

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Уређаји и постројења за грејање и климатизацију

Број индекса: 341/2011

Лазар Ј. Лајко

**Исплативост постављања термоизолационог
материјала на спољне зидове термокоманде у
ТЕ Костолац-Б**

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

- 1. Др Милорад Бојић, ред. проф. Ментор**
- 2. _____**
- 3. _____**

Датум одбране: _____
Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да

Препоручена литература:

[1] Слободан Зрнић, Грејање и климатизација са применом соларне енергије, Научна књига, Београд 1999.

[2] Бранислав Тодоровић, Климатизација, СМЕИТС, Београд 2009.

Крагујевац, VIII. 2015 год.

ментор:

Др Милорад Бојић ред. Проф.

РЕЗИМЕ

У овом раду је урађена симулација потрошње енергије потребне за климатизацију, грејање и хлађење (КГХ) простора термокоманде у термоелектрани Костолац-Б (ТЕ Костолац-Б) са циљем да се докаже оправданост постављања термоизолационог материјала на спољним зидовима термокоманде. Потрошња енергије се заснива на изведеном стању (оригинални грађевински пројекат) са топлотним оптерећењем од стране расвете, уређаја који се налазе на термокоманди као и од присутног особља.

Енергетска ефикасност простора термокоманде је постигнута са постављањем термоизолационог материјала, као вида инвестиционог улагања. Урађен је низ симулација са променом дебљине термоизолационог материјала који се додаје на конструкције спољних зидова, подова и плафона термокоманде, са циљем да се добије оптимална дебљина изолационог материјала која је економски оправдана у оквиру енергетске ефикасности. Економска оправданост рада је рађена према временској пројекцији од 20 година експлоатације.

За потребне симулације коришћен је софтверски пакет „Energy Plus“.

Кључне речи: Термоизолациони материјал, Energy Plus, климатизација, грејање и хлађење.

ABSTRACT

This study is based on energy consumption simulation that is required for air conditioning, heating and cooling of the thermocontrol panel area in Power plant Kostolac-B. The main purpose is to justify validity of using thermoisolating materials on Thermocontrol panel outer walls. Energy consumption is based on thermal load of lighting, personal staff and internal device, too.

The Thermocontrol panel energy high-performance has been achieved by padding thermoisolating materials, as a form of an investment. Series of simulation were done with obviously some new changes in largeness of thermoisolating materials which were added to outer walls construction, as well as to ground and ceiling. The only aim is to get optimal largeness of thermoisolating material which has economic profitability in terms of energy efficiency. The energy profitability project for approximately 20 years exploitation.

For necessary simulation was used Software „Energy Plus“.

Key words: Thermoisolating material, Energy Plus, air conditioning, heating and cooling.

САДРЖАЈ:

1	УВОД	3
2	ОБЈЕКАТ РАЗМАТРАЊА И ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ.....	4
2.a	ТЕРМОКОМАНДА ТЕ КОСТОЛАЦ-Б.....	4
2.1	ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ МАСТЕР РАДА	5
2.1.1	Осврт на климатизацију и грејање	6
2.1.2	Врсте климатизације - класификација.....	11
2.1.3	Преношење топлоте.....	15
2.1.4	Термичка изолација зидова и термоизолациони материјали	17
2.1.5	Уштеда енергије	24
2.1.6	Досадашња искуства и примена	26
3	САГЛЕДАВАЊЕ УТРОШКА ЕНЕРГИЈЕ, СА И БЕЗ ПОСТАВЉЕНЕ ТЕРМОИЗОЛАЦИЈЕ.....	28
3.1	ПРОРАЧУН КЛИМАТИЗАЦИЈЕ И ГРЕЈАЊА, ИЗВЕДЕНО СТАЊЕ СА МОДЕЛИРАЊЕМ У ENERGY PLUS.....	28
3.1.1	„SKECH UP“, софтвер за цртање	29
3.1.2	„ENERGY PLUS“ - софтверски пакет.....	29
3.1.3	Пробни модел (отклањање недостатака и провера зона у простом окружењу).....	34
3.1.4	Прорачун у „ENERGY PLUS“ - изведено стање климатизације на термокоманди.....	39
3.2	УРАЂЕН ПРОРАЧУН КЛИМАТИЗАЦИЈЕ И ГРЕЈАЊА СА ПОСТАВЉЕНОМ ТЕРМОИЗОЛАЦИЈОМ И МОДЕЛИРАЊЕМ У ENERGY PLUS	54
3.2.1	Симулација за додатни термоизолациони материјал (минерална вуна 20мм)	55
3.2.2	Симулација за додатни термоизолациони материјал (минерална вуна 40мм)	58
3.2.3	Симулација за додатни термоизолациони материјал (минерална вуна 60мм)	59
3.2.4	Симулација за додатни термоизолациони материјал (минерална вуна 80мм)	60
3.2.5	Симулација за додатни термоизолациони материјал (минерална вуна 100мм)	61
3.2.6	Симулација за додатни термоизолациони материјал (минерална вуна 120мм)	62
3.2.7	Симулација за додатни термоизолациони материјал (минерална вуна 150мм)	63
4	АНАЛИЗА ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА.....	64
4.1	ОДРЕЂИВАЊЕ ОПТИМАЛНЕ ДЕБЉИНЕ ИЗОЛАЦИЈЕ СА СТАНОВИШТА ЕНЕРГИЈЕ И ЕКОНОМИЈЕ	65
4.2	ЕНЕРГЕТСКИ И ЕКОНОМСКИ ПОКАЗАТЕЉИ ИСПЛАТИВОСТИ	70
4.2.1	Годишње уштеде.....	71
4.2.2	Технички и економски век трајања пројекта	71
4.2.3	Прост рок повраћаја инвестиционог улагања.....	71
4.2.4	Динамички рок повраћаја инвестиционог улагања.....	72
4.2.5	Нето садашња вредност пројекта	73
4.2.6	Коефицијент нето садашње вредности.....	75
5	ЗАКЉУЧАК	77
6	ЛИТЕРАТУРА.....	78

1 УВОД

Излаз из енергетске кризе види се у штедњи конвенционалне класичне енергије добијене сагоревањем фосилног горива и изналагање нових неконвенционалних извора енергије.

Штедња садашњих конвенционалних извора енергије може се постићи усавршавањем термичких инсталација и структурном термичком изолацијом грејаних објеката. Утврђено је да би се уштедом од само 5% укупне светске енергије, век трајања садашњих фосилних извора енергије угља, нафте и земног гаса продужио 10 пута. Ово би временски омогућило излаз из енергетске кризе применом термонуклеарне и соларне енергије [1].

Одржавање повољне климе у одређеном затвореном простору у коме људи бораве, налазећи заштиту од спољних непогода, постоји одувек. Климатски услови на земљи су углавном неповољни за човека и варирају од места до места, зависећи од годишњег доба и локалних метеоролошких и географских услова. Од полова према екватору температура ваздуха се јавља у опсегу од -70°C до $+50^{\circ}\text{C}$, истовремено и релативна влажност ваздуха у појединим местима у дужем временском периоду могу да буду врло ниске (око 10%), али и екстремно велике и то чак у условима високе спољне температуре (преко 90%). Знајући да су најповољнији услови за човека на температури од око 20°C и релативне влажности од 50%, људи су тежили да бар приближно остваре ове услове средине, независно од спољне климе. Техничке могућности су се у развоју цивилизације стално побољшавале и усавршавале, па је данас могуће у затвореном простору остварити све жељене параметре [2].

Даљим напредком цивилизације и остварењем нових научних достигнућа, климатизација ће се ширити у данас можда несагледивом правцу. Освајање космоса већ је наметнула одређена решења у климатизацији простора у којем бораве људи, у васионским летилицама. Уз техничке услове, у кабини за астронауте треба остварити неопходан притисак и обнављати резерве кисеоника. Слични услови ће морати да се испуне и у будућим насељима на планетама на којима ће се становници Земље задржавати (као што је одлазак на Марс).

Могућност уштеде енергије, кроз мере за постизање енергетске ефикасности је тема којој се придаје огроман значај из разлога који су наведени у предходном тексту. Многи научни редови су објављени [3], [4], [5], [6] на ту тему, било да се ради о употреби термоизолационих материјала, енергетски ефикасне опреме или комбинацију ова два начина уштеда.

Основни мотив за спровођење пројекта енергетске ефикасности је финансијска исплативост пројекта (инвестиције). Смањењем потрошње енергије или употребом јефтинијих енергената постижу се значајне финансијске уштеде, које би требало, уколико је пројекат исплатив, да у прихватљивом периоду надмаше инвестиције у пројекат, као и трошкове рада и одржавање система, и донесу одговарајућу добит.

2 ОБЈЕКАТ РАЗМАТРАЊА И ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ

2.a ТЕРМОКОМАНДА ТЕ КОСТОЛАЦ-Б

Просторија термокоманде, која се разматра у мастер раду је смештена у термоелектрани ТЕ Костолац-Б, а сам објект термоелектране географски се налази у непосредној близини села Дрмно које је удаљено од Пожаревца 15-ак километара.

Термоелектрана Костолац Б (ТЕ Костолац-Б) се бави производњом електричне и топлотне енергије, послује у оквиру јавног предузеће електропривреде Србије (ЕПС) и са своја два агрегата од по 348,5 MW производи на годишњем нивоу 3.011.640 MWh електричне енергије на прагу преноса [7] („Годишњи извештај 2008“).

По важности погона извршена је подела на: главни погонски објект (ГПО), и помоћни објекти (ПО). ГПО чине машинска сала у којој се налазе турбогенератор са пратећим уређајима, напојне и кондез пумпе са пратећим цевоводима, резервоари са водом, пароводи, кондензатор за хлађење искоришћене паре. Такође у оквиру ГПО-а спада и котларница у коме се налазе млинови за угаљ са системом за дозирање и сагоревање, бункерски тракт угља, систем за изношење продуката сагоревања (пепео и шљака), вентилатори свежег ваздуха и котао који излази изван котларнице (котао се протеже од коте +4 метара до +98 метара док се котларница протеже до +50 метара). Вођење процеса производње прегрејане паре а затим њено искоришћавање преко турбогенератора за производњу електричне енергије, врши се из командне просторије.

Због своје практичности, командна просторија је лоцирана између блока Б1 и Б2, са делимичним простирањем у машинској сали и котларници на коти од +12 метара.

У летњем периоду, командни простор је изложен утицају топлоте која се преноси са топлотних машина, паровода и котла на зидове овог простора (највећим делом конвекцијом и кондукцијом као и минималном радијацијом). Овако ослобођена топлота се не може у потпуности одстранити из котларнице и машинске сале, опструјавањем спољног ваздуха који је и сам повишен.

Док је простор термокоманде у зимским данима изложен ниским температурама околине због велике запремине простора машинске сале и котларнице као и веће инфилтрације ваздуха услед бочних ветрова.

Изнад термокоманде се налази ПЛЕНУМ, раздвојен плафонским плочама АРМСТРОНГ у чијем простору је смештена инсталација климатизације, расвете, јављача пожара и нужна расвета.

Са спољње стране, а у машинској сали наслоњени су на зидове командне сале просторије АНЕКСА и ОСТАВЕ.

Унутар командног простора налазе се просторије: КУХИЊА, ТОАЛЕТ, ГАРДЕРОБА Б1, ГАРДЕРОБА Б2, ОСТАВА 2 и СОБА УПРАВЉАЊЕ, просторије које се не климатизују али су преко инфилтрације ваздуха повезане са простором који се климатизује.

УЛАЗ Б1, УЛАЗ Б2, КОМАНДНА САЛА, СИСТЕМ ИНЖЕЊЕР, ШЕФ СМЕНЕ, ХОДНИК, СОБА ПРЕДАВАЊА, СОБА САСТАНКА, СОБА ОБУКА, РЕЛЕИ Б1, РЕЛЕИ Б2 и ПРОСТОР ПОДКОМАНДОМ се климатизују.

Особље које ради на термокоманди је изложено лакшем физичком послу.

Уређаји који одају топлоту су присутни у виду монтираних монитора за надзор рада, компјутерских јединица и расвете саме термокоманде смештене у плафонском делу.

МАШИНСКА САЛА која се са западне а са јужне и северне стране делимично и индиректно граничи са КОМАНДНОМ САЛОМ у свом простору има смештене турбогенератор Б1 и Б2 са свим својим измењивачима топлоте, пароводима, цевоводима, пумпним агрегатима представљају додатне изворе топлоте на зидове, плафон и под термокоманде.

КОТЛАРНИЦА са источне стране а делимично са јужне и северне стране обавија индиректно КОМАНДНУ САЛУ. У котларници су смештени котло Б1, Б2 са ложним уређајима мазута као и млински агрегати са ложним уређајем за чврсто гориво (угљена прашина), вентилатори и резервоари сакупљеног кондензата.

У врелим летњим данима док је турбогенератор у погону, температура у МАШИНСКОЈ САЛИ и КОТЛАРНИЦИ може да достигне и до 45°C. Ремонтни застоји и застоји због санације, температуру машинске сале и котларнице снижавају. Застој блока због санације у зимским данима, због одсуства одавања топлоте са топлих површина турбогенератора и паровода, исти тај простор се може охладити и спустити до око 0°C.

Мора се нагласити да су фасаде МАШИНСКЕ САЛЕ и КОТЛАРНИЦЕ опремљене великим застакљеним површинама и тако омогућавају осветљење током дана природном светлошћу.

2.1 ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ МАСТЕР РАДА

Ради обезбеђења грејања и климатизације једног објекта, потребно је најпре утврдити колику количину топлоте је потребно унети или од ње одвести на један најпогоднији начин а у најнеповољније доба године, то јест при највећим губицима топлоте или добицима топлоте. Ови губици или добици зависе од спољашњих метеоролошких и климатских услова за поједина места а затим и од саме врсте објекта услед чега се морају за сваки објекат посебно рачунати. Прорачун ових губитака или добитака је веома сложен посао и треба га што тачније извршити узимајући у обзир све специфичне елементе како у погледу места на коме се објекат налази, тако и у погледу његове конструкције.

Пораст становништва и развој индустрије, као и све њихове последице, довеле су до огромне потрошње енергије, у којој око 40% отпада на грејање, климатизацију, хлађење и грејање санитарне воде. У производњи и потрошњи енергије емитује се угљен-диоксид, који утиче на физичке особине атмосфере који су од значаја за њену пропустљивост сунчевог зрачења. Услед тога се јавља ефекат стаклене баште, који се манифестује у глобалном загревању Земље, односно повећања њене температуре, и другим климатским променама.

Пре почетка самог прорачуна у циљу реализације овог рада, потребно је сагледати теоријске основе преноса топлоте, системе за климатизацију и термоизолационе материјале.

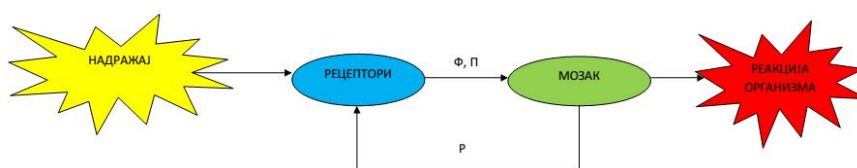
2.1.1 Осврт на климатизацију и грејање

Остваривање најповољнијих услова загревања, хлађења, проветравања и влажности ваздуха као и постизање најпогоднијих услова за рад и боравак човека у ограниченим просторима, има за основу одавање топлоте човека према околној средини. Све инсталације и уређаји за грејање, проветравање и климатизацију само су онда исправни ако човеку пружају најповољније услове за рад и боравак у неком простору. Теже је постићи ове услове ако је већа промена људи који бораве у климатизованом простору.

Орган терморегулације код човека је кожа. Одавање топлоте је у функцији брзине, температуре и влажности ваздуха. Код промене кожни нерви реагују и утичу на отварање или затварање кожних пора око којих су крвни судови. Овим се смањује или повећава проток крви кроз кожу а са тим повећава или смањује температура коже.

Пријем топлотних надражаја, као што је речено се одвија преко коже, која представља јединствен омотач човекове органске унутрашњости. У кожи су смештени термо-рецептори, који примају топлотни надражај, трансформишу га у серију нервних импулса који се преносе нервним системом до мозга. Примљена информација се прослеђује до хипоталамуса, центра који представља основни регулатор телесне температуре. Након обрађене информације, јавља се одговор на надражај околине у виду одговарајуће реакције. Поред физиолошке компоненте (Ф), реакција организма одређена је и психолошком компонентом (П), као и повратним дејством (Р).

Психолошка компонента формира се на основу менталног стања особе, предходног искуства са одређеним надражајем, врстом активности којом се бави. Повратна компонента може се јавити као последица краткотрајне или дуготрајне адаптације организма на одређени надражај. На слици 2.1-1 је приказан шематска реакција на топлотни надражај.



Слика 2.1-1 Реакција организма на топлотни надражај

На одавање топлоте човека утичу две врсте параметара, а то су:

- Утицај средине – ТЕРМИЧКИ ПАРАМЕТРИ СРЕДИНЕ

- ❖ температура ваздуха,
- ❖ температура околних површина,

- ❖ релативна влажност ваздуха и
- ❖ брзина струјања ваздуха.
- Лични (субјективни) утицаји
 - ❖ степен физичке активности,
 - ❖ одевеност,
 - ❖ здравствено стање,
 - ❖ узраст (старосно доба),
 - ❖ пол,
 - ❖ телесна тежина, итд.

Најзначајнији лични утицаји су степен физичке активности и одевеност.

За човека просечне висине, ($x=1,73\text{m}$) и тежине ($m=70\text{kg}$) вредност спољне површине телесног омотача износи $A_{\text{ду}}=1,8\text{m}^2$. Одећа утиче на смањење одавања топлоте човека тиме што повећава отпор провођењу топлоте од тела ка околини. Температура површине одеће је нижа од температуре тела, али је површина размене топлоте (конвекцијом и зрачењем) повећана. Када је кожа прекривена одећом, онда се јавља сложенији пренос топлоте са коже на спољну површину одеће, који обухвата унутрашње процесе зрачења и конвекције у слоју између коже и одеће, као и кондукцију кроз слој одеће. Због лакшег дефинисања овог начина преноса топлоте уведена је бездимензионална величина R_{cl} , као однос укупног отпора прелазу топлоте са површине коже до спољне површине одеће према топлотном отпору одеће од $0,155 \text{ (m}^2 \text{ K/ W)}$. Јединица овог бездимензионалног отпора пролазу топлоте кроз одећу је $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \text{ K/W}$, један кло.

У табели 2.1-1 су приказане неке од вредности отпора прелазу топлоте кроз одећу.

ВРСТА ОДЕЋЕ	$R_{\text{cl}} \text{ (clo)}$	$f_{\text{cl}} \text{ (-)}$
НАГА ОСОБА	0.00	1.00
ШОРТС	0.10	1.00
ВЕОМА ЛАКА ОДЕЋА (ШОРТС-ЛАКА КОШУЉА)	0.3-0.4	1.05
ЛАКА РАДНА ОДЕЋА	0.60	1.10
ТИПИЧНО ПОСЛОВНО ОДЕЛО	1.00	1.15
ТИПИЧНО ПОСЛОВНО ОДЕЛО СА ЛАКИМ КАПУТОМ	1.50	1.15
ТЕШКА ВУНЕНА ОДЕЋА СА ЈАКНОМ	3.0-4.0	1.30-1.50

Табела 2.1-1 Вредности топлотног отпора одеће и степен одевености (f_{cl} – степен одевености који представља однос површине одевеног тела према површини нагог тела)

При већим физичким напорима, човеков организам развија већу количину енергије коју троши на користан рад и веће загревање тела. У таквим тренуцима човек

одаје и већу количину топлоте. Као мера физичке активности човека уведена је јединица *met* и она одговара одавању топлоте човека од $58,2 \text{ W/m}^2$ површине тела. У табели 2.1-2 приказано је укупно одавање топлоте (*met*, W) у зависности од врсте активности.

ОДАВАЊЕ ТОПЛОТЕ ЧОВЕКА		
АКТИВНОСТ	ОДАВАЊЕ ТОПЛОТЕ	
	met	W
СПАВАЊЕ	0.7	75.0
САДЕЊЕ	1.0	105.0
ХОДАЊЕ БРЗИНОМ 3.2 km/h	2.0	210.0
ХОДАЊЕ БРЗИНОМ 6.4 km/h	3.8	400.0
КАНЦЕЛАРИЈСКИ РАД	1.0-1.4	105-150
СПРЕМАЊЕ КУЋЕ	2.0-3.4	210-355
ПЛЕСАЊЕ	2.4-4.4	250-460
КОШАРКА	5.0-7.6	580-800
МАКСИМАЛНА (КРАТКОТРАЈНО)	11.5	1200.0

Табела 2.1-2 Одавање укупне топлоте у зависности од активности

Најмање одавање топлоте се врши при седењу или стојању а највише при обављању најтежих радова.

Топлоту створену метаболизмом човек одаје околни користећи више механизма преноса топлоте. Сува (осетљива) топлота предаје се углавном преко коже и одеће конвекцијом и зрачењем, а мањим делом кондукцијом и загревања ваздуха у плућима. Латентна (влажна) топлота предаје се у плућима и преко коже. При томе треба разликовати да ли је кожа сува или оквашена (ознојена).

Дневне потребе за кисеоником човека у стању мировања је од 500 до 600 литара, са повећањем активности овај конзум расте. Као што је познато, састав ваздуха (као на графику 2.1-1) је 20,8% кисеоника (O), 78,2% азота (N), аргона, угљен-диоксида, озона, ксенона и осталих гасова у врло малом проценту. Поред основних састојака ваздуха присутна је и прашина и разни издувни гасови од средине до средине.

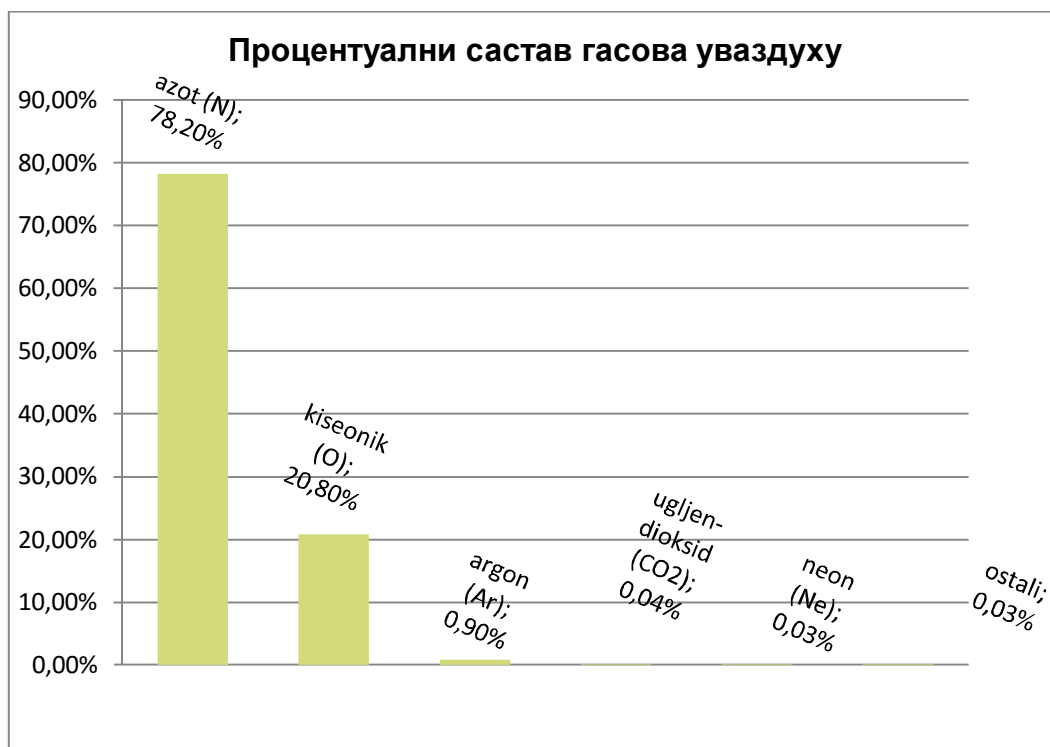


График 2.1- 1 Мешавина гасова у ваздуху (%)

Увођењем свежег ваздуха у боравишни и радни простор добија се потребна количина кисеоника која се користи за стварање енергије у људском телу. Смањењем концентрације кисеоника у ваздуху у затвореним просторијама а при вршењу тежег физичког рада, концентрација од 12% је већ опасна. Концентрација CO₂ у ваздуху такође није препоручљива преко 0,14% у просторијама за боравак људи.

Постоје природна и принудна вентилација са којом се врши увођење свежег ваздуха а избацивање устајалог.

До почетка двадесетог века није се придавало много значаја осталим аспектима сагледавања квалитета ваздуха, сводило се на проветравање. Међутим, применом принудне вентилације и коришћењем вентилатора примењују се методе за пречишћавање (филтрирање) ваздуха. Уводи се поступак влажења ваздуха, одстрањивања непожељних гасова као и грејање односно хлађење.

Техника убацивања ваздуха је усавршена па се ваздух данас одређеног квалитета допрема и распоређује у затвореним просторима са најповољнијим карактеристикама.

Препоручују се следеће количине ваздуха по особи који се убацује у просторију (као у табели 2.1- 3) у зависности од дозвољеног или забрањеног конзумирања дувана.

ПРЕПОРУЧЕНЕ ВРЕДНОСТИ ВАЗДУХА КОЈИ СЕ УБАЦУЈЕ		
Спољашња температура (°C)	Количина ваздуха у просторији по особи најмање (m ³ /h)	
	Са забрањеним пушењем	Са пушачима
-20	8	12
-15	10	15
-10	13	20
-5	16	24
Од 0 до 26	20	30
Преко 26	15	23

Табела 2.1- 3 Препоручена количина ваздуха по особи која борава у просторији у зависности од дозвољеног или забрањеног конзумирања дувана

Скуп техничких поступака којима се третира ваздух а ради постизања одређеног стања и квалитета ваздуха је **климатизација**. Аутоматска контрола и регулација омогућавају беспрекорно функционисање климатизације.

Параметри који карактеришу стање ваздуха а које би требало прилагодити због угодности у процесу климатизације су:

- Температура,
- Влажност,
- Атмосферски притисак,
- Брзина,
- Уједначеност у склопу просторија са истом наменом,
- Осећај зрачења од стране зидова и обрнуто,
- Влажна прашина,
- Количина микроба,
- Јонизација,
- Зрачење ултраљубичастим зрацима,
- Разни мириси,
- Појава звука и
- Заостаци разних гасова од испарења и сагоревања.

Прилагођавањем ових чинилаца стања ваздуха климатизационим уређајима се врши у циљу угодности-конфора или због неких технолошких захтева одређене индустрије.

У поређењу са уређајима за проветравање, уређаји за делимичну климатизацију чији је задатак и хлађење доводног ваздуха за једну, или више просторија, састоји се од:

- кућишта са вентилатором,
- електромотор,
- грејач,
- хладњак,
- филтра и
- пратећи делови.

2.1.2 Врсте климатизације - класификација

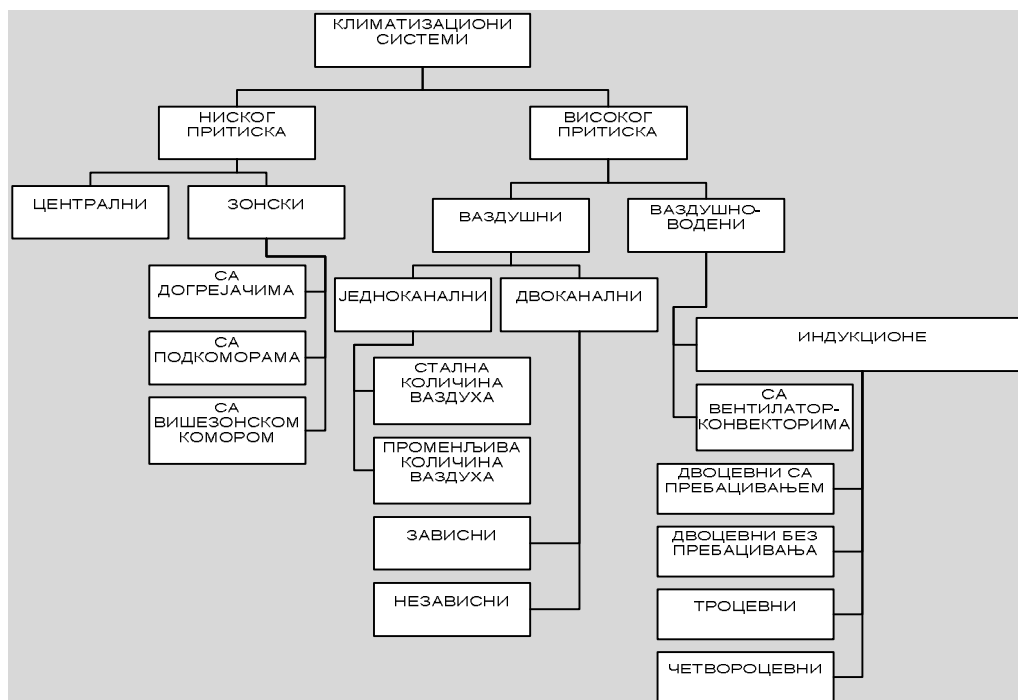
Климатизација просторије представља одржавање унапред задатих услова и параметара третираног ваздуха коришћењем низа елемената и уређаја. Временом су усавршени саставни елементи климатизације па је њихов рад данас поузданији, бољи и економичнији.

Класификација климатизације се може извршити на више начина као што је приказано на слици 2.1 -3, али је подела најчешће на радном флуиду помоћу кога се климатизовани простор греје или хлади (ваздух или ваздух и вода), као и на брзинама струјања ваздуха кроз канале (ваћа или мања од 12m/s). Када се ради о већим брзинама, пад притиска у систему је велики, што подразумева и одговарајући вентилатор, па су зато ово системи високог притиска.

Постоје и системи који као флуид за пренос топлоте користе искључиво воду, који се примењују у комбинацији са неким од ваздушних система.

По броју канала за развод ваздуха, системи су једноканални или двоканални, а по количини ваздуха, са сталном или променљивом количином ваздуха.

Такође, подела се може извршити и према облику енергије потребне за остваривање процеса хлађења. Према овом критеријуму, расхладни уређаји који се најчешће користе у климатизацији деле се на компресорске расхладне уређаје, који користе механичку енергију, и апсорционе расхладне уређаје који за свој погон користе топлотну енергију.



Слика 2.1- 3 Подела климатизационих система

Ваздушни систем са два канала је примењен у овом раду па ће се тежиште и базирати на њима.

У групу ваздушних система спадају сви системи где је пренос топлоте са климатизациона комора-климатизована просторија искључиво ваздух као преносилац топлоте. Као што је на слици 2.1-3, ови системи се деле на једноканалне и двоканалне.

Сви ваздушни системи имају основну климатизациону комору, уз коју су смештени сви или већина помоћних уређаја, што омогућава бољу контролу система као и лакше одржавање.

Ваздух се обрађује централно, било да је реч о потпуној припреми ваздуха која одговара за коришћење или примена до пред сваку зону где се мешањем добија потребан квалитет ваздуха и тиме задовољи задата вредност температуре или количине ваздуха.

Могућност убацивања ваздуха у климатизациони простор у овим системима је широк, па се може увек остварити повољна дистрибуција ваздуха. Пребацивање са летњег на зимски режим рада је једноставан односно аутоматизован.

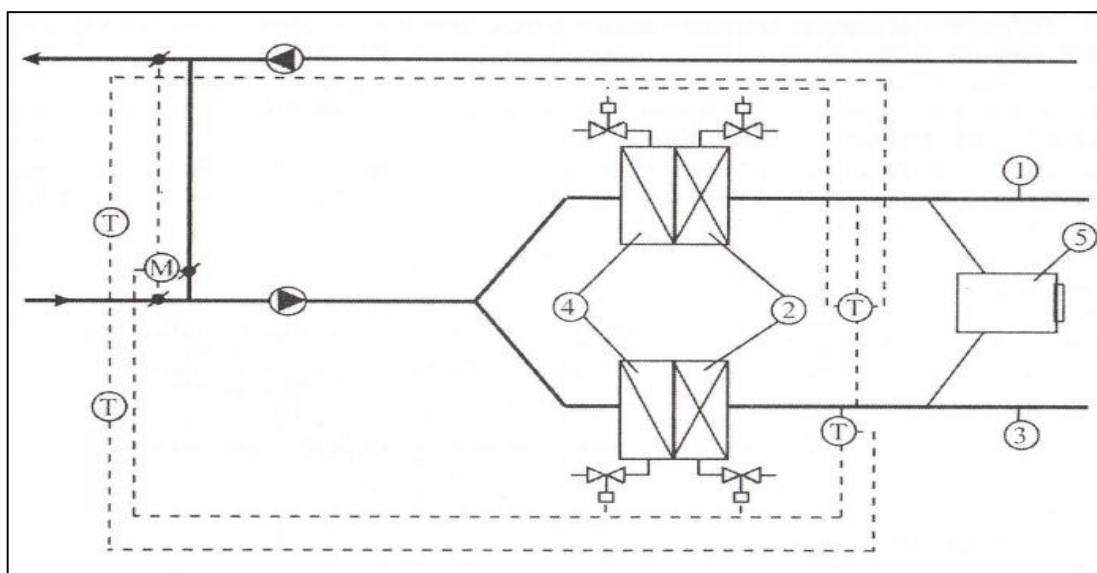
У ову групу спадају следећи системи:

- централни,
- зонски,
- једноканални високог притиска,
- са променљивом количином ваздуха,

На слици 2.1-4 је приказана шема двоканалног система са константним температурама ваздуха, систем је једноставан за регулацију али је неекономичан. У овом случају температура топлог ваздуха мора да одговара максимално потребној количини топлоте за грејање при спољној пројектованој температури, а хладног канала максималним топлотним оптерећењима лети.

Примена им је у канцеларијским просторима, школама, хотелима и другим сличним просторима где су двоканални системи дали најбоље резултате. Наравно и овакви системи имају своје недостатке од којих се издвајају постојање два канала који заузимају дупли простор као и компликованији извод и потреба да се канали укрштају до датог места за убацивање ваздуха, потребна је већа брзина струјања кроз канале што захтева веће снаге инсталираних вентилатора.

Посебну врсту двоканалних постројења представљају двоканални системи независног дејства (**dual-duct**) приказан на слици 2.1-5, који су подешени да могу да климатизују просторије у којима се у истом тренутку јавља потреба и за грејањем и хлађењем. Овај систем има две климатизационе коморе од којих је свака повезана за независни канал за развод ваздуха.



Слика 2.1 - 5 Шема двоканалног система; 1- канал секундарног ваздуха, 2- грејач, 3- канал примарног ваздуха, 4- хладњак, 5- мешачки апарат, М- мешачка комора, Т- мерење температуре

У једном каналу струји примарни ваздух, који има променљиву температуру током године, а константну запремину, као што је случај код једноканалних система. Задатак такозваног примарног ваздуха је зими неутралише губитке, а лети добитке топлоте, који настају пролазом топлоте кроз зидове и прозоре (трансмисиони губици и добици). Кроз други канал струји секундарни ваздух чија је температура константна током целе година, али је променљиве количине. Пошто му је температура нижа од температуре у климатизованом простору, задатак ове ваздушне струје је неутралисање изненадних топлотних оптерећења, а то су она која се добијају од сунчевог зрачења, осветљења и људи. Док се подешавање тренутног капацитета грејача и хладњака примарног ваздуха врши регулисањем температуре убацивања, дотле се расхладни

капацитет секундарног ваздуха прилагођава тренутним потребама подешавања количине која се уводи у просторију, као у једноканалним системима променљиве количине ваздуха.

Регулисање температуре канала остварује се прилагођавањем неопходне температуре за најнеповољнију просторију за хлађење, а вођено је према тренутној спољној температури. Температура топлог канала се може подешавати према променљивој температурној разлици хладног и топлог канала, по програму за најнеповољнију просторију у зимским условима.

Губици услед мешања могу се смањити на још ужи домен спољних температура, ако се, на пример, температура у топлом каналу регулише узимајући у обзир добитак топлоте, на пример сунчевог зрачења кроз прозор, а не само губитак што даље компликује регулацију.

2.1.3 Преношење топлоте

Процес преношења топлоте се сагледава у техникама грејања и климатизације где се врши прорачунавање и рационализација утрошене енергије (довођење или одвођење топлоте). Из загрејаних просторија се топлота одводи из објекта у околину (зими) или се топлота преноси у просторије (летњи период). Примењивањем закона о преносу топлоте може се уштедети на трошковима енергије и рационализација самог процеса.

Као што је познато, топлота се са тела више температуре преноси на тела са нижом температуром.

Три су основна начина преноса топлоте:

1. **Провођење (кондукција)**, је преношење топлоте кроз унутрашњост тела (чврста тела) преко честица, без кретања тих истих честица.
2. **Струјање (конвекција)**, је преношење топлоте кретањем честица (код гасова или течности).
3. **Зрачење (радијација)**, преношење топлоте тела са једног на друго енергијом зрачења.

Битна измена топлоте је и **прелаз** топлоте који се одвија између чврстих и течних или гасовитих честица. Уколико је неки флуид у контакту са чврстим телом и постоји разлика у температури површине чврстог тела и флуида, доћи ће до преношења топлотне енергије са материје која има вишу температуру на ону која има нижу температуру. При томе, топлотна енергија треба да савлада отпор који пролазу топлоте пружа контактна површина између две средине. Величина којом се карактерише прелаз топлоте са чврстог на флуидни медијум и обрнуто, назива се **коэффициент прелаза топлоте**.

За техничке прорачуне од нарочитог значаја је спровођење топлоте у стационарном стању кроз равне и цилиндричне зидове.

Спровођење топлоте кроз раван зид, количина топлоте која прође кроз површину (A) равног зида је:

$$Q = \lambda \cdot \frac{A}{\delta} \cdot (t_{w1} - t_{w2}) \quad [W]$$

λ представља коефицијент топлотне проводљивости материјала зида

$$[W/m \cdot K],$$

A површина слоја неког материјала [m^2],

t температуре зида (спољна и унутрашња) [K],

δ дебљина зида [m].

Транспорт топлоте кроз раван зид је комбинација провођења топлоте кроз масу зида, прелаз топлоте са унутрашњег ваздуха на зид као и са друге стране зида на спољни ваздух, при чему се врши и пренос топлоте зрачењем. За елементе грађевинских конструкција чије су дебљине далеко мањих димензија од њихових површина, пролаз топлоте се практично одвија у једном правцу, нормалном на површину зида.

Узимајући у обзир:

$$q = \frac{(t_u - t_e)}{R_{uk}}$$

q – специфични топлотни проток $\left[\frac{W}{m^2}\right]$.

R_{uk} – укупан топлотни отпор вишеслојног зида пролазу топлоте, чија је вредност збир појединачних отпора сваког слоја $\left[\frac{m^2 \cdot K}{W}\right]$.

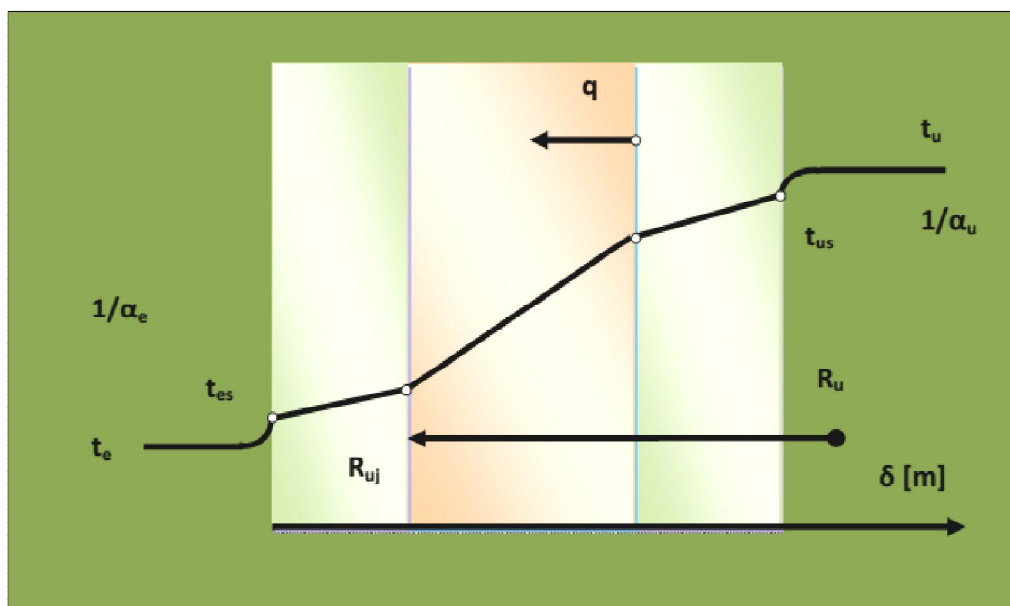
$$R_{uk} = \frac{1}{\alpha_u} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e} \quad ; \quad R_{uk} = \frac{1}{k}$$

k – коефицијент прелаза топлоте $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_u} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e}}$$

U - укупан коефицијент пролаза топлоте $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$ је:

$$U = \frac{1}{R_{uk}}$$



Слика 2.1 - 6 Температурно поље у вишеслојном зиду

$\alpha_u; \alpha_e$ - коефицијент прелаза топлоте са ваздуха на унутрашњи део спољашњег зида; коефицијент прелаза топлоте са спољашњег зида на спољни ваздух $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$.

$\frac{\delta_i}{\lambda_i}$ - топлотни отпор и-тог слоја зида $\left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$.

На слици 2.1-6, представљено је температурно поље у вишеслојном зиду (простирање кроз три слоја са својим топлотним отпорима).

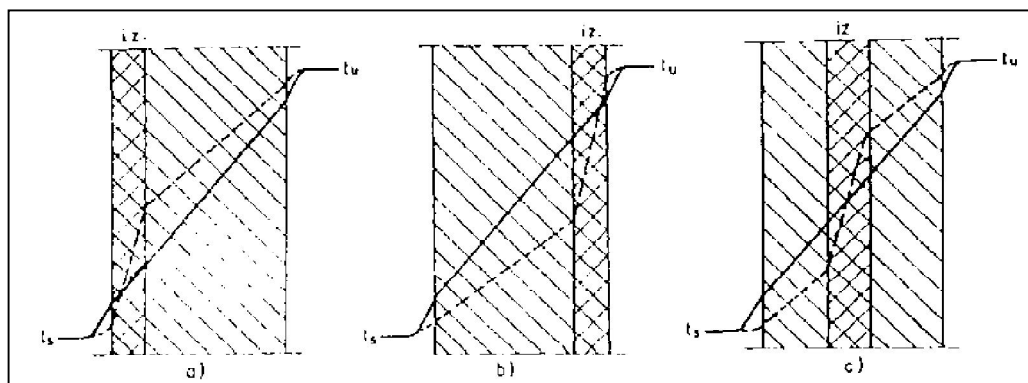
2.1.4 Термичка изолација зидова и термоизолациони материјали

Током хиљадугодишњег искуства грађења [8] и постизања комфора живљења, две групе материјала се преплићу које чине његово непосредно окружење: високопорозни материјали биљног порекла (трска, слама, плетена трава, шаш, грање,...) и материјали веће густине минералног порекла (земља-блато, глина, камен,...). Топлотна заштита објеката за становање се и данас своди на ове две групе материјала: високопорозни материјали мале густине који задржавају велике количине ваздуха у малим коморама, и материјали велике густине које не дозвољавају продор влаге и ветра.

Изолациони слојеви повећавају отпор провођењу топлоте кроз зидове па се смањује пролаз топлоте кроз њихову конструкцију, што доприноси мањој потрошњи енергије за грејање у зимском периоду, а смањењу енергије за хлађење услед продора топлоте у климатизован простор.

Једном правилно постављена изолација може да служи годинама остваривајући уштеду средстава намењених енергентима.

Изолациона маса се може уградити са спољне, унутрашње стране као и у средини зида. (слика 2.1-7) Ако је изолациони материјал постављен са спољне стране (слика 2.1-7 а) зида, онда су температуре масе зида ниже. Тиме се умањују дилатације елемената фасаде, односно конструкционо напрезање, чиме се спречава појава напрстина у зидовима. У тако постављеној изолацији главна маса зида је концентрисана према унутрашњости простора.



Слика 2.1 – 7 Температурно поље у зиду без изолације (пуна линија) и са изолацијом слојем на спољној (а), унутрашњој (б), као и у његовој унутрашњости (с)

Топлотна енергија се губи преко такозваног омотача зграде, а одвија се преко: спољних зидова, зидова који се граниче са негрејаним просторијама, таванског простора и подрумског простора. Такође губици топлоте се одвијају преко прозорског стакла, врата, рамова прозора и врата, разних наменских отвора.



Слика 2.1 - 8 Губици топлоте кроз омотач зграде: прозори 10%, под 15%, плафон 15%, кров 25%, зидови 35%

На слици 2.1-8, приказани су губици топлоте преко граничних површина тако да имамо највећи губитак преко спољних зидова где се крећу и до 35%, затим преко крова са 25%, под и плафон са 15% и прозори са 10%.

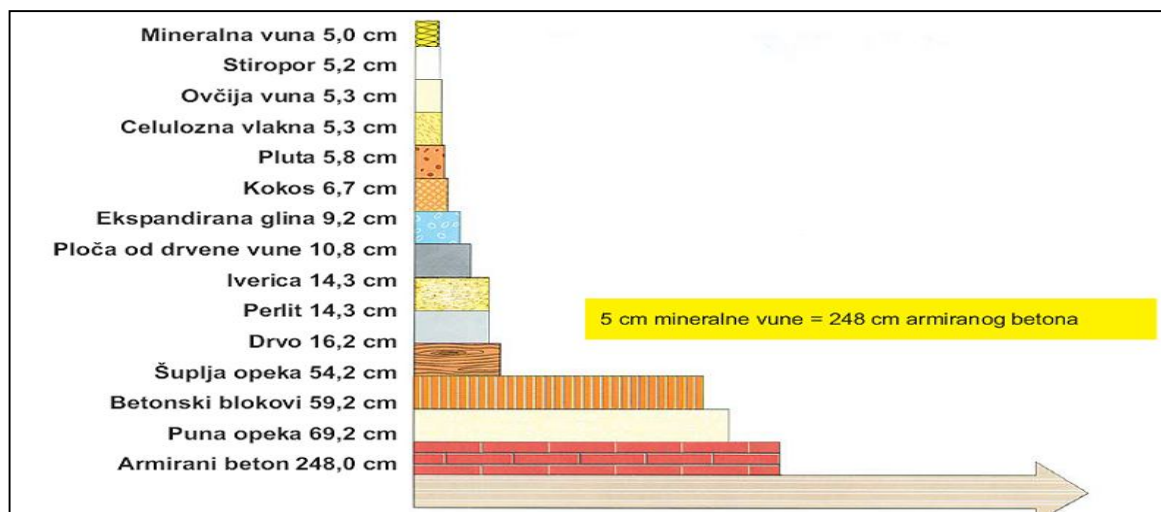
Најпрактичнији начин постављања термоизолационог материјала је са спољне стране и то применом материјала ниске топлотне проводности.

Особине квалитетног изолационог материјала су:

- ✓ што нижи коефицијент топлотне проводности,
- ✓ отпорност на влагу и промене температуре,
- ✓ да је отпоран у механичком погледу,
- ✓ да се једноставно уграђује и
- ✓ ватроотпорност.

Класификација термоизолационих материјала се може извршити:

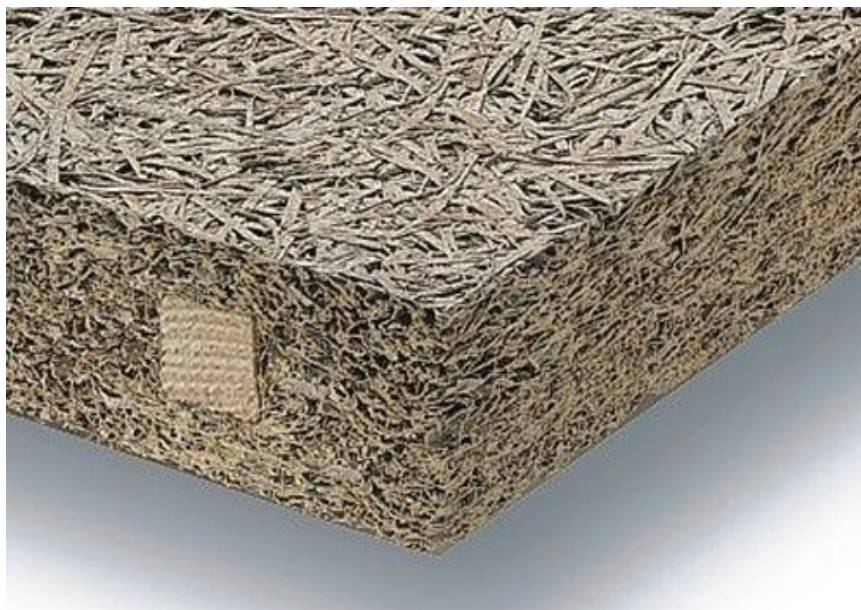
- ✓ према пореклу сировине за производњу,
- ✓ према вредности коефицијента топлотне проводљивости,
- ✓ према вредности запреминске масе и
- ✓ према месту и начину примене.



Слика 2.1 - 9 Упоредни приказ адекватних дебљина материјала за постизање потребне изолације зида

Упоредни однос материјала одговарајућих дебљина да би се добио исти изолациони ефекат, приказан је на слици 2.1-9

Термоизолациони материјали који се данас користе, могу бити на бази отпадака од дрвета као и плута а могу бити и од полистирена или минералних влакана.



Слика 2.1 – 10 Пресована дрвена изолација

Изолациони материјали од дрвене струготине (слика 2.1-10) састоје се од дрвета које чине индустријски отпад у индустрији прераде дрвета. У зависности од прераде користе се везивна средства и средства за заштиту од пожара као и заштита од оштећења.

У сувом поступку се мешају струготина са латекс лепком и под притиском се израђују дрвене плоче, а у мокром поступку се мешају са водом и додацима у каши, притискају се и суше.

Оваква изолација од дрвених струготина је дифузијски отворена и регулише влагу.

Густина је од $30\text{--}270\text{ kg/m}^3$, топлотна проводљивост $0.040\text{--}0.090\text{ W/m K}$, у класи В1-тешко запаљиво или В2-нормално запаљиво, израђује се у облику плоча а намена им је за облагање кровова, фасада, плафона и у језгру зида.

Плутане табле (слика 2.1-11) се праве од ивица храста и делимично рециклиране плуте, поступком млевења у гранулате и затим уз помоћ вруће паре под притиском пресује до плутане пеле. Код печене плуте се гранулат пресује током експандирања у блокове који касније могу да се секу у плоче. Смола плуте служи као везивно средство, а није потребно додавати средство против запаљивости. Додаци у облику битумена користе се за импрегнацију.

Плута је врло лагана и дифузијски отворена, осим тога је дуговечна и резистентна на киселине и труљење. Уграђује се у виду плоча а такође је могуће уградња у виду компусита.

Густина плуте се креће од $100\text{--}220\text{ kg/m}^3$, топлотна проводљивост је $0.045\text{--}0.060\text{ (W/m K)}$, класе запаљивости-нормално запаљиво В2, примена је за изолацију кровова, фасада, зидова и у језгру зида.



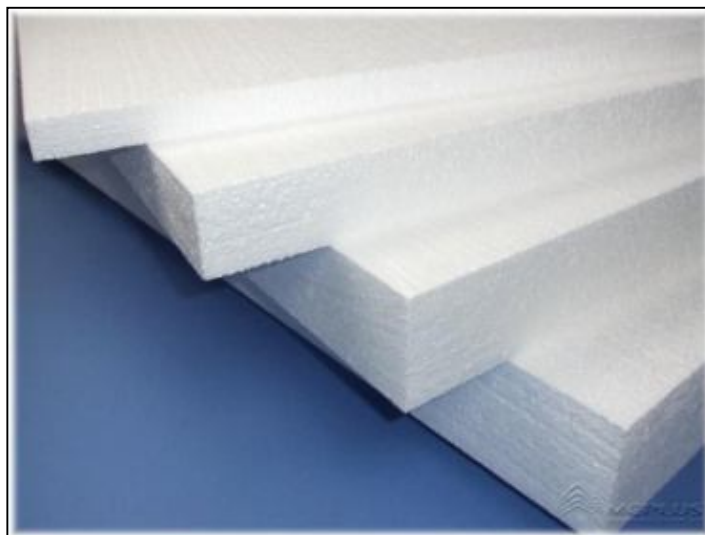
Слика 2.1-11 Облагање фасаде плутом

Термоизолација на бази плуте, развојем индустрије и обезбеђивањем здраве животне средине за човека, плута се враћа у комерцијалну употребу као термоизолациони материјал.

Материјали на бази дрвених влакана, производи се од секундарног дрвног материјала, тако да имамо меке плоче (запреминска маса $200-400\text{kg/m}^3$), и тврде плоче (запреминска маса $600-800\text{kg/m}^3$). Коефицијент топлотне проводности од $0,052$ до $0,060\text{W/mK}$.

Полистирол, раније познат као стиропор, захваљујући релативно ниској цени производње и добрим термичким карактеристикама, има велику заступљеност. Добија се експанзијом при загревању у гранулама величине од $0,5$ до 15mm , који се затим користе као термоизолациони засипи, као испуне или у компактном облику без везива.

Одликује се малом запреминском масом ($15-30\text{ kg/m}^3$) и ниским коефицијентом топлотне проводности ($0,028-0,037\text{ W/mK}$).



Слика 2.1 - 12 Експандирани пенополистирол (EPS)

Експандирани пенопластирол, (слика 2.1-12) у употреби је већ 60 година и за то време није било штетних утицаја на људско здравље, није подложен труљењу, не раствара се у води. Међутим, интензивним излагањем UV и γ зрацима постаје крт и долази до жутила материјала. Ове појаве се превазилазе бојењем, превлачењем превлака и ламинирањем.

Стандардне димензије табли стиропора су 50x100 cm и дебљине од 1-10 cm.

На основу примењене технологије производње имамо две основне врсте производа које се суштински разликују по својим својствима:

- Експандирани пенополистирол (EPS), углавном у виду плоча које су формиране синтеровањем гранула при повишеној температури,
- Екструдирани полистирен (XPS), формира се мешањем гранула полистирена на високим температурама уз накнадно увођење агенса за стварање пене.

Минералне вуне (слика 2.1-13) као посебан вид изолационог материјала произведена од минералних или металних влакана са великом заступљеношћу у бродоградњи, инфраструктурним системима, грађевинарству,... У зависности од сировина које су употребљене може бити камена, стаклена, челична, од шљаке,...

Камена вуна се добија од дијабаза, базалта, кречњака, доломита. Добија се распршавањем камена који је предходно загрејан до 1.600°C , магма се распршава у влакна од којих се формирају тврде и савитљиве плоче или ролне материјала од 3-6 cm и запреминске масе $40\text{-}80\text{ kg/m}^3$. Влакна могу да се пресују у плоче уз инпрегнацију фенолном смолом. Технолошким процесом се добија коначна изолациона маса од $150\text{-}200\text{ kg/m}^3$ и коефицијентом топлотне проводљивости од $0,041\text{ W/mK}$.



Слика 2.1 - 13 Минерална вуна

Данас, један од најперспективнијих термоизолационих материјала високих перформанси представља „**Aerogels**“ аерогел. Са ниском топлотном проводљивошћу, испод 0.013 W/(m K) , за комерцијалну употребу показује изузетне карактеристике у односу на традиционалне термоизолационе материјале. Поред тога, показао се као добар проводник светлости што је од великог интереса за грађевински сектор.

Аерогел, велике порозности је открио Kistler још раних 30-их година прошлог века. Коришћењем технологије синтетизовања у првом кораку на ниским температурама



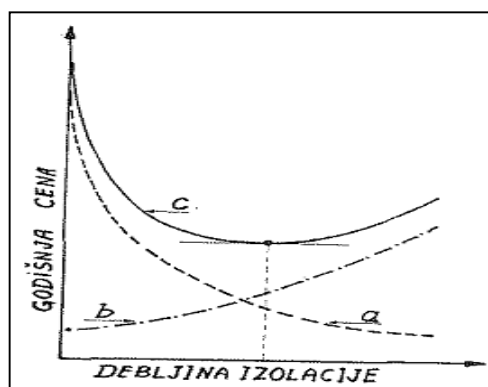
Слика 2.1 –14 Термоизолациона апликација за грађевине од аерогела

На слици 2.1-14 се види аерогел високих перформанси намењен за термоизолацију објеката.

Стаклена вуна се израђује од силикатног песка и рециклираног стакла и има много сличности са минералном вуном. На температури од 1450°C добија се стаклена вуна дебљине $16\text{-}20\mu\text{m}$ и 2-3 пута дуже од минералних, захваљујући чему

производи имају већу еластичност и чврстоћу. Ова особина има предност код изоловања косих површина кровова и вентилирајућих фасада. Влакна се могу паковати као плоче или у ролне дебљине 2-20cm. Зависно од потребе, елементи могу бити једнострано или двострано обложени алуминијумском фолијом или неким специјалним слојем. Термопроводљивост се креће од 0,03-0,052W/mK. Производи од стаклене вуне имају практичну примену као и минерална вуна, фаворизује их особина да се прилагођавају неравним површинама због своје еластичности влакана.

Одређивање економске дебљине изолације [9], [10], [11], [12], је кључни момент и потребно је посветити велику пажњу. Најпре треба израчунати изгубљену топлоту при грејању, односно добијену топлоту у условима климатизовања простора. На слици 2.1-15 се види однос топлотних губитака (a) и цене коштања (b), у зависности од њене дебљине.



Слика 2.1 -15 Графикон одређивања економске дебљине изолације

Дијаграм се предходно прави, сагледавањем места где се поставља изолација, а врши се на следећи начин:

- Одредити коштање годишњих губитака топлоте (из специфичног губитка по часу и трајање грејања,
- Начинити криву смањења трошкова на губитке топлоте услед повећања дебљине изолације (крива a).

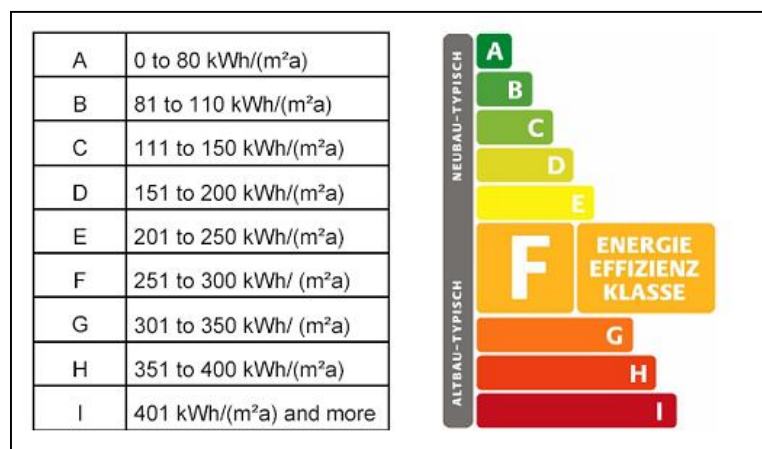
Крива b (на слици 2.1-15) показује како се повећава цена изолације са њеном дебљином (укључивши све трошкове и интерес). Крива c даје збир трошкова у зависности од дебљине изолације $c = a + b$. Њен минимум (тангента паралелна са апсцисом) даје положај најеконичније дебљине изолације. Из графичког приказа може да се одреди за практичну примену тражена дебљина изолације.

2.1.5 Уштеда енергије

Уштеда енергије у процесу климатизације се може остварити на два начина: употребом енергетски ефикасних уређаја (грејање, хлађење, погонски електромотори, аутоматизација процеса, ефикасни измењивачи топлоте,...), или

смањењем губитака односно добитака топлоте (постављање термоизолационог материјала), као и комбинацијом оба начина. Енергетска уштеда се најбоље сагледава применом мера енергетске ефикасности на објектима. Применом мера које не захтевају улагања могу да се остваре мање уштеде (искључивање грејања односно хлађења ноћу или кад нема присуства у просторијама, активна контрола температур у просторији, не блокирати грејна и расхладна тела, снижавање задате температуре у просторији на 20°C зими односно 25°C лети, искључење расвете и апарата који нису неопходни). Малим улагањима се такође може остварити уштеда са повраћајем уложених средстава у периоду од три године (обезбеђивање доброг заптивања прозора и врата, изолација плафона према негрејаном простору, велика уштеда се може остварити и текућим одржавањем монтиране опреме, замена сијалица са ужареном нити употребом компактних флуоресцентних сијалица, замена потрошача са потрошачима класе А). Улагањима која захтевају већи временски период (више од три године) поврата средстава врши се уштеда енергије (замена врата и прозора, топлотна изолација целог објекта, замена система грејања и климатизације са коришћењем обновљивих извора енергије).

Да би се остварила нека уштеда, потребно је да знамо колике су нам потрошње енергента, односно колики су нам губици (на слици 2.1-16 виде се класе објеката у зависности од потрошње енергије по метру квадратном за годину дана, конкретно класа F представља делимично модернизовану класу потрошње електричне енергије).



Слика 2.1 - 16 Класа енергетске ефикасности објекта

Употребом мерних инструмената (термометар, анемометар, психрометр, пресостати, анализатори снаге,...) врши се стварање слике о енергетском стању неког објекта у одређеном временском распону при различитим временским условима уз детаљно снимање (обично је то 12 месеци).

Резултати се слажу табеларно због боље прегледности и лакшег приступа.

По добијању резултата може се донети одлука, који вид уштеда је примењив и за који временски период је исплатив.

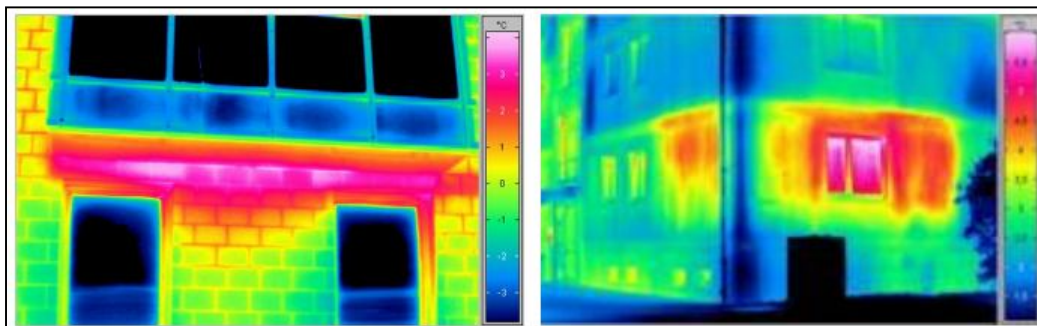
Мерама текућег одржавања објекта (врши служба одржавања) се остварује максимална експлоатација опреме, уређаја и самог објекта у целини стим што се вредност објекта не повећава у радном веку.

Мере инвестиционог одржавања објекта подразумевају инвестициона улагања у ревитализацију појединих система чиме се добија пројектовани квалитет како енергетских система тако и објекта у целини. У оквиру ових улагања врши се и делимично усавршавање енергетских система, примена бољег аутоматског управљања. Оваквом применом мера инвестиционог одржавања повећава се вредност објекта, односно надокнађује амортизована вредност опреме, односно објекта. Финансирање се врши из средстава намењених финансирању капиталних расхода.

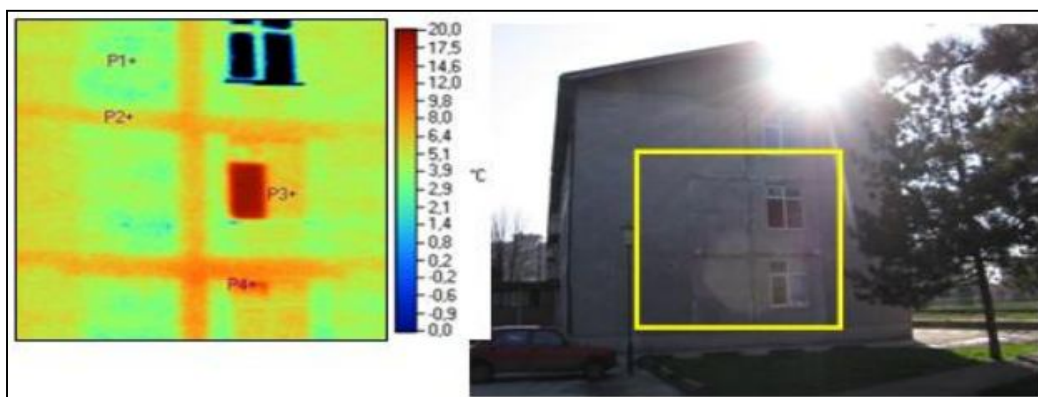
Мере које захтевају инвестиције у енергетске системе објекта, односно сам објекат. Подразумева, замену постојећих енергетских система савременијим, уградњу нових система са повећањем квалитета услуга које су намењене корисницима. Ове мере захтевају велика улагања и временски захтевне радње. Применом ових мера повећава се вредност објекта а нарочито класа енергетске ефикасности објекта. Финансирање се врши из капиталних расхода.

2.1.6 Досадашња искуства и примена

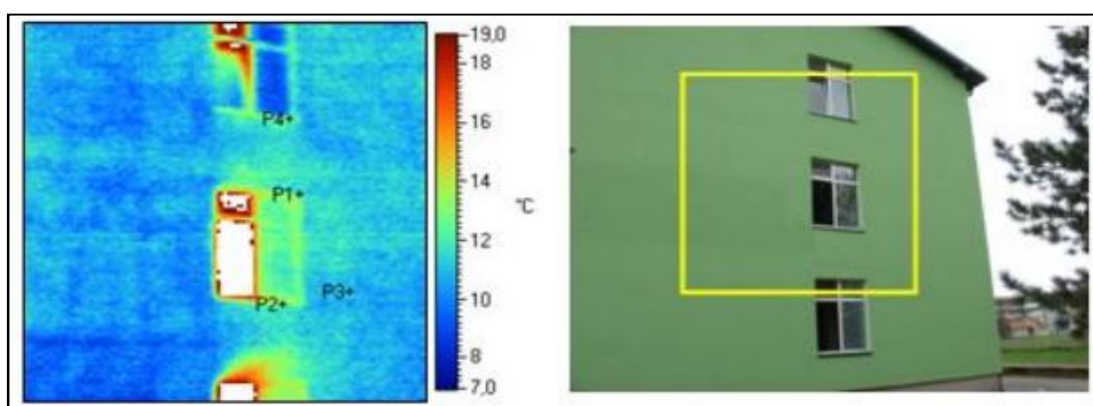
Енергија која се уложи у конфор одређеног простора, топлотна за грејање или одведена топлота са циљем да се одржи расхлађен простор, условно речено „цури“ кроз омотач зграде. Да би се овај губитак смањио на подношљиву меру и постигла енергетска ефикасност на вишем нивоу, потребно је сагледати губитке. Један од начина је и сагледавање грађевине термографском камером са којом уочавамо места „цурења“ топлоте као што је приказано на слици 2.1-17.



Слика 2.1- 17 Термографски снимак објекта



Слика 2.1- 18 Термографски приказ објекта пре постављања термоизолационог материјала



Слика 2.1 - 19 Термографска слика објекта са слике бр.2.1-18 са постављеном термоизолацијом

Велики број радова је урађено на тему „постављање термоизолационог материјала“, „оптимална дебљина термоизолационог материјала“, „мерење количине топлоте која пролази кроз зид“, „материјали и методи за термоизоловање објеката“, са циљем да се досадашње научно и истраживачко искуство искористи за смањење издатака намењених енергентима а тиме и чистија животна средина. Ипак, неки термоизолациони материјали још увек нису усавршени али стоје као могућност и инспирација.

У зависности од врсте и дебљине изолационих материјала, остварују се уштеде у одређеном временском интервалу тако да период отплате трошкова постављања ових материјала, креће од 1,5 па до 5 година.

Данашње зграде се у зависности од намене, већ у фази пројектовања сагледавају са аспекта енергетске ефикасности и економичности па се самим тим и врши њихово максимално термичко обезбеђивање у смислу губитака-добитака топлоте.

Уједно са увођењем прописа о енергетској ефикасности која се увелико користи у европској унији, врши примена термоизолационих материјала који ће свести старије стамбене објекте у ред енергетски ефикаснијих.

3 САГЛЕДАВАЊЕ УТРОШКА ЕНЕРГИЈЕ, СА И БЕЗ ПОСТАВЉЕНЕ ТЕРМОИЗОЛАЦИЈЕ

Термокоманда, просторија намењена за рад људи (особља) који воде процес производње топлотне и електричне енергије у термоелектрани. Из наведене просторије се врши мониторинг, регулација и управљање процеса производње. Боравак у оваквој просторији је незамислив без климатизације и вентилације због свог специфичног положаја, просторија је сазидана између машинске сале и котларнице са зидовима од опеке или армираног бетона без прозора, плафони и подови су од армираног бетона. Улажење у просторију термокоманде је кроз дупла стаклена врата.

Потрошња енергије за загревање или хлађење оваквог простора је велика.

Могућност остваривања енергетске уштеде у оваквом простору је реална али се најпре мора одредити сама потрошња енергије за хлађење, грејање и климатизацију. Обзиром да је просторија разматрања у термоелектрани, није се придавала посебна пажња о потрошњи енергије, односно није постављено бројило утрошене енергије за КЛИМАТИЗАЦИЈА, ГРЕЈАЊЕ И ХЛАЂЕЊЕ.

Податак о утрошеној енергији у овом раду се добија на основу урађене симулације за КЛИМАТИЗАЦИЈА, ГРЕЈАЊЕ И ХЛАЂЕЊЕ помоћу софтвера Energy Plus. Симулација се врши на основу величине просторије, положаја, оријентације, добитака и губитака топлоте, употребљених грађевинских материјала (ситуација пре постављања термоизолационог материјала), броја људи који бораве у просторији као и од других чинилаца а који утичу на сам утросак енергије (у даљем раду су детаљније објашњени).

Следећа симулација се врши са додатим термоизолационим материјалом на спољне зидове простора термокоманде. Да би се дошло до оптималне дебљине термоизолационог материјала, урађене су симулације са варијацијама дебљине термоизолационе вуне и на основу којих је извршен одабир оптималне дебљине.

На крају, ради се економска оправданост поступка постављања термоизолационог материјала на спољне зидове просторије термокоманде.

3.1 ПРОРАЧУН КЛИМАТИЗАЦИЈЕ И ГРЕЈАЊА, ИЗВЕДЕНО СТАЊЕ СА МОДЕЛИРАЊЕМ У ENERGY PLUS

Сагледавањем топлотних добитака, броја особа које се налазе у простору, употребљених материјала за израду просторија, положаја и запремине, су полазни подаци који се уносе у софтвер за симулацију потрошње енергије.

Након учртавања енергетских зона и уношење детаља као што су прозори и врата, обележавања плафона и подова, назива и оријентације зидова са персонификацијом ових елемената, може се приступити и уношењу параметара битних за саму симулацију.

Употребљени грађевински материјали као и столарија за изведено стање, димензије просторија, користиће се из оригиналне документације.

Енергетска потрошња за простор термокоманде добиће се на основу урађене симулације у **ENERGY PLUS** и као таква служиће за поређење у накнадним симулацијама.

3.1.1 „SKECH UP“, софтвер за цртање

„Skech Up“ је софтвер намењен превасходно архитектама за цртање и осмишљавање ентеријера и екстеријера са могућностима да се урађени модел-пројекат постави на одређену локацију.

У питању је једноставан а ипак алат са великим могућностима за 3-Д дизајн. Компатибилан је са већином алата за цртање као и „Google“ апликацијама.

Софтвер се може наћи као верзија за слободну (**Free**) употребу и као професионална (**Pro**) верзија за одређену новчану надокнаду. Битна разлика професионалне и слободне верзије је у могућностима увоза/извоза у „Auto-CAD“, као и у још неким алатима.

Рад у овом софтверу је ближе објашњен кроз софтверски пакет „Energy Plus“.

3.1.2 „ENERGY PLUS“ - софтверски пакет

Са повећањем техничке сложености и комплексности објекта, нужно је разматрање интеракције између климатских услова околине, корисника, грађевинске физике и технике, у циљу постизања угодног амбијента у погледу температуре, проветрености и расвете. Неопходност да се потребна енергије, конфор и грађевинско улагање доведу на оптималан ниво, подразумева спремност и захтева коришћења одговарајуће помоћи при пројектовању. Коришћење рачунске технике, што прописује и DIN, пружа се могућност симулације техничких процеса као допуна а делимично већ и као замена за класично решавање. Симулација је опонашање реалних техничких процеса блиских стварности, уз помоћ математичких рачунских, рачунарских модела. Уз помоћ симулационих програма може да се створи реална слика о унутрашњим и спољашњим утицајима на зграду, узевши њихову комплексност као што су спољна температура, сунчано озрачење, ветар, сенка, понашање корисника, унутрашњи извори топлоте, проветравање и други утицајни

фактори. Како за новоградњу, тако и за анализу и оптимизацију већ постојећих, старих објекта симулација је од изузетног значаја.

Формулација основних појмова који се срећу у симулацији:

Систем, то је скуп елемената (компоненти), између којих постоје одређени односи. Зграда (објект) је технички систем у чији састав улази велики број компонента као зидови, прозори, расвета, грејна тела и друго. Систем је карактеристичан по томе што између саставних компоненти постоји узајамна реакција. Потрошња електричне енергије за расвету утиче на загревање просторије тако да то повлачи за собом смањено довођење топлоте преко грејних тела пригушењем термостатских, подешавајућих вентила.

Компонента, то је најмања затворена јединица у систему. Компонента реагује на стање система и својим утицајем изазива реакцију система. Систем се састоји из већег броја компоненти. Свака компонента за себе опет представља сопствени подсистем.

Граница система, је граница која раздваја систем од окружења. Граница система једне зграде може да буде горња површина спољних грађевинских елемената. Преко ове границе се врши термичка и хигроскопска измена између објекта и околине као система.

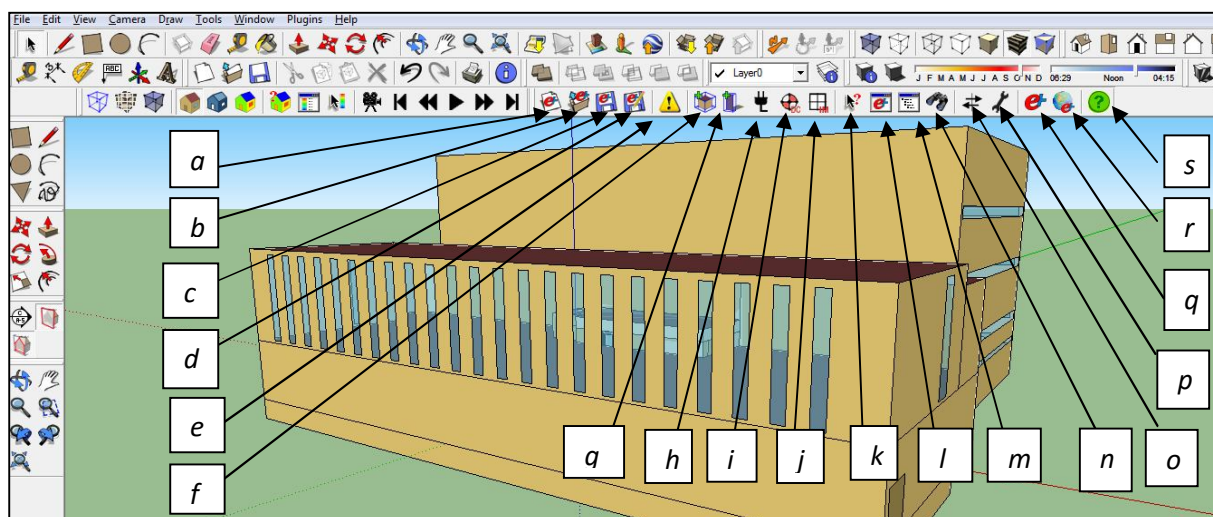
Стање система, је приказ стања система мереног у једном тренутку. Зависно од климатских услова околине и термичких утицаја изазваних од стране корисника и особности техничке опреме, ствара се у унутрашњости објекта стање система које се може представити преко мерљивих физичких величина као што су температура и влажност у просторији [13].

„**ENERGY PLUS**“ је софтвер и служи архитектама, инжењерима и истраживачима за лакше одређивање и пројектовање зграда и објекта за посебне намене (тржни центри, школе, канцеларије, магацини,...) са аспекта потрошње енергије и воде (слични софтвери: **Energy-10**, **Desing Bilding software**, **Hevacomp**, **Hourly Load Calculation Program**, **ECOTECT**, **EFEN**, **EP-Quick**). Развијан и подржан од стране **U.S. Department of Energy**, присутан је у свету а и код нас.

Програм је направљен тако да је компатибилан са свим оперативним системима (**Windows**, **Macintosh** и **Linux**), једноставне концепције па је проширив и надоградив. Спољни изглед је груб али се испод тога крије моћан софтвер без претераних естетских осврта.

Софтвер ће урадити оно што му ви задате, наиме ако су добри подаци као полазиште убачени у њега, добиће се и резултати вредни пажње у виду потрошње енергије.

Кроз 3Д програме за моделирање као што су **Skech Up** [14] и **Open Studio** може се нацртати одређени објект а кроз **Energy Plus** [15] покренути симулација након уноса текстуалних података у виду бројева и слова.



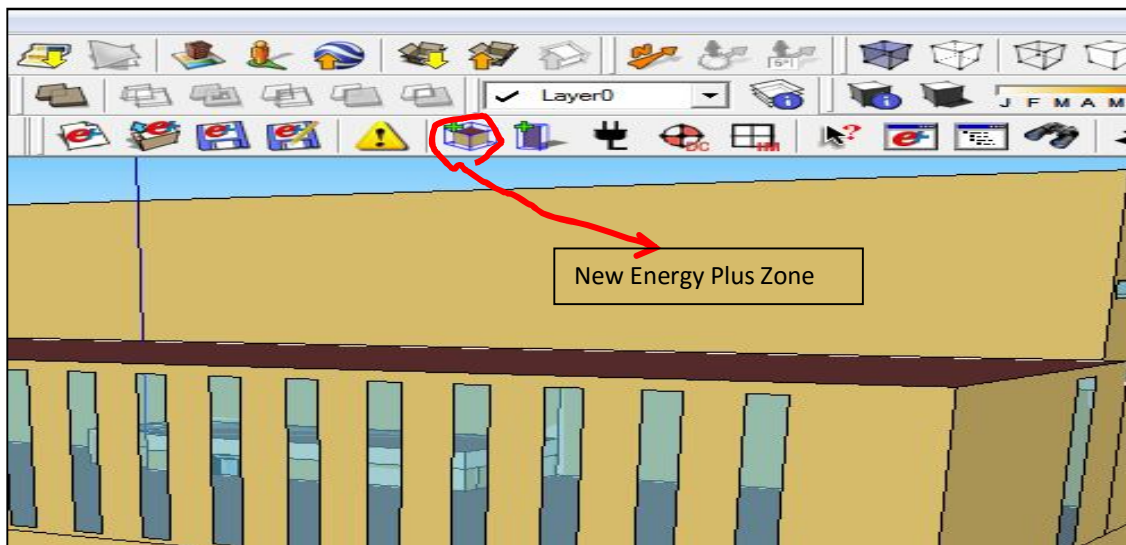
Слика 3.1- 1 Алати који се користе у Energy Plus

На слици 3.1-1, су приказани алати који се употребљавају а њихово значење је:

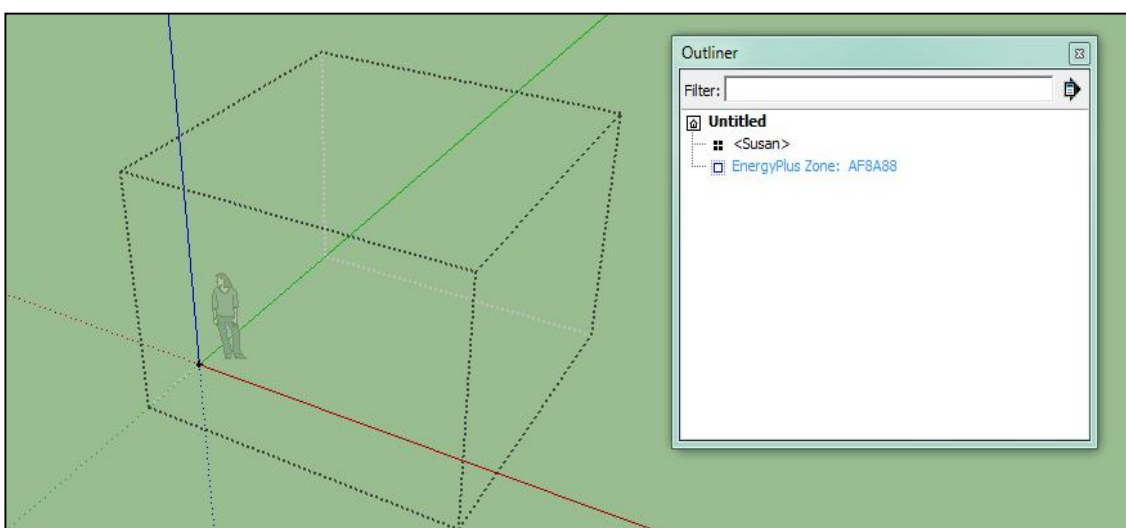
- a) **New Energy Plus Input File** (нови ЕП улазна датотека)
- b) **Open Energy Plus Input File** (отвори ЕП улазну датотеку)
- c) **Save Energy Plus Input File** (сачувај ЕП улазни документ)
- d) **Save As Energy Plus Input File** (сачувај као ЕП улазни документ)
- e) **Show Errors and Warnings** (покажи грешке и упозорења)
- f) **New Energy Plus Zone** (нова ЕП зона)
- g) **New Energy Plus Shading Group** (нова ЕП група сенки)
- h) **Zone Load** (оптерећење зоне)
- i) **New Energy Plus Daylighting Control** (нови ЕП контролер дневног светла)
- j) **New Energy Plus Illuminance Map** (нови ЕП контролер расвете)
- k) **Info Tuls** (алат за информације)
- l) **Show Object Info Window** (оквир за приказ информација)
- m) **Show Outliner Window** (оквир за приказ целина)
- n) **Search Surfaces** (тражење површина)
- o) **Surfaces Macing** (мапирање површина)
- p) **Default Constraction** (уобичајене конструкције)

- q) **Run Energy Plus Simulacion** (покретање ЕП симулације)
- r) **Conection to the Energy Plus Example File Generator** (повезивање са ЕП базом примера)
- s) **Help** (помоћ)

Цртање у **Energy Plus** се започиње уласком у нову ЕП зону преко одговарајућег алата као што је приказано на слици 3.1- 2.

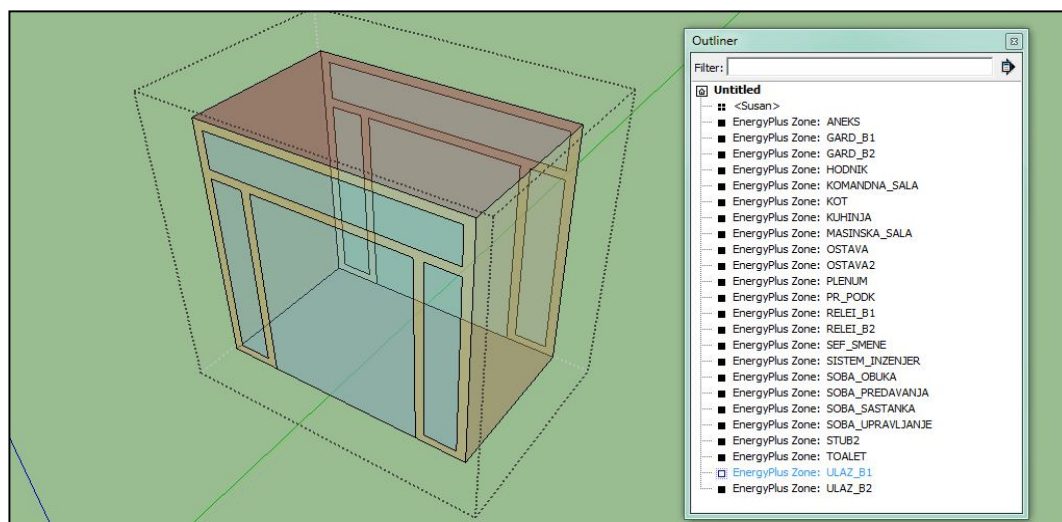


Слика 3.1- 2 Начин приступања новој зони преко апликације „New Energy Plus Zone“



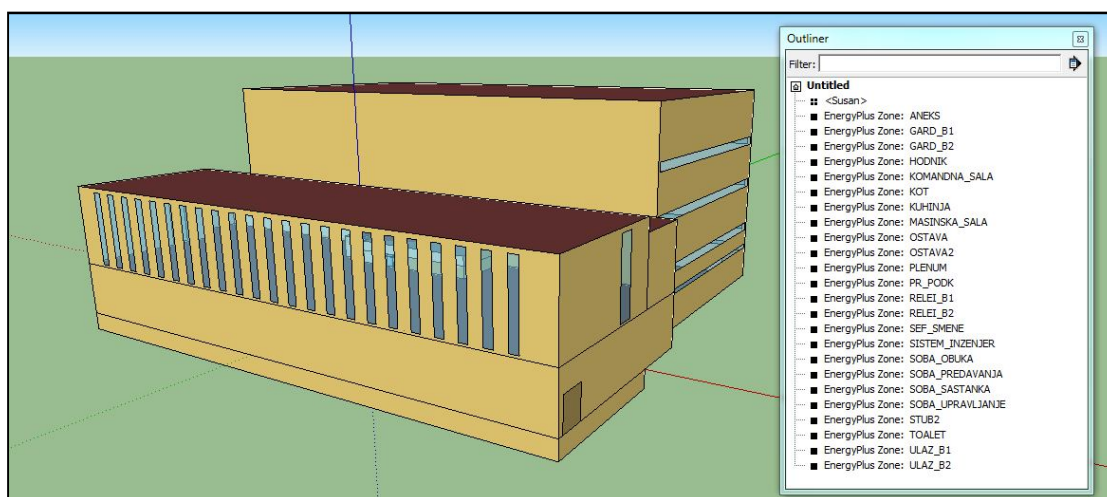
Слика 3.1- 3 Изглед окружења при отвореној зони

На слици 3.1-3 је приказана нова ЕП зона у оквиру које је могуће цртати и самим тим формирање одређеног простора који се даље узима у обзир приликом коришћења софтвера. Outliner- представља нову зону (аутоматски додељена адреса зоне „Energy Plus Zone: AFBA88“) са називом, ово је назив који је одредио сам програм. Да би зона била дефинисана, уписује са назив зоне како нама одговара, у овом случају то ће бити: ULAZ_B1.



Слика 3.1- 4 Изглед већ готовог објекта у зони

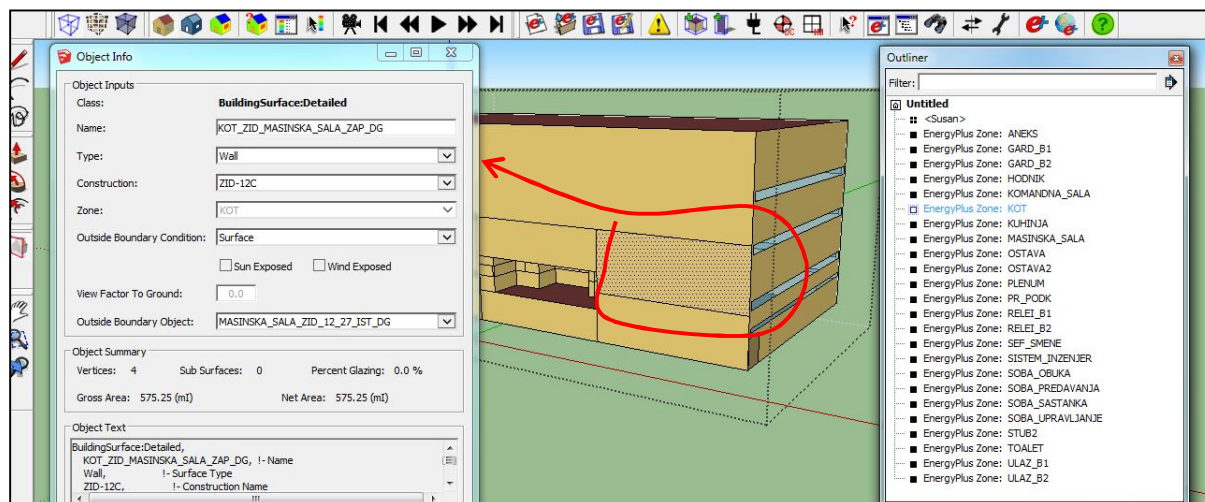
Већ дефинисана зона (улаз Б1) са својим зидовима, подом, плафоном и стакленим вратима и прозорским стаклима, приказано на слици 3.1-4.



Слика 3.1- 5 Изглед свих уцртаних објеката као целина

Завршен рад у **Skech Up** коришћењем алата **Energy Plus** приказан на слици 3.1-5.

По завршетку цртања, коришћењем опције „**Show Object Info Window**“ могуће је преко поља за упис имена и преко падајућих менија одабрати тип, конструкцију, карактер граничних елемената и других дефинисаних опција (зид, плафон, под, прозор, врата). Илустрација на слици 3.1-6.



Слика 3.1- 6 Приказ информатора за конкретан зид (назив, тип, конструкција и зона припадности)

Да би се из падајућег садржаја изабрао назив који се односи за одговарајућу површину, потребно је уписати иницијале у имену који ближе одређују површину и непоновљиви су (просторија-KOT, објекат-ZID, оријентација ка просторији-MASINSKA_SALA, страна света-ZAP, ближе одредиште-DG).

3.1.3 Пробни модел (отклањање недостатака и провера зона у простом окружењу)

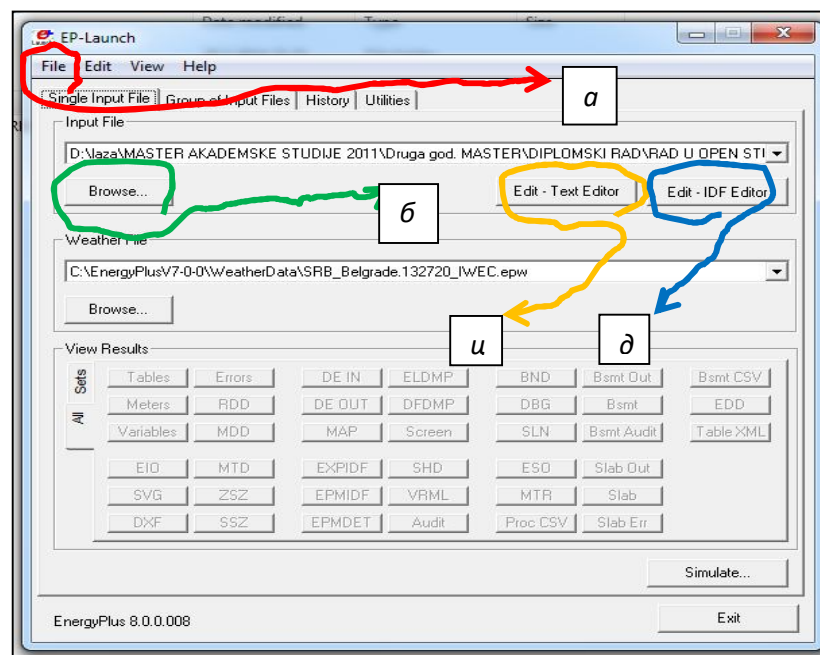
Пре него што се приступи симулацији у траженом окружењу пожељно је одрадiti један мали ТЕСТ кроз најједноставнији вид симулације. Тест је пожељно одрадiti због могућности грешака геометријске природе које се теже проналазе у већим симулацијама.

С обзиром да се у оквиру пакета „**Energy Plus**“ приликом преузимања са сајта, добија и велики број примера (**ExampleFiles**) који се могу користити као добра основа за рад, такође ту се налазе и вежбе (фасцикла „**BasicsFiles**“, документ „**Exercise**“). Коришћење „**Exercise**“ је прикладно за тестирање урађених модела што је у овом раду и примењено.

За овај рад је употребљен модел „**Exercise2**“, отворен преко „**Ep-Lunch**“ и искоришћен као основа теста.

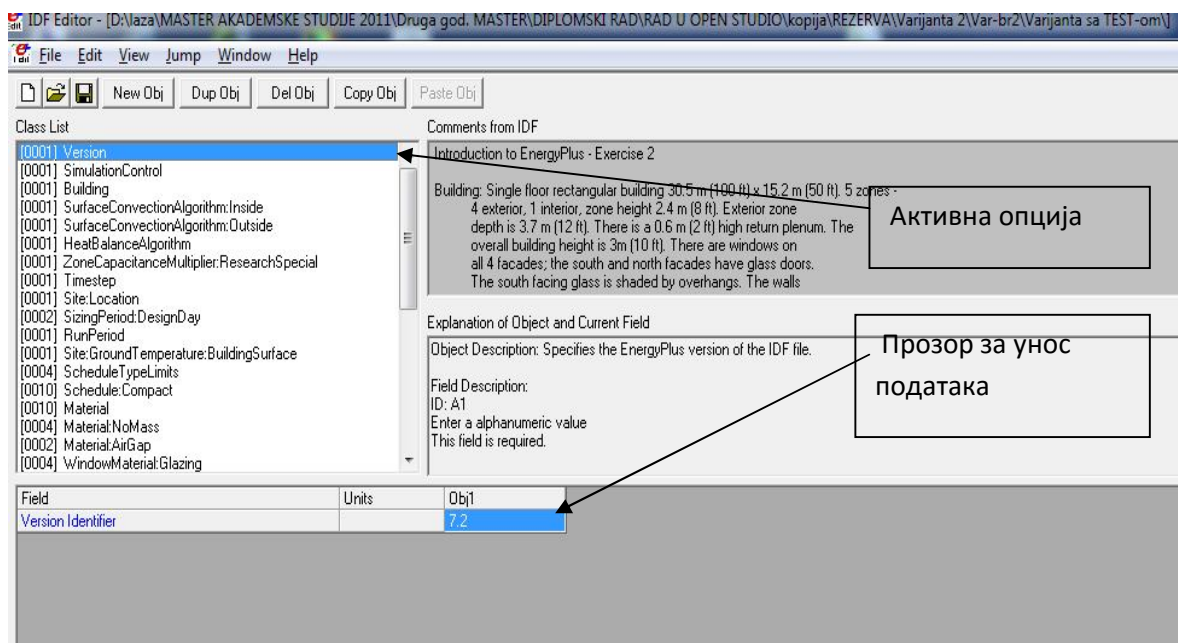
„Input File“ је документ који је отворен у „Ep-Lunch“ а исти се може отворити и преко „Browse“ као што је приказано на слици 3.1-7 под „а“, ови документи имају екстензију „IDF“.

„Weather File“ је генерисан документ о временским карактеристикама за одређено географско подручје. Такође се може преко „Browse“ изабрати, ови документи имају екстензију „EPW“ на слици 3.1-7. приказано под „б“.



Слика бр. 3.1-7 Изглед „EP Launch“ са позицијама: а) отварање одговарајућег документа; б) могућност тражења преко „Browser“ са поруком отвореног документа; у) учитава текст документа; д) отвара IDF апликацију за унос података

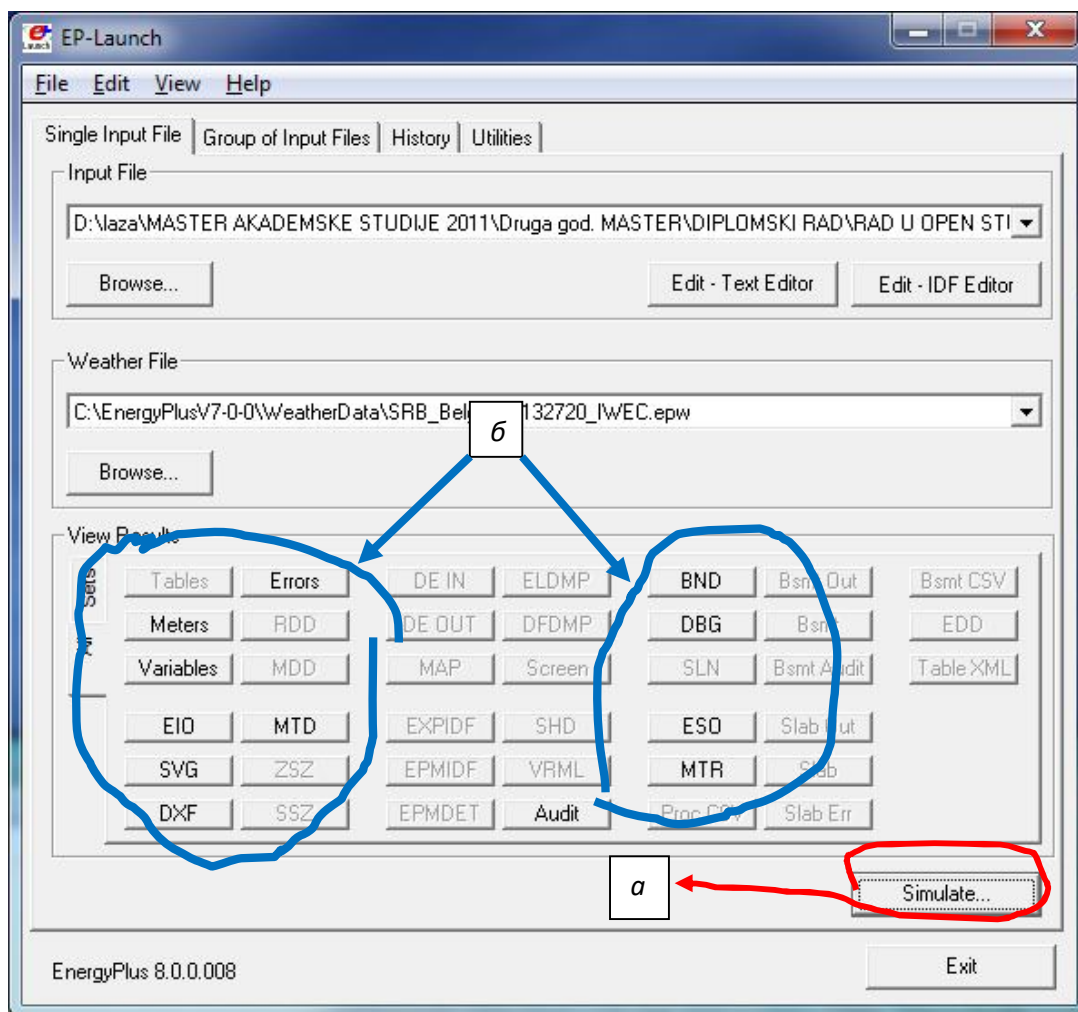
„Edit-IDF Editor“ (слика 3.1-7 позиција д.) се покреће и у њему се врше корекције и покретања одређених опција за потребе симулација. На слици 3.1-8 је изглед отвореног „Edit-IDF Editor“.



Слика бр. 3.1-8 Изглед отвореног „Edit-IDF Editor“.

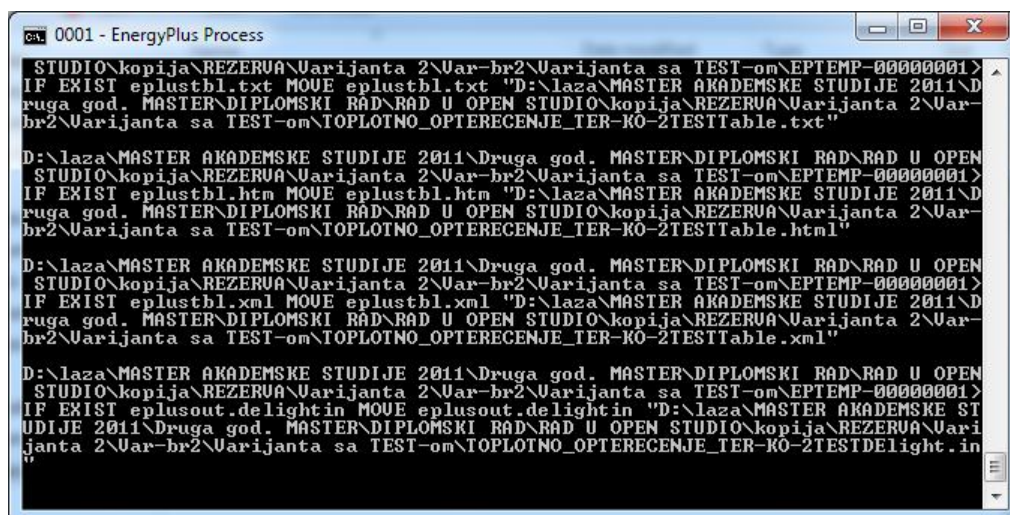
Као што је раније наглашено, ово је моћан софтвер и садржи опције за широко подручје примене почевши од грејања, хлађења, вентилације, климатизације, соларних панела, грејање и употреба топле воде. На слици 3.1-8 је изглед компримованог прозора (опције које су у употреби), исти се може раширити, и проширити неупотребљеним опцијама (притиском на „**Ctrl+L**“).

Опције које су у овом фајлу „**Exercise2**“ активне, искоришћене су у радном фајлу „**TOPLOTNO_OPTERECENJE_TER-KO-2TEST**“ (урађен у „**Energy Plus**“) и након тога пуштена је симулација (приказ на слици 3.1-9) коришћењем опције **a.(Simulate)**.



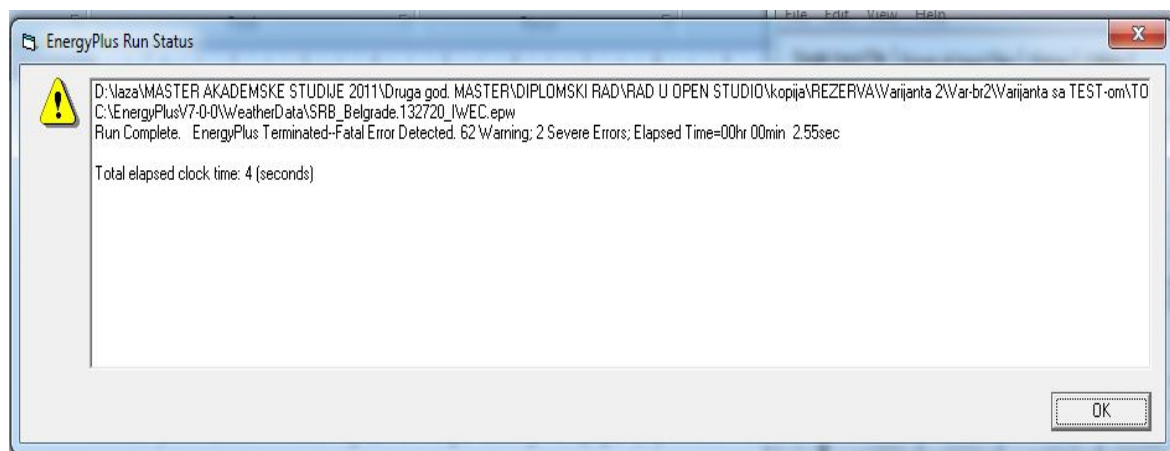
Слика бр. 3.1-9 а) притиском тастера „Simulate“ покреће се симулација, након извршене симулације добијени резултати се могу погледати приступом преко активних тастера на картици „View Results“ под „б“

На истој слици 3.1-9 обележено је под б., „View Results“ приказ резултата симулације, текстуалног и табличног. Такође, у ову групу резултата спаду и приказ у Internet Explorer-у блок шеми климатизација, грејање и хлађење, као и слика у Auto CAD-у.



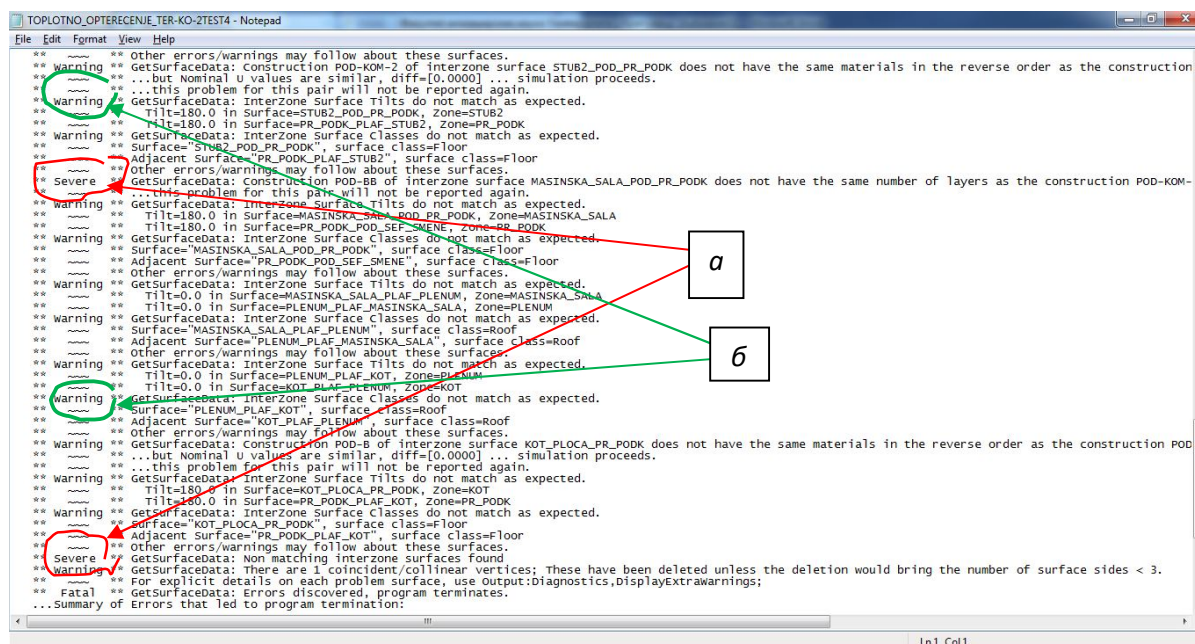
Слика бр. 3.1-10 Процес прорачунавања

На слици 3.1-10 приказан је процес симулације док се на слици 3.1-11 налази приказ поруке након извршене симулације „**Energy Plus Run Status**“ (у резултату се види да након симулације имамо 62 упозорења „**Warning**“, 2 грешке „**Severe Errors**“ и време процеса-„**Elapsed Time**“ од 00 часа, 00 минута и 2,55 секунде.



Слика бр. 3.1-11 Порука након завршене симулације „**Energy Plus Run Status**“

У оквиру резултата симулације између осталих, постоји листа грешака „**Errors**“ (слика 3.1-12). Њеним отварањем може се увидети где су грешке и упозорења (приказ на слици 3.1-12, а-грешке, б-упозорења).



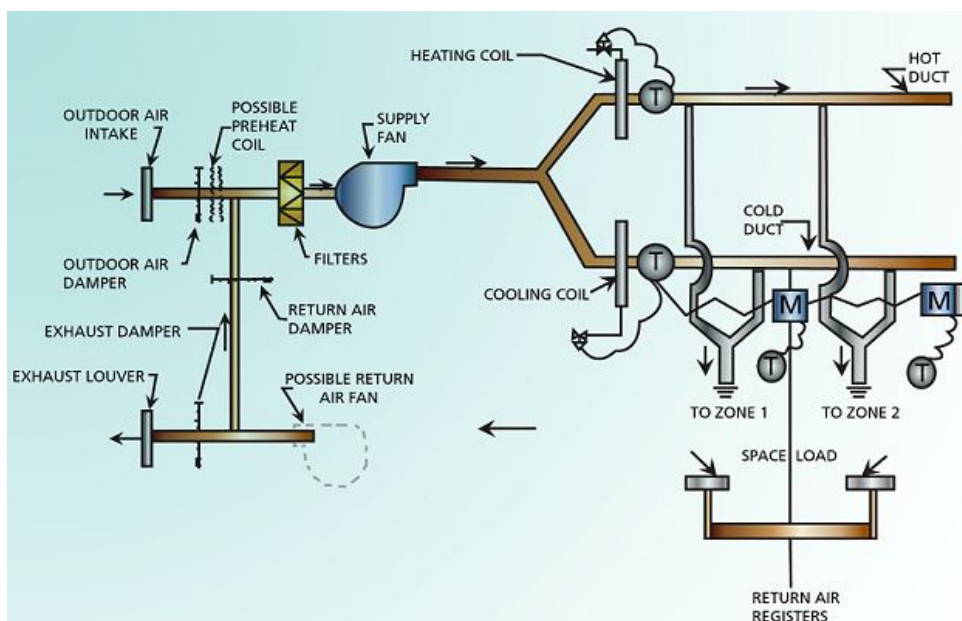
Слика бр. 3.1-12 Листа са порукама а) грешке; б) упозорења

Поступно су уклоњене грешке које су се током цртања подвукле и након тога приступа се примени „очишћеног“ модела у главној симулацији.

Оваквим приступом се избегава да у самој симулацији дође до несаосности и несиметрија које неће дозволити одраду симулације до краја.

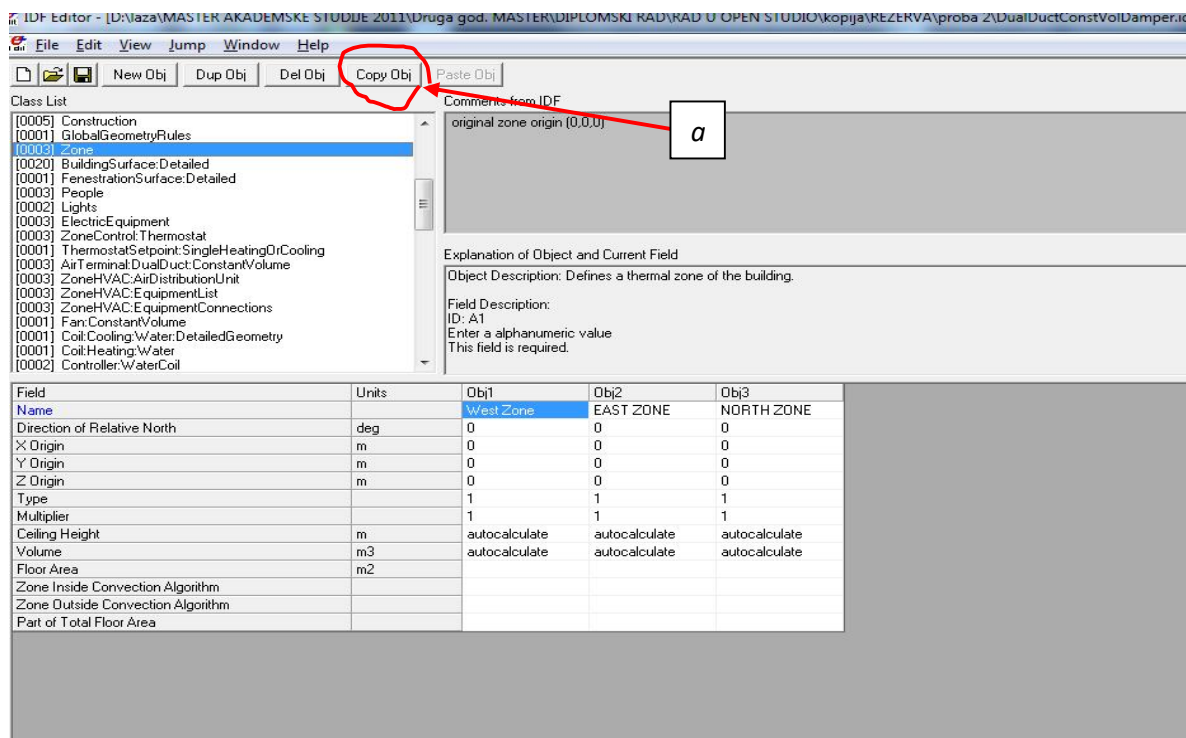
3.1.4 Прорачун у „ENERGY PLUS“ - изведено стање климатизације на термокоманди

Полазни модел за овај рад је узет из „ExampleFiles“ под називом „Dual Duct Const Vol Damper“. У питању је двоканални доток са константном количином удубаног ваздуха, канал са хладним и канал са топлим ваздухом. Удувавање се врши преко мешача у одређене зоне. Шематски приказ двоканалног система приказан је на слици 3.1-13. За количину и потребан притисак ваздуха задужен је вентилатор (supply fan) а пренос топлоте се врши преко водених измењивача топлоте (cooling coil, heating coil). Каналима топлог (hot duct) и хладног (cold duct) ваздуха врши се допрема ваздуха која се накнадно мешају у мешачу (mix) и убацује у зоне (zone 1, zone 2,...) које се климатизују. Повратним каналима (return air registers) се враћа ваздух из просторија на упис вентилатора а остатак ваздуха се избацује (exhaust louver), жељени однос се остварује пригушивањем или отварањем клапни (exhaust damper) на каналу за избацавање или на каналу за рецикулацију (return air damper) ваздуха. Потребне количине свежег ваздуха се узимају споља (outdoor air intake) и третирају преко филтра (filters) где се врши одстрањивање физичких нечистоћа.



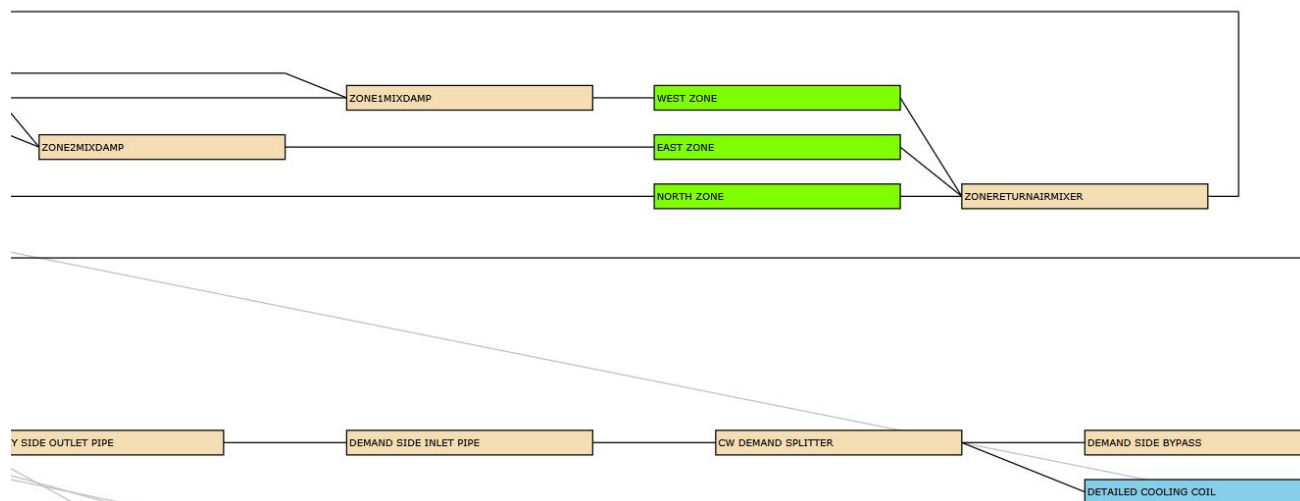
Слика 3.1- 13 Пример шематског приказа система КЛИМАТИЗАЦИЈА, ГРЕЈАЊЕ И ХЛАЂЕЊЕ са два канала

Као што је раније наглашено „Dual Duct Const Vol Damper“, је искоришћен као основа система за климатизацију ТЕРМОКОМАНДЕ, опције се једноставно примене као у примеру или се увезу из „ExampleFiles“. Приликом увоза (copy/past) одређени фајл се сам инсталира на потребну позицију без потребе пређашњег отварања поља (Слика 3.1- 14).



Слика 3.1- 14 Копирање података из других примера у актуелан рад; а) дугме за копирање селектованог објекта

Блок шема („Dual Duct Const Vol Damper“) приказана је на слици 3.1- 23, иста је приказана преко „Internet Explorer“ и њен изглед је на слици 3.1- 15. На слици је детаљ приказа, клапна зоне за мешање-мешач (ZONE 1 MIXDAMP), зона (WEST ZONE), мешајућа зона за повраћај (ZONE RETURN AIR MIXER).



Слика 3.1- 15 Шема инсталације система „Dual Duct Const Vol Damper“ (сегмент)

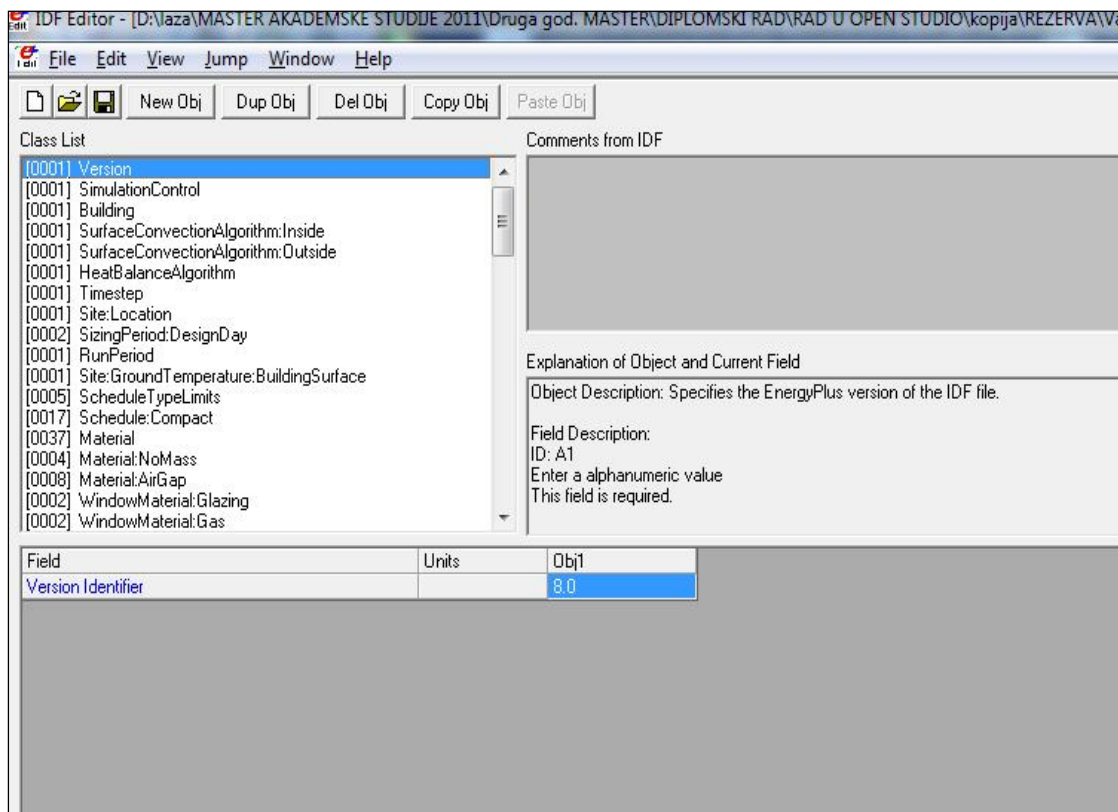
Блок шема климатизације ТЕРМОКОМАНДЕ је приказана на слици 3.1- 16, сви елементи климатизације су исти уз повећан број зона које су климатизоване (означено на слици маркером).



Слика 3.1- 16 Шема развода ваздуха по зонама из рада (сегмент)

Након увеженог модела приступа се задавање потребних параметара у оквиру „**Edit-IDF Editor**“ (приказ на слици Слика 3.1- 17) и уноса описа који су препознатљиви „**Energy Plus**“.

Simulation Parameters – Ова група објеката утиче на симулацију на различите начине, следећи делови ове групе су описани а примењени у оквиру програма за прорачун.



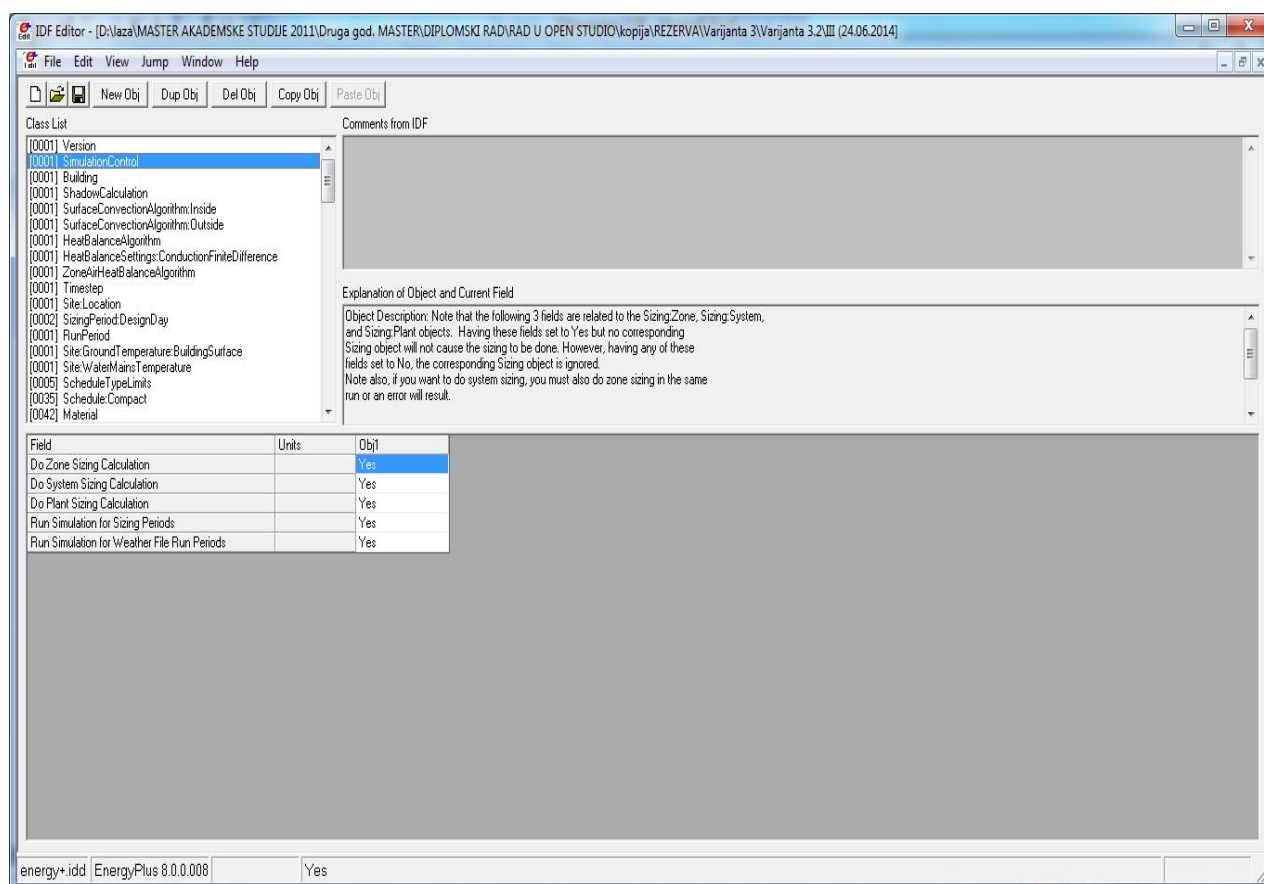
Слика 3.1- 17 Верзија актуелног програма „Energy Plus“

Version- је прва ставка у „**Edit-IDF Editor**“, овде се врши одабир верзије програма (Слика 3.1- 17). U ovom slučaju to je verzija 8.0.

Simulation Control- врши се активирање (слика 3.1-18) одређених симулација:

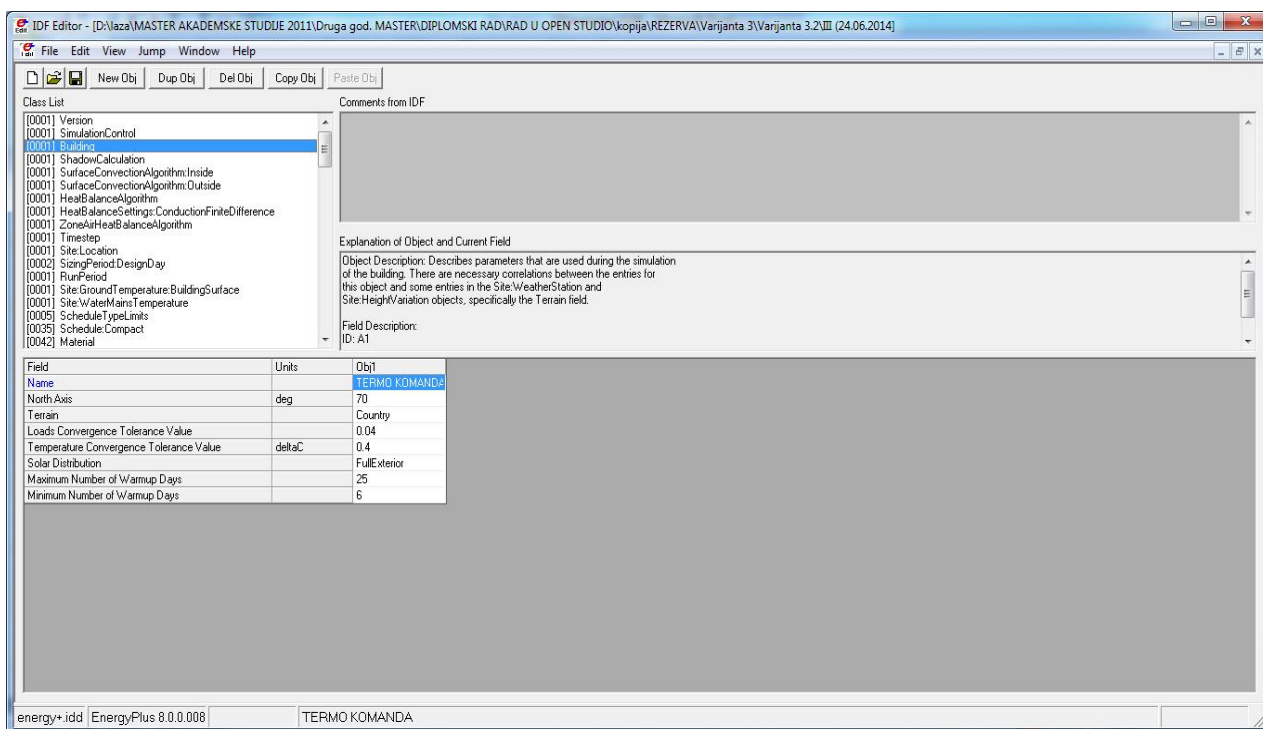
- a) **Do Zone Sizing Calculation – Yes/No**
- b) **Do System Sizing Calculation – Yes/No**
- c) **Do Plant Sizing Calculation – Yes/No**
- d) **Run Simulation for Sizing Periods – Yes/No**
- e) **Run Simulation for Weather File Run Period – Yes/No**

Уписом текста или одабиром одређених опција које се налазе у падајућем мениу, врши се прилагођавање програма за предстојећу симулацију рада (слике од 3.1-19 до 3.1-101).



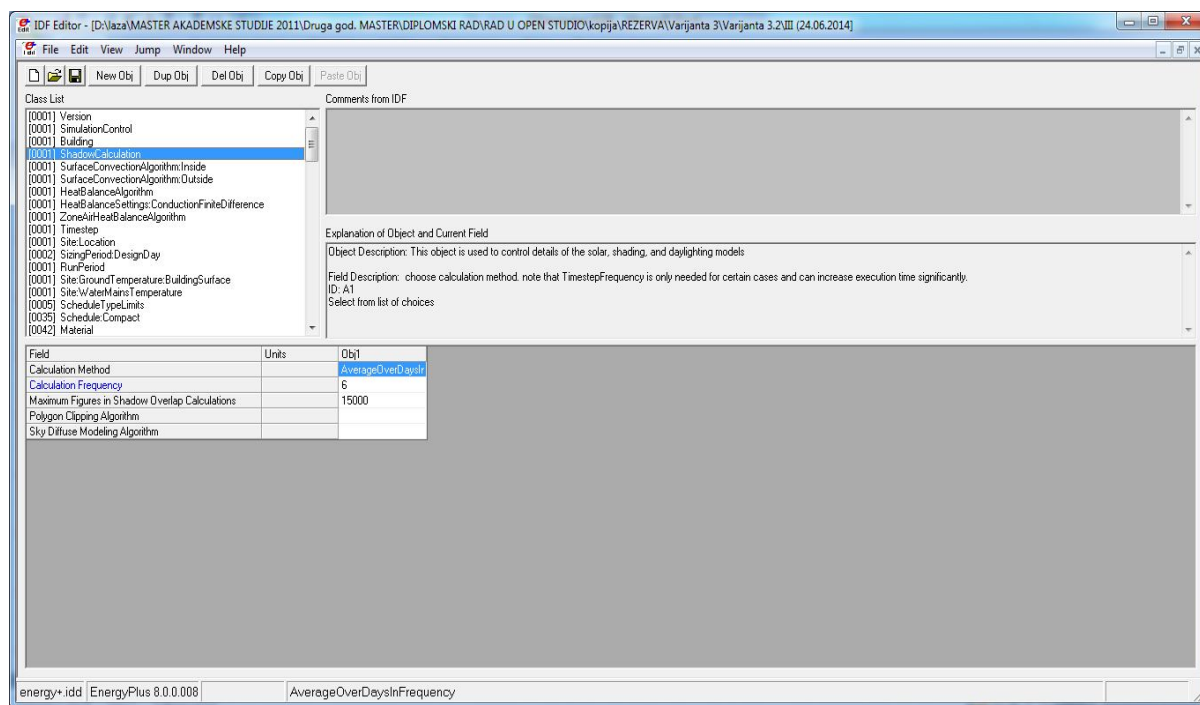
**Слика 3.1- 18 Simulation Control – Управљање симулацијом
(врши се управљање симулацијама у зависности од жељених
резултата)**

На слици 3.1-18, у циљу симулације постављени су услови за симулацију као што су: прорачун величине зоне, прорачун величине система, прорачун постројења система, као и период симулације и коришћење Weather File за симулацију услова. У овом случају све су опције одобрене тако да ће програм урадити све што је везано за наведене симулације.



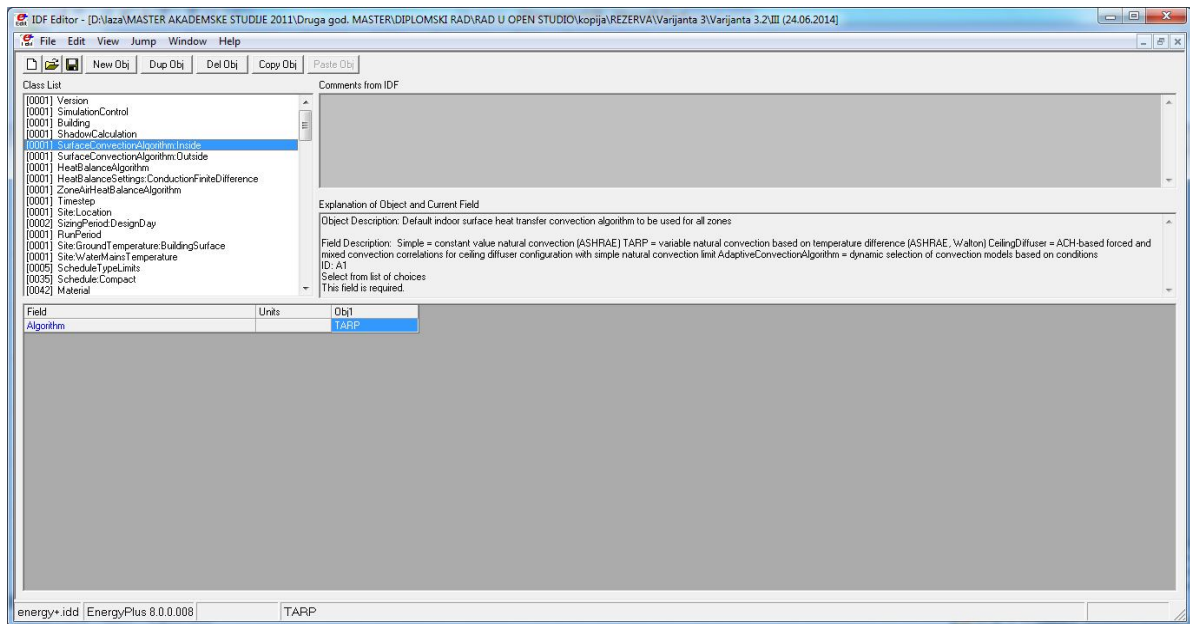
Слика 3.1- 19 Building – Грађевина,опис положаја грађевине и начин симулације.

На слици 3.1-19, уносе се основни подаци везани за грађевину (назив, положај грађевине-угаона помереност у односу на север, квалификација терена, толеранција конвергенције, температурна конвергенција, соларно снабдевање, максимални број дана загревања, минимални број дана загревања).



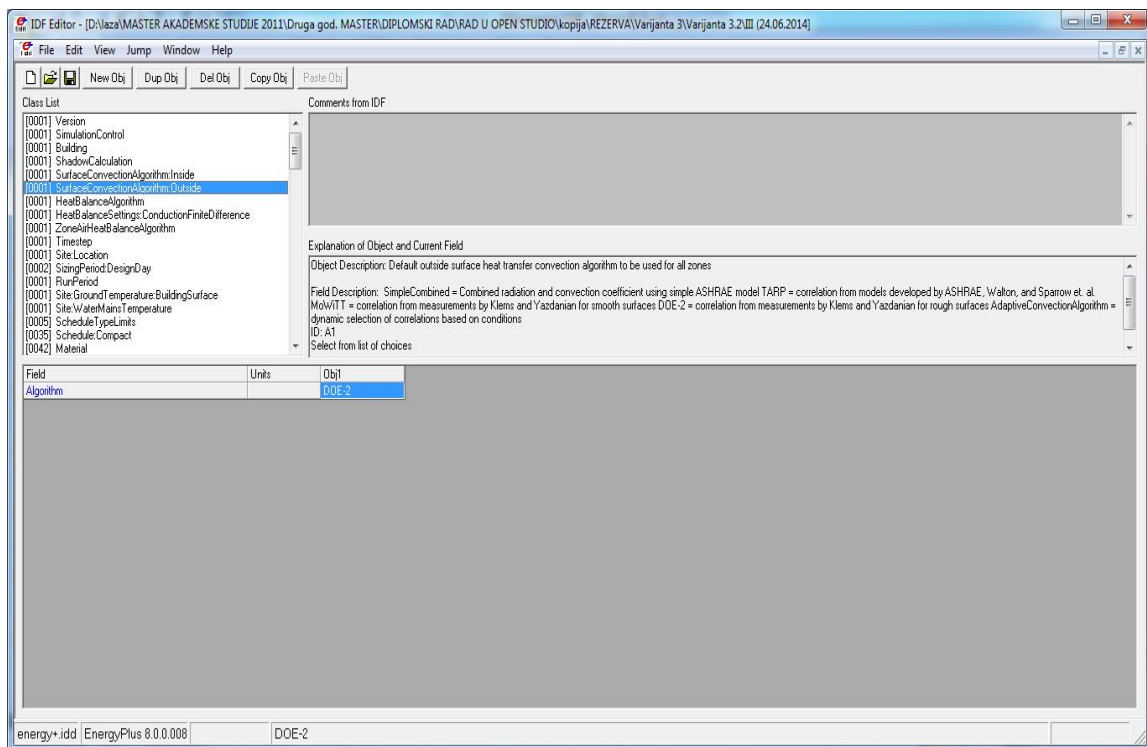
Слика 3.1- 20 Shadow Calculation – Обрачун засенчености

Калкулација сенке је приказана на слици 3.1-20, (начин калкулације, калкулациона учесталост, максимални број фигура у поклапању сенки).



Слика 3.1- 21 Surface Convection Algorithm: Inside – Алгоритам преноса топлоте - унутрашња страна.

Слика 3.1-21, представља алгоритам који је примењен за пренос топлоте са унутрашње стране (одабрани алгоритам за температурну разлику са природном конвекцијом).



Слика 3.1- 3 Surface Convection Algorithm: Outside – Алгоритам преноса топлоте – спољна страна.

На слици 3.1-22, представљен је примењени алгоритам преноса топлоте са спољне стране (однос мерења по Kleams-у и Yazdarian-у за неравне површине).

- **Heat Balance Algorithm**- топлотни баланс, алгоритам. Изабрана је функција преноса топлоте кондукцијом.
- **Heat Balance Settings: Conduction Finite Difference**- топлотни баланс, подешавање, пренос топлоте коначним резликама. Употребљена је безусловна прва команда.
- **Zone Air Heat Balance Algorithm**- алгоритам топлотне равнотеже ваздуха у зони. Употребљено је аналитичко решење.
- **Timestep** – Временски корак симулације. Изабрани корак симулације је 4 (четири симулације у току једног часа односно на 15 минута).

Location and Climate – Локација и климатски услови.

- **Site: Location** – Географски положај објекта. Употребљен је метеоролошки податак најближег места са локацијом: Београд.
- **Sizing Period: Design Day** – период разматрања, креиран дан. Креиран дан са параметрима ће бити употребљен за тест симулације.
- **Run Period** – Почетак симулације (период симулације), са крајем симулације. Унет је период симулације а користиће се метеоролошки услови локације.
- **Site: Ground Temperature: Building Surface** – Температура земљишта током симулације.
- **Site: Water Mains Temperature** – Средња температура воде. Узима се у обзир међусобни однос.

Schedules – Ова група омогућава да се кроз опис ствари (као што су: присутност, осветљење, контрола термостата, врста активности, ...), ближе и јасније објасне услови који се користе у програму као подлоге.

- **Schedule Type Limits** – ограничења модела подлога. Примењена су ограничења за било који број, разломке, температуре, укључи/искључи, тип контроле.
- **Schedule: Compact** – Подлоге са садржајима. Садржаји се уписују у зависности од потребе процеса који се одвија.

Surface Construction Elements – Опис физичких особина грађевине и његових делова (прозори, зидови , подови, кровови, врата, ...)

- **Material** – Списак употребљених материјала са карактеристикама као што су стање површине, дебљина, проводност топлоте, густина, специфична топлота,...
- **Material: No Mass** – Употребљени материјали са занемаривом масом.
- **Material: Air Gap** – Ваздушни зазор.
- **Window Material: Glazing** – Материјали за прозоре: стакло.
- **Window Material: Gas** – Материјал за прозоре: гас.
- **Construction** – Примењене конструкције. Број слојева конструкције је ограничен до 10 а слојеви прозора на 8.

Thermal Zones and Surfaces – Да би се извршила симулација грађевине, одређују се карактеристике термалних зона и површина.

- **Global Geometry Rules** – Геометријске поставке и мере. Почетна тачка, правац гледања, координатни систем,...
- **Zone** – Дефинисање термалних зона. Одређивање стране света-север, запремина просторије, висина просторије, површина,...
- **Building Surface: Detailed** – Детаљи површина грађевине. Омогућава да се види где се улази пролаза топлоте на детаљима.
- **Fenestration Surface: Detailed** – Детаљи прозора, врата, стаклених врата,...

Internal Gains – Кроз интерне добитке (људи, расвета, остала опрема) представљено је топлотно оптерећење зона кроз листу добитака.

- **People** – Људи и њихове активности са својим утицајем на средину (зона коришћења).
- **Lights** – Расвета, упис добитака у зони од расвете.
- **Electric Equipment** – Електрични уређаји, добици по зонама од уређаја.

Zone Airflow – Група проток ваздуха по зонама, једна од важнијих карактеристика за потрошњу енергије у грађевини. У зависности од врсте протока ваздуха (природна или принудна циркулација), коришћење вентилатора за извлачење ваздуха, инфилтриран или ваздух који се меша из једне термалне зоне у другу термалну зону, управо је то описано кроз ову групу.

- **Zone Infiltration: Effective Leakage Area-** Инфилтрација ваздуха у зонама. Уноси се ефективна површина кроз коју цури ваздух услед разлике притиска, разлике температуре, утицај ветра,...
- **Zone Cross Mixing-** Унакрсно мешање ваздуха између зона, прелазак из једне зоне у другу.

HVAC Design Objects – Да би програм успешно прорачунао (изврши калкулацију) потребно је унети у ову групу вредности које ће утицати на ауто калкулацију.

- **Design Specification: Outdoor Air-** Спољни ваздух који представља потребну количину ваздуха која ће се користити за друге објекте.
- **Sizing: Parameters-** Величина за спецификацију удела хлађења, грејања.
- **Sizing: Zone-** Димензионисање зона. Врши се унос података да би се извршио задатак у зони (температуре, протоци, масе ваздуха).
- **Sizing: System-** Димензионисање система. Уносе се подаци за принудно убачен ваздух (дизајн система ваздуха, капацитет хлађења, капацитет грејања).
- **Sizing: Plant-** Димензионисање постројења. Аутоматско димензионисање постројења и капацитета (користи иницијалне информације од воде за грејање и хлађење у измењивачима за израчунавање протока воде), протоци се затим користе за сабирање у петљама постројења.

Zone HVAC Controls and Thermostats –У овој групи се може изконтролисати четири типичне вредности: термостат (зонски термостат, контролише температуру ваздуха), хигростат (контролише релативну влажност зоне), температура (заснована на термоугодности модела) и термостат са оперативном температуром (користи се за све зоне).

- **Zone Control: Thermostat-** Зонски контролни термостат. Дефинише подешеност термостата за одређену зону.

- **Thermostat Setpoint: Single Heating or Cooling Setpoint-** Задата вредност (једног) термостата унета као подлога, која се користи за грејање и хлађење.

Zone HVAC Air Loop Terminal Units – Дефинише ваздушне петље и разделне јединице.

- **Air Terminal: Dual Duct: Constant Volume-** Прикључак за ваздух са два канала и константног протока. Централни разделни систем са називима канала проток ваздуха.
- **Zone HVAC: Air Distribution Unit-** Јединице за дистрибуцију ваздуха одређених зона (грејање, вентилација и хлађење). У овом делу се врши описивање јединице за дистрибуцију као целина.

Zone HVAC Equipment Connections – Повезивање опреме у зонама захтева улазне чворове као и излазне. Називи чворова морају бити јединствени због одраде програма који се позива на називе чворова за одређену опрему.

- **Zone HVAC: Equipment List-** Листа опреме. Да би се користила опрема која је инсталирана, мора бити наведена и правилно нумерисана по редоследу и повезаности система.
- **Zone HVAC: Equipment Connection-** Повезивање опреме. Наводи се опрема која се повезује у чвориштима (чворишта у зонама, улазна, излазна и повратна чворишта опреме).

Fans – Вентилатор, унос карактеристика.

- **Fan: Constant Volume-** Вентилатор константан проток. Рад вентилатора је уређен подлогом и на основу ње ће се извршавати радни циклус без обзира на режим хлађења или грејања.

Coils – Измењивачи топлоте (грејаћи и хладњаци).

- **Coil: Cooling: Water-** Измењивач водени хладњак. Улазне вредности воде и ваздуха и начин димензионисања.

- **Coil: Heating: Water-** Измењивач водени за грејање. Улазне вредности воде и ваздуха и начин димензионисања унакрсног измењивача.

Controllers – Ствара се листа контролираних вредности (спољни ваздух, хладна вода, топла вода, ...) и начин реаговања, редослед је дефинисан листом контролера.

- **Controller: Water Coil-** Контролер воденог измењивача. Контролер који је директно повезан са ваздушном петљом за остваривање радне температуре утицајем на измењивач воде хлађења и измењивач воде грејања.
- **Air Loop HVAC: Controller List-** Ваздушна петља климатизација, грејање и хлађење-листа контролера. Листа контролера у секвентној наредби.

Air Distribution – Дефинише затворен круг дистрибуције ваздуха са својим петљама

- **Air Loop HVAC-** Ваздушна петља климатизација, грејање и хлађење. Објашњава централни систем принудне циркулације ваздуха.
- **Air Loop HVAC: Zone Splitter-** Ваздушна петља разделника климатизација, грејање и хлађење за зоне. Разделник ваздушне струје (могуће је до 500 дељења), имена разделника се не могу понављати.
- **Air Loop HVAC: Supply Path-** Ваздушна петља-пут снабдевања. Напојни вод може да садржи само ваздушне петље, разделнике и путеве снабдевања који могу да се повезују серијски и паралелно.
- **Air Loop HVAC: Zone Mixer-** Ваздушна петља климатизација, грејање и хлађење-мешач зона. Мешач улазних водова а којих може да буде више и сведе се у један (може их бити 500), не могу се понављати називи мешача у једној зони.
- **Air Loop HVAC: Return Path-** Ваздушна петља климатизација, грејање и хлађење-повратни вод. Повратни вод може да садржи само један мешач или један и више ваздушних петљи пленума за повратак.

Node-Branch Managemant – Одређује повезивање грана.

- **Branch-** Грана. Унос листе компоненти у симулацији и начин повезивања.

- **Branch List**- Листа грана. Гране се наводе у токовима као: улазна грана, затим паралелне гране, и након тога излазне гране. Гране се наведене у облику листе.
- **Connector: Splitter**- Прикључак у разделник. Разделник за ваздух/вода огранке, имена грана не може да се дуплира.
- **Connector: Mixer**- Повезивање у мешач. Миксовање ваздуха/воде у огранку.
- **Connector List**- Списак повезивања. Два прикључка су дозвољени по петљи, један мора да буде разделник а други мешач.
- **Node List**- Листа чворова. Користи се за означавање листа чворова, где је потребна листа повезивања чворова.
- **Pipe: Adiabatic**- Адијабатске цеви. Статус улазних и излазних чворова после увођења променљиве величине као и након излаза променљиве величине.

Pumps – Пумпе

- **Pump: Variable Speed**- Пумпе променљиве брзине. Модел пумпи је објашњен у ASHRAE секундарни алати климатизација, грејање и хлађење.

Plant Heating and Cooling Equipment – Употребљена опрема која може да се купи као целина (чилер, измењивач топлоте, ...).

- **Ciller: Electric**- Чилер електрични. Чилер се користи као емпиријски модел оптерећења зграде и у оквиру термодинамичког система (BLAST). Чилер је генерисан са кривама из каталога.
- **District: Heating**- Даљинско грејање. Централизован извор топле воде-грејач а користи се даљинско грејање за снабдевање.

Condenser Equipment and Heat Exchangers – Опрема за кондензацију (расхладне куле).

- **Coolin Tower: Single Speed**- Расхладни торањ са једном брзином. Торањ се заснива на теорији Меркела, која је уједно и основа за ASHRAE и климатизацију, грејање и хлађење алата, праћење расхладног торња се моделира на основу бројача протока топлоте која се извлачи вентилатором за ваздух непромењене брзине.

Plant-Condenser Loop – Постројења и кондензациони чворови.

- **Plant Loop**- Петље постројења.
- **Condenser Loop**- Кондензациона петља. Дефинише централни део постројења кондензационе петље.

Plant-Condenser Control – Контролер коришћења постројења и кондензације.

- **Plant Equipment List**- Списак опреме постројења. Списак опреме постројења у циљу стварања приоритета коришћења.
- **Condenser Equipment List**- Списак кондензационе опреме. Одрада опреме постројења, објект користи сву расположиву опрему петље кондензатора.
- **Plant Equipment Operation: Cooling Load**- Опрема постројења за хлађење. Шема одраде постројења са опремом за хлађење, заступљено је више група опреме расположиве за сукцесивну одраду.
- **Plant Equipment Operation: Heating Load**- Опрема постројења за грејање. Шема одраде постројења са опремом за грејање.
- **Plant Equipment Operation Schemes**- Опрема постројења са радном шемом. Шема рада је наведена у приоритету рада, одабир се врши на основу приоритетне нумерације („1“ па „2“).
- **Condenser Equipment Operation Schemes**- Опрема кондензације радна шема. Шема рада је наведена у приоритету рада, одабир се врши на основу приоритетне нумерације.

System Availability Managers – Менаџер за доступност у систему, подаци који су добијени у чворовима система.

- **Availability Manager: Scheduled**- Менаџер доступности, подлоге. Одређује доступност петље или система, да ли је искључен или укључен. Подлоге приоритета вентилатора/пуме.
- **Availability Manager Assignment List**- Менаџер доступних задатака са листе. Прикладност употребе менаџера је за ваздушне петље као и за петље постројења.

Setpoint Manager – Менаџер задате тачке.

- **Setpoint Manager: Scheduled**- Једноставне подлоге за дефинисање једне од наведених тачака за коришћење.
- **Setpoint Manager: Follow Outdoor Air Temperature**- Користи температуру у чворишту као задату тачку у систему а на основу метеоролошких информација.

Economics – Садржи низ објеката који омогућавају новчану калкулацију.

Output Reporting – Омогућава да се сагледају променљиве у одређеним тачкама и чворовима.

- **Output: Variable Dictionary** – Ствара листу променљивих који учествују у ИДФ датотекама.
- **Output: Surfaces: Drawing** – Ствара графику као излазни податак, својим пружањем слике оно не утиче на улазно-излазне податке.
- **Output: Constructions** – Додатни извештај материјала који су коришћени у конструкцији са спојевима.
- **Output: Table: Summary Reports** – Коначан извештај, број извештаја треба да је коначан због „Кључа“ који се користи у осталим извештајима.
- **Output Control: Table: Style** – Стандардни стилови за изрду табела.
- **Output: Variable** – Постављање сваке променљиве на стандардни излаз датотеке.
- **Output: Meter: Meter File Only** – Прави излазну табелу са вредностима протока која се појављују у симулацијама.
- **Output: Diagnostics** – Дијагностика, активирање специјалног текста за упозорење за одређену симулацију.

На основу урађене симулације у **Energy Plus**, добијени су резултати за зимски период (од 01. октобра до 30. априла) и током којег је утрошена енергија по метру квадратном (m^2) у износу од 277.83 kWh/ m^2 климатизованог простора. У летњем

периоду је (од 01. маја до 30. септембра) по квадратном метру потрошено 150.28 kWh/m².

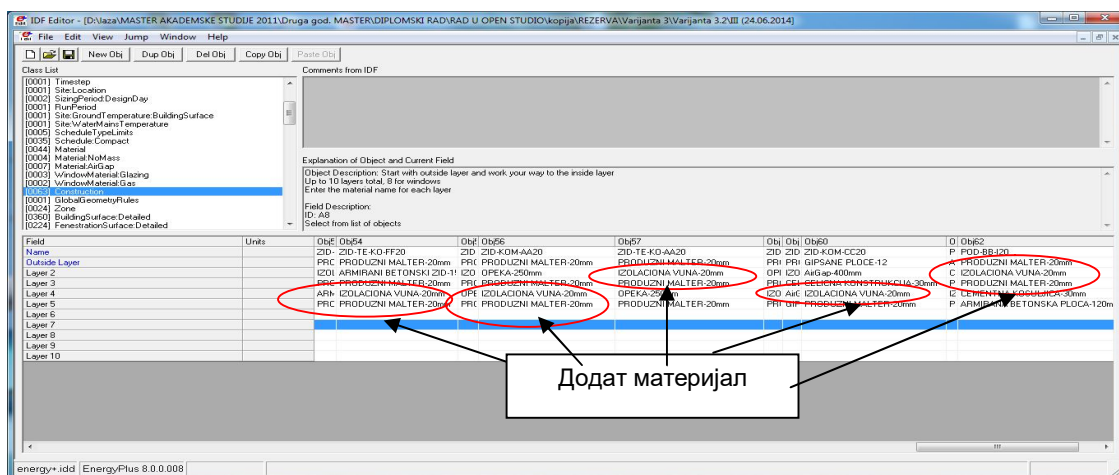
УТРОШАК ЕНЕРГИЈЕ					
3600000		Без изолације (потрошња)			
	Месец	Грејање са измењивачем	Грејање без измењивача	Хлађење	Хлађење са измењивачем
	1	102545.093	62782.790	0.000	0.000
	2	90861.740	57035.190	0.000	0.000
	3	96374.727	64130.360	0.000	0.000
	4	92437.010	64926.930	0.000	0.000
	5	0.000	0.000	65153.950	73850.273
	6	0.000	0.000	62667.920	62667.920
	7	0.000	0.000	65509.070	65509.070
	8	0.000	0.000	65453.670	65453.670
	9	0.000	0.000	68365.480	97167.962
	10	95359.370	66346.960	0.000	0.000
	11	94132.951	62041.780	0.000	0.000
	12	101586.484	63113.500	0.000	0.000
КГХ (kWh)		673297.375	440377.510	327150.090	364648.895
Σ КГХ (kWh)		767527.600			
Σ КГХ грејање (kWh)		1037946.270			
Σ КГХ грејање (J)		3736606572000.000			
Грејање (J)		838511514000.000		134995698000.000	

Табела 3.1- 1 Потрошња енергије на климатизацију, грејање
и хлађење(без изолације на зидовима ТК)

3.2 УРАЂЕН ПРОРАЧУН КЛИМАТИЗАЦИЈЕ И ГРЕЈАЊА СА ПОСТАВЉЕНОМ ТЕРМОИЗОЛАЦИЈОМ И МОДЕЛИРАЊЕМ У ENERGY PLUS

Да би се створила слика о могућим уштедама енергената током експлоатације објекта на којем је постављен термоизолациони материјал (као у овом случају), извршено је више симулација у софтверском пакету „**Energy Plus**“ са разним дебљинама термоизолационог материјала.

У IDF (The input data file) „**Construction**“, урађена је корекција и додат је слој термоизолационог материјала (слика 3.2-1).



Слика 3.2- 1 Придодат термоизолациони материјал у опцију „Construction“

Добијени резултати због боље прегледности и коришћења података су презентовани у табелама и графиконима.

Симулација је урађена за једну календарску годину са поделом у две сезоне: летњу и зимску.

3.2.1 Симулација за додатни термоизолациони материјал (минерална вуна 20мм)

Обзиром на експлоатационе услове и форму коју треба да задовољи, изолациони материјал који се примењује у симулацији је „минерална вуна“. Применом ове врсте термоизолационог материјала уједно је задовољен и услов са становишта противпожарне заштите материјала који су примењени у зонама са повећаним ризиком од појаве пожара због присуства повишених температура а и лако запаљивих и експлозивних материја.

На постојећу конструкцију зидова, подова и плафона постављена је термоизолациона вуна дебљине 20мм, преко ње је нанесен продужени малтер 20мм који је импрегниран мрежицом и утврђен типловима.

Симулација је урађена за једну календарску годину са раздвојеним периодом грејања и хлађења.

Постављањем термоизолационе вуне са спољне стране конструкције термокоманде добијају се мање вредности коефицијента пролаза топлоте, исте су представљене у табели.

$$\kappa = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_u} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_s}}$$

Назив конструкције зида са 20мм минералне вуне	k, Коефицијент пролаза топлоте (W/m ² K)
POD_BB-20	1.4583
ZID-TE-KO-AA20	0.6429
ZID-TE-KO-FF20	0.6599
ZID-KOM-BB20	0.6
ZID-KOM-CC20	0.6301

Табела 3.2 - 1 k- фактор конструкција са 20мм термоизолационе вуне

Резултати симулације у **Energy Plus** представљени у стилизованим извештајима. Кретање дневних и ноћних температура током изабраног временског периода: период грејања (график 3.2-1), период хлађења (график 3.2-2). Узимајући период грејања, почев од 1. септембром па завршно са 30. априлом (лакша презентација података) док је за период хлађења узет за почетак 1. мај а завршетак 31. август.

Резултати симулације представљени су табеларно (табела 3.2-2) кроз утрошену енергију за грејање, климатизацију и вентилацију (ГКВ).

Обзиром да се у свим симулацијама користе исте вредности и величине, као резултати презентоваће се кроз табеле утрошена енергија за ГКВ.

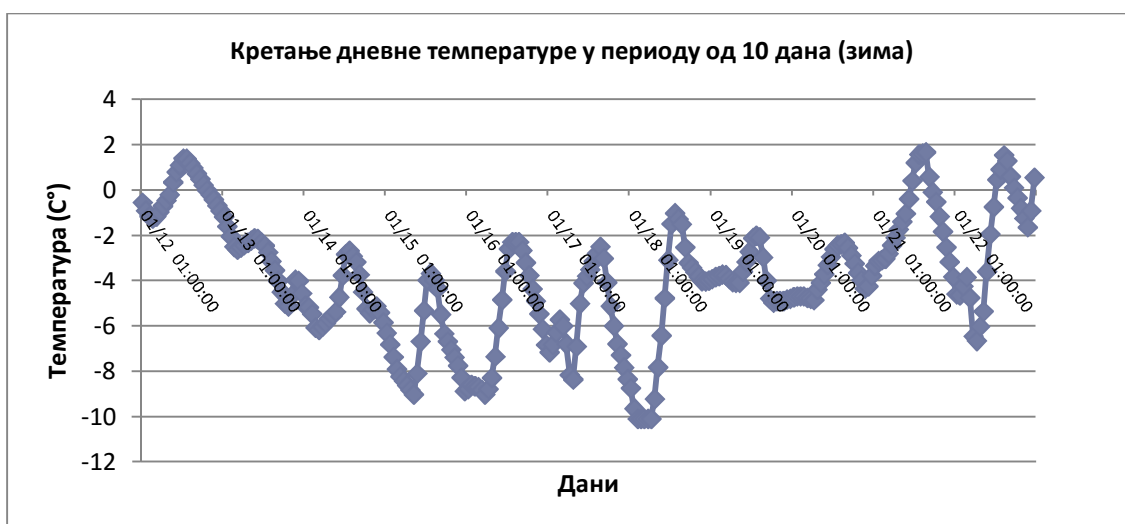


График 3.2 - 1 Кретање дневне температуре ваздуха (од 12. јануара до 22 јануара)

На графику 3.2-1, приказано је кретање температуре ваздуха током двадесет и четири часа, почевши од 12-ог јануара до 22-ог јануара у зимском периоду.

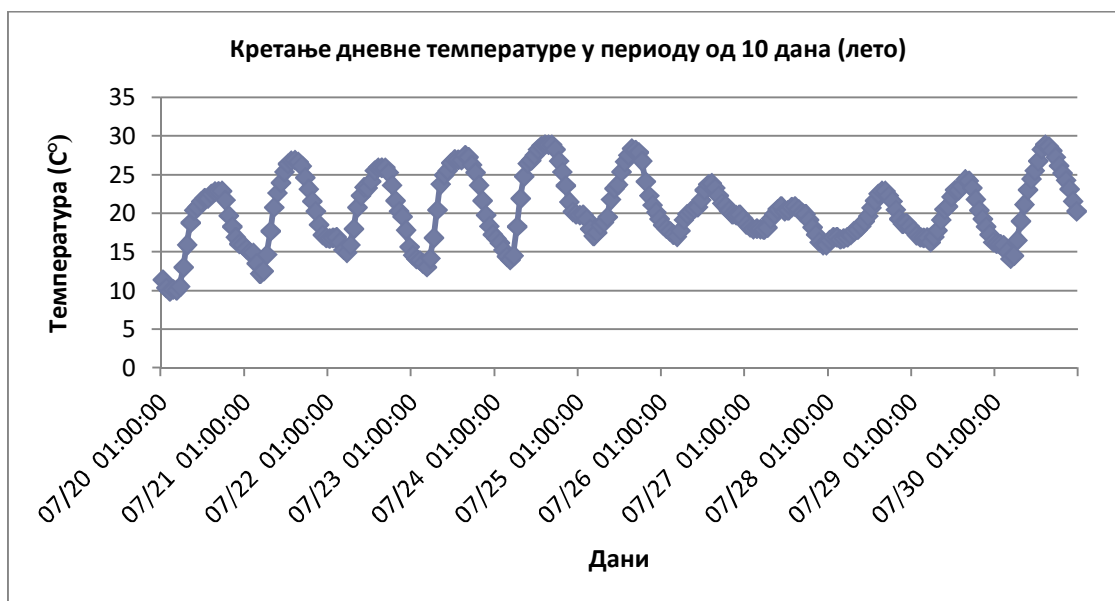


График 3.2 - 2 Кретање дневне температуре ваздуха (од 20. јула до 30. јула)

На графику 3.2-2, приказана је температура ваздуха у летњем периоду почевши од 20-ог јула па све до 30-ог јула у двадесет-четворо-часовном распону.

УТРОШАК ЕНЕРГИЈЕ					
3600000		са изолацијом 20мм (потрошња)			
	Месец	Грејање са измењивачем	Грејање без измењивача	Хлађење	Хлађење са измењивачем
	1	93974.268	61484.110	0.000	0.000
	2	83878.119	55795.380	0.000	0.000
	3	90463.890	62506.030	0.000	0.000
	4	75118.681	59107.690	0.000	0.000
	5	0.000	0.000	56764.030	56764.526
	6	0.000	0.000	56109.370	56109.370
	7	0.000	0.000	58562.180	58562.180
	8	0.000	0.000	58532.690	58532.690
	9	0.000	0.000	61320.030	81150.076
	10	89492.720	63442.550	0.000	0.000
	11	88095.358	60539.660	0.000	0.000
	12	93481.863	61748.940	0.000	0.000
КГХ (kWh)		614504.899	424624.360	291288.300	311118.842
Σ КГХ (kWh)		715912.660			
Σ КГХ и грејање (kWh)		925623.741			
Σ КГХ и грејање (J)		3332245467600.000			
Грејање (J)		683569940400.000		71389951200.000	

Табела 3.2 - 2Потрошња енергије на КГХ (са термоизолацијом од 20мм на зидовима ТК)

3.2.2 Симулација за додатни термоизолациони материјал (минерална вуна 40мм)

Урађена је симулација се постављеном термоизолационом вуном у дебљини од 40мм, добијени су следећи резултати доле презентовано.

$$\kappa = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_u} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_s}}$$

Назив конструкције зида са 40мм минералне вуне	k, Koefficijent prolaza toplote (W/m2K)
POD_BB-40	0.921
ZID-TE-KO-AA40	0.5114
ZID-TE-KO-FF40	0.5221
ZID-KOM-BB40	0.4839
ZID-KOM-CC40	0.5033

Табела 3.2 - 3 κ-фактор конструкција са 40мм термоизолационе вуне

УТРОШАК ЕНЕРГИЈЕ					
3600000	са изолацијом 40мм (потрошња)				
	Месец	Грејање са измењивачем	Грејање без измењивача	Хлађење	Хлађење са измењивачем
	1	92480.637	61837.320	0.000	0.000
	2	82691.410	56083.660	0.000	0.000
	3	89560.395	62739.300	0.000	0.000
	4	74700.483	59318.560	0.000	0.000
	5	0.000	0.000	57077.680	57078.176
	6	0.000	0.000	56364.840	56364.840
	7	0.000	0.000	58764.340	58764.340
	8	0.000	0.000	58747.570	58747.570
	9	0.000	0.000	61537.140	80857.713
	10	89064.085	63572.630	0.000	0.000
	11	87149.310	60777.810	0.000	0.000
	12	92099.181	62081.410	0.000	0.000
КГХ (kWh)		607745.501	426410.690	292491.570	311812.639
Σ КГХ (kWh)		718902.260			
Σ КГХ и грејање (kWh)		919558.140			
Σ КГХ и грејање (J)		3310409304000.000			
Грејање (J)		652805319600.000		69555848400.000	

Табела 3.2 - 4 Потрошња енергије на КГХ(са термоизолацијом од 40мм на зидовима ТК)

Резултати потрошње енергије су презентоване у табели 3.2-4 за примењени термоизолациони материјал дебљине од 40мм.

3.2.3 Симулација за додатни термоизолациони материјал (минерална вуна 60мм)

Урађена је симулација се постављеном термоизолационом вуном у дебљини од 60мм, добијени су следећи резултати доле презентовани.

$$\kappa = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_u} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_s}}$$

Назив конструкције зида са 60мм минералне вуне	k, Koeficijent prolaza toplote (W/m ² K)
POD_BB-60	0.673
ZID-TE-KO-AA60	0.4245
ZID-TE-KO-FF60	0.4319
ZID-KOM-BB60	0.4054
ZID-KOM-CC60	0.4189

Tabela 3.2 - 5 κ-фактор конструкција са 60мм термоизолационе вуне

УТРОШАК ЕНЕРГИЈЕ					
3600000	са изолацијом 60мм (потрошња)				
	Месец	Грејање са измењивачем	Грејање без измењивача	Хлађење	Хлађење са измењивачем
	1	91487.845	62075.640	0.000	0.000
	2	81894.738	56277.270	0.000	0.000
	3	88945.604	62895.970	0.000	0.000
	4	74420.685	59464.400	0.000	0.000
	5	0.000	0.000	57294.020	57294.516
	6	0.000	0.000	56542.260	56542.260
	7	0.000	0.000	58904.340	58904.340
	8	0.000	0.000	58897.840	58897.840
	9	0.000	0.000	61685.420	80663.462
	10	88761.943	63658.810	0.000	0.000
	11	86507.128	60935.250	0.000	0.000
	12	91177.616	62304.920	0.000	0.000
КГХ(kWh)		603195.559	427612.260	293323.880	312302.418
Σ КГХ(kWh)		720936.140			
Σ КГХи грејање (kWh)		915497.977			
Σ КГХи грејање (J)		3295792717200.000			
Грејање (J)		632099876400.000		68322736800.000	

Tabela 3.2 - 6 Потрошња енергије на КГХ(са термоизолацијом од 60мм на зидовима ТК)

Резултати потрошње енергије су презентоване у табели 3.2-6 за примењени термоизолациони материјал дебљине од 60мм.

3.2.4 Симулација за додатни термоизолациони материјал (минерална вуна 80мм)

Урађена је симулација се постављеном термоизолационом вуном у дебљини од 80мм, добијени су следећи резултати доле презентовани.

$$\kappa = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_u} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_s}}$$

Назив конструкције зида са 80мм минералне вуне	k, Koeficijent prolaza toplote (W/m ² K)
POD_BB-80	0.5303
ZID-TE-KO-AA80	0.3629
ZID-TE-KO-FF80	0.3682
ZID-KOM-BB80	0.3488
ZID-KOM-CC80	0.3588

Tabela 3.2 – 7 κ-фактор конструкција са 80мм термоизолационе вуне

УТРОШАК ЕНЕРГИЈЕ					
3600000		са изолацијом 80мм (потрошња)			
	Месец	Грејање са измењивачем	Грејање без измењивача	Хлађење	Хлађење са измењивачем
	1	90777.818	62247.440	0.000	0.000
	2	81321.440	56416.660	0.000	0.000
	3	88490.710	63008.240	0.000	0.000
	4	74216.403	59570.520	0.000	0.000
	5	0.000	0.000	57452.530	57453.026
	6	0.000	0.000	56672.840	56672.840
	7	0.000	0.000	59008.470	59008.470
	8	0.000	0.000	59009.140	59009.140
	9	0.000	0.000	61793.500	80521.124
	10	88535.860	63719.910	0.000	0.000
	11	86037.026	61048.130	0.000	0.000
	12	90517.935	62466.040	0.000	0.000
КГХ(kWh)		599897.192	428476.940	293936.480	312664.600
Σ КГХ(kWh)		722413.420			
Σ КГХи грејање (kWh)		912561.792			
Σ КГХи грејање (J)		3285222451200.000			
Грејање (J)		617112907200.000		67421232000.000	

Tabela 3.2 – 8 Потрошња енергије на КГХ(са термоизолацијом од 80мм на зидовима ТК)

Резултати потрошње енергије су презентоване у табели 3.2-8 за примењени термоизолациони материјал дебљине од 80мм.

3.2.5 Симулација за додатни термоизолациони материјал (минерална вуна 100мм)

Урађена је симулација се постављеном термоизолационом вуном у дебљини од 100мм, добијени су следећи резултати доле презентовани.

$$\kappa = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_u} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_s}}$$

Назив конструкције зида са 100мм минералне вуне	k, Koeficijent prolaza toplote (W/m ² K)
POD_BB-100	0.4375
ZID-TE-KO-AA100	0.3169
ZID-TE-KO-FF100	0.3209
ZID-KOM-BB100	0.3061
ZID-KOM-CC100	0.3137

Tabela 3.2 – 9 κ- фактор конструкција са 100мм термоизолационе вуне

УТРОШАК ЕНЕРГИЈЕ					
3600000		са изолацијом 100мм (потрошња)			
	Месец	Грејање са измењивачем	Грејање без измењивача	Хлађење	Хлађење са измењивачем
	1	90242.800	62377.170	0.000	0.000
	2	80889.359	56522.340	0.000	0.000
	3	88132.318	63092.380	0.000	0.000
	4	74061.826	59652.010	0.000	0.000
	5	0.000	0.000	57576.040	57576.536
	6	0.000	0.000	56774.330	56774.330
	7	0.000	0.000	59088.790	59088.790
	8	0.000	0.000	59095.220	59095.220
	9	0.000	0.000	61878.300	80415.058
	10	88358.273	63765.240	0.000	0.000
	11	85676.007	61132.780	0.000	0.000
	12	90020.072	62587.970	0.000	0.000
КГХ(kWh)		597380.655	429129.890	294412.680	312949.934
Σ КГХ(kWh)		723542.570			
Σ КГХи грејање (kWh)		910330.589			
Σ КГХи грејање (J)		3277190120400.000			
Грејање (J)		605702754000.000		66734114400.000	

Tabela 3.2 – 10 Потрошња енергије на КГХ(са термоизолацијом од 100мм на зидовима ТК

Резултати потрошње енергије су презентоване у табели 3.2-10 за примењени термоизолациони материјал дебљине од 100мм.

3.2.6 Симулација за додатни термоизолациони материјал (минерална вуна 120мм)

Урађена је симулација се постављеном термоизолационом вуном у дебљини од 120мм, добијени су следећи резултати доле презентовани.

$$\kappa = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_u} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_s}}$$

Назив конструкције зида са 120мм минералне вуне	k, Koefficient prolaza toplote (W/m ² K)
POD_BB-120	0.3113
ZID-TE-KO-AA120	0.2812
ZID-TE-KO-FF120	0.2844
ZID-KOM-BB120	0.2727
ZID-KOM-CC120	0.2788

Tabela 3.2– 11 k- фактор конструкција са 120мм термоизолационе вуне

УТРОШАК ЕНЕРГИЈЕ					
3600000	са изолацијом 120мм (потрошња)				
	Месец	Грејање са измењивачем	Грејање без измењивача	Хлађење	Хлађење са измењивачем
	1	89821.965	62478.750	0.000	0.000
	2	80552.518	56605.080	0.000	0.000
	3	87839.176	63157.030	0.000	0.000
	4	73940.975	59716.040	0.000	0.000
	5	0.000	0.000	57669.420	57669.916
	6	0.000	0.000	56853.780	56853.780
	7	0.000	0.000	59151.370	59151.370
	8	0.000	0.000	59162.670	59162.670
	9	0.000	0.000	61942.100	80329.659
	10	88216.977	63799.770	0.000	0.000
	11	85386.761	61198.160	0.000	0.000
	12	89630.043	62683.290	0.000	0.000
КГХ(kWh)		595388.415	429638.120	294779.340	313167.395
Σ КГХ(kWh)		724417.460			
Σ КГХи грејање (kWh)		908555.810			
Σ КГХи грејање (J)		3270800916000.000			
Грејање (J)		596701062000.000		66196998000.000	

Tabela 3.2 – 12 Потрошња енергије на КГХ(са термоизолацијом од 120мм на зидовима ТК)

Резултати потрошње енергије су презентоване у табели 3.2-12 за примењени термоизолациони материјал дебљине од 120мм.

3.2.7 Симулација за додатни термоизолациони материјал (минерална вуна 150мм)

Урађена је симулација се постављеном термоизолационом вуном у дебљини од 150мм, добијени су следећи резултати доле презентовани.

$$\kappa = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_u} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_s}}$$

Назив конструкције зида са 150мм минералне вуне	k, Koeficijent prolaza toplote (W/m ² K)
POD_BB-150	0.2623
ZID-TE-KO-AA150	0.2406
ZID-TE-KO-FF150	0.2429
ZID-KOM-BB150	0.2343
ZID-KOM-CC150	0.2388

Tabela 3.2– 13 κ- фактор конструкција са 150мм термоизолационе вуне

УТРОШАК ЕНЕРГИЈЕ					
3600000	са изолацијом 150мм (потрошња)				
	Месец	Грејање са измењивачем	Грејање без измењивача	Хлађење	Хлађење са измењивачем
	1	89335.733	62596.720	0.000	0.000
	2	80158.351	56700.650	0.000	0.000
	3	87493.056	63230.300	0.000	0.000
	4	73800.522	59790.650	0.000	0.000
	5	0.000	0.000	57782.620	57783.116
	6	0.000	0.000	56948.540	56948.540
	7	0.000	0.000	59226.010	59226.010
	8	0.000	0.000	59242.750	59242.750
	9	0.000	0.000	62020.880	80233.736
	10	88048.007	63839.150	0.000	0.000
	11	85042.438	61273.050	0.000	0.000
	12	89179.163	62793.120	0.000	0.000
КГХ(kWh)		593057.270	430223.640	295220.800	313434.152
Σ КГХ(kWh)		725444.440			
Σ КГХи грејање (kWh)		906491.422			
Σ КГХи грејање (J)		3263369119200.000			
Грејање (J)		586201068000.000		65568067200.000	

Tabela 3.2 – 14 Потрошња енергије на КГХ(са термоизолацијом од 150мм на зидовима ТК)

Резултати потрошње енергије су презентоване у табели 3.2-14 за примењени термоизолациони материјал дебљине од 150мм.

4 АНАЛИЗА ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА

Узимајући у обзир „ПРАВИЛНИК О ЕНЕРГЕТСКОЈ ЕФИКАСНОСТИ ЗГРАДА“, којим се прописују енергетска својства и начин израчунавања топлотних својства објекта високоградње, као и енергетски захтеви за нове и постојеће објекте, извршена је анализа објекта који је разматран у овом раду.

Током урађених симулација за простор ТЕРМОКОМАНДЕ добијени су поредбени подаци из којих се може доћи до тражених резултата за одређивање оптималне дебљине термоизолационе вуне. Анализа се врши на основу потрошених kWh (киловат-час) енергије а изражене преко новчане вредности. Узеће се цена инвестиције (цена коштања и постављање термоизолационе вуне) на основу које се процењује економичност постављања термоизолационе минералне вуне.

Симулације су урађене за тренутно стање (изведено стање) без термоизолационог материјала као и за седам модела (термоизолациона вуна: 20; 40; 60; 80; 100; 120 и 150мм) са термоизолационом вуном.

Применом термоизолационе вуне на спољне зидове, плафон и подове термокоманде, доводи до смањења потрошње укупне енергије у распону од 20.92 - 24.58%.

Ово се најбоље илуструје на графику 4-1

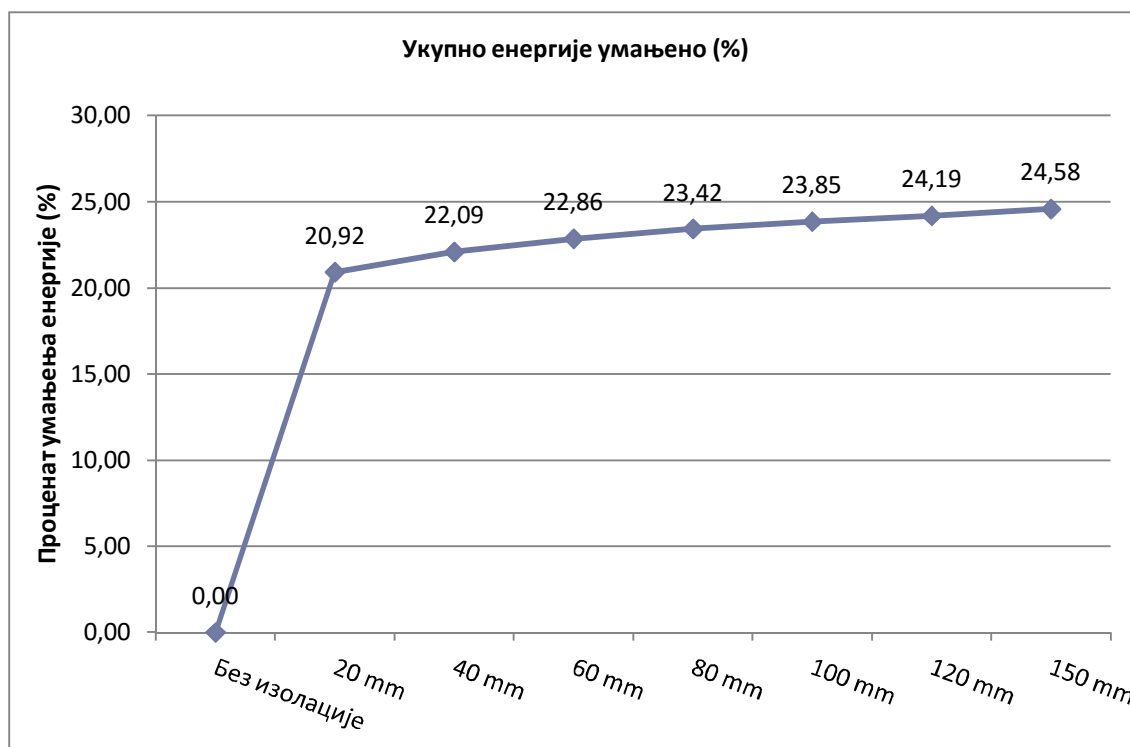


График 4.-1 Процент умањења укупне енергије при примени термоизолационог материјала

Обзиром да се током прорачуна утрoшка енергије током грејне сезоне и сезоне хлађења узима укупна енергија као упоредна величина, у раду је узета разлика потрошених енергија за потребе КЛИМАТИЗАЦИЈА, ГРЕЈАЊЕ И ХЛАЂЕЊЕ. Није узета у обзир потрошена енергија расвете и уређаја (Остало) из разлога што су константно присутне и не мењају се током времена, (због специфичности просторије и технолошког процеса који се одвија у простору термокоманде).

	Електрична енергија [kWh/m ²]	Природни гас [kWh/m ²]	Алтернативни извори енергије [kWh/m ²]	Измењивач хлађења [kWh/m ²]	Измењивач грејања [kWh/m ²]
Расвета	85.23	0	0	0	0
КЛИМАТИЗАЦИЈА, ГРЕЈАЊЕ И ХЛАЂЕЊЕ	56.23	0	0	0	66.14
Остало	36.99	0	0	0	0
Укупно	178.45	0	0	0	66.14

Табела 4- 1 Потрошња енергије у зимском периоду

	Електрична енергија [kWh/m ²]	Природни гас [kWh/m ²]	Алтернативни извори енергије [kWh/m ²]	Измењивач хлађења [kWh/m ²]	Измењивач грејања [kWh/m ²]
Расвета	61.51	0	0	0	0
КЛИМАТИЗАЦИЈА, ГРЕЈАЊЕ И ХЛАЂЕЊЕ	34.25	0	0	0	7.55
Остало	26.7	0	0	0	0
Укупно	122.45	0	0	0	7.55

Табела 4- 2 Потрошња енергије у летњем периоду

Потрошња енергије у зимском и летњем периоду су представљени таблицама 4-1 и 4-2.

4.1 ОДРЕЂИВАЊЕ ОПТИМАЛНЕ ДЕБЉИНЕ ИЗОЛАЦИЈЕ СА СТАНОВИШТА ЕНЕРГИЈЕ И ЕКОНОМИЈЕ

Да би се дошло до оптималне дебљине термоизолационог материјала, сагледаћемо промену пролаза топлоте (k) као и утрoшак енергије (електричне и топлотне енергије).

Топлотна изолација објекта се може извршити са унутрашње или спољне стране, из практичних разлога постављање термоизолационог материјала овде ће се извршити са спољне стране.

Повећањем дебљине термоизолационог материјала који се поставља са спољне стране (табела 4.1-1), смањује се коефицијент пролаза топлоте (график 4.1-

1) али се повећава цена коштања те исте термоизолације по квадратном метру изоловане површине. Мора се имати у виду да је постављање термоизолације **мера која захтева велика улагања** и да је повраћај уложених средстава и до 10 година.

к- фактор у зависности од дебљине термоизолационог материјала за примењене конструкције					
(mm)	POD_BB	ZID-TE-KO-AA	ZID-TE-KO-FF	ZID-KOM-BB	ZID-KOM-CC
150	0.2623	0.2406	0.2429	0.2343	0.2388
120	0.3113	0.2812	0.2844	0.2727	0.2728
100	0.4375	0.3169	0.3209	0.3061	0.3137
80	0.5303	0.3629	0.3682	0.3488	0.3588
60	0.673	0.4245	0.4319	0.4054	0.4189
40	0.921	0.5114	0.5221	0.4839	0.5033
20	1.4583	0.6429	0.6599	0.6	0.6301
без	1.9	1.1498	1.205	1.019	1.109

Табела 4.1- 1 Кретање к- фактора у зависности од дебљине термоизолационог материјала

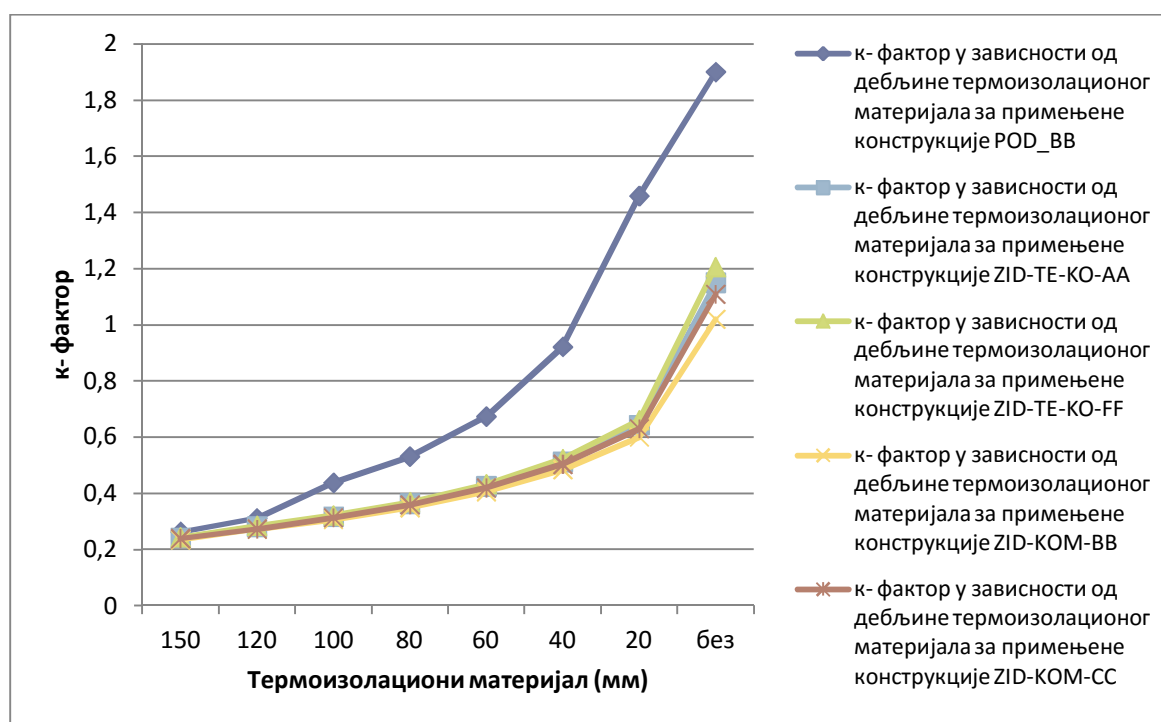


График 4.1- 1 График к- фактора на основу таблице 4.1-1

При избору термоизолационог материјала осим топлотне проводности и цене коштања, мора се водити рачуна о дифузији водене паре кроз изолациони материјал као и отпорност на паљење. Избором термоизолационе минералне вуне ови захтеви су испуњени.

Потрошња укупне енергије се смањује са повећањем дебљине термоизолационог материјала као што је приказано у табlici 4.1-2 „у^трошка

енергије“ (kWh/m²a). Такође се може представити и процентуална уштеда енергије (табела 4.1-2) (%).

УТРОШАК ЕНЕРГИЈЕ								
		Са термоизолационом вуном						
	Без изолације	20 mm	40 mm	60 mm	80 mm	100 mm	120 mm	150 mm
Утрошак електричне енергије лети (kWh/m ² a)	47.49	32.62	33.11	33.46	33.71	33.91	34.06	34.25
Утрошак електричне енергије зими (kWh)	60.44	53.91	54.65	55.15	55.5	55.78	55.99	56.23
Утрошак топлотне енергије (летњи период) (kWh/m ² a)	14.58	8.23	8.01	7.87	7.77	7.69	7.63	7.55
Утрошак топлотне енергије (зимски период) (kWh/m ² a)	95.17	77.38	73.83	71.44	69.71	68.39	67.35	66.14
Утрошак електричне енергије (укупно) (kWh/m ² a)	107.93	86.53	87.76	88.61	89.21	89.69	90.05	90.48
Утрошак топлотне енергије (укупно) (kWh/m ² a)	109.75	85.61	81.84	79.31	77.48	76.08	74.98	73.69
Укупно енергије (kWh/m ² a)	217.68	172.14	169.6	167.92	166.69	165.77	165.03	164.17

Табела 4.1- 2 Утрошак енергије у зависности од дебљине термоизолационе вуне

ПРОЦЕНТУАЛНИ ПРИКАЗ УШТЕДЕ СА ПОВЕЋАЊЕМ ДЕБЉИНЕ ТЕРМОИЗОЛАЦИОНЕ ВУНЕ								
	Без изолације	20 mm	40 mm	60 mm	80 mm	100 mm	120 mm	150 mm
Утрошак електричне енергије (укупно) (kWh/m ² a)	107.93	86.53	87.76	88.61	89.21	89.69	90.05	90.48
Утрошак топлотне енергије (укупно) (kWh/m ² a)	109.75	85.61	81.84	79.31	77.48	76.08	74.98	73.69
Укупно енергије збирно (kWh/m ² a)	217.68	172.14	169.6	167.92	166.69	165.77	165.03	164.17
Утрошак електричне енергије (укупно умањено) (%)	0.00	19.83	18.69	17.90	17.34	16.90	16.57	16.17
Утрошак топлотне енергије (укупно умањено) (%)	0.00	22.00	25.43	27.74	29.40	30.68	31.68	32.86
Укупно енергије умањено (%)	0.00	20.92	22.09	22.86	23.42	23.85	24.19	24.58

Табела 4.1- 3 Табеларни приказ уштеде енергије, изражено у процентима

Израчунавање процента уштеде енергије:

$$Q_{\text{umanjenje}} = \frac{Q_{\text{bez izolacije}} - Q_{\text{sa izolacijom}}}{Q_{\text{bez izolacije}}} \cdot 100 \quad [\%]$$

Повећањем дебљине термоизолационог материјала који се поставља на спољне зидове, површине пода и плафона расту и трошкови самог изолационог материјала. Поред самог изолационог материјала ту су и трошкови материјала за причвршћивања (лепак, мрежица) и трошкови извођења радова.



**График 4.1- 2 Трошкови постављања термоизолационе вуне
у зависности од дебљине**

Полазећи од инвестиционих улагања и времена повраћаја средстава, као одлучујући фактор се узима економски аспект. Обзиром да се самим постављањем термоизолационог материјала добија уштеда, мора се сагледати најкраћи рок за повраћај средстава (График 4.1-3 а на основу добијених резултата сређених табеларно- Табела 4.1-4). Користећи формулу:

$$PB = \frac{I}{B}$$

Где је :

- PB, (**Pay Back**) рок повраћаја,
- I, инвестиционо улагање
- B, нето уштеда

ТАБЕЛА ПРОРАЧУНА ПРОСТОГ ПОВРАЋАЈА СРЕДСТАВА							
Дебљина изолационог материјала (m)	Укупно енергије (kWh/m ² a)	Климатизована површина (m ²)	Трошак постављања термоизолационог материјала (€)	Утрошак енергије укупно за једну годину (kWh)	Цена утрошене енергије за годину дана (€)	Разлика (€)	Број година повраћаја средстава
Без	217.68	2410.71	0	524763.35	31485.80	0.00	0.00
0.02	172.14	2410.71	28215.10	414979.62	24898.78	6587.02	4.28
0.04	169.6	2410.71	28957.60	408856.42	24531.38	6954.42	4.16
0.06	167.92	2410.71	29997.10	404806.42	24288.39	7197.42	4.17
0.08	166.69	2410.71	32076.11	401841.25	24110.47	7375.33	4.35
0.1	165.77	2410.71	34155.12	399623.40	23977.40	7508.40	4.55
0.12	165.03	2410.71	36283.62	397839.47	23870.37	7615.43	4.76
0.15	164.17	2410.71	38610.13	395766.26	23745.98	7739.83	4.99

Табела 4.1 -4 Табеларни приказ прорачуна потребних година простог повраћаја уложених средстава

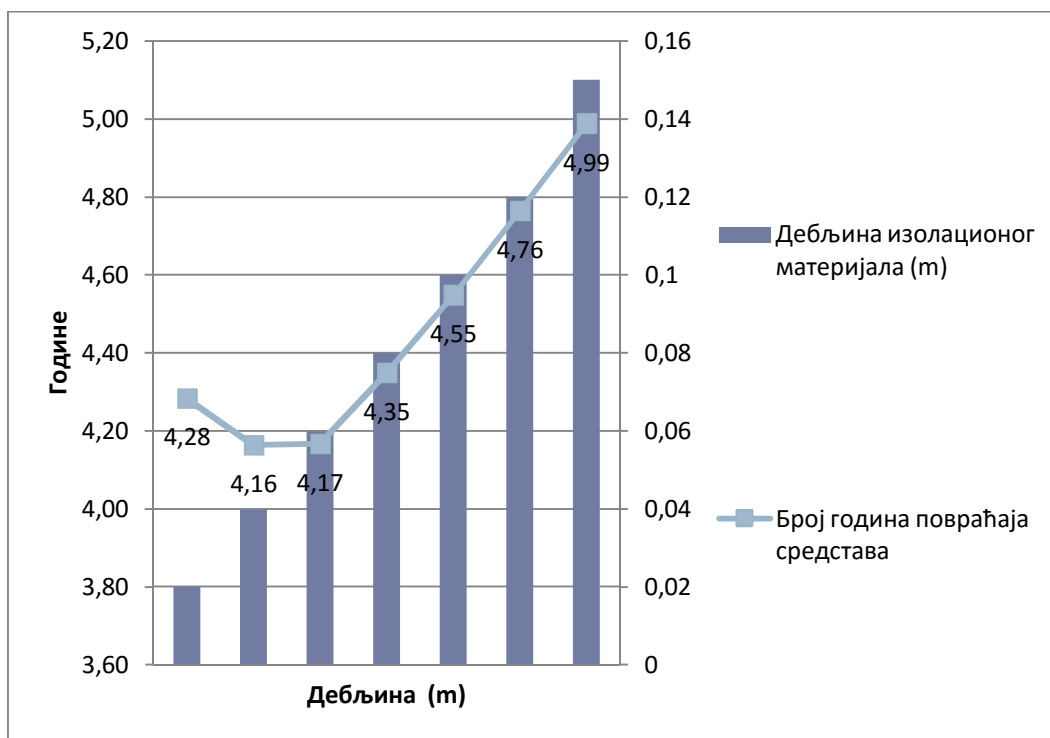


График 4.1- 3 Прост период повраќаја уложених средстава

Својетем добијених бројева година у децималном запису на број месеци, добија се приближно исти период повраќаја средстава за две дебелине термоизолационог материјала:

- За 40mm је 4,16 година односно 4 године и 2 месеца (1,96 месеци),
- За 60mm је 4,17 године односно 4 године и 2 месеца (2,04 месеци).

4.2 ЕНЕРГЕТСКИ И ЕКОНОМСКИ ПОКАЗАТЕЉИ ИСПЛАТИВОСТИ

Да би се дошло до закључка о енергетској и економској исплативости морају се сагледати резултати који су добијени кроз овај рад. Већ у претходном поглављу је размотрено одређивање дебелине термоизолационог материјала (термоизолационе вуне) и намеће се решење од 40mm али су и оптимална решења од 60 а и 20mm.

Постављање термоизолационог материјала са спољних страна зидова, подова и плафона води се као веће улагање, односно период отплате је преко три године а у циљу повећања енергетске ефикасности зграда (објекта).

Оцену енергетске и економске исплативости сагледаћемо кроз следеће разматрање преузето из енергетске ефикасности објекта.

4.2.1 Годишње уштеде

Годишње уштеде представљају, нето уштеде у текућим трошковима за сваку годину, које су настале као резултат инвестиционог улагања у пројекат енергетске ефикасности. Они су обично резултати мањих трошкова електричне енергије, горива и текућих експлоатационих трошкова.

Обрачун нето годишње уштеде, се врши на следећи начин:

$$B = \sum B_t \cdot P_e - \Delta C_e$$

(B), укупне годишње уштеде

(B_t), уштеда енергије за једну годину (t = 1 до n)

(P_e), цена енергије за једну годину

(ΔC_e), промена експлоатационих трошкова

У разматраном случају, улагања (инвестиције) су једнократна и током једне године тако да је промена експлоатационих трошкова равна нули (ΔC_e = 0).

4.2.2 Технички и економски век трајања пројекта

Технички век пројекта утврђује се на основу физичког трајања опреме неопходну за одређену меру или пројекат.

Постављена термоизолациона вуна у оквиру инвестиционог улагања у овом случају је процењена на 20 година али иста може да има и дужи рок.

Економски век пројекта представља период у коме пројекат доноси профит (уштеде), који је планиран и унет у студију изводљивости.

4.2.3 Прост рок повраћаја инвестиционог улагања

Један од најједноставнијих начина за оцену пројекта је прост рок повраћаја (**pay back** (PB)) или рок откупа. Прост рок повраћаја представља време, које је потрабно да се из будућих прихода пројекта наплате укупна инвестициона улагања.

$$PB = \frac{I}{B}$$

Где је :

- PB, (**Pay Back**) прост рок повраћаја,
- I, инвестиционо улагање: 28957.60 (€)
- B, нето уштеда: 6954.42 (€)

Тако да је прост рок повраћаја инвестиционог улагања: 4,16 година за пример са дебљином термоизолационог материјала од 40 mm.

Главни недостатак показатеља рока повраћаја инвестиционог улагања је занемаривање временске вредности новца и прихода, који се остварују током целокупног рока трајања пројекта.

4.2.4 Динамички рок повраћаја инвестиционог улагања

Динамички рок повраћаја инвестираног улагања представља време (График 4.2-1), које је потребно да се из будућих прихода пројекта сведених на садашњу вредност, наплате укупна инвестициона улагања.

$$POP = \frac{-\ln(1 - d \cdot PB)}{\ln(1 + d)}$$

Где је:

(POP), динамички рок повраћаја инвестиције.

(d), дисконтна стопа: 7%.

(PB), (**Pay Back**) прост рок повраћаја: 4,16.

Тако да је динамички рок повраћаја новца (POP): 5,08 година за термоизолациону вуну од 40 mm.

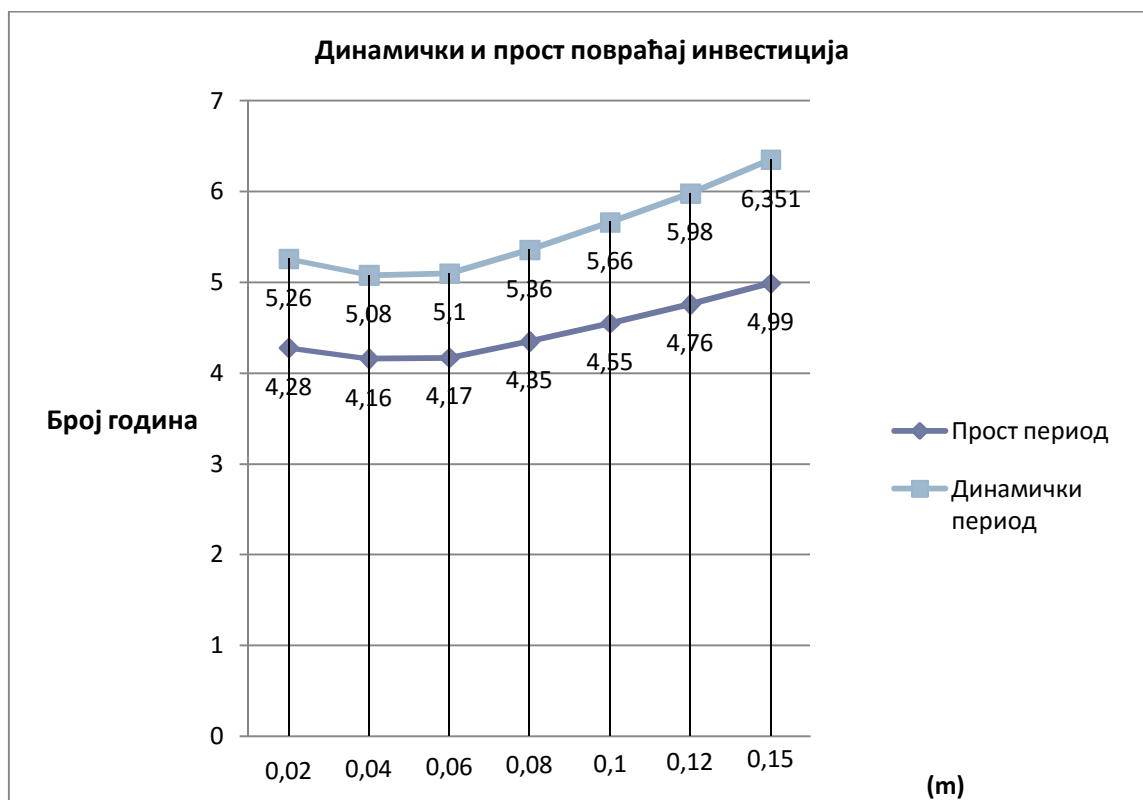


График 4.2- 1 Упоредни приказ простог и динамичког периода повраћаја уложених средстава

4.2.5 Нето садашња вредност пројекта

Инвестициони пројекти почињу у „нултој години пројекта“. Након те године у периоду коришћења пројекта настају приходи и трошкови коришћења пројекта. Уколико од садашње вредности пројекта [17], [18] одузмемо садашњу вредност свих инвестиционих и оперативних трошкова, добијамо нето садашњу вредност пројекта (**Net present value NPV**) за дебљину од 4 центиметра термоизолационе вуне.

$$NPV = \frac{B_0}{(1+d)^0} + \frac{B_1}{(1+d)^1} + \frac{B_2}{(1+d)^2} + \frac{B_3}{(1+d)^3} + \dots + \frac{B_n}{(1+d)^n} - PVI$$

Где је:

(*n*), економски век пројекта изражен у годинама: 20 година,

(*B*), нето прилив пројекта у посматраној години: 6954,42 (€),

(*d*), дисконтна стопа: 7%,

(*PVI*), садашња вредност укупних инвестиционих трошкова пројекта.

Пројекат је рентабилан када је нето садашња вредност већа од нуле, односно када су сведене уштеде током економског века пројекта веће од укупних сведених инвестиција.

Добијени резултати у овом раду су представљени табеларно 4.2-1 и графички 4.2-2.

КУМУЛАТИВНИ ТОК НОВЦА				
век пројекта у годинама (n)	Нето прилив-уштеда пројекта (B) €	Дисконт на стопа (d)	Нето садашња вредност пројекта (NPV) €	Кумулат ивни ток новца (KTN) €
	6954.42	0.07	6954.42	-28957.6
1	6954.42	0.07	6499.457944	-22458.14206
2	6954.42	0.07	6074.259761	-16383.8823
3	6954.42	0.07	5676.878281	-10707.00401
4	6954.42	0.07	5305.493721	-5401.510294
5	6954.42	0.07	4958.405346	-443.1049475
6	6954.42	0.07	4634.023688	4190.918741
7	6954.42	0.07	4330.86326	8521.782001
8	6954.42	0.07	4047.535757	12569.31776
9	6954.42	0.07	3782.743698	16352.06146
10	6954.42	0.07	3535.274484	19887.33594
11	6954.42	0.07	3303.994845	23191.33078
12	6954.42	0.07	3087.84565	26279.17643
13	6954.42	0.07	2885.837056	29165.01349
14	6954.42	0.07	2697.043977	31862.05747
15	6954.42	0.07	2520.601848	34382.65932
16	6954.42	0.07	2355.702662	36738.36198
17	6954.42	0.07	2201.591273	38939.95325
18	6954.42	0.07	2057.561937	40997.51519
19	6954.42	0.07	1922.955081	42920.47027
20	6954.42	0.07	1797.154282	44717.62455

Табела 4.2 – 1 Кумулативни ток новца (прорачун за 4 центиметра термоизолационе вуне)

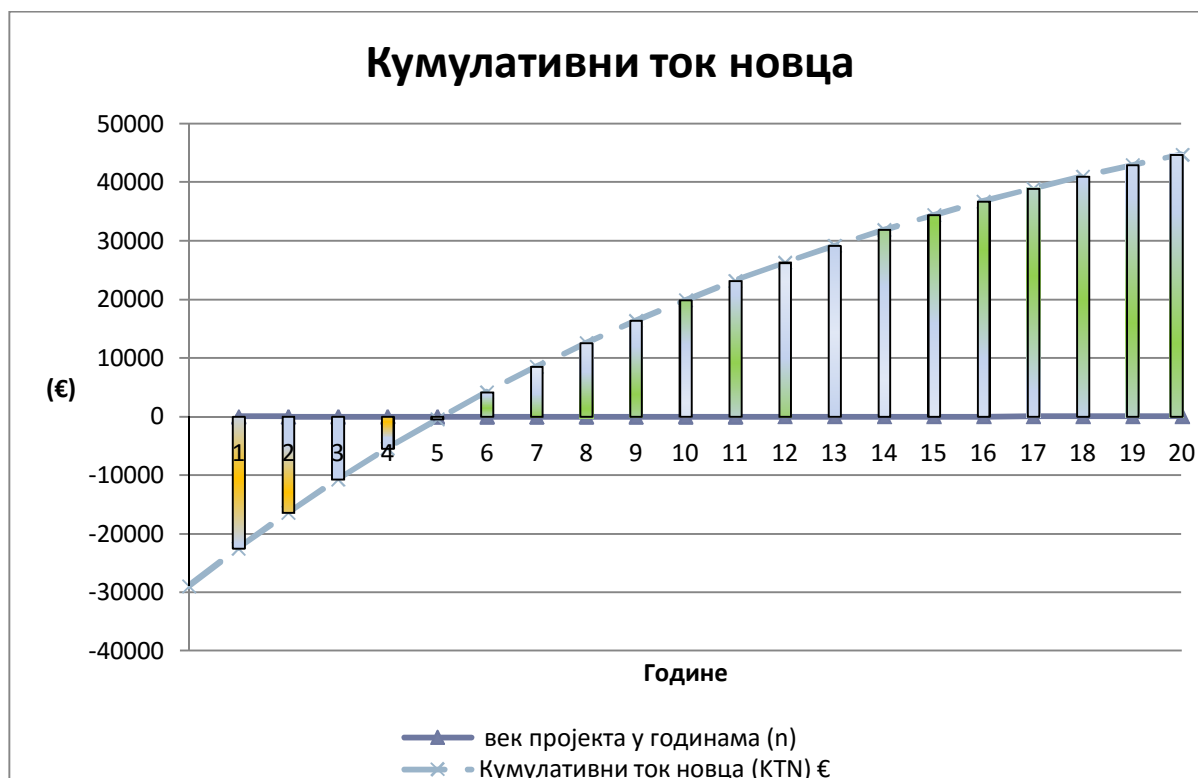


График 4.2- 2 Кумулативни ток новца (КТН) у временском распону од 20. година (n)

4.2.6 Коефицијент нето садашње вредности

Коефицијент нето садашње вредности (**Net present value ratio NPVQ**) представља однос нето садашње вредности и садашње вредности укупних инвестиционих расхода (сведених инвестиција) за прорачун са дебљином од 4 центиметара термоизолационе вуне.

$$NPVQ = \frac{NPV}{PVI}$$

Где је:

(NPV), нето садашња вредност пројекта: 80629,64 (€),

(PVI), садашња вредност инвестиционих улагања: 28957,60 (€),

тако да је NPVQ: 2,784 а што је веће од 0 тако да је пројекат рентабилан.

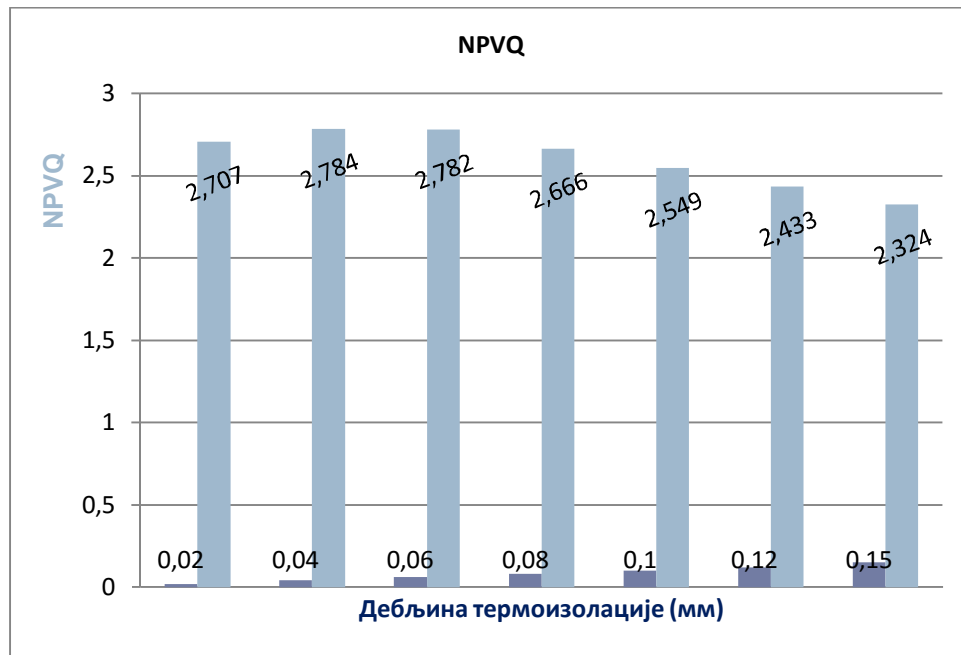


График 4.2- 3 NPVQ приказан за одређену дебљину термоизолационог материјала

Добијени коефицијент (график 4.2-3) показује колико се годишње зарађује новчаних јединица улагањем једне новчане јединице у пројекат.

Обзиром да коефицијент показује висину новостворене вредности по јединици уложених средстава, он се може користити за рангирање различитих мера и пројеката који имају различиту висину укупних улагања.

5 ЗАКЉУЧАК

У овом раду је разматрана могућност уштеде енергије постављањем термоизолационог материјала на спољне зидове, пода и плафона термокоманде, простора за вођење техничко-технолошког процеса производње топлотне и електричне енергије у термоелектрани Костолац-Б. Простор термокоманде због свог специфичног положаја (између машинске сале и котларнице) изложена је утицајима средине тако да је потребан двадесетчетворочасовни рад система за климатизацију, грејање и хлађење (КГХ-**HVAC**). Коришћењем софтверског пакета **ENERGY PLUS**, разматрана је могућност уштеде енергије на следећи наћин, најпре је одрађена симулација у реалним условима (без термоизолационог материјала) да би се након тога одрадиле симулације и за ситуације са постављеном термоизолацијом са променом дебљине у распону од 20, 40, 60, 80, 100, 120 и 150mm. Добијени резултати су омогућили да се усвоји оптимална дебљина термоизолационог материјала која у овом случају износи 40mm. Након одабира дебљине термоизолационог материјала извршена је анализа уштеда енергије изражена у киловатчасовима (kWh). Поред тога, урађена је и анализа са аспекта исплативости и економичности и добијени су резултати који оправдавају овакав један пројекат. Разматрени су периоди простог и динамичког периода повраћаја уложених средстава (инвестиција) уз економски век трајања пројекта (20 година).

Тренутна потрошња енергије за климатизацију, грејање и хлађење термокоманде је 217,68 (kWh/m²a), постављањем термоизолационог материјала дебљине од 40mm на спољне зидове, плафоне и подове, добијена је вредност од 169,6 (kWh/m²a) што представља уштеду од 22,09% на годишњем нивоу. Динамички рок повраћаја уложених инвестиционих средстава за повећање енергетске ефикасности је 5 година и 29 дана. Највећа уштеда енергије (164,17 kWh/m²a) је остварена са постављањем термоизолационог материјала дебљине 150mm и износи 24,58%. Међутим, време повраћаја инвестиционих улагања за ову дебљину термоизолационог материјала се повећава на 6 година и 4 месеца.

Модел који је овде употребљен за израчунавање топлотног оптерећења може се употребити за сличне пројекте, обзиром да је уштеда која се остварује овим поступком инвестирања у термоизолацију приметан. Нарочито, овакви пројекти имају своју примену код објеката који су грађени у ранијем периоду када се није придавао толики значај о утрошку енергије по квадратном метру.

6 ЛИТЕРАТУРА

- [1] Слободан Зрнић, Грејање и климатизација са применом соларне енергије, Научна књига, Београд 1999.
- [2] Бранислав Тодоровић, Климатизација, СМЕИТС, Београд 2009.
- [3] Sami A. Al-Sanea, M.F. Zedan, Improving thermal performance of building walls by optimizing insulation layer distribution and thickness for same thermal mass, Applied Energy 88 (2011) Pages 3113–3124
- [4] Naouel Daouas, A study on optimum insulation thickness in walls and energy savings in Tunisian buildings based on analytical calculation of cooling and heating transmission loads, Applied Energy 88 (2011) Pages 156–164
- [5] Jinghua Yu, Changzhi Yang, Liwei Tian, Dan Liao, A study on optimum insulation thicknesses of external walls in hot summer and cold winter zone of China, Applied Energy 86 (2009) Pages 2520–2529
- [6] Ö. Altan Dombaycı, Mustafa Gölcü, Yaşar Pancar, Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources, Applied Energy 83 (2006) Pages 921–928
- [7] http://www.te-ko.rs/o_nama/sema_proizvodnih_kapaciteta/3042.html
- [8] <http://www.buildmagazin.com/index2.aspx?fId=tekstovi&ime=bm0703.htm>
- [9] Mohammed J. Al-Khawaja, Determination and selecting the optimum thickness of insulation for buildings in hot countries by accounting for solar radiation, Applied Thermal Engineering 24 (2004) Pages 2601–2610
- [10] Meral Ozel, Determination of optimum insulation thickness based on cooling transmission load for building walls in a hot climate, Energy Conversion and Management 66 (2013) Pages 106–114
- [11] Sami A. Al-Sanea, M.F. Zedan, Saleh A. Al-Ajlan, Effect of electricity tariff on the optimum insulation-thickness in building walls as determined by a dynamic heat-transfer model, Applied Energy 82 (2005) Pages 313–330
- [12] Jinghua Yu, Changzhi Yang, Liwei Tian, Dan Liao, A study on optimum insulation thicknesses of external walls in hot summer and cold winter zone of China, Applied Energy 86 (2009) Pages 2520–2529
- [13] Recknagel-Sprenger-Schramek-Чеперковић, Грејање и климатизација укључујући топлу воду и технику хлађења, ИНТЕРКЛИМА-ГРАФИКА, Врњачка Бања 2004.
- [14] SketchUp User's Guide, ©Google Inc. 2006

-
- [15] EnergyPlus, Engineering Reference, The Reference to EnergyPlus Calculations, COPYRIGHT © 1996-2011 The Board of Trustees of the University of Illinois and the Regents of the University of California through
the Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory
- [16] ПРАВИЛНИК О ЕНЕРГЕТСКОЈ ЕФИКАСНОСТИ ЗГРАДА, на основу члана 201. тачка 1) Закон о планирању и изградњи („Службени гласник РС“, бр. 72/09, 81/09- исправка, 64/10- УС и 24/11)
- [17] Јован Тодоровић, Драган Ђурчин, Стево Јаношевић, СТРАТЕГИЈСКИ МЕНАЏМЕНТ, Институт за тржишна истраживања, Београд, 1998.
- [18] Душко Летић, ОРГАНИЗАЦИЈА И ЕКОНОМИКА ПРОИЗВОДНО-ПОСЛОВНИХ СИСТЕМА, Универзитет у Новом Саду, Технички факултет „Михајло Пупин“, Зрењанин, 1995.