

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Урбано инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Предмет: Енергетска ефикасност објеката

Број индекса: 913/2014

Александра З. Сретеновић

**Утицај омотача зграде на унапређење енергетске
ефикасности једнопородничног стамбеног објекта
Дипломски рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. др Данијела Николић, доцент - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да проучи препоручену и ширу литературу која се односи на унапређење енергетске ефикасности објеката, при чему акценат треба да буде на повећању енергетске ефикасности једнопородичних стамбених објеката кроз унапређење самог омотача зграде. Неопходно је да се на бази усвојених знања, користећи софтвер EnergyPlus, на примеру конкретне зграде ураде симулације потрошње енергије за различите случајеве конфигурације омотача зграде.

Кроз приказ добијених резултата, потребно је анализирати потрошњу финалне и примарне енергије на годишњем нивоу (како за грејне потребе, тако и укупну потрошњу енергије у згради) и дати поређење потрошње енергије при примени различитих врста прозора и различите дебљине изолационог слоја у омотачу зграде.

Препоручена литература:

[1] С. Зрнић, Ж. Тулум, Грејање и климатизација са применом соларне енергије, Научна књига, 1986, Београд.

[2] ENERGYPLUS, Input Output Reference - The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output, University of Illinois & Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009

[3] Правилник о енергетској ефикасности зграда, Службени гласник РС, број 61/2011

Ментор:

Крагујевац
јун 2018.

Др Данијела Николић, доцент

Садржај

1. Увод	1
2. Енергетска ефикасност објеката	3
2.1. Појам и дефиниција	3
2.2. Потреба за енергетском ефикасношћу	3
2.3. Одрживи развој и енергетска ефикасност	4
2.4. Енергетски пасош	5
3. Потрошња и губици енергије у зградама	7
3.1. Потрошња енергије у домаћинствима у свету	8
3.2. Потрошња енергије у домаћинствима у Србији	9
3.3. Енергетски биланс зграде	11
3.4. Омотач и топлотна изолација зграде	12
3.5. Прозори као део омотача зграде	16
4. Симулациони програми	19
5. Модел анализираног објекта	20
5.1. Модел зграде	20
5.2. Материјал објекта	22
5.3. Радијатори, осветљење и електрични уређаји	23
5.4. Боравак људи у просторијама објекта	25
5.5. Систем грејања	25
6. Резултати и анализа	26
6.1. Случај 1 - Изолација дебљине 5 cm	26
6.2. Случај 2 - Изолација дебљине 15 cm са двоструким прозорима	28
6.3. Случај 3 - Изолација дебљине 15 cm са троструким прозорима испуњеним инертним гасом	30
7. Поређење резултата	33
8. Енергетски разред објекта	36
9. Закључак	39
10. Литература	40

Abstract

This thesis represents the possibility of improving the energy efficiency of a single-family residential building by changing the building envelope. The building was created in *GoogleSketch up 8* simulation program, and then the annually building energy consumption simulation was performed in *Energy plus* software. A detailed analysis of the building with its energy properties is given in the thesis. The cases of the building with different thermal insulation thickness and different windows were analyzed and primary and final energy consumption was given annually. A comparative analysis of the application of different thermal insulations thickness and various types of window has showed that the improvement of the building envelope can greatly contribute to the improvement of building energy efficiency and reduction of energy consumption.

Key words: energy efficiency, family building, thermal insulation, window, simulation.

Резиме

У дипломском раду је приказана могућност унапређења енергетске ефикасности једнопородичног стамбеног објекта кроз промену конфигурације омотача самог објекта (зграде). Модел зграде је урађен у програму *GoogleSketch up 8*, а затим је урађена симулација потрошње енергије на годишњем нивоу у софтверу *Energy plus*. У раду је дата детаљна анализа објекта са његовим енергетским својствима. Анализирани су случајеви зграде са топлотном изолацијом различите дебљине и различитим врстама прозора, и дати су подаци о потрошњи примарне и финалне енергије на годишњем нивоу. Упоредна анализа примене различитих дебљина топлотне изолације са различитом врстом прозора показала је да се унапређењем омотача зграде, у великој мери може утицати на побољшање њене енергетске ефикасности и смањење потрошње енергије.

Кључне речи: енергетска ефикасност, породична зграда, топлотна изолација, прозор, симулација.

1. Увод

Човек је од самог почетка свога постојања био свестан значаја и улоге средине која га окружује и која му пружа основне услове за живот. Као и друга жива бића на Земљи, човек је везан узајамним везама за целокупну неживу и живу природу која чини саставни део његовог живота.

Хиљадама година су се човек и природа складно развијали и напредовали. Природа је помагала човеку да опстане, нудила му своје богатство и била несебична према њему. Равнотежа је постојала вековима. У његовој скоријој историји, захваљујући великом напретку науке и технике, у трци за напретком и зарадом, човек је заборавио на природу. Проблем угрожавања здравља човека и осталих живих бића постаје све актуелнији. Огроман број загађујућих фактора из животне средине могу изазвати здравствене последице по човека. Неколико основних категорија загађења на оклину су: утицаји загађеног ваздуха, воде, земљишта, утицај енергије зрачења и ефекти буке и вибрација. Сваки од ових фактора изазива одређени тип поремећаја у организму који могу имати акутно и хронично дејство [1]. Са друге стране, са порастом популације и технолошким напретком, неминовно је дошло и до великог повећања потрошње енергије на глобалном нивоу.

Енергија је један од основних облика материје, и карактерише се као способност физичког система да врши рад.

Енергија се може појавити у неколико облика:

- потенцијална енергија,
- кинетичка енергија,
- хемијска енергија,
- електрична енергија,
- топлотна енергија,
- нуклеарна енергија и
- електромагнетна енергија.

Према степену трансформације, енергија се може јавити у неколико облика:

- примарна енергија,
- секундарна енергија,
- финална енергија и
- корисна енергија.

Облици енергије добијени после примарне прераде искоришћених енергетских резерви, који се могу непосредно користити или се могу користити у постројењима за конверзију у секундарне/финалне облике енергије називају се *примарна енергија*. То су практично сви облици енергије који се директно узимају из природе. Примарни облици енергије могу бити:

- необновљиви извори енергије (фосилна енергија (камени и мрки угаљ, сирова нафта, природни гас), нуклеарна енергија (уран и торијум)) и
- обновљиви извори енергије (соларна енергија, енергија ветра, енергија плиме и осеке, енергија таласа, итд.).

Велики део примарних облика енергије се не може непосредно користити, већ се мора претходно трансформисати у секундарни облик. *Секундарна енергија* се добија из примарне енергије услед низа процеса трансформација, којима се мења физички и хемијски облик енергије. Трансформације енергије су неопходне како би енергија могла да се користити, јер енергија у форми добијеној из природе не може директно да се користи. Тако се нпр. од угља добија кокс, а од сирове нафте бензин и дизел гориво. Најбољи секундарни извор је електрична енергија, која је једноставна за транспорт и економична за кориснике.

Финална енергија представља све облике енергије које корисници користе за обављање жељених активности. То су електрична енергија, топлотна енергија, енергенти - фосилна чврста, течна и гасовита горива, који се користе у секторима потрошње: индустрија, саобраћај, домаћинства, јавне и комерцијалне делатности, пољопривреда.

Корисна енергија је крајњем кориснику на располагању у њему најповољнијем облику (светло, рад, топлота, итд.) [2].

Проблеми са необновљивим изворима енергије су прво у њиховој количини и распрострањености. Залихе фосилних горива су ограничене и брзо нестају, а услед концентрације енергетских ресурса у свега неколико области у свету, коришћење необновљивих горива је све теже. Други проблем је загађење животне средине. Сагоревање фосилних горива, нарочито оних базираних на нафти и угљу, представља највећи узрок глобалног загревања, тј. стварање тзв. ефекта стаклене баште услед емисије угљен-диоксида, сумпорних, азотних једињења и других загађујућих једињења и честица. Промена климатских услова представља једну од најозбиљнијих опасности за Земљин еколошки систем због могућег утицаја на производњу хране.

2. Енергетска ефикасност објеката

2.1. Појам и дефиниција

Под термином енергетска ефикасност се подразумева опис квалитета коришћења енергије, као и смањење губитака енергије без нарушавања комфора и животног стандарда. Постоје два значења енергетске ефикасности, једно се односи на уређаје, а друго на потрошњу енергије.

Енергетска ефикасност објеката подразумева ефикасно коришћење енергије уз примену одговарајућих мера, чији је примарни циљ смањење потрошње енергије уз финансијску уштеду, угоднији и квалитетнији боравак у згради и продужење животног века зграде.

Када је реч о мерама енергетске ефикасности, под енергетском ефикасношћу се подразумевају мере које се примењују у циљу смањења потрошње енергије. Без обзира да ли је реч о техничким или нетехничким мерама, или о променама у понашању, све мере подразумевају исти или чак и виши степен оствареног комфора и стандарда.

Најчешће мере које се предузимају у циљу смањења губитака енергије и повећања енергетске ефикасности су:

- изолација простора који се греје,
- замена дотрајале столарије у просторијама које се греју,
- уградња мерних и регулационих уређаја за потрошаче енергије,
- увођење тарифних система од стране дистрибутера који ће подстицати штедњу енергије и сл.

Потенцијал који има примена принципа енергетске ефикасности је огроман, јер се уштеда енергије остварује како на страни произвођача (прерада угља, нафте, гаса и производња преношење и дистрибуција електричне енергије) тако и на страни корисника (употреба енергије у домаћинствима, саобраћају и производњи). Због недовољне примене наведених мера енергетске ефикасности, у пракси, њен потенцијал остаје у великој мери неискоришћен [2].

2.2. Потреба за енергетском ефикасношћу

Заштита животне средине је веома битна за људску околину. Чист ваздух, вода и земљиште су неопходни како би људи могли да преживе. Компаније које имају удео у заштити животне средине имају користи како за себе, тако и за цело друштво. Савремени начин живота људе чини потпуно зависним од енергије. Растућа потрошња фосилних

горива, као што су нафта, угља и гас, имају драматичан утицај на укупну емисију штетних гасова у ваздух. Ипак, резерве угља, гаса и нафте су ограничене, у неким земљама и на измаку. Комбинација пораста потрошње енергената и ограничена понуда резултирају константним растом цена. Тренутно се ради на пост-Кјото протоколу чији је циљ, између осталог, спречавање раста температуре на глобалном нивоу за 2 °C.



Слика 1- Потрошња енергије [2]

Процентуална анализа показује да се најмање енергије на светском нивоу троши у индустрији (28 %), 32 % у саобраћају, а у зградама чак 40 %. као што је приказано на Слици 1. У Србији потрошња енергије је чак 4 пута већа. Енергетској ефикасности доприноси се на неколико начина: уградњом штедљивих сијалица, заменом дотрајалих прозора и врата и сл. Међутим, најефикасније решење за штедњу енергије јесте уградња савремених и доступних термоизолационих материјала. Просечна потрошња енергије за грејање у зградама у Србији је преко 150 kWh/m² годишње, док у развијеним европским земљама износи испод 50 kWh/m². Евидентно је да ова чињеница приморава Србију да интензивира активности на постизању стандарда који важе у земљама ЕУ или да им се макар значајно приближи [2].

2.3. Одрживи развој и енергетска ефикасност

Одрживи развој (Слика 2) представља интегрални економски, технолошки, социјални и културни развој, усклађен са потребама заштите и унапређења животне средине, који омогућава садашњим и будућим генерацијама задовољавање њихових потреба и побољшање квалитета живота. То значи да би једно друштво требало да се развија у

складу са еколошким могућностима и способностима самообнављања ресурса које човек из природе користи.

Енергетски сектор је међу главним узрочницима проблема глобалног загревања и деградације животне средине. Како би се зауставиле или бар ублажиле наведене негативне појаве и омогућио одрживи развој, општи тренд у свету је орјентација ка обновљивим изворима енергије у смислу производње „зелене енергије” уз истовремено повећање енергетске ефикасности у смислу смањења потребе за енергијом.

У овом тренутку једино комбинација смањења потрошње енергије уз обновљиве изворе енергије омогућава даљи развој енергетике уз истовремено очување здраве животне средине.



Слика 2- Одрживи развој [3]

Кључне одлике енергетског сектора у Србији су ниска енергетска ефикасност (и у производњи и у потрошњи), застарелост технологије у производном сектору, низак ниво инвестиција, нереално ниска цена електричне енергије, низак удео обновљивих извора енергије и нерационална потрошња практично свих видова енергије [2].

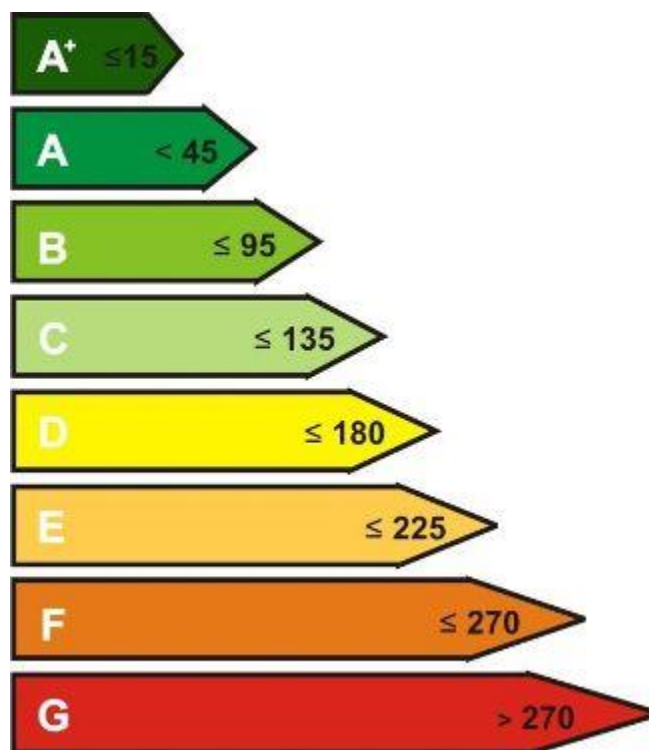
2.4. Енергетски пасош

Енергетски пасош је документ који садржи обрачунате вредности потрошње енергије у оквиру одређене категорије зграда, енергетски разред и препоруке за побољшање енергетских својстава зграде [4].

Енергетски пасош се издаје за стамбене зграде, нестамбене зграде и за зграде друге намене које користе енергију. Енергетски пасош мора да имају све нове зграде и постојеће зграде које се реконструишу, адаптирају, санирају или енергетски санирају, осим зграда које су правилником изузете од обавезе енергетске сертификације.

Правилник о условима, садржини и начину издавања сертификата о енергетским својствима зграда („Сл. гласник РС“ бр. 69/2012) прописује услове, садржину и начин издавања сертификата о енергетским својствима зграде.

Зграде се сврставају у 8 енергетских разреда на скали од „А+“ до „Г“. „А+“ представља најповољнији разред. Енергетски разред се одређује н основу података о потрошњи енергије за грејање на годишњем нивоу. Енергетски разред нове зграде, који се исказује у енергетском пасошу мора бити најмање „Ц“ или виши [4].



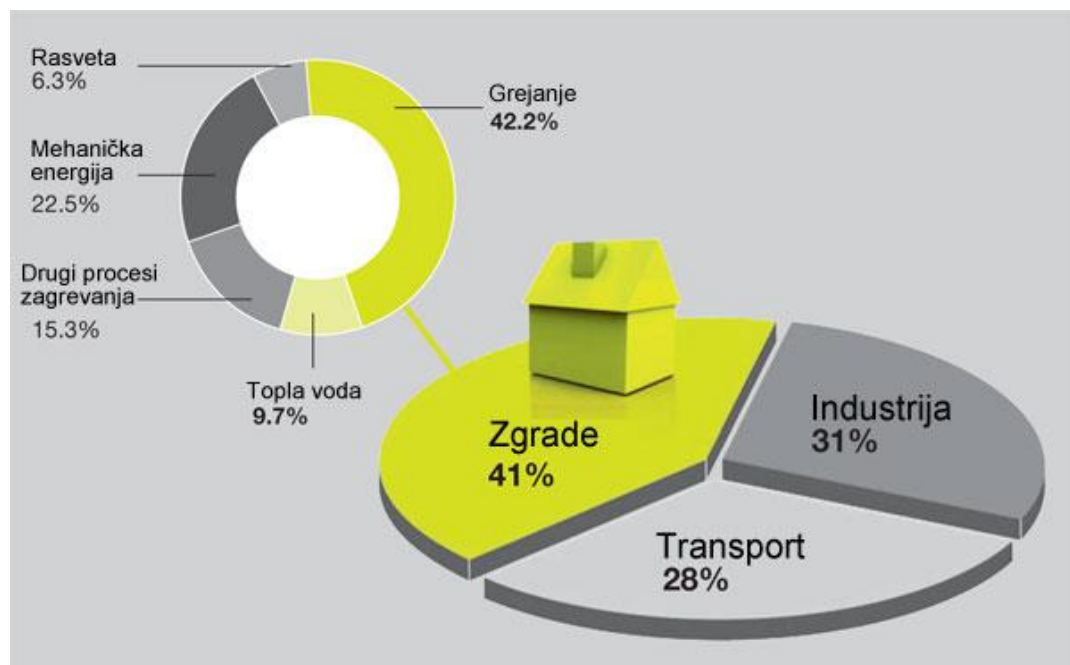
Слика 3- Енергетски разред зграде са потрошњом финалне енергије за грејање [5]

Енергетски разред (Слика 3) за постојеће зграде, након извођења радова на реконструкцији, доградњи, обнови, адаптацији, санацији или енергетској санацији, мора бити побољшан најмање за један разред. Приказује се графички стрелицом, на првој страни енергетског пасоша зграде. Издаје се по извршеном енергетском прегледу и сачињавању извештаја за зграду или за део зграде [3].

3. Потрошња и губици енергије у зградама

Сектор зградарства троши око 20 – 40 % енергије, при чему се на глобалном нивоу највише енергије троши за грејање (Слика 4), око 40%, док се у Србији за грејање троши и до 60 %. У односу на остале европске земље Србија заостаје још из раних 90-их година. Просечна потрошња финалне енергије у стамбеним зградама у Србији у топлотне сврхе износи 138 kWh/m², што значи да се са овом количином енергије могу загрејати 3 до 4 нискоенергетске куће у Европској унији.

Недовољна топлотна изолација може довести до великих топлотних губитака зими, оштећења насталих кондензацијом влаге и прегрејавања простора лети. Последице су оштећења конструкције и нездраво становање и рад. Загревање оваквих неизолованих простора захтева већу количину енергије, што доводи до тога да се повећава цена коришћења, али долази и до загађења животне средине. Побољшањем изолације зграде могуће је постићи смањење укупних топлотних губитака за око 40 - 80% [6].

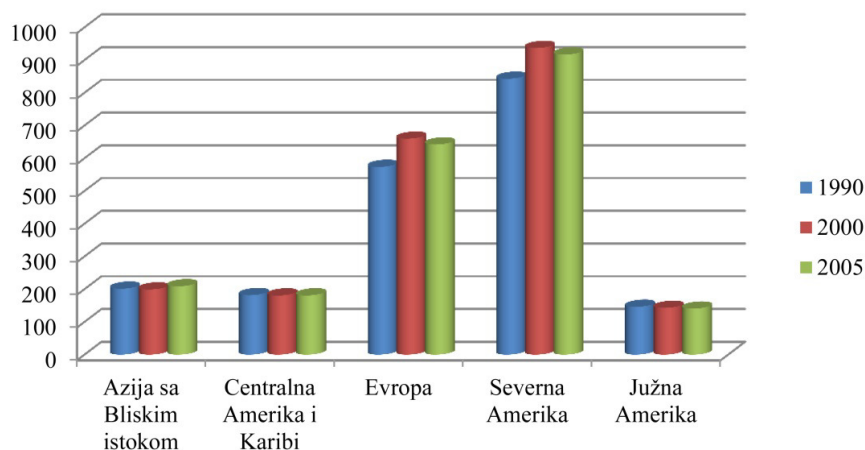


Слика 4 – Структура потрошње енергије у ЕУ [6]

Велике су разлике у стању постојећих зграда што зависи од старости зграде, коришћених материјала и нивоа одржавања.

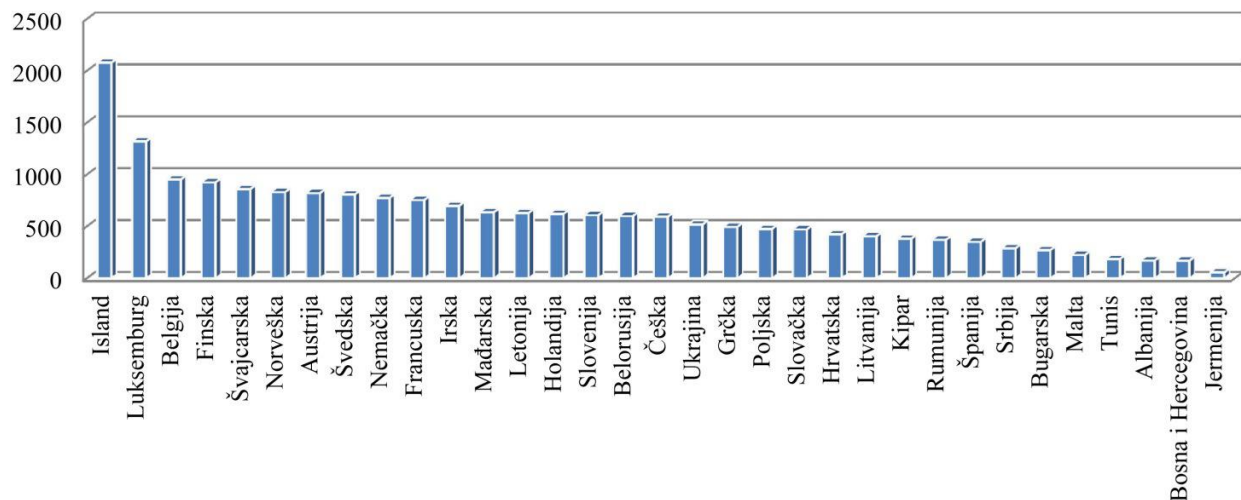
3.1. Потрошња енергије у домаћинствима у свету

World Resources Institute на свом званичном сајту објављује податке који се односе на потрошњу енергије у домаћинствима по глави становника. Потрошња енергије по континентима у периоду од 1990-2005 године приказана је на Слици 5. Са Слике 5 може се уочити да је потрошња финалне енергије знатно већа у развијеним земљама, него у неразвијеним земљама или земљама у развоју. Земље Северне Америке (САД и Канада) троше чак 50 % више финалне енергије у домаћинствима од земаља Европе.



Слика 5 - Потрошња енергије по континентима [7]

Однос потрошње финалне енергије по глави становника у домаћинствима у 33 државе Европе приказан је на Слици 6.

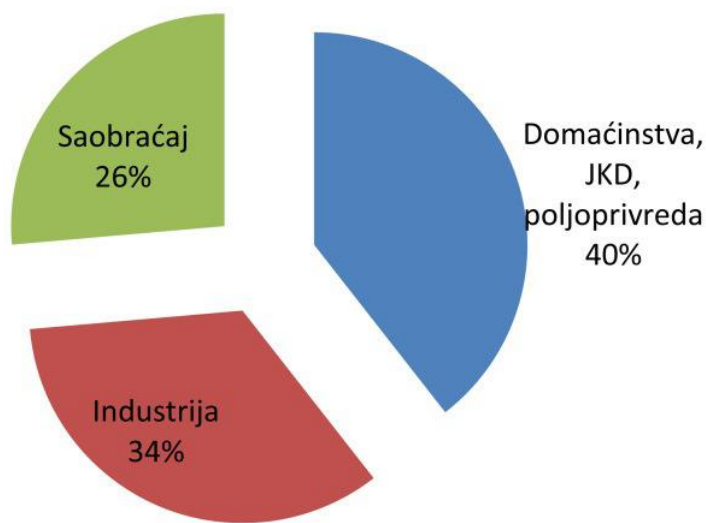


Слика 6 - Потрошња финалне енергије по глави становника у Европи [7]

На основу података за 2005. годину датих за 33 европске земље, највећи потрошачи су домаћинства на Исланду, која по глави становника троше чак 385 пута више енергије од домаћинстава у Јерменији, која су по овим подацима најмањи потрошачи у Европи [7].

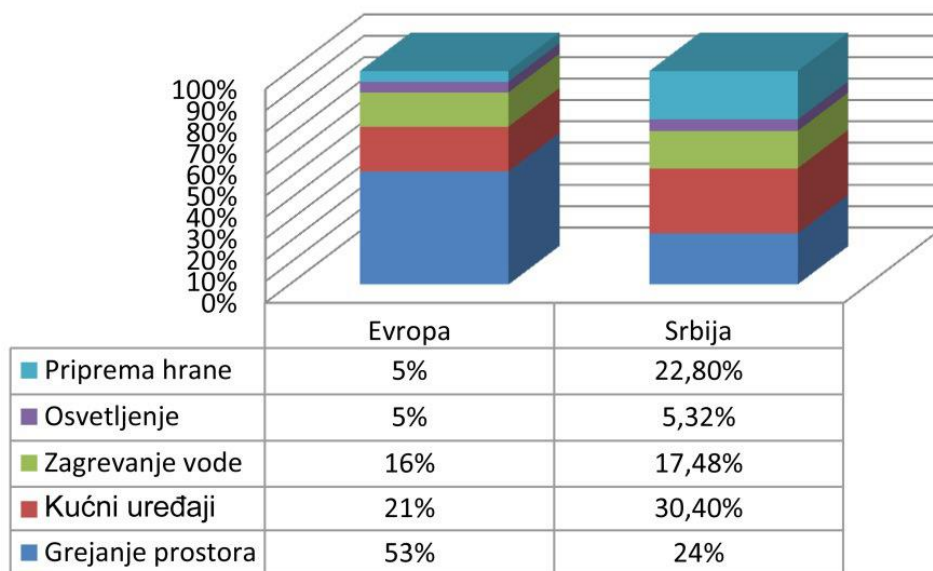
3.2. Потрошња енергије у домаћинствима у Србији

Енергетски биланс за 2008. годину у Србији приказује да се на домаћинства потроши око 39,46% укупне потрошње финалне енергије. Потрошња финалне енергије по секторима у 2008. години у Србији приказана је на Слици 7 [8]. Према подацима (Слика 3) за 33 европске земље, Србија се налази на 27. месту по потрошњи финалне енергије у домаћинствима.



Слика 7- Потрошња финалне енергије по секторима [8]

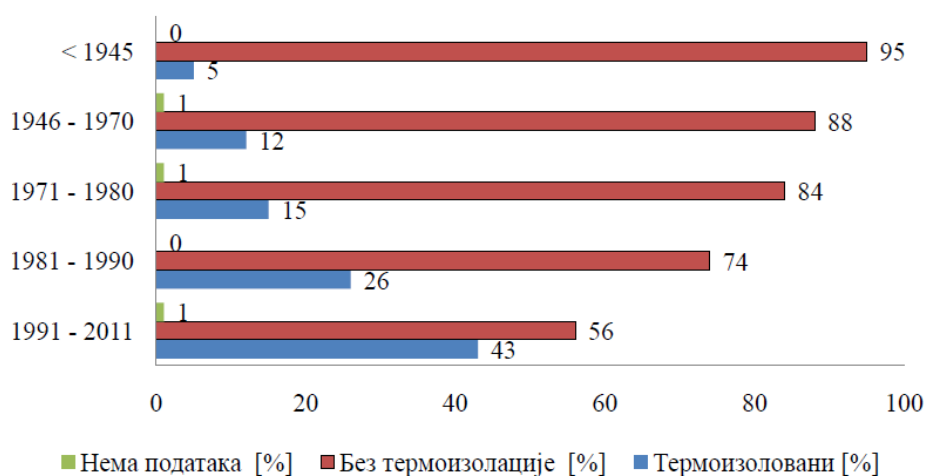
Према подацима Агенције за енергетску ефикасност у Србији се на грејање троши 24% укупне финалне енергије. Од преосталих 76% на припрему хране троши се 30%, чување хране 25%, загревање воде 23%, осветљење 7%, док се на остале потребе утроши 6,5%. На Слици 8, приказана је употреба финалне енергије у домаћинствима у Европи и Србији [9].



Слика 8 - Употреба финалне енергије у Европи и Србији [9]

Европска Унија системским мерама обавезује своје чланице на стално повећање енергетске ефикасности, доносећи бројне директиве за постизање веће енергетске ефикасности.

Смањење потрошње енергије је могуће остварити на два начина, и то побољшањем енергетске ефикасности постојећих зграда или грађењем нових енергетски ефикасних зграда. Пошто енергетски ефикасне зграде имају мању потрошњу енергије, самим тим мању емисију гасова стаклене баште треба их градити или већ постојеће унапредити.

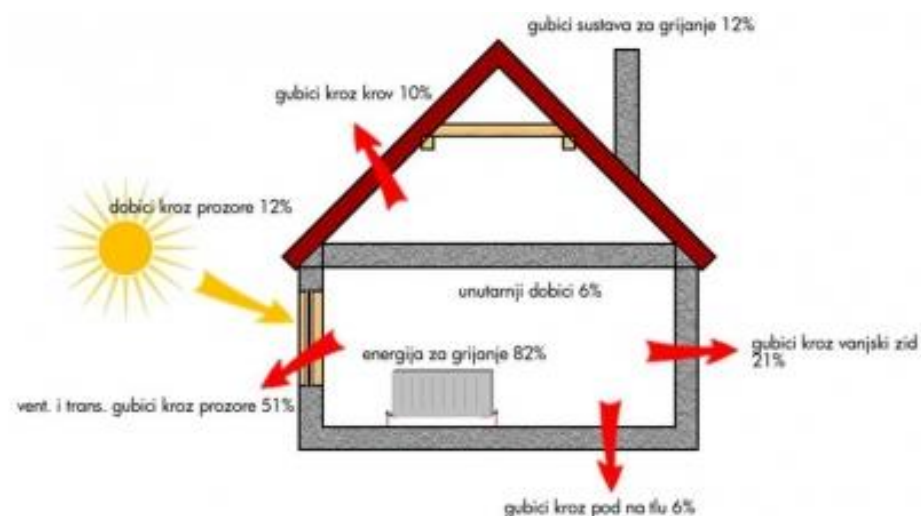


Слика 9 –Примена термоизолације [10]

Уз неефикасне изворе топлотне енергије, главни узрок енергетске неефикасности зграда у Србији по питању потрошње топлотне енергије, је недовољна топлотна изолација грађевинских објеката. Укупно свега 16 % стамбених објеката има термоизолацију, за 1% објеката нема података, док чак 83 % постојећих стамбених објеката нема термоизолацију. Примена термоизолације на стамбеним грађевинским објектима у односу на период изградње у Србији, приказана је на Слици 9 [10].

3.3. Енергетски биланс зграде

Енергетски биланс зграде се дефинише као прорачун свих енергетских добитака и енергетских губитака у згради, одоносно као потребна количина енергије за задовољење топлотних потреба. Све док топлотни добици енергије буду довољни да покрију топлотне губитке у згради ће бити одржана топлотна угодност (Слика 10).



Слика 10 – Енергетски биланс [11]

У зимским условима обично важи да је количина енергетских добитака једнака количини енергетских губитака. У енергетске добитке спадају енергија система грејања, унутрашњи топлотни добици и соларни топлотни добици, а у енергетске губитке спадају трансмисиони губици, вентилациони губици и губици система грејања.

$$Q + Q_{in} + Q_{sol} = Q_t + Q_v + Q_{gsb}$$

Унутрашњи добици (Q_{in}) су добици који потичу од особа који се налазе у просторијама и од различитих уређаја. Соларни добици (Q_{sol}) су добици топлоте од сунчевог зрачења и имају значајну вредност.

Трансмисиони губици (Q_t) настају пролазом топлоте кроз елементе омотача, кроз конструкцију зграде, прозоре, врата или изолацију. Вентилациони губици (Q_v) се одређују на основу потребног броја измена ваздуха.

Енергија коју систем грејања треба да испоручи згради (Q) да би се обезбедила поребна и довољна температура у згради следи у следећој релацији:

$$Q = Q_t + Q_v + Q_{gsb} - Q_{in} - Q_{sol}$$

Основни задатак енергетске ефикасности се показује преко енергетског биланса, кроз смањене потребне енергије за грејање, уз остваривање потребних услова угодности а при свим могућим променљивим параметрима. Повећање енергетске ефикасности у зградарству се реализује преко смањивања топлотних губитака, до рационализације енергетске инфраструктуре зграде.

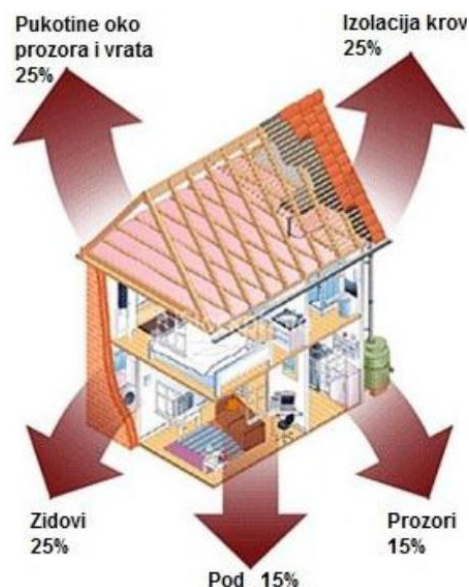
У току зимског периода пошто је нижа температура напољу, унутрашња топлота пролази кроз омотач зграде, па се та изгубљена топлота надокнађује системом за грејање. Лети се мења смер топлотног тока, па се у екстремним условима може одредити снага система за климатизацију [12].

3.4. Омотач и топлотна изолација зграде

Сви елементи који одвајају грађевински објекат од ваздуха или од тла спадају у омотач зграде. Улога омотача је да штити унутрашњост зграде од неповољних временских утицаја, од буке и да омогућава приступ природне светлости и визуелни контакт људима у њој.

Саставни део омотача су кровна конструкција, фасадни зидови, прозори и врата објекта и основа објекта. При пројектовању зграде мора да се оствари оптималан однос између површине зидова и прозорских површина. Прозори и застакљене површине су најосетљивији део омотача зато што утичу на трансмисионе и вентилационе губитке. Стаклене површине имају мањи отпор у провођењу топлоте у односу на зидове, па због тога енергетски представљају најосетљивије елементе фасаде. Ради постизања енергетске ефикасности у зградама потешно је уграђивање квалитетнијих прозора и боље изолације, да би отпор пролазу топлоте кроз фасаду био већи.

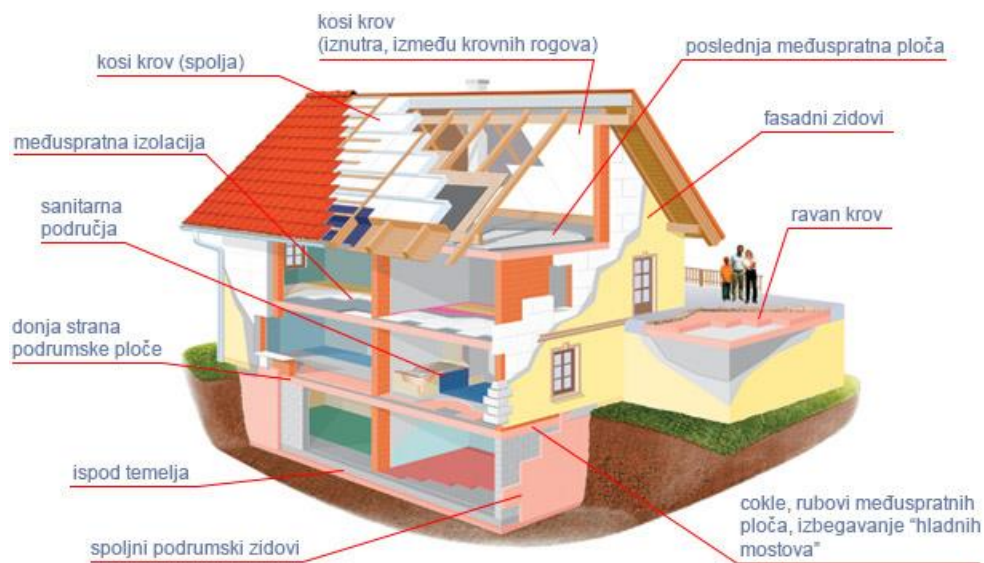
Слика 11 приказује вредности губитака енергије у једном енергетски неефикасном објекту. Енергетском обновом старијих објеката на нашим просторима, могуће је постићи уштеду у потрошњи топлотне енергије и преко 60%. Осим заменом прозора, највећа уштеда се може постићи и комплетном изолацијом спољних зидова.



Слика 11 – Губици енергије у енергетски неефикасном објекту[13]

Унапређење енергетске ефикасности када је реч о омотачу, спроводи се кроз смањивање трансмисионих и вентилационих губитака и побољшавања услова термичког комфора.

Топлотном изолацијом се смањује пролаз топлоте кроз зидове, смањују се топлотни губици зими, штити се носећа конструкција од неповољних временских услова, ствара осећај угодности и продужава животни век зграде. Топлотна изолација се изводи додавањем новог топлотно-изолационог слоја са спољне стране зграде.



Слика 12 – Топлотна изолација зграде [14]

Постављање топлотне изолације са унутрашње стране је неповољно из разлога што може да дође до проблема дифузије водене паре, строжих захтева у постављању противпожарне сигурности, губитка корисног простора и обично високе цене уграђивања. Постављањем изолације унутар објекта основни зид постаје хладнији, па може доћи до кондензације влаге и плесивих места на и у зиду. Због тога је неопходно да се изведе и парна баријера како би се избегла могућност настанка кондензата (Слика 12).

Основна својства грађевинских материјала који се користе за топлотну (термо) изолацију су:

- топлотна проводљивост,
- акумулативност топлоте,
- отпор дифузије водене паре,
- водоотпорност,
- отпорност на пожар,
- могућност рециклаже,
- енергија и емисија штетних гасова при производњи,
- цена.

Подела материјала према топлотним својствима:

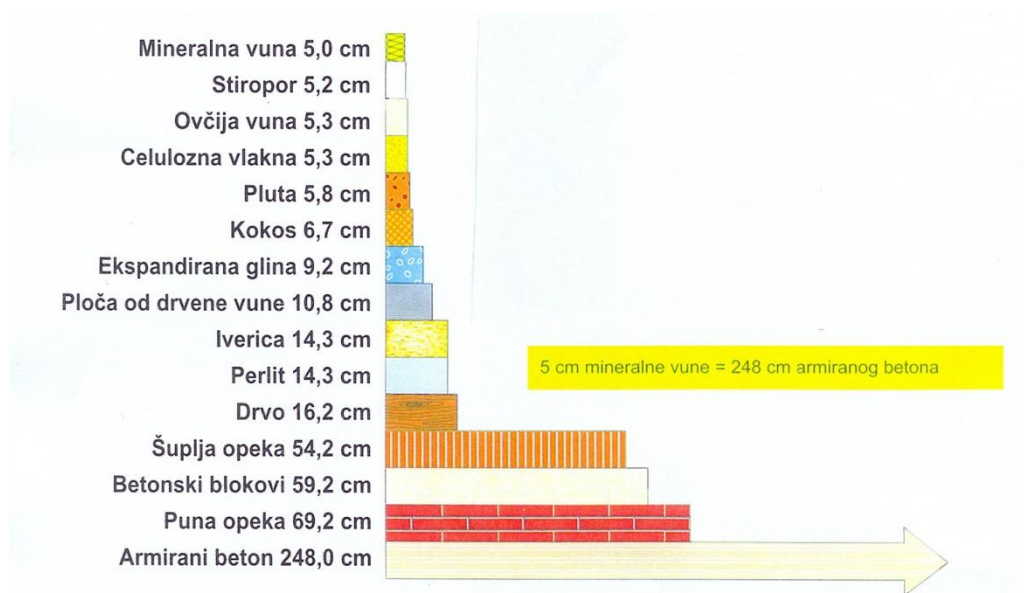
- материјали неповољних топлотно заштитних својстава (опека, бетон, камен,...),
- материјали средњих топлотно заштитних својстава (лаки бетон),
- термоизолациони материјали,
- стакло.

У Табели 1 је приказана класификација термоизолационих материјала на основу поступка уградње – облика производа.

Табела 1- Класификација термоизолационих материјала

Начин уградње/ облик производа	Врста ТИ материјала
Расипање и удубљавање	Уситњена рециклирана хартија
Растресити материјали	Експандирани полистирен - грануле
	Перлит
	Вермикулит
	Струготина
	Минералне вуне
Филцеви и јастуци	Минералне вуне
Прскање на месту градње/ спрејеви	Целулоза спреј
	Камена вуна спреј
Прскање на месту уградње / пене	Полиуретан
	„Air-krete“ (MgO+CO ₂)
Тврде плоче	Ћелијасто стакло
	Експандирани полистирен
	Екструдирани полистирен
	Полиуретан
	Минералне вуне

Поређење различитих термоизолационих материјала је приказано на Слици 13. Приказано је да је 5 cm минералне вуне једнако добра као 248 cm армираног бетона [3].



Слика 13 – поређење ТИ материјала [15]

3.5. Прозори као део омотача зграде

Прозор као грађевински елемент треба да обезбеди звучну и топлотну изолацију. Када прозори не дихтују добро или врата имају пукотине онда је то главни разлог губитка топлотне енергије.

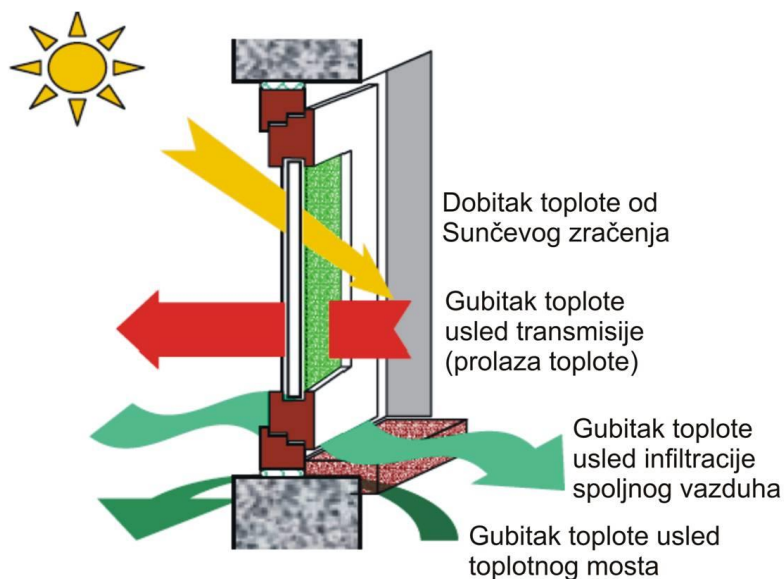
Основне функције прозора су обезбеђивање дневне светлости у објекту, вентилације, визуелног контакта са спољашњом средином, смањења губитка топлоте и заштита унутрашњости објекта од спољашњих непогодних утицаја.

Основне карактеристике које дефинишу енергетске перформансе прозора су:

- коефицијент пролаза топлоте,
- соларне и оптичке карактеристике стакла,
- материјал оквира и рама и
- врста стакла.

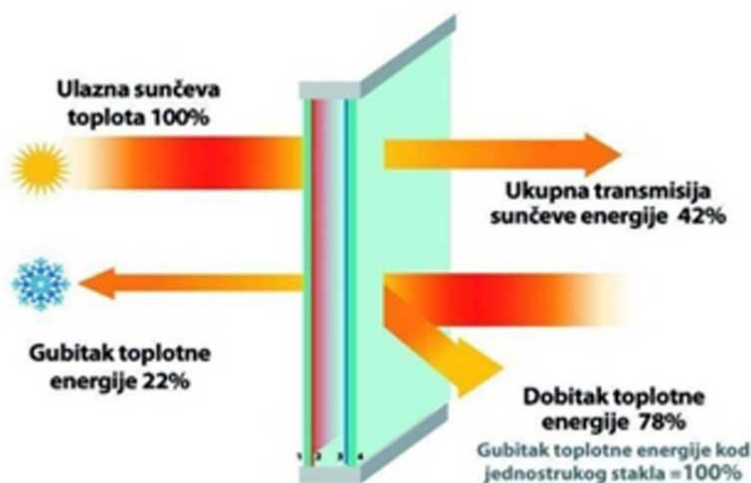
Услед недовољног заптивања процепа дуж ивица прозора и врата врши се природно проветравање просторија струјањем ваздуха чија јачина зависи од разлике температуре и притиска између спољне атмосфере и унутрашњости просторије. Ово струјање је незнатно кад је ваздух у мирном стању, тј. кад је без ветра али се оно изразито потенцира налетима нарочито бочног ветра. Количина ваздуха који овом приликом продире зависи од угла ветра и ефикасности заптивања свих процепа и разлике температуре и притиска спољњег и унутрашњег ваздуха [16].

Губици топлоте (Слика 14) кроз прозоре могу бити трансмисиони (кроз затворен прозор) и вентилациони (кроз отворен прозор). Пошто постоји много различитих врста прозора, самим тим им је и коефицијент пролаза топлоте различит. Коефицијент пролаза топлоте за прозоре се креће од $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ код најбољих прозора са троструким стаклом испуњеним инертним гасовима, па све до $3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ и до $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ код старих прозора са једноструким стаклом.



Слика 14 – Топлотни добици и губици кроз прозор [17]

На Слици 15 је приказан пролаз соларног зрачења кроз двоструко стакло. Укупна трансмисија сунчеве енергије је 42 % [18].



Слика 15 – Пролаз сунчевог зрачења кроз прозор [18]

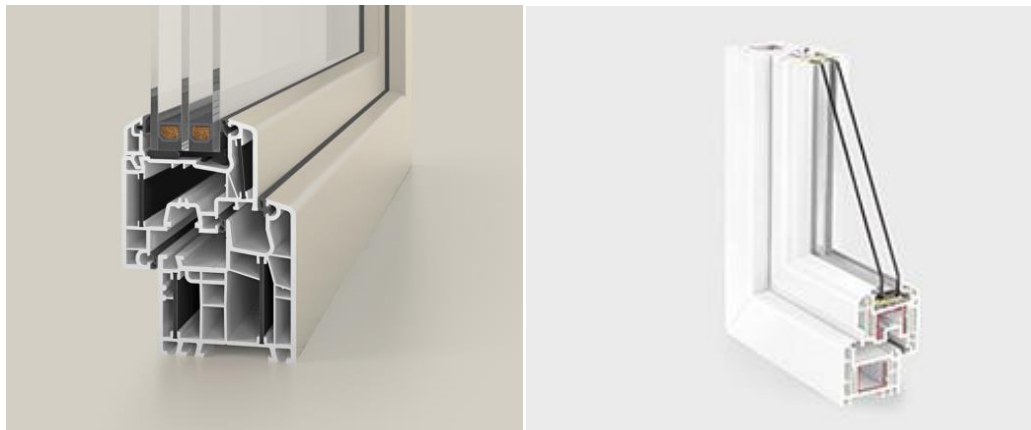
Захтеви које стакло треба да обезбеди су:

- што мањи топлотни губици да би се добио термички комфор зими,
- што мањи топлотни добици да би се обезбедио комфор лети и
- обезбеђивање оптималне количине светлости.

Табела 2 – Карактеристике стакла

Врста стакла	Коефицијент пролаза топлоте U [W/m^2K]	Укупни пролази сунчеве енергије G	Пропустљивост светлости T	(Звучна) Изолациона моћ R_w [dB]
Двоструко термоизолационо стакло	до 1.1	0.55-0.65	0.8	30-31
Троструко термоизолационо стакло	до 0.5	0.5	0.7	32
Стакло за контролу сунчевог зрачења	до 1.1	0.3-0.45	0.4-0.7	34
Звучно изолационо стакло	до 1.1	0.5-0.65	0.7-0.8	36-50

За оквир прозора (Слика 16) се користе различити материјали као што су дрво, челик, алуминијум, ПВЦ као и комбинације ових материјала. Прозорски профили морају да осигурају прекидање топлотног моста у профилу, једноставно отварање и низак коефицијент пролаза топлоте. Прозори морају имати посебне отворе за вентилацију, када је прозор затворен и могућност одвођења кондензоване влаге.



Слика 16 – примери прозорских профила [19]

Стакла прозора се израђују као изолациона стакла, двослојна или тростлојна, са различитим пуњењем гасовима или премазима који побољшавају топлотне карактеристике [19].

4. Симулациони програми

GoogleSketch up 8 је бесплатан 3Д софтверски програм који се користи за виртуелно дизајнирање стамбених објеката. Развила га је компанија Last Software Boulder из Колорада, САД, током 2000. године, а служи за 3Д моделирање, за цртање дизајна архитектуре, ентеријера и сл. Програм омогућава постављање модела зграде помоћу система реалних координата, омогућава површинске приказе и подржава постављање модела у GoogleEarth апликацији. Доступан је за бесплатно коришћење и веома лак за употребу. OpenStudio је додатак софтверском пакету GoogleSketchUp којим се симулација енергетског понашања зграде у EnergyPlus-у повезује са 3Д окружењем GoogleSketchUp-а [20].

GoogleSketch up 8 дозвољава кориснику да креира улазни фајл EnergyPlus-а преко његових стандардних алата додајући при томе што више детаља и информација потребних за конструкцију зона и површина зграде. Он омогућава једноставно креирање геометрије зграде од самог почетка: формирање зона (просторија), конструкција зидова кроз које се врши пренос топлоте, цртање прозора и врата, цртање засенчених површина итд. Корисници програма могу сачувати све информације у улазној датотеци *EnergyPlus*-а. У жељеном тренутку може се покренути симулација креиране зграде у *EnergyPlus*-у и кроз добијене резултате симулације уочити евентуалне грешке и пропусти у дизајну.

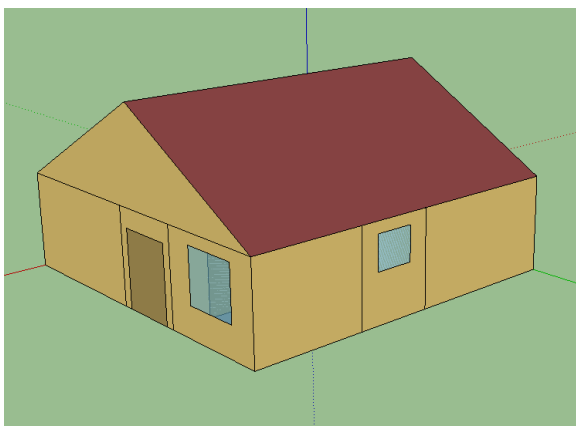
Energy plus је енергетски симулациони програм за грађевину који инжењери, архитекте и истраживачи користе за моделирање потрошње енергије (за грејање, хлађење, вентилацију, осветљење и друго). Модел зграде у софтверу *Energy plus* је дефинисан по зонама, у свакој зони је уведено грејање, вентилација, осветљење и др. Затим је урађена симулација и приказивање добијених резултата. *EnergyPlus* представља програм за енергетску анализу и симулацију топлотног оптерећења зграда, тј. за симулацију енергетског понашања зграда као и симулацију употребе обновљивих извора енергије у зградама. На основу описа зграде од стране корисника са аспекта физике, примењених механичких система итд. *EnergyPlus* израчунава потребе за грејањем и потребе за хлађењем неопходне за одржавање и контролу жељене температуре, омогућава правилно пројектовање система за КГХ, одређује потрошњу примарне енергије, и у стању је да симулира бројна друга енергетска понашања зграде, у складу са понашањем у реалном окружењу, тј. у реалним експлоатационим условима [21].

5. Модел анализираног објекта

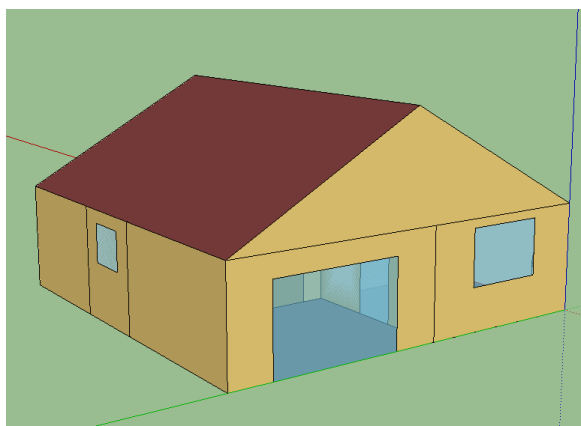
5.1. Модел зграде

Модел објекта је рађен у програму *GoogleSketch up 8*, који се прилагођава и другим програмима као што је *Energy plus*. Прорачун је рађен за три случаја термоизолације са различитим прозорима.

Пре свега било је потребно нацртати модел у *GoogleSketch up 8* и одвојити га по зонама. За повезивање овог програма са *Energy plus* поребан је *OpenStudio*.

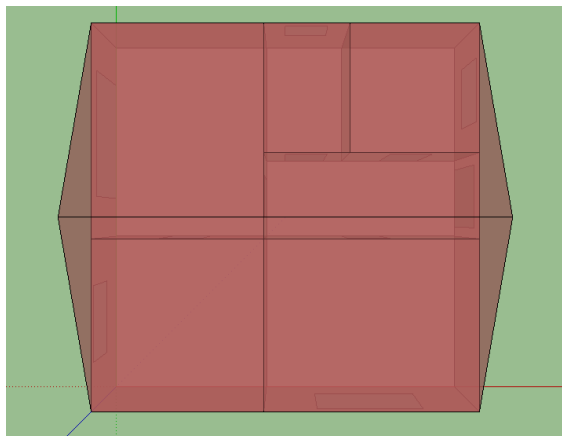


Слика 17- Поглед са запада

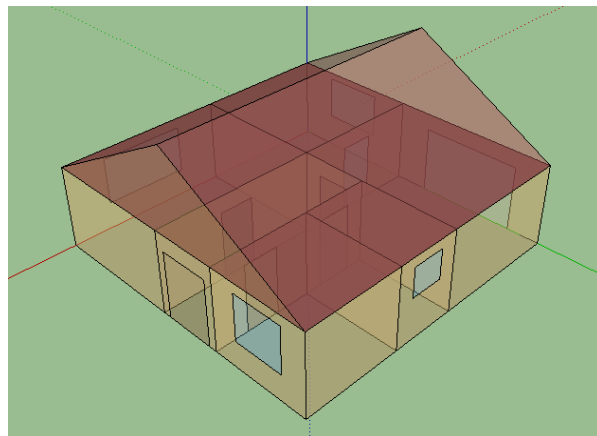


Слика 18 – Поглед са југа

Након пројектовања и повезивања зона, генерисан је модел једнопородичног стамбеног објекта који је коришћен за истраживања у овом раду. Модел зграде је приказан на Сликама 17, 18, 19 и 20.

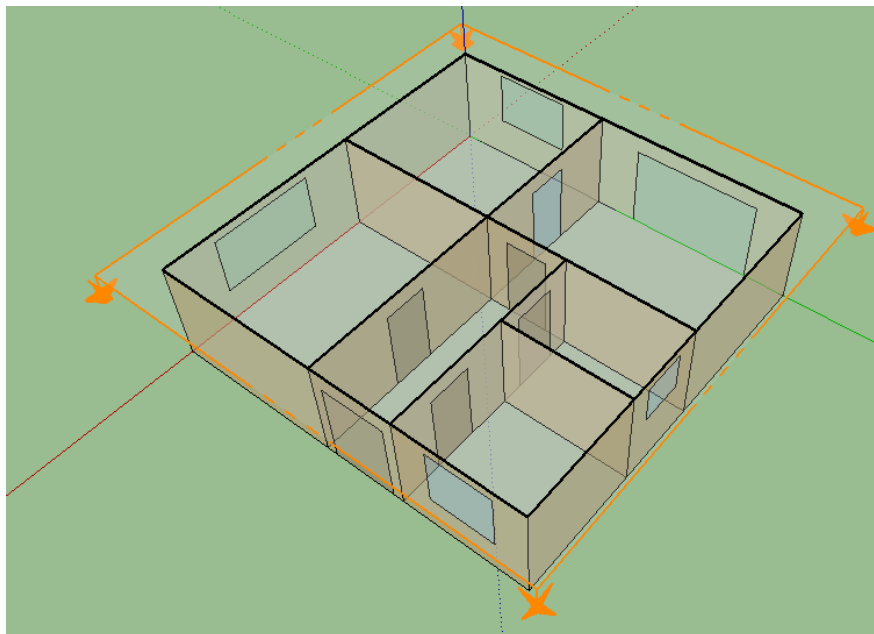


Слика 19- Поглед одозго



Слика 20- Изометријски поглед

Објекат је површине 81 м². Објекат се састоји од 7 зона – 6 просторија (дневна соба, кухиња, две спаваће собе, купатило и ходник) и зона крова. Распоред просторија у објекту је приказан на Слици 21.



Слика 21- Распоред просторија у моделираној згради

Димензије просторија овог објекта са бруто површином зида и са површином прозорског стакла је приказана у следећој табели:

Табела 3 - Површина просторија

Зона	Површина [m ²]	Бруто површина зида [m ²]	Површина прозорског стакла [m ²]
Дневна соба	20	22,5	6
Кухиња	16	20	2,34
Купатило	6	5	0,9
Спаваћа соба 1	20	22,5	3,5
Спаваћа соба 2	9	15	2,11
Ходник	10	5	0

Дневна соба има највећу површину и највише прозорског стакла, а самим тим је и највише осветљена, док ходник нема прозоре. Модел је пример једне скромније породичне куће.

5.2. Материјал објекта

Табела 4 приказује материјал који је коришћен при конструкцији објекта. Приказано је да се под састоји од лаког бетона, ваздушног слоја и акустичне плоче, као и таваница. Спољни зид се мало разликује зато што има циглу, тешки бетон, изолацију, ваздушни простор и гипс плочу.

Табела 4- Коришћени материјал

Слој	Под	Унутрашњи зид	Спољни зид	Таваница
1	Акустичне плоче	Гипс плоча - 19 mm	Цигла - 100 mm	Лаки бетон - 100 mm
2	Ваздушни слој	Ваздушни простор	Тешки бетон -200 mm	Ваздушни простор
3	Лаки бетон - 100 mm	Гипс плоча - 19 mm	Изолациони слој*	Акустичне плоче
4			Ваздушни простор	
5			Гипс плоча - 19 mm	

Постоји велики број различитих термоизолационих материјала. Термоизолациони материјали се деле на материјале минералног порекла, материјале органског порекла и конструкционе материјале. У материјале минералног порекла спадају камена вуна, стаклена вуна и вуна од згуре. Материјали органског порекла могу бити полимери и природни материјали попут трске.

У овим симулацијама, као термоизолациони материјал је коришћен стиропор. Коефицијент топлотне проводљивости код стиропора се разликује у зависности од дебљине, али најчешће је око 0,05 W/m²K. Слика 22 приказује конструкцију објекта и слојеве материјала од којих је објекат направљен, приказано у софтверу *Energy plus*.

[0002] WindowMaterial:Gas							
[0010] Construction							
[0001] GlobalGeometryRules							
[0007] Zone							

ID: A1
Enter a alphanumeric value
This field is required.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		Exterior Floor	Interior Floor	Exterior Wall	Interior Wall	Exterior Roof	Interior Roof
Outside Layer		I02 50mm insulation	F16 Acoustic tile	M01 100mm brick	G01 a 19mm gypsum	M11 100mm lightweight aggregate concrete	F05 Ceiling air space
Layer 2		M15 200mm heavy	F05 Ceiling air space	M15 200mm heavy	F04 Wall air space	F05 Ceiling air space	F05 Ceiling air space
Layer 3			M11 100mm lightweight aggregate concrete	I02 50mm insulation	G01 a 19mm gypsum	F16 Acoustic tile	F05 Ceiling air space
Layer 4				F04 Wall air space			
Layer 5				G01 a 19mm gypsum			
Layer 6							

Слика 22 – Приказ коришћеног материјала

5.3. Радијатори, осветљење и електрични уређаји

Снага радијатора који се користе за грејање, као и снага осветљења и снага електричних уређаја који се користе у објекту су приказани у Табели 5. Распоред рада електричних уређаја, као и распоред рада расвете у згради дефинише сам корисник, уносом одговарајућих распореда у софтверу *Energy Plus*.

Табела 5 - Приказ снаге радијатора, снаге осветљења и уређаја

Зона	Дневна соба	Кухиња	Спаваћа соба 1	Спаваћа соба 2	Купатило	Ходник
Снага радијатора [W]	5000	5000	8000	8000	8000	5000
Снага осветљења [W]	15	9	9	9	11	9
Снага електричних уређаја [W]	300	300	40	25	200	/

Приказано је да снага радијатора варира у зависности од димензија просторије и наравно од сврхе просторије.

За расвету су коришћене штедљиве сијалице.

У табели је такође дата и снага електричних уређаја (у W) који се користе. Претпоставка је да се користе електрични уређаји искључиво високог енергетског разреда (A). Из тог разлога је релативно мала снага уређаја по посматраним просторијама.

[0006] ZoneHVAC:Baseboard:Convective:Electric							
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		DS radiator	SS1 radiator	SS2 radiator	WC radiator	HOD radiator	KUH radiator
Availability Schedule Name		FANANDCOILAVAIL	FANANDCOILAVAIL	FANANDCOILAVAIL	FANANDCOILAVAIL	FANANDCOILAVAIL	FANANDCOILAVAIL
Nominal Capacity	W	5000	8000	8000	8000	5000	5000
Efficiency		0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97

Слика 23 – Снага радијатора у просторијама моделиране зграде

Снага осветљења је приказана на Слици 24.

[0006] Lights							
Sets internal gains for lights in the zone. If you use a ZoneList in the Zone or ZoneList name field then this definition applies to all the zones in the ZoneList. ID: A1 Enter a alphanumeric value This field is required.							
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		Svetla u DS	Svetla u HOD	Svetla u WC	Svetla u SS1	Svetla u SS2	Svetla u kuhinji
Zone or ZoneList Name		dnevna soba	hodnik	kupatilo	soba1	soba2	kuhinja
Schedule Name		OSVETLJENJE DN	Always On	OSVETLJENJE KUI	OSVETLJENJE SP	OSVETLJENJE SP	OSVETLJENJE DN
Design Level Calculation Method		LightingLevel	LightingLevel	LightingLevel	LightingLevel	LightingLevel	LightingLevel
Lighting Level	W	15	9	11	9	9	9
Watts per Zone Floor Area	W/m2						
Watts per Person	W/person						
Return Air Fraction		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Fraction Radiant		0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Fraction Visible		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Слика 24 – Осветљеност по просторијама моделиране зграде

Снага електричних уређаја и просторије у којима се они користе су приказани на Слици 25.

[0006] ElectricEquipment							
If you use a ZoneList in the Zone or ZoneList name field then this definition applies to all the zones in the ZoneList. ID: A1 Enter a alphanumeric value This field is required.							
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	
Name		ELEC EQ SS1	ELEC EQ1 DS	ELEC EQ SS2	ELEC EQ1 kupatilo	ELEC EQ1 kuhinja	
Zone or ZoneList Name		soba1	dnevna soba	soba2	kupatilo	kuhinja	
Schedule Name		ELEC EQ SS Schec	ELEC EQUIP DS S	ELEC EQ SS Schec	ELEC EQUIP DS S	ELEC EQUIP DS S	
Design Level Calculation Method		EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel	
Design Level	W	40	300	25	200	300	
Watts per Zone Floor Area	W/m2						
Watts per Person	W/person						
Fraction Latent		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
Fraction Radiant		0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
Fraction Lost		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
End-Use Subcategory		General		General			

Слика 25 – Снага електричних уређаја по просторијама моделиране зграде

5.4. Боравак људи у просторијама објекта

У објекту, по просторијама је подељен број људи који борави, и то је приказано у Табели 6. У дневној соби просечно бораве три особе, у већој спаваћој соби две, а у мањој спаваћој соби борави само једна особа. Распоред њиховог боравка током дана, по сатима, је дефинисан у софтверском пакету *Energy Plus*.

Табела 6- Број људи у просторији

Зона	Број људи
Дневна соба	3
Спаваћа соба 1	2
Спаваћа соба 2	1

Вентилација у објекту је природна вентилација и ради по принципу 1,5 промене ваздуха на час за све просторије, осим за кухињу за коју је 1 промена ваздуха на час.

5.5. Систем грејања

Распоред грејања у програмском пакету *EnergyPlus* подешено је време рада током радног дана од 7 h до 9 h пре подне и од 16 h до 21 h увече. Током викенда грејни систем ради непрекидно од 7 h до 21 h. У свим вршеним симулацијама, грејни системи су радили од 15. октобра до 15. априла следеће године, што је уобичајена пракса у Србији. Временски корак у свим симулацијама је био 15 min.

Температуре у просторијама се регулишу помоћу термостата и за време рада грејних система су подешене на 20°C. Изузетак је купатило где је пројектна температура 22°C. У периоду током дана када грејни системи не раде (9–16 h), температура у просторијама зграде је подешена на 15°C.

6. Резултати и анализа

Према прорачунима софтвера *Energy plus* добијени су резултати анализе за три случаја. Први случај је са дебљином изолације од 5 cm и обичним, једноструким, прозорима, због којих је мањи отпор провођења топлоте. Други случај је када је изолација дебљине 15 cm и прозорима са двоструким стаклом, где је отпор мало већи. Трећи случај када је отпор пролаза топлоте највећи је са изолацијом дебљине 15 cm и троструким прозорима са инертним гасом.

6.1. Случај 1 - Изолација дебљине 5 cm

Састав спољног зида је:

- 100 mm цигла,
- 200 mm тешки бетон,
- 50 mm изолациони слој,
- ваздушни простор,
- 19 mm гипс плоча.

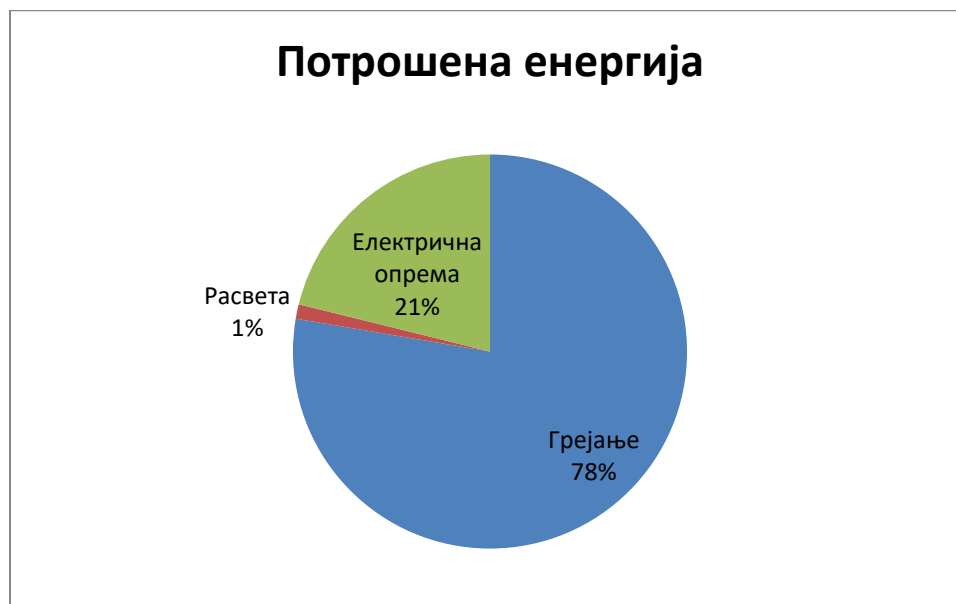
Коефицијент пролаза топлоте кроз зид је $U = 0,429 \text{ [W/m}^2\text{K]}$.

Табела 7 – Потрошња енергије

Грејање	32.73 GJ
Расвета	0.5 GJ
Електрична опрема	8.91 GJ
Укупно	42.14 GJ

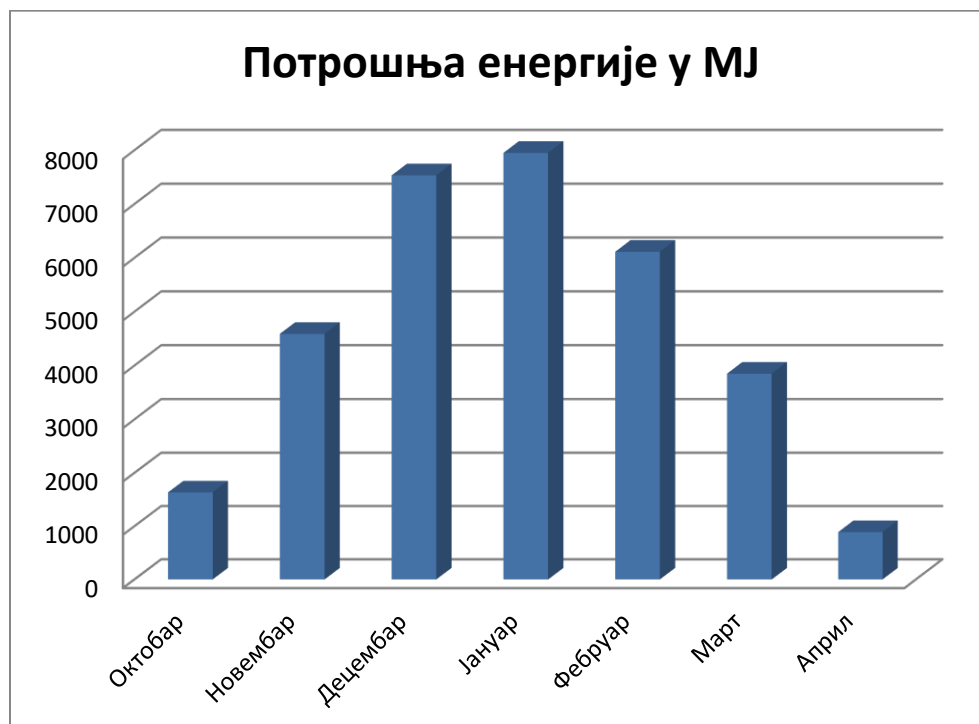
Потрошња енергије је приказана у Табели 7, где се види укупна потрошња финалне енергије за грејање, за расвету, електричну опрему и наравно укупну потрошњу енергије у објекту на годишњем нивоу. Према прорачуну укупна потрошња финалне енергије је 42.14 GJ.

График 2 – Годишња процентуална потрошња финалне енергије за расвету, електричне уређаје и грејање



Месечна потрошња топлотне енергије у грејној сезони, при изолацији од 5 cm је приказана на Графику 3. Највећа потрошња за грејање је у јануару, затим у децембру.

График 3- Потрошња енергије у грејној сезони за Случај 1



На основу анализе, добија се да је у току грејне сезоне од седам месеци, највећа потрошња енергије за грејање у јануару (Табела 8). Ови подаци су очекивани услед разлике ниских температура у јануару.

Табела 8 - Потрошња енергије за грејање

Октобар	1632.589 GJ
Новембар	4587.321 GJ
Децембар	7532.387 GJ
Јануар	7949.638 GJ
Фебруар	6113.108 GJ
Март	3848.676 GJ
Април	889.1447 GJ

6.2. Случај 2 - Изолација дебљине 15 cm са двоструким прозорима

Састав спољног зида је:

- 100 mm цигла,
- 200 mm тешки бетон,
- 150 mm изолационог слоја,
- ваздушни простор,
- 19 mm гипс плоча.

Прозори су промењени и постављени су прозори са двоструким стаклом. Пошто постоји много различитих врста прозора, самим тим им је и коефицијент пролаза топлоте различит. Коефицијент пролаза топлоте за прозоре са двоструким стаклом је $2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$

Коефицијент пролаза топлоте кроз зид је $U = 0.177 \text{ [W/m}^2\text{K]}$. Потрошња финалне енергије је приказана у следећој табели.

Табела 9 – Потрошња финалне енергије за Случај 2

Грејање	23.66 GJ
Расвета	0.5 GJ
Електрична опрема	8.91 GJ
Укупно	33.07 GJ

Укупна потрошња енергије за потпуно исту породичну зграду (График 4), само са дебљим и квалитетнијим термоизолационим материјалом и са двоструко застакљеним прозорима је знатно мања и сада је 33.07 GJ. Искоришћена енергија за расвету и електричну опрему је остала иста, док је потрошена енергија за грејање веома смањена и износи 22.66 GJ. Уштеда за грејање у односу на Случај 1 је 8%.

График 4 – Потрошена енергија за електричну опрему, расвету и грејање



Месечна потрошња топлотне енергије у грејној сезони, при изолацији од 15 cm је приказана на графику 5.

График 5 - Потрошња енергије у грејној сезони за Случај 2



Нова анализа показује колико је мање потрошено енергије за грејање. У јануару је и даље највећа потрошња енергије за грејање, што је очекивано, зато што је јануар најхладнији месец у години, али му је и децембар близу (Табела 10).

Табела 10 - Потрошња енергије у грејној сезони

Октобар	979.8826 GJ
Новембар	3078.626 GJ
Децембар	5263.184 GJ
Јануар	5574.702 GJ
Фебруар	4238.901 GJ
Март	2567.44 GJ
Април	526.5142 GJ

6.3. Случај 3 - Изолација дебљине 15 cm са троструким прозорима испуњеним инертним гасом

Састав спољног зида у овом случају је:

- 100 mm цигла,
- 200 mm тешки бетон,
- 150 mm изолациони слоја,
- ваздушни простор,
- 19 mm гипс плоча.

На прозорска окна се могу ставити различите превлаке и могу се користити одговарајућа гасна пуњења у међупростору, како би се направио оптимални биланс између видљивости према спољашњој средини, соларног добитка, топлотне изолације и заштите од прегревања. Модерни прозори са троструким изолационим стакленим јединицама имају боље карактеристике које минимализују губитак топлотне енергије. На изолациона стакла се могу ставити одговарајуће превлаке, како би се створила одговарајућа равнотежа између добитка соларне енергије и заштите од прегревања. Поводом ових чињеница постављени су прозори са троструким стаклом испуњени са инертним гасом [22].

Коефицијент пролаза топлоте за прозоре са троструким стаклом је $1,624 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Коефицијент пролаза топлоте кроз зид је $U = 0.177 \text{ [W/m}^2\text{K]}$. Симулацијама, добијена је годишња потрошња енергије која је приказана у Табели 11.

Табела 11 – Годишња потрошња енергије у згради за Случај 3

Грејање	22.29 GJ
Расвета	0.5 GJ
Електрична опрема	8.91 GJ
Укупно	31.70 GJ

Потрошена енергија за грејање је 22.29 GJ, што је мање, такође је и укупна потрошена енергија смањена на 31.70 GJ. Пошто је веома мала разлика између Случаја 2 и Случаја 3, уштеда у грејању у односу на Случај 1 остаје 8%.

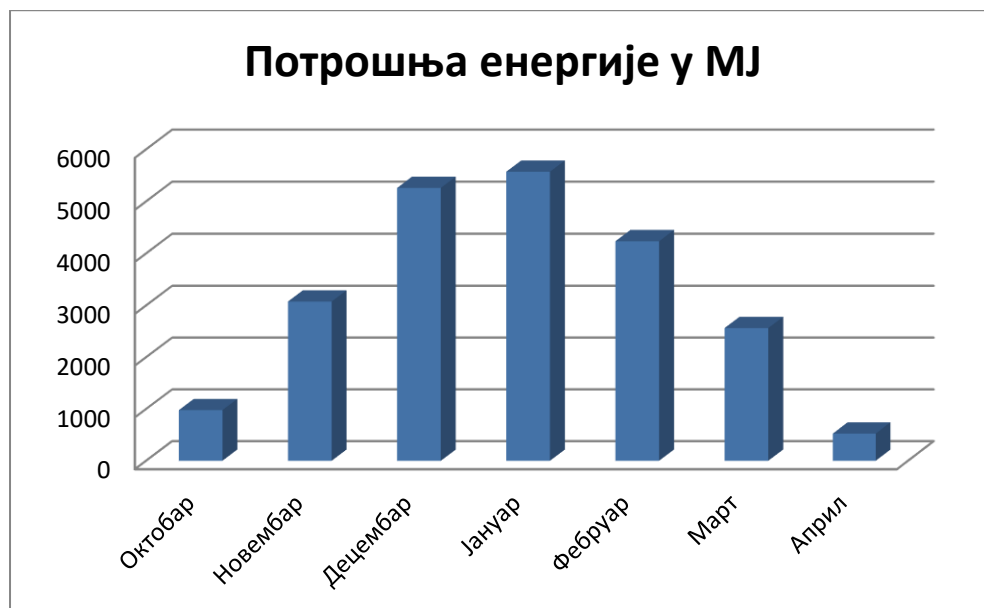
График 6 показује годишњу потрошену финалну енергију у процентима, за Случај 3.

График 6 – Потрошена енергија за расвету, грејање и електричну опрему



Месечна потрошња топлотне енергије у грејној сезони, при изолацији од 15 cm са троструким стаклом прозора пуњеним инертним гасом је приказана на Графику 7.

График 7 – Месечна потрошња енергије у грејној сезони за Случај 3



Услед постављања дебљег термоизолационог материјала и заменом прозора са троструким стаклом који је испуњен инертним гасом, анализом су добијени резултати који кажу да се још мање енергије за грејање троши на годишњем нивоу, него у првом случају. Табела 12 приказује потрошњу енергије по месецима.

Табела 12 – Потрошња енергије у грејној сезони за Случај 3

Октобар	978,1668 GJ
Новембар	3075,247 GJ
Децембар	5258,66 GJ
Јануар	5569,875 GJ
Фебруар	4234,752 GJ
Март	2564,077 GJ
Април	525,3058 GJ

7. Поређење резултата

Упоредном анализом добијени су следећи резултати, који су приказани у Табели 13.

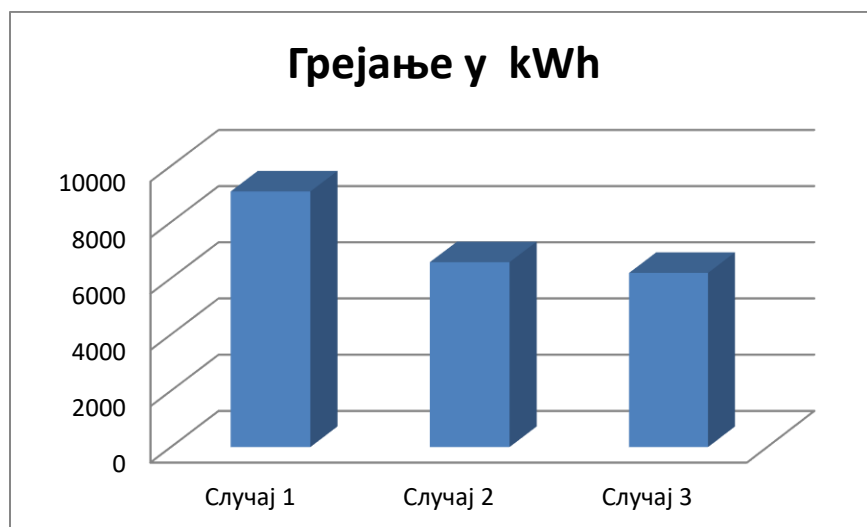
Табела 13 - Приказ годишње потрошње енергије и коефицијента пролаза топлоте

Изолација	U [W/m ² -K]	Грејање Q _h	Укупно Q _{uk}
Случај 1	0.429	32.73 GJ 9091.65 kWh	42.14
Случај 2	0.177	23.66 GJ 6572.222 kWh	33.07
Случај 3	0.177	22.29 GJ 6191.666 kWh	31.70

Коефицијент пролаза топлоте кроз зид се смањује како се повећава дебљина изолације. У табели су приказане и потрошња енергије за грејање и укупна потрошња енергије на годишњем нивоу. Изолација дебљине 5 центиметара има најмањи отпор пролазу топлоте, а са дебљом изолацијом отпор је знатно повећан. Грејање је смањено са 32.73 GJ до чак 22.26 GJ, што је велико побољшање. Укупна количина потрошене енергије у објекту је смањена за 24,85%.

Потрошња енергије за грејање у kWh је приказана на Графику 8. Велика количина енергије се троши у случају мање изолације. Када се повећа дебљина изолацији и уграде прозори бољих енергетских карактеристика, количина потрошене енергије (како за грејање, тако и укупне) се смањује.

График 8 – Грејање у kWh



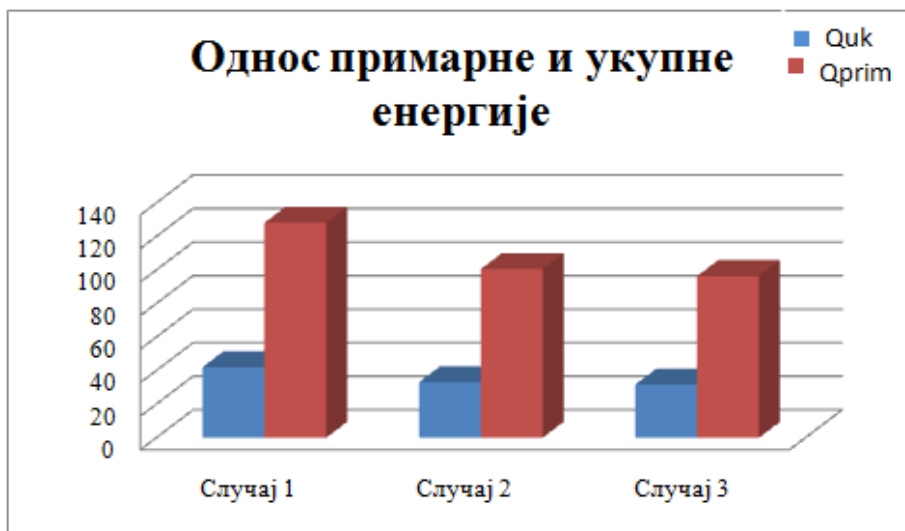
Прорачун потрошене примарне енергије се добија као производ потрошене енергије и одговарајућег фактора конверзије. Потрошња примарне енергије за сва 3 случаја моделиране зграде, дата је у Табели 14.

Табела 14- Приказ потрошње финалне и примарне енергије за 3 случаја моделиране зграде

Изолација	Q _{uk}	Q prim (Q _{uk} * 3,04)
Случај 1	42.14	128.11 GJ 35586.011 kWh
Случај 2	33.07	100,53 GJ 27925 kWh
Случај 3	31.70	96.37 GJ 26769.444 kWh

Однос потрошене примарне и финалне енергије је приказан на Графику 9. Види се разлика у потрошњи финалне укупне енергије и примаре енергије за сва три разматрана случаја.

График 9 - Упоредни приказ потрошње примарне и финалне енергије



Следећа табела приказује потрошњу енергије за грејање по метру квадратном, а објекат је површине 81 m², за сва 3 разматрана случаја. Када се енергије утрошена за грејање подели са квадратуром објекта добија се потрошња енергије за грејање по квадрату објекта (Табела 15).

Табела 15 - Потрошња енергије за грејање по m²

Врста изолације	Случај 1	Случај 2	Случај 3
Q _h (kWh)	9091.65	6572.222	6191.666
Q _h / m ²	112.25	81.14	76.45

8. Енергетски разред објекта

Табела енергетског разреда је приказана испод и приказује енергетски разред објекта за сва три анализирана случаја.

Табела 16 – Енергетски разред зграда

Зграде са више станова		Нове	Постојеће
Енергетски разред	QH,nd,rel [%]	QH,nd [kWh/(m²a)]	QH,nd [kWh/(m²a)]
A+	≤ 15	≤ 9	≤ 10
A	≤ 25	≤ 15	≤ 18
B	≤ 50	≤ 30	≤ 35
C	≤ 100	≤ 60	≤ 70
D	≤ 150	≤ 90	≤ 105
E	≤ 200	≤ 120	≤ 140
F	≤ 250	≤ 150	≤ 175
G	> 250	> 150	> 175

Енергетски разред за први случај је Е, што је приказано у Табели 17.

Табела 17 – Енергетски разред за први случај

Зграде са више станова		Нове	Постојеће
Енергетски разред	QH,nd,rel [%]	QH,nd [kWh/(m²a)]	QH,nd [kWh/(m²a)]
A+	≤ 15	≤ 9	≤ 10
A	≤ 25	≤ 15	≤ 18
B	≤ 50	≤ 30	≤ 35
C	≤ 100	≤ 60	≤ 70
D	≤ 150	≤ 90	≤ 105
E	≤ 200	≤ 120	≤ 140
F	≤ 250	≤ 150	≤ 175
G	> 250	> 150	> 175

Енергетски разред за други и трећи случај је Д, приказано је у Табели 18.

Табела 18 – Енергетски разред за Случај 2 и 3

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

Ако је на годишњем нивоу са изолацијом дебљине 5 cm за грејање потрошено 42.14 GJ за пет година то је количина од 210.7 GJ енергије. Ако се израчуна потрошња енергије за грејање са изолацијом дебљине 15 cm и троструким прозорима који су испуњени инертним гасом за 5 година, добија се износ од 158.5 GJ.

Лако се закључује да је разлика у потрошњи енергије за грејање између ових случајева на петогодишњем нивоу 52.2 GJ, што је уштеда која је већа од једногодишње количине енергије за грејање у неповољнијем случају.

	Укупна енергија	Након 5 година	Уштеда
Случај 1	42,14 GJ	210,7	52,2 GJ
Случај 3	31,7 GJ	158,5	

Изражено у kWh, то би изгледало овако: количина енергије за грејање у првом случају на годишњем нивоу је 9091.65 kWh, за пет година то је 45458.25 kWh. У Случају 3 количина енергије за грејање је 6191,666 kWh и за пет година то је 30958,33 kWh. Уштеда у петогодишњем периоду износи 14 499.92 kWh.

	Грејање	Након 5 година	Уштеда
Случај 1	9091.65 kWh	45458.25 kWh	14 499.92 kWh
Случај 3	6191,666 kWh	30958,33 kWh	

Овим радом је показано да је омотач зграде веома битан за енергетску ефикасност објекта и минимизирање потрошње енергије у објекту.

9. Закључак

У овом раду је уз помоћ програма *Energy plus* дата детаљна енергетска анализа једнопородичног стамбеног објекта за три случаја: са малом дебљином изолационог слоја и обичним једноструко застакљеним прозорима, са већом дебљином изолационог слоја и са применом квалитетнијих прозора (двоструко и троструко застакљивање) на фасадама са већом дебљином изолације.

Анализирана је енергетска ефикасност моделиране зграде, где је закључено да се у Случају 1 зграде енергетског разреда Е, велика количина енергије губи кроз омотач објекта, тако да је Случај 1 најмање енергетски ефикасан. Случај 2 и Случај 3 (дебљи изолациони слој и квалитетнији прозори) се мало разликују и оба случаја приказују да је зграда Д енергетског разреда, што је веома побољшано у односу на Случај 1. Пошто можемо да посматрамо Случај 1 као већ постојећи објекат, након реконструкције (Случај 2 и/или Случај 3) објекат је побољшан за један енергетски разред, што је био и циљ овог рада.

Може да се закључи да потрошња како укупне финалне енергије, тако и финалне енергије која се троши за грејање, зависи од дебљине коришћене изолације, али и од квалитета уграђених прозора. На вишегодишњем нивоу прорачун је доказао да су енергетски губици код зграда са већом дебљином изолационог слоја и са квалитетнијим прозорима знатно мањи у односу на зграде са изолацијом мале дебљине и једноструким прозорима.

Свакако можемо рећи да су улагања у побољшање омотача зграде веома исплатива у погледу уштеде енергије. Ове активности могу значајно допринети општем побољшању енергетске ефикасности у сектору зградарства, који представља битан сектор за уштеду енергије, имајући у виду потрошњу енергије у Србији и у савременом свету.

10. Литература

- [1] *James A. Fay, Dan S. Golomb* (2002), *ENERGY AND THE ENVIRONMENT* (pdf)
- [2] Живковић З. “ Предлог мера за финансирање енергетске ефикасности у зградарству у Србији”, Грађевинска књига, Нови Сад, 2011.
- [3] <https://agroekonomija.wordpress.com/tag/odrzivi-razvoj/> (приступљено 10.09.2018.)
- [4] Правилник о енергетској ефикасности зграда, Службени гласник РС, број 61/2011
- [5] <https://www.izp.co.rs/page.php?ndx=23>
(приступљено 16.09.2018.)
- [6] Николић Д. Енергетска ефикасност објеката, скрипта за предавања, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2018. Доступно на: <http://moodle.mfkg.rs>
- [7] <http://earthtrends.wri.org> (приступљено 17.09.2018.)
- [8] Енергетски биланс 2008, Министарство за инфраструктуру и енергетику.
(pdf, преузето 06.09.2018.)
- [9] Агенција за енергетску ефикасност Србије, Енергетска ефикасност у зградарству.
(преузето 10.09.2018.)
- [10] Јовановић Поповић М., Игњатовић Д., Радивојевић А., Рајчић А., Ђукановић Љ., Ђуковић Игњатовић Н., Недић М., “Атлас породичних кућа Србије”, Архитектонски факултет Универзитета у Београду 2013. ISBN 978-86-7924-101-6 (преузето 10.09.2018.)
- [11] http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=FINALNA_POTRO%C5%A0NJA_I_ENERGETSKA_EFIKASNOST (приступљено 16.09.2018.)
- [12] Гордић Д. Енерго-еколошки менаџмент, скрипта за предавања, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2016. Доступно на: <http://moodle.mfkg.rs>
- [13] <http://www.eko-kuca.com/materijali/>
(приступљено 17.09.2018.)
- [14] <http://www.stiropormikos.rs/proizvodnjastiropora.html>
(приступљено 17.09.2018.)

- [15] <http://www.samsvojmajstor.com/portal/forums/gradjevinarstvo/zidarski-radovi/termo-blokovi-iskustva-poredjenja-kvaliteta-i-cena> (преузето 10.09.2018.)
- [16] С. Зрнић, Ж. Ђулум, Грејање и климатизација са применом соларне енергије, Научна књига, 1986, Београд.
- [17] <http://efikasnost.com/2011/02/25/zamena-prozora/>
(приступљено 17.09.2018.)
- [19] <http://www.profil-art.hr/prozori-i-balkonska-vrata/>
(приступљено 18.09.2018.)
- [20] М. Војић, Ј. Шерлић, Д. Николић, Д. Цветковић, М. Милетић, Toward future: positive net - energy buildings, 4th IEEE International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources, EXPRES 2012, March 9-10, 2012., Subotica, Serbia, Proceedings
- [21] ENERGYPLUS, Input Output Reference - The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output, University of Illinois & Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009
- [22] <http://www.spininzenjering.rs/sajt/ostalo/staklo.php>
(приступљено 18.09.2018.)