Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Ђорђе М. Радисављевић

Утицај коефицијента емисије топлотног омотача објекта током грејне сезоне на уштеду топлотне енергије

Мастер рад

Крагујевац, 2019.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Назив студијског програма: Машинско инжењерство
Ниво студија: Мастер студије
Модул: Енергетика и процесна техника
Предмет: Термоенергетски уређаји и постројења
Број индекса: 379/2014

Ђорђе М. Радисављевић

Утицај коефицијента емисије топлотног омотача објекта током грејне сезоне на уштеду топлотне енергије

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Проф. Др Небојша Лукић - ментор**
2. _____
3. _____

Датум одбране:_____

Оцена:_____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да проучи препоручену, као и ширу литературу, и да формира модел стамбене куће и симулира понашање њеног топлотног омотача у различитим деловима размене топлоте са околином у току грејне сезоне. Симулације ће бити реализоване у софтверу Energy Plus. Посебно треба обратити пажњу на утицај емисионих карактеристика фасаде куће на потрошњу енергије за грејање.

Препоручена литература:

[1] Лукић Н., Бабић М., Соларна енергија, Машински факултет, Крагујевац, 2008.

[2] SRPS EN 12831:2003 – Европски стандард за прорачун топлотних губитка и пројектовање топлотног оптерећења

[3] Тодоровић, Б., Пројектовање постројења за централно грејање, Машински факултет, Београд, 2005.

Крагујевац, 28.01.2019.

Ментор:

_____

Проф. др Небојша Лукић
Редовни професор

РЕЗИМЕ

Једна од најчешће коришћених метода за смањење потрошње енергије за грејање објеката – зграда јесте унапређење енергетских карактеристика објеката. У овом раду извршена је компаративна анализа енергетских потреба зграде за грејање простора, на основу студија случаја у којима су вршене модификације дебљине изолације омотача зграде, као и различити коефицијенти емисије и апсорпције фасаде. За анализу је изабран је стамбени објекат на три етаже, повришине од $300\mathrm{m}^2$, а грејна површина износи $215\mathrm{m}^2$. За симулације и анализе ефеката примене мера за унапређење енергетске ефикасности објекта на смањење потрошње енергије за грејање коришћен је програм Google Sketch Up i Energy Plus.

Циљ рада јесте да се коришћењем динамичких енергетских симулација топлотног понашања зграде израчунају енергетске потребе за грејање, уочавајући разлике између енергетских перформанси зграде у различитим сценаријима. У том смислу извршиће се компаративна анализа енергетских потреба добијених коришћењем различитих дебљина изолација спољашњих зидова и различитих коефицијената емисије фасаде.

Кључне речи: Грејање, уштеда енергије, топлотни омотач, изолација

ABSTRACT

One of the most commonly used methods for reducing energy consumption for heating buildings is improvement of energy performance of buildings. In this paper, a comparative analysis of the energy needs of the building for space heating was carried out, based on case studies in which modifications of the thickness of insulation of the building envelope were made, as well as the different coefficients of emission and absorption of the wall. For the analysis, is chosen a residential building built on three floors, with an area of $300\mathrm{m}^2$ and a heating surface of $215\mathrm{m}^2$. For the simulation and analysis of the effects of applying measures for improving the energy efficiency of the building to reduce energy consumption for heating were used Google Sketch Up and Energy Plus.

The aim of the paper is to use the dynamic energy simulations of the thermal behavior of the building to calculate the energy demand for heating, noting the differences between the energy performance of the building in different scenarios. In this sense, it will be done comparative analysis of the energy needs obtained using different thicknesses of the insulation of the exterior walls and different emission coefficient of the wall.

Keywords: Heating, energy consumption, heat wrap, insulation

Садржај

1 Увод 1
2 Теоријске основе 3
2.1 Омотач зграде 3
2.2 Топлотни губици кроз омотач објекта 4
2.3 Смањење топлотних губитака на објектима 5
2.4 Трансмисиони и вентилациони губици - теоријске основе 6
2.4.1 Трансмисиони топлотни губици Φ_T (W) 7
2.4.2 Вентилациони губици топлоте $\Phi_{V,i}$ (W) 9
2.5 Пасивни соларни системи 10
2.5.1 Тромбеов зид 11
3 Термоизолација 13
3.1 Основни појмови 13
3.2 Материјали, основне карактеристике 14
3.2.1 Стиропор 15
3.2.2 Минерална вуна 16
3.3 Конструкције зидова 17
3.4 Спољашња изолација зидова стиропором 17
4 Коришћени софтвери 18
4.1 Google Sketch Up 18
4.2 Energy Plus 19
5 Опис моделираног стамбеног објекта 22
5.1 Локација и опис објекта 22
5.2 Материјали и конструкција објекта 28
6 Анализа резултата 31
6.1 Резултати симулације објекта по уобичајеним вредностима параметара апсорпције 33
6.2 Резултати симулације објекта по задатим вредностима параметара апсорпције 34
6.5 Резултати симулација објекта након уклањања или смањења дебљине спољашње изолације зидова стиропором различитих дебљина на различитим зидовима (исток, запад, север и југ) 36
6.6 Упоређивање добијених резултата 38
7 Период отплате 41
8 Закључак 44
Литература 45

1 Увод

На глобалном нивоу, око 40% од укупне потрошње финалне енергије представља енергија која се троши у зградама. Од тог удела у Европи око 70% се троши на потребе грејања. Поред тога, грађевински сектор је у порасту, што ће довести до повећања потрошње енергије, поготово у стамбеним и комерцијалним зградама које су највећи крајњи потрошачи енергије за грејање, осветљење, као и за потребе рада кућних апарата и опреме.Технички потенцијал за побољшање енергетске ефикасности у сектору домаћинства, пословним и јавним зградама је велики. Да би се обезбедила потребна количина енергије неопходно је применити све мере за унапређење енергетске ефикасности зграда.

Уколико посматрамо енергетску ефикасност објеката, који су према својим особинама сврстани у одређене категорије, лако можемо закључити да упркос постојању енергетских губитака кућа може бити енергетски ефикасна. То је разлог зашто постоји стална тежња да се губици сведу на минимум, али у томе постоји читав низ отежавајућих околности. Првенствено квалитет градње куће, затим изолације, столарије. Енергетски ефикасним кућама називају се:

- Нискоенергетске куће - објекти који у односу на тзв. обичне куће имају мање потребе за топлотном енергијом, и троше 30% мање енергије.
- Пасивне куће - објекти без активног система загревања или климатизације, троши чак до 90% мање енергије од уобичајених објеката.
- Куће нулте енергије - објекти са нултом енергетском потрошњом и нултом емисијом угљен диоксида, користе обновљиве изворе енергије.
- Независне или аутономне куће - објекти који би требало нормално функционисати независно од инфраструктурне подршке споља.
- Куће с вишком енергије – објекти који током године, производе више енергије користећи обновљиве изворе енергије него што узимају из спољашњих система.

Нискоенергетски објекти су они чије су годишње потребе за грејање простора између 40 и 60 kWh/m^2. Главни циљ нискоенергетских објеката јесте да се минимизира количина енергије која се обезбеђује из спољашњих извора енергије, а да се при том обезбеди потребан ниво топлотног комфора корисника објекта, без обзира на годишње доба и спољашње климатске параметре. Нискоенергетске зграде најчешће имају веома добру изолацију и енергетски ефикасне прозоре, због чега је потребна енергија за грејање и хлађење мала, па су ови објекти енергетски веома ефикасни.

И док се у развијеним земљама стандардном градњом сматра енергетски ефикасна кућа, код нас, због лошијег животног стандарда, градња кућа готово и да не постоји у односу на ранији период који се сматра златним добом грађевинарства. Тако да са сигурношћу можемо рећи да се у нашој земљи углавном говори о енергетској ефикасности када се ради о реновирању старих објеката, на којима се ради изолација и замена расушене столарије, или када је у питању изградња стамбених зграда, [1].

Из разлога повећања енергетске ефикасности у фази пројектовања се користе разни програмски пакети да би 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 GoogleSketchUp за моделирање објеката и EnergyPlus који има могућност да симулира термичку функцију објекта у условима приближним реалним.

Вршене су симулације за различите конструкције спољашњег зида, са различитим карактеристикама, дебљинама изолације на различитим странама објекта, као и различитим коефицијентима емисије и апсорпције фасаде, који директно утичу на термичка својства материјала. Основни циљ оваквих симулација је упоређивање потрошње енергије за грејање током сезоне као и понашање и потрошња ових конструкција у различитим временским периодима и са различитим карактеристикама омотача објекта, мењајући параметре емисије и асорпције фасаде.

За побољшање енергетске ефикасности зграда мора се применити скуп метода и техника помоћу којих се зграда разматра као објекат за размену енергије са околином. Побољшање енергетских карактеристика зграде може бити постигнуто различитим методама, као што су:

– добра изолација зидова и коришћење прозора са високим степеном термичке заштите, чиме се на нивоу зграде стварају повољни унутрашњи услови комфора;
– побољшање енергетских перформанси система грејања;
– побољшање перформанси система за климатизацију и електричних инсталација.

2 Теоријске основе

Највећи утрошак енергије у зградама представљају губици топлотне енергије (топлотна енергија потребна за грејање објекта). Најбољи начин за побољшање енергетске ефикасности зграде, којим се остварује уштеда потрошње енергије, јесте изолација целе зграде, као и крова и подрумског простора код којих се могу остварити велике уштеде топлотне енергије.

Да би се смањили губици топлотне енергије потребно је применити низ додатних мера које узимају у обзир следеће аспекте:

– топлотни омотач зграде треба да обезбеди потребан унутрашњи термички комфор уз малу потрошњу енергије, без обзира на годишње доба;

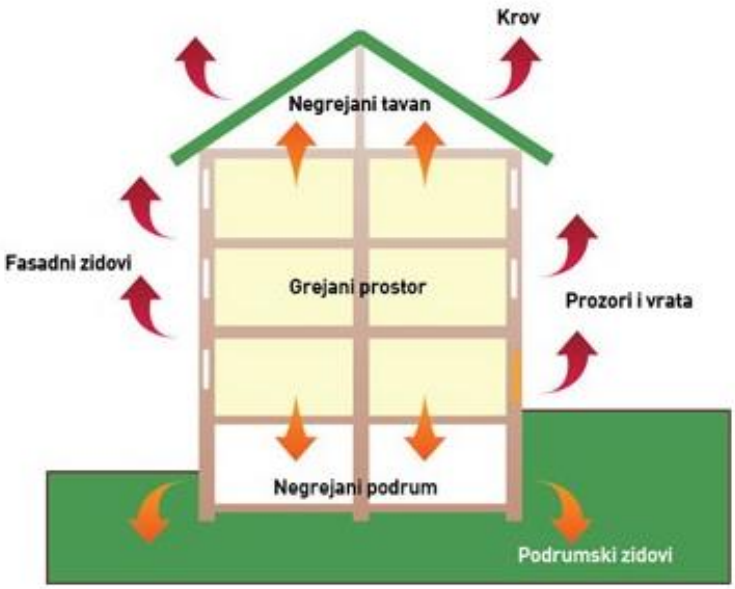
– прозори треба да имају најмањи могући коефицијент пролаза топлоте, да обезбеде максималне добитке енергије од сунца у зимском периоду и да их контролишу у летњем, како би се смањиле потребе за енергијом за грејање, тј. хлађењем;

– кров треба да буде правилно изолован.

Најчешће коришћена метода која се користи за енергетску ревитализацију зграде јесте изолација спољашњих зидова, тј. омотача зграде.

2.1 Омотач зграде

На уштеду топлотне енергије у домаћинствима највећим делом утиче омотач објекта. Топлотна енегрија губи се кроз такозвани омотач зграде тј. сви гранични елементи који одвајају грађевински објекат од ваздуха или тла на коме је подигнут (слика 1). Омотач зграде чине: Кровна конструкција, фасадни зидови објекта, прозори и врата објекта, основа објекта.



Слика 1. Омотач зграде

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

1. Смањује се пролаз топлоте кроз поједине сегменте омотача (трансмисиони губици топлоте)
2. Смањује се инфилтрација ваздуха у просторију (вентилациони губици објекта)
3. Смањује се дифузија водене паре, и са њом у вези губици топлотне енергије

Дебљина и квалитет омотача зграде имају значајан утицај на количину топлотне енергије која се губи кроз зидове. У случају неквалитетне изолације настају додатни губици топлотне енергије током зиме, могућност настанка кондензације на унутрашњим зидовима, као и прекомерна потрошња енергије за хлађење у летњем периоду. Најчешће коришћени изолациони материјали су експандирани полистирен (EPS) и екструдирани полистирен (XPS).

У процесу енергетске рехабилитације зграде прозори представљају важан сегмент, јер најчешће заузимају велику површину омотача зграде, што је чест случај код пословних зграда. Данас су све више у употреби веома квалитетни прозори са троструким нискоемисионим стаклом, који омогућавају знатно смањење трошкова за грејање простора. Побољшање термичких карактеристика кровне конструкције је веома ефикасна мера за побољшање енергетске ефикасности објеката, која се може применити како код нових објеката, тако и на постојећим зградама. Правилном изолацијом крова смањују се губици топлоте и омогућава се захтевани топлотни комфор унутар зграде. Уградња додатног изолационог слоја у кровну конструкцију је једноставна за извођење, не представља велику инвестицију, а отплаћује се за веома кратак период.

Примарна улога топлотне изолације објекта је да смањи пролаз топлоте кроз поједине сегменте омотача како зими тако и лети. Такође топлотна изолација штити носећу конструкију од спољашњих утицаја и јаких температурних напрезања и продужава животни век објекта.

2.2 Топлотни губици кроз омотач објекта

У току зимског периода, када је спољна температура ваздуха нижа од жељене температуре у просторијама зграде, долази до одавања топлоте просторије кроз грађевински омотач зграде.

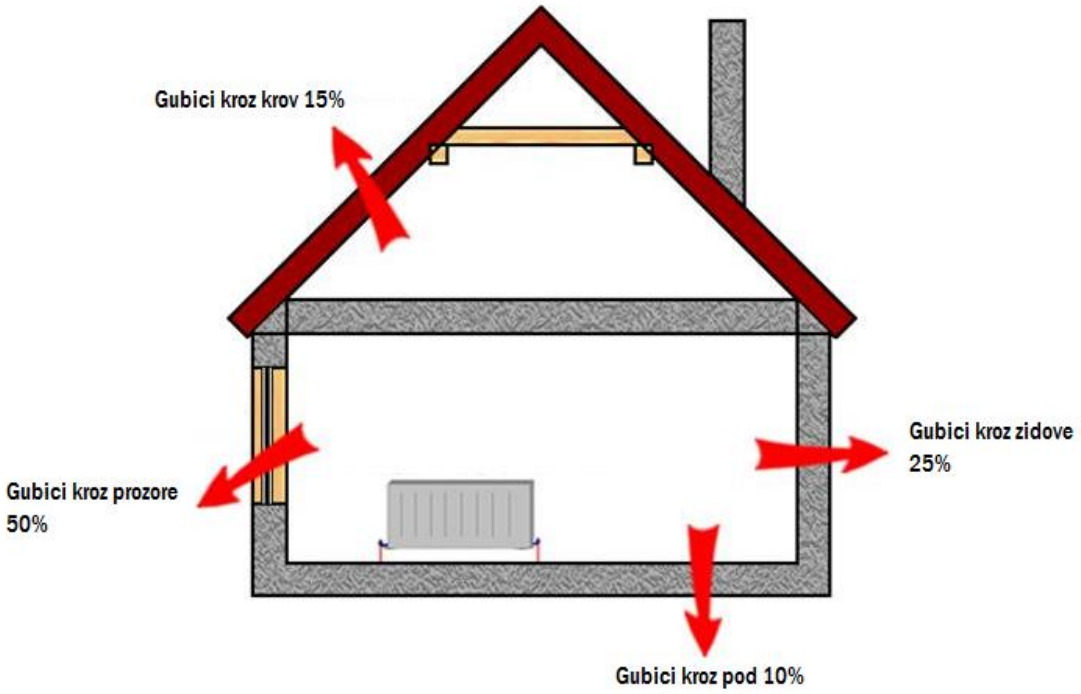
Одата количина топлоте околини надокнађује се системом за грејање. Потребна количина топлоте за грејање се доводи просторији да би се у њој одржала жељена температура унутрашњег ваздуха. Потребна количина топлоте за грејање једнака је одатој топлоти у околину. Та количина топлоте се у терминологији која се користи у пракси инжењера термотехнике назива ГУБИЦИ ТОПЛОТЕ или ТОПЛОТНИ ГУБИЦИ.

Пренос топлоте трансмисијом (или само трансмисија) подразумева размену топлоте кроз грађевински омотач зграде механизмом пролаза топлоте, који се карактерише преко коефицијента пролаза (пролажења) топлоте K (W/m^2K).

Пролаз топлоте обухвата механизме провођења, прелаза топлоте и зрачења. Провођење топлоте (или кондукција) је механизам размене топлоте кроз чврсте материје, приликом чега је топлотни флукс усмерен од топлије ка хладнијој страни. Карактерише се преко топлотне проводљивости λ (W/mK), која представља термо-физичку особину материјала. На слици 2 је приказана просечна расподела трансмисионих губитака топлотне енергије кроз омотач објекта.

Топлотни губици кроз под у просеку чине 10% од укупних топлотних губитака куће. Топлотни губици кроз под могу бити смањени и за 60% постављањем термоизолације. Ако је температурна разлика између загрејаног и умерено загрејаног простора мала, тј. мања од 4-5 °C, скоро да се и не исплати постављање термоизолације, као на пример изолација пода између два грејана спрата. У том случају изолација пода се поставља само на темељу. Само знатно хладније просторије се термоизолују.

Дебљина изолације пода зависи од температуре хладне просторије, а износи 8 cm за подове изнад просторија које се греју, 10 cm за подове изнад отвореног простора, а ако се ради и о подном грејању онда те величине треба увећати на 13 cm, [2].



Слика 2. Топлотни губици кроз омотач зграде

2.3 Смањење топлотних губитака на објектима

Да би се смањили трошкови за грејање потребно је поставити или повећати дебљину термоизолације, као и заменити прозоре. То се нарочито односи на породичне куће без фасаде и оне стамбене зграде које су грађене без термоизолације. Изолација куће или стана може бити једно од најбржих и најефиксанијих начина да се остваре енергетске уштеде у домаћинству. Под добром изолацијом подразумевамо употребу материјала и технологија које ће омогућити квалитетну термо заштиту од спољашње температуре (зими и лети).

Постављањем термоизолације са спољашње стране фасаде решава проблем кондезације паре (од кувања, тушираља, сушења одеће) која се јавља због ниске температуре зида па самим тим и настанак буђи. Такође се повећава топлотни комфор у простору због повећане температуре зида. Термоизолација штити зграду од штетних спољашњих утицаја и њихових последица (влага, смрзавање, прегревање) чиме се

продужује њен век трајања. Оптималне изолација је дебљине између 5 и 10 cm, а најчешћи материјали који се користе за изолацију су минерална вуна, стаклена вуна, полистирен (стиропор) и полиуретан.

Спољашња врата и прозори су елементи конструкције који су најугроженији када су у питању губици енергије кроз пукотине и цурење ваздуха кроз оквир прозора и око њега. Осим тога су подложни стварању топлотних мостова кроз бројне зглобове и прелазе између зида, оквира, крила и стакла. Такође, врата и прозори имају високу топлотну проводљивост, због чега су главни извори губитка енергије. То се нарочито односи на дотрајала врата и прозоре традиционалне израде. Они у току грејне сезоне изгубе велике количине топлоте, која одлази у атмосферу, и пропуштају превише хладног ваздуха.

Врата и прозори новије производње поседују фабричку термоизлацију и стога су енергетски ефикасни. Замена прозора са једним стаклом, прозорима са двоструким или троструким стаклом једна је од најефикаснијих мера енергетске ефикасности у домаћинствима. Дупли прозори су постали стандард, док се прозори са троструким стаклом користе у екстремно хладним климатским условима. У нове прозоре се уграђују стакла ниске емисије, тако да се уштеде енергије остварују на више начина.

2.4 Трансмисиони и вентилациони губици - теоријске основе

У овом раду спроведен је и прорачун укупних топлотних губитака објекта у оквиру програма Energy Plus и димензионисана су и одабрана грејна тела и извор топлоте (котао).

Да би се систем грејања стамбеног објекта могао исправно димензионисати потребно је да се прорачунају топлотни губици објекта. Прорачун се изводи према Европском стандарду SRPS EN 12831:2003. Стандард дефинише прорачун потребног топлотног учинка за одржавање унутрашње пројектне температуре просторије при спољашњим пројектним условима. Спољашњи пројектни услови нису дефинисани у стандарду него се узимају зависно од локације објекта, у табели 1 су приказане пројектне температуре за градове у Србији. Пројектни топлотни губици се рачунају за сваку грејну просторију, па се затим сабирају и на тај начин се добијају укупни топлотни губици зграде, [3].

Место	$\theta_{H,e}$	Место	$\theta_{H,e}$
Банатски карловци	-13.2	Копаоник	-20.1
Београд	-12.1	Лесковац	-17.4
Бечеј	-15.8	Лозница	-13.7
Ваљево	-14.4	Ниш	-14.5
Врање	-15.3	Нови Сад	-14.8
Вршац	-15.4	Пећ	-18.1
Велико Градиште	-14.1	Пожега	-18.3
Димотровград	-15.8	Призрен	-18.4
Зајечар	-17.5	Приштина	-19.8
Златибор	-16	Сјеница	-23.7
Зрењанин	-14.8	Сомбор	-15.1
Кикинда	-15.3	Сремска Митровица	-15
Краљево	-14.7	Сурчин-Београд	-13
Крушевац	-16.2	Црни Врх	-18.5
Крагујевац	-15	Ћуприја	-15.2

Табела 1 – Спољне пројектне температуре, $\theta_{H,e}$ [^{o}C], за места у Републици Србији. [4]

2.4.1 Трансмисиони топлотни губици Φ_T (W)

Прорачун трансмисионих губитака подразумева прорачун измене топлоте кроз све грађевинске елементе просторије према спољашњој околини, према суседним негрејаним просторијама, према суседним просторијама грејаним на нижу температуру, као и према тлу. За одређивање укупних трансмисионих губитака топлоте грејне просторије користи се следећа формула:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{\text{int},i} - \theta_e) \quad \text{(W)} \qquad (1)$$

где су:
$H_{T,ie}$ (W/K) – коефицијент трансмисионих топлотних губитака из грејане просторије (i) у спољашњу средину (e) кроз омотач зграде;
$H_{T,iue}$ (W/K) – коефицијент трансмисионих топлотних губитака из грејане просторије (i) у спољашњу средину (e) кроз негрејану просторију (u);
$H_{T,ig}$ (W/K) – коефицијент топлоних губитака услед стационарне трансмисије из грејане просторије (i) ка тлу (g);
$H_{T,ij}$ (W/K) – коефицијент трансмисионих губитака из грејане просторије (i) у суседну грејану просторију (j), грејану на знатно различиту температуру, тј. у суседну грејану просторију у оквиру једне целине зграде или у грејану просторију суседне целине исте зграде;
$\theta_{int,i}$ (^{o}C) – унутрашња пројектна температура грејане просторије;
θ_e (^{o}C) – спољна пројектна температура.

Коефицијент трансмисионих топлотних губитака $H_{T,ie}$ (W/K)

За прорачун губитака топлоте кроз елементе објекта који су у контакту са спољним ваздухом користи се следећи образац:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_1 \Psi_1 \cdot l_1 \cdot e_1 \text{ (W/K)} \qquad (2)$$

где је:
A_k (m^2) – површина елемента (k) зграде;
e_k, e_1 (-) – корекциони фактори изложености који узимају у обзир климатске утицаје као што су различита изолација, апсорпција влаге од стране елемената зграде, брзина ветра и температура, под условом да ови утицаји нису били већ узети у обзир при одређивању *U*- вредости;
U_k (W/m^{2}K) – коефицијент пролаза кроз елемент (k) зграде;
l_1 (m) – дужина линијског топлотног моста (1) између унутрашњости и спољашњости;
Ψ_1 (W/mK) – коефицијент линијске топлотне проводљивости линијских топлотних мостова (1).

Коефицијент трансмисионих топлотних губитака $H_{T,iue}$ (W/K)

Ако се између грејане просторије (i) и околине (e) налази негрејана просторија (u), коефицијент пројектних трансмисионих топлотних губитака из грејане просторије у спољашњост се рачуна на следећи начин:

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u + \sum_1 \Psi_1 \cdot l_1 \cdot b_u \text{ (W/K)} \qquad (3)$$

где је:
A_k (m^2) – површина елемента (k) зграде;
b_u (-) – фактор смањења температуре који узима у обзир разлику између температуре негрејане просторије и спољне пројектне температуре;
U_k (W/m^{2}K) – коефицијент пролаза кроз елемент (k) зграде;
l_1 (m) – дужина линијског топлотног моста (1) између унутрашњости и спољашњости;
Ψ_1 (W/mK) – коефицијент линијске топлотне проводљивости линијских топлотних мостова (1).

Коефицијент трансмисионих топлотних губитака $H_{T,ig}$ (W/K)

Коефицијент пројектних трансмисионих топлотних губитака у стационарном стању из грејане просторије (i) кроз тло (g), , $H_{T,ig}$ рачуна се на следећи начин:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot (\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k}) \cdot G_W \text{ (W/K)} \qquad (4)$$

где је:
f_{g1} (-) – корекциони фактор који узима у обзир утицај годишњег колебања спољашње температуре;
f_{g2} (-) – фактор редукције температуре који узима у обзир разлику између просечне годишње температуре и спољне пројектне температуре;
A_k (m^2) – површина елемента (k) зграде у додиру са земљом;

G_w (-) – корекциони фактор који узима у обзир утицај подземних вода;

Коефицијент трансмисионих топлотних губитака $H_{T,ij}$ (W/K)

$H_{T,ij}$ изражава топлоту пренету трансмисијом из једне грејане просторије (i) у суседну грејану просторију (j), загрејану на знатно другачију температуру. Ово може бити суседна соба унутар истог дела зграде (купатило, соба за медицинске прегледе) или соба која припада суседном делу зграде, (стан) или соба која припада суседној згради која може бити негрејана . $H_{T,ij}$ се рачуна на следећи начин:

$$H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k \quad \text{(W/K)} \qquad (5)$$

f_{ij} (-) – фактор редукције температуре који узима у обзир разлику између температуре суседне просторије и спољне пројектне температуре;
A_k (m^2) – површина елемента (k) зграде;
U_k (W/m^2K) – коефицијент пролаза кроз елемент (k) зграде;

2.4.2 Вентилациони губици топлоте $\Phi_{V,i}$ (W)

За одређивање вентилационих губитака користе се следећа једначина:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{\text{int},i} - \theta_e) \quad \text{(W/K)} \qquad (6)$$

где је:
$H_{V,i}$ (W/K) – коефицијент топлотних вентилационих губитака из грејане просторије (i);
$\theta_{int,i}$ (^oC) – унутрашња пројектна температура грејане просторије;
θ_e (^oC) – спољна пројектна температура.

Грејање са прекидима $\Phi_{RH,i}$ (W)

Грејни капацитет потребан да компензује ефекте грејања са прекидима, $\Phi_{RH,i}$, у грејаној просторији (i), рачуна се на следећи начин:

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} \quad \text{(W/K)} \qquad (8)$$

где је:
A_i (m^2) – површина пода грејане просторије;
f_{RH} (W/m^2) – корекциони фактор који зависи од времена узгревања и претпостављеног снижења унутрашње температуре током обуставе грејања.

Укупни пројектни губици топлоте за грејану просторију $\Phi_{HL,i}$ (W)

За грејану просторију (i), укупни пројектни губици топлоте, $\Phi_{HL,i}$, и рачунају се на следећи начин:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i} \quad \text{(W)} \qquad (9)$$

где су:
$\Phi_{T,i}$ (W) – трансмисиони топлотни губици грејане просторије (i);
$\Phi_{V,i}$ (W) – вентилациони топлотни губици грејане просторије (i);
$\Phi_{RH,i}$ (W) – грејни капацитет потребан да компензује ефекте грејања са прекидима грејане просторије (i).

2.5 Пасивни соларни системи

Енергија Сунца спада у обновљиве изворе енергије и може се користити активно и пасивно. Активно коришћење Сунчевог зрачења подразумева његову директну трансформацију у електричну или топлотну енергију. Ова трансформација се врши помоћу различитих уређаја. Најчешће се користе соларни колектори за добијање топлотне енергије и фотонапонски панели за добијање електричне енергије.

Активни системи су они који у први план стављају инсталациону опрему, а пасивни системи су они који преводе енергетске феномене у архитектонси концепт где кућа постаје пријемник који захвата и чува највећи део сунчеве енергије. Активни соларни системи поскупљују изградњу док се применом пасивних система може постићи уштеда енергије уз веома мале додатне трошкове.

Пасивни соларни системи су поузданији и захтевају мање одржавање. Највећа предност пасивних соларних објеката, нарочито ако имају стакленик, је пријатан унутрашњи амбијент. За разлику од активних система, код пасивних не постоји посебан систем уређаја, већ читав објекат ради као колектор сунчевог зрачења.

Све функције система на себе преузимају делови и елементи објекта. Кућа која захвата сунчеву енергију може да је користи скоро сваког дана, чак и по облачном времену.

Код пасивног коришћења Сунчевог зрачења нема компликованих уређаја и технологија, већ се помоћу класичних материјала за грађење (бетон, метал, камен, стакло, дрво итд.) искоришћава енергија Сунца. Задатак пасивног соларног система је да акумулира што више Сунчеве енергије у стамбеној згради у сезони грејања. Међутим, у летњем периоду, задатак пасивног соларног система је да заштити зграду од прегревања просторија услед интензивног Сунчевог зрачења.

Пасивни системи раде на принципу транспарентности и инерције, с тим што се у први план ставља транспарентност, уз истовремено спречавање прегревања у току лета и ноћног хлађења у току зиме.
Циљ система је да испоручи енергију кориснику зграде у време када је то потребно. Енергија коју прима систем може се пренети у простор директно или индиректно из складишта, за шта се користи неки медијум, [5]

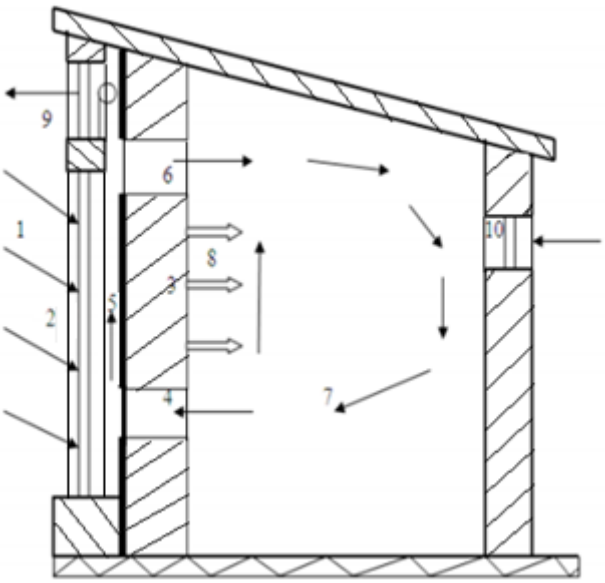
Правила пасивних соларних система:
• правилна оријентација објекта према странама света,
• велике стаклене плоче на осунчаној страни,
• надстрешница која спречава лети продор светлости у унутрашњост објекта,
• довољна количина топлотне масе,
• топлотна изолација.

На пасивне соларне системе утичу:
• архитекта,
• извођач радова,
• просторно-планска документација,
• распоред и међусобно растојање суседних зграда,
• конфигурација земљишта,
• климатско-метеоролошки услови.

2.5.1 Тромбеов зид

Један од начина пасивног коришћења Сунчевог зрачења је примена Тромбовог зида. Феликс Тромбе је француски научник, који је конструисао соларну кућу у Пиринејима 1956.године. Тромбов зид је грађевинска конструкција (најчешће цигла, бетон), дебљине 100 до 400 mm. Спољашња површина зида обојена је црном бојом која има способност да у високом износу апсорбује Сунчеве зраке. Испред зида, на растојању од 20 до 100 mm, поставља се стакло, које може бити једноструко, двоструко или троструко. Унутрашња површина зида је неравна како би се повећала површина за размену топлоте са одговарајућом просторијом у згради. У практичној примени су две варијанте Тромбовог зида: без отвора и са отворима при дну и врху зида. Сунчеви зраци (1) пролазе косо кроз застакљену површину (2) и падају на Тромбов зид који се загрева (слика 3). Половину ове топлоте акумулира зид, а друга половина загрева просторију. Брзина преношења топлоте са спољашње на унутрашњу страну зида (3) зависи од материјала од којег је направљен и од његове дебљине.

Усисани ваздух кроз доњи отвор зида (4) доспева у простор између зида и стаклене површине. У међупростору зрак се загрева Сунчевом енергијом, постаје лакши и почиње струјати према горе (5). Загрејани ваздух пролази кроз горњи отвор Тромбовог зида (6) и улази у просторију која се греје. Затим се заздух хлади, постаје тежи, пада ниже и улази поново кроз доњи отвор Тромбовог зида (7) у простор између зида и стаклене површине. Тако се понавља описани кружни циклус



Слика 3. Пресек Тромбовог зида [6]

Топлота коју је Тромбов зид акумулирао преноси се кроз зид (8) и током ноћи зрачењем загрева просторију. Да би смањили топлотне губитке и повећали степен искоришћења Тромбовог зида, потребно је ноћи спустити топлотне завесе. У случају прегревања просторија топли ваздух се кроз горњи отвор у застакљеној површини (9) избацује у атмосферу, а кроз горњи отвор у северном зиду (10) објекта се пропушта свеж ваздух. На овај начин је осигурано и кондиционирање просторија, па није потребна електрична клима која осим што ствара буку троши и скупу електричну енергију коју треба штедети.

3 Термоизолација

Изолациони слојеви повећавају отпор провођењу топлоте кроз зидове па се смањује пролаз топлоте кроз њихову конструкцију, што доприноси смањењу потребне количине топлоте за грејање.

Изолациона маса се може уградити са спољашње или унутрашње стране зида, или као слој у његовој унутрашњости. Ако је изолација постављена на спољашњој страни зида, онда су температуре масе фасаде ниже у односу на случај постављања изолације са унутрашње стране. Тиме се умањују дилатације елемената фасаде, односно топлота напрезања конструктивних елемената, чиме се спречава појава напрслина у зидовима. У тако постављеној изолацији главна маса зида је концентрисана ка унутрашњем простору, па се по прекиду грејања акумулирана топлота у њој постепено ослобађа и преноси у просторију, те се дуже одржавају задовољавајуће температуре унутар зграде.

Топлотна изолација (термоизолација) куће чува енергију, здравље и обезбеђује већи термички комфор станарима. У зимском периоду су изоловани зидови топлији са унутрашње стране, те је спречена појава кондензације и буђи. У летњем периоду изолација спречава прекомерно загревање зидова те је кућа хладнија и пријатнија за боравак. Глобално гледано добро топлотно изолована кућа има уједначену температуру током читаве године. Топлотна изолација се може сматрати дугорочном заштитом, а разлог за то је што након основног улагања дужи временски период не захтева никаква додатна улагања и одржавање.

Локације за уградњу термоизолације су:

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

Особине квалитетног термоизолационог материјала:

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

3.1 Основни појмови

Као што је већ речено, под омотачем зграде подразумевају се сви гранични елементи који одвајају грађевински објекат од спољне околине и земљишта на коме је подигнут: фасадни зид са вратима и прозорима, кровна конструкција, као и основа

зграде на којој она лежи на тлу. Осим својих механичких функција, омотач има задатак да штити унутрашњи простор од утицаја спољних високих или ниских температура, од падавина, од ветра, буке и других спољашњих неповољности. Али и да истовремено омогућава приступ природне светлости у унутрашњости зграде као и визуелни контакт људима у њој са околном природом. [7]

При избору материјала за термичку заштиту треба осим термичке проводљивости узети у обзир и друге карактеристике материјала као што су пожарна отпорност, фактор отпора дифузији водене паре, тврдоћа, стишљивост, трајност, отпорност на влагу и друго.

Стиропор за фасаду је најчешћи избор за термоизолацију у Србији. Он се показао као добар термоизолатор, а и цена је повољнија у односу на камену вуну. Уколико се добро угради, оваква изолација даје рок трајања од минимум 30 година.

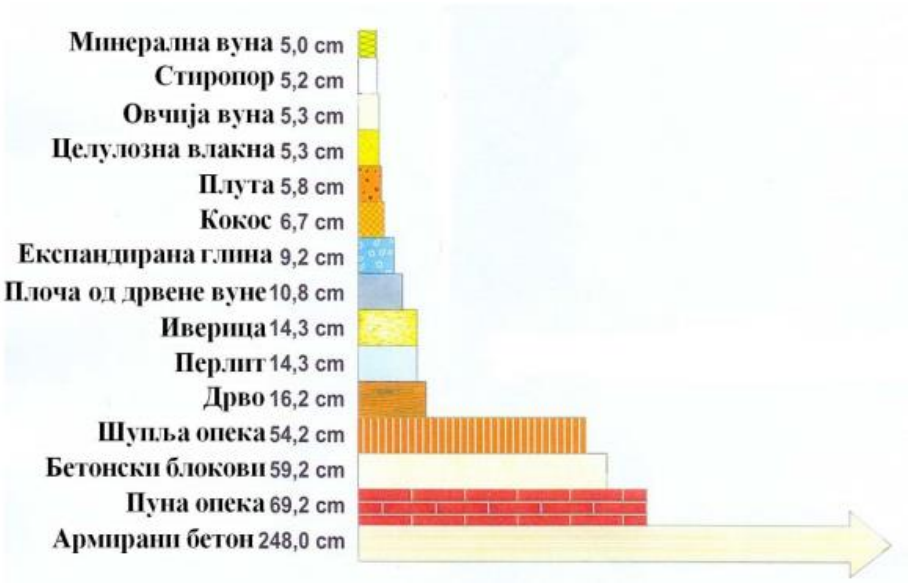
3.2 Материјали, основне карактеристике

Материјали којима се термоизолација изводи могу бити веома различити. Свакако један од најпопуларнијих на нашем тржишту због ниске цене и добрих термоизолационих особина је експандирани и екструдирани полистирен, познатији под називом стиропор. Минералне вуне, стаклена и камена, у зависности од врсте сировине од које се производе, такође су популарни материјали. Камена вуна је потпуно природан материјал који се добија топљењем вулканског камена, док је стиропор вештачки материјал који се прави од пластике. Самим тим, разликује се утицај ових материјала на зидове.

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:

- незапаљивост – 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 објекат,
- 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 исти отпор провођењу топлоте. У данашње време два најчешће коришћена термоизолациона материјала су, уједно и два најбоља, стиропор и минерална вуна.



Слика 4. Поређење термоизолационих материјала [2]

3.2.1 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. Стиропор се одликује малом запреминском масом, релативно добрим механичким чврстоћама, одличним изолационим својствима и малом апсорпцијом воде. Будући да нема хранљиву вредност, он не привлачи мраве, термите и глодаре.

Да би се извршио правилан избор врсте материјала за спољашњу изолацију зидова потребно је познавати основне карактеристике најчешће коришћених изолационих материјала.

Нека основна својства експандираног полистирена су:
– може се успешно користити у зградама које се налазе у подручјима са високим процентом влажности ваздуха;
– отпоран је на утицај влаге, гљивица и бактерија;
– има слабу отпорност на утицај високих температура (запаљивост);
– паропропусност материјала, ако је монтиран на спољашњој страни зида, спречава стварање затворених делова који омогућавају развој влаге између плоча експандираног полистирена и зида;
– цена експандираног полистирена није се знатно мењала у последњих неколико година, за разлику од многих других грађевинских материјала.

Основна својства екструдираног полистирена су:
– омогућава настанак кондензације, јер не дозвољава пролаз паре, па влажност остаје заробљена између зида и изолационог материјала;
– има слабу отпорност на утицај високих температура (запаљивост);
– веома је поуздан и има високу отпорност на деструктивне утицаје природе;
– пружа велики отпор пролазу топлоте при паду температуре;
– има слабу отпорност на утицај високих температура (запаљивост);
– у поређењу са експандираним полистиреном има већу отпорност на утицај хемијских супстанци, као што су киселине, базе, алкохоли и боје на бази алкохола, слану воду, цемент и асфалт;
– сунчева светлост може утицати на промену боје плоче екстру- дираног полисирена, али не утиче на термоизолационе карактери- стике изолације.

На нашем тржишту највише се користи ПОЛИСТИРЕН или СТИРОПОР, због добрих изолационих својстава λ = 0,035-0,040 W/mK, ниске цене и једноставне уградње, данас је то један од најпопуларнијих изолационих материјала. Користи се највише као термичка заштита, у свим спољим конструкцијама, и као пливајући под у подним међуспратним конструкцијама. Има знатно слабија противпожарна својства од камене вуне, и није отпоран на температуре више од 80°C. Често се користи за термичку заштиту подрумских зидова – екструдирани полистирен, [8].

3.2.2 Минерална вуна

Камена или минерална вуна састоји се од стакластих влакана и стврднутих капи силикатног растопа. Добија се топљењем мешавине природних минералних стена. 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 – 7 mm,
- изразито велика порозност (92 – 97%),
- доминантна отворена порозност,
- изразито велика способност упијања воде,
- постојаност на високим температурама (т ≥ 250°C),
- добра апсорпција звука,
- мала отпорност на дејство мраза,
- коефицијент провођења топлоте 0.033 – 0.039 (W/mK).

Главни недостатак је велико упијање воде и веома велика пропусност водене паре. У циљу спречавања прекомерног упијања воде термоизолација од камене вуне се хидрофобизира, тј. додатно импрегнира силиконским уљем.

КАМЕНА ВУНА добар је термички изолатор с топлотном проводљивости између 0,035 и 0,045 W/mK, што је уврштава међу најбоље термичке изолаторе. То је изолацијски материјал минералног порекла за топлотну, звучну и противпожарну изолацију у грађевинарству, индустрији. Камена вуна има високу отпорност на пожар, паропропусна је и делимично водоотпорна. Отпорна је на старење и распадање, те на микроорганизме и инсекте. Користи се у свим спољњим конструкцијама за термичку

заштиту, те у преградним зидовима за звучну заштиту. Једино место где се не препоручује је за изолацију подрумских зидова под земљом.

3.3 Конструкције зидова

У идеалним условима, изолација куће подразумева заштиту сваког дела конструкције (крова, зидова, подова) и то топлотно, звучно и противпожарно, као и од продора воде. Као што је већ речено у данашње време, код нас, најчешћи случајеви изолације објекта су: спољашња изолација, унутрашња изолација и изолација сендвич зидом. У овом раду ће бити испитана потрошња енергије и понашање зидова једног породичног објекта за различите дебљине изолација на спољашњим зидовима на различитим странама света.

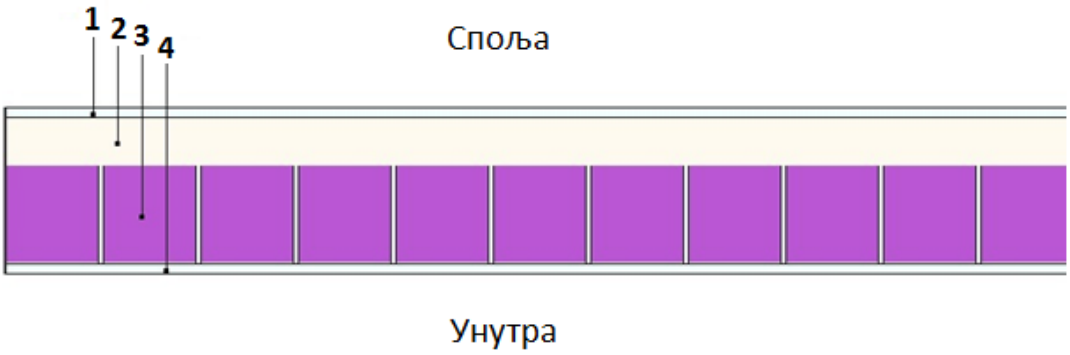
3.4 Спољашња изолација зидова стиропором

При постављању топлотне изолације са спољашње стране постоје две могућности извођења. Прво је извођење вентилационе фасаде, а друго је извођење контактног фасадног изолацијског састава. Код вентилационе фасаде топлотна изолација учвршћена је за носећи зид, а између изолације и завршног декоративног слоја фасаде (стакло, камен, челик, дрво, уметна влакна) налази се слој вентилационог зрака.

Изолација има искључиво функцију топлотне заштите па није додатно механички оптерећена. Контактна фасада је компактни вишеслојни изолацијски састав где камена вуна поред топлотне изолације побољшава укупну механичку отпорност састава. Топлотна изолација спољашњих зидова са спољашње стране најучинковитији је начин заштите зграде од топлотних губитака.

Битна предност овог састава је изолација зграде као целине, чиме се избегавају појаве топлотних мостова, температурна оптерећења, временска оштећења носиве конструкције и кондензација водене паре у носивој конструкцији зида. Постављање изолације на спољашњој страни омогућава акумулацију топлоте у зиду и коришћење његовог топлотног отпора за угодније становање у објекту.

Приказ контактне изолације спољашњег зида приказан је на слици 5. Део склопа који је означен бројем 1, на слици, представља кречни малтер дебљине 2 cm, ознака 2 стиропор дебљине 10 cm, ознака 3 гитер блок дебљине 20 cm и ознака 4 продужни кречни малтер дебљине 2 cm.



Слика 5. Приказ спољашње изолације стиропором

4 Коришћени 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 и раније поменуто, следећи софтвери: GoogleSketchUp и EnergyPlus.

За динамичку симулацију термичког понашања одабраног објекта коришћен је програм EnergyPlus. Његовом применом реализују се прорачуни топлотног оптерећења објекта и потрошње енергије за грејање и хлађење, који се користи за одређивање енергетских карактеристика зграде. Програм омогућава енергетске симулације објеката при њиховом пројектовању, али и при ревитализацији постојећих објеката са могућношћу примене локалних енергетских и грађевинских прописа и стандарда. Уз помоћ овог програма примена мера за побољшање енергетске ефикасности зграда може се квантификовати и вредновати.

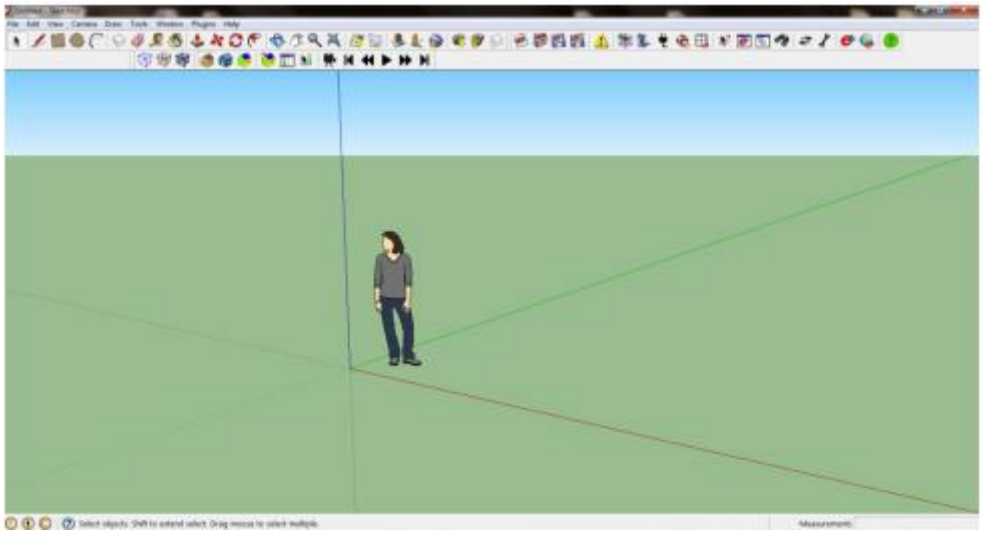
Ова два софтвера су повезана тако што Google SketchUp даје геометрију куће чије се термичко понашање симулира у EnergyPlus-u. Наиме, EnergyPlus не садржи графичке корисничке интерфејсе за графичко дефинисање геометрије и графички приказ резултата, него је потребно користити програме за конструисање куће и за приказивање резултата прорачуна. У том циљу коришћени су програми Google SketchUp са додатком OpenStudio као и Microsoft Excel.

4.1 Google Sketch Up

GoogleSketchUp (слика 6) 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. Једноставан је за употребу, брз и прецизан. Употребом посебног plug-ina омогућава се коришћење овог програма у EnergyPlus окружењу.

GoogleSketchUp 8 има више функција:

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



Слика 6. Радно окружење GoogleSketchUp-а са потребним алатима

У GoogleSketchUp-у може да се:

- креирају 3D модели зграда, намештаја, ентеријера, пејзажа и још много тога,

- прилагоди интерфејс GoogleSketchUp-у тако да одражава начин на који радите,

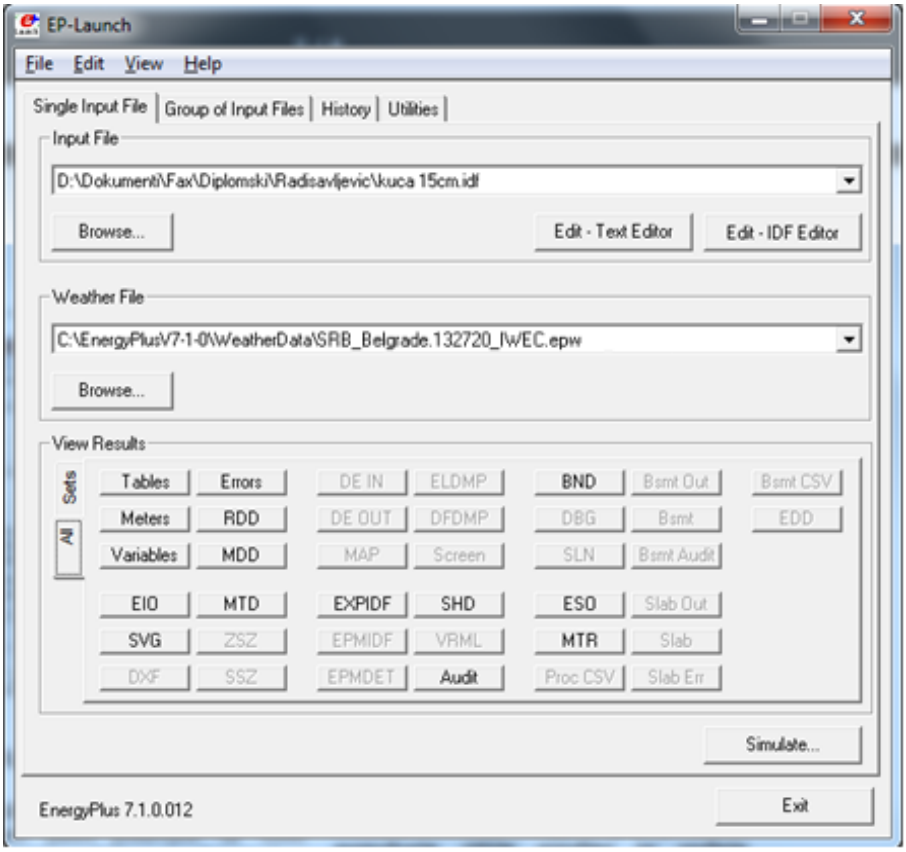
- објаве 3D модели као анимације, сцене, или исписи помоћу реалних светлости и сенки. Може чак и да се одштампа модел на 3D штампачу,

- увозе датотеке из других 3D програма или алата за 3D моделирање или извозе датотеке за коришћење са другим популарним софтверима за моделирање и обраду слика.

4.2 Energy Plus

EnergyPlus је програм за симулацију и анализу енергетских и термичких процеса грађевинских објеката. Заснован је на корисничком опису објеката, физичком изгледу зграде, повезаних механичких и других система. EnergyPlus прорачунава енергију потребну за грејање и хлађење објеката у оквиру предвиђених оптималних вредности температура, као и потрошњу енергије примарног постројења са опремом. EnergyPlus је програм који опонаша реалне услове „микроклиме” и енергетских потреба једног објекта.

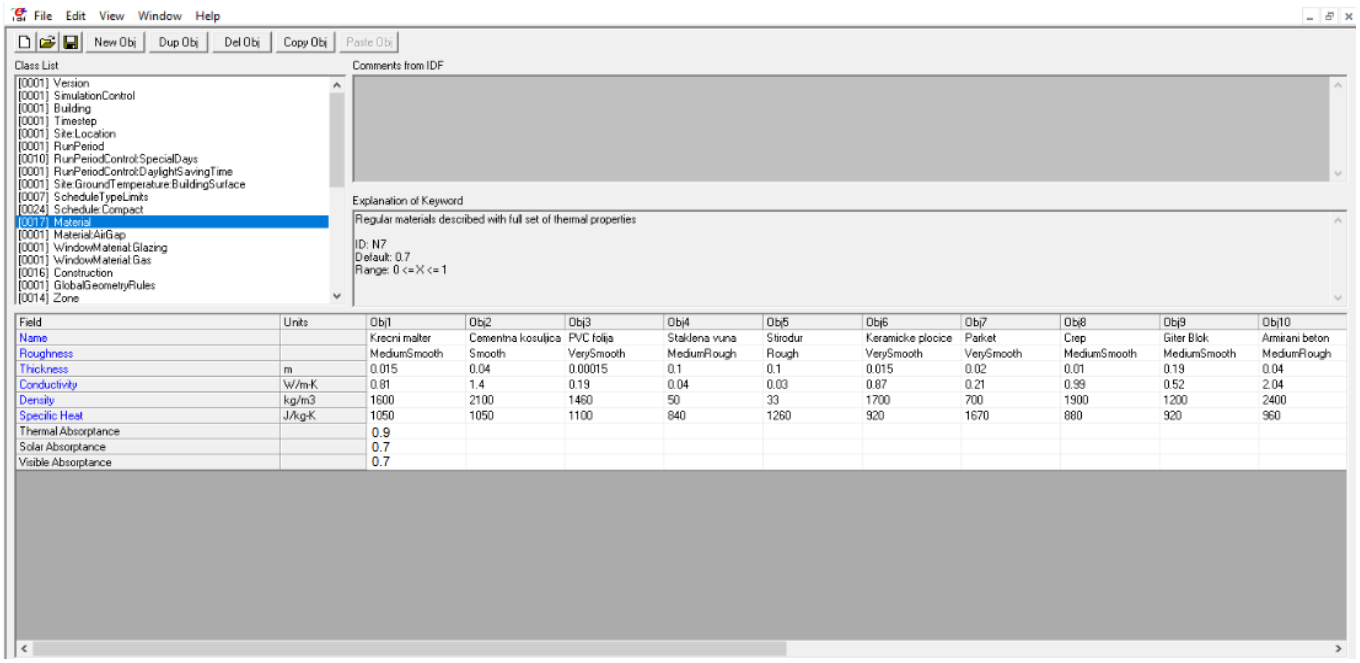
Софтвер EnergyPlus омогућава моделирање грејања стамбене зграде узимајући у обзир све факторе који утичу на термичко оптерећење зграде као и све факторе који утичу на добитке енергије. Овај софтвер даје могућности моделирања различитих сценарија грејања зграде. Почетно радно окружење је приказано на слици 7.



Слика 7. Радно окружење EnergyPlus-а

За симулирање грејања, хлађења, вентилације, осветљења и других енергетских токова у кући, коришћена је верзија 7.1.0 EnergyPlus-а. Овај софтвер моделира коришћење енергије у датој кући. EnergyPlus узима у обзир све факторе који утичу на термичко оптерећење куће, као што су електрични уређаји, осветљење, присуство људи у кући, утицај Сунчевог зрачења, утицај ветра, инфилтрација, осенченост отворених просторија. Овај софтвер нам омогућава да извршимо симулацију енергетског понашања куће за дефинисани временски период.

Поред многобројних могућности које овај програм нуди, потребно је издвојити једне од битнијих операција за овакву врсту анализе. На слици 8 је приказано радно окружење EnergyPlus-а које је везано за материјале који чине омотач објекта, који се користе за анализу. У овом радно окружењу су приказани подаци о четири главна термичка својства омотача (дебљина, проводљивост, густина и специфична топлота).



Слика 8. Термичке карактеристике материјала

Поље *Thermal Absorptance* представља дуготрајно таласно зрачење које апсорбује материјал. Овај параметар се користи за рачунање размене зрачења сонде дужих таласа између различитих површина и утиче на површински топлотни биланс (како унутар тако и споља, према потреби). За размену дугачких таласних дужина зрака, коефицијент емисије је једнак коефицијенту апсорпције. Вредности за ово поље морају бити између 0.0 и 1.0 (са 1.0 представљају "апсолутно црно тело").

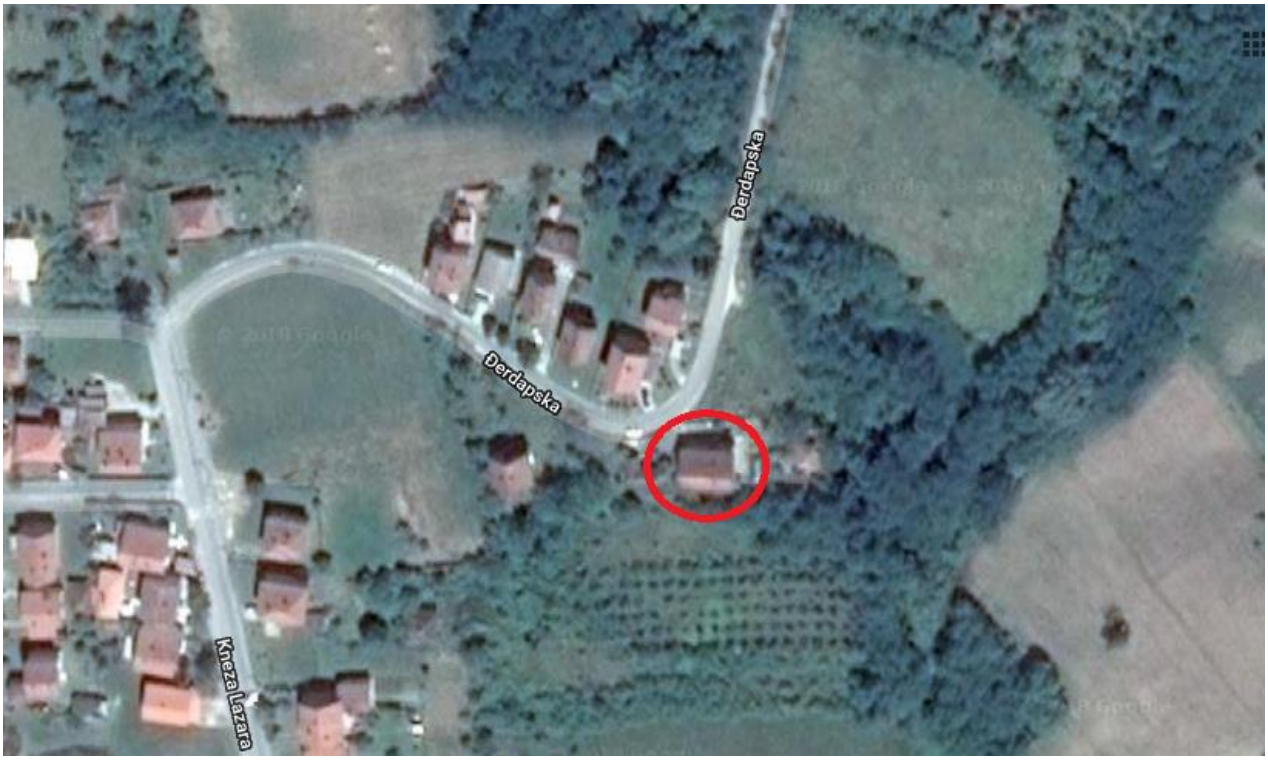
Поље *Solar Absorptance* представља соларно таласно зрачење које апсорбује материјал. Соларно зрачење укључује видљиви спектар као и инфрацрвене и ултраљубичасте таласне дужине. Овај параметар се користи при израчунавању количина инцидентног сунчевог зрачења апсорбованог на различитим површинама и утиче на површински топлотни биланс (како унутар тако и споља, према потреби). Ако су подаци о рефлексији Сунца (или рефлексивности) доступни, онда је апсорпција једнака 1.0 минус рефлексија (за непрозирне материјале). Вредности за ово поље морју бити између 0.0 и 1.0.

Поље *Visible Absorptance* представља видљиво таласно зрачење које апсорбује материјал. Видљиво таласно зрачење је мало другачије од сунчевог зрачења тако што је видљиви појас таласних дужина много више сужен, док сунчево зрачење укључује видљиви спектар, као и инфрацрвене и ултраљубичасте таласне дужине. Овај параметар се користи при израчунавању количине видљивог зрачења који апсорбују различите површине и утичу на површински топлотни биланс (како унутар тако и споља по потреби), као и калкулације дневног светла. Ако су подаци о видљивој рефлексији (или рефлексивности) доступни, апсорпција је једнака 1.0 минус рефлексија (за непрозирне материјале). Вредности за ово поље морају бити између 0.0 и 1.0. [9]

5 Опис моделираног стамбеног објекта

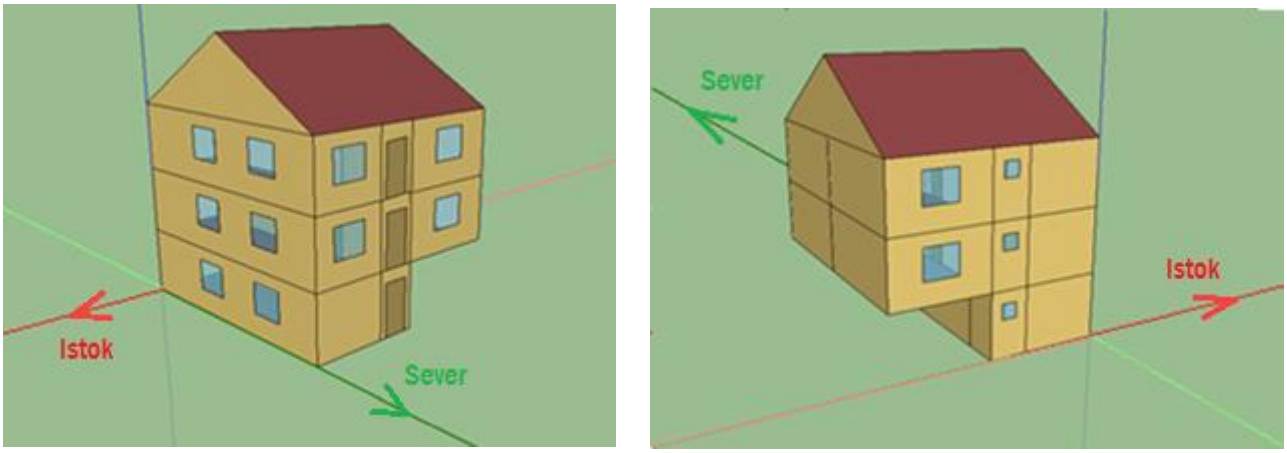
5.1 Локација и опис објекта

Одабрани стамбени објекат је реалан објекат, на коме је извршена анализа и налази се у општини Аранђеловац, која је у Шумадијском округу. На сателитском снимку, који је приказан на слици 9, може се видети положај објекта. Види се да објекат није окружен са свих страна објектима сличне конструкције, што би било значајно јер би био делимично заклоњен од утицаја ветрова. У програму се не користи временска база за ову локацију, већ се користи база података за Београд.

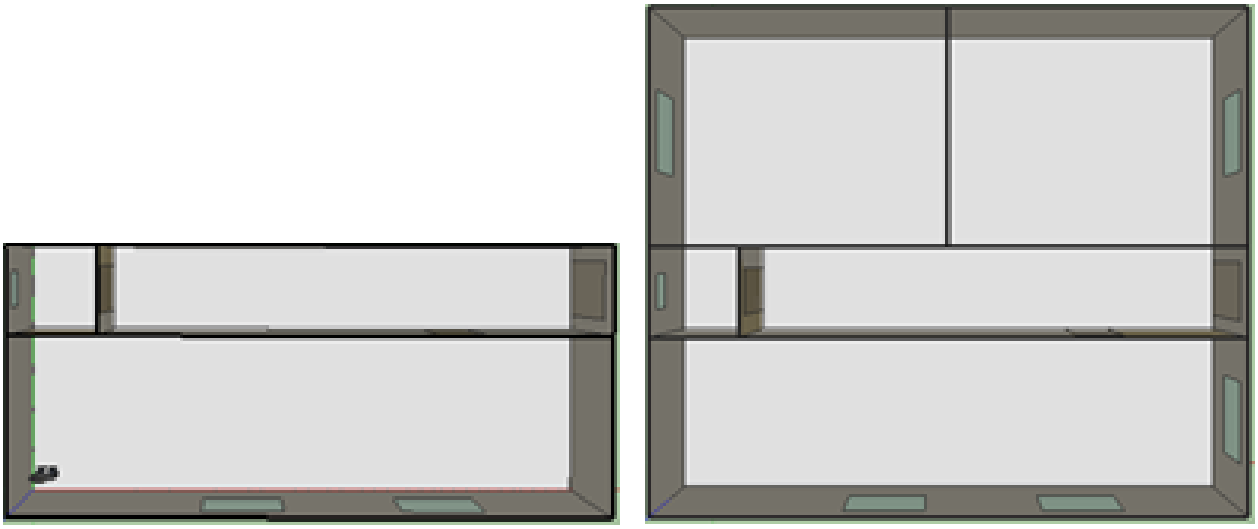


Слика 9. Сателитски приказ одабраног објекта

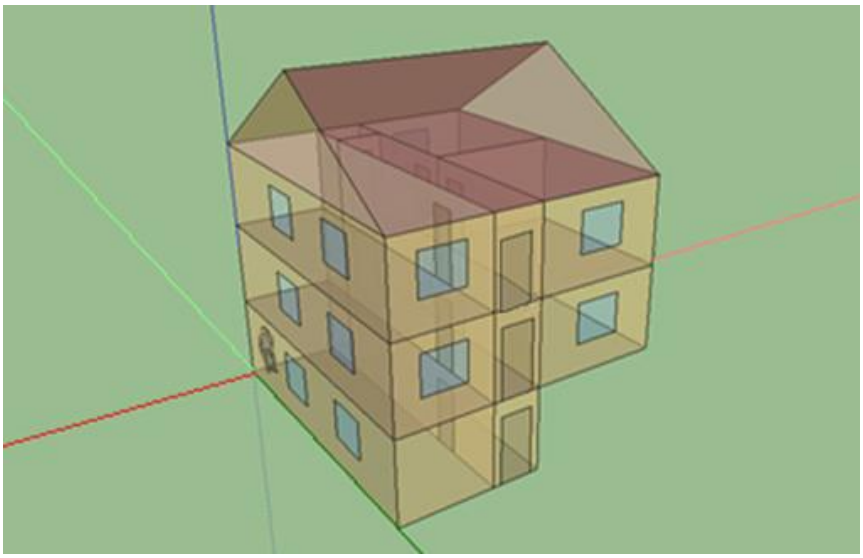
Стамбени објекат за који се врши симулација у циљу повећања енергетске ефикасности је кућа (слика 10, слика 11, слика 12) која је моделирана у софтверу GoogleSketchUp. Зелена пуна линија са стрелицом на сликама представља северну страну света, док црвена пуна линија са стрелицом представља источну страну света. Кућа се састоји из сутерена, приземља, првог спрата, и тавана (поткровља).



Слика 10. Кућа са предње и задње стране



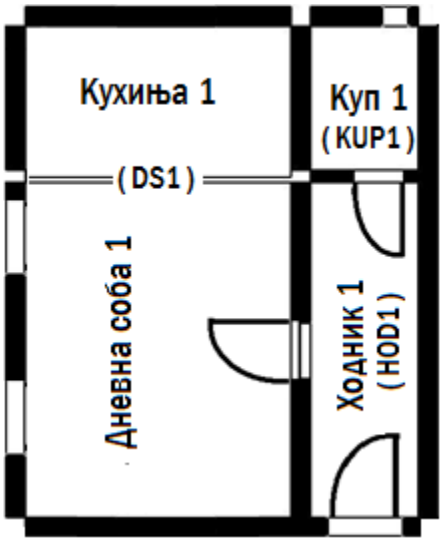
Слика 11. Пресек објекта по етажама (сутерен, приземље)



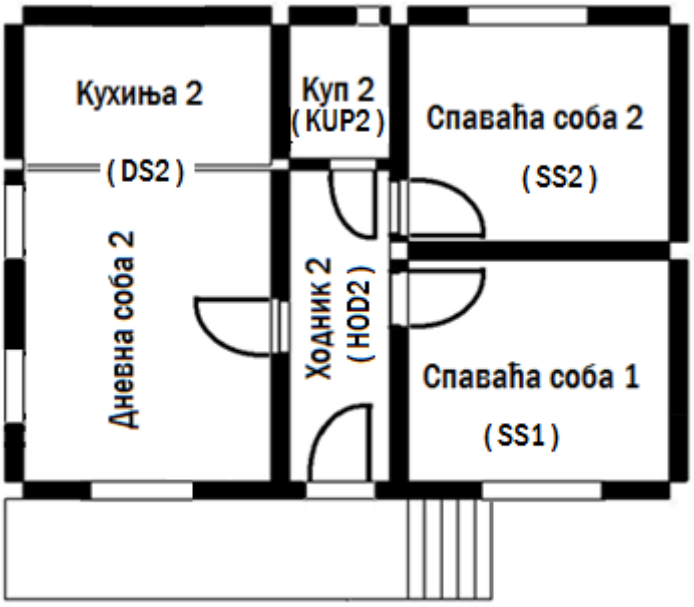
Слика 12. Кућа (Wiew model in X-Ray Mode команда)

Кућа поседује 14 зона: 3 дневне собе са кухињом, 3 ходника, 3 купатила, 4 спаваће собе и таван. Површина која се загрева је 215 m^2. Ова површина се узима у обзир када се гледа потрошња енергије по квадрату.

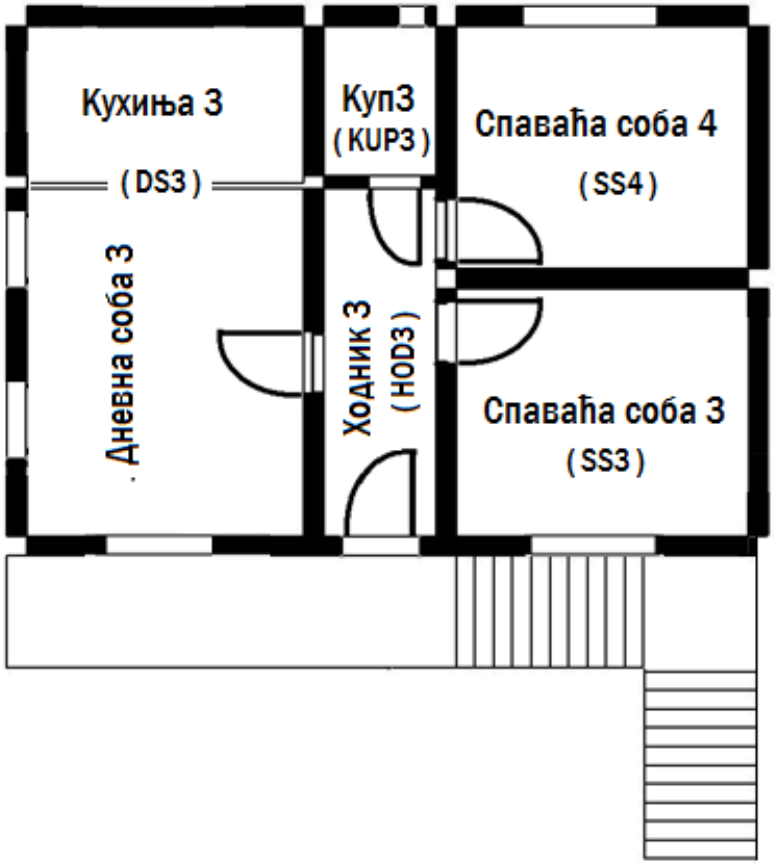
На сликама 13, 14 и 15 су приказани технички цртежи сутерена, приземља и другог спрата, урађени у програму Catia R5V20, са називима просторијама као у Energy Plus-у. Површина сутерена је 45 m^2, а површина приземља, првог спрата и поткровља је 85 m^2, стим што поткровље спада у негрејани простор. Објекат садржи: 3 спољна (улаза) врата, 10 унутрашњих врата и 15 прозора.



Слика 13. Сутерен – Технички приказ просторија



Слика 14. Приземље – Технички приказ просторија



Слика 15. Први спрат – Технички приказ просторија

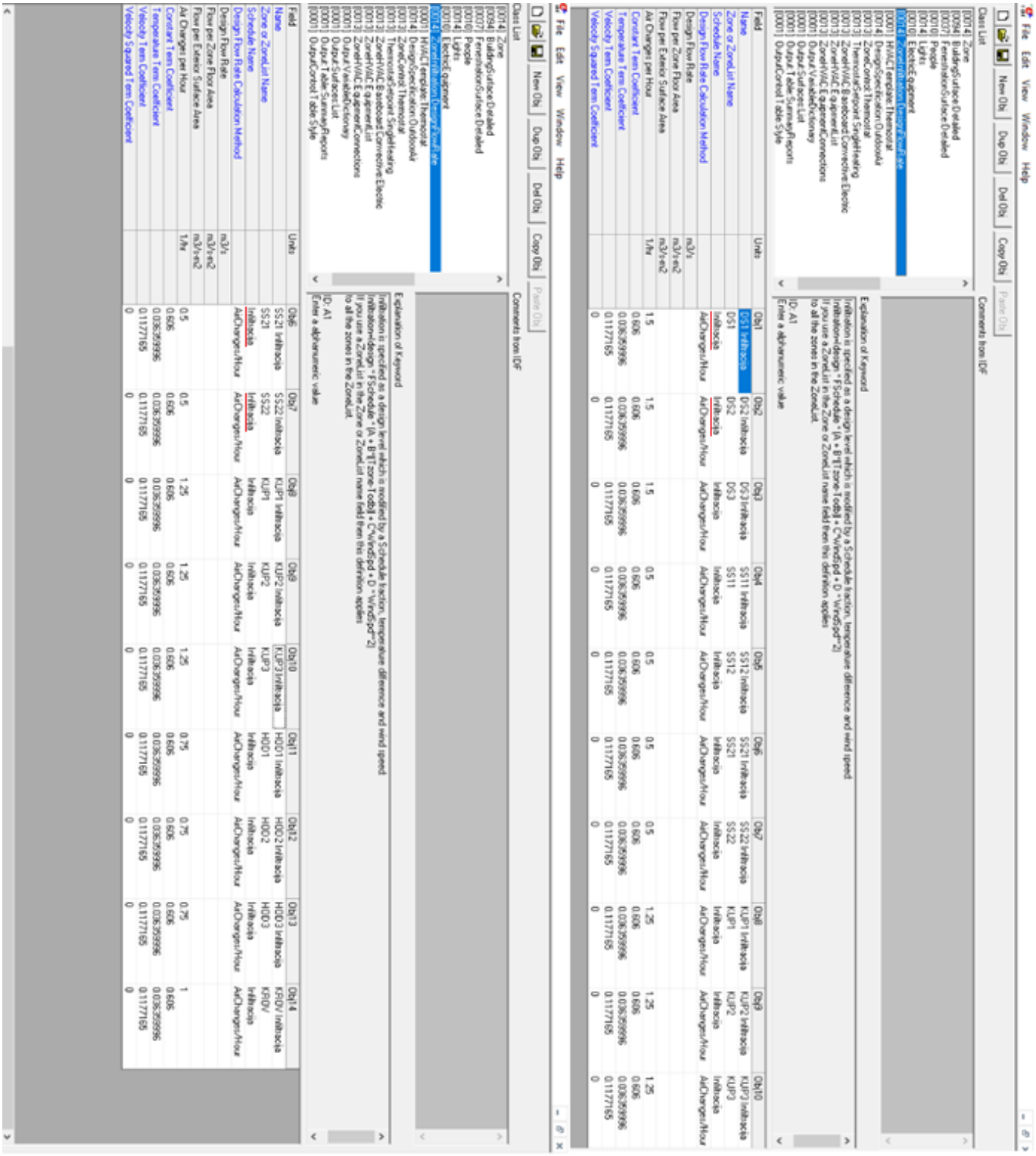
Називи просторија, као у EnergyPlus-у, њихова квадратура, запремина и укупна грејна површина (m^2) су приказани у табели 2.

	Назив просторије	Површина просторије $[m^2]$	Запремина просторије $[m^3]$	Укупна површина $[m^2]$	Укупна грејна површина $[m^2]$
Прва етажа - сутерен	DS1	30	75	45	30
	KUP1	2.25	5.625		2.25
	HOD1	12.75	31.875		12.75
Друга етажа - приземље	DS2	30	75	85	30
	KUP2	2.25	5.625		2.25
	HOD2	12.75	31.875		12.75
	SS21	20	50		20
	SS22	20	50		20
Трећа етажа – спрат	DS3	30	75	85	30
	KUP3	2.25	5.625		2.25
	HOD3	12.75	31.875		12.75
	SS31	20	50		20
	SS32	20	50		20
OKR	Поткровље	85	144.5	85	0
	Сума			300	215

Табела 2 Називи просторија у EnergyPlus-у и њихова површина

За производњу топлотне енергије у овом објекту, изабран је систем грејања на електричну енергију. За грејна тела су изабрани електрични радијатори снаге од 7000 W за сваку просторију. Ова снага је изабрана да би у сваком случају задовољила потребе објекта за топлотном енергијом (неизолована кућа, изолована са 5,10 и 15cm стиропора). Снага радијатора за грејање просторија је одређена независно од површине просторија понаособ, већ је израчуната укупна енергија потребна за грејање целог објекта, да би се добила просечна енергија потребна за грејање у односу на број просторија у објекту. То је одрађено на овај начин због једноставнијег спровођења симулација у програму EnergyPlus–у.

За начин измене ваздуха у објекту, изабрана је вентилација као број измена ваздуха на час. Овакав вид вентилације није довољан, па се може користити у комбинацији са отварањем прозора и врата (природном вентилацијом). На слици 16 се види картица из програма EnergyPlus–а у којој је дефинисана вентилација објекта са бројем измена ваздуха на час.



Слика 16 Одабрани начин вентилације објекта

У табели 3 је такође приказан број измене ваздуха за сваку просторију у објекту у односу на њену запремину и потребе за вентилацијом.

	Назив просторије	Површина просторије $[\mathrm{m}^2]$	Запремина просторије $[\mathrm{m}^3]$	Измена ваздуха $[1/h]$
Прва етажа - сутерен	DS1	30	75	1.5
	KUP1	2.25	5.625	1.25
	HOD1	12.75	31.875	0.75
Друга етажа - приземље	DS2	30	75	1.5
	KUP2	2.25	5.625	1.25
	HOD2	12.75	31.875	0.75
	SS21	20	50	0.5
	SS22	20	50	0.5
Трећа етажа – спрат	DS3	30	75	1.5
	KUP3	2.25	5.625	1.25
	HOD3	12.75	31.875	0.75
	SS31	20	50	0.5
	SS32	20	50	0.5
OKR	Поткровље	85	144.5	1

Табела 3 Број измена ваздуха по просторијама

5.2 Материјали и конструкција објекта

У табели 4 су приказани материјали са својим карактеристикама од којих је саграђен овај објекат.

Материјал	Густина	Дебљина	Спец. Топлота	Коефицијент провођења топлоте λ
	[kg/m3]	[m]	[J/kgK]	[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	0.05/0.15	840	0.04
Стиродур	33	0.05-0.15	1260	0.03
Керамичке плочице	1700	0.015	920	0.87
Паркет	700	0.02	1670	0.21
Креп	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	1200	0.16	920	0.6
Боровина	550	0.035	2090	0.14
Стиропор	800	0.05-0.15	1260	0.041
Гипсане плоче	800	0.012	1090	0.19

Табела 4 Грађевински материјали објекта са карактеристикама

У табели 5 су приказане конструкције зидова са слојевима, сачињени од материјала који су приказани у претходној табели.

Грађевинска конструкција	Елементи грађевинске конструкције	Дебљина [m]
Спољни зид	Кречни малтер	0.015
	Стиропор	0.05-0.15
	Гитер блок	0.19
	Кречни малтер	0.015
Унутрашњи зид	Кречни малтер	0.015
	Гитер блок	0.19
	Кречни малтер	0.015
Под на тлу - ПАРКЕТ	Шљунак	0.2
	Неармирани бетон	0.15
	PVC фолија	0.00015
	Стиродур	0.05-0.15
	Цементна кошуљица	0.04
	Паркет	0.02
Под на тлу - ПЛОЧИЦЕ	Шљунак	0.2
	Неармирани бетон	0.15
	PVC фолија	0.00015
	Стиродур	0.05-0.15
	Цементна кошуљица	0.04
	Керамичке плочице	0.015
Врата	Боровина	0.035
Прозори	Стакло (3 mm)	0.003
	Ваздух (13 mm)	0.013
	Стакло (3 mm)	0.003
Кров	Црепа	0.01
	Ваздушни простор	
	Стаклена вуна	0.05-0.15
	Гипсане плоче	0.012
Међуспратна конструкција – КА ТАВАНУ	Армирани бетон	0.04
	Монта	0.16
	Кречни малтер	0.015
Спољни зид - ПЛОЧИЦЕ	Кречни малтер	0.015
	Стиропор	0.05-0.15
	Гитер блок	0.19
	Керамичке плочице	0.015
Унутрашњи зид - ПЛОЧИЦЕ	Кречни малтер	0.015
	Гитер блок	0.19
	Керамичке плочице	0.015
Међуспратна конструкција – КЕРАМИЧКЕ ПЛОЧИЦЕ	Keramicke plocice	0.015
	Цементна кошуљица	0.04
	Армирани бетон	0.04
	Кречни малтер	0.015
Међуспратна конструкција - ПАРКЕТ	Паркет	0.02
	Цементна кошуљица	0.04
	Армирани бетон	0.04
	Кречни малтер	0.015

Табела 5 Састав грађевинских конструкција

6 Анализа резултата

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

Основна идеја симулација је да се смањи потреба за топлотном енергијом која се користи за грејање објекта, мењањем термичких својства фасаде (коефицијент емисије и апсорпције) и мењањем дебљине изолације на различитим зидовима омотача. Дакле циљ симулације је да се одреди потрошња електричне енергије потребне за грејање објекта у грејној сезони, као и да се прикаже поређење резултата различитих конструкција и термичких карактеристика зидова омотача, током прелазних периода у грејној сезони да би се уочила најисплативија варијанта за уштеду електричне енергије.

Грејни период у грејној сезони обухвата период (15. октобар -15. април), стога ће бити приказана потрошња енергије за сваки месец. За анализу је одређено време грејања простора од 14h и то у периоду од 08-22h

За симулације су коришћене температуре за Београд, зато што је то једина база података за Србију, која постоји за програм EnergyPlus.

Пре саме анализе потребно је знати тачан ток сваке симулације, стога су приказани симулациони сценарији у табели 6.

Редни бр. Симулације	Изолација крова	Изолација пода	Изолација јужног зида	Изолација источног зида	Изолација западног зида	Изолација северног зида	Годишња потрошња електричне енергије [kWh/a]	Вредности параметара апсорпције фасаде
Симулације по базним параметрима	0	0	0	0	0	0	33.364,75	Ta=0.9 Sa=0.7 Va=0.7
	5	5	5	5	5	5	22.601,92	
	10	10	10	10	10	10	19.770,41	
	15	15	15	15	15	15	18.444,18	
Симулације по задатим параметрима	0	0	0	0	0	0	21.043,01	Ta=0.2 Sa=0.95 Va=0.95
	5	5	5	5	5	5	17.530,81	
	10	10	10	10	10	10	16.433,97	
	15	15	15	15	15	15	15.891,76	
Сценарио I	5	5	0	5	5	5	17.469,57	
Сценарио II	10	10	0	10	10	10	16.424,71	
Сценарио III	15	15	0	15	15	15	15.915,53	
Сценарио IV	5	5	5	10	10	10	16.493,34	
Сценарио V	10	10	5	15	15	15	15.987,5	
Сценарио VI	15	15	0	0	0	10	18.708,08	
Сценарио VII	5	5	0	0	10	10	17.495,91	
Сценарио VIII	10	10	0	10	0	10	17.637,96	

Табела 6 Симулациони сценарији

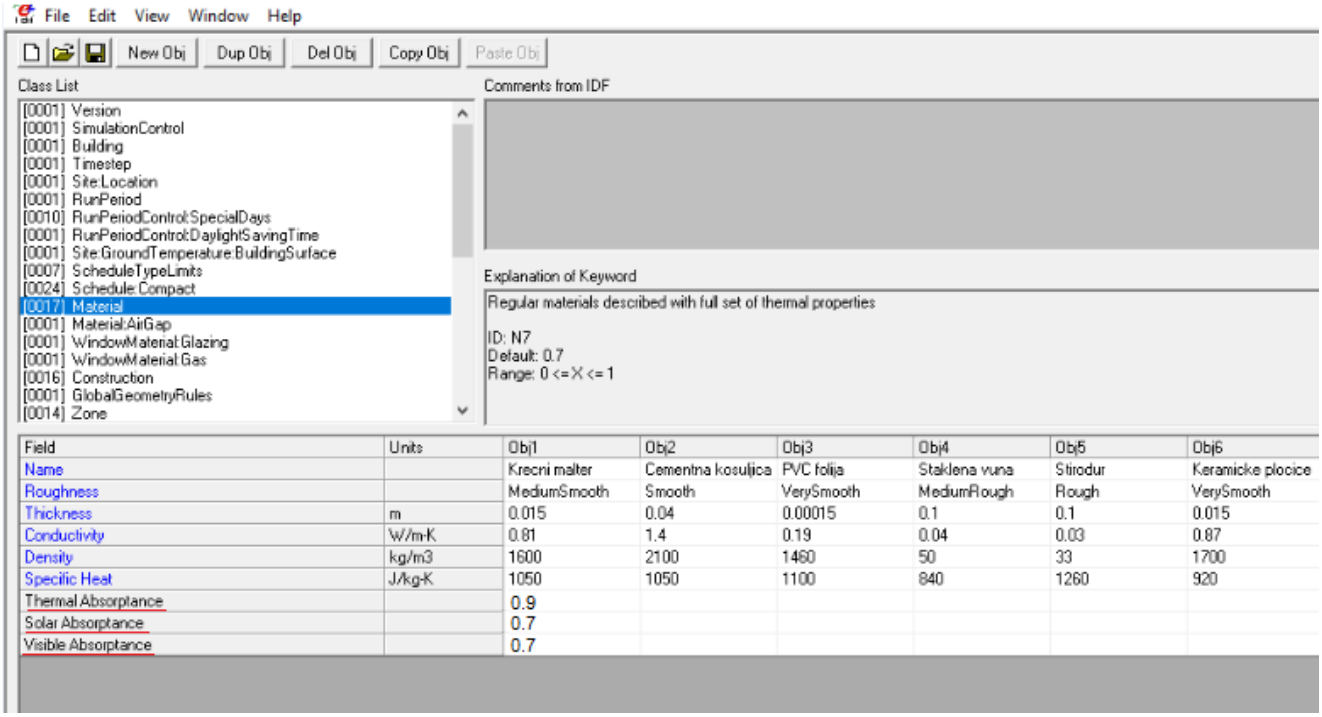
Први корак испитивања представљају симулације по уобичајеним вредностима за апсорпцију зрачења на фасади за дебљине изолације 0-15cm (слика 17). На испитивања утиче промена дебљина изолације на зидовима и пода на тлу али не и на крову, јер се на крову налази изолација од стаклене вуне за коју не важи промена параметара апсорпције. Као што се може видети и у табели 5 (заглавље 5.2), зидови

су изоловани стиропором, под на тлу стиродуром а на крову је постављена изолација од стаклене вуне. По уобичајеним подешавањима вредности ових параметара апсорпције износе:

- Thermal Absorptance: 0.9

- Solar Absorptance: 0.7

- Visible Absorptance: 0.7



Слика 17. Параметри који карактеришу апсорпцију зрачења на фасади

Други корак испитивања представља исту врсту симулација само по задатим вредностима параметара апсорпције (параметри описани у тачки 3.2, страна 11), који износе:

- Thermal Absorptance: 0.2

- Solar Absorptance: 0.95

- Visible Absorptance: 0.95

Мењањем вредности ових параметара се побољшавају термичке карактеристике материјала омотача и добија се специфична емисиона селективна фасада, што директно утиче на смањење потребне топлотне енергије за загревање објекта.

Трећи корак испитивања представљају 8 симулација такође по задатим вредностима параметара апсорпције, са различитим дебљинама изолација на различитим зидовима, као што се може видети у табели 4.

6.1 Резултати симулације објекта по уобичајеним вредностима параметара апсорпције

Резултати након симулације по уобичајеним вредностима су приказани у табели 7. Приказана је потрошња електричне енергије за објекат без изолације и објекат са изолацијом (5,10 и 15 cm).

	Годишња потрошња (финалне) електричне енергије [kWh/a]	Годишња потрошња (финалне) електричне енергије [kWh/m2/a]	Уштеда [%]
Кућа без изолације	33.364,75	130,84	0
Изолација 5cm	22.601,92	88,63	32,26
Изолација 10cm	19.770,41	77,53	40,74
Изолација 15cm	18.444,18	72,33	44,72

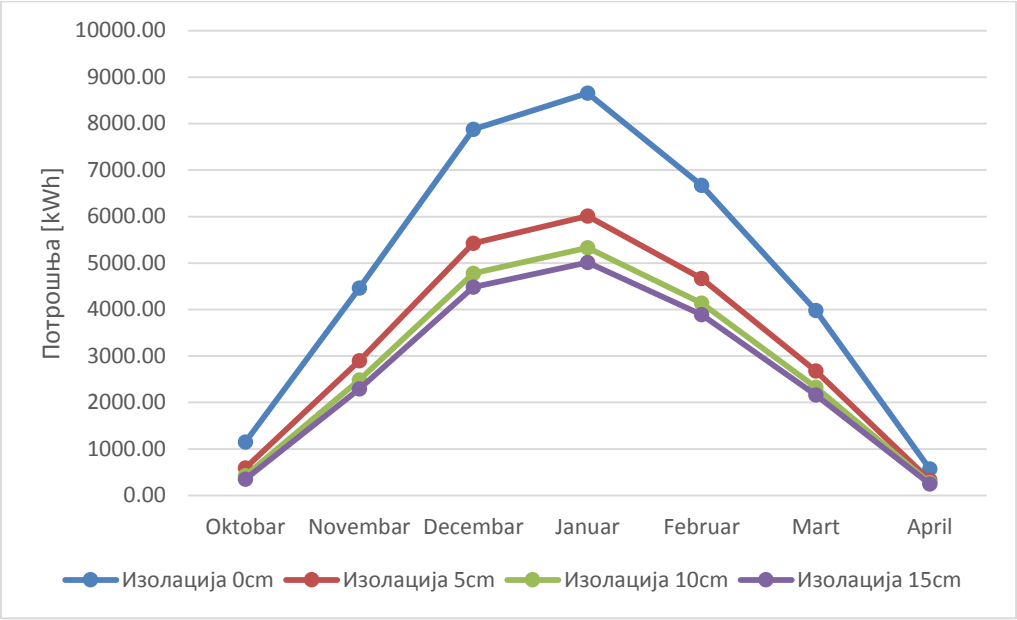
Табела 7 Потрошња укупне електричне енергије за грејање објекта

У табели 8 су приказани резултати за потрошњу електричне енергије на месечном нивоу у периоду трајања грејне сезоне (15. октобар – 15. април).

	Потрошња електричне енергије [kWh/mon] -Кућа без изолације-	Потрошња електричне енергије [kWh/mon] -Изолација 5cm-	Потрошња електричне енергије [kWh/mon] -Изолација 10cm-	Потрошња електричне енергије [kWh/mon] -Изолација 15cm-
Октобар	1.149,44	588,37	429,24	350,71
Новембар	4.461,85	2.901,01	2.488,09	2.292,04
Децембар	7.875,11	5.423,06	4.781,40	4.481,67
Јануар	8.656,66	6.013,29	5.329,61	5.014,55
Фебруар	6.669,63	4.667,54	4.139,35	3.892,87
Март	3.979,54	2.678,48	2.328,03	2.162,75
Април	572,53	330,18	274,67	249,60

Табела 8 Потрошња електричне енергије на месечном нивоу

На слици 18 су дијаграмски приказане криве потрошње ел. енергије за све четири варијанте, без изолације и са изолацијом 5,10 и 15 cm у периоду трајања грејне сезоне.



Слика 18. Приказ потрошње за базни сценарио у току грејне сезоне за све четири варијанте

6.2 Резултати симулације објекта по задатим вредностима параметара апсорпције

Резултати након симулације по задатим вредностима за параметре апсорпције су приказани у табели 9. Приказана је потрошња електричне енергије за објекат без изолације и објекат са изолацијом (5,10 и 15 cm), као и у претходној тачки.

	Годишња потрошња (финалне) електричне енергије [kWh/a]	Годишња потрошња (финалне) електричне енергије [kWh/m2/a]	Уштеда [%]
Кућа без изолације	21.043,01	82,522	0
Изолација 5cm	17.530,81	68,748	16,69
Изолација 10cm	16.433,97	64,447	21,90
Изолација 15cm	15.891,76	62,321	24,48

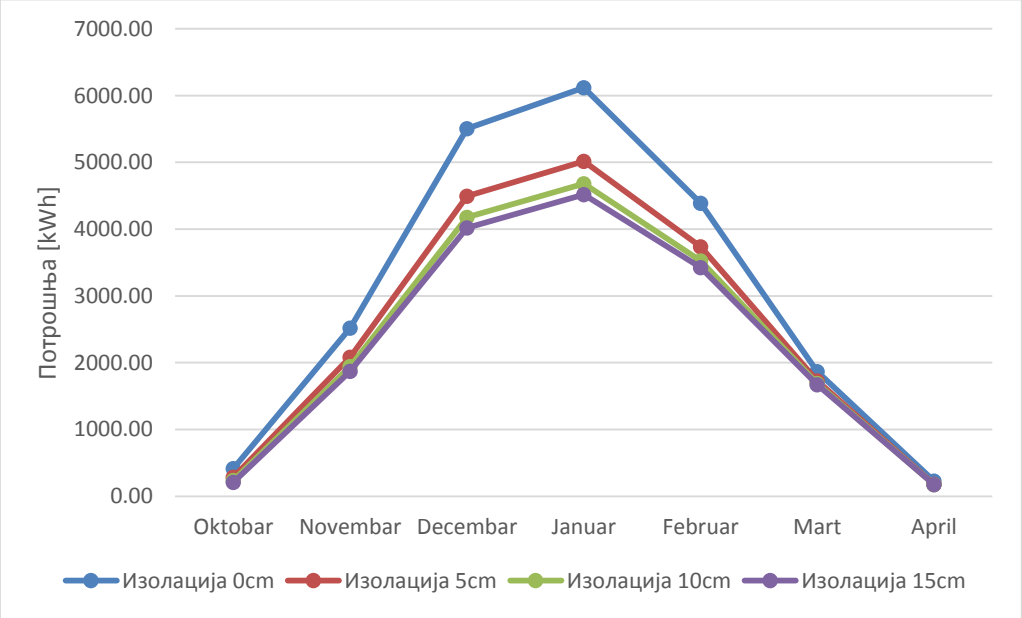
Табела 9 Потрошња укупне електричне енергије за грејање објекта

Из табеле 9 се види да је потрошња електричне енергије, због промене параметара апсорпције, знатно мања него у претходној тачки (анализа по уобичајеним вредностима). Самим тим је мања и потрошња електричне енергије на месечном нивоу у току трајања грејне сезоне, што се може видети у табели 10.

	Потрошња електричне енергије [kWh/mon] -Кућа без изолације-	Потрошња електричне енергије [kWh/mon] -Изолација 5cm-	Потрошња електричне енергије [kWh/mon] -Изолација 10cm-	Потрошња електричне енергије [kWh/mon] -Изолација 15cm-
Октобар	415,76	288,07	238,26	207,49
Новембар	2.521,05	2.084,22	1.944,51	1.873,44
Децембар	5.504,70	4.494,25	4.175,88	4.020,58
Јануар	6.118,48	5.015,93	4.681,62	4.519,52
Фебруар	4.389,10	3.736,03	3.528,18	3.426,90
Март	1.867,42	1.730,36	1.690,08	1.670,06
Април	226,51	181,95	175,43	173,77

Табела 10 Потрошња електричне енергије на месечном нивоу

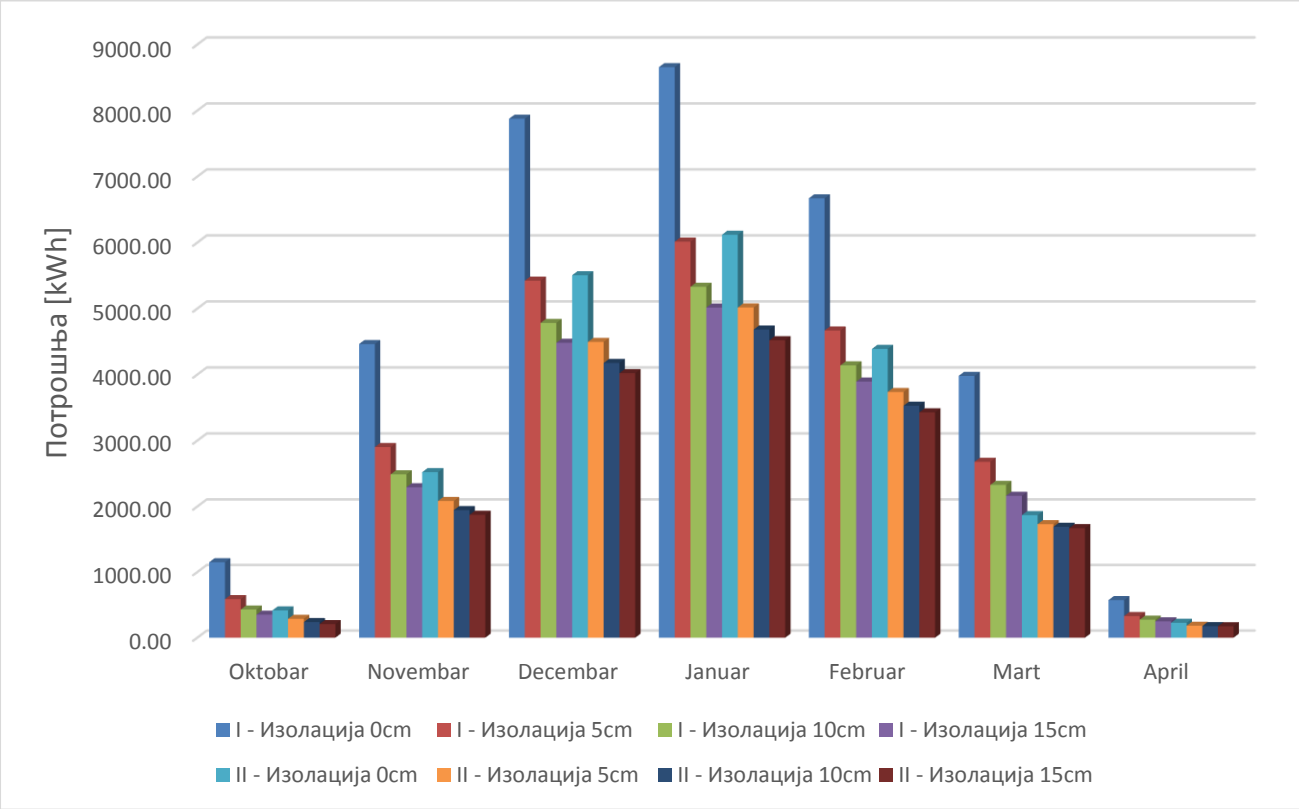
На слици 19 су дијаграмски приказане криве потрошње ел. енергије за све четири варијанте, без изолације и са изолацијом 5,10 и 15 cm у периоду трајања грејне сезоне.



Слика 19 Приказ потрошње у току грејне сезоне за све четири варијанте

На слици 20 је приказана потрошња електричне енергије за оба случаја, по уобичајеним вредностима (из претходне тачке 6.1) и по задатим вредностима параметара апсорпције. Види се да се променом вредности параметара знатно смањује потрошња електричне енергије. У самом старту за случај неизолованих кућа

се примећује највећа разлика потрошње, како се повећава дебљина изолације та разлика је све мања и мања.



Слика 20 Приказ потрошње електричне енергије за оба случаја

I – Уобичајене вредности параметара; II – Задате вредности параметара

6.5 Резултати симулација објекта након уклањања или смањења дебљине спољашње изолације зидова стиропором различитих дебљина на различитим зидовима (исток, запад, север и југ)

Резултати за осам симулација са различитим дебљинама изолације на различитим странама, које су описане (поглавље 6, табела 6) су приказани у табели 11. Приказана је потрошња електричне енергије за објекат у осам различитих варијаната изолације. Ове симулације су такође урађене по задатим вредностима параметара апсорпције. У табели 12 је приказана потрошња електричне енергије на месечном нивоу у току грејне сезоне.

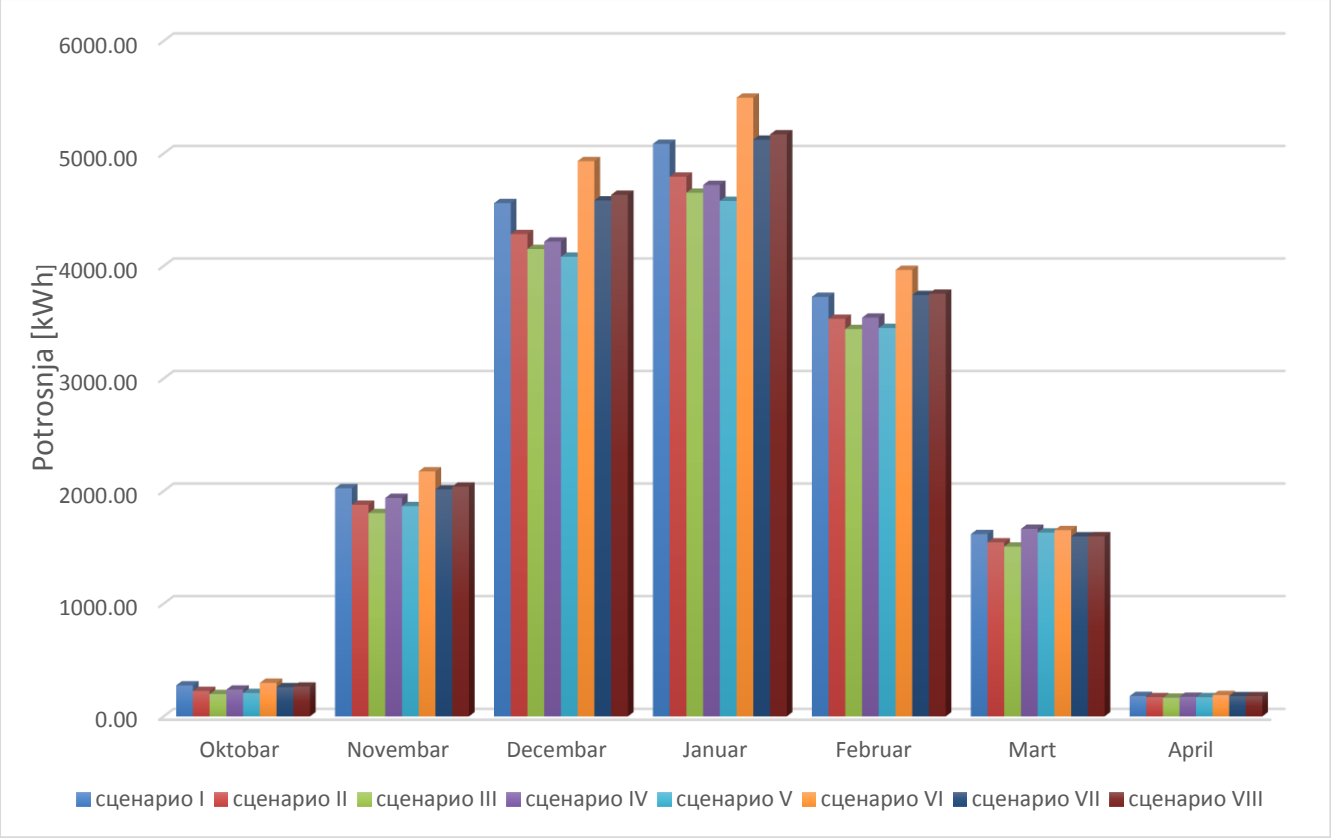
	Годишња потрошња финалне (електричне) енергије [kWh/a]	Годишња потрошња финалне (електричне) енергије[kWh/m2/a]
Сценарио I	17.469,57	68,51
Сценарио II	16.424,71	64,41
Сценарио III	15.915,53	62,41
Сценарио IV	16.493,34	64,68
Сценарио V	15.987,5	62,70
Сценарио VI	18.708,08	73,37
Сценарио VII	17.495,91	68,61
Сценарио VIII	17.637,96	69,17

Табела 11. Потрошња укупне електричне енергије за грејање објекта

	- сценарио I - [kWh/mon]	**- сценарио II - [kWh/mon]**	**- сценарио III - [kWh/mon]**	**- сценарио IV - [kWh/mon]**	**- сценарио V - [kWh/mon]**	**- сценарио VI - [kWh/mon]**	**- сценарио VII - [kWh/mon]**	**- сценарио VIII - [kWh/mon]**
Октобар	275,16	225,46	197,72	237,51	207,70	297,65	258,60	263,59
Новембар	2.025,22	1.877,63	1.804,19	1.938,97	1.866,78	2.175,32	2.014,81	2.039,82
Децембар	4.559,04	4.284,00	4.151,20	4.217,32	4.082,72	4.932,28	4.582,95	4.633,30
Јануар	5.086,04	4.793,74	4.651,40	4.720,37	4.578,64	5.495,77	5.121,90	5.170,13
Фебруар	3.726,01	3.530,70	3.439,27	3.541,10	3.449,54	3.965,48	3.741,84	3.754,19
Март	1.617,62	1.543,23	1.506,21	1.664,47	1.631,74	1.652,12	1.596,83	1.597,89
Април	180,48	169,95	165,54	173,60	170,39	189,46	178,98	179,05

Табела 12. Потрошња електричне енергије на месечном нивоу за осам сценарија симулација

Из табела се може видети да издвајају сценарио III и V по најмањој потрошњи електричне енергије, што значи да се извођењем ових сценарија долази до највећих уштеда електричне енергије. Тиме се ова два сценарија сматрају као најефикасније решење, што се такође може видети и на слици 21, на којој су дијаграмски приказане потрошње електричне енергије за свих осам сценарија.

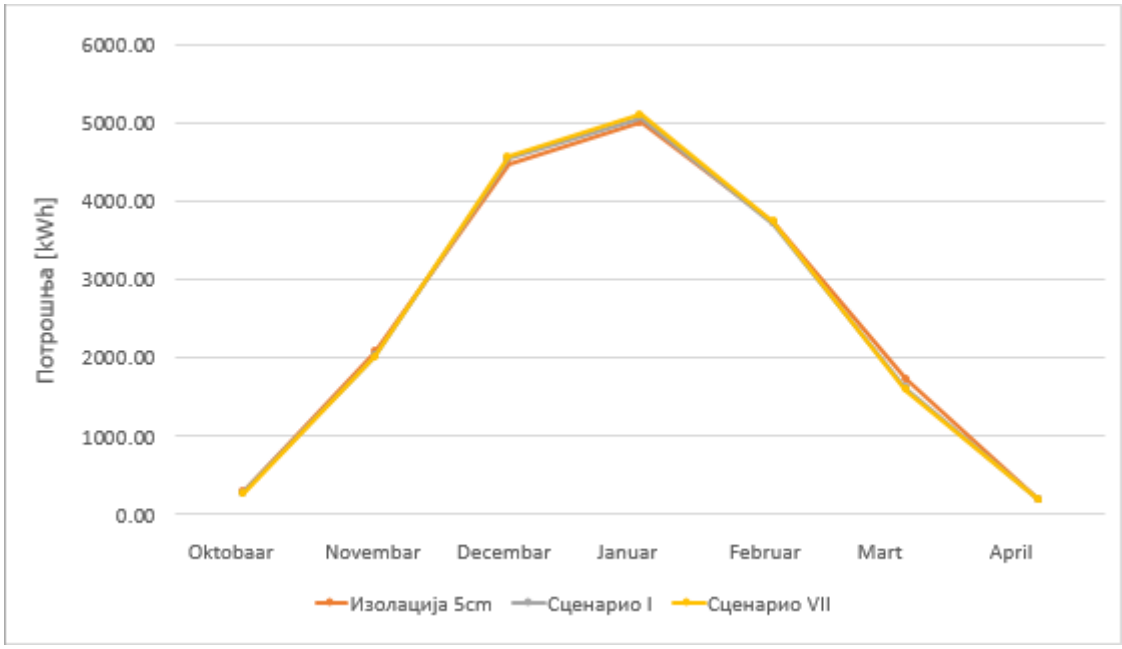


Слика 21 Приказ потрошње електричне енергије за свих осам сценарија

6.6 Упоређивање добијених резултата

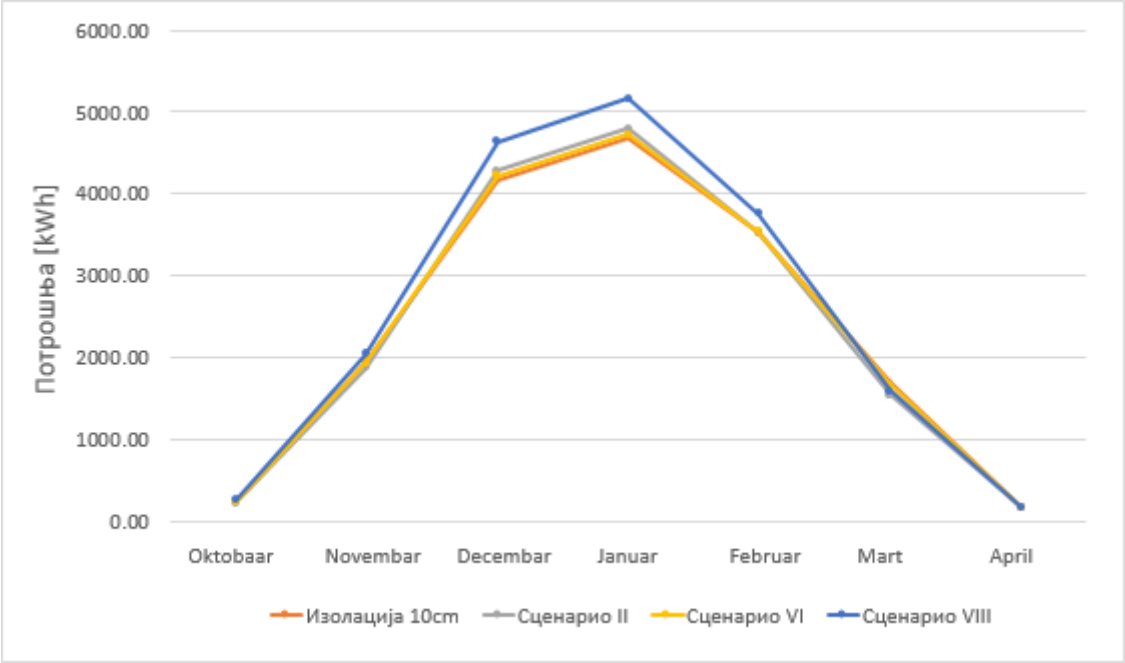
Следећи дијаграмски прикази су груписани тако што се 8 сценарија пореде са њима по потрошњи ел. енергије најприближнијим варијантама изолације објекта (5,10 и 15cm, са задатим вредностима параметара апсорпције).

На слици 22 су дијаграмски приказане криве потрошње ел. енергије за сценарио I и VII и крива за објекат са изолацијом од 5cm са задатим вредностима параметара апсорпције.



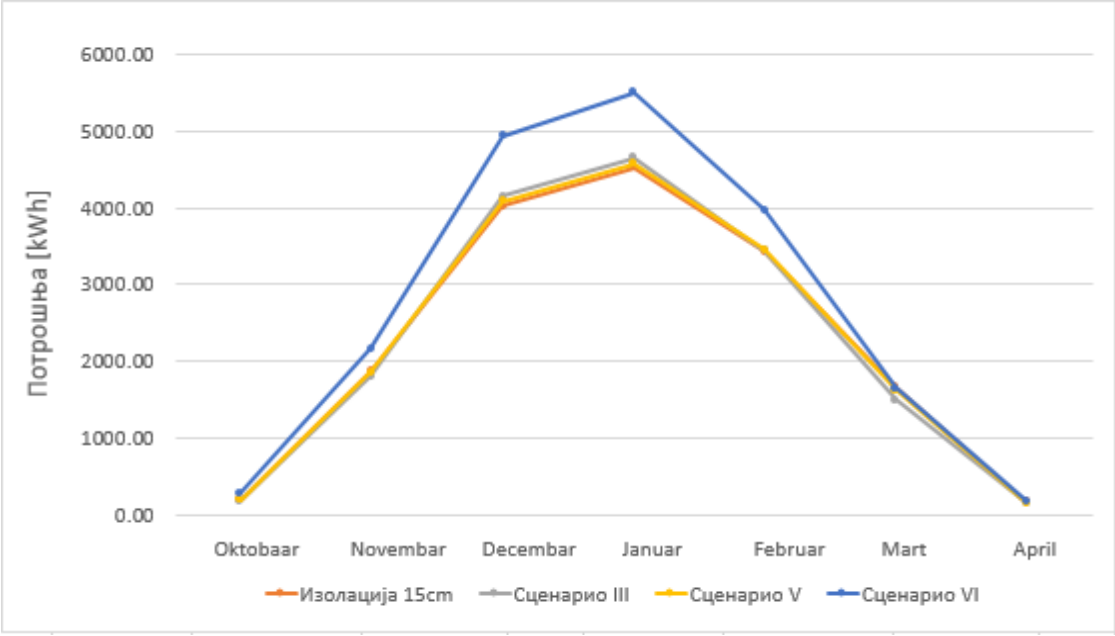
Слика 22 Поређење потрошња ел. енергије за изолован објекат (5cm) и за сценарио I и VII

На слици 23 су дијаграмски приказане криве потрошње ел. енергије за сценарио II, IV и VIII и крива за објекат са изолацијом од 10cm са задатим вредностима параметара апсорпције.



Слика 23 Поређење потрошња ел. енергије за изолован објекат (10cm) и за сценарио II, IV и VIII

На слици 24 су дијаграмски приказане криве потрошње ел. енергије за сценарио III, V и VI и крива за објекат са изолацијом од 15cm са задатим вредностима параметара апсорпције.



Слика 24 Поређење потрошња ел. енергије за изолован објекат (15cm) и за сценарије III, V и VI

7 Период отплате

Период отплате се рачуна тако што се израчуна новчана вредности енергије која је уштеђена постављањем изолације. Затим се израчунају трошкови за спровођење инвестиције постављања стиропора.

Период отплате ће бити израчунат за сва три случаја изолације (5, 10 и 15cm), али само за случај базних симулација (са препорученим вредностима параметара апсорпције). Да би се израчунао период отплате постављања спољашње изолације потребно је знати све трошкове уградње, као и остварену уштеду ел. енергије у динарима након постављања изолације. У табелама 13, 14 и 15 су приказани сви инвестициони трошкови за сва три случаја изолације. За прорачун је изабрана цена термоизолационих фасадних система “ MAXIMA”, [10].

Материјал	Кол по м2	Укупна кол	Цена по м2 [РСД]	Укупан износ [РСД]- Изолација 5cm	Укупан износ [РСД]- Изолација 10cm	Укупан износ [РСД]- Изолација15cm
Стиропор 5	1м2	266м2	215	57.190,00	/	/
Стиропор 10	1м2	266м2	430	/	114.380,00	/
Стиропор 15	1м2	266м2	645	/	/	171.570,00
Лепак (25kg)	7kg	75 џакова (1875kg)	193	51.338,00	51.338,00	51.338,00
Мрежица	1.1м2	300м2	49.5	13.167,00	13.167,00	13.167,00
Малтер (25kg)	3kg	32 канте (800kg)	276	73.416,00	73.416,00	73.416,00
Типли	6 ком.	1600 kom.	30	7.980,00	7.980,00	7980,00
Трошкови извођења радова		266м2	600	159.600,00	159.600,00	159.600,00
Укупни трошкови				362.691,00	419.881,00	477.071,00

Табела 13. Укупна улагања за спољашњу изолацију за сва три случаја

У табелама 14, 15 и 16 су приказани резултати потрошње ел. енергије пре и после постављања изолације. Ради једноставнијег прорачуна остварене уштеде у динарима, изабрана је просечна цена ел. енергије у плавој зони (виша тарифа). Узимајући у обзир да цена струје у плавој зони иноси 8.76 РСД, добија се укупна остварена уштеда ел. енергије у динарима.

Месец	Годишња потрошња ел. енергије (без изолације) [kWh]	Годишња потрошња ел. Енергије (изолација 5cm) [kWh]	Уштеда ел. Енергије након изолације [kWh]	Уштеда [РСД]
Октобар	1.149,44	588,37	561,07	4.914,96
Новембар	4.461,85	2.901,01	1.560,84	13.672,94
Децембар	7.875,11	5.423,06	2.452,05	21.479,98
Јануар	8.656,66	6.013,29	2.643,38	23.155,98
Фебруар	6.669,63	4.667,54	2.002,09	17.538,32
Март	3.979,54	2.678,48	1,301,05	11.397,24
Април	572,53	330,18	242,35	2.122,96
Укупно	**33.364,75**	**22.601,92**	**10.762,83**	**94.282,39**

Табела 14. Укупна потрошња ел. енергије пре и после уградње изолације (5cm) и остварена уштеда у динарима

Месец	Годишња потрошња ел. енергије (без изолације) [kWh]	Годишња потрошња ел. Енергије (изолација 5cm) [kWh]	Уштеда ел. Енергије након изолације [kWh]	Уштеда [РСД]
Октобар	1.149,44	429,24	720,20	6.308,94
Новембар	4.461,85	2.488,09	1.973,75	17.290,09
Децембар	7.875,11	4.781,40	3.093,71	27.100,89
Јануар	8.656,66	5.329,61	3.327,05	29.144,96
Фебруар	6.669,63	4.139,35	2.530,28	22.165,23
Март	3.979,54	2.328,03	1.651,50	14.467,18
Април	572,53	274,67	297,85	2.609,18
Укупно	**33.364,75**	**19.770,41**	**13.594,35**	**119.086,47**

Табела 15. Укупна потрошња ел. енергије пре и после уградње изолације (10cm) и остварена уштеда у динарима

Месец	Годишња потрошња ел. енергије (без изолације) [kWh]	Годишња потрошња ел. Енергије (изолација 5cm) [kWh]	Уштеда ел. Енергије након изолације [kWh]	Уштеда [РСД]
Октобар	1.149,44	350,71	798,73	6.996,8978
Новембар	4.461,85	2.292,04	2.169,81	19.007,536
Децембар	7.875,11	4.481,67	3.393,44	29.726,517
Јануар	8.656,66	5.014,55	3.642,12	31.904,938
Фебруар	6.669,63	3.892,87	2.776,76	24.324,453
Март	3.979,54	2.162,75	1.816,79	15.915,098
Април	572,53	249,60	322,92	2.828,8157
Укупно	**33.364,75**	**18.444,18**	**14.920,58**	**130.704,26**

Табела 16. Укупна потрошња ел. енергије пре и после уградње изолације (15cm) и остварена уштеда у динарима

Дакле укупна уштеда у динарима се добија када се одузме укупна потрошња електричне енергије пре и након уградње изолације.

Коначно период отплате се добије када се поделе укупни трошкови инвестиције са оствареном уштедом на годишњем нивоу. У табели 17 је приказан период отплате за сва три случаја изолације (изолација од 5, 10 и 15cm).

	Укупни трошкови инвестиције [РСД]	Уштеда [РСД]	Период отплате [год]
Изолација 5 cm	362.691,00	94.282,39	3.8
Изолација 10 cm	419.881,00	119.086,5	3.5
Изолација 15 cm	477.071,00	130.704,3	3.6

Табела 17. Период отплате за изолацију објекта од 5, 10 и 15cm

8 Закључак

На почетку рада било је потребно нацртати дефинисани објекат у програму Google Sketch Up, потпуно га обележити (односи се на унутрашње зидове, спољашњне зидове, унутрашња и спољашњна врата, прозоре) и поставити му одређено грејање (радијаторско електрично грејање). Након што је објекат сређен у Google Sketch Up -у прешло се извођењу симулација у софтверу Energy Plus где су дефинисани период почетка симулације, материјали и констукције спољашњних и унутрашњих зидова, подова, итд.

Коришћењем програма Energy Plus у сарадњи са Google Sketch Up-ом извршене су симулације које су дале резултате везане за потрошњу финалне енергије за грејну сезону у зависности од врсте спољашње изолације (стиропор), а све у циљу подизања енергетске ефикасности.

Први део рада подразумева упоређивање резултата потпуно неизолованог и изолованог објекта спољашњом изолацијом од стиропора (5, 10 и 15cm), користећи уобичајене вредности параметара апсорпције фасаде. Други део подразумева исти начин упоређивања резултата само са задатим вредностима параметара апсорпције фасаде. Променом ових параметара се побољшавају термичке карактеристике материјала који директно утичу на смањење топлотних губитака објекта. У трећем делу је извршено осам симулација са различитим дебљинама стиропора на различитим зидовима. Када је све то завршено приступило се симулацији тако да су добијени резултати приказани у табелама и дијаграмски су представљени на сликама.

У наставку су приказане потрошње електричне енергије за грејање по месецима за случајеве када је објекат изолован спољашњом изолацијом са различитим дебљинама изолације на различитим зидовима. Долази се до закључка да начин изолације који је приказан у симулацији III, представља најефикасније решење спољашње изолације и да се побољшавањем термичких карактеристика материјала долази до још већих уштеда енергије. Свако унапређење, побољшање има своју цену, што значи да побољшавањем карактеристика материјала долази и до повећања њихове цене.

Резултати су више него задовољавајући, најдрастичнија промена је када је у питању смањење потрошње електричне енергије за грејање неизолованог у односу на изоловани објекат. Период отплате за сваки од случајева је релативно кратак. Резултати показују да је период отплате за сва три случаја изолације објекта мање више исти и износи око 3.6 год. Што значи да се по грејној сезони уштеди 28% од укупно уложеног новца за извођење ове инвестиције. Променом параметара апсорпције долази до још већег смањења потрошње енергије, што је значајно јер се у том случају са истом дебљином изолације могу постићи бољи резултати и веће уштеде.

Узимајући у обзир да је главни циљ смањење потрошње енергије ова идеја селективне фасаде се може сматрати ефикасном. У време када смо суочени са све већим порастом цена енергената за грејање свака уштеда у потрошњи енергије па макар била и минимална добро је дошла. Несумљиво 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] http://www.designn2.com/home/energetska-efikasnost-gradevinskih-objekata

[2] http://www.beograd.rs/images/file/0e1993dd0f7a408f9f99650e58d89a43_6627856284.pdf

[3] SRPS EN 12831:2003 – Европски стандард за прорачун топлотних губитка и пројектовање топлотног оптерећења

[4] http://www.ingkomora.org.rs/strucniispiti/download/ee/PRAVILNIK_O_EEZ_za%20obuku.pdf

[5] Лукић Н., Бабић М., Соларна енергија, Машински факултет, Крагујевац, 2008.

[6] http://kgh-kongres.rs/images/2016/doc/ppt/75-Malesevic.pdf

[6] Тодоровић, Б., Пројектовање постројења за централно грејање, Машински факултет, Београд, 2005.

[8] http://www.grf.bg.ac.rs/p/learning/termoizolacioni_materijali_1387814173320.pdf

[9] https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/SRB//SRB_Belgrade.132720_IWEC

[10] http://www.roma.rs/termoizolacija-fasade-cene-po-m2/