

**Факултет инжењерских наука
Универзитет у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Термоенергетски уређаји и постројења

Број индекса: 412/2014

Марко М. Николић

**Потрошња енергије за грејање домаћинства у зависности од изолације
и положаја крова**

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. Свом ментору, проф. др Небојши Лукићу захваљујем се на предложеној теми овог мастер рада, која је за мене била веома интересантна и инспиративна, такође дугујем захвалност на свесрдној помоћи, саветима и разумевању, које ми је пружио 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, сестри и брату 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.

Новембар, 2016. године
Крагујевац

Марко Николић

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да проучи препоручену, као и ширу литературу, и да објасни утицај изолације и положаја крова 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 кровне изолације и променом кровне конструкције као што су: кров на једну воду, кров на две воде, кров на четири воде и кров на једну воду са три различита нагиба. Кандидат је у обавези да упореди ове врсте кровних конструкција у прелазним периодима и да на основу добијених прорачуна губитака топлоте и вредности уштеде енергије прикаже табеларно и у виду дијаграма најефикаснији положај крова и уштеде енергије објекта.

Препоручена литература:

- [1] Слободан Зрнић, Живојин Ђулум, 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, 20.10. 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 кровне изолације и положаја крова. Извршене су симулације за одабрани објекат са три различита положаја крова (кров на једну воду, кров на две воде и кров на четири воде), извршена је симулација за случај где је највећа површина крова код сва три положаја крова окренута ка југу и случај где је највећа површина крова окренута ка северу (ова два случаја су различита само код крова на једну воду) и извршене су симулације за одабрани објекат са кровом на једну воду са три различита нагиба крова, са и без изолације крова. Такође је упоређена разлика између ових положаја кровних конструкција, као и разлика температура када под на тавану није изолован и када под на тавану јесте изолован током различитих временских периода.

Објекат који се симулира у овом раду је двоспратна кућа са приземљем површине 240 m².

Кључне речи: енергетска ефикасност, EnergyPlus, изолација, кров, температуре

ABSTRACT

Energy efficiency involves a series of measures that we take 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 study 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 roof insulation and roof position. Simulations were performed for the selected object with three different positions of the roof (the roof on a ladder, a roof to two waters and hipped roof), simulation was made for the case where the largest surface area of the roof at all three positions of the roof facing south and a case where the largest surface area of the roof facing north (the two cases are different only at the roof on a ladder), and simulations were performed for the selected object with a roof on a ladder with three different roof pitches, with and without insulation of the roof. It is also compared the difference between these positions of roof structures, as well as the temperature difference when under the attic is not insulated and when under the attic is insulated during different periods of time.

The object, which is simulated in this study is two-story house with ground floor area of 240 m².

Keywords: energy efficiency, EnergyPlus, insulation, roof, temperature

Садржај

1	УВОД	8
2	СОФТВЕРИ	9
2.1	Google SketchUp.....	9
2.2	EnergyPlus.....	10
3	ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ	12
3.1	Енергетска ефикасност у домаћинствима	12
3.1.1	Оцена ефикасности потрошње енергије у домаћинствима.....	12
3.2	Термоизолација.....	14
3.2.1	Материјали.....	14
3.2.1.1	Стиропор	15
3.2.1.2	Минерална вуна.....	16
4	ОПИС СТАМБЕНОГ ОБЈЕКТА	18
4.1	Физички опис објекта.....	18
4.2	Материјали објекта.....	22
4.3	Конструкције.....	23
4.4	Расвета	24
4.5	Људи.....	26
4.6	Грејна тела и пројектоване температуре	27
4.7	Електрични уређаји	28
4.8	Инфилтрација.....	29
5	АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА	31
5.1	Резултати симулације куће са кровом на једну воду окренутог ка југу са нагибом ($\alpha=18^\circ$).....	33
5.2	Резултати симулације куће са кровом на једну воду окренутог ка северу са нагибом ($\alpha=18^\circ$)	35
5.3	Резултати симулације куће са кровом на две воде где је једна од косих страна крова окренута ка југу са нагибом ($\alpha=32^\circ$)	37
5.4	Резултати симулације куће са кровом на четири воде где је једна од већих косих страна крова окренута ка југу са нагибом ($\alpha=32^\circ$)	39
5.5	Резултати симулације куће са кровом на једну воду окренутог ка југу са најмањим нагибом крова ($\alpha=11^\circ$).....	41
5.6	Резултати симулације куће са кровом на једну воду окренутог ка југу са највећим нагибом крова ($\alpha=24^\circ$).....	43

5.7 Упоређивање добијених резултата	45
6 ЗАКЉУЧАК	52
ЛИТЕРАТУРА	54

1 УВОД

Уштеда енергије у стамбеним објектима данас је један од главних светских трендова. Разлог томе је што подаци из различитих извора говоре да потрошња енергије у домаћинствима обухвата од 20 - 40% од укупне потрошње енергије. Власници стамбених објеката могу достићи уштеду у енергији до 30%, или више, при чему повећавају или одржавају ниво удобности објекта, а истовремено постижу да они буду енергетски ефикаснији [1].

Из разлога повећања енергетске ефикасности у фази пројектовања се користе разни програмски пакети да би се извршиле симулације и увидела потрошња, као и да ли је исплатива инвестиција након предузетих одређених мера за смањење потрошње енергије. У овом раду користе се програмски пакети Google SketchUp за моделирање објеката и EnergyPlus који има могућност да симулира термичку функцију објекта у условима приближним реалним.

Због ниске цене струје у Србији рађене су симулације за електрично грејање. Инсталација овог грејања не захтева велике финансијске издатке. Може да се инсталира у новоизграђеним објектима или за догрејавање у постојећим просторијама. Предност оваквог грејања је јер нуди брзо, удобно грејање, као и једноставно руковање.

Вршене су симулације за различите конструкције крова, као што су кров на једну воду, кров на две воде и кров на четири воде, као и кров на једну воду са различитим нагибима. Основни циљ оваквих симулација је упоређивање потрошње електричне енергије за грејање током сезоне као и понашање и потрошња ових конструкција у различитим временским периодима.

Приказана је и промена потрошње електричне енергије за грејање током различитих временских периода са уградњом кровне изолације, за све конструкције крова.

2 СОФТВЕРИ

Данас софтвери представљају кључ успеха већине рачунарских система и уједно фактор диференцијације организација које их поседују. Софтвер је постао битна компонента у пословном одлучивању и основа у научним истраживањима и инжењерском решавању проблема. Он такође представља значајну компоненту у индустријским, транспортним, медицинским, телекомуникационим, војним и бројним другим врстама система. У савременом свету софтвери су практично неизбежни и свуда присутани.

У овом раду су коришћени, као што је раније поменуто, следећи софтвери: Google SketchUp и EnergyPlus.

2.1 Google SketchUp

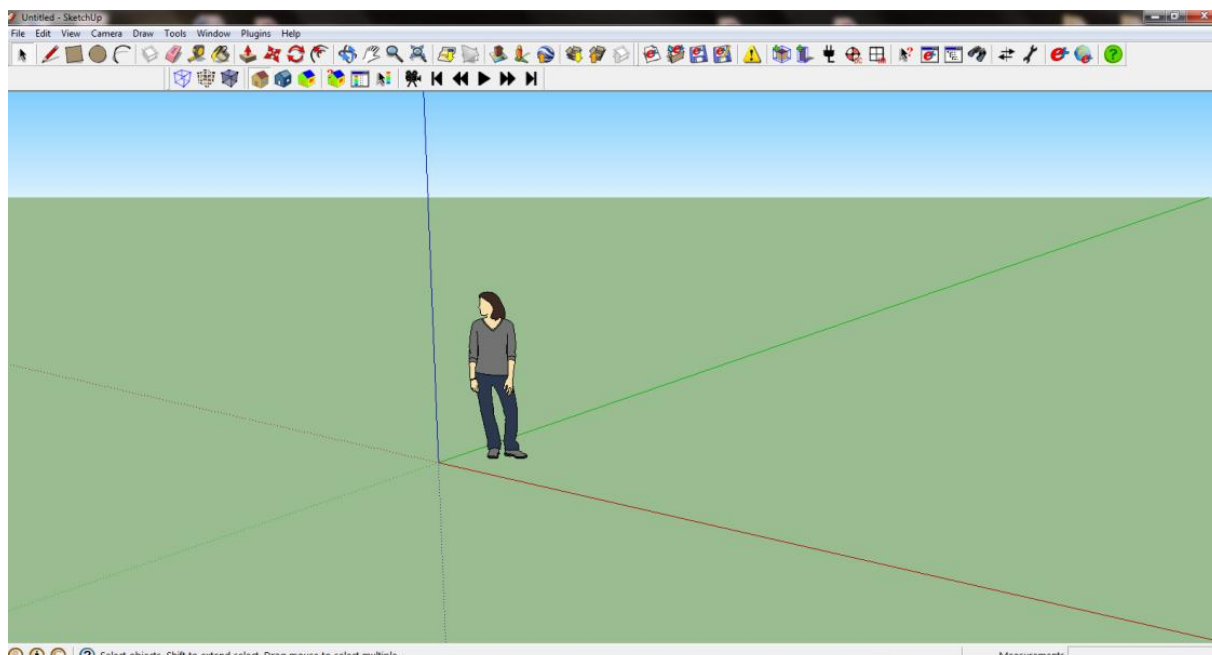
Google SketchUp (слика 1) је програм за 3D моделирање (предмета, зграда,...). Намењен за архитекте, грађевинске инжењере, режисере, креаторе игрица и сличним професијама. Програм је предвиђен да буде што флексибилнији и лакши за употребу од других CAD програма за 3D компјутерски дизајн.

Google SketchUp 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 "tending" у променљивим "стиловима", подржава програме треће стране "plug-in" који пружају друге могућности.

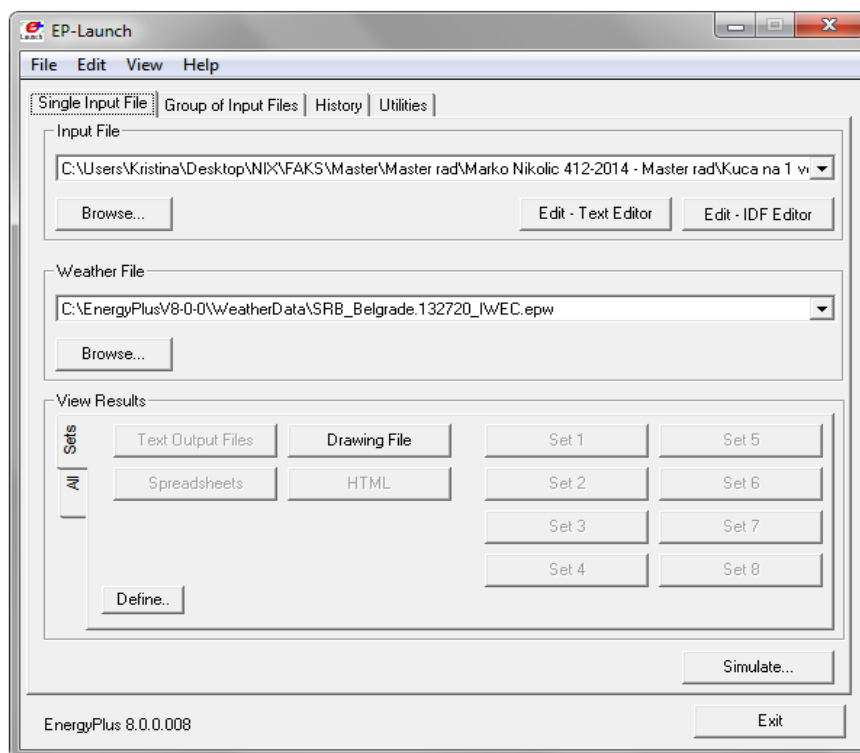
Употребом посебног plug-ina омогућава се коришћење овог програма у EnergyPlus окружењу, што је битно за овај рад.



Слика 1. Радно окружење Google SketchUp-а са потребним алатима

2.2 EnergyPlus

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



Слика 2. Радно окружење EnergyPlus-а

EnergyPlus (слика 2) 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.

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 корисниковој 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 [2].

3 ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ

3.1 Енергетска ефикасност у домаћинствима

Под појмом енергетска ефикасност подразумевамо ефикасну употребу енергије у свим секторима крајње потрошње енергије: индустрија, саобраћај и зградарство. Важно је истаћи да се енергетска ефикасност никако не сме посматрати као штедња енергије. Наиме, штедња увек подразумева одређена одрицања, док ефикасна употреба енергије никада не нарушава услове рада и живљења. Даље, побољшање ефикасности потрошње енергије не подразумева само примену техничких решења? Штавише, свака технологија и техничка опрема, без обзира колико ефикасна била, губи то своје својство уколико не постоје едуковани људи који се њоме знају служити на најефикаснији могући начин. Према томе, може се рећи да се енергетска ефикасност односи на свест људи и њиховој вољи за променом устаљених навика према енергетски ефикасним решењима. Стога је и приликом давања препоруке за побољшање енергетске ефикасности најпре потребно размотрити навике потрошача и усмерити их ка с(а)веснијим изборима. Такве су мере бесплатне, а заиста могу донети значајне уштеде. Тек када је ниво свести потрошача о потреби ефикасне употребе енергије развијена, потребно је потрошача усмерити на нове, техничке мере за смањење потрошње енергије, о чијој примени се одлучује на темељу њихове исплативости, а чиме ће се уз енергетску постићи и економска исплативост [3].

3.1.1 Оцена ефикасности потрошње енергије у домаћинствима

У укупну потрошњу енергије укључује се и потрошња енергије за припрему топле воде, кување и за разне електричне уређаје и расвету.

На слици 3 је приказана процентуална расподела потрошње финалне енергије у домаћинствима у Србији.



Слика 3. Процентуална расподела потрошње финалне енергије у домаћинствима у Србији

Са слике 3 видимо да се највећи део финалне енергије троши за грејање 62%, на топлу воду се троши 11%, на кухињске апарате 12% и на осветљење и остале уређаје се троши 15% од укупне финалне енергије.

За одређивање ефикасности потрошње енергије у домаћинству користи се индикатор енергетске ефикасности – годишња потрошња енергије по корисној јединици грејане површине.

Овај индикатор се користи за:

- оцену ефикасности потрошње енергије у постојећим зградама, узимајући у обзир стање њиховог омотача, ефикасност техничких система и навика корисника/станара,
- мониторинг и оцену резултата реализованих мера енергетске ефикасности,
- упоредне анализе са другим објектима исте намене,
- оцену будућих енергетских потреба нових грађевина приликом њиховог пројектовања.

Енергетска карактеристика означава се са E и изражава се јединицом kWh/m^2 годишње:

$$E = \frac{Q}{A_{gr}} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{god}} \right] \quad (3.1.1.1)$$

Енергетска карактеристика зграде одређује се као збир свих енергетских бројева појединих система зграде: енергетски број E_{GR} за грејање простора, E_{PTV} за припрему топле воде и E_O за осталу техничку опрему попут расвете, електричних уређаја, кување и др.

Укупни енергетски број је једнак:

$$E = E_{GR} + E_{PTV} + E_O \quad (3.1.1.2)$$

Најчешће се користи само енергетски број за грејање простора који служи и за оцену енергетске ефикасности зграде. Европске вредности енергетског броја за грејање и одговарајућа оцена енергетске ефикасности зграде дате су у табели 1.

Табела 1. Оцена ефикасности потрошње топлотне енергије у згради

Класа	Енергетски број за грејање E_{GR} ($\text{kWh/m}^2 \text{god}$)	Коментар
A	0 - 30	најбоља енергетска ефикасност
B	31 - 50	висока енергетска ефикасност
C	51 - 70	енергетски ефикасна зграда
D	71 - 120	просечна зграда
E	121 - 160	незадовољавајућа енергетска ефикасност
F	161 - 200	енергетски неефикасна зграда
G	201	потпуно енергетски неефикасна зграда

3.2 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 [4].

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.

3.2.1 Материјали

Од првих корака човека на Земљи до данас, људи су тражили и примењивали различите природне материјале како би боравак у својим стаништима учинили пријатнијим. У једном периоду су то били материјали биљног порекла попут сламе, трске, грања, а потом и материјали веће густине – земља тј. блато, глина, камен...

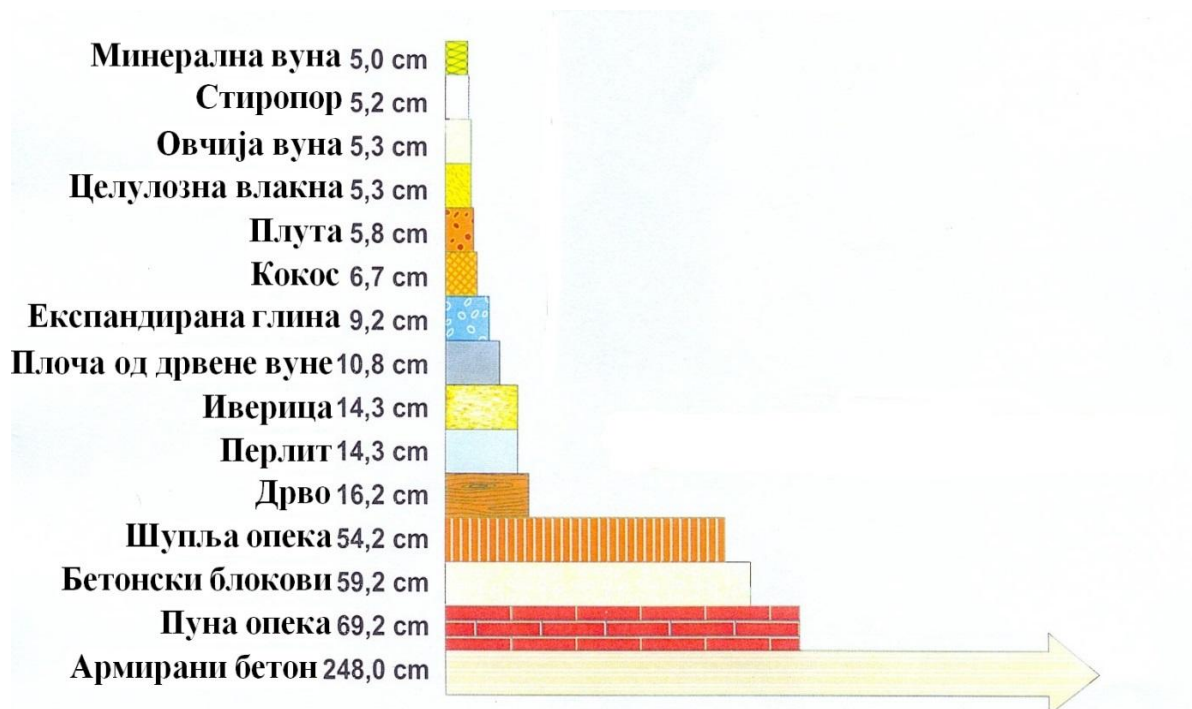
Чак и данас се термоизолација објекта своди на исте групе материјала, но развитком модерне технологије неки од ових материјала су еволуирали те сад уместо обичног каменог користе се различити облици минералних вуна – камена, стаклена и дрвена.

На избор адекватног материјала за заштиту конкретног објекта утичу: локални микро и макро климатски услови, популарност производа и традиција градње, специфични захтеви и наравно цена.

Данас термоизолација више не задовољава само своју основну намену – да штити од хладноће односно топлоте. Напротив. Људи морају бити свесни да добра термоизолација одговара и на неке додатне захтеве:

- противпожарност – штити од пожара, а ако до њега ипак дође, спречава његово ширење. Идеално је да термоизолација припада класи реакције на пожар А1, тј. да је материјал незапаљив,
- дуговечност – траје све док траје и објект,
- отпорност на влагу, инсекте и хемикалије,
- звучна изолација – поред свих осталих карактеристика штити и од буке између просторија, као и од спољне буке.

На слици 4 је приказано поређење различитих материјала који пружају исту термоизолацију. У данашње време два најчешће коришћена термоизолациона материјала су, уједно и два најбоља, стиропор и минерална вуна.



Слика 4. Поређење дебљина материјала које пружају исту термоизолацију [5]

3.2.1.1 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 - 200mm, док се код екструдираниог стиропора та величина креће између 150 - 500mm. 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 - 30kg/m³ - за стиропор добијен у калупима, док је за екструдирани стиропор уобичајена вредност запреминске масе 33kg/m³, мада она може да иде и до 45kg/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 [6].

3.2.1.2 Минерална вуна

Камена или минерална вуна састоји се од стакластих влакана и стврднутих капи силикатног растопа. Добија се топљењем мешавине природних минералних стена.

Основне сировине су стене магматског порекла:

- базалт,
- дијабаз,
- габро,
- андезит.

Камена вуна је хемијски инертан материјал, постојана је на утицај воде, водене паре и различитих једињења изузев флуора.

Физичка и механичка својства:

- дебљина влакана 5 – 7mm,
- изразито велика порозност (92 – 97%),
- доминантна отворена порозност,
- изразито велика способност упијања воде,
- постојаност на високим температурама ($t \geq 250^{\circ}\text{C}$),
- добра апсорпција звука,
- мала отпорност на дејство мрза,
- коефицијент провођења топлоте 0.033 – 0.039 (W/mK).

Предности:

- мала запреминска маса,
- низак коефицијент топлотне проводљивости,
- широк температурни интервал примене (до $+700^{\circ}\text{C}$),
- негориви материјал,
- приликом топљења не ослобађа штетне гасове и
- биоразградљивост.

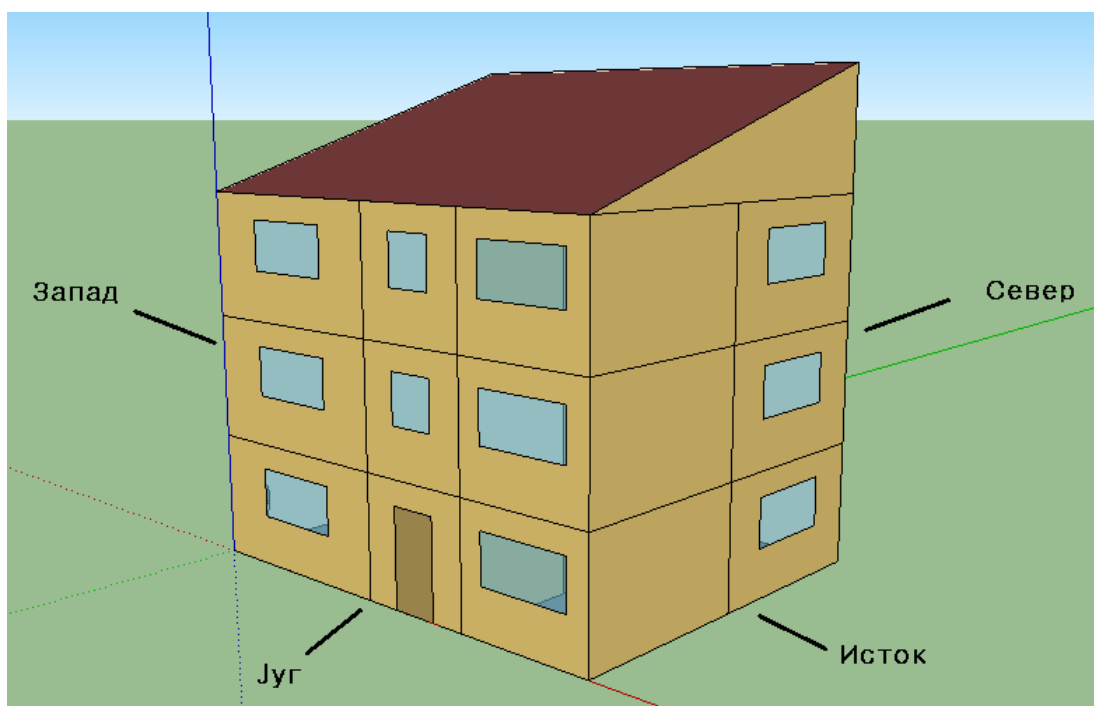
Главни недостатак је велико упијање воде и веома велика пропусност водене паре, због чега долази до:

- драстичног смањења ефекта термоизолације,
- мале отпорности на дејство мраза,
- склоност ка појави буђи,
- могућност појаве корозије метала у присуству влаге [6].

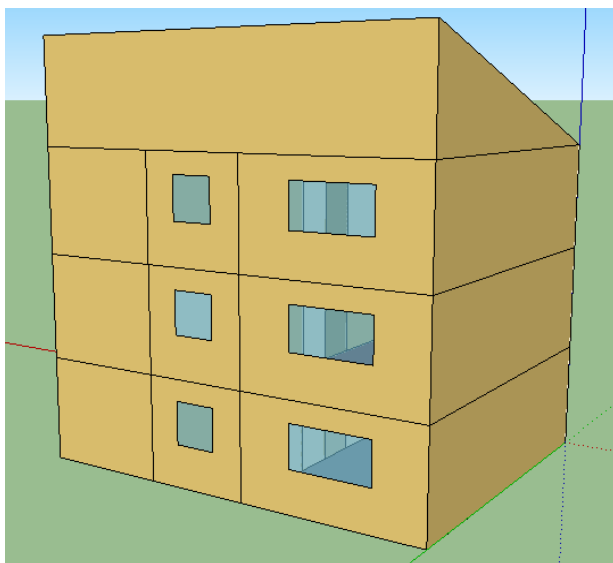
4 ОПИС СТАМБЕНОГ ОБЈЕКТА

4.1 Физички опис објекта

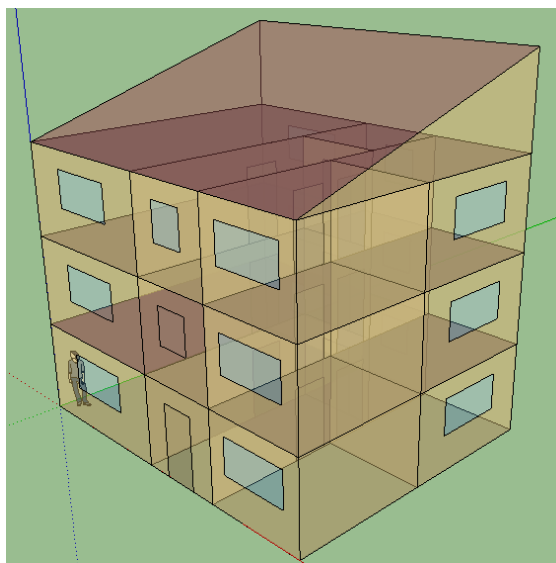
Стамбени објекат за који се врши симулација у циљу повећања енергетске ефикасности је кућа (слика 5, слика 6, слика 7) која је моделирана у софтверу GoogleSketchUp. Кућа се састоји из приземља, првог спрата, другог спрата и тавана. Кућа поседује 16 зона: 3 дневне собе, 3 ходника, 3 купатила, 6 спаваћих соба и таван.



Слика 5. Предња страна куће

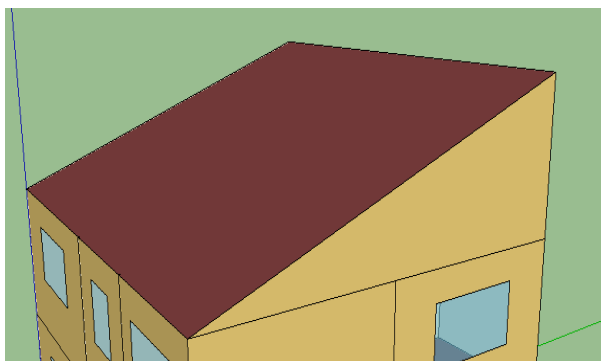


Слика 6. Задња страна куће

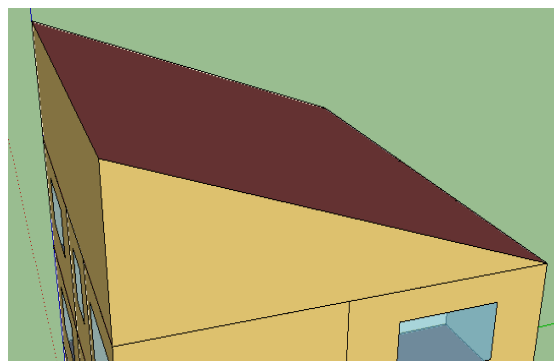


Слика 7. Кућа (View model in X-Ray Mode команда)

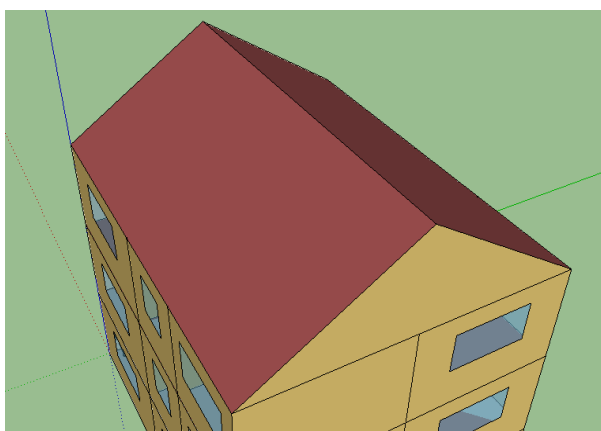
На сликама 8, 9, 10 и 11 су приказане различите конструкције крова објекта за који се врше симулације.



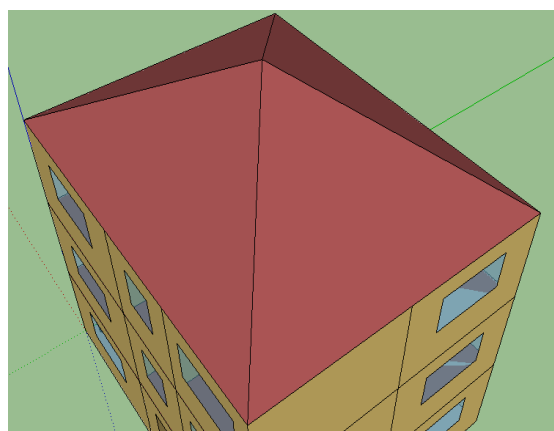
Слика 8. Кућа са кровом на једну воду окренут ка југу



Слика 9. Кућа са кровом на једну воду окренут ка северу

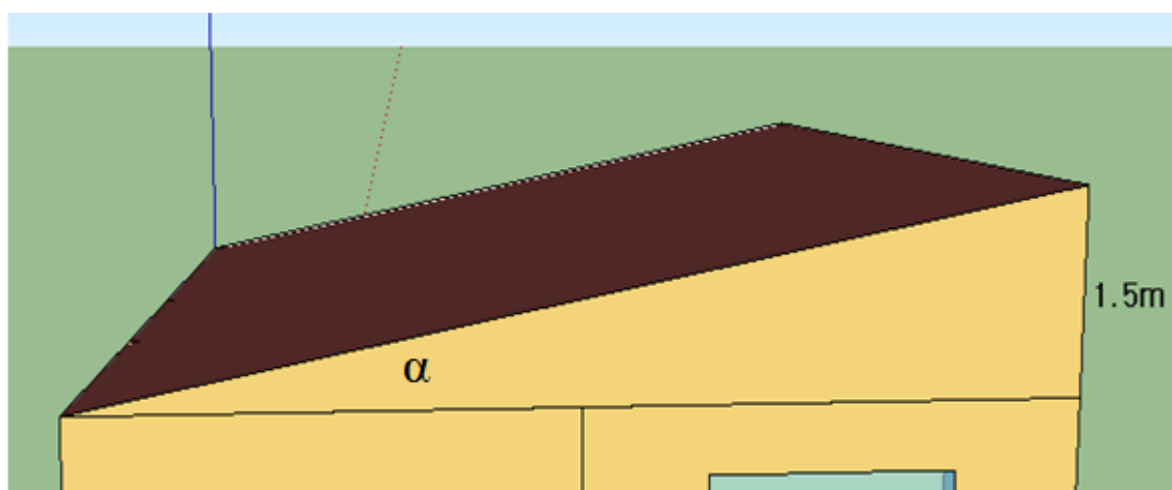


Слика 10. Кућа са кровом на две воде



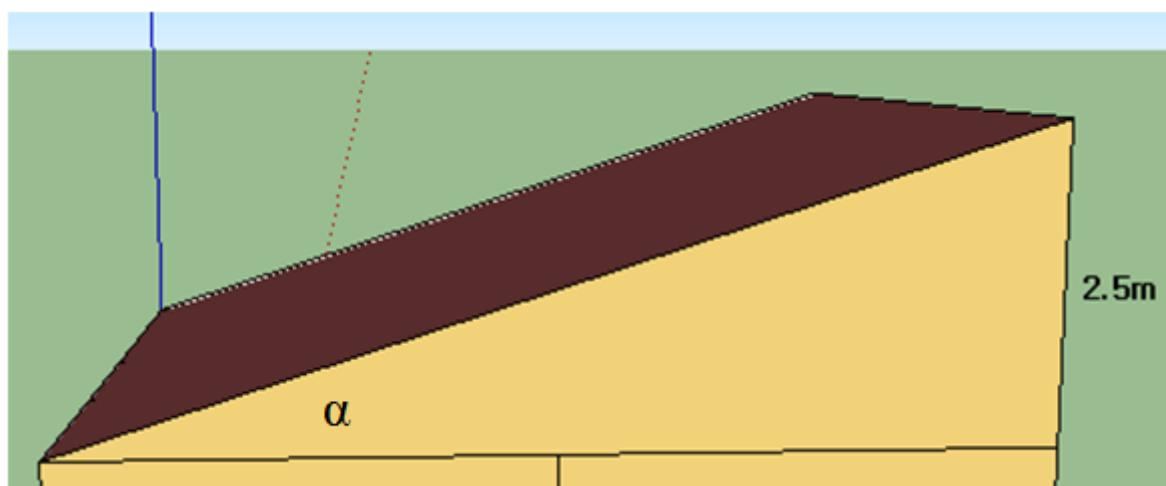
Слика 11. Кућа са кровом на четири воде

На сликама 12, 13 и 14 су приказани различити нагиби крова на једну воду.



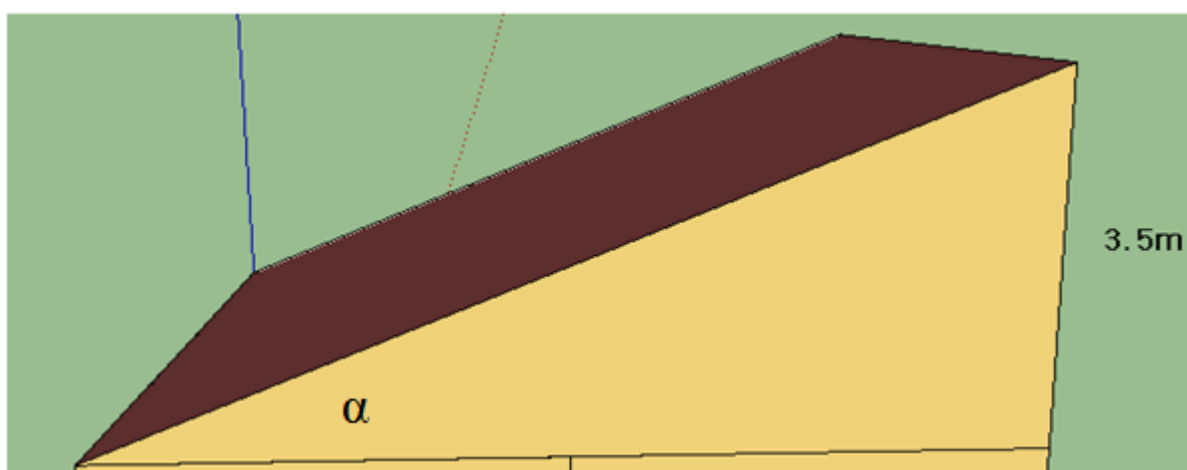
Слика 12. Приказ крова са најмањим нагибом

На слици 12 је приказана кућа са кровом на једну воду који је окренут ка југу са најмањим нагибом у односу на друга два крова. Димензије крова су: ширина 10m и дужина 8.15m. Кров се налази под углом $\alpha=11^\circ$.



Слика 13. Приказ крова са средњим нагибом

На слици 13 је приказана кућа са кровом на једну воду који је окренут ка југу са средњим нагибом. Димензије крова су: ширина 10m и дужина 8.38m. Кров се налази под углом $\alpha=18^\circ$.

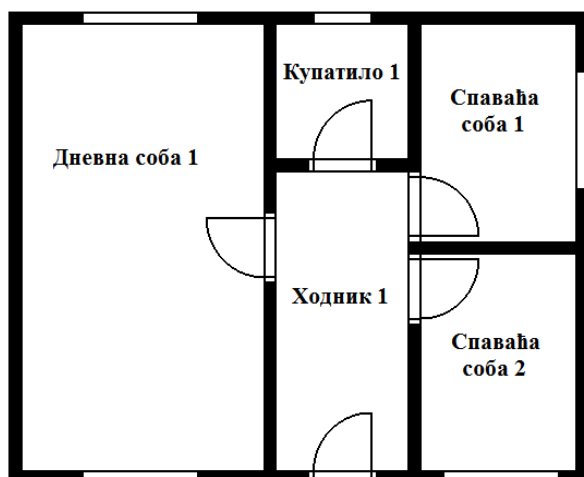


Слика 14. Приказ крова са највећим нагибом

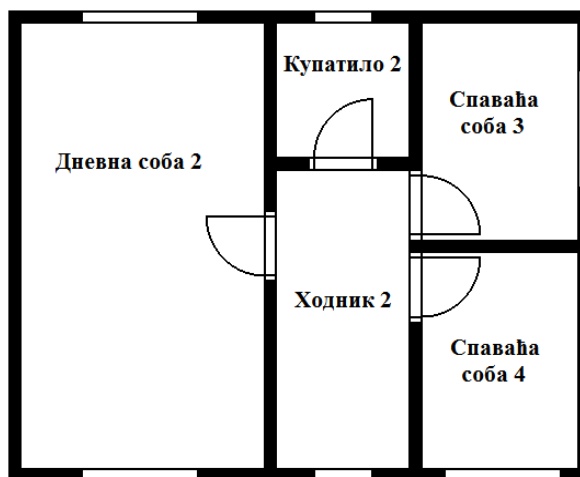
На слици 14 је приказана кућа са кровом на једну воду који је окренут ка југу са највећим нагибом у односу на друга два крова. Димензије крова су: ширина 10m и дужина 8.73m. Кров се налази под углом $\alpha=24^\circ$.

На сликама 15, 16 и 17 су приказани технички цртежи приземља, првог спрата и другог спрата, урађени у програму Catia V5R16, са називима просторија као у Energy Plus-у.

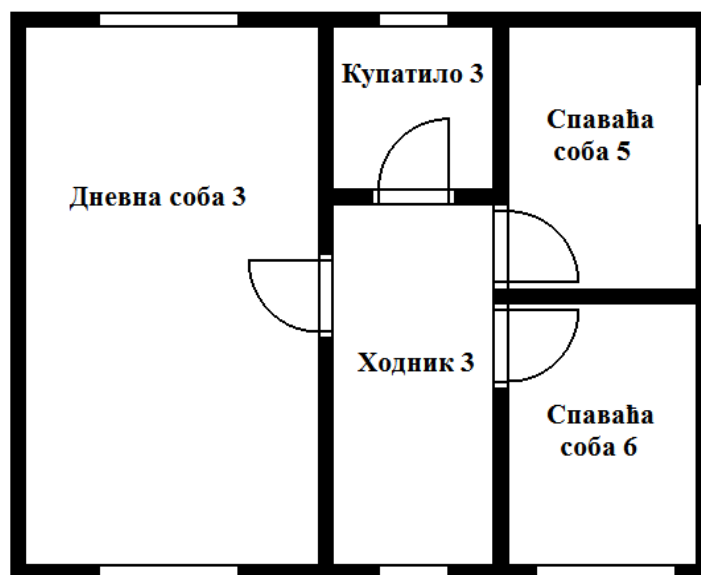
Површина приземља је 80 m^2 , као и површина првог и другог спрата.



Слика 15. Приземље – технички приказ пресека просторија



Слика 16. Први спрат – технички приказ пресека просторија



Слика 17. Други спрат – технички приказ пресека просторија

Називи просторија, као у EnergyPlus-у, њихова квадратура, запремина и укупна грејна површина (m^2) су приказани у табели 2

Табела 2. Подаци о објекту и просторијама

Име просторије	Број прозора	Број врата	Површина [m ²]
Дневна соба 1	2	1	36
Дневна соба 2	2	1	36
Дневна соба 3	2	1	36
Спаваћа соба 1	1	1	12
Спаваћа соба 2	1	1	12
Спаваћа соба 3	1	1	12
Спаваћа соба 4	1	1	12
Спаваћа соба 5	1	1	12
Спаваћа соба 6	1	1	12
Купатило 1	1	1	6.25
Купатило 2	1	1	6.25
Купатило 3	1	1	6.25
Ходник 1	0	5	13.75
Ходник 2	1	4	13.75
Ходник 3	1	4	13.75
Укупна површина за грејање			240

4.2 Материјали објекта

Попис свих материјала, од којих је саграђен овај објект са својим карактеристикама је дат у табели 3.

Табела 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	0.015	1050	0.81
Цементна кошуљица	2100	0.04	1050	1.4
PVC фолија	1460	0.00015	1100	0.19
Стаклена вуна	50	0.1	840	0.04
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	920	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 PVC	1200	0.16	920	0.6
PVC	800	0.05	960	0.12
Стиропор	20	0.1	1260	0.041
Боровина	550	0.035	2090	0.14
Продужни кречни малтер	1800	0.02	1050	0.87

4.3 Конструкције

Грађевинске конструкције са дебелином, сачињене од материјала који су приказани у табели 2, дате су у табели 4.

Табела 4. Састав грађевинских конструкција

Грађевинска конструкција	Елементи грађевинске конструкције	Дебелина[mm]
Спољашњи зид	Кречни малтер	0.015
	Стиропор	0.1
	Гитер блок	0.19
	Кречни малтер	0.015
Унутрашњи зид	Кречни малтер	0.015
	Гитер блок	0.19
	Кречни малтер	0.015
Под на земљи - Паркет	Паркет	0.02
	Цементна кошуљица	0.04
	Стиродур	0.04
	PVC фолија	0.00015
	Армирани бетон	0.04
	Шљунак	0.2
Унутрашња врата Прозор	Боровина	0.035
	Стакло	3
	Ваздух	13
	Стакло	3
Под на земљи - плочице	Керамичке плочице	0.015
	Цементна кошуљица	0.04
	Стиродур	0.04
	PVC фолија	0.00015
	Неармирани бетон	0.15
	Шљунак	0.2
Под испод крова	Цементна кошуљица	0.4
	Армирани бетон	0.04
	Монта	0.16
	Кречни малтер	0.015
Кров - косина Под између спратова	Цреп	0.01
	Паркет	0.02
	Цементна кошуљица	0.4
	Стиродур	0.04
	PVC фолија	0.00015
	Армирани бетон	0.04
	Монта	0.16
	Кречни малтер	0.015
Спољашња врата Зид купатило – соба	PVC	0.05
	Керамичке плочице	0.015
	Кречни малтер	0.015
	Гитер блок	0.19
	Кречни малтер	0.15
Зид соба – купатило	Кречни малтер	0.15
	Гитер блок	0.19
	Кречни малтер	0.15
	Керамичке плочице	0.015

Плафон између спратова	Кречни малтер	0.015
	Монта	0.16
	Армирани бетон	0.04
	PVC фолија	0.00015
	Стиродур	0.04
	Цементна кошуљица	0.04
	Паркет	0.02
Плафон ка тавану	Кречни матер	0.015
	Монта	0.16
	Армирани бетон	0.04
	Цементна кошуљица	0.04
Под - купатило	Керамичке плочице	0.015
	Цементна кошуљица	0.04
	Армирани бетон	0.04
	Монта	0.16
	Кречни матер	0.015
Плафон - купатило	Кречни матер	0.015
	Монта	0.16
	Армирани бетон	0.04
	Цементна кошуљица	0.04
	Керамичке плочице	0.015
Спољашњи зид - купатило	Кречни матер	0.015
	Стиропор	0.1
	Гитер блок	0.19
	Кречни матер	0.015
	Керамичке плочице	0.015

4.4 Расвета

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

Осветљење је веома битно при прорачуну, нарочито ако се користе сијалице са ужареним влакном, као што је случај у овом објекту. Изглед једне сијалице са ужареним влакном је приказан на слици 18.



Слика 18. Сијалица са ужареним влакном

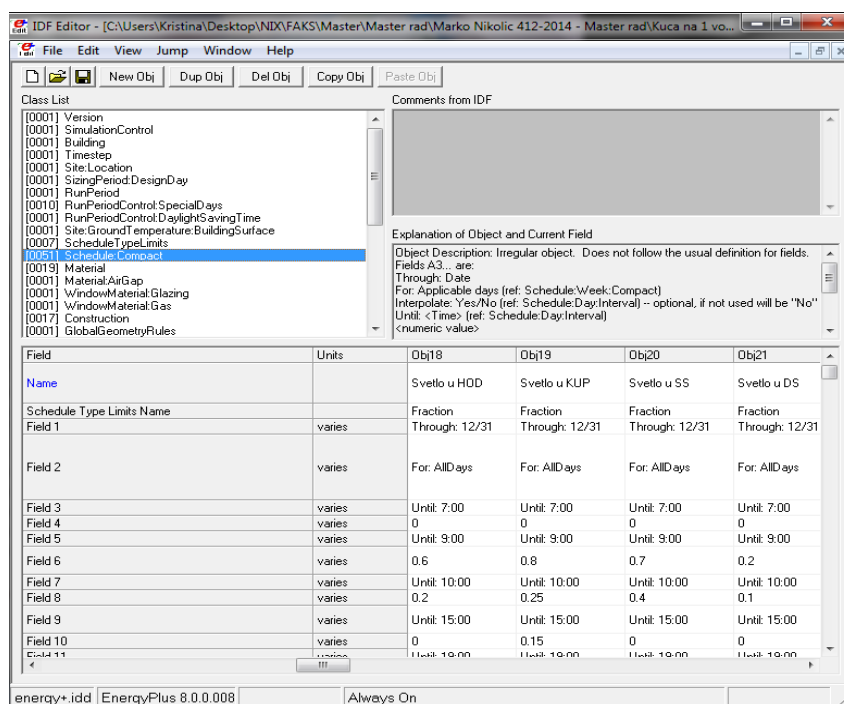
Сијалица са ужареним влакном је вештачки извор светлости који настане када електрична струја пролазећи кроз танку (волфрамову) нит загреје нит до усијања, која затим почне да емитује светлост. Емисија светлости проузрокована је заправо топлотом. Стаклени балон спречава да метална нит дође у додир са кисеоником из околног ваздуха (чиме би била брзо уништена). Ради што прецизнијих резултата мора се и ова ставка узати у обзир [7].

Попис снага сијалица по просторијама које се загревају је дат у табели 5, са називима просторија као у EnergyPlus-y.

Табела 5. Снага сијалица у просторијама које се загревају

Просторија	Снага сијалица [W]
Дневна соба 1	300
Дневна соба 2	300
Дневна соба 3	300
Спаваћа соба 1	100
Спаваћа соба 2	100
Спаваћа соба 3	100
Спаваћа соба 4	100
Спаваћа соба 5	100
Спаваћа соба 6	100
Купатило 1	100
Купатило 2	100
Купатило 3	100
Ходник 1	100
Ходник 2	100
Ходник 3	100

Период коришћења осветљења по просторијама које се загревају је приказан на слици 19.



Слика 19. Распоред коришћења осветљења по просторијама (датотека Energy Plus)

4.5 Људи

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

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

У зависности од активности људи, количина топлоте која се одаје се мења и приказана је у табели 6.

Табела 6. Одавање топлоте са човечијег организма у зависности од активности [1]

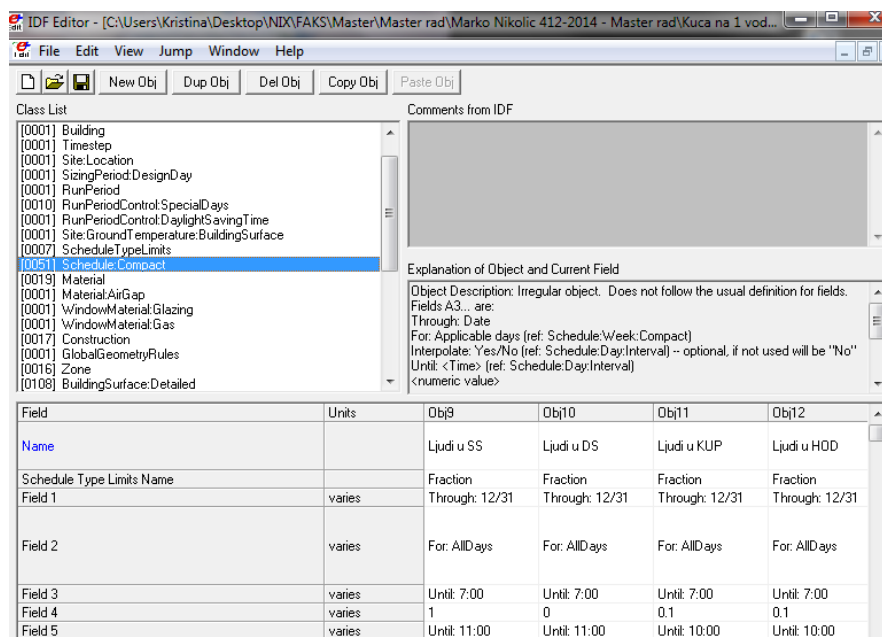
Активност	Количина одате топлоте [W]
Спавање	72
Седење	108
Шетање	207
Кување	171

У табели 7 је приказан број људи од просторије до просторије, као и активност људи по просторијама које се загревају, са називима просторија као у EnergyPlus-у.

Табела 7. Број и активност људи у просторијама које се загревају

Просторија	Број људи	Активност људи
Дневна соба 1	5	Седење
Дневна соба 2	5	Седење
Дневна соба 3	5	Седење
Спаваћа соба 1	2	Спавање
Спаваћа соба 2	1	Спавање
Спаваћа соба 3	2	Спавање
Спаваћа соба 4	1	Спавање
Спаваћа соба 5	2	Спавање
Спаваћа соба 6	1	Спавање
Купатило 1	1	Шетање
Купатило 2	1	Шетање
Купатило 3	1	Шетање
Ходник 1	1	Шетање
Ходник 2	1	Шетање
Ходник 3	1	Шетање

На слици 20 приказан је број људи од просторије до просторије, односно распоред присуства људи у анализираном стамбеном објекту.



Слика 20. Распоред боравка људи по просторијама (датотека Energy Plus)

4.6 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 8, 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 07h ујутру до 22h увече.

Табела 8. Снага грејних тела и ефикасност претварања ел. енергије у топлотну

Просторија	Снага грејних тела [W]	Ефикасност претварања ел. енергије у топлотну
Дневна соба 1	5000	0.98
Дневна соба 2	5000	0.98
Дневна соба 3	5000	0.98
Спаваћа соба 1	5000	0.98
Спаваћа соба 2	5000	0.98
Спаваћа соба 3	5000	0.98
Спаваћа соба 4	5000	0.98
Спаваћа соба 5	5000	0.98
Спаваћа соба 6	5000	0.98
Купатило 1	5000	0.98
Купатило 2	5000	0.98
Купатило 3	5000	0.98
Ходник 1	5000	0.98
Ходник 2	5000	0.98
Ходник 3	5000	0.98

Пројектоване температуре по просторијама у различитим деловима дана су приказане на слици 21.

Field	Units	Obj30	Obj31	Obj32	Obj33
Name		Htg-SetP-Sch-SS	Htg-SetP-Sch-DS	Htg-SetP-Sch-KUP	Htg-SetP-Sch-HO
Schedule Type Limits Name		Temperature	Temperature	Temperature	Temperature
Field 1	varies	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31
Field 2	varies	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays
Field 3	varies	Unit: 07:00	Unit: 07:00	Unit: 07:00	Unit: 07:00
Field 4	varies	0	0	0	0
Field 5	varies	Unit: 22:00	Unit: 22:00	Unit: 21:00	Unit: 21:00
Field 6	varies	22	22	20	18
Field 7	varies	Unit: 24:00	Unit: 24:00	Unit: 24:00	Unit: 24:00
Field 8	varies	0	22	0	0

Слика 21. Пројектоване температуре по просторијама (датотека Energy Plus)

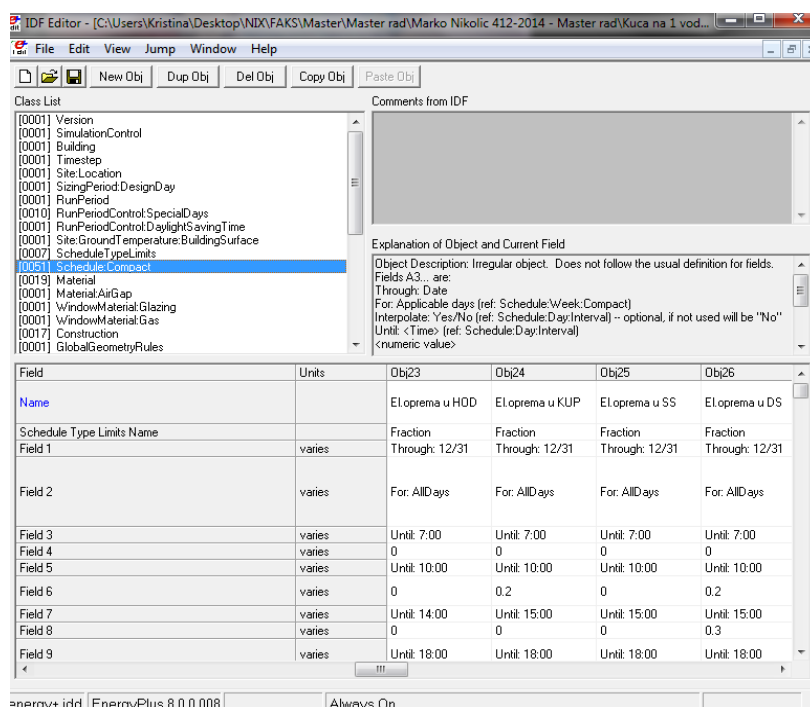
4.7 Електрични уређаји

Снага електричних уређаја се мора узети у обзир, јер рад уређаја представља топлотне добитке. Снага електричних уређаја по просторијама које се загревају је приказана у табели 9, са називима просторија као у EnergyPlus-у.

Табела 9. Снага електричних уређаја по просторијама

Просторија	Снага електричних уређаја [W]
Дневна соба 1	1000
Дневна соба 2	1000
Дневна соба 3	1000
Спаваћа соба 1	300
Спаваћа соба 2	200
Спаваћа соба 3	300
Спаваћа соба 4	200
Спаваћа соба 5	300
Спаваћа соба 6	200
Купатило 1	700
Купатило 2	700
Купатило 3	700
Ходник 1	0
Ходник 2	0
Ходник 3	0

На слици 22 је приказан распоред коришћења електричних уређаја по просторијама.



Слика 22. Распоред коришћења електричних уређаја по просторијама (датотека Energy Plus)

4.8 Инфилтрација

Ваздушни комфор представља услове којима се обезбеђује потребна количина чистог ваздуха у згради односно којима се обезбеђује квалитет ваздуха који је без ризика по здравље корисника.

Ваздух продире кроз зазоре затворених врата и прозора мањим делом кроз спољне зидове. Продор свежег ваздуха у просторију процесом инфилтрације зависи од величине зазора на спољним прозорима и вратима.

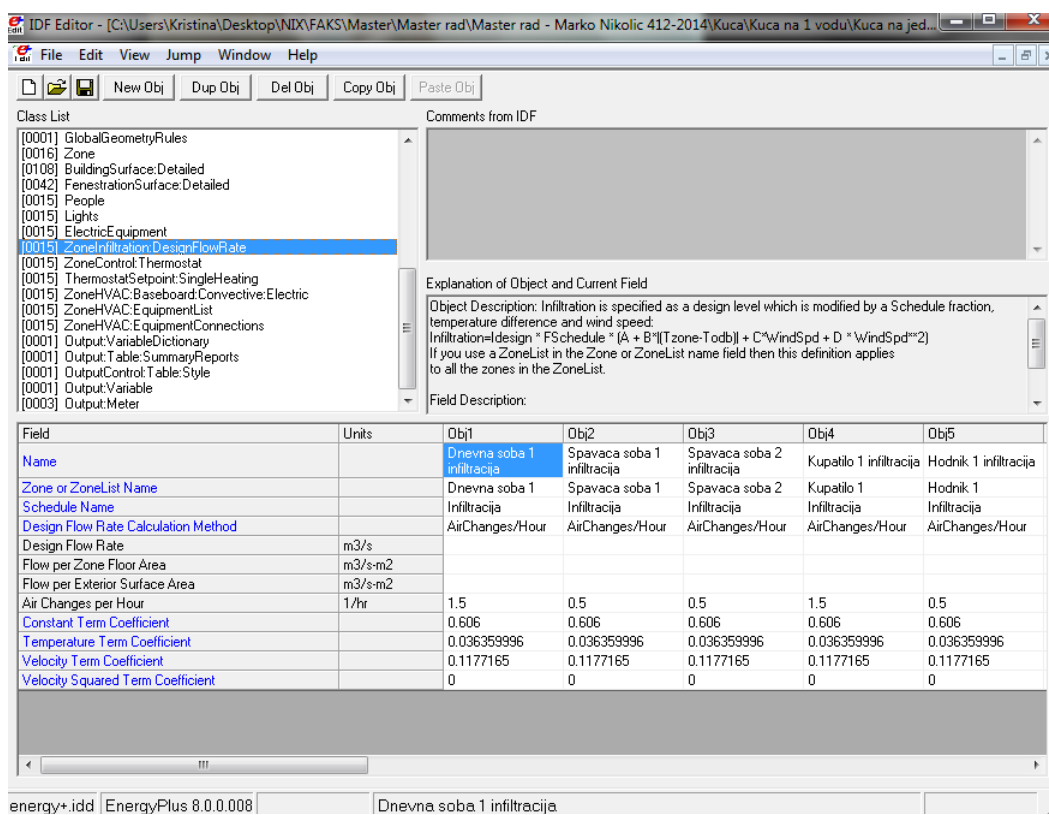
У стамбеним просторијама током зимског периода се број измена ваздуха креће од 0.3 до $0.8h^{-1}$. Новија градња прозора која тежи што бољој топлотној карактеристици прозора често има само $0.1h^{-1}$. Овакав тип вентилације није довољан и треба се користити у комбинацији са отварањем прозора и врата. Треба имати на уму да је кратко проветравање потпуним отварањем крила прозора и терасних врата, посебно с аспекта заштите од прехладе и уштеде енергије за грејање, боље од трајног проветравања кроз полуотворена крила прозора или врата. Пожељно је у једнаким временским интервалима, на пример сваких сат времена, отворити прозор на 5 до 10 минута и тиме изменити комплетну количину старог ваздуха.

Број измене ваздуха је приказан у табели 10, са називима просторија као у EnergyPlus-у.

Табела 10. Број измена ваздуха на сат [h^{-1}] по просторијама

Просторија	Број измена ваздуха на сат [h^{-1}]
Дневна соба 1	1.5
Дневна соба 1	1.5
Дневна соба 1	1.5
Спаваћа соба 1	0.5
Спаваћа соба 2	0.5
Спаваћа соба 3	0.5
Спаваћа соба 4	0.5
Спаваћа соба 5	0.5
Спаваћа соба 6	0.5
Купатило 1	1.5
Купатило 2	1.5
Купатило 3	1.5
Ходник 1	0.5
Ходник 2	0.5
Ходник 3	0.5

На слици 23 је приказана промена количине ваздуха по просторијама.

**Слика 23.** Промена количине ваздуха по просторијама (датотека Energy Plus)

5 АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА

Од прецизности свих података који су описани у четвртом поглављу (опис стамбеног објекта) зависиће прецизност резултата добијених симулацијама у EnergyPlus-у.

Циљ симулације је да се одреди потрошња електричне енергије за рад електричних грејних тела у грејној сезони, као и да се прикаже поређење различитих конструкција крова, током прелазних периода у грејној сезони и ван грејне сезоне.

Пре саме анализе потребно је знати тачан ток сваке симулације, стога је приказан сценарио симулација у табели 11.

Табела 11. Сценарио симулација

Редни број симулације	Локација објекта: град Београд, Србија	Грејна површина: 240m ²	Период грејне сезоне: 15. октобар - 15. април	Врста градње објекта: класична ¹	Тип куће						Иzolација крова	
					Кућа са кровом на једну воду окренут ка југу са нагибом ($\alpha=18^\circ$)	Кућа са кровом на једну воду окренут ка северу са нагибом ($\alpha=18^\circ$)	Кућа са кровом на две воде где је једна од косих страна крова окренута ка југу са нагибом ($\alpha=32^\circ$)	Кућа са кровом на четири воде где је једна од већих косих страна крова окренута ка југу са нагибом ($\alpha=32^\circ$)	Кућа са кровом на једну воду окренут ка југу са најмањим нагибом крова ($\alpha=11^\circ$)	Кућа са кровом на једну воду окренут ка југу са највећим нагибом крова ($\alpha=24^\circ$)	Без изолације ²	Са изолациом ³
Симулација 1	*	*	*	*	*						*	
Симулација 2	*	*	*	*	*							*
Симулација 3	*	*	*	*		*					*	
Симулација 4	*	*	*	*		*						*
Симулација 5	*	*	*	*			*				*	
Симулација 6	*	*	*	*			*					*
Симулација 7	*	*	*	*				*			*	
Симулација 8	*	*	*	*				*				*
Симулација 9	*	*	*	*					*		*	
Симулација 10	*	*	*	*					*			*
Симулација 11	*	*	*	*						*	*	
Симулација 12	*	*	*	*						*		*

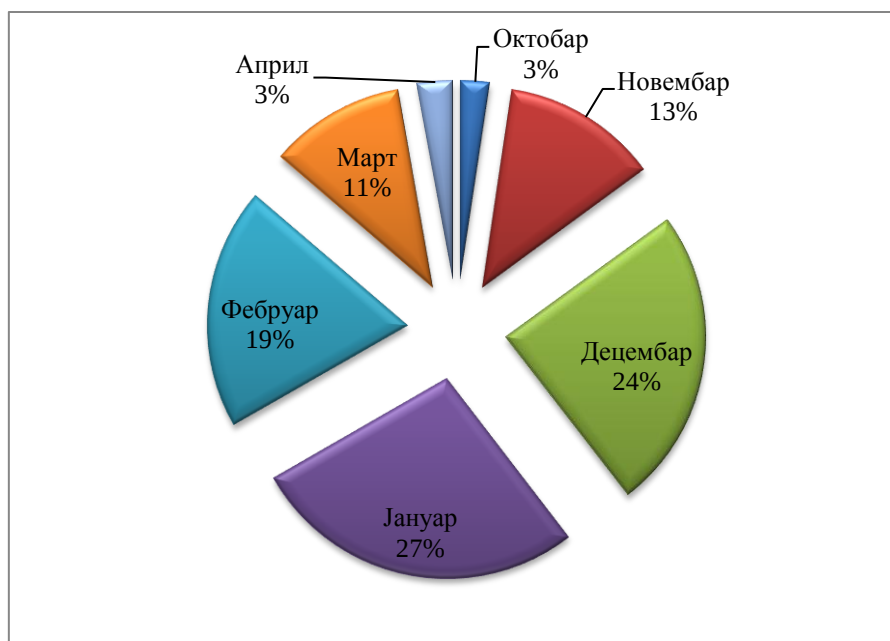
¹ Класично изграђен објекат, чије су конструкције грађевинских материјала наведене у табели 4² Без термоизолације³ Са термоизолациом (стаклена вуна 10cm) крова односно пода на тавану

5.1 Резултати симулације куће са кровом на једну воду окренутог ка југу са нагибом ($\alpha=18^\circ$)

Резултати симулације 1 су дати у табели 12. Приказана је укупна као и месечна потрошња електричне енергије за грејање у kWh као и у kWh/m², за кућу са кровом на једну воду који је окренут ка југу са нагибом ($\alpha=18^\circ$), током грејне сезоне када кров односно под на тавану није изолован. На слици 24 приказана је процентуална месечна расподела потрошње електричне енергије за грејање током грејне сезоне.

Табела 12. Потрошња електричне енергије за грејање објекта без изолације крова

Месец	Потрошња електричне енергије за грејање [kWh]	Потрошња електричне енергије за грејање [kWh/m ²]
Октобар	572	2.38
Новембар	3065	12.77
Децембар	5979	24.91
Јануар	6609	27.54
Фебруар	4756	19.82
Март	2662	11.09
Април	675	2.81
Укупно	24318	101.33



Слика 24. Приказ процентуалне расподеле потрошње ел. енергије за грејање по месецима

Са слике 24 видимо да се највише струје троши у јануару (27% укупне потрошње струје за грејање током грејне сезоне), потом у децембру (24%), а на трећем месту је фебруар (19%). У марту и новембру упола мање (редом 11% и 13%), док се у октобру и априлу трошило доста мање електричне енергије за грејање (редом 3%, 3%).

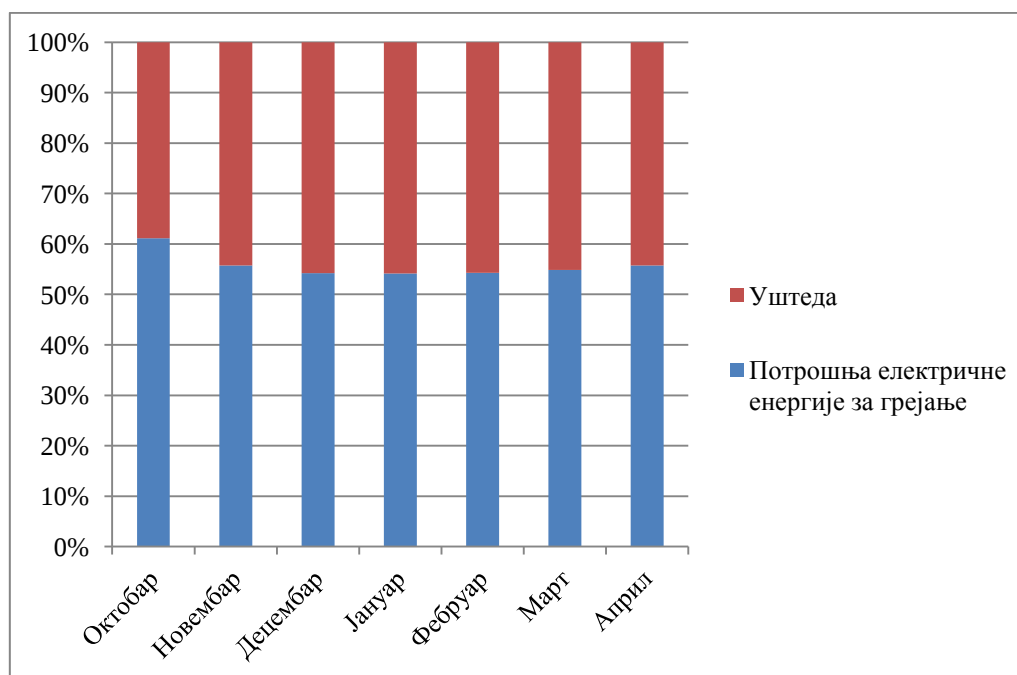
Разлог зашто је потрошња електричне енергије много мања у априлу и октобру јесте што није цео месец узет за симулацију (већ само половина једног и половина другог), а такође и то да су ти месеци топлији у односу на остале.

Резултати симулације 2 су дати у табели 13. Приказана је укупна као и месечна потрошња електричне енергије за грејање у kWh као и у kWh/m², за кућу са кровом на једну воду који је окренут ка југу са нагибом ($\alpha=18^\circ$), током грејне сезоне када је кров односно под на тавану изолован (стаклена вуна 10cm).

Табела 13. Потрошња електричне енергије за грејање објекта са изолациом крова

Месец	Потрошња електричне енергије за грејање [kWh]	Потрошња електричне енергије за грејање [kWh/m ²]
Октобар	364	1.52
Новембар	2434	10.14
Децембар	5050	21.04
Јануар	5602	23.34
Фебруар	4007	16.70
Март	2189	9.12
Април	536	2.23
Укупно	20182	84.09

На слици 25 видимо дијаграмски приказ потрошње електричне енергије за грејање и уштеде када је кров односно под на тавану изолован стакленом вуном од 10cm.



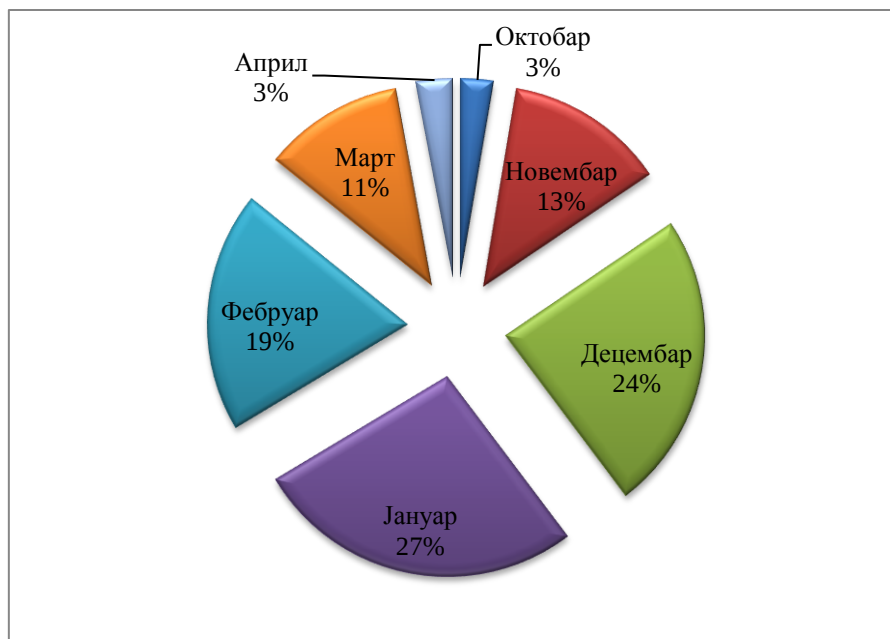
Слика 25. Приказ процентуалне расподеле потрошње ел. енергије за грејање по месецима

5.2 Резултати симулације куће са кровом на једну воду окренутог ка северу са нагибом ($\alpha=18^\circ$)

Резултати симулације 3 су дати у табели 14. Приказана је укупна као и месечна потрошња електричне енергије за грејање у kWh као и у kWh/m², за кућу са кровом на једну воду који је окренут ка северу са нагибом ($\alpha=18^\circ$), током грејне сезоне када кров односно под на тавану није изолован. На слици 26 приказана је процентуална месечна расподела потрошње електричне енергије за грејање током грејне сезоне.

Табела 14. Потрошња електричне енергије за грејање објекта без изолације крова

Месец	Потрошња електричне енергије за грејање [kWh]	Потрошња електричне енергије за грејање [kWh/m ²]
Октобар	664	2.77
Новембар	3264	13.60
Децембар	6090	25.38
Јануар	6742	28.09
Фебруар	4889	20.37
Март	2862	11.93
Април	724	3.02
Укупно	25235	105.15



Слика 26. Приказ процентуалне расподеле потрошње ел. енергије за грејање по месецима

Са слике 26 видимо да се највише струје троши у јануару (27% укупне потрошње струје за грејање током грејне сезоне), потом у децембру (24%), а на трећем месту је фебруар (19%). У марту и новембру упола мање (редом 11% и 13%), док се у октобру и априлу трошило доста мање електричне енергије за грејање (редом 3%, 3%).

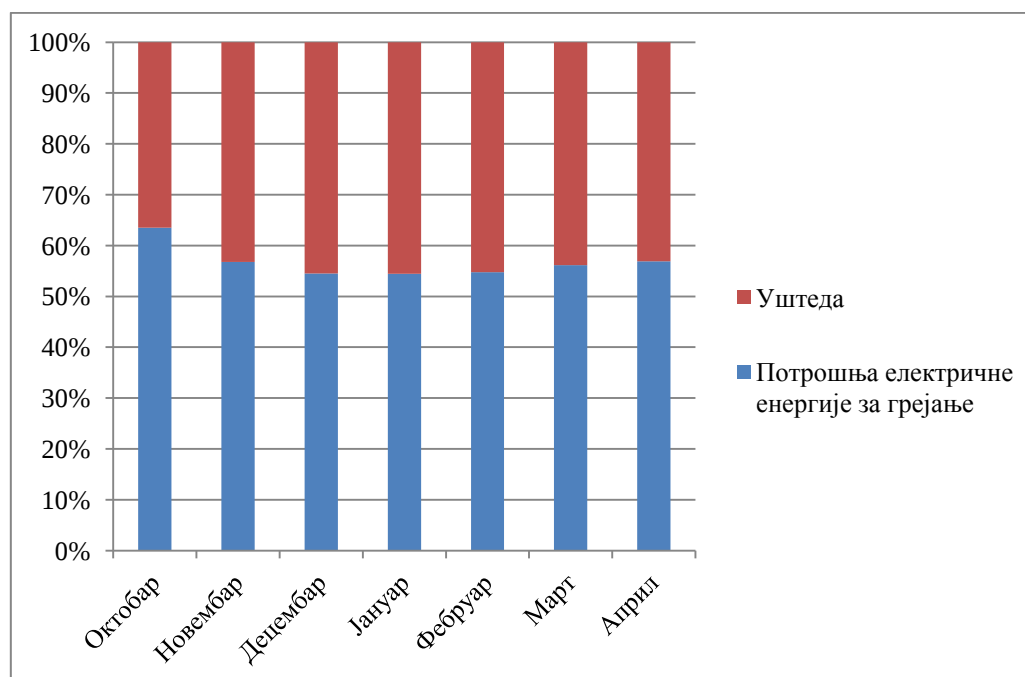
Разлог зашто је потрошња електричне енергије много мања у априлу и октобру јесте што није цео месец узет за симулацију (већ само половина једног и половина другог), а такође и то да су ти месеци топлији у односу на остале.

Резултати симулације 4 су дати у табели 15. Приказана је укупна као и месечна потрошња електричне енергије за грејање у kWh као и у kWh/m², за кућу са кровом на једну воду који је окренут ка северу са нагибом ($\alpha=18^\circ$), током грејне сезоне када је кров односно под на тавану изолован (стаклена вуна 10cm).

Табела 15. Потрошња електричне енергије за грејање објекта са изолациом крова

Месец	Потрошња електричне енергије за грејање [kWh]	Потрошња електричне енергије за грејање [kWh/m ²]
Октобар	381	1.59
Новембар	2485	10.35
Децембар	5079	21.16
Јануар	5636	23.48
Фебруар	4038	16.83
Март	2237	9.32
Април	548	2.28
Укупно	20404	85.02

На слици 27 видимо дијаграмски приказ потрошње електричне енергије за грејање и уштеде када је кров односно под на тавану изолован стакленом вуном од 10cm.



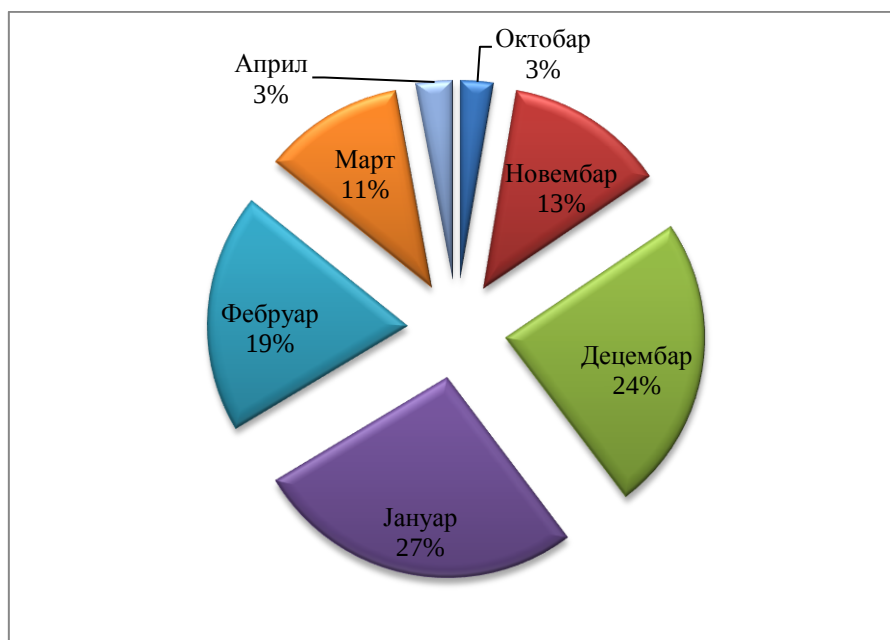
Слика 27. Приказ процентуалне расподеле потрошње ел. енергије за грејање по месецима

5.3 Резултати симулације куће са кровом на две воде где је једна од косих страна крова окренута ка југу са нагибом ($\alpha=32^\circ$)

Резултати симулације 5 су дати у табели 16. Приказана је укупна као и месечна потрошња електричне енергије за грејање у kWh као и у kWh/m², за кућу са кровом на две воде где је једна од косих страна крова окренута ка југу са нагибом ($\alpha=32^\circ$), током грејне сезоне када кров односно под на тавану није изолован. На слици 28 приказана је процентуална месечна расподела потрошње електричне енергије за грејање током грејне сезоне.

Табела 16. Потрошња електричне енергије за грејање објекта без изолације крова

Месец	Потрошња електричне енергије за грејање [kWh]	Потрошња електричне енергије за грејање [kWh/m ²]
Октобар	613	2.55
Новембар	3133	13.05
Децембар	5993	24.97
Јануар	6631	27.63
Фебруар	4803	20.01
Март	2765	11.52
Април	705	2.94
Укупно	24643	102.68



Слика 28. Приказ процентуалне расподеле потрошње ел. енергије за грејање по месецима

Са слике 28 видимо да се највише струје троши у јануару (27% укупне потрошње струје за грејање током грејне сезоне), потом у децембру (24%), а на трећем

месту је фебруар (19%). У марту и новембру упола мање (редом 11% и 13%), док се у октобру и априлу трошило доста мање електричне енергије за грејање (редом 3%, 3%).

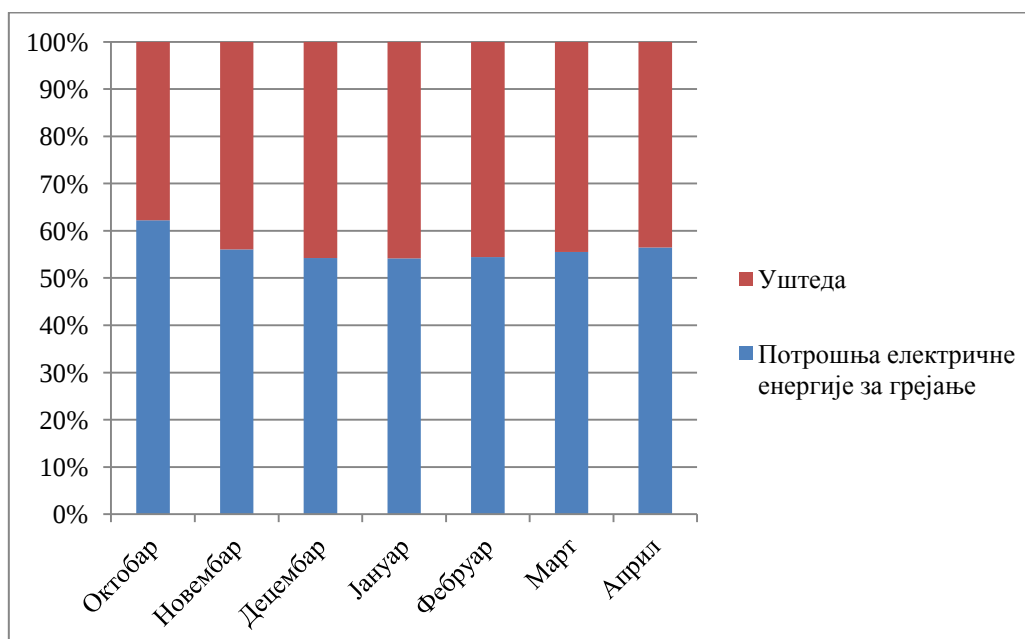
Разлог зашто је потрошња електричне енергије много мања у априлу и октобру јесте што није цео месец узет за симулацију (већ само половина једног и половина другог), а такође и то да су ти месеци топлији у односу на остале.

Резултати симулације 6 су дати у табели 17. Приказана је укупна као и месечна потрошња електричне енергије за грејање у kWh као и у kWh/m², за кућу са кровом на две воде где је једна од косих страна крова окренута ка југу са нагибом ($\alpha=18^\circ$), током грејне сезоне када је кров односно под на тавану изолован (стаклена вуна 10cm).

Табела 17. Потрошња електричне енергије за грејање објекта са изолациом крова

Месец	Потрошња електричне енергије за грејање [kWh]	Потрошња електричне енергије за грејање [kWh/m ²]
Октобар	372	1.55
Новембар	2453	10.22
Децембар	5057	21.07
Јануар	5610	23.38
Фебруар	4019	16.75
Март	2214	9.23
Април	543	2.26
Укупно	20268	84.45

На слици 29 видимо дијаграмски приказ потрошње електричне енергије за грејање и уштеде када је кров односно под на тавану изолован стакленом вуном од 10cm.



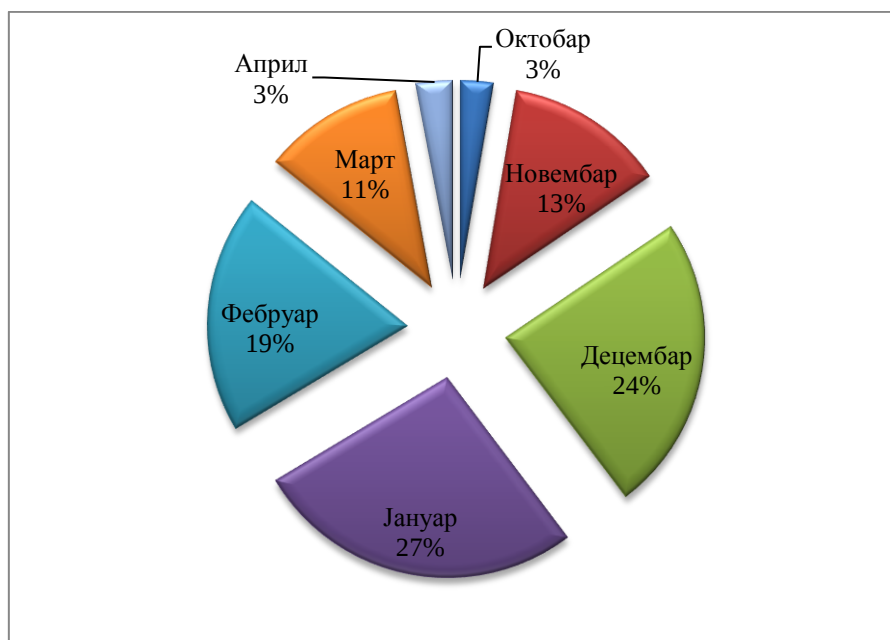
Слика 29. Приказ процентуалне расподеле потрошње ел. енергије за грејање по месецима

5.4 Резултати симулације куће са кровом на четири воде где је једна од већих косих страна крова окренута ка југу са нагибом ($\alpha=32^\circ$)

Резултати симулације 7 су дати у табели 18. Приказана је укупна као и месечна потрошња електричне енергије за грејање у kWh као и у kWh/m², за кућу са кровом на четири воде где је једна од већих косих страна крова окренута ка југу са нагибом ($\alpha=32^\circ$), током грејне сезоне када кров односно под на тавану није изолован. На слици 30 приказана је процентуална месечна расподела потрошње електричне енергије за грејање током грејне сезоне.

Табела 18. Потрошња електричне енергије за грејање објекта без изолације крова

Месец	Потрошња електричне енергије за грејање [kWh]	Потрошња електричне енергије за грејање [kWh/m ²]
Октобар	609	2.54
Новембар	3130	13.04
Децембар	5983	24.93
Јануар	6617	27.57
Фебруар	4786	19.94
Март	2746	11.44
Април	700	2.92
Укупно	24571	102.38



Слика 30. Приказ процентуалне расподеле потрошње ел. енергије за грејање по месецима

Са слике 30 видимо да се највише струје троши у јануару (27% укупне потрошње струје за грејање током грејне сезоне), потом у децембру (24%), а на трећем

месту је фебруар (19%). У марту и новембру упола мање (редом 11% и 13%), док се у октобру и априлу трошило доста мање електричне енергије за грејање (редом 3%, 3%).

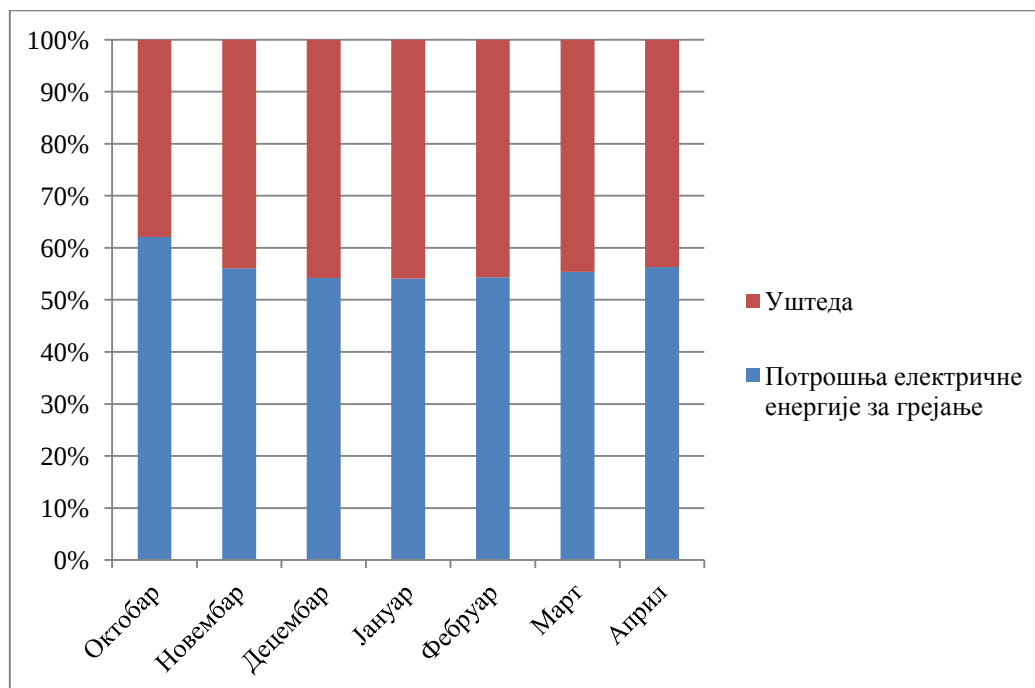
Разлог зашто је потрошња електричне енергије много мања у априлу и октобру јесте што није цео месец узет за симулацију (већ само половина једног и половина другог), а такође и то да су ти месеци топлији у односу на остале.

Резултати симулације 8 су дати у табели 19. Приказана је укупна као и месечна потрошња електричне енергије за грејање у kWh као и у kWh/m², за кућу са кровом на четири воде где је једна од већих косих страна крова окренута ка југу са нагибом ($\alpha=32^\circ$), током грејне сезоне када је кров односно под на тавану изолован (стаклена вуна 10cm).

Табела 19. Потрошња електричне енергије за грејање објекта са изолациом крова

Месец	Потрошња електричне енергије за грејање [kWh]	Потрошња електричне енергије за грејање [kWh/m ²]
Октобар	372	1.55
Новембар	2454	10.23
Децембар	5059	21.08
Јануар	5611	23.38
Фебруар	4018	16.74
Март	2211	9.21
Април	543	2.26
Укупно	20268	84.45

На слици 31 видимо дијаграмски приказ потрошње електричне енергије за грејање и уштеде када је кров односно под на тавану изолован стакленом вуном од 10cm.



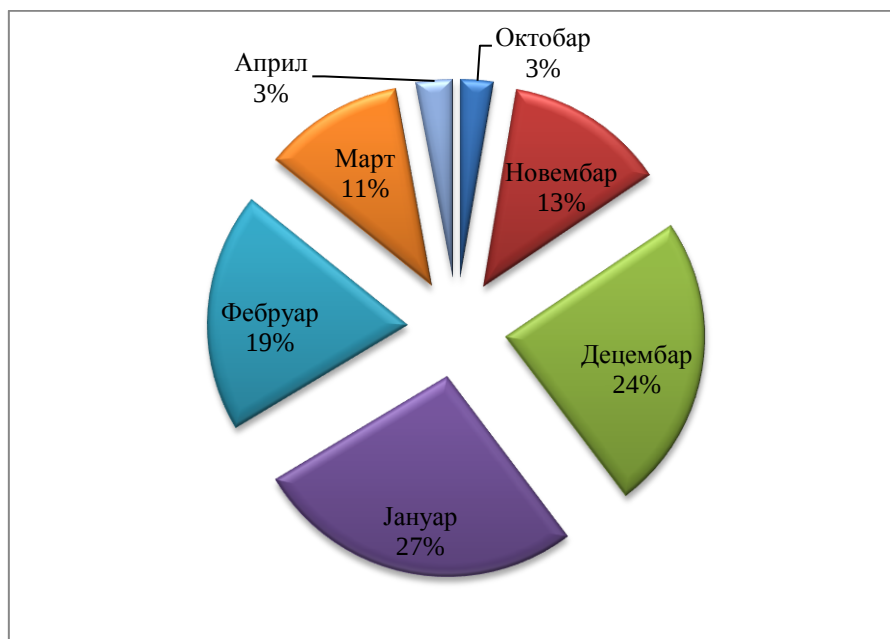
Слика 31. Приказ процентуалне расподеле потрошње ел. енергије за грејање по месецима

5.5 Резултати симулације куће са кровом на једну воду окренутог ка југу са најмањим нагибом крова ($\alpha=11^\circ$)

Резултати симулације 9 су дати у табели 20. Приказана је укупна као и месечна потрошња електричне енергије за грејање у kWh као и у kWh/m², за кућу са кровом на једну воду који је окренут ка југу са најмањим нагибом крова ($\alpha=11^\circ$), током грејне сезоне када кров односно под на тавану није изолован. На слици 32 приказана је процентуална месечна расподела потрошње електричне енергије за грејање током грејне сезоне.

Табела 20. Потрошња електричне енергије за грејање објекта без изолације крова

Месец	Потрошња електричне енергије за грејање [kWh]	Потрошња електричне енергије за грејање [kWh/m ²]
Октобар	591	2.46
Новембар	3110	12.96
Децембар	6007	25.03
Јануар	6640	27.67
Фебруар	4783	19.93
Март	2699	11.25
Април	685	2.85
Укупно	24515	102.15



Слика 32. Приказ процентуалне расподеле потрошње ел. енергије за грејање по месецима

Са слике 32 видимо да се највише струје троши у јануару (27% укупне потрошње струје за грејање током грејне сезоне), потом у децембру (24%), а на трећем месту је фебруар (19%). У марту и новембру упола мање (редом 11% и 13%), док се у октобру и априлу трошило доста мање електричне енергије за грејање (редом 3%, 3%).

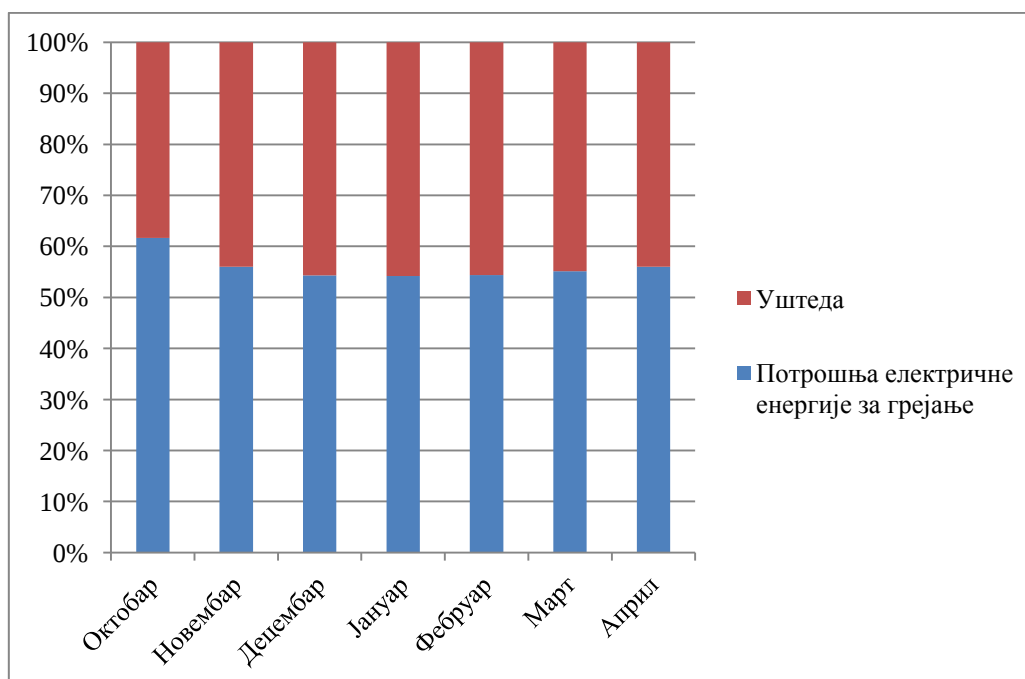
Разлог зашто је потрошња електричне енергије много мања у априлу и октобру јесте што није цео месец узет за симулацију (већ само половина једног и половина другог), а такође и то да су ти месеци топлији у односу на остале.

Резултати симулације 10 су дати у табели 21. Приказана је укупна као и месечна потрошња електричне енергије за грејање у kWh као и у kWh/m², за кућу са кровом на једну воду који је окренут ка југу са најмањим нагибом крова ($\alpha=11^\circ$), током грејне сезоне када је кров односно под на тавану изолован (стаклена вуна 10cm).

Табела 21. Потрошња електричне енергије за грејање објекта са изолациом крова

Месец	Потрошња електричне енергије за грејање [kWh]	Потрошња електричне енергије за грејање [kWh/m ²]
Октобар	368	1.53
Новембар	2445	10.19
Децембар	5057	21.07
Јануар	5610	23.38
Фебруар	4013	16.72
Март	2197	9.15
Април	538	2.24
Укупно	20228	84.28

На слици 33 видимо дијаграмски приказ потрошње електричне енергије за грејање и уштеде када је кров односно под на тавану изолован стакленом вуном од 10cm.



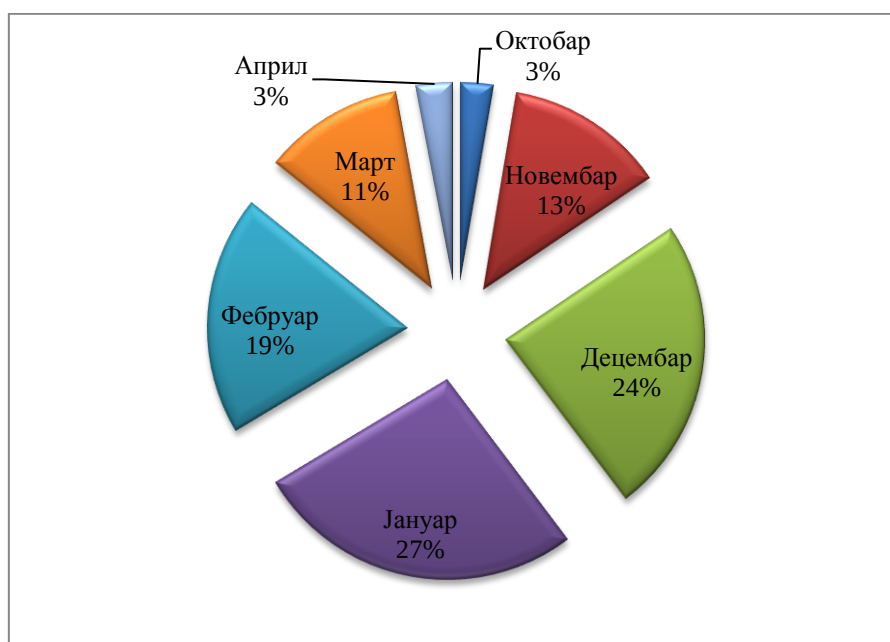
Слика 33. Приказ процентуалне расподеле потрошње ел. енергије за грејање по месецима

5.6 Резултати симулације куће са кровом на једну воду окренутог ка југу са највећим нагибом крова ($\alpha=24^\circ$)

Резултати симулације 11 су дати у табели 22. Приказана је укупна као и месечна потрошња електричне енергије за грејање у kWh као и у kWh/m², за кућу са кровом на једну воду који је окренут ка југу са највећим нагибом крова ($\alpha=24^\circ$), током грејне сезоне када кров односно под на тавану није изолован. На слици 31 приказана је процентуална месечна расподела потрошње електричне енергије за грејање током грејне сезоне.

Табела 22. Потрошња електричне енергије за грејање објекта без изолације крова

Месец	Потрошња електричне енергије за грејање [kWh]	Потрошња електричне енергије за грејање [kWh/m ²]
Октобар	559	2.33
Новембар	3031	12.63
Децембар	5961	24.84
Јануар	6589	27.45
Фебруар	4739	19.75
Март	2637	10.99
Април	669	2.79
Укупно	24185	100.77



Слика 34. Приказ процентуалне расподеле потрошње ел. енергије за грејање по месецима

Са слике 34 видимо да се највише струје троши у јануару (27% укупне потрошње струје за грејање током грејне сезоне), потом у децембру (24%), а на трећем месту је фебруар (19%). У марту и новембру упола мање (редом 11% и 13%), док се у октобру и априлу трошило доста мање електричне енергије за грејање (редом 3%, 3%).

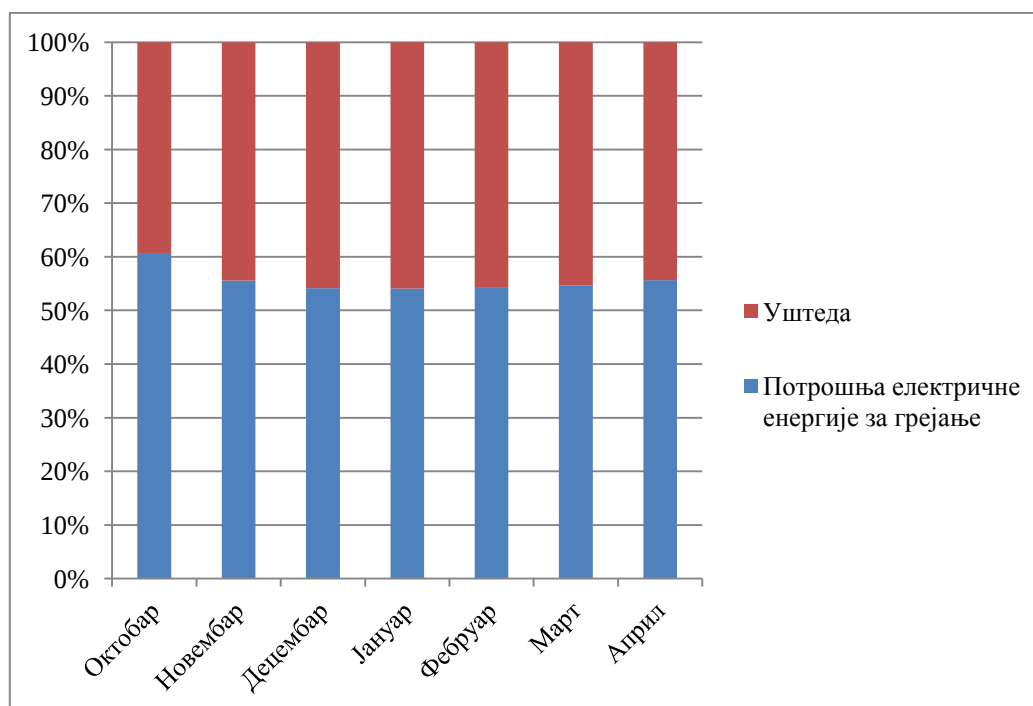
Разлог зашто је потрошња електричне енергије много мања у априлу и октобру јесте што није цео месец узет за симулацију (већ само половина једног и половина другог), а такође и то да су ти месеци топлији у односу на остале.

Резултати симулације 12 су дати у табели 23. Приказана је укупна као и месечна потрошња електричне енергије за грејање у kWh као и у kWh/m², за кућу са кровом на једну воду који је окренут ка југу са највећим нагибом крова ($\alpha=24^\circ$), током грејне сезоне када је кров односно под на тавану изолован (стаклена вуна 10cm).

Табела 23. Потрошња електричне енергије за грејање објекта са изолациом крова

Месец	Потрошња електричне енергије за грејање [kWh]	Потрошња електричне енергије за грејање [kWh/m ²]
Октобар	362	1.51
Новембар	2425	10.10
Децембар	5044	21.02
Јануар	5596	23.32
Фебруар	4002	16.68
Март	2183	9.10
Април	534	2.23
Укупно	20146	83.94

На слици 35 видимо дијаграмски приказ потрошње електричне енергије за грејање и уштеде када је кров односно под на тавану изолован стакленом вуном од 10cm.



Слика 35. Приказ процентуалне расподеле потрошње ел. енергије за грејање по месецима

5.7 Упоређивање добијених резултата

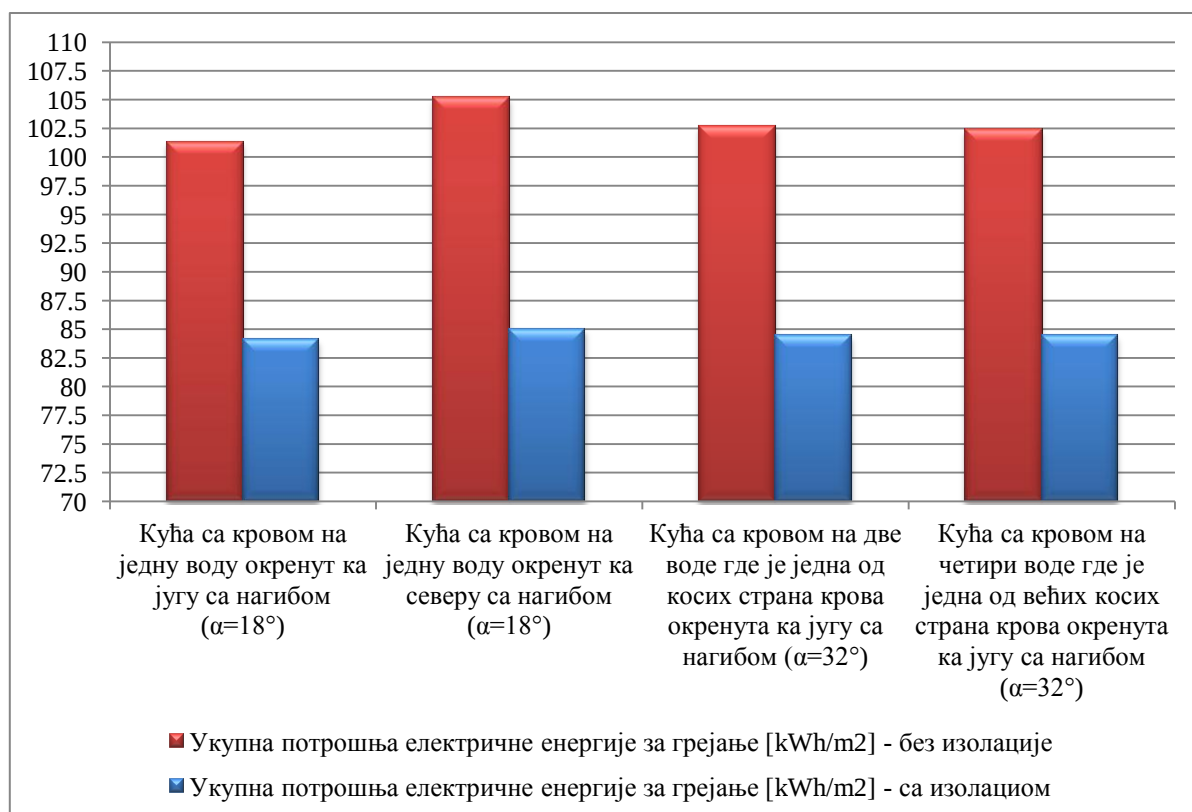
- Упоређене су: кућа са кровом на једну воду окренутог ка југу са нагибом ($\alpha=18^\circ$), кућа са кровом на једну воду окренутог ка северу са нагибом ($\alpha=18^\circ$), кућа са кровом на две воде где је једна од косих страна крова окренута ка југу са нагибом ($\alpha=32^\circ$) и кућа са кровом на четири воде где је једна од већих косих страна крова окренута ка југу са нагибом ($\alpha=32^\circ$).

На основу добијених резултата потрошње електричне енергије за грејање за грејни период (табела 12, табела 13, табела 14, табела 15, табела 16, табела 17, табела 18 и табела 19), приказана је табела 24, где су упоређене вредности потрошње електричне енергије за грејање током грејне сезоне у kWh и kWh/m² за куће са различитим типовима кровних конструкција, са и без изолације крова (стаклена вуна 10cm).

Табела 24. Потрошња електричне енергије за грејање објекта

Тип куће	Изолација крова	Укупна потрошња електричне енергије за грејање [kWh]	Укупна потрошња електричне енергије за грејање [kWh/m ²]
Кућа са кровом на једну воду окренут ка југу са нагибом ($\alpha=18^\circ$)	без изолације	24318	101.33
	са изолациом	20182	84.09
Кућа са кровом на једну воду окренут ка северу са нагибом ($\alpha=18^\circ$)	без изолације	25235	105.15
	са изолациом	20404	85.02
Кућа са кровом на две воде где је једна од косих страна крова окренута ка југу са нагибом ($\alpha=32^\circ$)	без изолације	24643	102.68
	са изолациом	20268	84.45
Кућа са кровом на четири воде где је једна од већих косих страна крова окренута ка југу са нагибом ($\alpha=32^\circ$)	без изолације	24571	102.38
	са изолациом	20268	84.45

На основу табеле 24 на слици 36 је дат дијаграмски приказ укупне потрошње електричне енергије за грејање током грејне сезоне у kWh/m² за куће са различитим типовима кровних конструкција са и без изолације крова (стаклена вуна 10cm).



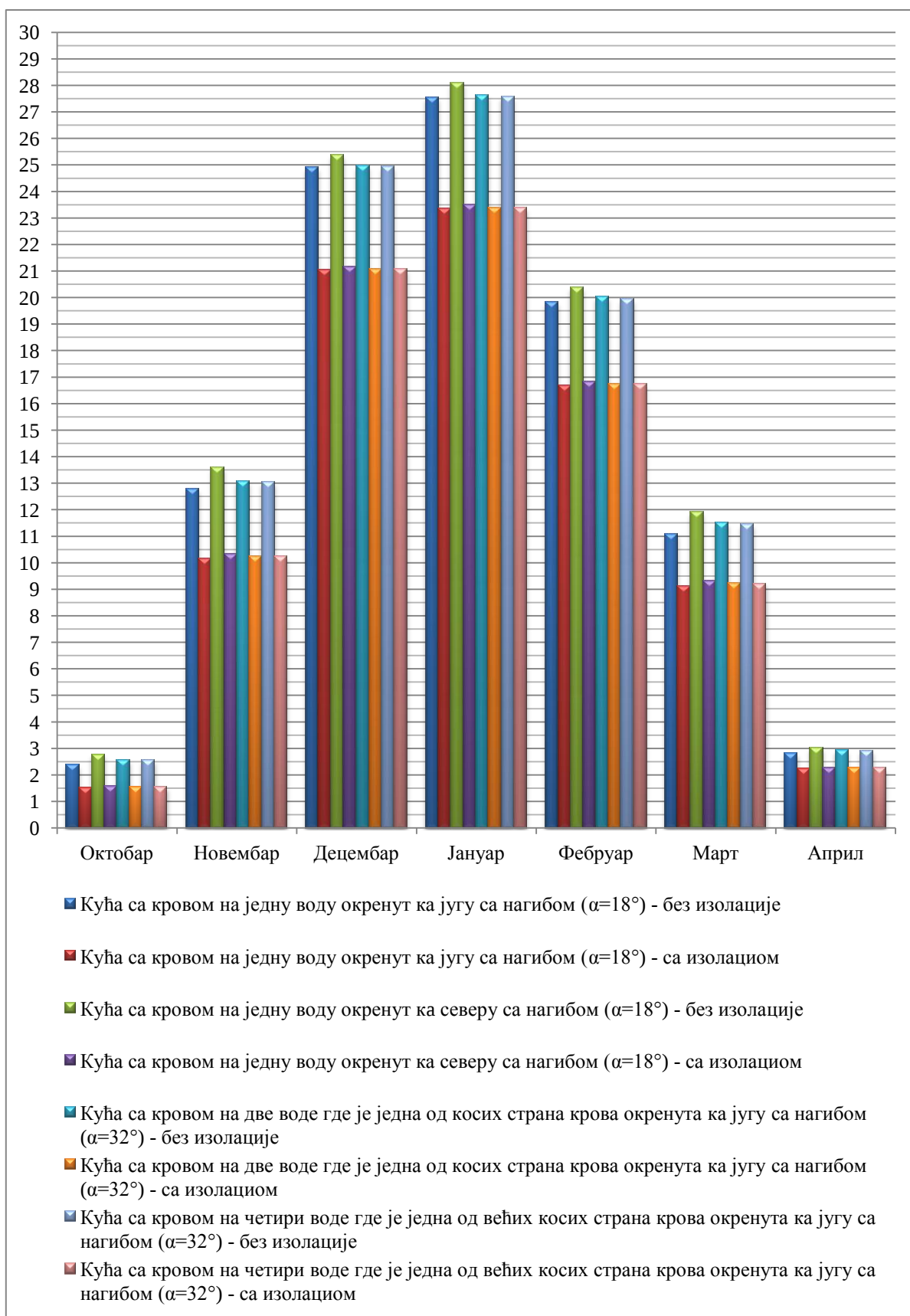
Слика 36. Дијаграмски приказ укупне потрошње електричне енергије за грејање

Са слике 36 видимо да је, за случај када кров није изолован, највећа потрошња електричне енергије за грејање код куће са кровом на једну воду који је окренут ка северу са нагибом ($\alpha=18^\circ$) 105.15 kWh/m^2 , док је најмања потрошња код куће са кровом на једну воду који је окренут ка југу са нагибом ($\alpha=18^\circ$) 101.33 kWh/m^2 .

Са исте слике видимо да је, за случај када је кров изолован, највећа потрошња електричне енергије за грејање код куће са кровом на једну воду који је окренут ка северу са нагибом ($\alpha=18^\circ$) 85.02 kWh/m^2 , док је најмања потрошња код куће са кровом на једну воду који је окренут ка југу са нагибом ($\alpha=18^\circ$) 84.09 kWh/m^2 .

Можемо да приметимо да су добијени резултати, за кућу са кровом на две воде где је једна од косих страна крова окренута ка југу са нагибом ($\alpha=32^\circ$) и за кућу са кровом на четири воде где је једна од већих косих страна крова окренута ка југу са нагибом ($\alpha=32^\circ$) приближни, скоро идентични.

На основу табела 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 и 19 које показују месечну и укупну потрошњу електричне енергије за грејање током сезоне, формирана је слика 37 на којој се може упоредити потрошња у зависности од куће са различитим типовима кровне конструкције.



Слика 37. Дијаграмски приказ поређења потрошње енергије за грејање по месецима (kWh/m^2) у зависности од типа куће

На основу слике 37 види се да је разлика потрошње електричне енергије за грејање по месецима минимална, када су у питању куће са различитим типовима кровних конструкција.

Када је у питању кућа са кровом на једну воду који је окренут ка северу са нагибом ($\alpha=18^\circ$), види се да је код ње највећа потрошња електричне енергије за грејање, за сваки месец током грејне сезоне, у односу на остале куће, док је код куће са кровом на једну воду који је окренут ка југу са нагибом ($\alpha=18^\circ$) најмања потрошња електричне енергије за грејање у односу на остале куће.

Када је у питању изолација крова, односно пода на тавану (стаклена вуна 10cm), највећа уштеда током најхладнијих месеци у грејној сезони, а то су децембар, јануар и фебруар, остварује се код куће са кровом на једну воду који је окренут ка северу са нагибом ($\alpha=18^\circ$) у односу на остале куће.

Када се ради о кући са кровом на две воде где је једна од косих страна крова окренута ка југу са нагибом ($\alpha=18^\circ$) и кући са кровом на четири воде где је једна од већих косих страна крова окренута ка југу са нагибом ($\alpha=18^\circ$), добија се неко средње решење за скоро све месеце, са и без изолације крова.

- Упоређене су: кућа са кровом на једну воду окренутог ка југу са најмањим нагибом крова ($\alpha=11^\circ$), кућа са кровом на једну воду окренутог ка југу са средњим нагибом крова ($\alpha=18^\circ$) и кућа са кровом на једну воду окренутог ка југу са највећим нагибом крова ($\alpha=24^\circ$).

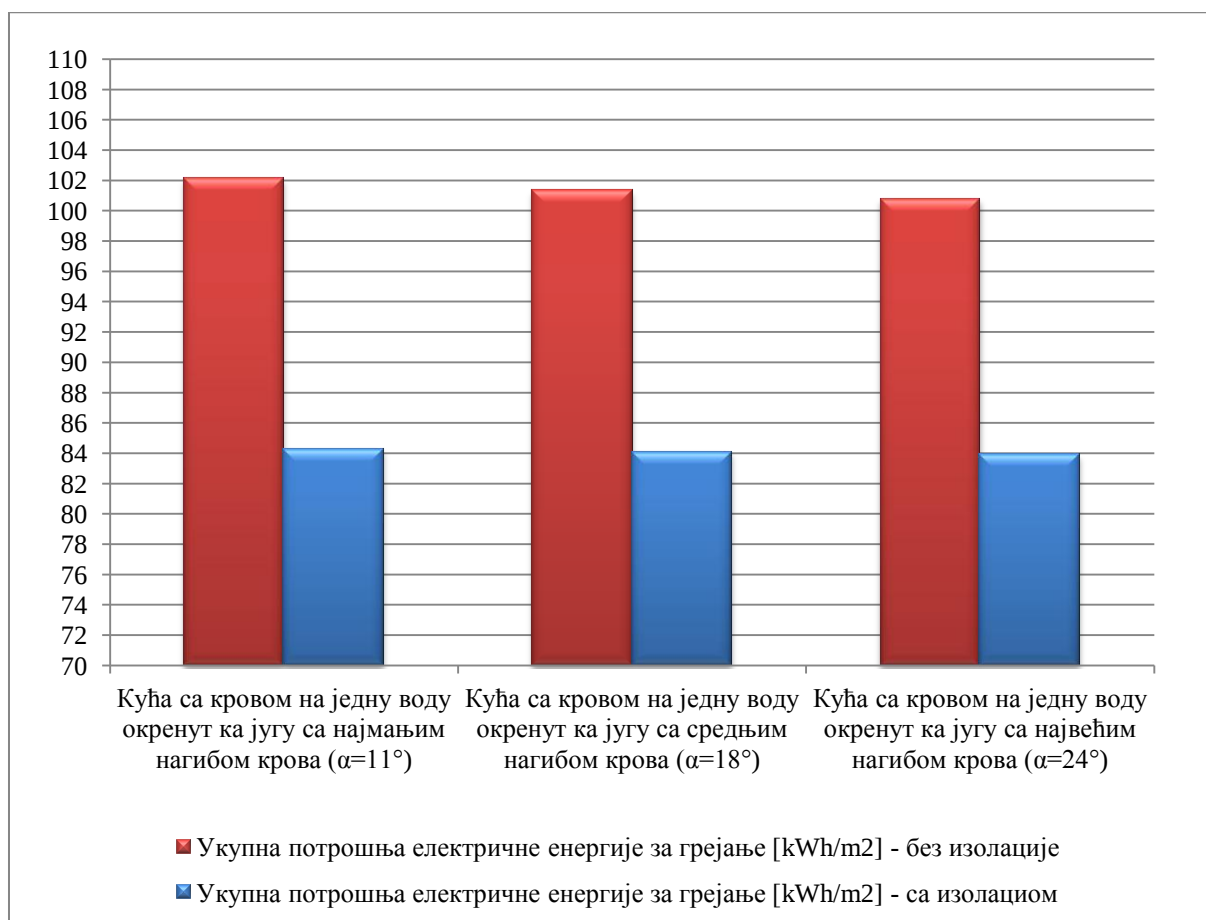
Кућу са кровом на једну воду који је окренут ка југу са средњим нагибом крова ($\alpha=18^\circ$), представља кућа са кровом на једну воду који је окренут ка југу са нагибом ($\alpha=18^\circ$) с обзиром да се ради о некој средњој вредности за нагиб крова у односу на куће са највећим и најмањим нагибом крова.

На основу добијених резултата потрошње електричне енергије за грејање за грејни период (табела 12, табела 13, табела 20, табела 21, табела 22 и табела 23), приказана је табела 25, где су упоређене вредности потрошње електричне енергије за грејање током грејне сезоне у kWh и kWh/m² за куће са кровом на једну воду који је окренут ка југу са различитим нагибима, са и без изолације крова (стаклена вуна 10cm).

Табела 25. Потрошња електричне енергије за грејање објекта

Тип куће	Изолација крова	Укупна потрошња електричне енергије за грејање [kWh]	Укупна потрошња електричне енергије за грејање [kWh/m ²]
Кућа са кровом на једну воду окренут ка југу са најмањим нагибом крова ($\alpha=11^\circ$)	без изолације	24515	102.15
	са изолациом	20228	84.28
Кућа са кровом на једну воду окренут ка југу са средњим нагибом крова ($\alpha=18^\circ$)	без изолације	24318	101.33
	са изолациом	20182	84.09
Кућа са кровом на једну воду окренут ка југу са највећим нагибом крова ($\alpha=24^\circ$)	без изолације	24185	100.77
	са изолациом	20146	83.94

На основу табеле 25 на слици 38 је дат дијаграмски приказ укупне потрошње електричне енергије за грејање током грејне сезоне у kWh/m^2 за куће са различитим типовима кровних конструкција са и без изолације крова (стаклена вуна 10cm).



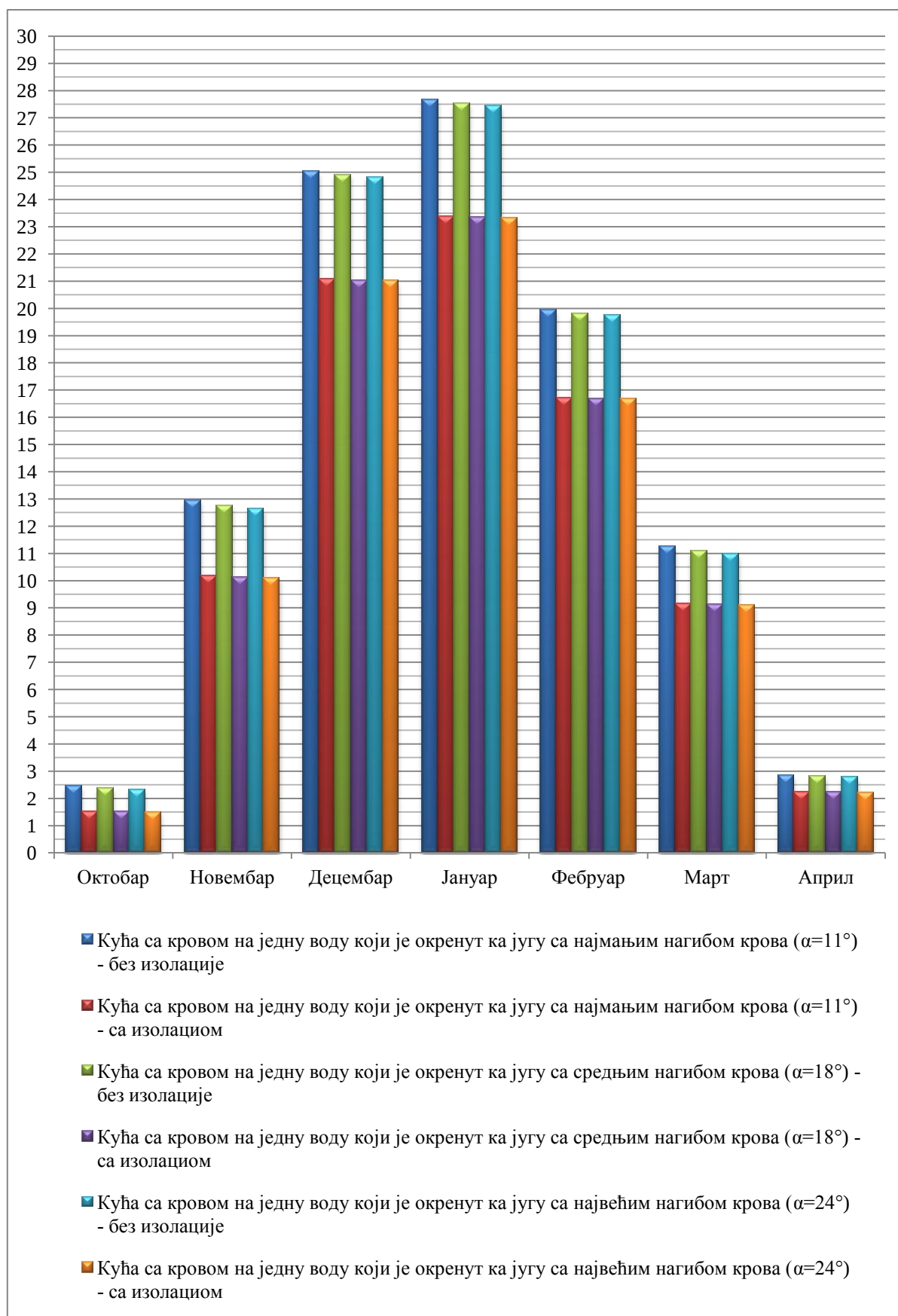
Слика 38. Дијаграмски приказ укупне потрошње електричне енергије за грејање

Са слике 38 видимо да је, за случај када кров није изолован, највећа потрошња електричне енергије за грејање код куће са кровом на једну воду који је окренут ка југу са најмањим нагибом крова ($\alpha=11^\circ$) 102.15kWh/m^2 , док је најмања потрошња код куће са кровом на једну воду који је окренут ка југу са највећим нагибом крова ($\alpha=24^\circ$) 100.77kWh/m^2 .

Са исте слике видимо да је, за случај када је кров изолован, највећа потрошња електричне енергије за грејање код куће са кровом на једну воду који је окренут ка југу са најмањим нагибом крова ($\alpha=11^\circ$) 84.28kWh/m^2 , док је најмања потрошња код куће са кровом на једну воду који је окренут ка југу са највећим нагибом крова ($\alpha=24^\circ$) 83.94kWh/m^2 .

Можемо да приметимо да су добијени резултати за сва три типа куће приближни и да је уштеда када је кров изолован код сва три типа куће скоро иста.

На основу табела 12, 13, 20, 21, 22 и 23 које показују месечну и укупну потрошњу електричне енергије за грејање током сезоне, формирана је слика 39 на којој се може упоредити потрошња у зависности од куће са различитим типовима кровне конструкције.



Слика 39. Дијаграмски приказ поређења потрошње енергије за грејање по месецима (kWh/m^2) у зависности од типа куће

На основу слике 39 види се да је разлика потрошње електричне енергије за грејање по месецима минимална, када су у питању куће са различитим типовима кровних конструкција.

Када је у питању кућа са кровом на једну воду који је окренут ка југу са најмањим нагибом крова ($\alpha=11^\circ$) види се да је код ње највећа потрошња електричне енергије за грејање, за сваки месец током грејне сезоне, у односу на остале куће, док је код куће са кровом на једну воду који је окренут ка југу са највећим нагибом крова ($\alpha=24^\circ$) најмања потрошња електричне енергије за грејање током грејне сезоне.

Када је у питању изолација крова, односно пода на тавану (стаклена вуна 10cm), највећа уштеда током најхладнијих месеци у грејној сезони, а то су децембар, јануар и фебруар, остварује се код куће са кровом на једну воду који је окренут ка југу са најмањим нагибом крова ($\alpha=11^\circ$) у односу на остале куће.

6 ЗАКЉУЧАК

У времену када је потреба за енергијом све већа а исте је све мање, све више се посвећује пажња повећању енергетске ефикасности објеката.

У овом раду је извршена симулација утицаја промене кровне конструкције објекта на уштеду и потрошњу електричне енергије за грејање обухватајући грејну сезону од 15.10. до 15.04.

У раду је коришћена кућа са шест различитих типова кровних конструкција. Први објекат је кућа са кровом на једну воду који је окренут ка југу са нагибом ($\alpha=18^\circ$), за који је потребна енергија за загревање 101.33kWh/m^2 када кров није изолован, док за исту кућу потребна количина енергије за загревање када кров јесте изолован стакленом вуном 10cm износи 84.09kWh/m^2 . Други објекат је кућа са кровом на једну воду који је окренут ка северу са нагибом ($\alpha=18^\circ$), за који је потребна енергија за загревање 105.15kWh/m^2 када кров није изолован, док за исту кућу потребна количина енергије за загревање када кров јесте изолован стакленом вуном 10cm износи 85.02kWh/m^2 . Трећи објекат је кућа са кровом на две воде где је једна од косих страна крова окренута ка југу са нагибом ($\alpha=32^\circ$) за који је потребна енергија за загревање 102.68kWh/m^2 када кров није изолован, док за исту кућу потребна количина енергије за загревање када кров јесте изолован стакленом вуном 10cm износи 84.45kWh/m^2 . Четврти објекат је кућа са кровом на четири воде где је једна од већих косих страна крова окренута ка југу са нагибом ($\alpha=32^\circ$) за који је потребна енергија за загревање 102.38kWh/m^2 када кров није изолован, док за исту кућу потребна количина енергије за загревање када кров јесте изолован стакленом вуном 10cm износи 84.45kWh/m^2 . Пети објекат је кућа са кровом на једну воду који је окренут ка југу са најмањим нагибом крова ($\alpha=11^\circ$), за који је потребна енергија за загревање 102.15kWh/m^2 када кров није изолован, док за исту кућу потребна количина енергије за загревање када кров јесте изолован стакленом вуном 10cm износи 84.28kWh/m^2 . Шести објекат је кућа са кровом на једну воду који је окренут ка југу са највећим нагибом крова ($\alpha=24^\circ$), за који је потребна енергија за загревање 100.77kWh/m^2 када кров није изолован, док за исту кућу потребна количина енергије за загревање када кров јесте изолован стакленом вуном 10cm износи 83.94kWh/m^2 .

Када смо упоредили потрошњу електричне енергије за грејање за први, други, трећи и четврти објекат, видели смо да највећу потрошњу има кућа са кровом који је окренут ка северу са нагибом ($\alpha=18^\circ$) 105.15kWh/m^2 када кров није изолован, а када кров јесте изолован стакленом вуном 10cm износи 85.02kWh/m^2 , док најмању потрошњу има кућа са кровом који је окренут ка југу са нагибом ($\alpha=18^\circ$) 101.33kWh/m^2 када кров није изолован, а када кров јесте изолован стакленом вуном 10cm износи 84.09kWh/m^2 .

Такође смо упоредили потрошњу електричне енергије за грејање за први, пети и шести објекат. Добијени резултати су показали да имамо највећу потрошњу енергије код куће са кровом на једну воду који је окренут ка југу са најмањим нагибом крова ($\alpha=11^\circ$), за који је потребна енергија за загревање 102.15kWh/m^2 када кров није изолован, а када кров јесте изолован стакленом вуном 10cm износи 84.28kWh/m^2 , док најмању потрошњу има кућа са кровом на једну воду који је окренут ка југу са највећим нагибом крова ($\alpha=24^\circ$), за који је потребна енергија за загревање 100.77kWh/m^2 када кров није изолован, а када кров јесте изолован стакленом вуном 10cm износи 83.94kWh/m^2 .

Упоређивањем свеукупних добијених резултата долазимо до закључка да најисплатљивије решење за уштеду електричне енергије за грејање током зимског

периода представља кућа са кровом на једну воду који је окренут ка југу са највећим нагибом крова ($\alpha=24^\circ$).

Несумњиво да је повећање енергетске ефикасности један од најбржих начина за повећање економске и еколошке ефикасности, а управо таквим приступом шаљемо поруку да делимо забринутост за несигурну енергетску будућност.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Слободан Зрнић, Живојин Ђулум, Грејање и климатизација са применом соларне енергије, Научна књига, Нови Сад, 1966.
- [2] http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/on%20februar%202012.cfm/weather_data2.cfm/region=6_europe_wmo_region_6 - приступљено 15.10.2016.
- [3] Зоран Живковић, Предлог мера за финансирање енергетске ефикасности у зградарству у Србији, Грађевинска књига, Београд, 2011.
- [4] Тодоровић, Б., Пројектовање постројења за централно грејање, Машински факултет, Београд, 2005.
- [5] <http://www.efikasnost.com/> - приступљено 16.10.2016.
- [6] http://www.grf.bg.ac.rs/p/learning/termoizolacioni_materijali_1387814173320.pdf - приступљено 16.10.2016.
- [7] https://en.wikipedia.org/wiki/Incandescent_light_bulb - приступљено 17.10.2016.