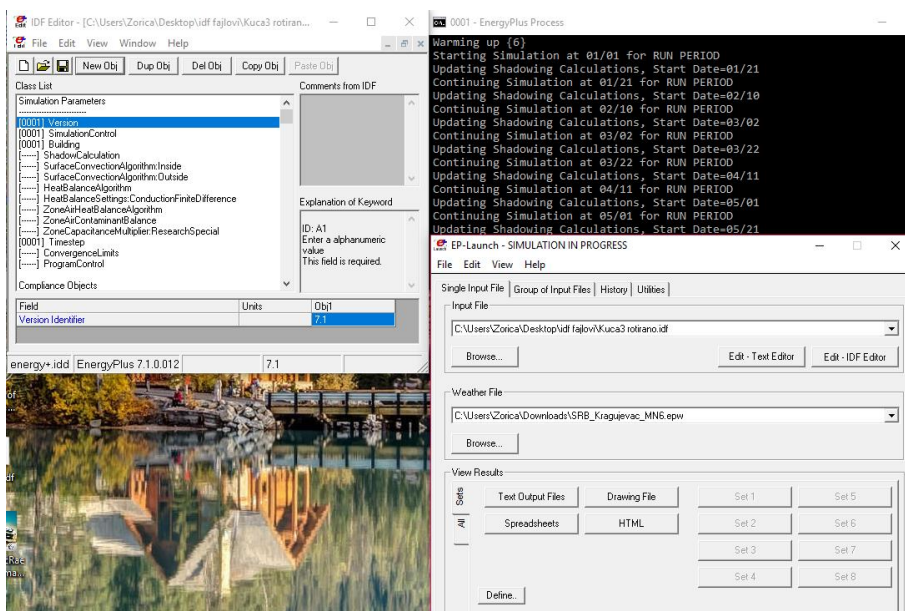
Push and Pull је опција која се користи приликом извлачења тела или дела тела. Прво се помоћу алата Line Tool исцрта жељени облик а затим се помоћу алата Push and Pull извуче основа до жељене висине. Приликом исцртавања облика на објекту користи се алатка Arc. Уколико приликом цртања корисник жели да обрише неки део може то учинити опцијом Delete. Када се овај програм повеже са Energy Plus-ом, цртају се објекти којима се уз помоћ овог програма може одредити енергетска класа.

6.2. Energy plus

Energy plus је програм који инжењери, архитекте и истраживачи користе за целокупну енергетску симулацију за моделовање потрошње енергије за: грејање, хлађење, вентилацију, осветљење и коришћење воде у зградама. Корени програма потичу из претходно развијених програма *BLAST* и *DOE-2*. *BLAST* и *DOE-2* су развијани седамдесетих и осамдесетих година као алати за симулацију енергетског понашања зграда [12]. На слици 17 приказано је радно окружење програма. Неке од значајних карактеристика овог програма су:

- Истовремено решење стања термичке зоне и одзив HVAC система
- Решење засновано на топлотном балансу зрачења и конвективних зрачења која производе термичку угодност и калкулације кондензације

- Комбиновани модел преноса топлоте и масе који узима у обзир кретање ваздуха између зона
- Напредни модели фенестрације, укључујући контролне жалужине, електрохромско застакљивање и топлотне билансе који израчунавају топлотну соларну енергију апсорбовану од прозора итд.



Слика 17. Радно окружење програма EnergyPlus [12]

Програм *EnergyPlus* (слика 17) се састоји од три основне компоненте: симулационог модула система зграде, симулационог модула топлотног и масеног биланса и симулационог менаџера. Програм је заснован на конзоли која чита улаз и пише излаз у текстуалне датотеке. Испоручује се са више помоћних програма укључујући и IDF-Editor за креирање улазних датотека користећи једноставни интерфејс сличан табелама, EP-Launch за управљање улазним и излазним датотекама и извођење серијских симулација и EP-Compare за графичко упоређивање резултата две или више симулација. На располагању су и неколико свеобухватних графичких интерфејса за *EnergyPlus*. DOE (Department of Energy's) ради већину свог посла путем овог програма помоћу OpenStudio-a за развој софтвера и апликација. *EnergyPlus* је бесплатан програм и ради на Windows, Mac OS X и Linux оперативном систему [12].

6.3. OpenStudio

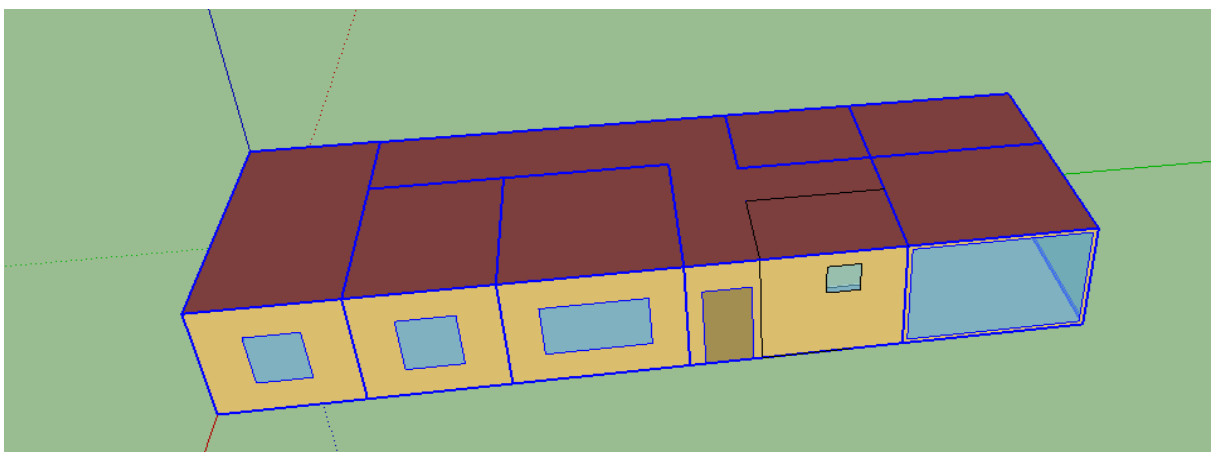
OpenStudio је колекција алата за комплетно енергетско моделирање у зградарству користећи *EnergyPlus* и напредну анализу дневне светлости користећи *Radiance*. Овај програм укључује графичке интерфејсе заједно са Комплетом за развој софтвера. Графичке апликације укључују OpenStudio SketchUp Plug-in, OpenStudio Application, ResultsViewer и the Parametric Analysis Tool. OpenStudio SketchUp Plug-in је проширење Тримбелове популарне SketchUp 3D алатке за моделирање које кориснику омогућују брзо креирање геометрије потребне за *EnergyPlus*. Поред тога, овај програм поседује увоз gbXML и IFC за креирање геометрије [13].

7. Модели анализираних објеката

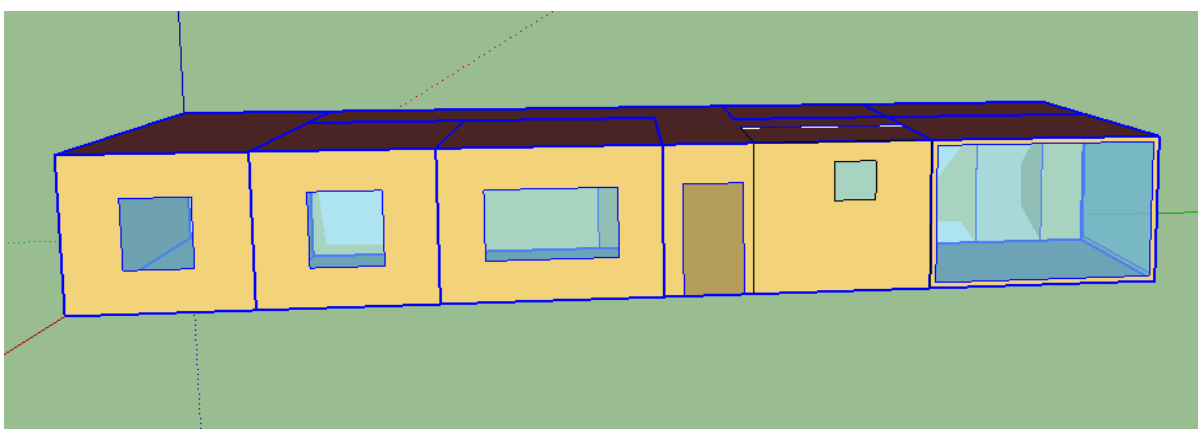
7.1 Основни модел објекта

Да би се извршила анализа потребне количине енергије за неки објекат, прво се објекат моделира у програму Google SketchUp. У оквиру одабране зоне црта се жељена просторија али се мора водити рачуна да зона буде активна. Број зона једнак је броју просторија у оквиру објекта. Након што се просторија нацрта обележе се њени елементи: прозори, врата, под, плафон и сл. Поступак се понавља са свим просторијама. Када је то обављено, објекат се уводи у *Energy plus* при чему се мора водити рачуна о геометрији објекта. Касније се у едитору уносе подаци везани за грејање, вентилацију, осветљење итд., након чега следи покретање симулације и читавање излазних података преко HTML фајла. Google SketchUp и *Energy plus* се повезују преко OpenStudio-а који се инсталира као екстензија у оквиру Google SketchUp-а.

На сликама 18 и 19 је приказан основни модел објекта који се анализира. Потребно је нагласити да је основни модел јужно оријентисан и има већину отвора ка југу, али по својим конструктивним својствима не спада под објекат пасивне соларне архитектуре.



Слика 18. Основни модел објекта

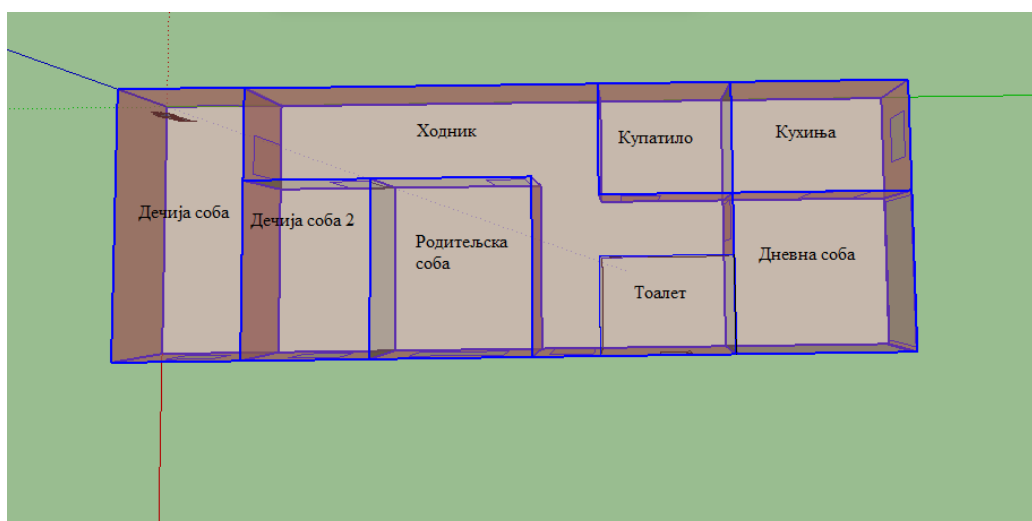


Слика 19. Основни модел објекта

Објекат се састоји од седам зона и то:

- Дечија соба
- Дечија соба 2
- Родитељска соба
- Ходник
- Тоалет
- Дневна соба
- Кухиња и
- Купатило.

Распоред просторија приказан је на слици 20. Како објекат поседује раван кров, не постоји зона крова. Зоне са површинама приказане су у табели 1.



Слика 20. Распоред просторија

Табела 1. Приказ површина просторија

Зона	Површина [m ²]	Бруто површина зида [m ²]	Површина прозорског стакла [m ²]
Дечија соба	17,28	39,55	1,29
Дечија соба 2	11,40	7,70	1,51
Родитељска соба	14,40	9,72	2,65
Ходник	26,68	25,52	0,00
Тоалет	6,60	8,10	0,49
Дневна соба	14,32	20,47	17,95
Кухиња	10,00	17,55	1,37
Купатило	7,50	8,10	0,00

У табели 2 приказани су материјали који су употребљени у конструкцији објекта по слојевима.

Табела 2. Материјали

Слој	Спољашњи зид	Унутрашњи зид	Под	Таваница
1	0,100 m опека	0,019 m гипс плоча	Акустичне плоче	0,100 m лаки бетон
2	0,200 m тешки бетон	Ваздушни простор	Ваздушни слој	Ваздушни простор
3	Изолациони слој	0,019 m гипс плоча	0,100 m лаки бетон	Акустичне плоче
4	Ваздушни простор			
5	0,019 m гипс плоча			

Грејање је електрично и за потребе грејања користе се радијатори различите снаге. Снага радијатора у просторијама биће приказани у табели 3.

Табела 3. Распоред радијатора

Просторија	Дечија соба	Дечија соба 2	Родитељска соба	Ходник	Тоалет	Дневна соба	Купатило	Кухиња
Снага радијатора [W]	8000	8000	8000	5000	8000	8000	8000	5000

У табели 4 приказана је јачина расвете у објекту. Коришћене су штедљиве сијалице.

Табела 4. Јачина осветљења

Зона	Дечија соба	Дечија соба 2	Родитељска соба	Ходник	Тоалет	Дневна соба	Купатило	Кухиња
Јачина осветљења [W]	9	9	9	9	11	15	11	9

У табели 5 је приказана снага електричне опреме у одређеним просторијама.

Табела 5. Јачина електричне опреме

Зона	Дневна соба	Дечија соба	Дечија соба 2	Родитељска соба
Јачина електричне опреме [W]	300	25	25	25

Присуство људи у просторијама биће приказано у табели 6, при чему је план њиховог боравка дат у посебном распореду у улазној датотеци.

Табела 6. Присуство људи у просторијама

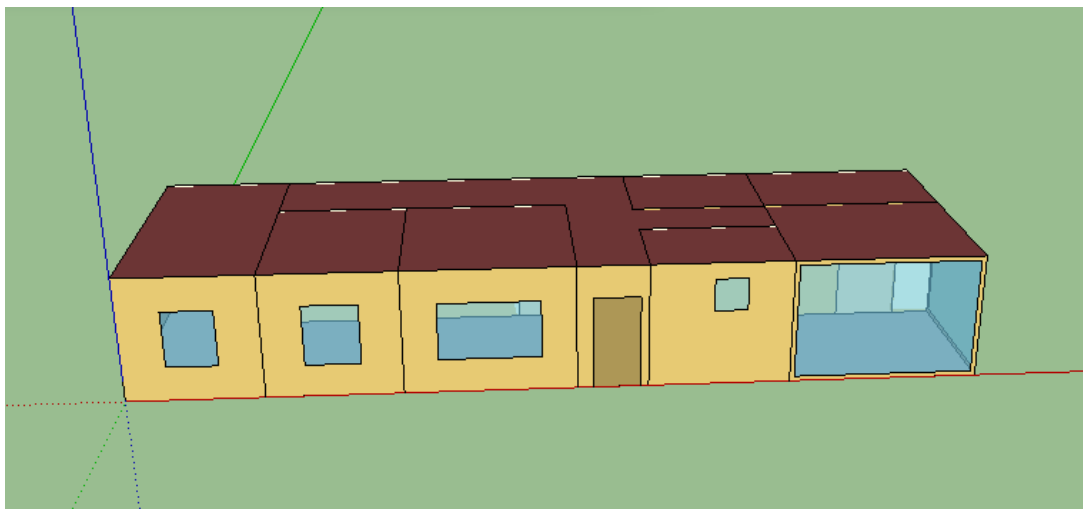
Просторија	Дневна соба	Дечија соба	Дечија соба 2	Родитељска соба
Број људи у просторији	4	1	1	2

Објекат се вентилира природном вентилацијом различитим бројем измена на час и то 0,7 промена на час за дневну собу и 0,5 промена за све остале просторије јер је објекат велике површине.

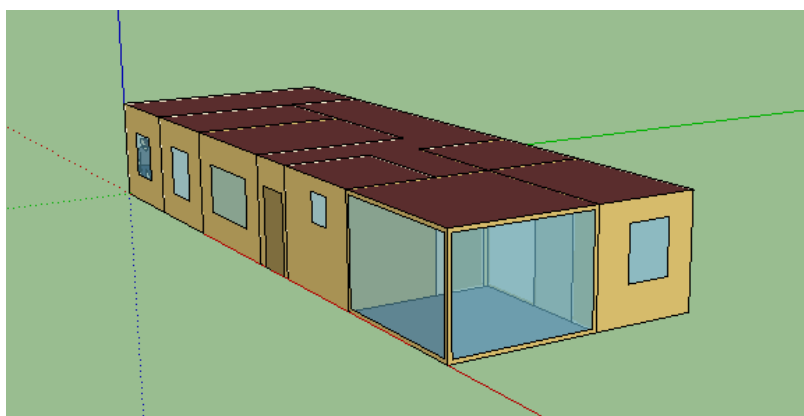
7.2 I тип куће

Код првог типа куће (слике 21, 22 и 23) анализира се модел сличан основном моделу објекта. Први случај разликује се од основног по конструкцији зидова, подова и крова, у складу са стандардом о изградњи пасивне соларне куће. Овај тип објекта спада у објекте са директним добицима енергије. То значи да цео објекат ради као колектор. Од елемената пасивне соларне архитектуре поседује само адекватну оријентацију, која утиче на количину соларног зрачења, која доспе у објекат и нешто дебљу изолацију омотача. Анализирани објекат је индивидуални породични објекат, који поседује све потребне услове за становање просечне породице. Укупна површина објекта је 108 m². Спољни зидови састоје се од неколико слојева и то: 0,019 m гипсане плоче, ваздушни слој, 0,200 m бетонског блока, ваздушни слој и 0,250 m изолације. Коефицијент пролаза топлоте је $U=0.110 \text{ W/m}^2\text{K}$. Унутрашњи зидови састоје се од гипсаних плоча 0,019 m, ваздушног слоја и 0,019 m гипсаних плоча. Плафон изнад грејаног простора, почевши изнутра, састоји се од 0,019 m гипсаних плоча, ваздушног слоја, 0,200 m тешког бетона, ваздушног слоја и 0,250 m изолације. За плафонску конструкцију коефицијент пролаза топлоте износи $U=0.110 \text{ W/m}^2\text{K}$. Подна конструкција се састоји од плочица, 0,025 m изолације, 0,100 m лаког бетона и 0,025 m изолације. Коефицијент пролаза топлоте за подну конструкцију износи $U=0.409 \text{ W/m}^2\text{K}$. Прозори су са троструким застакљењем испуњени аргоном чији је коефицијент пролаза топлоте

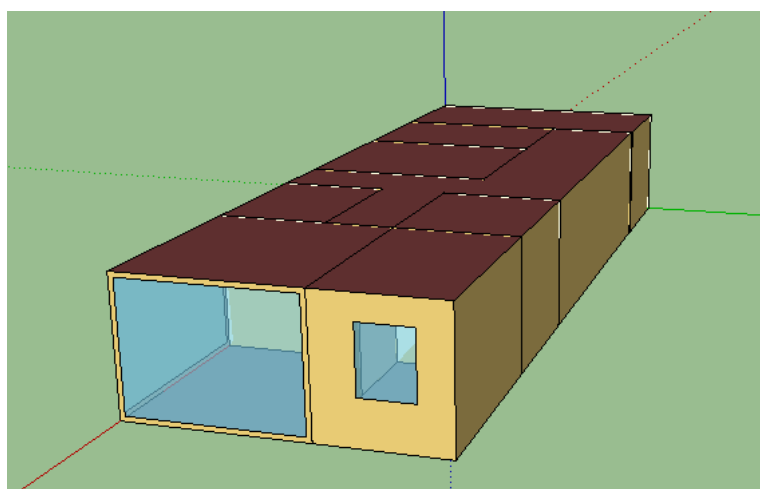
$U=1.615 \text{ W/m}^2\text{K}$. У табели 7 приказани су слојеви зидова, подова и таванице. Присуство људи, јачина електричних уређаја и расвете, распоред радијатора као и вентилација потпуно су исти као у основном моделу.



Слика 21. *Први тип куће*



Слика 22. *Први тип куће*



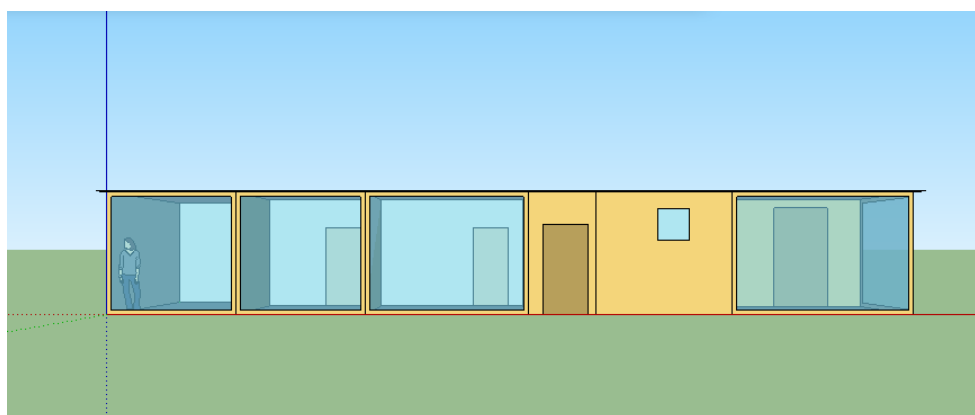
Слика 23. *Први тип куће*

Табела 7. *Састав конструкције спољашњег зида, унутрашњег зида, пода и плафона*

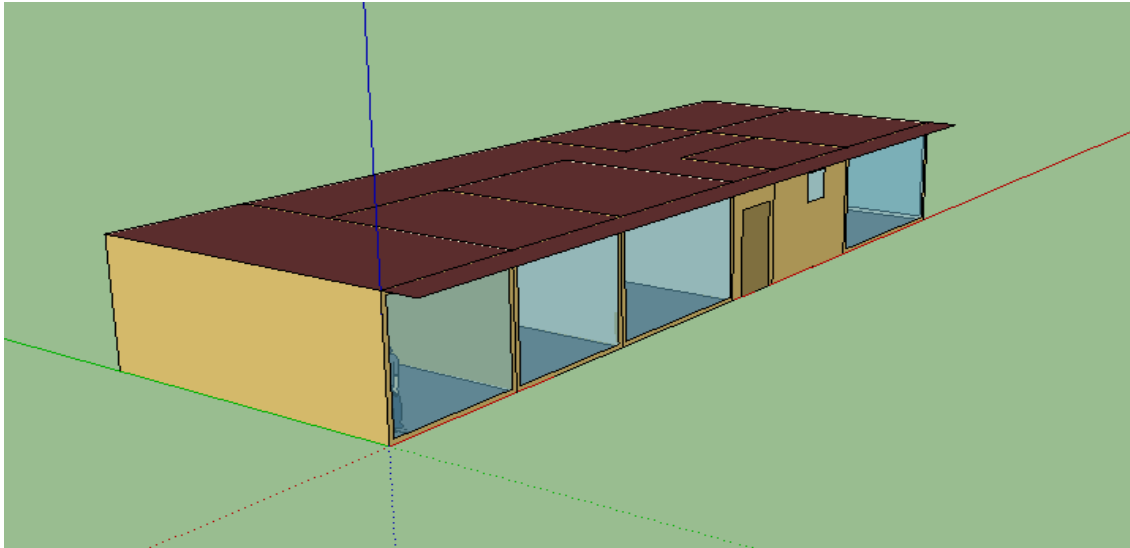
Слојеви	Спољашњи зид Унутра	Унутрашњи зид	Плафон	Под
	0,019 m гипс плоча	0,019 m гипс плоча	0,019 m гипс плоча	Плочице
	Ваздушни слој	Ваздушни слој	Ваздушни слој	0,025 m изолација
	0,200 m бетонски блок	0,019 m гипс плоча	0,200 m тежак бетон	0,100 m лаки бетон
	Ваздушни слој		Ваздушни слој	0,025 m изолација
	0,250 m изолација		0,250 m изолација	
	Споља			

7.3 II тип куће

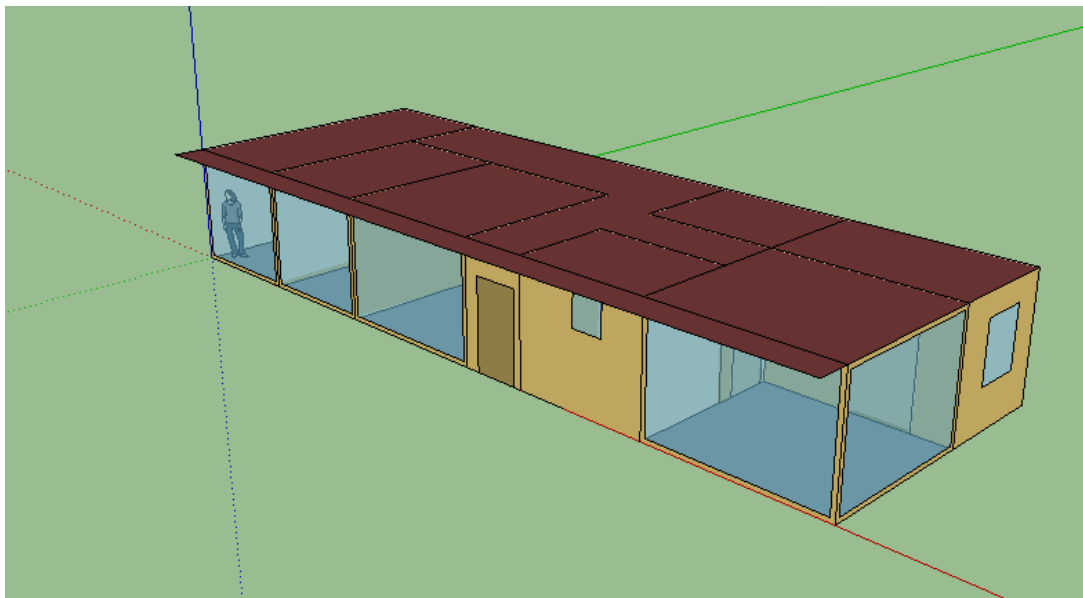
У другом тип куће (слике 24, 25 и 26) ради се о објекту који са јужне стране садржи велике стаклене прозоре. Елементи пасивне градње који су овом приликом примењени су орјентација, велике стаклене површине на јужној фасади, као и надстрешница. Орјентација објекта је у овом случају веома битна због количине соларних добитака, који кроз велике стаклене прозоре продире дубоко у објекат и акумулира се у термалној маси, односно у масивном зиду наспрам великих прозора. Топлота која пролази кроз прозоре се акумулира и ослобађа ноћу када је то потребно. Надстрешница је још један од битних елемената објекта, јер спречава продирање јаког летњег Сунца и на тај начин спречава прегревање објекта. Са друге стране зраци зими падају под нижим упадним углом, тако да надстрешница не представља препреку. По конструкцији, распореду просторија, потрошњи електричне енергије за расвету и електричне уређаје истоветан је основном моделу и првом типу куће. Још једна од разлика је унутрашњи зид наспрам великих стаклених прозора, који се у овом случају може понашати као Тромбеов зид.



Слика 24. *Други тип куће*



Слика 25. Други тип куће

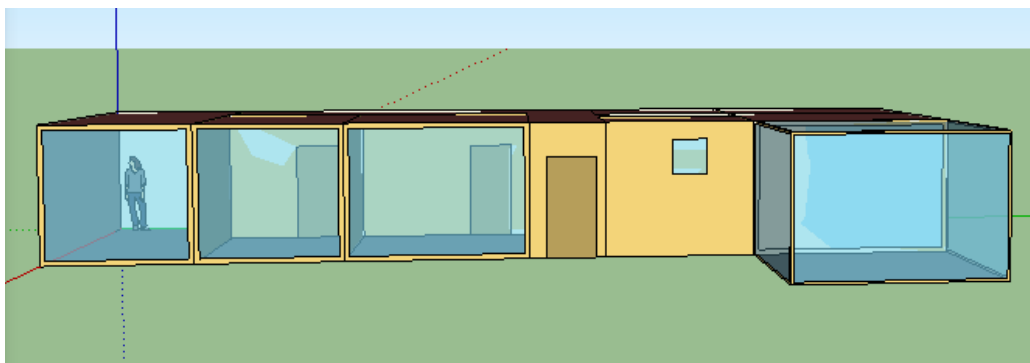


Слика 26. Други тип куће

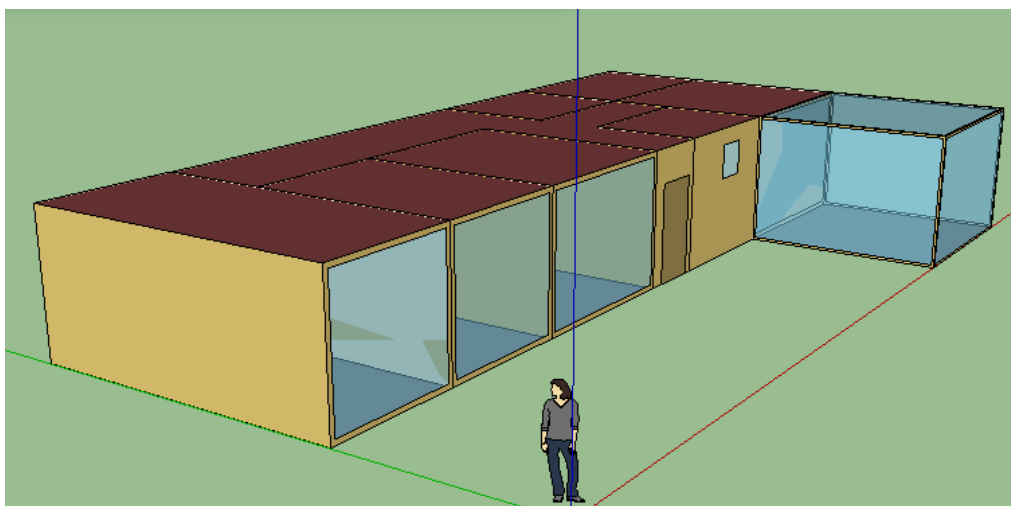
7.4 III тип куће

У трећи тип куће (слике 27, 28 и 29) спада објект са стаклеником. Поред оријентације и великих прозора на јужној фасади, објект поседује стакленик, који је у овом примеру систем са индиректним топлотним добицима, јер је одвојен стакленом површином од просторије коју греје. У овом случају стакленик није наслоњен на неку термалну масу која би акумулирала топлоту и касније је одавала, већ греје унутрашњи простор преко стаклене површине. Претпоставља се да ће се овим системом прикупити већа количина соларног зрачење у односу на претходна два типа објеката, јер је веће стаклена површина која упија ову врсу зрачења. Конструкција објекта, број људи,

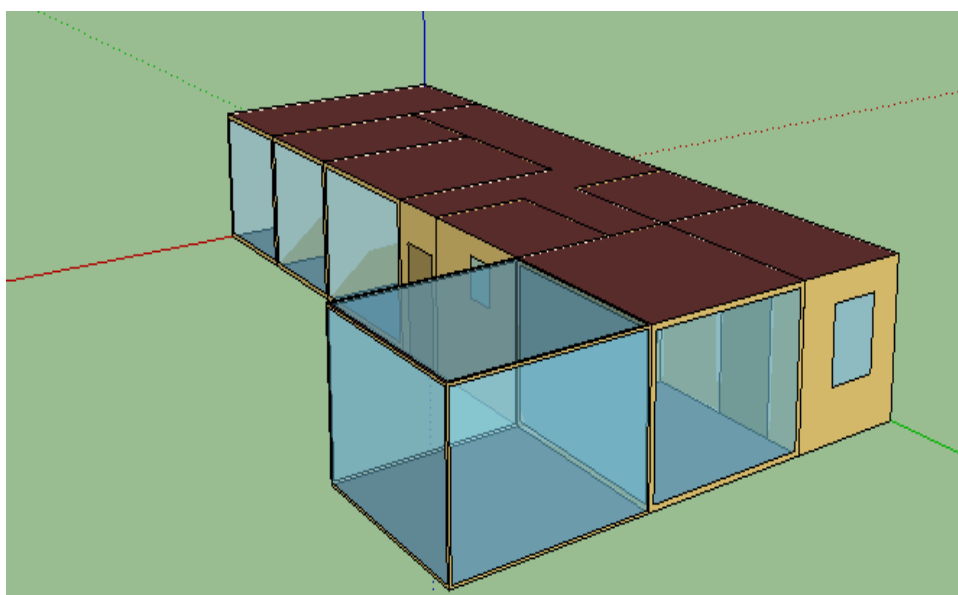
распоред просторија и вентилација су исти као и код предходна два типа, стога није потребно њихово описивање.



Слика 27. *Трећи тип куће*



Слика 28. *Трећи тип куће*



Слика 29. *Трећи тип куће*

8. Резултати и анализа

8.1 Основни модел објекта

Анализа је извршена на основном моделу објекта у три различита случаја, када је дебљина изолације 0,050 m, 0,100 m, 0,150 m. У табели 8 приказани су слојеви спољашњих зидова за сва три случаја, а у табели 9 потрошња енергије за сва три случаја.

Табела 8. *Слојеви спољашњег зида за сва три случаја*

Дебљина изолације	50 mm	100 mm	150 mm
	0,010 m опека	0,010 m опека	0,010 m опека
	0,200 m тешког бетона	0,200 m тешког бетона	0,200 m тешког бетона
	0,050 m изолационог материјала	0,100 m изолационог материјала	0,150 m изолационог материјала
	Ваздушни слој	Ваздушни слој	Ваздушни слој
	0,019 m гипс плоча	0,019 m гипс плоча	0,019 m гипс плоча

Табела 9. *Потрошња енергије при изолацији зида од 0,050 m, 0,100 m, 0,150 m*

Дебљина изолације	0,050 m	0,100 m	0,150 m
Грејање	30,91 GJ	29,05 GJ	28,25 GJ
	8586,11 kWh	8069,44 kWh	7847,22 kWh
Расвета	0,54 GJ	0,54 GJ	0,54 GJ
	150 kWh	150 kWh	150 kWh
Електрична опрема	3,83 GJ	3,83 GJ	3,83 GJ
	1 063 kWh	1 063 kWh	1 063 kWh
Укупно	35,29 GJ	33,43 GJ	32,63 GJ
	9802,78 kWh	9286,11 kWh	9064,67 kWh

На основу анализе резултата долази се до закључка да се са променом дебљине изолације мења и коефицијент U. На графику 1 је приказана промена овог коефицијената у односу на промену дебљине изолације. Табеларни приказ коефицијената пролазности топлоте кроз зид, под и таваницу извршен је у табели 10.

Табела 10. Коефицијент пролазности топлоте кроз спољашњи зид, под и таваницу

	U [W/m ² K] 0,050 m	U [W/m ² K] 0,100 m	U [W/m ² K] 0,150 m
Спољашњи зид	0,429	0,250	0,177
Под	0,490	0,490	0,490
Таваница	1,138	1,138	1,138

На графику 2 приказано је поређење топлотних потреба за грејање у зависности од дебљине изолације, односно биће упоређена укупна количина потрошње енергије и енергије за грејање у зависности од промене дебљине изолације.

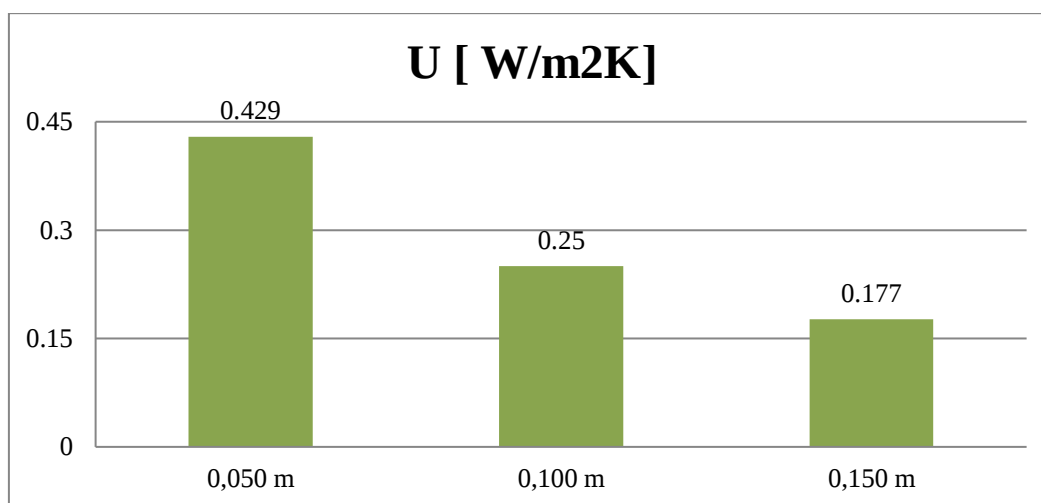


График 1. Поређење коефицијента пролазности топлоте у односу на дебљину изолације

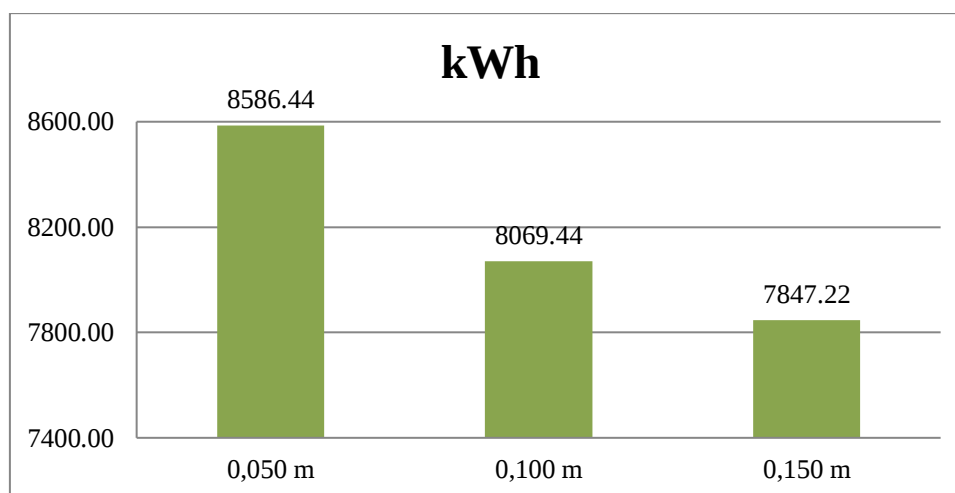


График 2. Промена потрошње енергије за грејање објекта

На основу претходног графика закључује се, да се променом дебљине изолације за 0,050 m потрошња смањи за 6%, док се преласком на изолацију од 0,150 m енергија за грејање смањи за 8,60%. Да би се добила количина примарне енергије која се утроши,

потребно је да укупну количину енергије помножимо са коефицијентом конверзије који за електричну енергију износи $\kappa=3,04$. У табели 11 биће приказана количина примарне енергије за дати објекат. Док је промена потрошње примарне енергије приказана је на графику 3.

Табела 11. Потрошња примарне енергије

	0,050 m	0,100 m	0,150 m
Q_{uk}	35,29 GJ	33,43 GJ	32,63 GJ
	9802,78 kWh	9286,11 kWh	9064,67 kWh
Q_{prim}(Q_{uk}*κ)	107,28 GJ	101,62 GJ	99,19 GJ
	29800,45 kWh	28 229,77 kWh	27 556,60 kWh

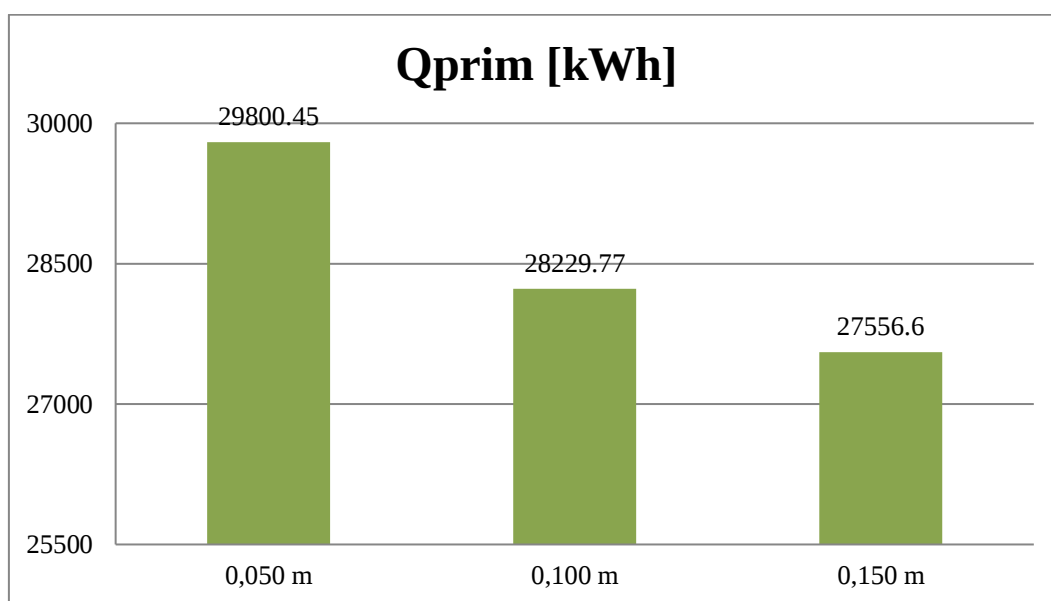


График 3. Потрошња примарне енергије

Анализирани објекат је површина 108,28 m². Потрошња енергије по метру квадратном се рачуна као однос енергије потребне за грејање и површине објекта, која ће бити приказана у табели 12.

Табела 12. Потрошња енергије за грејање по квадратном метру

	0,050 m	0, 100 m	0,150 m
Q_h [kWh]	8586,44	8069,44	7847,22
Q_h/m² [kWh/m²]	90,53	85,76	83,72

Према правилнику о условима, садржају и поступку за издавање сертификата о енергетским својствима зграда, годишња потребна енергија и енергетски разред зграда

за изолацију од 0,050 m и 0,150 m биће приказани у табели 13, с тим што је црвеном обележен претходни (изолација 0,050 m) енергетски разред, а зеленом нови (изолација 0,150 m).

Табела 13. Енергетски разред основног модела објекта

Стамбени објекат		Нове	Постојеће
Енергетски разред	$Q_{H,nd,rel}$ [%]	$Q_{H,nd}$ [kWh/m ² a]	$Q_{H,nd}$ [kWh/m ² a]
A ⁺	≤15	≤9	≤10
A	≤25	≤15	≤18
B	≤50	≤30	≤35
C	≤100	≤60	≤70
D	≤150	≤90	≤105
E	≤200	≤120	≤140
F	≤250	≤150	≤175
G	>250	>150	>175

8.2 I тип куће

У програму *Energy Plus* извршена је симулација ради прорачуна топлотних потреба грејања на годишњем нивоу, као и прорачун соларних добитака и губитака кроз прозоре и вентилацију. Како се у објекту за грејање користе електрични радијатори, израчуната је потрошња електричне енергије у објекту. У табели 14 приказана је потрошња електричне енергије за први тип куће, док је на графику 4 приказана потрошња енергије за грејање по месецима, током грејне сезоне.

Табела 14. Потрошња енергије

Грејање	10,83 GJ
	3008,81 kWh
Расвета	0,54 GJ
	150 kWh
Електрична опрема	3,83 GJ
	1063,89 kWh
Укупно	15,20 GJ
	4222,7 kWh

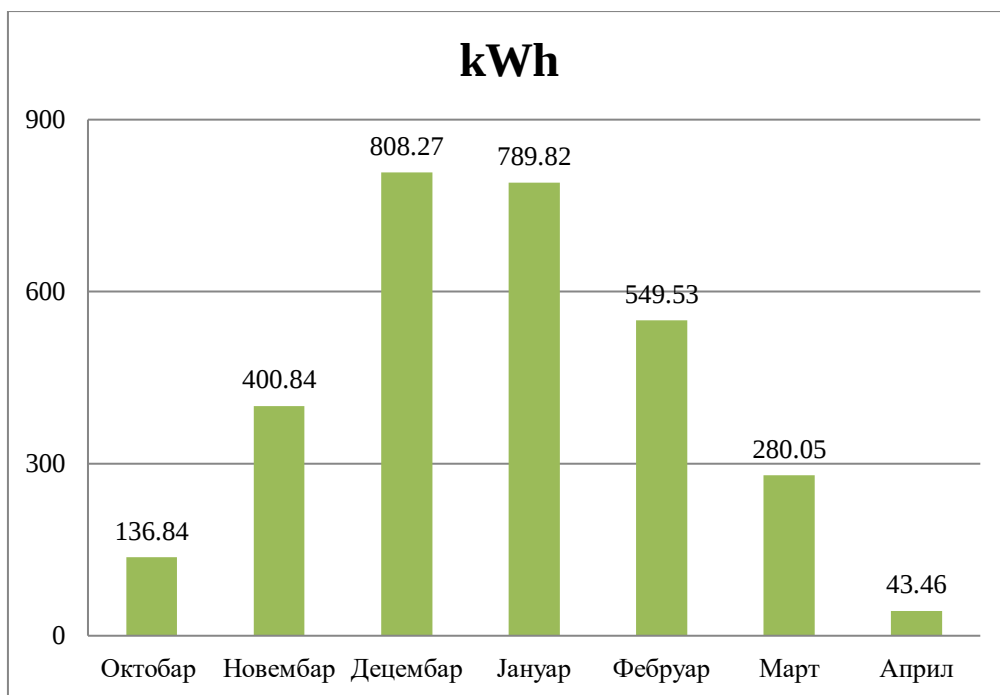


График 4. Потрошња енергије за грејање по месецима

Из табеле 14 се закључује да се највише електричне енергије троши за грејање, а са графика се види да се највише енергије за грејање троши у зимским месецима када је спољашња температура најнижа. Као је већ напоменуто овом приликом врши се и анализа топлотних добитака кроз прозор по зонама, приказаних на графицима 5 и 6.

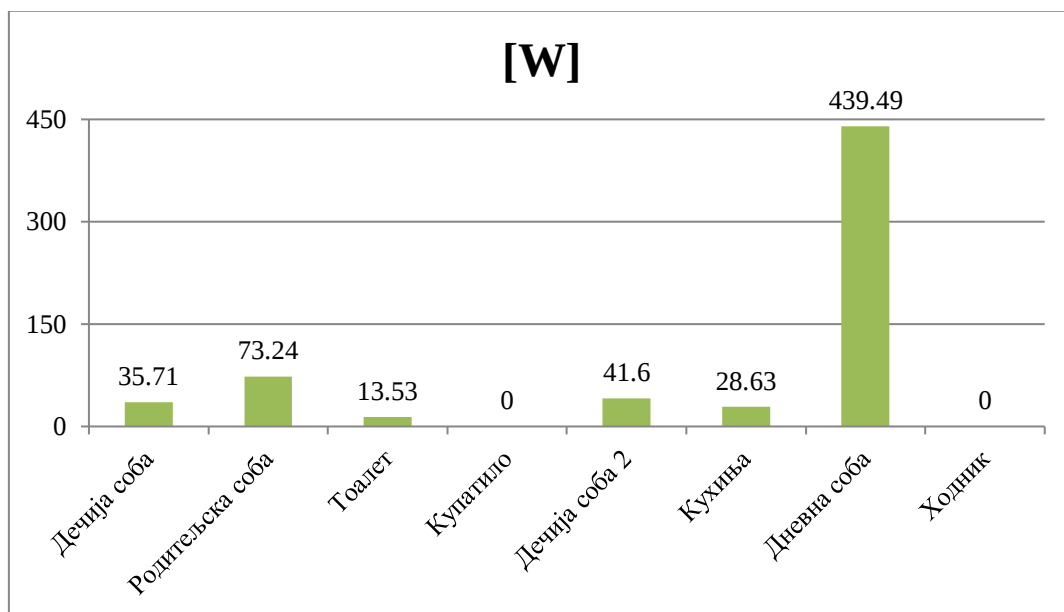


График 5. Соларни добици кроз прозор по зонама

На графику 5 се јасно види да се највећа количина соларних добитака у зони дневне собе, јер је највећи удео стаклених површина, затим у родитељској соби која такође поседује велики стакленик прозор наспрам којег се налази масиван зид. На графику 6 приказани су топлотни губици кроз прозоре по зонама.

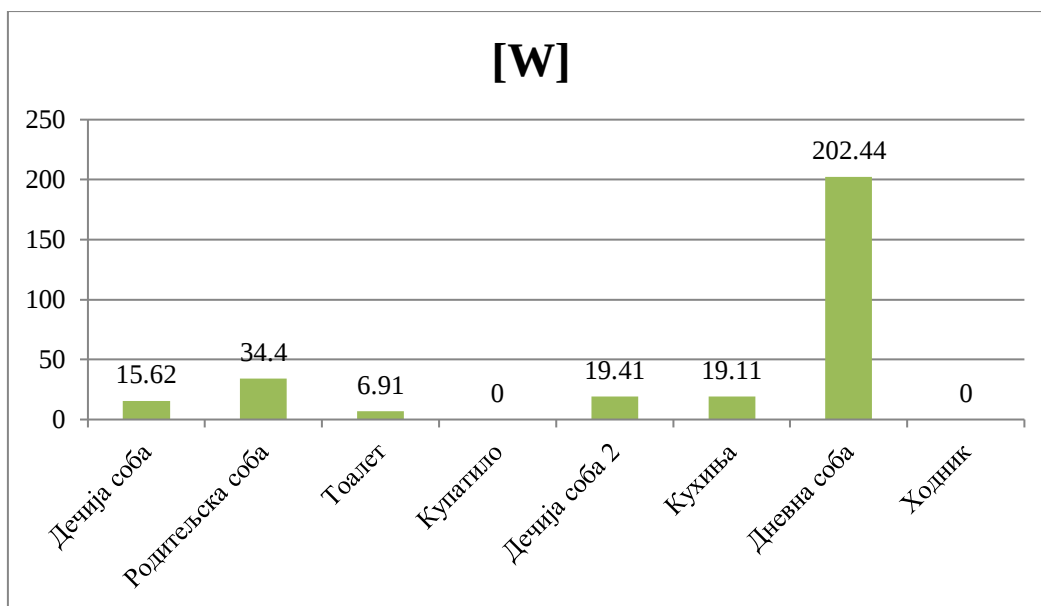


График 6. Топлотни губици кроз прозор по зонама изражени у [W]

Као и на претходном графикуу, највећа количина толотне енергије се управо губи у оним зонама са највећим стакленим површинама. Разлог је тај што прозори имају већи коефицијент топлотног пролаза у односу на зидове. Како је већ споменуто, вентилација објекта због његове површине је природна па се јављају топлотни добици и губици, који су приказани на графицима 7 и 8.

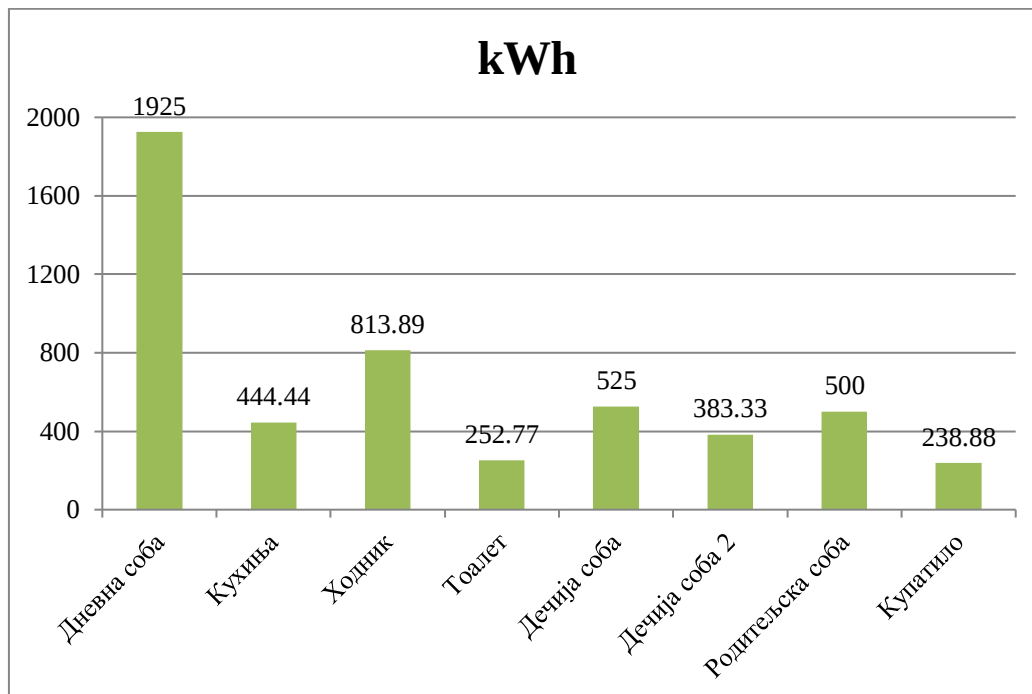


График 7. Укупни топлотни губици кроз вентилацију по зонама

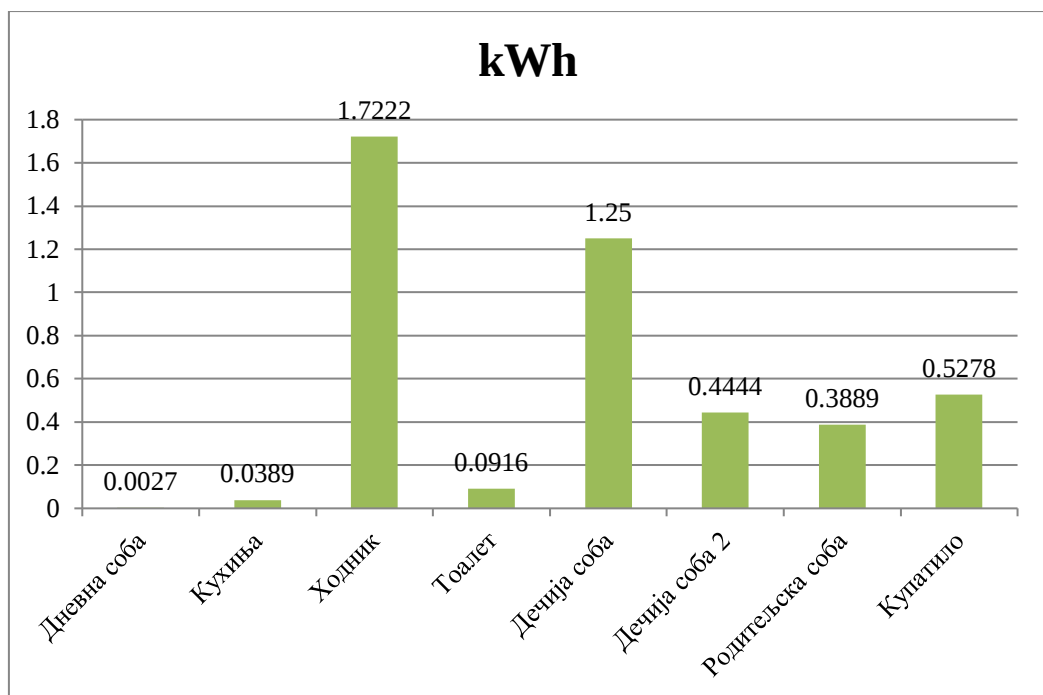


График 8. Укупни топлотни добици кроз вентилацију по зонама

Након добијених резултата уочава се да се највећи губитак топлоте кроз вентилацију јавља у зони дневне собе а затим у ходнику. Најмањи топлотни губици јављају се у купатилу, за њима следе губици у тоалету. Највећи топлотни добици кроз вентилацију јављају се у ходнику, затим у дечијој соби, док се најмањи соларни добици јављају поново у дневној соби.

8.3 II тип куће

Потрошња енергије за грејање, електричне уређаје и расвету биће приказана у табели 15, док ће потрошња електричне енергије за грејање по месецима бити приказана на графику 9 за други тип анализиране куће.

Табела 15. Потрошња електричне енергије за други тип куће

Грејање	10,48 GJ
	2911,11 kWh
Расвета	0,54 GJ
	150 kWh
Електрична опрема	3,83 GJ
	1063,89 kWh
Укупно	14,85 GJ
	4125 kWh

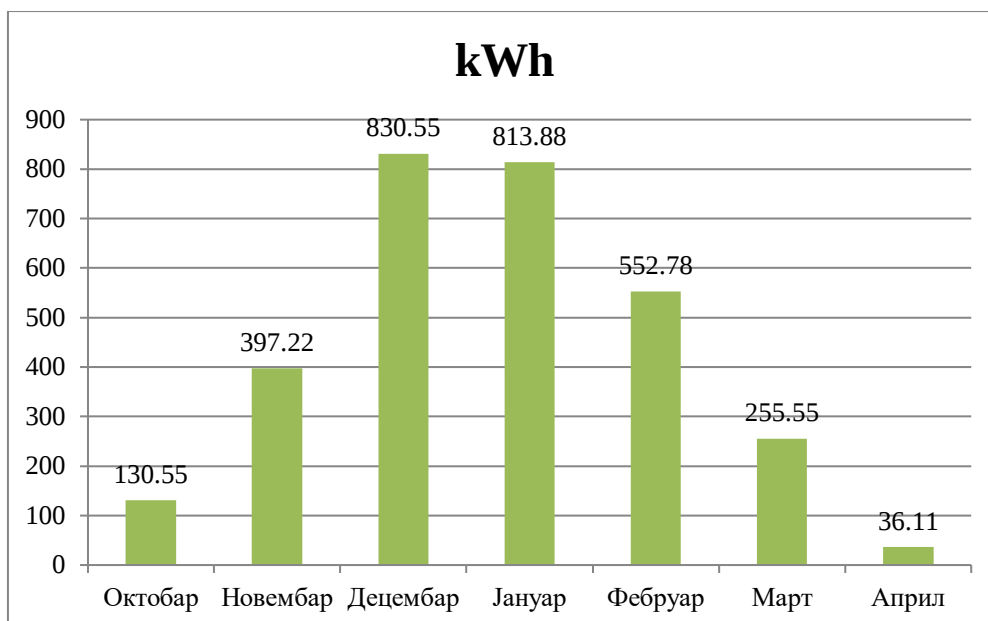


График 9. Потрошња електричне енергије за грејање по месецима

Као и код претходног објекта, највећа количина енергије за грејање се јавља током најхладнијих месеци – децембар и јануар. И код овог типа су разматрани топлотни добици и губици кроз прозоре, те су и у овом случају такође су рачунати соларни добици кроз прозоре по зонама (график 10) и топлотни губити кроз прозоре по зонама (график 11)

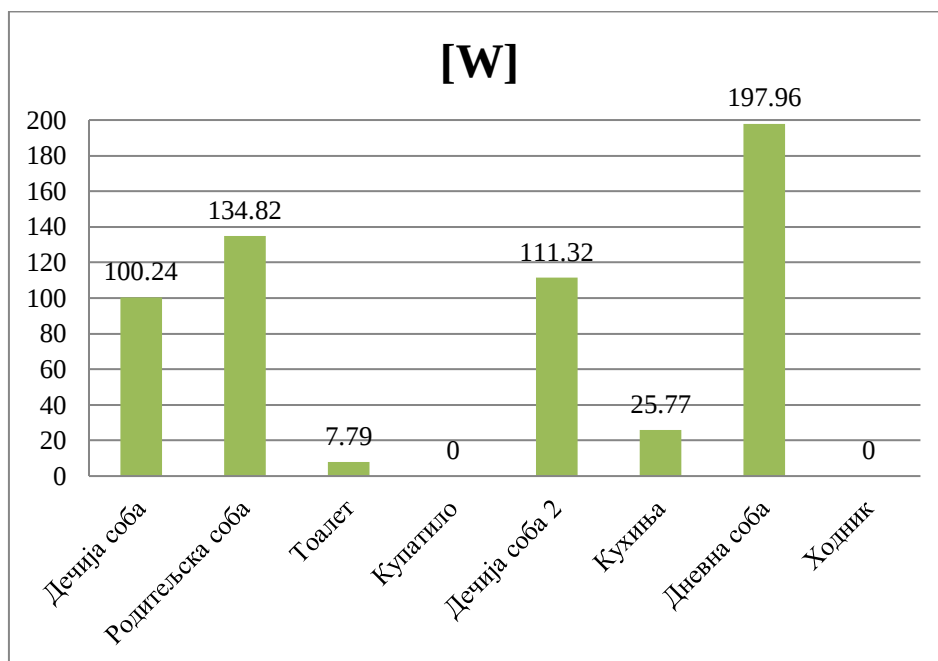


График 10. Топлотни губици кроз прозор по зонама изражени у [W]

Са графика 10 се закључује да се највећи топлотни губици јављају на јужно оријентисаној фасади, јер на тој страни објекта налази највећи број прозора велике површине. Логично је било да се највећи губици јаве управо у зони дневне собе, јер

поседује прозоре на источној и јужној страни објекта. Затим следи родитељска соба, са нешто мањом површином прозора и мањим губицима, док се у зонама купатила и ходника не јављају губици, јер нема прозора.

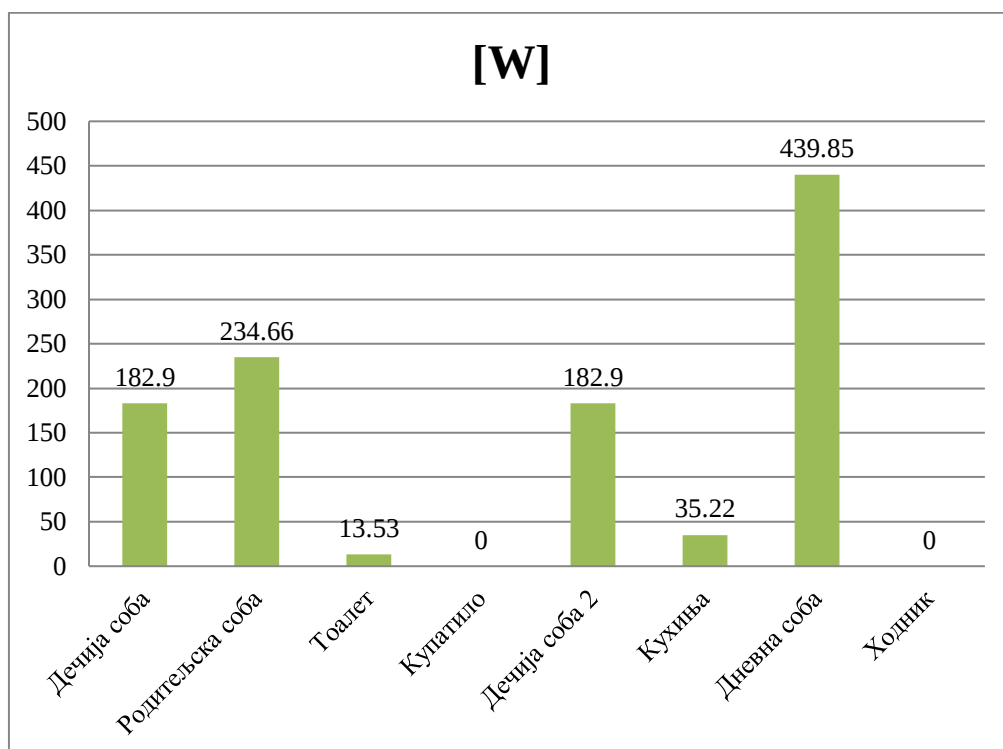


График 11. Соларни добици кроз прозор по зонама

Као и код соларних губитака, за очекивати је да се у зони дневне собе јави највећа количина соларних добитака кроз прозор. Из истог разлога као код претходног графика, родитељска соба има нешто мање соларних добитака, док се код купатила и ходника не јављају топлотни добици. Графицима 12 и 13 приказани су укупни соларни добици и губици кроз вентилацију, која је као и претходном случају природна.

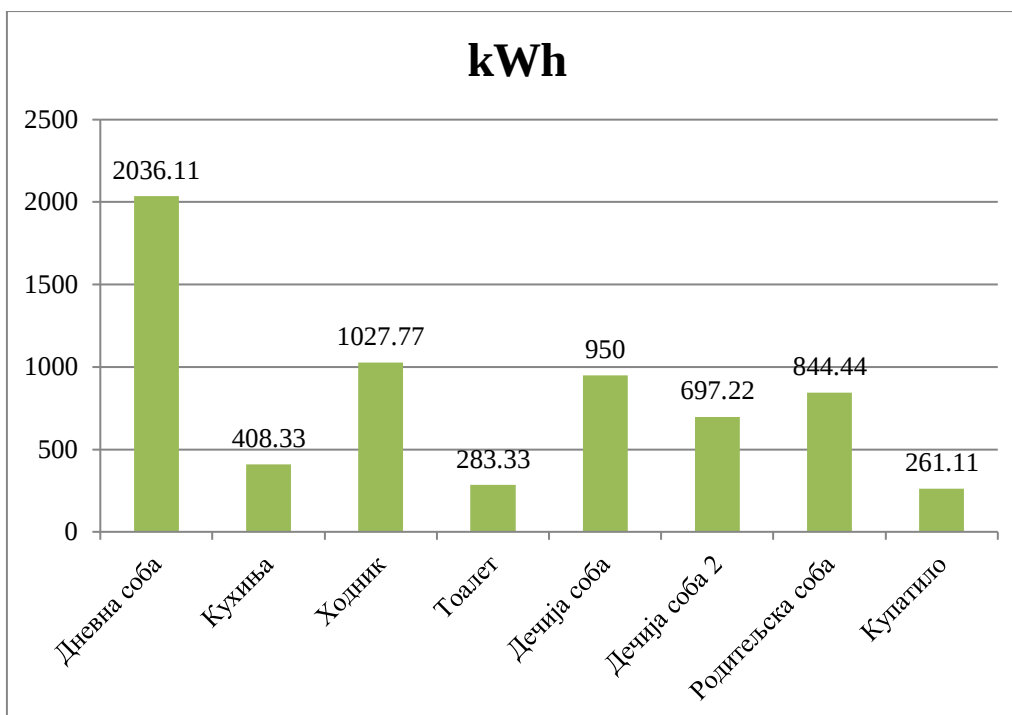


График 12. Укупни топлотни губици кроз вентилацију по зонама

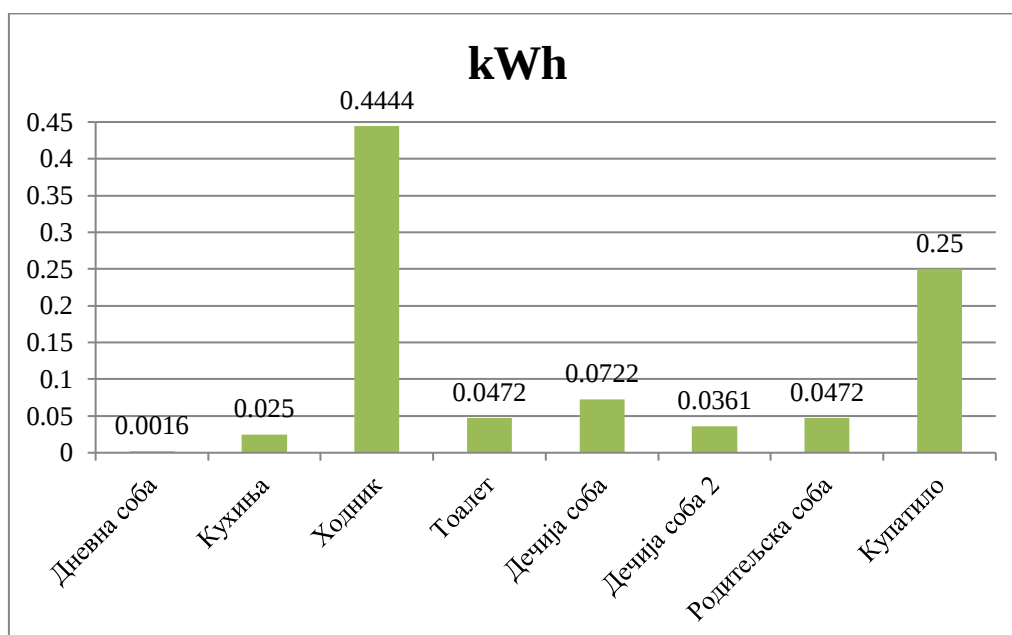


График 13. Укупни топлотни добици кроз вентилацију по зонама

Као и код претходног типа куће највећи губици кроз вентилацију се јављају у дневној соби, након које следи ходник, а најмања количина топлоте се губи у купатилу. Највећи соларни добици кроз вентилацију су у ходнику, а најмањи у дневној соби.

8.4 III тип куће

И на крају, за трећи тип куће потрошња електричне енергија за грејање, електричне уређаје и расвету приказана је у табели 16, а потрошња електричне енергије за грејање по месецима графиком 14.

Табела 16. Потрошња електричне енергије

Грејање	10,16 GJ
	2822,22 kWh
Расвета	0,54 GJ
	150 kWh
Електрична опрема	3,83 GJ
	1063,89 kWh
Укупно	14,53 GJ
	4036,11 kWh

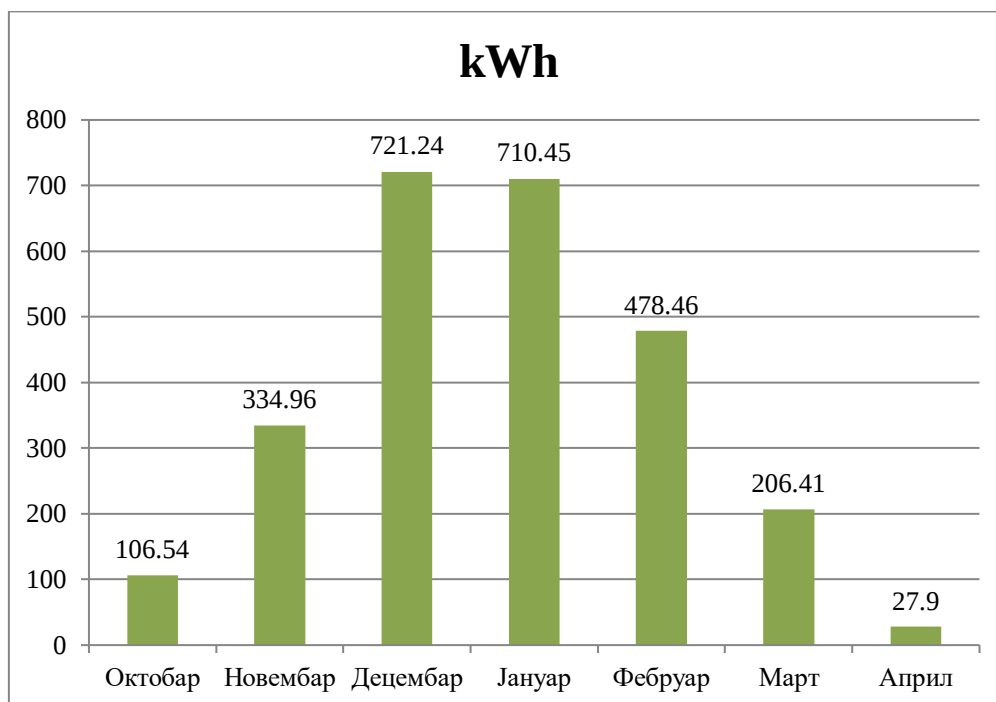


График 14. Потрошња електричне енергије за грејање по месецима

У овом случају нису присутни само соларни добици кроз прозоре већ и кроз зидове стакленика. Као и у претходна два извршена је анализа за топлотне губитке кроз прозоре (график 15) и соларне добитке кроз прозоре по зонама (график 16).

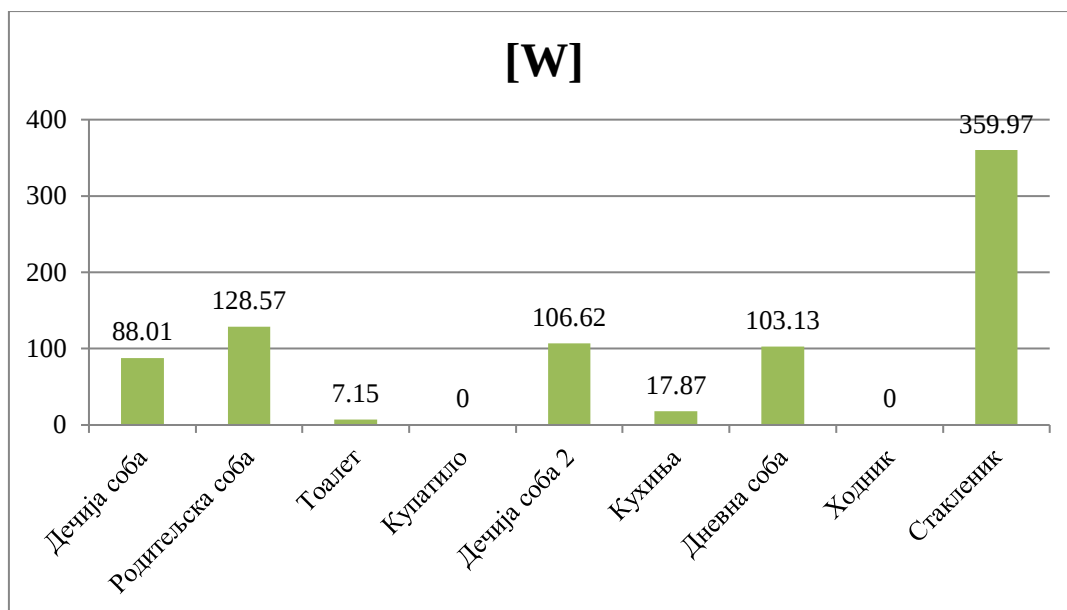


График 15. Топлотни губици кроз прозоре и зидове стакленика по зонама

Логично је да се највећа количина губи управо кроз зидове стакленика, јер се са четири стране налазе велике стаклене површине (график 15). Приметно је да се у овом случају мање енергије губи кроз прозоре родитељске собе, него кроз прозоре дневне собе као код претходног типа куће. То је зато што се на јужни зид дневне собе наслања стакленик, па је губитак кроз јужни прозор дневне собе мањи.

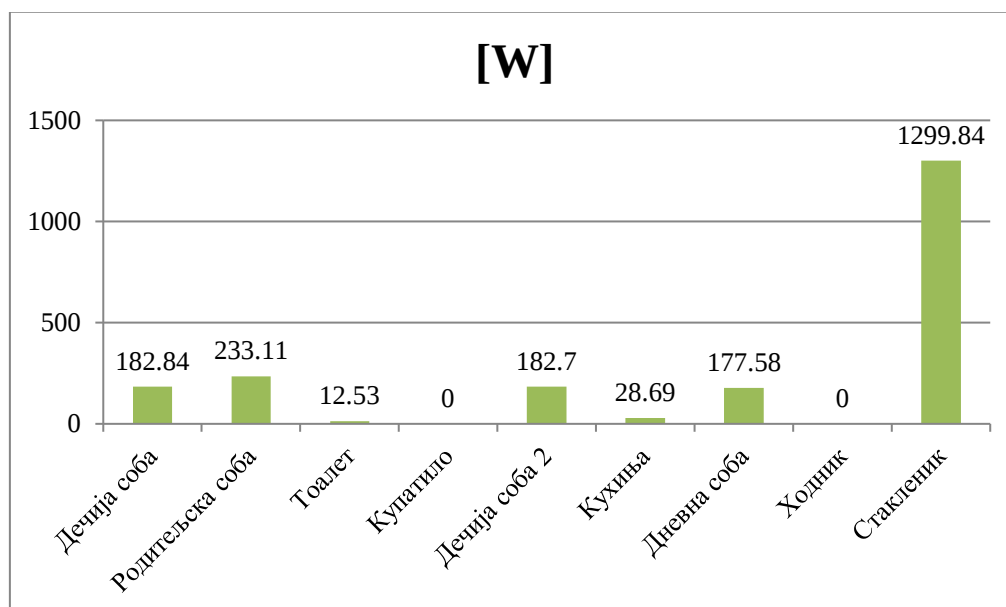


График 16. Соларни добици кроз прозоре по зонама

Највећи топлотни добици су се свакако очекивали у зони стакленика, као што је приказано на графику 16. Стакленик има већу стаклену површину у односу на остале зоне, зато и највећа количина соларне енергије доспе унутар ове зоне, док се најмања количина топлотних добитака јавља у тоалету због површине простора, ако се занемаре купатило и ходник који не поседују прозор.

При природној вентилацији од 0,5 измена на час у свим просторијама, сем дневне собе где је 1, укупни топлотни добици и губици вентилацијом приказани су графицима 17 и 18.

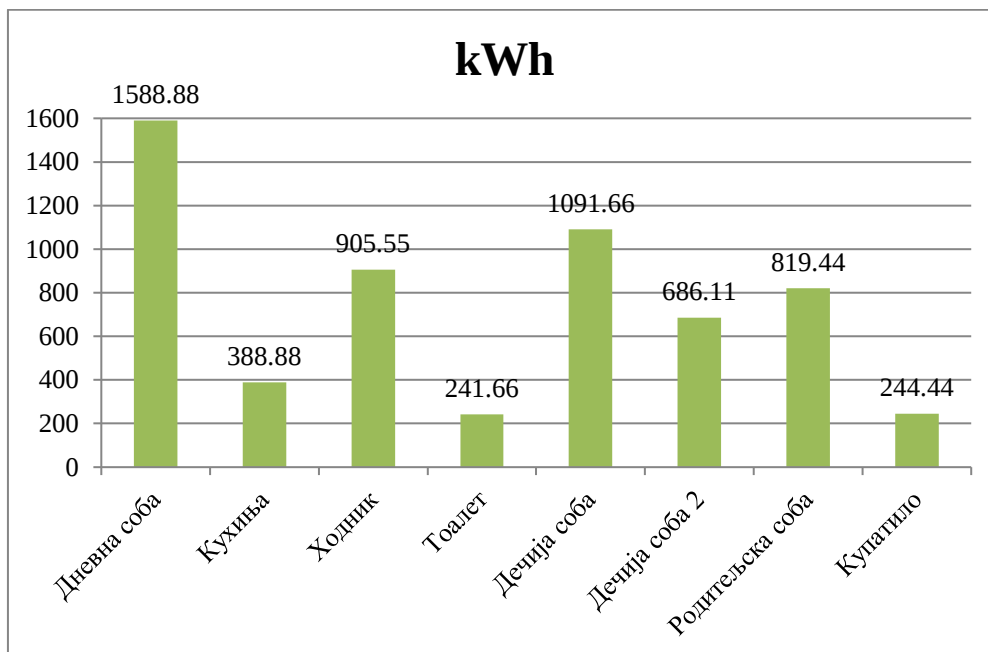


График 17. Укупни топлотни губици кроз вентилацију по зонама

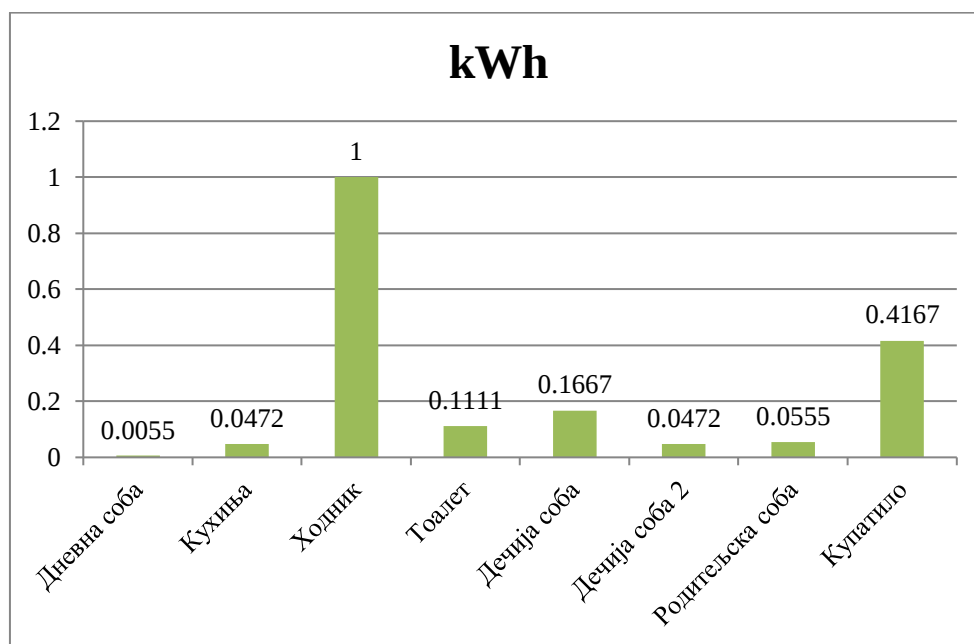


График 18. Укупни топлотни добици кроз вентилацију по зонама

9. Упоредна анализа

Након добијених резултата за сваки од објекта, извршена је упоредна анализа, која ће резултирати дефинисањем објекта који највише штеди енергију. У ово поређење улази и основни објекат са дебљином изолације од 0,150 m док ће се за објекте са принципима пасивне соларне архитектуре извршити међусобна анализа топлотних добитака и губитака кроз прозоре и вентилацију. За почетак ће бити упоређене топлотне потребе за грејање објекта - графику 19 и табела 17.

Табела 17. *Поређење укупне потрошње енергије и енергије за грејање*

Објекат	Грејање Q_h	Укупна потрошња енергије Q_{uk}
Основни модел објекта (изолациони слој 0,150 m)	28,25 GJ	32,63 GJ
	7847,22 kWh	9064,67 kWh
I тип пасивне соларне куће	10,83 GJ	15,20 GJ
	3008,81 kWh	4222,7 kWh
II тип пасивне соларне куће	10,48 GJ	14,85 GJ
	2911,11 kWh	4125 kWh
III тип пасивне соларне куће	10,16 GJ	14,53 GJ
	2822,22 kWh	4036,11 kWh

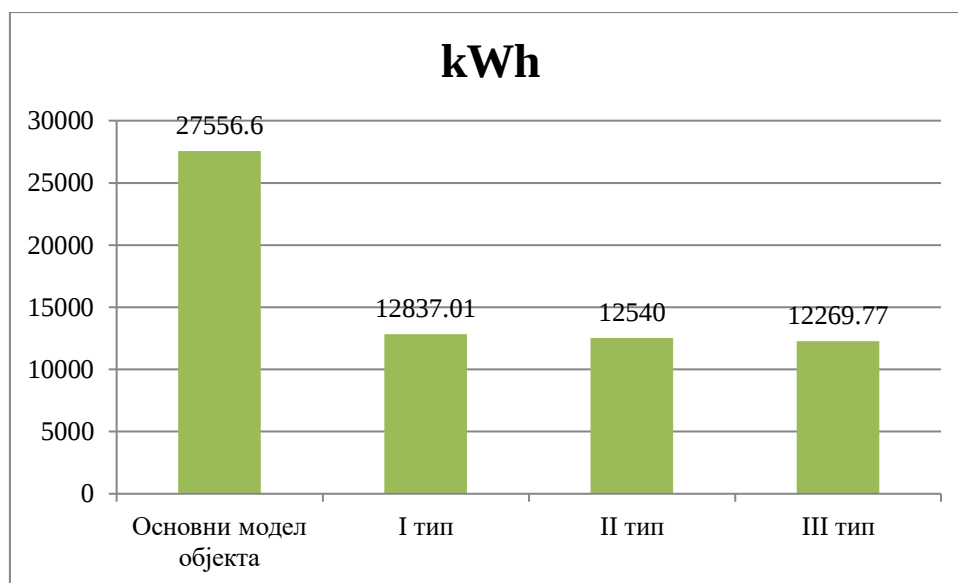


График 19. *Промена потрошње за грејање објекта*

Са графика 19 се закључује да је најнеповољнији случај по питању потребне енергије за грејање основни модел са дебљином изолационог слоја од 0,150 m, док је најповољнији случај трећи тип куће која у свом саставу има стакленик. Када се

потрошња енергије за грејање помножи са коефицијентом конверзије за електричну енергију ($\kappa=3,04$), добије се количина примарне енергије потребне за грејање објеката. У табели 18 приказана је потрошња примарне енергије док је на графику 20 упоређена потрошња примарне енергије за сваки од објеката.

Табела 18. Потрошња примарне енергије

	Основни модел објекта	I типм пасивног соларног објекта	II тип пасивног соларног објекта	III тип пасивног соларног објекта
	32,63 GJ	15,20 GJ	14,85 GJ	14,53 GJ
Q_{uk}	9064,67 kWh	4222,7 kWh	4125 kWh	4036,11 kWh
	99,20 GJ	46,21 GJ	45,14 GJ	44,17 GJ
Q_{prim}(Q_{uk}*κ)	27556,6 kWh	12837,01 kWh	12540 kWh	12269,77 kWh

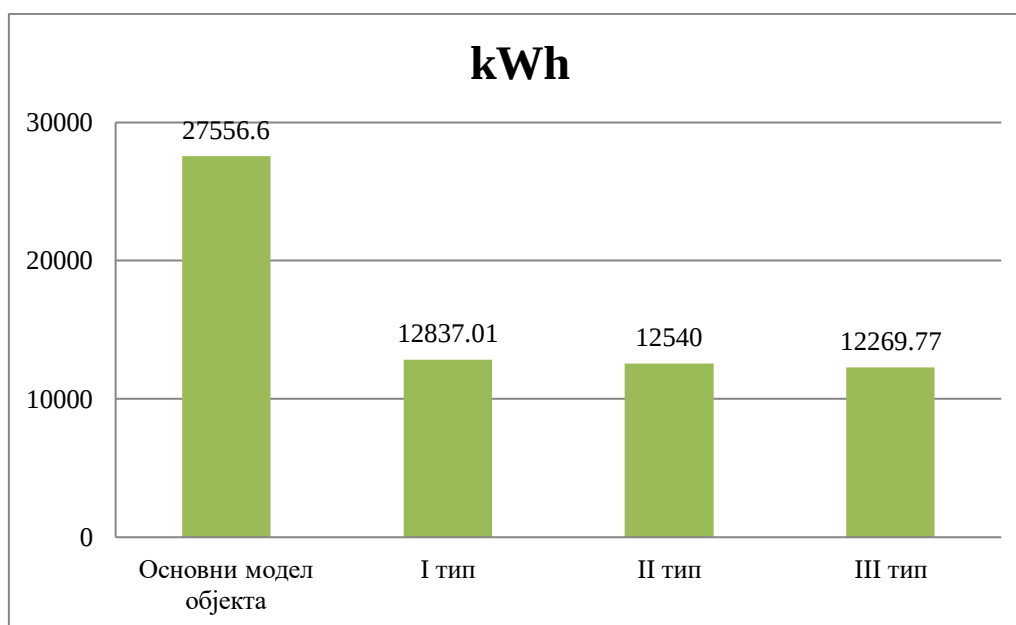


График 20. Потрошње примарне енергије за анализиране објекте

Дељењем потрошње енергије за грејање у анализираним објектима са површином 108,28 m², добија се потрошња примарне енергије по m² грејаног простора (табела 19).

Табела 19. Потрошња енергије за грејање по метру квадратном

	Основни модел објекта	I типм пасивног соларног објекта	II тип пасивног соларног објекта	III тип пасивног соларног објекта
Q_h [kWh]	7847,22	3008,81	2911,11	2822,22
Q_h/m² [kWh/m²]	72,47	27,79	26,88	26,06

Према правилнику у Србији, енергетски разред објекта одређује се према специфичној потрошњи енергије за грејање. Енергетски разред је неизоставан податак приликом

идавања енергетског пасоша. Енергетским пасошем се згради додељује енергетски разред у опсегу од A⁺ (најефикаснији) до G (најнеефикаснији) и има важност 10 година. У овом случају извршена је процена енергетског разреда када основни модел објекта са изолацијом од 0,150 m пређе на најповољнији тип пасивне соларне куће, у овом случају је то трећи тип. У табели 20 црвеном бојом приказан је енергетски разред основног модела објекта док је зеленом бојом обележен енергетски разред трећег типа пасивног соларног објекта [14].

Табела 20. Енергетски разред анализираних објеката

Стамбени објекат		Нове	Постојеће
Енергетски разред	$Q_{H,nd,rel}$ [%]	$Q_{H,nd}$ [kWh/m ² a]	$Q_{H,nd}$ [kWh/m ² a]
A ⁺	≤15	≤9	≤10
A	≤25	≤15	≤18
B	≤50	≤30	≤35
C	≤100	≤60	≤70
D	≤150	≤90	≤105
E	≤200	≤120	≤140
F	≤250	≤150	≤175
G	>250	>150	>175

На крају, извршено је поређење соларних добитака и губитака кроз прозоре и вентилацију за сва три типа зграде. Основни модел објекта не улази у ово поређење, јер се соларни добици и топлотни губици кроз прозоре и вентилацију у том случају не рачунају, већ само код објеката где је примењен неки од пасивних елемената градње. На графицима 21 и 22 приказани су соларни добици кроз прозоре и топлотни губици кроз прозоре по зонама.

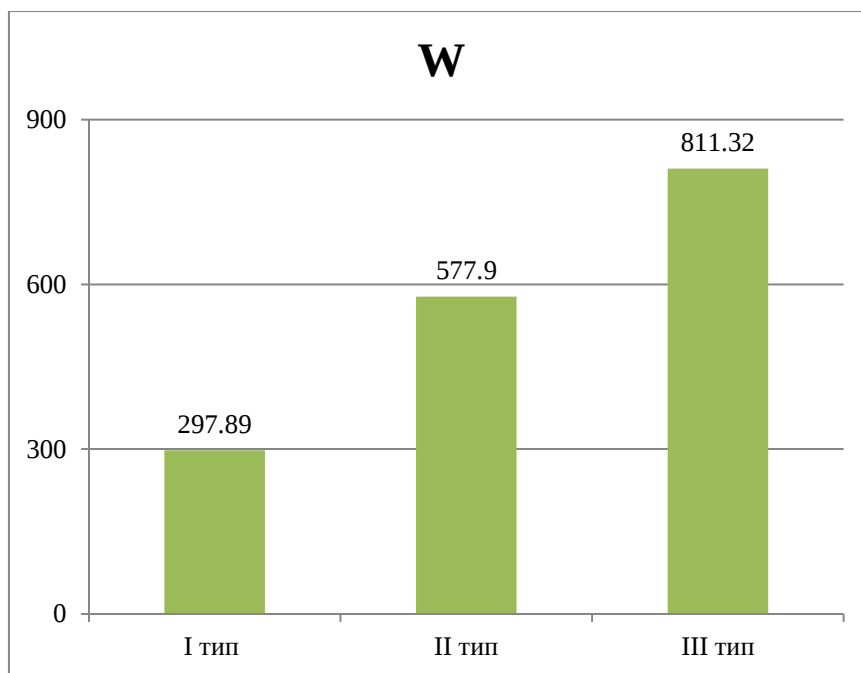


График 21. Соларни добици кроз прозор по зонама

Након поређења соларних добитака кроз прозор, дошло се до закључка да највећу количину соларних добитака добија објекат три (график 21). Разлог томе је, као што је већ напоменуто, присуство стакленика. Соларни добици који се овом приликом добију су за 63% већи него код првог типа објекта, док су соларни добици код другог типа мањи за око 29% у односу на трећи тип објекта.

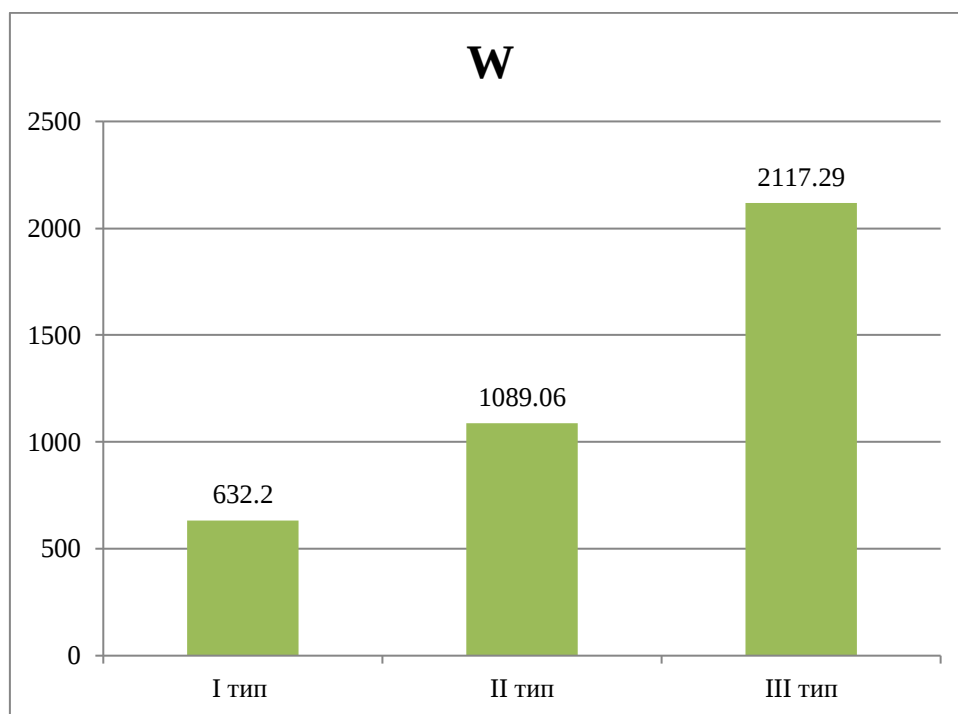


График 22. Топлотни губици кроз прозоре по зонама

Топлотни губици највећи су код трећег типа објекта, јер је највећи удео стаклених површина, док се најмањи број губитака јавља код првог типа (график 22).

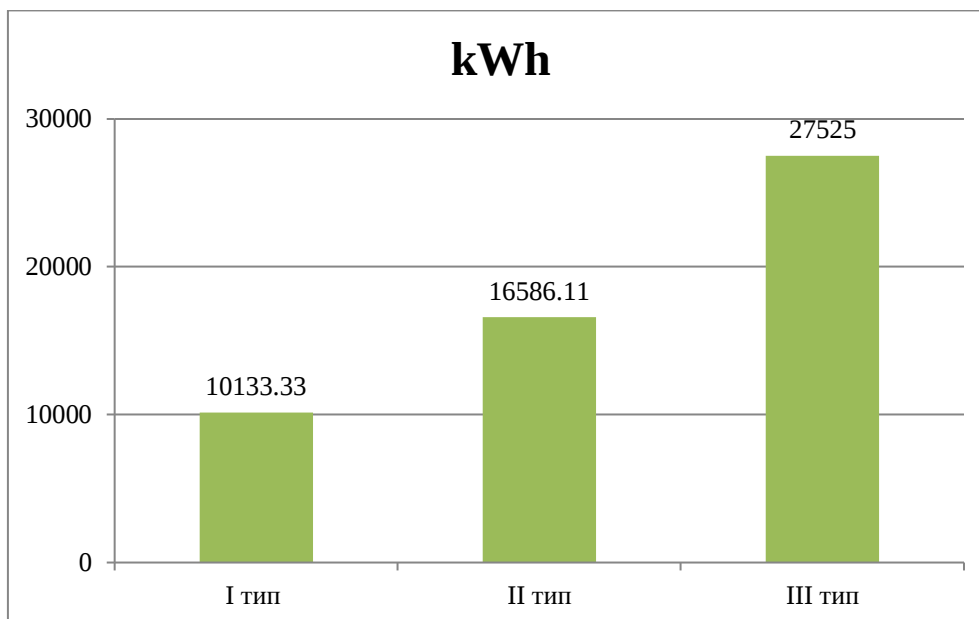


График 23. Топлотни губици кроз вентилацију

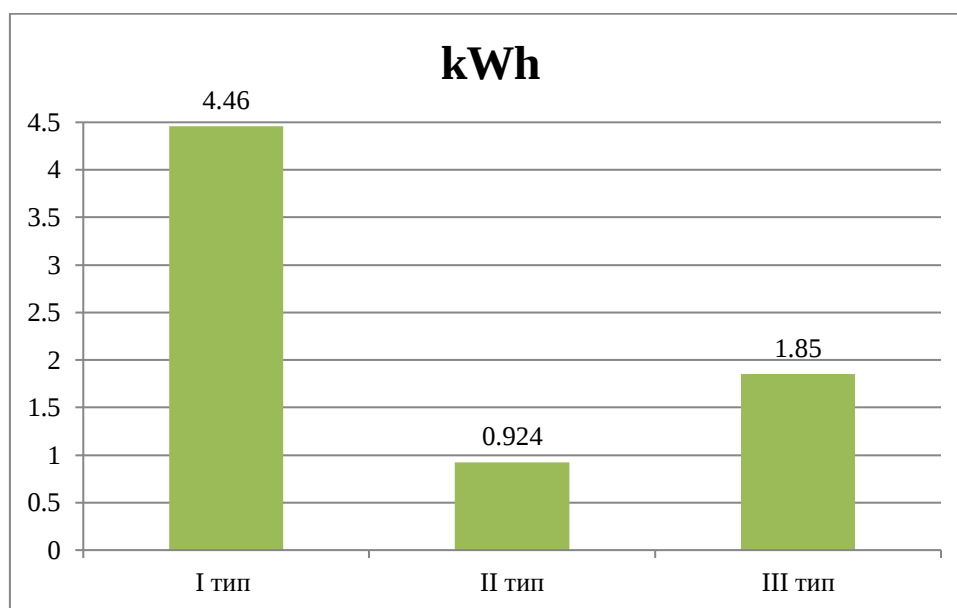


График 24. Топлотни добици кроз вентилацију

Са графика 23 и 24 се закључује да се највећи топлотни губици кроз вентилацију јављају код трећег типа објекта, док су губици топлоте кроз вентилацију код првог објекта мањи за 63%, а затим следи други тип објекта са око 40% мање губитака у односу на трећи тип објекта. Што се тиче укупних соларних добитака кроз вентилацију највећу вредност има објекат I са око 4,46 kWh, затим следи објекат III који има око 58% мање добитака, а након њега следи објекат II који има мање добитака за око 80% у односу на први тип објекта.

10. Закључак

За градњу енергетски ефикасних кућа потребно је, између осталог, искористити што више соларног потенцијала а један од начина је свакако примена пасивне соларне архитектуре. Потребно је нагласити да штедна енергије не мора увек асоцирати на хладне просторије већ постоји начин да простор буде топао и да се штеди енергија. Зато стандард пасиване соларне градње подразумева покушај смањења количине енергије за грејање ради очувања околине.

У овом раду, након извршене анализе енергетских потреба моделираног објекта коришћењем софтвера Energy plus долази се до закључка да са повећањем изолације спољашњег зида смањује потребна количина енергије за грејање, што је и логично.

Такође је показано да се применом само неких од елемената пасивне градње на објект традиционалног система градње уштеди и до 50% енергије потребне за грејање. Ово не утиче само на смањење трошкова за грејање већ утиче и на смањење количине ресурса потребних у те сврхе, као и смањење количине емитованог CO₂.

Данас је неопходно да се ниво енергетских потреба неког објекта смањи што је више могуће, јер је већина фосилних ресурса већ при крају а планета због загађујућих честица постаје све горе окружење за живот. Настоји се да се број објеката пасивне соларне архитектуре што више повећа, јер им је предност вишеструка. Како није потребна додатна технологија, ова врста соларних система може се применити и у условима где традиционалан начин градње не би функционисао.

Потребно је посебно нагласити да анализирани објекти нису објекти пасивне соларне архитектуре, јер због потрошње енергије за грејање, као и укупне годишње порошње финалне и примарне енергије не задовољавају услове прописане стандардом. Циљ овог рада је био унапређење енергетских ефикасности објеката традиционалне градње, применом неких од система пасивне соларне архитектуре, чиме се доказало да се могу постићи веома значајне уштеде.

11. Литература

- [1] Ж. Штрбац, Енергетска ефикасност зграда – Енергетска сертификација, Дипломски рад, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2011
- [2] N. Schlager, J. Weisblatt, Alternative Energy, Thomson Gale, a part of the Thomson Corporation, 2006
- [3] H. Park, C. Andrews, City Planning and Energy Use, Rutgers University, New Brunswick, New Jersey, United States, 2014
- [4] Bilgic S., Passive Solar Design Strategies for Buildings: A case study on Improvement of an existing Residential building's Thermal Performance by Passive Solar Design Tools, Izmir Institute of Technology, Izmir, Turkey, 2003
- [5] Passive design, интернет адреса, http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/09-10/Hybrid_systems/passivedesign.pdf, посећен 22.10.2018.
- [6] S. Piraccini, K. Fabbri, Building a Passive House, Cesena, Italy, 2018
- [7] H. Omrany, A. K. Marsono, Optimization of Building Energy Performance through Passive Design Strategies, British Journal of Applied Science & Technology 13 (6), 2016, p. 1-16
- [8] М. Томашек, Организација грађења пасивне куће, Дипломски рад, Универзитет у Заребу, Геотехнички факултет, Вараждин, 2017
- [9] B. Donald, J. C. Corner, A. Fillinger, G. Kwok, Passive House Details, Routledge 711 Third Avenue, New York, NY, 2018
- [10] Соларне еколошке земунице домаћег проналазача, интернет адреса, <https://www.gradnja.rs/solarne-ekoloske-zemunice-domaceg-pronalazaca>, посећена 18.10.2018.
- [11] Sketch up, Интернет адреса, <https://www.sketchup.com/products/sketchup-pro> посећена 29.09.2018.
- [12] Energy plus, Интернет адреса, <https://energyplus.net/> посећена 29.09.2018.
- [13] OpenStudio, Интернет адреса, <https://www.openstudio.net/> посећена 29.09.2018.
- [14] Енергетски разред објекта, интернет адреса, <http://stanovanje.gov.rs/doc/energetska-efikasnost/Prirucnici/Prirucnik%20za%20energetsku%20sertifikaciju%20zgrada.pdf>, посећена 20.10.2018.