

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: 343/2011

Радослав С. Ненадов

**Ниско енергетска кућа са различитим системима
грејања**

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Милорад Бојић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да у нискоенергетској кући изврши поређење система за генерисање топлоте код панелних система грејања. Поређење урадити коришћењем резултата симулације а као излазе користити податке о потрошњи енергије, како потрошње енергије потребне за грејање тако и укупне енергије која се троши у кући. Симулацију извршити за различите начине генерисања топлоте код зидног грејања. Поредити панелне системе грејања: повезане на топлотну пумпу, повезане на топлотну пумпу и PV панеле, повезане на систем са природним гасом и повезан на електро котао.

У првом делу рада представити могућност коришћења обновљивих извора енергије, пре свега енергије сунца и геотермалне енергије. У другом делу рада дискутовати примере из литературе коришћења топлотних пумпи и PV панела, као и анализе тих система. У трећем делу рада представити кућу за коју се врши симулација. Симулацију обавити у програму EnergyPlus. У четвртном делу рада објаснити део програма у који се уносе подаци везани за топлотну пумпу. У последњем делу рада приказати анализу добијених резултата о потрошњи енергије за ових пет различитих система грејања, као и економску анализу исплативости уградње ових система.

Препоручена литература:

- Милорад Бојић, Новак Николић, Данијела Николић, Јасмина Скерлић, Иван Милетић, Toward a positive-net-energy residential building in Serbia condition, Applied Energy, Volume 88, Issue 7, July 2011, Pages 2407-2419, ISSN 0306-2619, 10.1016/j.apenergy.2011.01.011.
- Јие Ји, Ганг Пеи, Тин-таи Цхов, Келианг Лиу, Ханфенг Хе, Јианпинг Лу, Цхонгвеи Хан, Experimental study of photovoltaic solar assisted heat pump system, Solar Energy, Volume 82, Issue 1, January 2008, Pages 43-52, ISSN 0038-092X, 10.1016/j.solener.2007.04.006
- Гуоунинг Ху, Схиминг Денг, Хиаосонг Зханг, Леи Ђанг, Ђуехонг Зханг, Simulation of a photovoltaic/thermal heat pump system having a modified collector/evaporator, Solar Energy, Volume 83, Issue 11, November 2009, Pages 1967-1976, ISSN 0038-092X, 10.1016/j.solener.2009.07.008.
- М.И. Фадхел, К. Сопиан, W.P.W. Дауд, Performances analysis of solar-assisted chemicall heat-pump dryer, Solar Energy, Volume 84, Issue 11, November 2010, Pages 1920-1928, ISSN 0038-092X, 10.1016/j.solener.2010.07.001

Крагујевац,

год.ментор:

Др Милорад Бојић, редовни професор

РЕЗИМЕ

Циљ рада је да се у нискоенергетској кући изврши поређење система за генерисања топлоте код панелних система грејања. Поређење је урађено коришћењем резултата симулације а као излази су се користили подаци о потрошњи енергије, како потрошња енергије потребне за грејање тако и укупне енергије која се троши у кући. Симулација је извршена за различите начине генерисања топлоте код зидног грејања. Поређени су панелни систем грејања повезан на топлотну пумпу, панелни систем грејања повезан на топлотну пумпу и PV панеле, панелни систем грејања повезан на систем са природним гасом и панелни систем грејања повезан на електро котао.

У првом делу рада представљена је могућност коришћења обновљивих извора енергије, пре свега енергије сунца и геотермалне енергије. Други део садржи радове који су рађени из области коришћења топлотних пумпи и PV панела, као и анализе тих система. У трећем делу рада представљен је објекат за који се врши симулација. Представљен је број просторија и распоред, карактеристике термичког омотача куће као и начин коришћења куће од стране корисника.

Симулација је вршена у програму EnergyPlus где четврти део рада садржи објашњења дела програма у које се уносе подаци везани за топлотну пумпу. У последњем делу рада је приказана анализа добијених резултата о потрошњи енергије за ових пет различитих система грејања, као и економска анализа исплативости уградње ових система.

Кључне речи: Топлотна пумпа, ФН панели, грејање, симулација, EnergyPlus

ABSTRACT

The aim of the study is to compare systems for generating heat in panelheating systems for a low energy house. The comparison is performed using the simulation results with energy consumption data as outputs, including both power consumption required for heating and total energy consumed in the house. The simulation is performed for a variety of heating systems. We compared the panel heating system connected to a heat pump, the panel heating system connected to a heat pump and PV panels, the panel heating system connected to the system with natural gas and the panel heating system connected to a system to the electric boiler.

In the first part of the study we present a possibility for using renewable energy sources, especially solar energy and geothermal energy. The second part contains papers in the field of usage of heat pumps and PV panels, as well as the analyses of these systems. In the third part of the study we present the object for which the simulation is performed, namely the number of rooms and the layout, the characteristics of the thermal coating of the house and the way the house is used by its occupant.

The simulation was performed in EnergyPlus where the fourth part of the study explains the part of the program containing data related to the heat pump. In the last part of the study we perform an analysis of the results of energy consumption for the five different heating systems in question, as well as the economic cost-benefit analysis of installation of these systems.

Key words: Heat pumps, PV panels, heat, simulation, EnergyPlus

САДРЖАЈ

РЕЗИМЕ	3
УВОД	6
1. ОБНОВЉИВИ ИЗВОРИ ЕНЕРГИЈЕ	6
1.1. Геотермална енергија.....	Error! Bookmark not defined.
1.1.1 Примена геотермалне енергије	8
1.1.2. Геотермално грејање	8
1.1.3. Топлотне пумпе	9
1.1.4. Топлотне пумпе типа земља-вода	11
1.1.5. Утицај коришћења геотермалне енергије на животну средину	14
1.1.6. Предност коришћења топлотних пумпи у односу на друге конвенционалне изворе ...	15
1.2 Соларна енергија	16
1.2.1 Соларни колектори.....	16
1.2.2 PV панели.....	18
1.2.3 Производња електричне енергије ФН панелима	18
2. МОТИВАЦИЈА ЗА МАСТЕР РАД	21
3. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА У ОБЛАСТИ УШТЕДЕ И ПОТРОШЊЕ ЕНЕРГИЈЕ У СИСТЕМИМА КОЈИ КОРИСТЕ ГЕОТЕРМАЛНУ И СОЛАРНУ ЕНЕРГИЈУ	22
3.1. Позитивна нето енергетска кућа у Србији	22
3.2. Експериментална студија о фотонапонским панелима у систему топлотних пумпи ...	23
3.3. Симулација рада система са термалном топлотном пумпом и фотонапонским панелима са модификованим колектором - испаривачем	25
3.4. Перформансе и анализе соларно-хемијске топлотне пумпе у сушарама.....	27
3.5. Симулација рада соларног система и топлотне пумпе са сезонским складиштењем топлоте.....	29
4. СТАМБЕНИ ОБЈЕКАТ ЗА КОЈИ СЕ ВРШИ СИМУЛАЦИЈА ПОТРОШЊЕ ЕНЕРГИЈЕ	31
4.1. Анализа куће	31
4.2. Боравак људи у просторијама, коришћење осветљења и електроопреме.....	35
4.3. Временски фајл при којима је рађена симулација.....	39
5. ПАРАМЕТРИ КОЈИ СЕ УНОСЕ У ПРОГРАМ ENERGYPLUS ВЕЗАНИ ЗА ТОПЛОТНУ ПУМПУ	40
5.1. Пумпа промењиве брзине.....	40
5.2. Вода – вода топлотна пумпа.....	42
5.3. Измењивач топлоте у земљи – вертикалн-.....	44
5.4. Водена петља	46
5.5. Кондензаторска петља	48
5.6. Листа уређаја	50
5.7. Листа опреме кондензатора.....	51
5.8. Опрема која се не може контролисати у петљи.....	52
5.9. Грејно оптерећење опреме у петљи	53
5.10. Операциона шема опреме у петљи	54
5.11. Операциона шема опреме кондензатора	55
5.12. Распоред контролних тачака	56
6. СИМУЛАЦИЈЕ, ИЗВЕШТАЈИ И АНАЛИЗЕ ДОБИЈЕНИХ ПОДАТАКА О ПОТРОШЊИ ЕНЕРГИЈЕ У КУЋИ ЗА РАЗЛИЧИТЕ СИСТЕМЕ ГРЕЈАЊА	57

6.1.	Симулација потрошње енергије у кући која користи систем за грејање са топлотном пумпом.....	57
6.1.1.	Топлотна пумпа	57
6.1.2.	Симулација и добијени резултати.....	59
6.2.	Симулација потрошње енергије у кући која користи систем за грејање са топлотном пумпом и PV панелима преко целе површине крова.....	62
6.2.1.	PV панели.....	62
6.2.2.	Симулација и добијени резултати.....	64
6.3.	Симулација потрошње енергије у кући која користи систем за грејање са топлотном пумпом и већом површином PV панела	65
6.3.1.	PV панели.....	65
6.3.2.	Симулација и добијени резултати.....	66
6.4.	Симулација потрошње енергије у кући која користи систем за грејање сагоревањем фосилних горива, систем са гасним котлом	67
6.4.1.	Гасни котао	67
6.4.2.	Симулација и добијени резултати.....	68
6.5.	Симулација потрошње енергије у кући која користи систем за грејање електро котлом.....	70
6.5.1.	Електро котао.....	71
6.5.2.	Симулација и добијени резултати.....	71
7.	ПОРЕЂЕЊЕ ПОТРОШЊЕ ЕНЕРГИЈЕ У КУЋИ	74
7.1.	Поређење потрошње енергије за грејање.....	74
7.2.	Поређење укупне потрошње енергије у кући	75
8.	ЕКОНОМСКА АНАЛИЗА ИСПЛАТИВОСТИ УГРАДЊЕ РАЗЛИЧИТИХ СИСТЕМА ГРЕЈАЊА.....	76
8.1.	Систем који користи електро котао за грејање	76
8.2.	Систем који користи природни гас за грејање.....	76
8.3.	Систем који користи топлотну пумпу за грејање.....	77
8.4.	Систем са топлотном пумпом и PV панелима мање површине који електричну енергију из PV панела користи за рад исте.....	77
8.5.	Систем са топлотном пумпом и PV панелима веће површине који електричну енергију из PV панела користи за рад исте	78
8.6.	Систем са топлотном пумпом и PV панелима мање површине који електричну енергију предаје мрежи и узима је из ње	79
8.7.	Систем са топлотном пумпом и PV панелима веће површине који електричну енергију предаје мрежи и узима је из ње	80
8.8.	Годишњи трошкови.....	81
8.9.	Исплативост уградње система.....	82
	ЗАКЉУЧАК	84

УВОД

Данашње резерве конвенционалних извора енергије, у које спадају фосилна и нуклеарна горива су ограничене и неравномерно распоређене у свету. Услед интензивне експлоатације конвенционалних извора енергије, долази и до емисије загађујућих супстанци које озбиљно угрожавају животну средину.

Стога се морају наћи алтернативни извори енергије и обезбедити довољне количине енергије да би се подмириле потребе развоја људског друштва, и извори енергије који ће сачувати животну средину. Загађење животне средине данас је достигло алармантне размере што се жели показати људима кроз разне скупове и кроз доношење разних конвенција о очувању животне средине.

Једна од таквих конвенција је и КЈОТО протокол чији је и Србија потписник и који обавезује земље потписнице да смање емисију угљен диоксида. Наравно то смањење их окреће ка коришћењу неких других врста енергије као што су **обновљиви извори енергије**[1].

1. ОБНОВЉИВИ ИЗВОРИ ЕНЕРГИЈЕ

Под појмом **обновљиви извори енергије (ОИЕ)** подразумевају се извори енергије који се налазе у природи и обнављају се у целости или делимично, посебно енергија водотокова, ветра, неакумулирана сунчева енергија, биомаса, геотермална енергија и др.[1].

Технички искористив енергетски потенцијал наведених ОИЕ у Републици Србији, што је илустративно представљено на *слици 1.1*, веома је значајан и процењен је на преко 4,3 милиона тона еквивалентне нафте (тое) годишње - од чега се око 2,7 милиона тое годишње налази у искоришћењу биомасе, 0,6 милиона тое годишње у неискоришћеном хидропотенцијалу, 0,2 милиона тое годишње у постојећим **геотермалним изворима**, 0,2 милиона тое годишње у енергији ветра и 0,6 милиона тое годишње у искоришћењу сунчевог зрачења[1].



Коришћење ових извора доприноси ефикаснијем коришћењу сопствених потенцијала у производњи енергије, смањењу емисија "гасова стаклене баште", смањењу увоза фосилних горива, развоју локалне индустрије и отварању нових радних места

Слика 1.1 Обновљиви извори енергије у Србији

1.1. Геотермална енергија

Геотермална енергија (чији назив потиче од грчких речи **гео** - што значи земља и **тхерме** - што значи топлота) представља онај део енергије акумулиране у дубини Земље који у облику врућег или топлог геотермалног флуида (воде или паре) долази до површине Земље. На *слици 1.2* су приказани геотермални извори. Геотермална енергија се може користити на различите начине - директно (за купање, лечење, загревање објеката различитих намена итд.) или за производњу електричне енергије која представља индиректни начин коришћења. Топлота Земље резултат је разних процеса који се одвијају у унутрашњости Земље као што су распадање изотопа, радиоактивних елемената, разних хемијских реакција и сл. при високим температурама које могу износити и преко 4000 °C. Основни флуид који служи за пренос топлоте је вода или пара, а регенерише се тако што се радни флуид пробија кроз унутрашњост Земље, загрева се и затим циркулише назад према површини, где се појављује у облику извора вруће воде или паре[2].

Степен повећања температуре са дужином Земље назива се геотермални градијент. Пораст температуре у односу на дубину просечно износи мање од 30°C/km, док места са високим потенцијалом за коришћење геотермалне енергије могу имати пораст температуре од чак 100 °C по 1 km дубине. Потенцијал геотермалне енергије је толики да се може сматрати скоро неисцрпним. Процењује се како је има 50 000 пута више од укупне енергије која се може добити из класичних извора (нафте и гаса) широм света[3].



Слика 1.2 Геотермална енергија

Геотермални извори се могу поделити на неколико основних група:

- према степену истражености, односно потврђености лежишта,
 - према врсти лежишта,
 - према температури геотермалног флуида (топле или вреле воде или паре).
- Према степену истражености лежишта, карактеристикама хемијског и физичког својства флуида (воде или паре), параметрима потребним за њихово утврђивање и могућностима за коришћење геотермални извори се деле на:
 - утврђене:
 - билансне (који се могу искористити познатим техничким средствима),
 - небилансне (који се још не могу или се уопште не могу експлоатисати познатим техничким средствима),
 - потенцијалне
 - Према врсти геотермалних лежишта деле се према:
 - напајању, односно начину уласка флуида у лежиште и изласку из њега:
 - с природним уласком и изласком геотермалног флуида,
 - с природним уласком и вештачким изласком флуида (кроз бушотину),
 - с вештачким уласком и изласком флуида (бушотине)[2].
 - термодинамичким и хидролошким својствима на:
 - изворе топле или вруће воде,
 - изворе суве водене паре,
 - лежишта вреле воде и гасова на великим дубинама и под високим притиском,
 - Према температури геотермалног флуида:
 - вруће и суве стене.

1.1.1 Примена геотермалне енергије

Геотермална енергија се може користити на два основна начина:

- Директно - као топлотна енергија
- Индиректно -за производњу електричне енергије

Начини примене при томе највише зависе од температуре извора, његове издашности, притиска и физичко - хемијског састава. Неколико је основних разлога за примену геотермалне енергије за добијање топлоте односно електричне енергије:

- смањење потрошње уобичајених извора енергије (фосилних горива),
- смањење штетних емисија,
- могућност дугорочног искоришћавања (од 30 - 50 година) уз дуг век трајања система (20 - 30 година),
- висока расположивост (95 - 99% годишње),
- мали трошкови изградње погона и одржавања (свега 5 - 8% укупних улагања, готово као за хидроелектране),
- прилагодљивост величини система (нпр. за електране: од 200 KW до 1200 MW, за топлане: од 30 KW за домаћинства до неколико MW за цела насеља) могућност претварања у више облика енергије[2].

1.1.2. Геотермално грејање

Постоје два основна система :

Директни - ови системи су једноставни и економски погодни, јер се геотермална топлота директно уводи у грејни систем. Међутим, њихова примена је релативно ограничена будући да су геотермалне воде са повољним физичко - хемијским саставом и одговарајућом температуром веома ретке.

Индиректни - Ови системи се углавном граде са измењивачем топлоте, где је примарни флуид геотермална вода, а секундарни флуид је најчешће хемијски припремљена вода. Наиме, геотермална вода се из бушотине уводи у резервоар одакле се пумпом транспортује до измењивача топлоте где предаје топлоту секундарном грејном флуиду који циркулише кроз систем. Охлађена геотермална вода из измењивача топлоте се кроз бушотину поново враћа у лежиште. Ово је много чешћи случај примене због тога што су у свету и код нас најраспрострањеније минерализоване геотермалне воде.

1.1.3. Топлотне пумпе

Систем грејања топлотним пумпама, *слика 1.3*, састоји се од извора топлотне енергије, топлотне пумпе и система за дистрибуирање и чување топлотне енергије[4].



Слика1.3 Систем топлотне пумпе



Слика1.4 Топлотна пумпа

Топлотне пумпе, *слика 1.4*, могу да имају ниже трошкове за гориво од конвенционалног грејања и хлађења система, али они су скупљи за куповину. Важно је пажљиво вагати своје очекиване уштеде горива у односу на почетну цену. Топлотне пумпе су најекономичније када се користе целе године[4].

Уградња топлотних пумпи ће имати више смисла ако се користи за грејање зими и хлађење лети. Међутим нема много смисла улагати у ефикасан систем грејања ако су објекти слабо изоловани, зидови, плафони, прозори и врата на објектима. Топлотна пумпа је електрични уређај који топлоту узима на једном месту и преноси је на друго. Фрижидери и клима уређаји су примери ове технологије. У једном испаривачу, расхладна течност испарава на ниском притиску и апсорбује топлоту из околине. Расхладна течност се затим сабија на путу до другог испаривача, где се кондензује на високом притиску. У овом тренутку се ослобађа топлота. Фрижидер је у суштини изолована кутија са системом топлотне пумпе прикључен на њега, слично, и клима уређај преноси топлоту из унутрашњости куће на отвореном[4].

■ Принцип рада топлотне пумпе

Топлотна енергија која се узима из околине (обично се температуре крећу у интервалу од $+7^{\circ}\text{C}$ до $+14^{\circ}\text{C}$) улази у испаривач топлотне пумпе. У цеви се налази гас (фреон) односно радни флуид који преузима ту топлотну енергију[5].

Гас затим улази у компресор и подиже му се притисак што доводи до значајног повећања његове температуре и топлотног потенцијала.

Унутар затвореног система измењивач топлоте врши предавање топлоте гаса на систем за грејање. Захваљујући предаји топлотне енергије, температура гаса се снижава на првобитну температуру а гас се затим доводи до експанзионог суда и вентила, чиме се притисак враћа у почетно стање. Потом се гас враћа у испаривач, где процес почиње поново.

■ Врсте топлотних пумпи

Постоје неколико врста топлотних пумпи који углавном зависе од начина узимања топлотне енергије из околине.



Постоје топлотне пумпе које узимају топлоту из околног ваздуха, *слика 1.5*, и то представља врло лак начин за добијање топлотне енергије јер ваздух није потребно додатно издавати и доступан је у сваком тренутку[5].

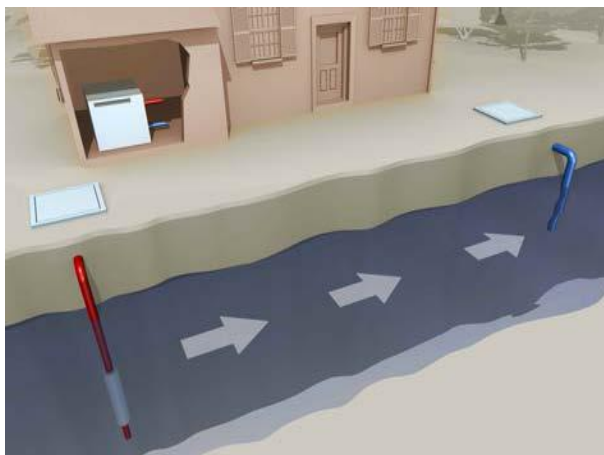
Слика 1.5 *Топлотна пумпа ваздух-ваздух*

Други начин за добијање топлотне енергије топлотним пумпама је из земље што је приказано на *слици 1.6*.



Слика 1.6 *Топлотна пумпа земља-ваздух*

Трећа врста коришћења топлотних пумпи, приказано на *слици 1.7*, је узимање топлоте из вода.



Слика 1.7 *Топлотна пумпа вода-ваздух*

Земљиште садржи огромну количину топлоте која долази од топлог језгра земље[5].

Подземна температура воде је обично између 8°C до 12°C . Ипак, системи узимања топлоте из подземних вода подлежу ограничењима у погледу како се вода прикупља и како се касније одлаже, јер је за то потребно добити специјалне дозволе[5].

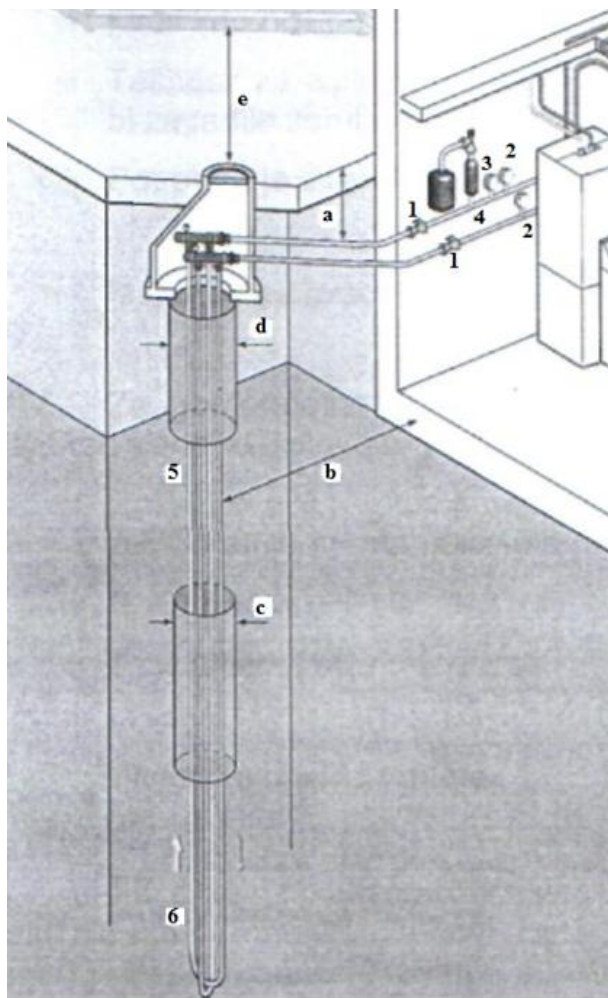
1.1.4. Топлотне пумпе типа земља – вода

Поред горе наведених случајева постоје и топлотне пумпе типа земља – вода. У системима типа земља-вода топлотне пумпе као енергију користе топлоту земље. Постоје два различита система експлоатације енергије из земље: помоћу сонде које се постављају вертикално на већим дубинама (преко 50 m) и помоћу колектора који се постављају хоризонтално на малим дубинама. У оба случаја флуид који циркулише кроз систем цеви у земљишту од тла одузима топлоту и предаје је топлотној пумпи[5].

- Геотермална сонда

За добијање топлоте из земље, геотермалне сонде су се показале као зрело и поуздано решење. Геотермална сонда је посебно погодна за мала земљишта, на којима нема довољно простора за инсталацију земног колектора. Геотермална топлота се преноси дубоко из средишта земље ка површини. Геотермалне сонде у облику пластичних У-цеви, монтиране вертикално у отворе избушене дубоко до 100 и више метара, преузимају ову топлоту и транспортују је у топлотну пумпу.

На слици 1.8 приказан је систем са инсталацијом геотермалне сонде;



Легенда:

- 1) Завртни вентил
- 2) Приказ температуре
- 3) Приказ притиска
- 4) Компензацијска посуда са сигурносним вентилом
- 5) Двострука сонда са У-цевима
- 6) Завршни елемент геотермалне сонде

Дубина постављања, минимални размаци и димензије

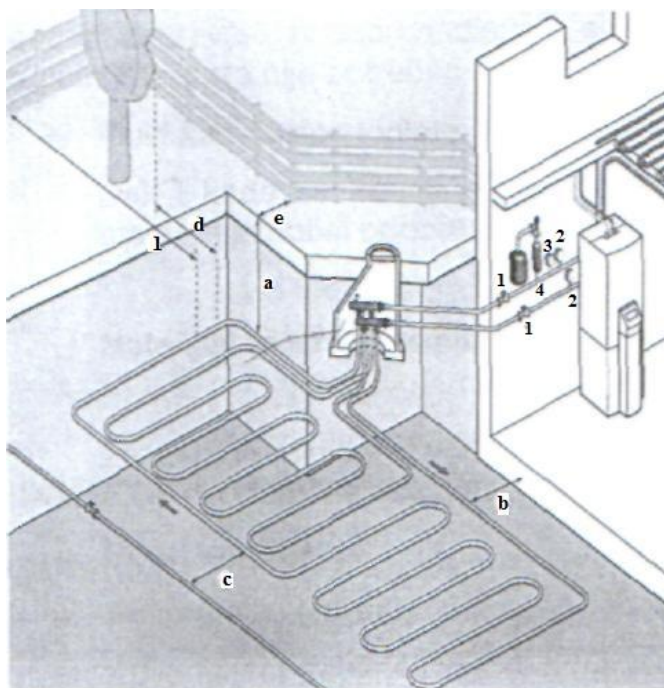
- а) Полазни вод / повратни вод с нагибом од топлотне пумпе ка геотермалној сонди на 1m дубине
- б) Минимални размак од темеља зграде требао би износити 2 m
- с) Пречник отвора 0,115-0,12 m, испуњавање празног простора кварцним песком, изолацијом или бентолитом
- д) Заштитна цев, дужина од 6-20 m, пречник 0,17 m,
- е) Минимално 3 m размака од границе земљишта.

Слика1.8 Топлотна пумпа са геотермалном сондом

- Земни колектор

Земни колектор састоји се од система цеви које се полажу на 0,2 m испод границе смрзавања. Цевни систем се полаже на дубини од 1.2 m до 1.5 m. На тој дубини током целе године влада температура од 5-15 степени Целзијуса. Колектор је посебно погодан за објекте који располажу великом слободном површином плаца. Према неписаном правилу потребна површина земљишта мора бити већа или једнака двострукој површини објекта којег треба загрејати[2].

На слици 1.9, приказан је систем земног колектора.



Легенда:

- 1) Завртни вентил
- 2) Приказ температуре
- 3) Приказ притиска
- 4) Компензацијска посуда са сигурносним вентилом

Дубина постављања, минимални размази и димензије

- a) 1-1,4 m дубина постављања
- b) 1,5 m размак од темеља зграде
- c) 1,5 m размак од водова питке воде или отпадних вода
- d) 0,5 m размак од спољашње ивице крошње дрвета
- e) 1 m размак од темеља оgrade или сличног
- f) 3 m размак од границе земљишта

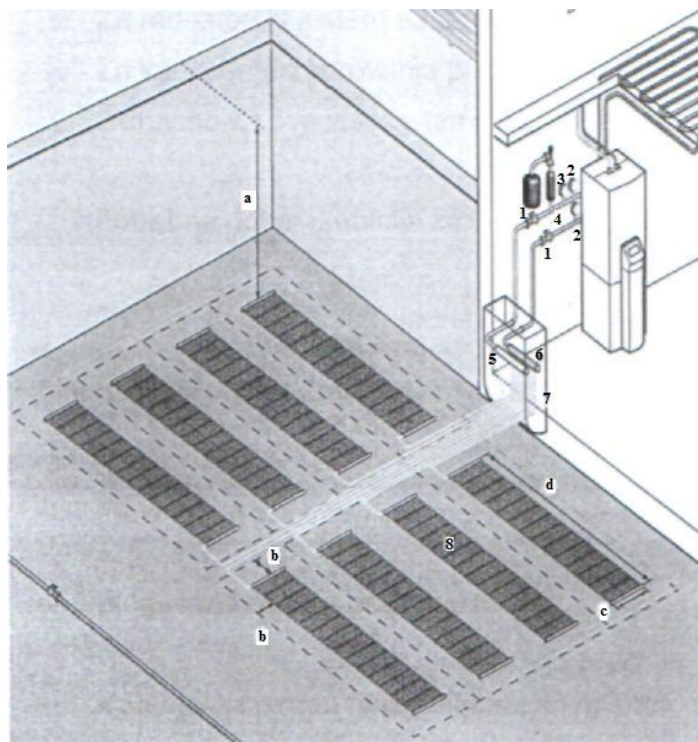
Слика 1.9 *Земни колектор*

Количина топлоте која се може добити зависи од много фактора, а међу најважнијима су осунчаност земљишта и специфични топлотни капацитет тла. Просечна годишња ефикасност таквог система износи од $20-40 \text{ W/m}^2$ колекторског поља.

При правилном димензионисању земних колектора, врло су мали утицаји на околно тло. Правилно димензионисани земни колектор од велике је важности за непрекоран рад топлотне пумпе. Иначе, треба истаћи да трошкови уградње земног колектора знатно су нижи од трошкова уградње геотермалне сонде[2].

- **Компактни колектор**

Компактни колектор, *слика 1.10*, је решење које штеди простор у односу на класичан земни колектор. Састоји се од више колекторских поља које се у тло уграђују водоравно. Колекторска поља се међусобно повезују путем разделника/сабирника паралелним спојем. Притом се систем поставља 0,2 m испод границе смрзавања на 1,2-1,5 m дубине.



Легенда:

- 1) Завртни вентил
- 2) Приказ температуре
- 3) Приказ притиска
- 4) Компезацијска посуда са сигурносним вентилом
- 5) Сабирник
- 6) Разделник
- 7) Кутија
- 8) Колекторско поље

Дубина постављања, минимални размаци и димензије

- a) Дубина постављања, 0,2 m испод границе смрзавања на 1,2-1,5 m дубине
- b) 0,5 m сигурносног размака
- c) 1 m ширина колекторског поља
- d) 6 m дужина колекторског поља

Слика 1.10 Компактни колектор

Код инсталација топлотних пумпи на малим површинама земљишта нуди се могућност коришћења компактног колектора као решење које штеди на простору. Предности компактног колектора у односу на земни колектор су:

- ◆ Мање потребног инсталационог простора,
- ◆ Мањи ископ,
- ◆ Нижи трошкови уградње (у поређењу са геотермалном сондом или земним колектором),

Посебно погодна техника за нискоенергетске куће или пасивне куће са системом подног грејања.

1.1.5. Утицај коришћења геотермалне енергије на животну средину

Сва енергетска постројења имају утицај на животну средину, нека у већој, а нека у мањој мери. Као и код других енергетских постројења која користе обновљиве изворе енергије, сматра се да је утицај коришћења геотермалне енергије на животну средину значајно мањи него код постројења која користе фосилна или нуклеарна горива. Ипак утицај постоји и треба га посматрати кроз неколико основних показатеља:[2].

- Емисије штетних супстанци (у ваздух, воду и земљиште) при коришћењу геотермалних вода,
- Промену рељефа због изградње геотермалног постројења,
- Слегање тла због промена у подземним слојевима земљишта[2].

Коришћење геотермалних вода у енергетске сврхе може имати позитиван и негативан еколошки утицај. У идеалном случају, који у пракси не постоји, примена у енергетске сврхе физичко - хемијски потпуно чисте геотермалне воде би смањила емисију гасова из конвенционалних извора у оној мери у којој би се тиме смањило удео фосилних горива у задовољењу енергетских потреба. Са друге стране, у најгорем случају, хемијски најпрљавија геотермална вода могла би "изнети" на површину Земље и у атмосферу велике количине загађујућих гасова и других материја CO₂, H₂S, NH₃, CH₄, N₂, H₂, радона, арсена, живе, олова итд.) утичући тако на повећање концентрације загађујућих материја у ваздуху[6].

Слегање тла због промена притиска у лежишту, настало црпљењем геотермалне воде, је еколошки проблем који је специфичан за коришћење геотермалне енергије. На пример на Новом Зеланду забележено је слегање тла чак за 13 m (у већем временском периоду). Један од проблема је и појава клизишта што може узроковати и проблеме у раду самог постројења. Ипак, ови проблеми се прилично једноставно решавају одржавањем сталног притиска у лежишту, тј, поновним враћањем искоришћеног или другог флуида у дубину земље.

1.1.6. Предности коришћења топлотних пумпи у односу на друге конвенционалне изворе

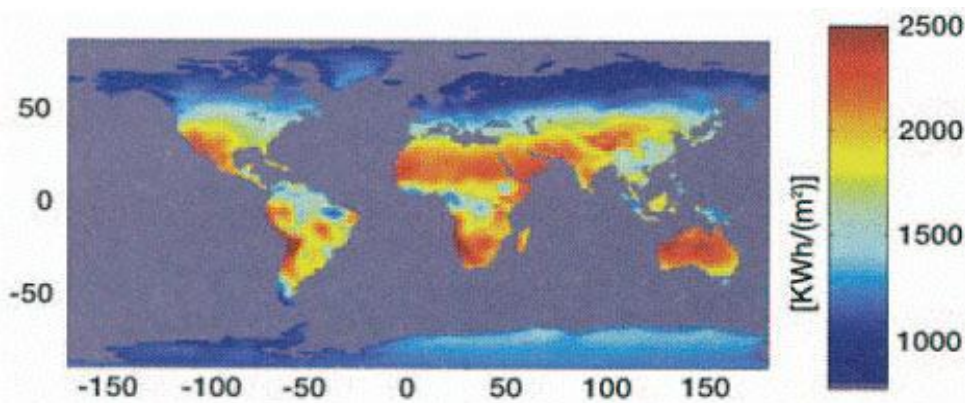
Опште предности геотермалних топлотних пумпи:[2].

- У току целог радног века топлотне пумпе добија се преко 70% бесплатне енергије потребне за грејање простора,
- Једнократном инвестицијом решава се и грејање и хлађење простора,
- Поређењем цена топлотне пумпе и подног система грејања и хлађења са котловским и радијаторским системом указује да је инвестиција у подно грејање са геотермалном топлотном пумпом незнатно већа од класичног система. Уштеда горива је дугогодишња добит, поготово када се узме у обзир континуално повећање цена свих горива,
- Коришћење топлотних пумпи у комбинацији са нпр. соларним колекторима потпуно је еколошки начин коришћења енергије,
- Подно и зидно грејање са топлотном пумпом омогућава рационалније коришћење простора за разлику од других конвенционалних система који подразумевају нпр. уградњу радијатора, што пружа могућност за максимално прилагођавање ентеријера потребама и визуелном утиску,
- Угодан осећај пријатне топлоте у било ком делу грејног простора омогућава да се температура простора одржава на два до три степена нижој температури у односу на друге класичне системе грејања,
- Угодна температура од 22 до 27 °C не изазива никакве здравствене проблеме и повећава угодност,
- Изузетно ниски трошкови сервиса и одржавања,
- Потпуно тих рад,
- Животни век система је око 50 година, а трошкови грејања су неколико пута мањи, с тим што је извор енергије сигуран.

1.2. Соларна енергија

Соларна енергија је енергија сунчевог зрачења коју примећујемо у облику светла и топлоте коју примамо од највећег извора енергије на Земљи, Сунца. Већ деценијама се соларна енергија користи за генерисање топлоте у смислу загревања воде, животног простора, а такође и за хлађење. Употреба соларне енергије има вишеструке предности. То је тих, чист и поуздан извор енергије. Због растуће цене фосилних горива као и због јечања свести о потреби очувања животне средине све више расте интерес за коришћење сунчеве енергије[6].

На површини Земље може се добити мах. 10 KW/m^2 соларне енергије али стварна вредност зависи од локације, годишњег доба, доба дана, временских услова итд. На слици 1.11 је приказана глобална варијација озрачености. У Србији је просечна вредност инсолације на хоризонталну површину од 3 до $4,5 \text{ KWh/m}^2$. Инсолацијски ниво Европе није посебно погодан за експлоатацију, али директно искоришћавање сунчеве енергије ипак је у великом порасту. Већином је то резултат политике појединих држава које субвенционису инсталирање елемената за претварање сунчеве енергије у искористиви облик енергије. Основни проблеми искоришћавања јесу: мала густина енергетског тока и велике осцилације интензитета зрачења[6].

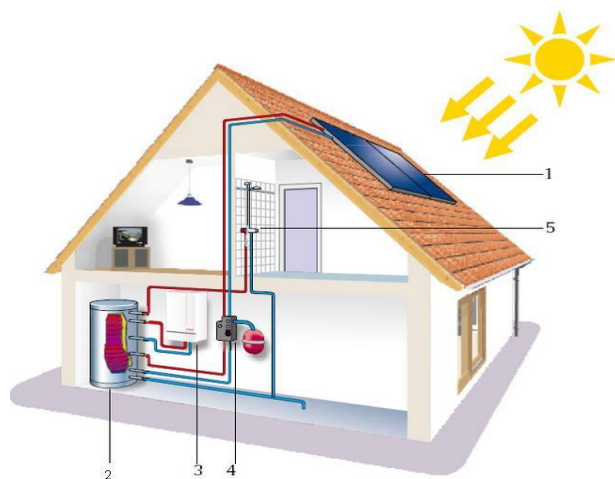


Слика 1.11 Глобална варијација озрачености

Енергија сунчеве радијације више је него довољна да задовољи све веће енергетске захтеве у свету. У току једне године, сунчева енергија која доспева на земљу 10.000 пута је већа од енергије неопходне да задовољи потребе целокупне популације наше планете. Сваког дана сунчева енергија, која нам бесплатно стиже на Земљу, може слободно да се користи захваљујући технологији фотонапонске конверзије сунчеве енергије у електричну, или конверзија сунчеве енергије у топлотну користећи соларне колекторе. Директна конверзија сунчеве енергије у електричну, тзв. фотонапонски ефекат, први је пре скоро два века уочио француски научник Едмонд Бекерел (Edmond Becquerel).

1.2.1. Соларни колектори

У стамбеним објектима постоје два типа соларно топлотних енергетских система: они који се користе искључиво за загревање воде и они који уз то обезбеђују и грејање (такозвани комби - системи).



Соларно топлотни енергетски системи, *слика 1.12*, за загревање воде су дизајнирани тако да су у топлијој половини године комплетно одговорни за загревање воде. У зимским месецима топла вода се обезбеђује бојлерима који раде на нафту, гас или дрво, а у току сунчаних дана подржава га соларно топлотни енергетски систем. То значи да се сваке године око 60% захтеване топле воде може остварити соларним топлотним енергетским системима[6].

Слика 1.12. Соларно-топлотно енергетски систем

Соларно топлотни енергетски систем за загревање воде у кући:[6].

1. Колектор
2. Соларни резервоар
3. Бојлер
4. Соларна станица
5. Потрошач топле воде (нпр. туш)

Постоје различите врсте соларних колектора. Најједноставнија форма колектора је незастакљен пластични апсорбер. Код њих се вода пумпа кроз црне пластичне покриваче и обично се користи за грејање базена. Овом методом постиже се температура од 30°C до 50°C. Веома чести у употреби су колектори са равном плочом. Код њих, соларни апсорбер, који конвертује соларно зрачење у топлотну енергију, је инсталиран у изолованој стакленој кутији да би се смањили топлотни губитци. Равни колектори углавном постижу температуру између 60°C и 90°C.



Ваздушни колектори, *слика 1.13*, су специјални тип колектора са равном плочом у којима се ваздух загрева и, за највећи део, користи директно без посредног складиштења за загревање објекта. Загрејани ваздух се такође може користити за сушење пољопривредних производа. Помоћу измењивача топлоте ваздух-вода, такође се може грејати и вода, на пример за домаћу употребу.

Слика 1.13 Соларни колектори

Више температуре и већи степен ефикасности може се постићи употребом вакумског цевног колектора зато што је топлотни губитак додатно смањен преко јаког негативног притиска у стакленим цевима. Колектор се састоји од бројних вакумских стаклених цеви. Вакумски цевни колектори се могу инсталирати готово водоравно на равним крововима. Постоји низ инсталацијских, техничких и практичних предности соларних колектора за загревање воде. Прво, самим тим што користе сунчеву светлост пружају јединствен осећај сигурности јер је то неисцрпан енергент на располагању

сваком кориснику. Друго, њихови трошкови одржавања су безначајни у односу на век експлоатације и само се једном плаћају код уградње система. Треће, енергија сунца штеди друге енергенте који се плаћају, а инвестиција се враћа за две до пет година. Четврто, није потребно да је објекат унапред пројектован за потребе инсталације таквог система грејања. Соларне колекторе је лако интегрисати у било који већ постојећи систем грејања у било ком објекту. Просечан систем у домаћинству смањује емисију CO₂ за око 350 kg годишње[6].

1.2.2. PV панели

PV панели служе за директну конверзију сунчеве енергије у електричну, *слика 1.14*. Енергија сунчеве радијације довољна је да произведе просечно 1700 KWh електричне енергије годишње на сваком квадратном метру тла, а што је радијација већа на некој локацији, већа је и генерисана енергија. Тропски региони су у том погледу повољнији од осталих региона са умеренијом климом. Средња озраченост у Европи износи око 1000 KWh по квадратном метру, док поређења ради, она износи 1800 KWh на Блиском истоку[7].



Слика 1.14 Фотонапонски панели, примена у домаћинству[8].

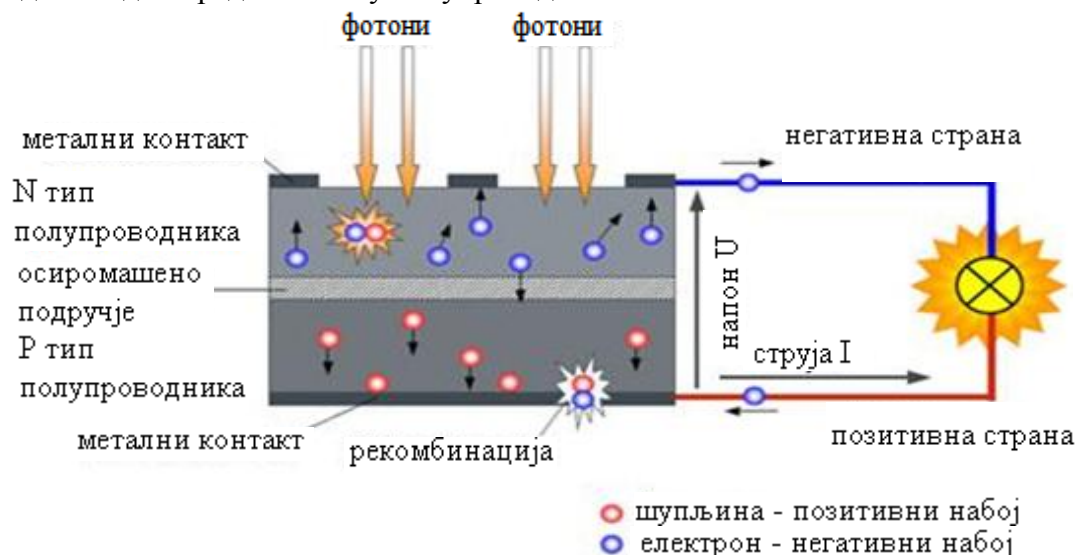
Интензитет сунчеве радијације у Србији је међу највећима у Европи. Најповољније области код нас бележе велики број сунчаних сати, а годишњи однос стварне озрачености и укупне могуће озрачености је приближно 50%[6].

1.2.3. Производња електричне енергије PV панелима

Електрична енергија се производи из енергије Сунца на два различита начина: посредно преко Топлотног кружног процеса и директно коришћењем фотоефекта. Први је приступ знатно ближе економичности, али за други приступ постоји већи подстицај и брже се развија.

Индустријски развој фотонапонских соларних модула потиче из давне 50-те године првенствено у циљу примене за напајање сателита у орбити Земље. Од тада развој технологије достигао је фантастичне размере у смислу једноставности примене, снаге, поузданости као и цене. Сам принцип рада, *слика 1.15*, у суштини је једноставан: неки материјали као нпр. монокристал силицијума има особину да изложен сунчевом зрачењу, производи електричну енергију. Силицијум је најпознатији полупроводнички елемент и други хемијски елемент по распрострањености у природи. Атом Si садржи 14 електрона смештених у три орбите. Прве две су попуњене, док се у трећој налази 4 електрона уместо осам, који би је потпуно попунили. На тај начин силицијум формира кристалну структуру у којој су суседни атоми спојени заједничким електронима у

трећој орбити. Уколико се у ову структуру убади елемент, као што је фосфор (P), који у последњој орбити има, на пример пет електрона (силицијум се "допингује"), један електрон ће остати ван чврсте међуатомске везе, везан слабир везама за сопствено језгро. Овај електрон се лако ослобађа те везе деловањем додатне енергије, каква је енергија фотона електромагнетног зрачења (светлости пре свега) и на тај начин постаје слободан. Овде се ради о n-типу полупроводника.

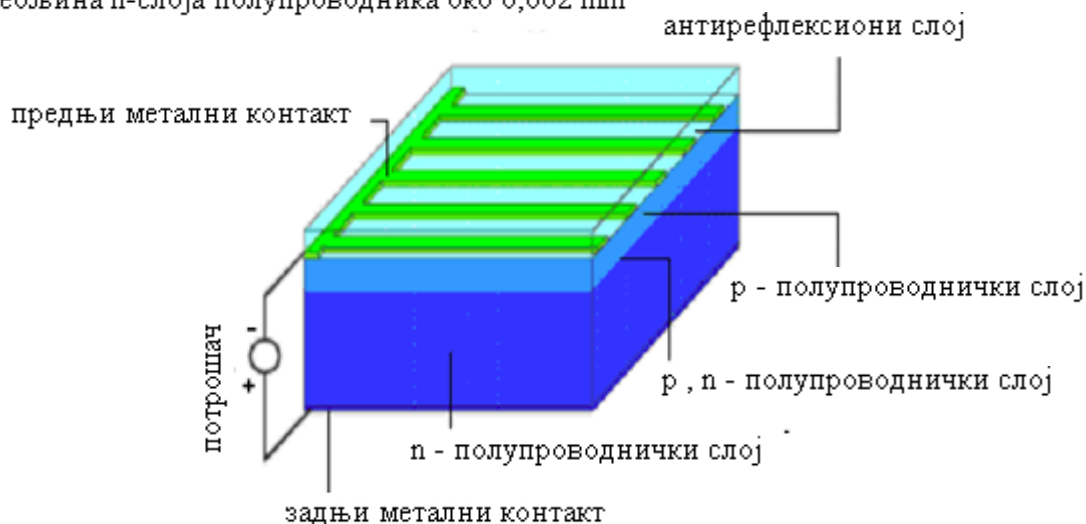


Слика 1.15 Фотоелектрични ефекат

С друге стране, уколико се силицијум допингује елементима који имају три електрона у последњој орбити, као што је бор на пример (B), везе између атома ће имати "шупљине", места непопуњена електронима. На овај начин добија се P-тип полупроводника. Комбинацијом ова два типа полупроводничког материјала добија се практично и даље електрично неутралан материјал, јер слободни електрони налазе своје место у слободним шупљинама. Међутим, уколико се између p и r слоја постави неутралан раздвајајући слој (p-n слој), што је шематски приказано на *слици 1.16*, појавиће се разлика напона на спољним површинама овог полупроводничког "сендвича".

дебљина соларне ћелије око 0.3 mm

дебљина n-слоја полупроводника око 0,002 mm



Слика 1.16 Шематски приказ фотонапонске ћелије

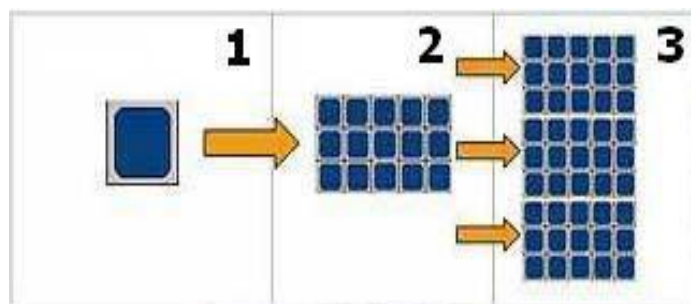
Поред дефинисаних n , p и $p-n$ полупроводничких слојева, класична фотонапонска ћелија на врху поседује антирефлексни транспарентни слој, затим метални контакт (контактну мрежу) на n слоју, следе три описана полупроводничка слоја и рефлексивна метална плоча-контакт са задње стране ћелије. PV ћелија се прикључује на одговарајући потрошач и електрично коло је затворено.

Занимљиво је истаћи да просечна дебљина класичне силицијумске PV ћелије износи само 300 μm , а негативни n слој само 2 μm . Једна класична силицијумска PV ћелија има димензије 10 x10 cm (веома је ретко већа). Како се њен уобичајени радни напон креће око 0,5 V, прибегава се повезивању ових ћелија у соларне PV модуле и веће панеле, где су PV ћелије спојене редно, како би се добио уобичајени напон од 12 V (даље је могуће паралелно повезивање у панелу), што је приказано на *слици 1.17*. У суштини могуће су све комбинације серијског и паралелног повезивања ћелија. PV ћелија прикључена на потрошача даје једносмерну струју, док се она инвертером може превести у наизменичну струју одговарајућих карактеристика.

Тренутно 95% фотонапонских ћелија у експлоатацији представљају силицијумске PV ћелије.

Постоје три основна типа силицијумских PV ћелија:

- монокристалне силицијумске PV ћелије,
- поликристалне силицијумске PV ћелије и
- PV ћелије од аморфног силицијума[6].



Слика 1.17 Спајање више модула фотонапонских ћелија[6].

2. МОТИВАЦИЈА ЗА МАСТЕР РАД

Главна мотивација за мастер рад је упознавање са начинима уштеда енергије, очување животне средине и побољшање услова живота, *слика 2.1*. Имајући у виду значај развоја тржишта обновљивих извора енергије, њихов позитиван утицај на регионалне и локалне развојне могућности, као и развој нових генерација и технологија многи се данас okreћу чистим изворима енергије.



Производњом електричне енергије из неког од обновљивих извора штеди се енергетско гориво, које би се иначе потрошило у некој од конвенционалих електрана за производњу једнаке количине електричне енергије.

Слика 2.1 Топотна пумпа- стандард живота[9].

Примера ради, неколико MWh електричне енергије произведених у ветроелектрани штеди неколико тона угља које би се искористиле у електрани на угаљ за производњу једнаке количине MWh.

Поред великог утицаја на смањење загађености животне средине велике могућности постоје и за отварањем нових радних места и повећањем стандарда живота људи који живе у пределима који нису имали могућност развоја. Обновљиви извори енергије доприносе развоју руралних подручја. Локације електрана које користе неки од обновљивих извора енергије најчешће су изван урбаних средишта, па доприносе развоју тога подручја, посебно у смислу:

- запошљавања локалног становништва,
- изградње саобраћајница и приступних путева,
- сигурније опскрбе електричном енергијом те
- додатних садржаја у околини такве електране.

Свако од нас, будући да од нас зависи планета каква ће изгледати у будућности, треба да разуме и схвати да следећим генерацијама нећемо оставити ништа, поготово не тако вредно као што је очувана природа и здрава средина, ако сами не схватимо значај природе која нас окружује. Стога је наша обавеза већа да пронађемо начине да себи обезбедимо угодан живот а истовремено сачувамо природу. То је уједно и био главни разлог овог мог рада, да покушам да дам бар неке смернице у истраживању неких нових начина уштеде енергије а уз очување животне средине.

3. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА У ОБЛАСТИ УШТЕДЕ И ПОТРОШЊЕ ЕНЕРГИЈЕ У СИСТЕМИМА КОЈИ КОРИСТЕ ГЕОТЕРМАЛНУ И СОЛАРНУ ЕНЕРГИЈУ

3.1. Позитивна нето енергетска кућа у Србији

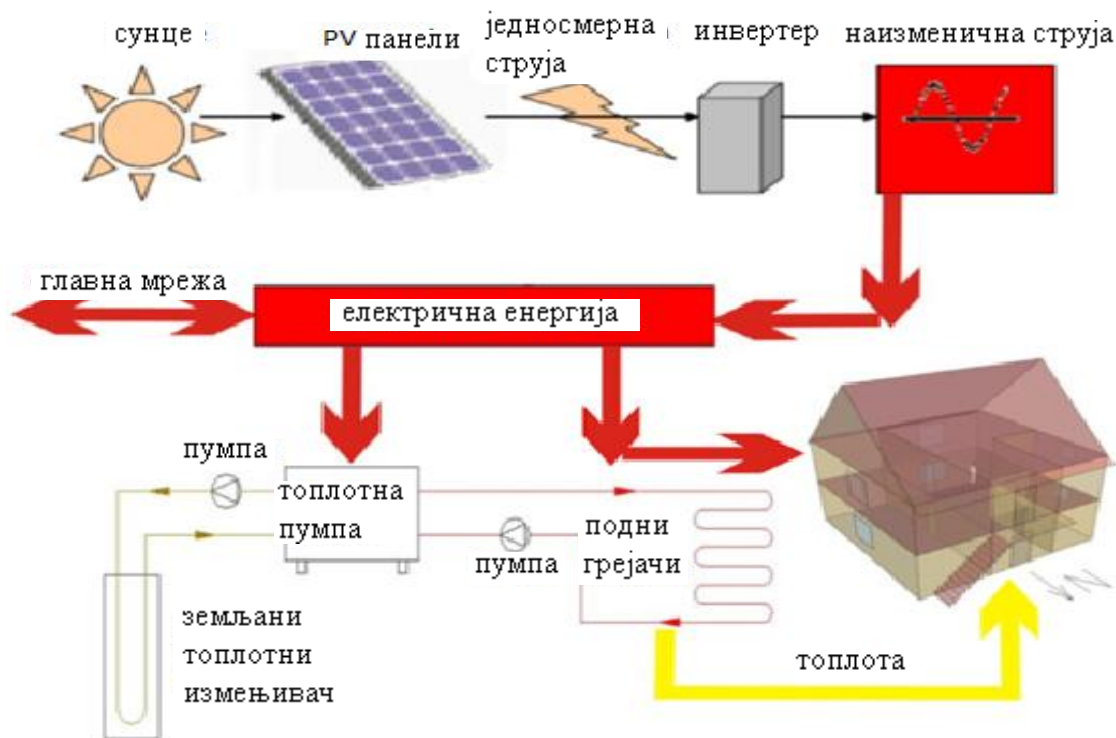
Овај рад који су урадили, Милорад Бојић, Новак Николић, Данијела Николић, Јасмина Скерлић, Иван Милетић, садржи истраживања потрошње енергије једне куће у условима у Србији која користи електричну енергију из фотонапонских панела и из мреже. Електричну енергију користи за грејни систем, осветљење, за уређаје у кући као и за покретање топлотне пумпе. У овом систему мрежа се користи као складиште за електричну енергију јер када PV панели производе више енергије она се дистрибуира у мрежу а затим се у недостатку сунца она повлачи из мреже [10].

У овом раду су испитивана три случаја. Први случај је када кућа има мању производњу електричне енергије од потребне и она се назива негативна-нето енергетска зграда NNEB. Други случај је када кућа производи онолико енергије колико јој је потребно и она се назива нето – нулта енергетска зграда ZNEB. Трећи случај је када кућа производи више енергије него што троши тако да се она зове позитивна – нето нулта енергетска зграда PNEB.

Три куће се разликују по величини панела који су постављени на крову куће. Тако NNEB кућа има само један део крова прекривен панелима док је на ZNEB кући прекривено половина крова а на PNEB кући је прекривен цео кров[10].

Сва три случаја су симулирана у програму EnergyPlus.

На слици 3.1, је приказана шема система;



Слика 3.1 Кућа, систем грејања и систем PV панела

За грејање се користи топлотна пумпа и подни грејачи. Електрична енергија која се користи за грејање користи се за покретање топлотне пумпе и пумпе у систему подног грејања.

Топлотна пумпа је главни део система и она је типа вода-вода са расхладном течностју R22, номиналног COP-а 3.5.

Резултати

Систем грејања је радио у периоду од 15 Октобра до 15 Априла. Резултати симулације показују да у првом случају кућа, са површином PV панела од $14,5 \text{ m}^2$ генерише годишње 7,5 GJ. Ова вредност је једнака потрошеној количини електричне енергије годишње за грејање топлотном пумпом. Међутим само 2,5 GJ годишње се директно узима за топлотну пумпу из PV панела. Око 5 GJ се предаје мрежи када има сунца, и толико узима из мреже када нема сунца.

У другом случају када кућа има површину PV панела од 29 m^2 , генерисана електрична енергија износи 15,55 GJ. Ова енергија је довољна да задовољи целокупну потрошњу електричне енергије у кући и за ову кућу се такође 2,5 GJ директно узима из PV панела док се 13,05 GJ предаје и узима из мреже у току године.

У трећем случају када кућа има површну од $45,6 \text{ m}^2$ PV панела, она производи више електричне енергије него што је потребно током године, 24 GJ. Енергија која је произведена PV панелима је 3,2 пута већа него код прве куће. Такође и код ове куће се 2,5 GJ енергије директно узима из PV панела док се 21,5 GJ предаје мрежи а из ње узима такође као код друге куће 13,5 GJ, док 8 GJ представља позитиви нето биланс куће.

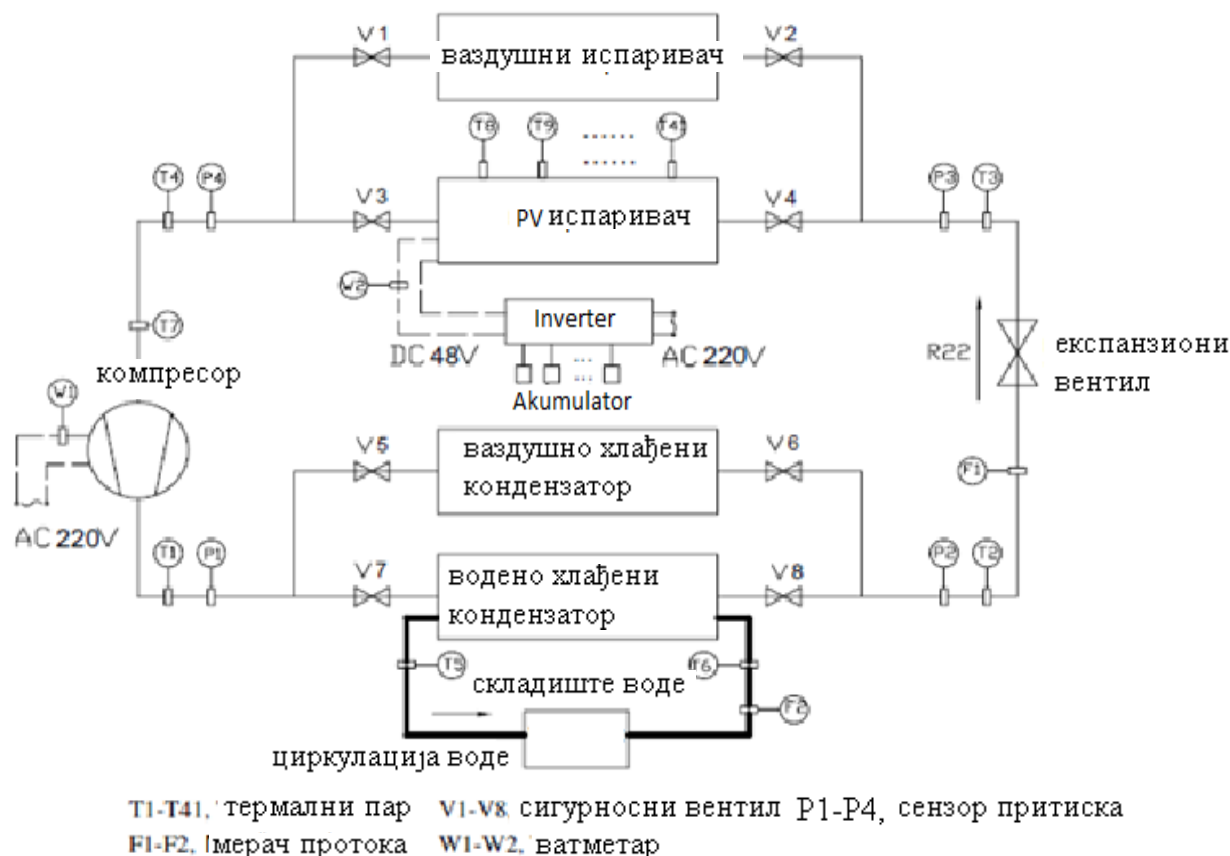
Период повраћаја инвестиција ових система у Србији са овим ценама струје износи од 9 до 20 година. Док се са ценом струје од 0,6 €/kWh овај период отплате смањује на 3 до 7 година.

3.2 Експериментална студија о фотонапонским панелима у систему топлотних пумпи

Јие Ји, Ганг Пеи, Тин-таи Цхов, Келианг Лиу, Ханфенг Хе, Јианпинг Лу, Цхонгвеи Хан, су радили тест на експерименталној бушотини. Експеримент је вршен на институту за науку у Кини (USTC), у граду Хофеј. Овај систем са фотонапонским панелима има много већи степен ефикасности од обичних система само са топлотном пумпом. Коефициент перформансе у овом случају достиже и до 10.4 док је у случају обичног система топлотне пумпе тај коефициент 5.4. Просечна ефикасност фотонапонских панела износи 13,4%.

Истраживања која се спроводе састоји се у томе да соларни колектори замене испариваче у системима топлотне пумпе. Предност овог система је виша тачка испаравања у испаривачу. Ово повећава степен ефикасности пумпе[11].

Шема система је дата на *слици 3.2*;



Слика 3.2 Шема система са топлотном пумпом и PV панелима

R 22 је коришћен као расхладни флуид у систему. PV испаривач и ваздушни испаривач су повезани паралелно. Променом положаја вентила систем је у стању да пружи мултифункционалне услуге као што су хлађење простора, грејање простора и загревање санитарне воде[11].

Компресор је променљиве фреквенце и то у опсегу од 15-120 Hz и одговарајуће улазне снаге од 150 W до 1300 W. Електро управљани експанзициони вентил аутоматски подешава фреквенцу компресора.

Фотонапонски панели

PV испаривач састављен је од 9 модула. Укупна површина PV испаривача је 5,49 m² а површина PV ћелија је 4,59 m², док је један PV модул димензија 1,01 m × 0,73 m. База PV панела је израђена од Алумунијума. Испод фотонапонских ћелија се налази цев савијена у облику змије са размаком од 130 mm, кроз који протиче расхладни флуид.

Услови под којима је вршена симулација су, 1000 W/m² соларног зрачења, 25 °C, температуре околине, 156,25 cm² површина ћелија. Из PV панела се добија 48 V, директно се конвертује у 220 V и 50 Hz наизменичне струје и предаје националној мрежи.

Експеримент

Вршена су четири експеримента са четири разичите температуре улаза у кондензатор 20 °C, 30 °C, 40 °C, и 50 °C. Временски услови у сва четири случаја су били врло слични. Компресор ради на константној фреквенцији од 40 Hz а напаја се из националне мреже. Масени проток воде је био 0,217 kg /s. Испаривач је постављен под нагибом од 38 °.

Из експеримента се може закључити да капацитет кондензатора се повећава са повећањем соларног зрачења. На пример температуре улазне воде кондензатора је била 30 °C. У 08,00 h соларно зрачење је износило 228 W/m² а капацитет кондензатора је био 1105 W. У 12,00 h соларно зрачење је износило 830 W/m² а капацитет кондензатора је износио 2481 W док је соларно зрачење у 16,00 износило 245 W/m² а капацитет кондензатора је износио 1625 W.

Резултати

Варијација потрошње енергије компресора

Компресор ради константно током четвородневног теста на 40 Hz. Потрошња енергије компресора је у великој мери под утицајем снабдевања кондензатора водом одређене температуре. Већа температура улазне воде у кондензатор доводи до веће потрошње енергије компресора. Тако да при температури воде од 20 °C, 30 °C, 40 °C, и 50 °C потрошња енергије компресора износи 238 W, 316 W, 422 W и 552 W.

Варијације коефициента топлотне пумпе COP

Просечни коефициенти топлотне пумпе 7,1 , 6,6 , 4,4 и 3,5 при температурама од 20°C , 30°C, 40°C и 50°C. Просек за четири дана износи 5,4 док максимални COP износи 10,4 за температуре од 20°C.

Варијација фотонапонске снаге и фотонапонска ефикасност

При испитивању просечна фотонапонска снага која је забележена 381 W, 393 W, 375 W и 343 W одговарају температурама, Twin 20 °C , 30°C , 40°C и 50°C.

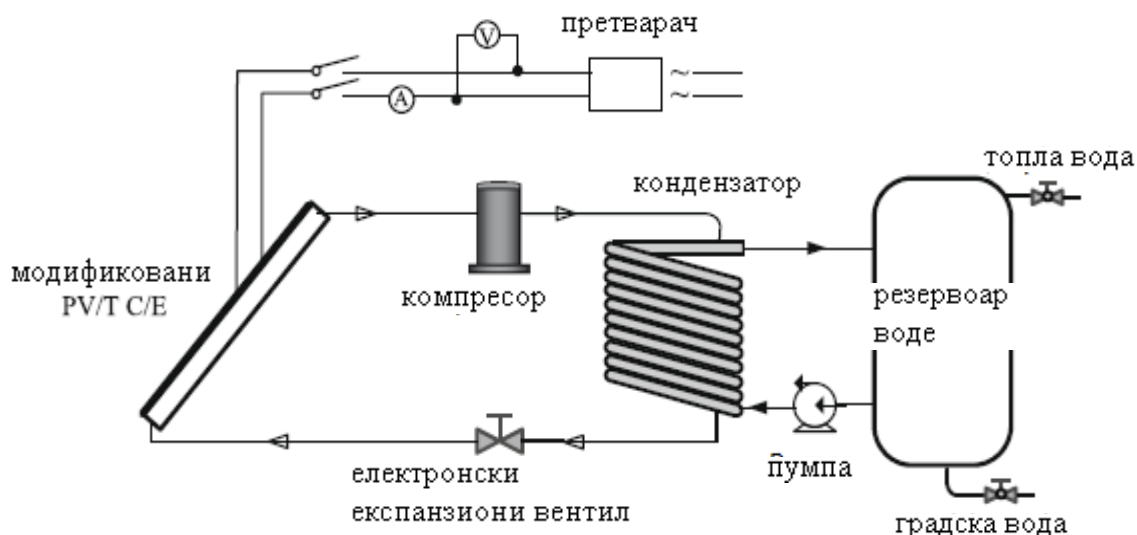
Ефикасност соларних колектора зависи од много фактора као што је количина соларног зрачења, температуре околине и угла зрачења.

3.3 Симулација рада система са термалном топлотном пумпом и фотонапонским панелима са модификованим колектором – испаривачем

Гуоунг Ху, Схиминг Денг, Хиаосонг Зханг, Леи Ђанг, Ђуехонг Зханг, су истраживали систем који има модификован пријемник соларне енергије PV/T-HP и он је направљен од Алуминијумских цеви и разликује се од конвенционалних пријемника соларне енергије који су направљени од Бакарних цеви. У овој симулацији су коришћени метеоролошки резултати из два града у Кини, Нањинг и Хонг Конг, и резултати симулације показују да нови систем ефикасније генерише електричну и

термалну енергију симултано у оба града током целе године[12]. Хибридни фотонапонско-термални систем топлоту из PV панела одводи помоћу радног флуида а он симултано претвара соларну енергију у електричну и топлотну[12].

Шема система је дата на *слици 3.3*;



Слика 3.3 Шема система са модификованим Апсорбером

Прото-тип система има површину модификованог колектора испаривача од $2,25 \text{ m}^2$ ($1800 \times 1.250 \text{ mm}$) где је површина PV ћелије била $1,91 \text{ m}^2$, компресор промене брзине, електронски експанзиони вентил, резервоар за воду од 150 l који је повезан са цев у цев са кондензатором. R 22 се користи као радни флуид[12].

Спајајући PV ћелије са колектор/испаривачем Алуминијумска плоча је коришћена као постоље и она је коришћена као апсорбер. Алуминијумске мулти-порт цеви су директно постављене на полеђини апсорбера и причвршћене лепком. Цеви су правоугаоног облика[12]. Расхладне цеви су постављене паралелно са размаком од 180 mm .

Симулације, перформанце и анализе

Симулирани су системи са модификованим C/E (колектор испаривач) и систем са конвенционалним C/E под истим временским условима, док конвенционални систем користи округле бакарне цеви исто распоређене као и код модификованог система. Предпоставке које су коришћене у симулацији су;

- Расхладни флуид на излазу из C/E је засићен,
- Степен подхлађивања расхладног флуида на излазу из кондензатора је 5°C ,
- Соларно зрачење, температура ваздуха и брзина ветра остају непромењени током експеримента,
- Почетна температура воде у резервоару је на температури околине,
- Компресор је радио својом номиналном брзином 3000 o/min .

Резултати

За симулацију су коришћени услови да је t_a 25 °C, I 800W/m² и u_w 2,6 m/s. COP новог система је 4,8, а система који има конвенционални C/E је COP 4,5[12].

Разлике између COP-а два система се поготово виде при ниским температурама воде. То је резултирало већом температуром испаравања. За нов систем са модификованим C/E просечна температура је износила 19,8 °C док је за конвенционални систем просечна температура испаравања износила 18,1 °C.

Симулирани резултати су показали да модификовани систем са мулти-порт алуминијумским цевима постиже боље перформанце преноса топлоте. Коришћењем модификованог система COP система се повећава за 7%, топлотна ефикасност PV/T панела се повећава за 6% док се коефициент релативне електричне ефикасности повећава за 2%.

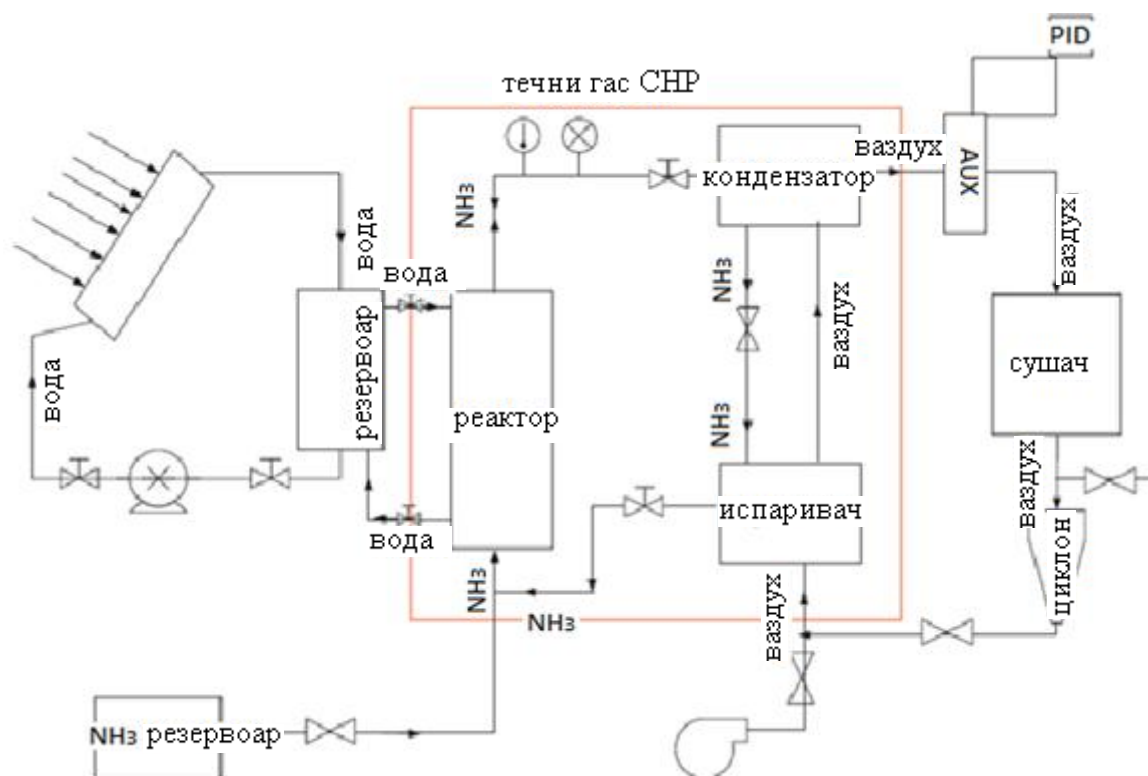
3.4 Перформансе и анализе соларно-хемијске топлотне пумпе у сушарама

М.И. Фадхел, К. Сопиан, W.P.W. Су истраживали систем који се састоји из четири главна дела; соларних колектора, хемијске топлотне пумпе, резервоара за складиштење топлотне енергије и коморе за сушење. Овај рад се заснива на студијама која је изведена у Малезији. Резултати показују да смањење енергије на кондензатору, као последица смањења количине сунчевог зрачења, ће смањити коефициент перформансе топлотне хемијске пумпе као и смањити ефикасност сушења[13].

У хемијским топлотним пумпама се користе системи са Амонијаком, нитрати и фосфати са амонијаком, сумпор диоксид системи, системи са воденом паром, угљен диоксид системи...

Углавном се користе системи метал хлорид/водоник и хлорид/амонијак који имају најмањи степен загађења животне средине и уништења озонског омотача[13].

Шема овог система је дата на *слици 3.4*.



Слика 3.4 Шема система са хемијском топлотном пумпом

Резервоар за чување топлоте је цилиндричног облика. Хемијска топлотна пумпа се састоји од реактора испаривача и кондензатора док је реактор заједно у склопу са кондензатором и испаривачем. Рад топлотне пумпе се заснива на два хемијска процеса адсорпција и десорпција[13].

Резултати

Систем је радио од 08 h до 18,00 h. док је време сушења од 08,00 h до 17,00 h. Предвиђене и експерименталне вредности ефикасности колектора у односу на време су се разликовале, при чему је максимална предвиђена ефикасност износила 80 % а експериментална добијена ефикасност износила је 74 %.

Ефикасност колектора варира у зависности од сунчевог зрачења, спољашње температуре и температуре течности у колектору[13].

Соларна фракција односно губитак система у односу на амбијент, предвиђена је 0,795 док је експериментално добијена 0,713.

Коришћено је 3 kg CaCl_2 и максимална вредност коефициента перформансе топлотне пумпе је износила 2,2 у односу на пројектовану 2.

Тотална енергија која је потребна да се одржи константна температуре од 55°C је 60 kWh током 9 часа сушења. Систем производи око 51 kWh енергије што је 85 % од потребне док око 15 % енергије обезбеђују додатни грејечи који су постављени иза кондензатора.

3.5. Симулација рада соларног система и топлотне пумпе са сезонским складиштењем топлоте

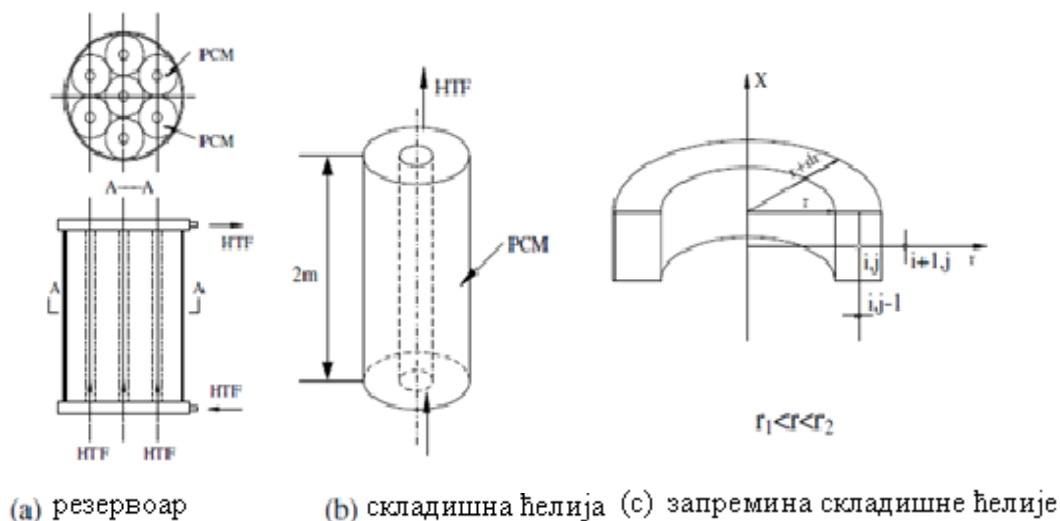
Ки Ки, Схиминг Денг, Ђицианг Јианг су у овом раду приказали математички модел у систему грејања са соларним панелима и топлотном пумпом[14].

Коришћењем соларне енергије је обећавајући начин производње енергије који утиче на смањење коришћења фосилних горива и на смањење емисије CO₂ у атмосферу. Међутим доступност соларне енергије је најмања зими када је најпотребнија, док је лети има у изобиљу када је потреба за грејањем најмања. С тога је основни циљ проналажења начина складиштења топлотне енергије. Постоје неколико врста топлотних складишта као што су; загревање воде, шљунак-вода, загревање воде у каналима[14].

Многи научници су вршили истраживања у том правцу и као медијум који се најбоље показао за чување топлоте је вода, међутим ипак су све ово само сезонска складишта топлоте. Постоје правоугаони и цилиндрични резервоари за складиштење топле воде. У овом раду је приказан један такав систем.

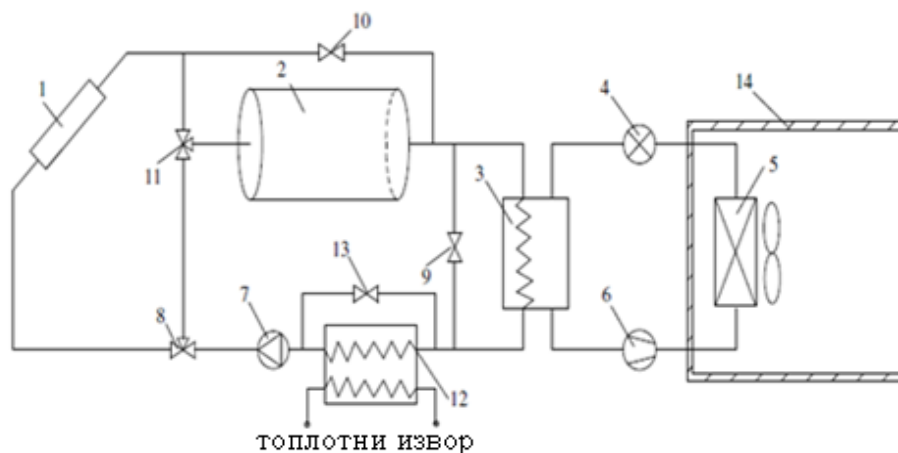
Овај систем се састоји од соларних колектора, топлотне пумпе, цеви и вентила. Топлота која се добија од соларних колектора се складишти у резервоар за чување топлоте. Потом се у периоду када нема сунца топлотна енергија, топла вода, узима из резервоара топлоте и у испаривачу се топлота користи за грејање просторија. У овом раду су коришћени цилиндрични резервоари за складиштење топле воде[14].

На *слици 3.5*, је приказан резервоар за складиштење топлотне енергије са ћелијама.



Слика 3.5 Шема резервоара топлоте и делова резервоара

Док је на *слици 3.6*, приказан цео систем са топлотном пумпом и резервоаром за чување топлотне енергије;



Слика 3.6 *Шема система са топлотном помпом и резервоаром топлоте*

1 - соларни колектор, 2 - резервоар, 3 - испаривач, 4 - термички експанзиони вентил, 5 - кондензатор, 6 - компресор, 7 - пумпа, 8-11 - трокраки вентил, 9-10-13 - вентил, 12 – измењивач топлоте, 14 грејани простор

Систем се налази у Кини у вили у граду Пекингу, вила је површине 325 m^2 . Пројектована температура ваздуха износи 18°C , док је спољашња температура за коју је рађена симулација $-14,8^\circ\text{C}$. Коефициент провођења топлоте, зида, плафона, прозора и унутрашњег ваздуха износе, $0,85 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, зид – унутрашњи ваздух, $0,92 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, плафон – унутрашњи ваздух, $2,24 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, прозори – унутрашњи ваздух[14].

Резервоар за чување топлоте у систему је обложен са 100 mm стаклене вуне и укопан је 2 m у земљу. Коефициент провођења топлоте између резервоара и земље износи $0.28 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. Грејна сезона у Пекингу траје од 15 октобра до 15 марта. Имајући у виду површину виле укупно је инсталирано 2250 топлотних складишта укупне запремине 456 m^3 . Површина соларних колектора износи 40 m^2 .

Укупна годишња енергија која се прикупи соларним колекторима износи $12 \times 10^{10} \text{ J}$ док у Јуну колектори прикупе највише енергије $2.31 \times 10^{10} \text{ J}$. Највећи месечни енергетски губитак износи $3.69 \times 10^9 \text{ J}$, у Јануару и Фебруару. Док је укупни тотални губитак топлоте $2.07 \times 10^{10} \text{ J}$, око 17 % од укупно прикупљене годишње енергије.

Током грејне сезоне температура у резервоару се смањује на $28,7^\circ\text{C}$ тако да се може та топлотна енергија користити за санитарну воду.

Годишњи укупан износ ускладиштене топлотне енергије у резервоару свој максимум постиже у новембру.

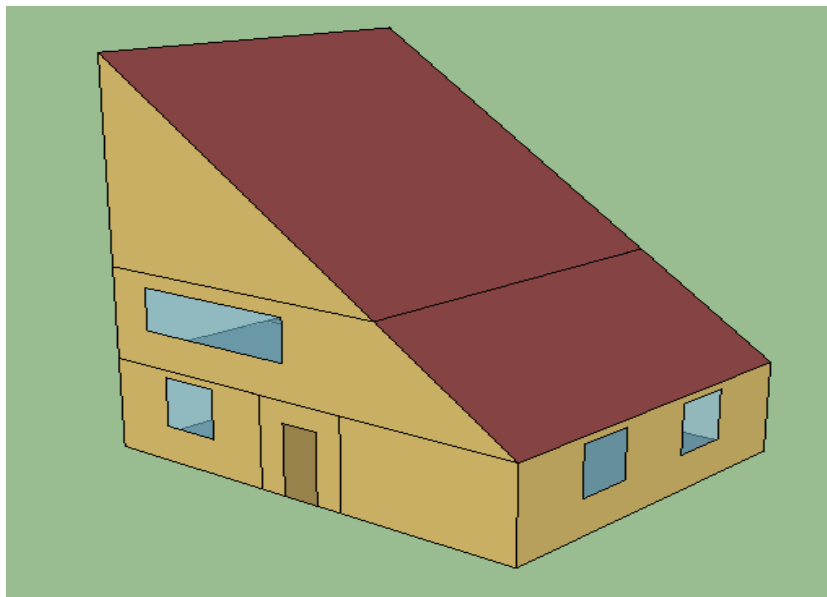
Може се видети да је површина соларног колектора од 40 m^2 довољна да задовољи топлотне потребе зграде.

На крају грејне сезоне температуре у резервоару износи 20°C .

4. СТАМБЕНИ ОБЈЕКАТ ЗА КОЈИ СЕ ВРШИ СИМУЛАЦИЈА ПОТРОШЊЕ ЕНЕРГИЈЕ

4.1. Анализа куће

Кућа приказана на *слици 4.1*, спада у групу стамбених објеката. Објекат се састоји из два нивоа и служи искључиво за становање.



Слика 4.1 Приказ куће

Кућа има велику површину крова окренуту ка југу. Овај начин градње, односно оријентације крова је због панела који ће бити постављени на крову.

У кући се налазе шест просторија од којих се пет налазе у приземљу. У приземљу се налази ходник из ког се иде у све остале просторије; дневна сода, купатило, спаваћа соба 1, спаваћа соба 2, док се на спрату налази једна велика спаваћа соба. У *табели 1*, приказана је грејана и не грејана површина куће, као и укупна површина.

Табела 1. Површина куће

	Површина [m ²]
Укупна површина куће	255.30
Грејана површина куће	190.08
Негрејана површина куће	65.22

На спољним зидовима постављена је класична фасада која се састоји од стиропора који је дебљине 80 mm. Зидови су од шупље опеке димензија 250 x 250 x 190 са хоризонталним шупљинама. Са обе стране зидова је кречни малтер дебљине 15 mm. Постављањем изолације са спољне стране зида, спречава се појава замрзавања унутар

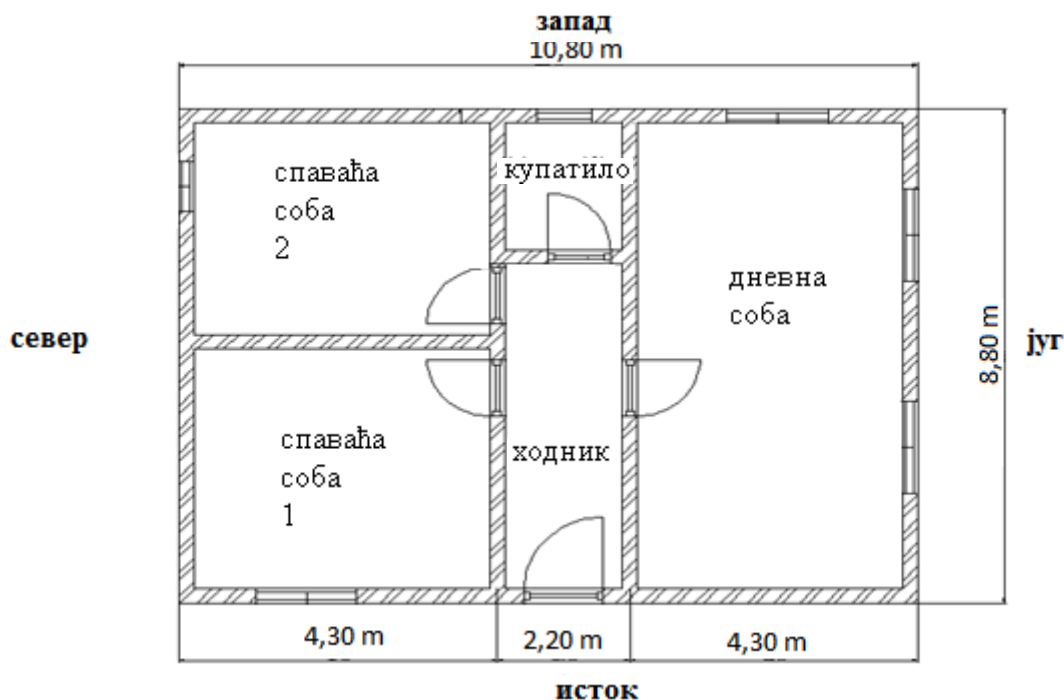
зидне конструкције и омогућава коришћење целе масе зида као акумулатора топлоте. Стиропор и стиродур, *слика 4.2*, представљају термичку и звучну изолацију која осим што чува топлоту, спречава влажење и буђање зидова, отпорни су на смрзавање, једноставно се уграђују, отпорни су на старење и временске утицаје и не штетни су за околину.



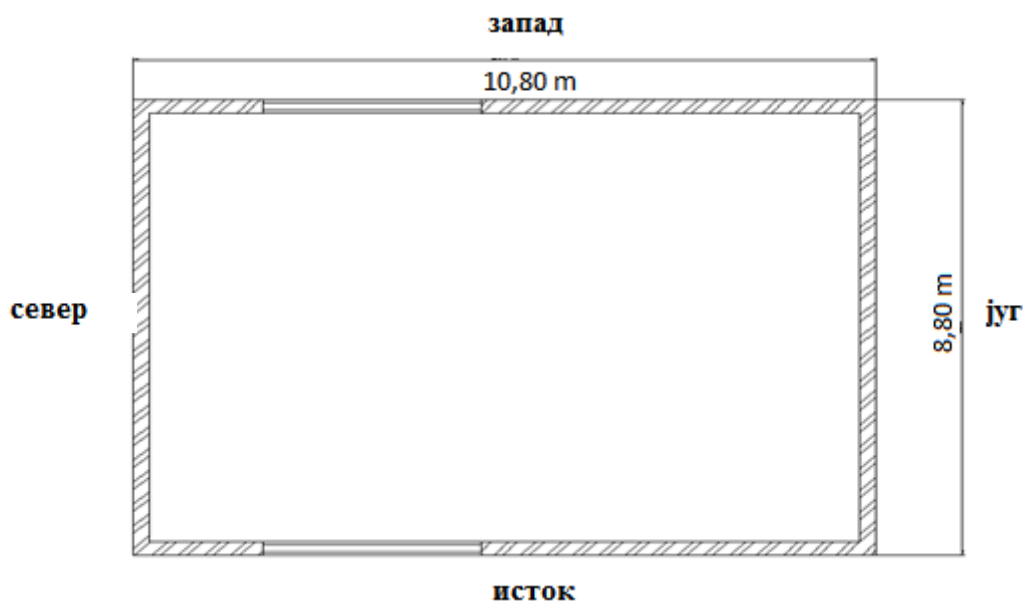
Слика 4.2 Стиродур

Топлотна проводљивост стиропора и стиродура који су примењени као изолациони материјал приликом симулације се креће од 0,035 до 0,041 W/mK, а густина од 25 до 40 kg/m³.

На *сликама 4.3 и 4.4*, је приказан распоред просторија у кући, приземље и спрат.

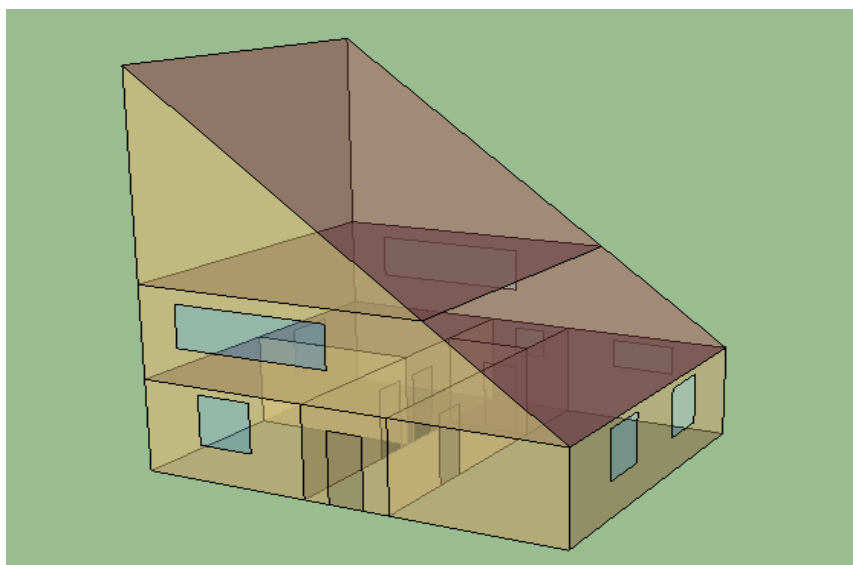


Слика 4.3 Шема приземља



Слика 4.4 Шема спрата

Површина куће је 95 m^2 у основи и на *слици 4.5*, је приказан распоред просторија у кући као и места на коме су постављени прозори и врата.



Слика 4.5 Кућа, распоред просторија

Симулација губитака топлоте куће је рађена у програм EnergyPlus, верзији 7.1 програму који је дизајниран за симулирање реалних услова губитака топлоте на објектима. Развој овог програма почео је 1996 године на основу два програма тада коришћених DOE-2 и BLAST. Програм омогућава симулацију реалних услова термичког оптерећења објекта. Програм узима у обзир и спољне факторе, као што је утицај сунчевог зрачења, утицај осенчења на спољни омотач објекта, утицај инфилтрације и сл. У *табели 2*, је представљен однос површина зидова и прозора.

Површине зидова, прозора и врата у кући**Табела 2. Прозори –зид ,однос**

	Тотал	Север	Исток	Југ	Запад
Површина зида [m ²]	172.15	45.76	51.76	22.88	51.76
Површина прозора [m ²]	19.36	1.96	6.72	3.92	6.76
Прозор-зид однос [%]	11.25	4.28	12.98	17.13	13.06

Од односа површина зидова, прозора и врата зависи и губитак топлоте у кући. У *табели 3*, је приказана површина спољних врата, као и њихова проводљивост топлоте и зид на коме су постављена.

Табела 3. Врата, спољна

Конструкција	Фактор проласка топлоте [W/m ² -K]	Површина [m ²]	Површина на којој се налазе врата
ХОД ВСИ	4.000	1.80	ХОД ЗСИ

У *табели 4*, је приказана карактеристика свих зона у кући. Поред површине зидова, запремине зона, површине прозора, такође је представљено осветљење и енергија која се троши, W/m², по зонама.

Табела 4. Анализа зона

	Површина [m ²]	Запремина [m ³]	Бруто површина зида [m ²]	Површина прозора [m ²]	Осветљење [W/m ²]
ДС	37.84	98.38	45.24	5.20	3.1712
ХОД	14.30	37.18	5.72	0.00	4.1958
КУП	5.06	13.16	5.72	0.64	19.7628
СС1	18.92	49.19	22.62	1.96	3.9641
СС2	18.92	49.19	22.62	1.96	3.9641
КРОВ НИЖИ	95.04	208.34	107.81	9.60	1.2626
КРОВ ВИШИ	65.22	185.46	92.20	0.00	0.0000
Укупно	255.30	640.91	301.93	19.36	2.1543

У посматраној кући живи четворочлана породица. Као електрични потрошачи у објекту се користе класични уређаји типични за свако домаћинство (шпорет, фрижидер, ТВ, радио, веш машина, замрзивач, микроталасна пећ итд.). У објекту су коришћене класичне сијалице са ужареним влакном.

4.2. Боравак људи у просторијама, коришћење осветљења и електроопреме

Боравак људи у кући такође ослобађа одређену количину топлоте, тако да се и та топлота мора узети у обзир при симулацији. Присуство људи у просторијама се разликује од просторије до просторије.

Топлота од људи је подељена према активностима које људи обављају; на топлоту од спавања, седења, кувања и шетања. Топлота која се ослобађа овим активностима је представљена у *табели 5*.

Табела 5. Топлота која се ослобађа активностима људи

Топлота од људи , спавање	72 W
Топлота од људи , седење	108 W
Топлота од људи , кување	171 W
Топлота од људи, шетање	207 W

Што се тиче времена рада сијалица у кући, *табела 6*, њихов рад такође одаје топлоту, док потрошња електричне енергије сијалица утиче на укупну потрошњу енергије у кући.

Табела 6. Инсталисана снага сијалица у кући по зонама

Инсталисана снага сијалица у дневној соби	120 W
Инсталисана снага сијалица у ходнику	60 W
Инсталисана снага сијалица у купатилу	100 W
Инсталисана снага сијалица у спаваћој соби 1	75 W
Инсталисана снага сијалица у спаваћој соби 2	75 W
Инсталисана снага сијалица у крову нижи	120 W

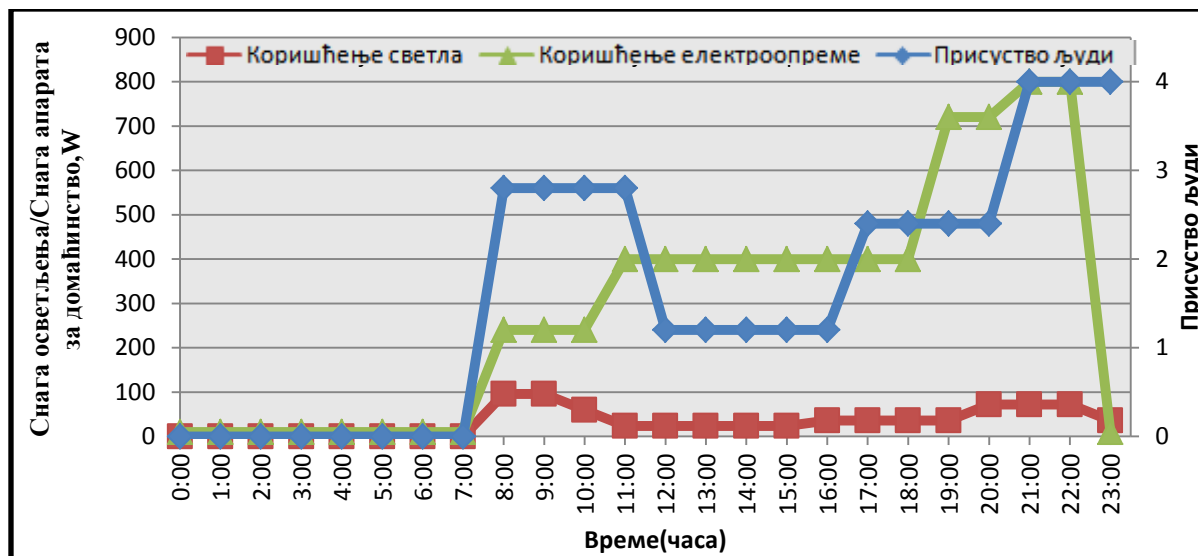
На укупну потрошњу енергије у кући утичу и електро уређаји, *табела 7*.

Табела 7. Инсталисана снага електро уређаја у кући по зонама

Инсталисана снага електро уређаја у дневној соби	800 W
Инсталисана снага електро уређаја у ходнику	0 W
Инсталисана снага електро уређаја у купатилу	1000 W
Инсталисана снага електро уређаја у спаваћој соби 1	400 W
Инсталисана снага електро уређаја у спаваћој соби 2	400 W
Инсталисана снага електро уређаја у крову, нижи	800 W

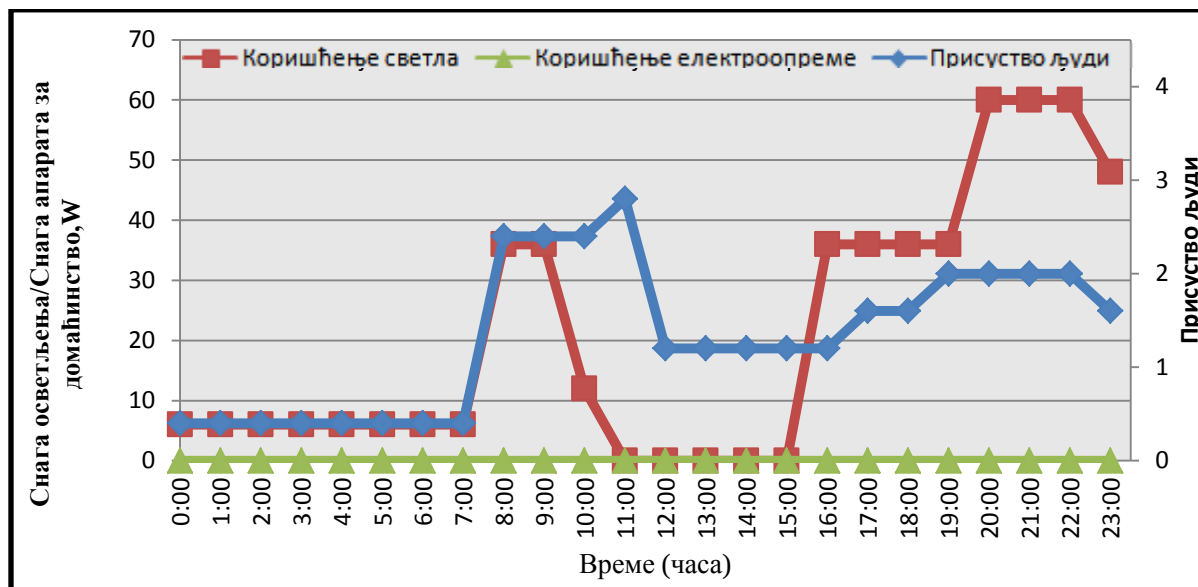
На следећим дијаграмима је приказано време боравка људи у просторијама по зонама, време рада сијалица и време рада електро опреме у току дана.

Дневна соба



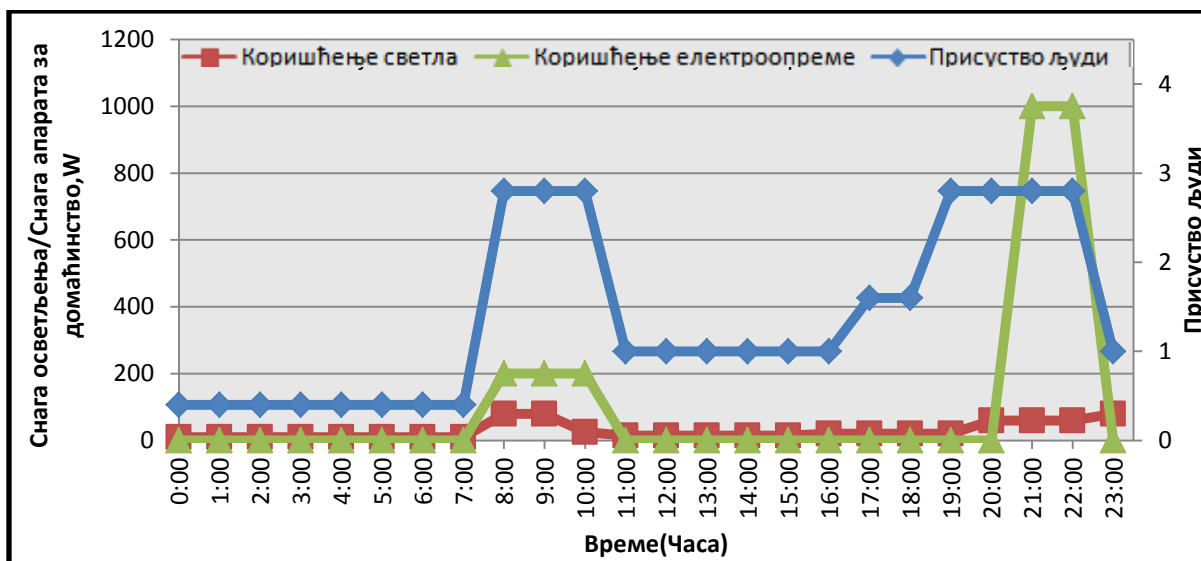
Слика 4.6 Боравак људи, време рада сијалица и електро опреме у току дана

Ходник



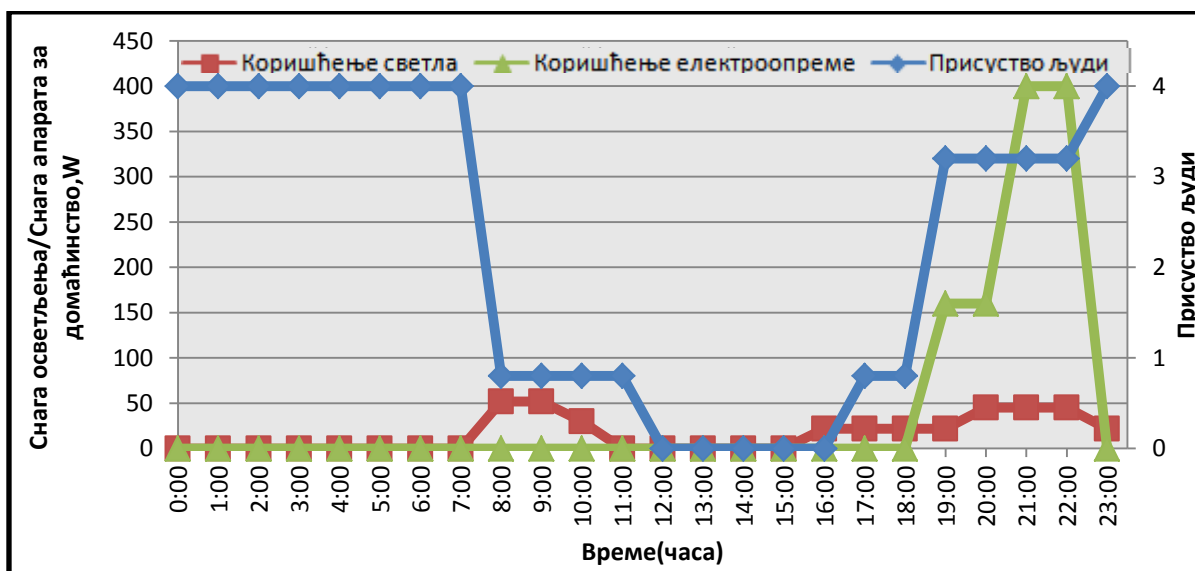
Слика 4.7 Боравак људи, време рада сијалица и електро опреме у току дана

Купатило



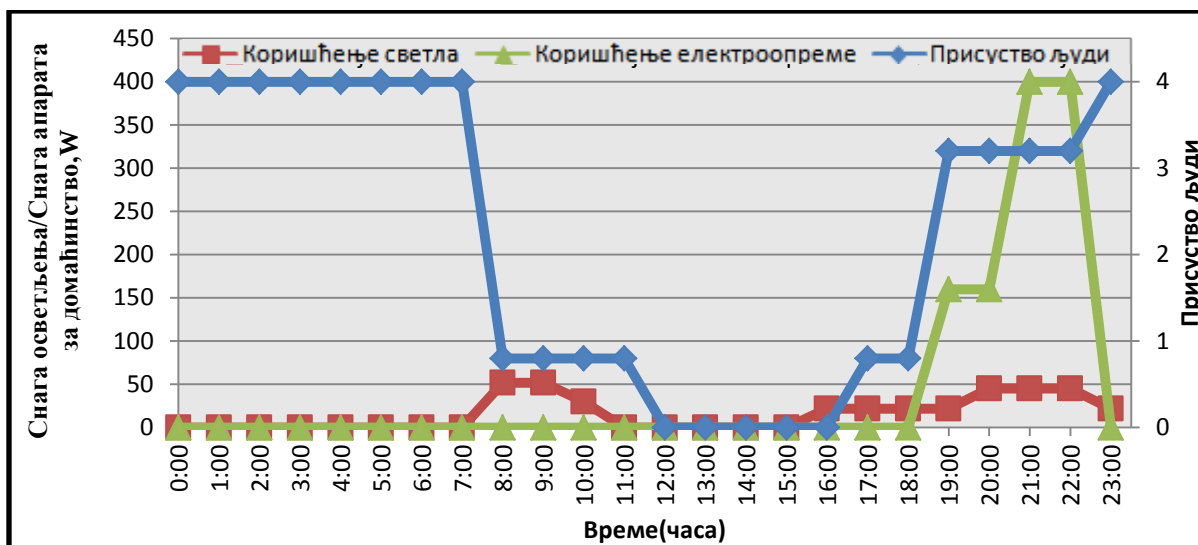
Слика 4.8 Боравак људи, време рада сијалица и електро опреме у току дана

Спаваћа соба 1



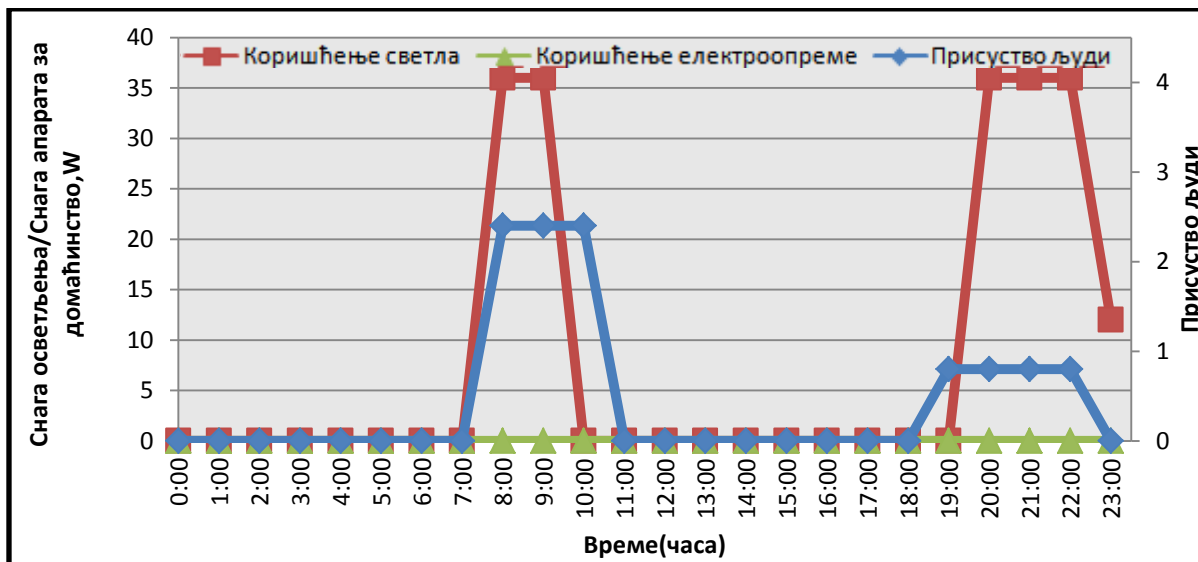
Слика 4.9 Боравак људи, време рада сијалица и електро опреме у току дана

Спаваћа соба 2



Слика 4.10 Боравак људи, време рада сијалица и електро опреме у току дана

Кров нижи



Слика 4.11 Боравак људи, време рада сијалица и електро опреме у току дана

4.3. Временки фајл при којим условима је рађена симулација

Све просторије се греју према унапред задатим, односно прописаним температурама. Кућа се налази у Крагујевцу, где је као спољна пројектна температура узета вредност -18°C . Грејна сезона, односно период за који је вршена симулација је од 15. октобра до 15. априла. Грејна тела су зидни панели који су постављени на зидове унутрашњости куће.

У *табели 8*, је приказана температура, брзина ветра као и правац ветра.

Табела 8. Временски услови

	Опсег температуре [$^{\circ}\text{C}$]	Брзина ветра [m/s]	Правац ветра
КРАГУЈЕВАЦ ГРЕЈАЊЕ	-11.10	7.80	270.00

Да би програм што тачније симулирао потрошњу енергије потребно је да садржи и временске податке о локацији на којој се налази кућа. У *табели 9*, су приказани подаци о локацији куће као и географска ширина и дужина, ваздушни притисак и други подаци.

Табела 9. Временски подаци

	Вредност
Референца	СРБ_Крагујевац.132720_IWEC
Локација града	КРАГУЈЕВАЦ– СРБ
Географска ширина	{N 44° 49'}
Географска дужина	{E 20° 16'}
Временска зона	{GMT +1.0 Сати}
Надморска висина(m) изнад нивоа мора	99
Стандардни притисак на коти	100141Pa
Извор података	IWEC Дата
WMO Станица	132720
Фајл временских услова	Климатски подаци 2009 ASHRAE

5. ПАРАМЕТРИ КОЈИ СЕ УНОСЕ У ПРОГРАМ ENERGYPLUS ВЕЗАНИ ЗА ТОПЛОТНУ ПУМПУ

Симулација губитка топлоте је рађена у програму EnergyPlus. Унос параметара везани за рад топлотне пумпе са објашњењима значења поља представљено је на наредним сликама.

5.1. Пумпа промењиве брзине

У овом пољу дефинишу се параметри попут имена пумпе, име улаза - излаза из пумпе, као и проток кроз пумпу. Дефинишу се и притисак у пумпи, процењена снага на којој раде пумпе, и други параметри.

Class List

- [0003] Pump:VariableSpeed
 - [0001] HeatPump:WaterToWater:ParameterEstimation:Heating
 - [0001] GroundHeatExchanger:Vertical
 - [0001] WaterHeater:Mixed
 - [0001] WaterHeater:Sizing
 - [0002] PlantLoop
 - [0001] CondenserLoop
 - [0002] PlantEquipmentList
 - [0001] CondenserEquipmentList
 - [0001] PlantEquipmentOperation:Uncontrolled
 - [0002] PlantEquipmentOperation:HeatingLoad
 - [0002] PlantEquipmentOperationSchemes
 - [0001] CondenserEquipmentOperationSchemes
 - [0002] SetpointManager:Scheduled

Comments from IDF

Explanation of Keyword

This pump model is described in the ASHRAE secondary HVAC toolkit.

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

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		HW Circ Pump	Cond Circ Pump	SHWSys1 Pump
Inlet Node Name		HW Supply Inlet Node	Condenser Supply Inlet Node	SHWSys1 Supply Inlet Node
Outlet Node Name		HW Pump Outlet Node	Condenser Pump Outlet Node	SHWSys1 Pump-SHWSys1 Water HeaterNodeviaConnector
Rated Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize
Rated Pump Head	Pa	22000	5000	1
Rated Power Consumption	W	104	25	autosize
Motor Efficiency		0.9	0.9	1
Fraction of Motor Inefficiencies to Fluid Stream		0	0	0
Coefficient 1 of the Part Load Performance Curve		0	0	0
Coefficient 2 of the Part Load Performance Curve		1	1	1
Coefficient 3 of the Part Load Performance Curve		0	0	0
Coefficient 4 of the Part Load Performance Curve		0	0	0
Minimum Flow Rate	m3/s	0	0	0
Pump Control Type		Intermittent	Intermittent	Intermittent
Pump Flow Rate Schedule Name				
Pump Curve Name				
Impeller Diameter	m			
VFD Control Type				
Pump rpm Schedule Name				
Minimum Pressure Schedule				
Maximum Pressure Schedule				
Minimum RPM Schedule				
Maximum RPM Schedule				

energy+.idd | EnergyPlus 7.0.0.036 | HW Circ Pump

Слика 5.1 Унос параметара - пумпе промењиве брзине

Name –Име компоненте пумпе

Inlet Node Name- Име прикључка на страни извора

Outlet Node Name- Име прикључка на страни понора

Rated Flow Rate- Процењени проток

Rated Pump Head- Процењени притисак у пумпи

Rated Power Consumption- Процењена потрошња енергије

Motor Efficiency-Ефикасност мотора

Fraction of Motor Inefficiencies to Fluid Stream-Не ефикасност мотора због паре флуида

Coefficient 1 of the Part Load Performance Curve-Коефицијент 1 карактеристике криве оптерећења

Coefficient 2 of the Part Load Performance Curve-Коефицијент 2 карактеристике криве оптерећења

Coefficient 3 of the Part Load Performance Curve-Коефицијент 3 карактеристике криве оптерећења

Coefficient 4 of the Part Load Performance Curve-Коефицијент 4 карактеристике криве оптерећења

Minimum Flow Rate Минимални проток

Pump Control Type-Начин управљања пумпе

Pump Flow Rate Schedule Name-Распоред протока кроз пумпу

Pump Curve Name-Име криве пумпе

Impeller Diameter-Пречник радног кола

VFD Control Type-VFD контрола

Pump RPM Schedule Name- RPM распоред пумпе

5.2. Вода – вода топлотна пумпа

У овом пољу се уносе параметри везани за топлотну пумпу као што су име пумпе, улаз - излаз из пумпе, коефициент ефикасности као и карактеристике пумпе везане за притисак у пумпи. Дефинише се проток кроз пумпу као и температура прегревања и коефициент пролаза топлоте.

Class List

- [0003] Pump:VariableSpeed
- [0001] HeatPump:WaterToWater:ParameterEstimation:Heating
- [0001] GroundHeatExchanger:Vertical
- [0001] WaterHeater:Mixed
- [0001] WaterHeater:Sizing
- [0002] PlantLoop
- [0001] CondenserLoop
- [0002] PlantEquipmentList
- [0001] CondenserEquipmentList
- [0001] PlantEquipmentOperation:Uncontrolled
- [0002] PlantEquipmentOperation:HeatingLoad
- [0002] PlantEquipmentOperationSchemes
- [0001] CondenserEquipmentOperationSchemes
- [0002] SetpointManager:Scheduled

Comments from IDF

Explanation of Keyword

OSU parameter estimation model

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

Field	Units	Obj1
Name		GshpHeating
Source Side Inlet Node Name		GshpHeating SourceSide Inlet Node
Source Side Outlet Node Name		GshpHeating SourceSide Outlet Node
Load Side Inlet Node Name		GshpHeating LoadSide Inlet Node
Load Side Outlet Node Name		GshpHeating LoadSide Outlet Node
Nominal COP	W/W	3.5
Nominal Capacity	W	50000
Minimum Part Load Ratio		0
Maximum Part Load Ratio		1
Optimum Part Load Ratio		1
Load Side Flow Rate	m3/s	0.0033
Source Side Flow Rate	m3/s	0.0033
Load Side Heat Transfer Coefficient	W/K	7761
Source Side Heat Transfer Coefficient	W/K	3998
Piston Displacement	m3/s	0.012544
Compressor Clearance Factor		0.05469
Compressor Suction and Discharge Pressure Drop	Pa	92156.2
Superheating	C	4.8907
Constant Part of Electromechanical Power Losses	W	2803.9
Loss Factor		0.699
High Pressure Cut Off	Pa	0
Low Pressure Cut Off	Pa	0
Cycle Time	hr	0.15

energy+.idd | EnergyPlus 7.0.0.036 | GshpHeating

Слика 5.2 Унос параметара - топлотна пумпа.

Hame- Име топлотне пумпе типа вода - вода

Source Side Inlet Hode Hame- Име улазног прикључка са стране извора

Source Side Outlet Hode Hame- Име излазног прикључка са стране извора

Load Side Inlet Hode Hame- Име улазног прикључка са стране оптерећења (грејања)

Load Side Outlet Hode Hame- Име излазног прикључка са стране оптерећења (грејања)

Rated Load Side Flow Rate-Процењено оптерећење у зависности од протока

Rated Source Side Flow Rate- Процењен проток са улазне стране

Rated Heating Capacity- Процењени капацитет грејања

Rated Heating Power Consumption- Процењени губици топлоте

Heating Capacity Coefficients- Коефициент капацитета грејања

Heating Capacity Coefficient 1-5- Коефициент капацитета грејања 1-5

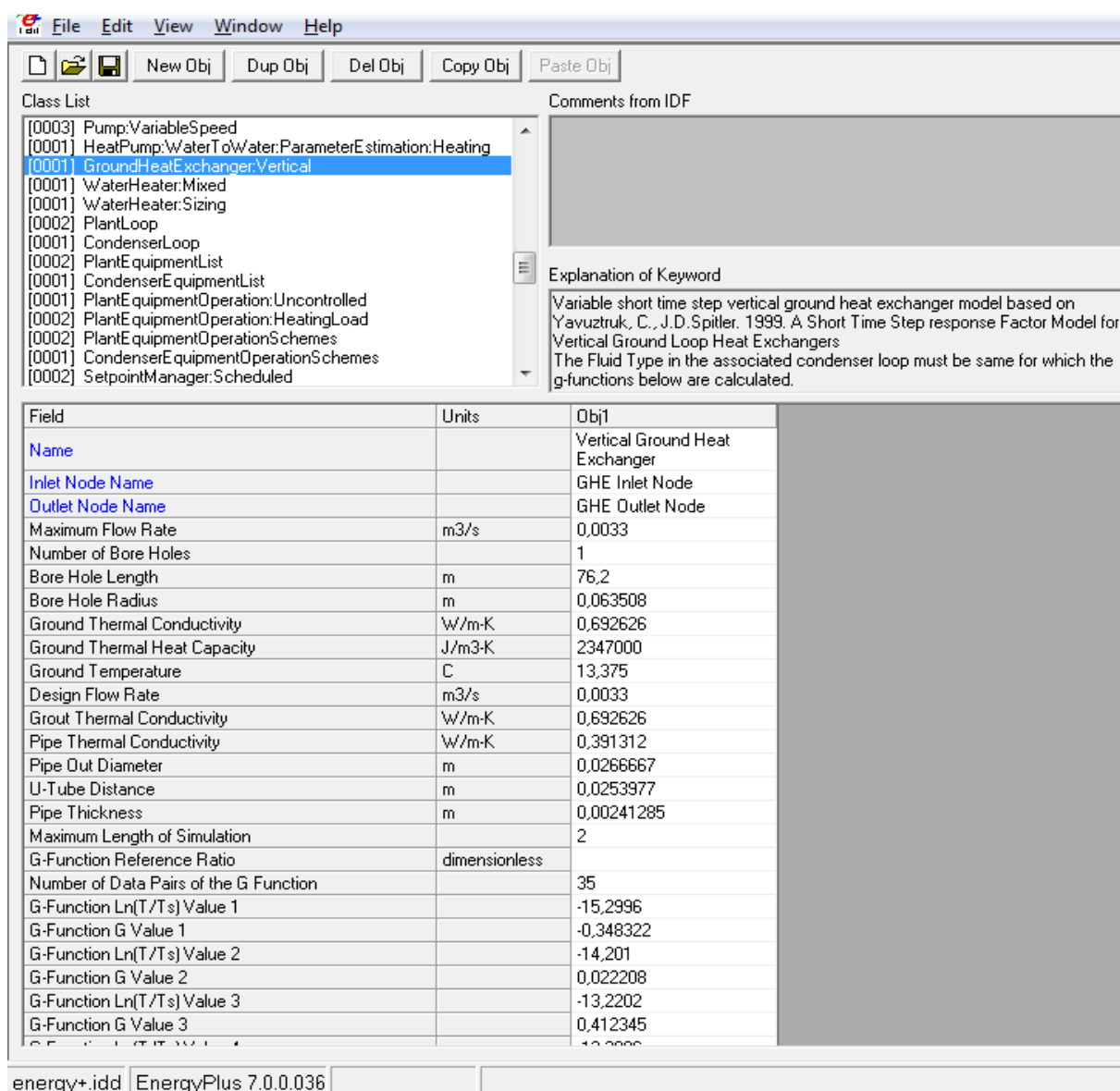
Heating Compressor Power Coefficients- Коефициент снаге грејања компресора

Heating Compressor Power Coefficient 1-5- Коефициент снаге грејања компресора 1-5

Cycle Time-Временски циклус

5.3. Измењивач топлоте у земљи –вертикални-

У овом пољу се дефинишу параметри везани за измењивач топлоте постављен у земљи. Уносе се подаци о дубини на којој је постављена сонда, пречнику рупе, као и температуре тла и фактор преноса топлоте. Поред овог уносе се и вредности G-функције.



Слика 5.3 Унос параметара - измењивач топлоте у земљи –вертикални-

Hame- Име вертикалног измењивача топлоте
Inlet Node Hame-Име прикључка на страни извора
Outlet Node Hame-Име прикључка на страни понора
Maximum Flow Rate-Максимални проток
Humber of Bore Holes-Број и пречник рупа
Bore Hole Length-Дужина отвора
Bore Hole Radius-Полупречник отвора
Ground Thermal Conductivity-Топлотна проводљивост тла
Ground Thermal Heat Capacity-Топлотни капацитет земље
Ground Temperature-Температура тла
Design Flow Rate-Проектовани проток
Ground Thermal Conductivity-Термичка проводљивост земље
Pipe Thermal Conductivity-Топлотна проводљивост цеви
Pipe Out Diameter-Спољни пречник цеви
U-Tube Distance- Растојање између У- цеви
Pipe Thickness-Дебљина цеви
Maximum Length of Simulation-Максимално трајање симулације
G-Function Reference Ratio- G- функција,референтног односа

G-функција може бити незнатно другачија у односу на програм у коме се прорачунава. Суштина G-функције заснована је на радијусу бушотине активне дужине односа од 0,0005. Ако је у природи овај однос другачији морају се вршити корекције. Ако G- функција нема корекциони фактор, користи се вредност од 0,0005 у том случају. Ако корекција није примењена користи се актуелни пречник/дужина однос тако да корекција неће бити поново примењена. Софтвер GLHPEP врши ову корекцију на подацима постављеним у верзији 3.1 тако да однос пречник/дужина треба одговарати стварним вредностима.

Humber of Data Pairs of the G Function-Број парова података G- функције
G-Function Ln(T/Ts) Value <x>- G- функција $\ln(T/T_s)$ вредност x
G-Function 'G' Value <x>- G- функција G вредност x

5.4. Водена петља

У овом пољу се уносе параметри везани за петљу топле воде. Поред имена уносе се и подаци о типу флуида, температуре флуида, максималној и минималној температури као и протоку кроз водену петљу. Поред овога уноси се и листа прикључака са напојне стране као и шема система и тип симулације.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Hot Water Loop	SHWSys1
Fluid Type		Water	Water
User Defined Fluid Type			
Plant Equipment Operation Scheme Name		Hot Loop Operation	SHWSys1 Loop Operation Scheme List
Loop Temperature Setpoint Node Name		H/W Supply Outlet Node	SHWSys1 Supply Outlet Node
Maximum Loop Temperature	C	100	60
Minimum Loop Temperature	C	10	10
Maximum Loop Flow Rate	m3/s	autosize	autosize
Minimum Loop Flow Rate	m3/s	0	0
Plant Loop Volume	m3	autocalculate	autosize
Plant Side Inlet Node Name		H/W Supply Inlet Node	SHWSys1 Supply Inlet Node
Plant Side Outlet Node Name		H/W Supply Outlet Node	SHWSys1 Supply Outlet Node
Plant Side Branch List Name		Heating Supply Side Branches	SHWSys1 Supply Branches
Plant Side Connector List Name		Heating Supply Side Connectors	SHWSys1 Supply Connectors
Demand Side Inlet Node Name		H/W Demand Inlet Node	SHWSys1 Demand Inlet Node
Demand Side Outlet Node Name		H/W Demand Outlet Node	SHWSys1 Demand Outlet Node
Demand Side Branch List Name		Heating Demand Side Branches	SHWSys1 Demand Branches
Demand Side Connector List Name		Heating Demand Side Connectors	SHWSys1 Demand Connectors
Load Distribution Scheme		Optimal	Optimal
Availability Manager List Name			
Plant Loop Demand Calculation Scheme			
Common Pipe Simulation			
Pressure Simulation Type			

Слика 5.4 Унос параметара - водена петља

Hame- Име водене петље

Fluid Type- Тип флуида

User Defined Fluid Type- Коришћени дефинисни тип флида

Plant Equipment Operation Scheme Hame- Име операционе шеме система

Loop Temperature Setpoint Hode Hame- Задата вредност температуре чвора

Maximum Loop Temperature- Максимална температура у петљи

Minimum Loop Temperature- Минимална температура у петљи

Maximum Loop Flow Rate- Максимални проток кроз чвор

Minimum Loop Flow Rate- Минимални проток кроз чвор

Plant Loop Volume- Запремина чвора у петљи

Plant Side Outlet Hode Hame- Име прикључка на излазној страни петље

Plant Side Branch List Hame- Име листе свих улаза у петљу

Plant Side Connector List Hame- Имена свих прикључака у петљи

Demand Side Inlet Hode Hame- Име напојне стране улазног чвора

Demand Side Outlet Hode Hame- Име напојне стране излазног чвора

Field: Demand Side Branch List Hame- Списак свих грана са напојне стране

Demand Side Connector List Hame- Име листе прикључака а напојне стране

Load Distribution Scheme-Шема расподеле оптерећења

Availability Manager List Hame-Име доступне листе контролора

Plant Loop Demand Calculation Scheme- Прорачуната шема петље

Common Pipe Simulation- Заједничка симулација цеви

Pressure Simulation Type- Тип симулације притиска

5.5. Кондензаторска петља

У овом пољу се уноси име кондензаторске петље, тип флуида као и температуре флуида у петљи. Поред ових параметара уносе се и максимални проток кроз петљу као и имена улазних и излазних страна из петље.

Field	Units	Obj1
Name		Water Condenser Loop
Fluid Type		Water
User Defined Fluid Type		
Condenser Equipment Operation Scheme Name		Tower Loop Operation
Condenser Loop Temperature Setpoint Node Name		Condenser Supply Outlet Node
Maximum Loop Temperature	C	80
Minimum Loop Temperature	C	10
Maximum Loop Flow Rate	m3/s	0,0033
Minimum Loop Flow Rate	m3/s	0
Condenser Loop Volume	m3	autocalculate
Condenser Side Inlet Node Name		Condenser Supply Inlet Node
Condenser Side Outlet Node Name		Condenser Supply Outlet Node
Condenser Side Branch List Name		Condenser Supply Side Branches
Condenser Side Connector List Name		Condenser Supply Side Connectors
Demand Side Inlet Node Name		Condenser Demand Inlet Node
Demand Side Outlet Node Name		Condenser Demand Outlet Node
Condenser Demand Side Branch List Name		Condenser Demand Side Branches
Condenser Demand Side Connector List Name		Condenser Demand Side Connectors
Load Distribution Scheme		Optimal
Pressure Simulation Type		

Слика 5.5 Унос параметара - кондензаторска петља

Hame- Име кондензаторске петље

Fluid Type- Тип флуида

User Defined Fluid Type- Коришћени дефинисани тип флуида

Condenser Equipment Operation Scheme Hame- Име операционе шеме опреме кондензатора

Condenser Loop Temperature Setpoint Hode Hame- Име чвора са задатом температуром у кондензаторској петљи

Maximum Loop Temperature- Максимална температура чвора

Minimum Loop Temperature- Минимална температура чвора

Maximum Loop Flow Rate- Максимални проток кроз чвор

Minimum Loop Flow Rate- Минимални проток кроз чвор

Condenser Loop Volume- Запремина чвора кондензатора

Condenser Side Inlet Hode Hame- Име прикључка на страни извора (са стране кондензатора)

Condenser Side Outlet Hode Hame- Име прикључка на страни понора (са стране кондензатора)

Condenser Side Branch List Hame- Име листе прикључака на страни кондензатора

Condenser Side Connector List Hame- Име бочног прикључка на кондензатору

Demand Side Inlet Hode Hame- Име улазног чвора са грејне стране

Demand Side Outlet Hodes Hame- Имена излазних чворова са грејне стране

Condenser Demand Side Branch List Hame- Име улазног чвора са стране сонде

Condenser Demand Side Connector List Hame- Име излазних чворова са стране сонде

Load Distribution Scheme- Шема дистрибуције оптерећења

Pressure Simulation Type- Тип симулације притиска

5.6. Листа уређаја

У овом пољу се уноси име листе уређаја као и тип опреме.

Class List

- [0003] Pump:VariableSpeed
- [0001] HeatPump:WaterToWater:ParameterEstimation:Heating
- [0001] GroundHeatExchanger:Vertical
- [0001] WaterHeater:Mixed
- [0001] WaterHeater:Sizing
- [0002] PlantLoop
- [0001] CondenserLoop
- [0002] PlantEquipmentList
- [0001] CondenserEquipmentList
- [0001] PlantEquipmentOperation:Uncontrolled
- [0002] PlantEquipmentOperation:HeatingLoad
- [0002] PlantEquipmentOperation:Schemes
- [0001] CondenserEquipmentOperationSchemes
- [0002] SetpointManager:Scheduled

Comments from IDF

Explanation of Keyword

List plant equipment in order of operating priority, 1st in list will be used 1st, etc
Use only plant equipment in this list.
If no equipment object types and equipment names are specified, then the corresponding PlantEquipmentOperation:* object will assume all available plant equipment for the loop should be OFF (not operate) within the specified lower/upper limit.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		GSHP plant	SHW/Sys1 Equipment List
Equipment 1 Object Type		HeatPump:WaterToWater:ParameterEstimation:Heating	WaterHeater:Mixed
Equipment 1 Name		GshpHeating	SHW/Sys1 Water Heater
Equipment 2 Object Type			
Equipment 2 Name			
Equipment 3 Object Type			
Equipment 3 Name			
Equipment 4 Object Type			
Equipment 4 Name			
Equipment 5 Object Type			
Equipment 5 Name			
Equipment 6 Object Type			
Equipment 6 Name			
Equipment 7 Object Type			
Equipment 7 Name			
Equipment 8 Object Type			
Equipment 8 Name			
Equipment 9 Object Type			
Equipment 9 Name			
Equipment 10 Object Type			
Equipment 10 Name			

Слика 5.6 Унос параметара - листа уређаја

Name- Име листе уређаја

Equipment 1 Object Type- Тип 1 опреме

Equipment 1 Name- Име опреме

5.7. Листа опреме кондензатора

У овом пољу се уноси име листе опреме кондензатора као и тип опреме.

Class List

- [0003] Pump:VariableSpeed
- [0001] HeatPump:WaterToWater:ParameterEstimation:Heating
- [0001] GroundHeatExchanger:Vertical
- [0001] WaterHeater:Mixed
- [0001] WaterHeater:Sizing
- [0002] PlantLoop
- [0001] CondenserLoop
- [0002] PlantEquipmentList
- [0001] CondenserEquipmentList**
- [0001] PlantEquipmentOperation:Uncontrolled
- [0002] PlantEquipmentOperation:HeatingLoad
- [0002] PlantEquipmentOperation:Schemes
- [0001] CondenserEquipmentOperationSchemes
- [0002] SetpointManager:Scheduled

Comments from IDF

Explanation of Keyword

List condenser equipment in order of operating priority. 1st in list will be used 1st, etc
Use only condenser equipment in this list.
If no equipment object types and equipment names are specified, then the corresponding PlantEquipmentOperation:" object will assume all available condenser equipment for the loop should be OFF (not operate) within the specified lower/upper limit.

Field	Units	Obj1
Name		All Towers
Equipment 1 Object Type		GroundHeatExchanger:Vertical
Equipment 1 Name		Vertical Ground Heat Exchanger
Equipment 2 Object Type		
Equipment 2 Name		
Equipment 3 Object Type		
Equipment 3 Name		
Equipment 4 Object Type		
Equipment 4 Name		
Equipment 5 Object Type		
Equipment 5 Name		
Equipment 6 Object Type		
Equipment 6 Name		
Equipment 7 Object Type		
Equipment 7 Name		
Equipment 8 Object Type		
Equipment 8 Name		
Equipment 9 Object Type		
Equipment 9 Name		
Equipment 10 Object Type		
Equipment 10 Name		

Слика 5.7 Унос параметара - листа опреме кондензатора

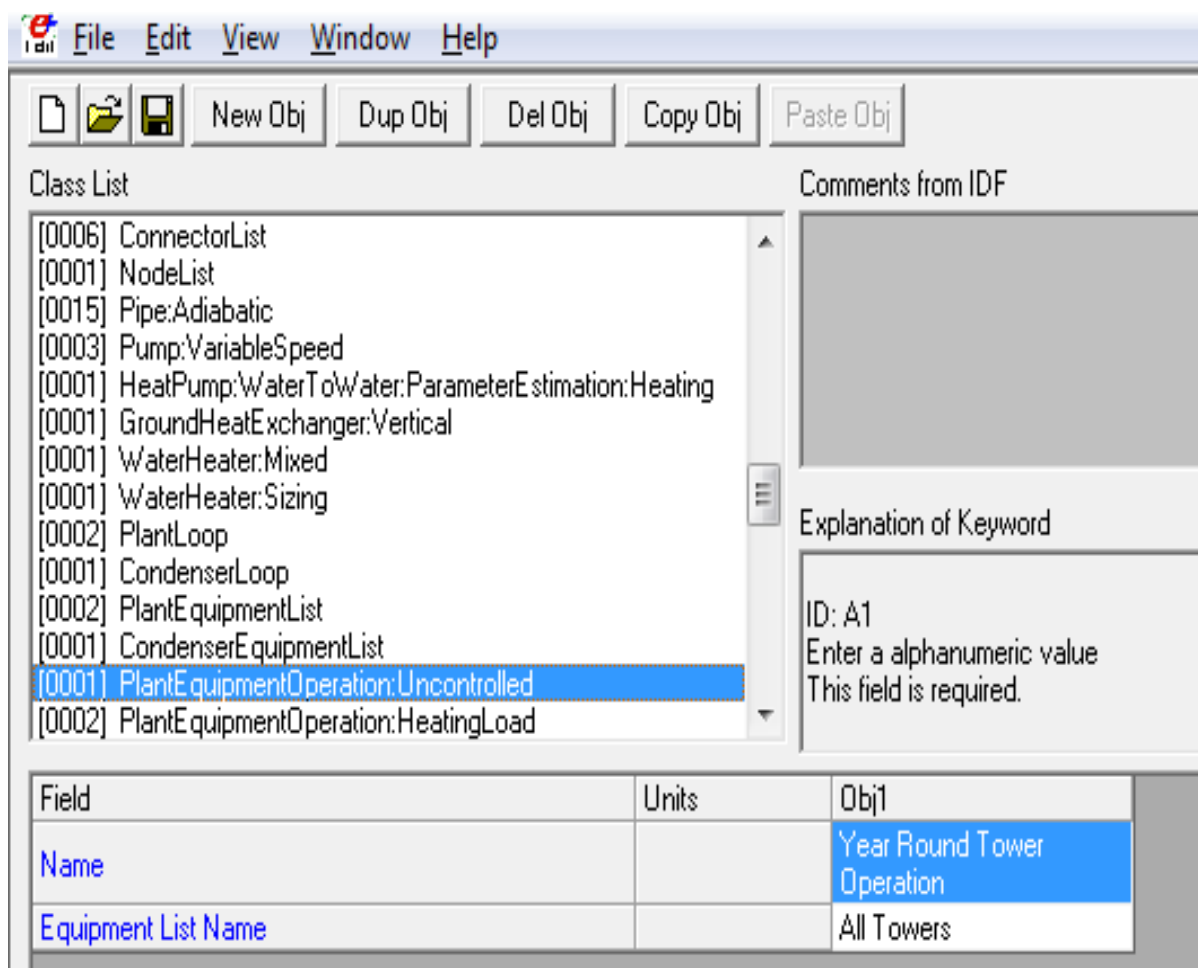
Name-Име листе опреме кондензатора

Equipment 1 Object Type- Тип 1 опреме

Equipment 1 Name- Име опреме

5.8. Опрема која се не може контролирати у петљи

У овом пољу се уносе карактеристике опреме која се не може контролирати у петљи.



Слика 5.8 Унос параметара - неконтролисана опрема у петљи

Name- Име опреме

Equipment List Name- Име листе опреме

Equipment List Name- Име листе опреме

5.9. Грејно оптерећење опреме у петљи

У овом пољу се уносе карактеристике оптерећења опреме у петљи.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Winter Heating Operation	SHW/Sys1 Operation Scheme
Load Range 1 Lower Limit	W	0	0
Load Range 1 Upper Limit	W	1000000	1E+15
Range 1 Equipment List Name		GSHP plant	SHW/Sys1 Equipment List
Load Range 2 Lower Limit	W		
Load Range 2 Upper Limit	W		
Range 2 Equipment List Name			

Слика 5.9 Унос параметара - грејно оптерећење опреме у петљи

Name- Име опреме

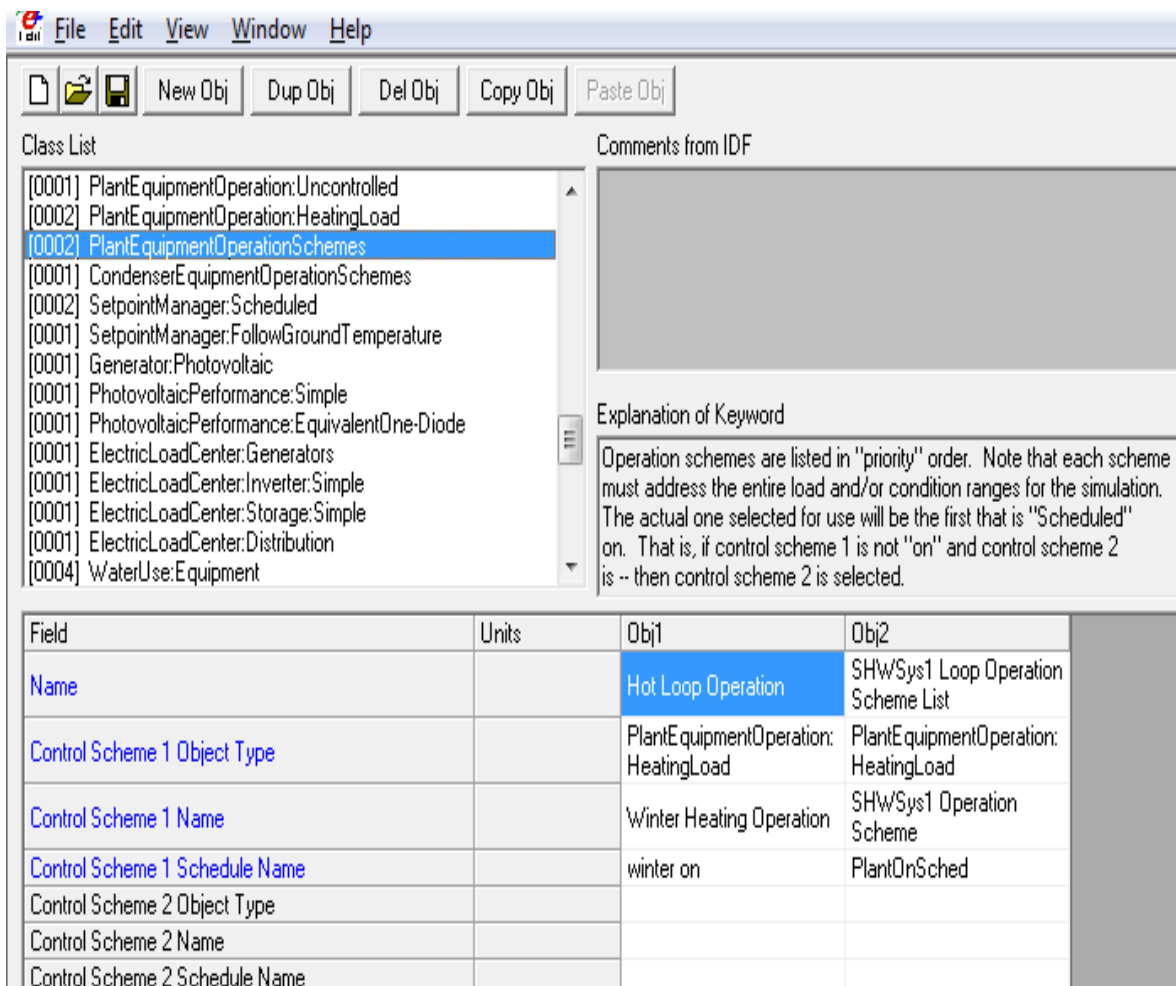
Load Range <#> Lower Limit- Доња граница оптерећења

Load Range <#> Upper Limit- Горња граница оптерећења

Range <#> Equipment List Name- Име листе опреме

5.10. Операциона шема опреме у петљи

Поред имена операционе шема уносе се и типови контроле шеме.



Слика 5.10 Унос параметара - операциона шема опреме у петљи

Name-Име шеме опреме у петљи

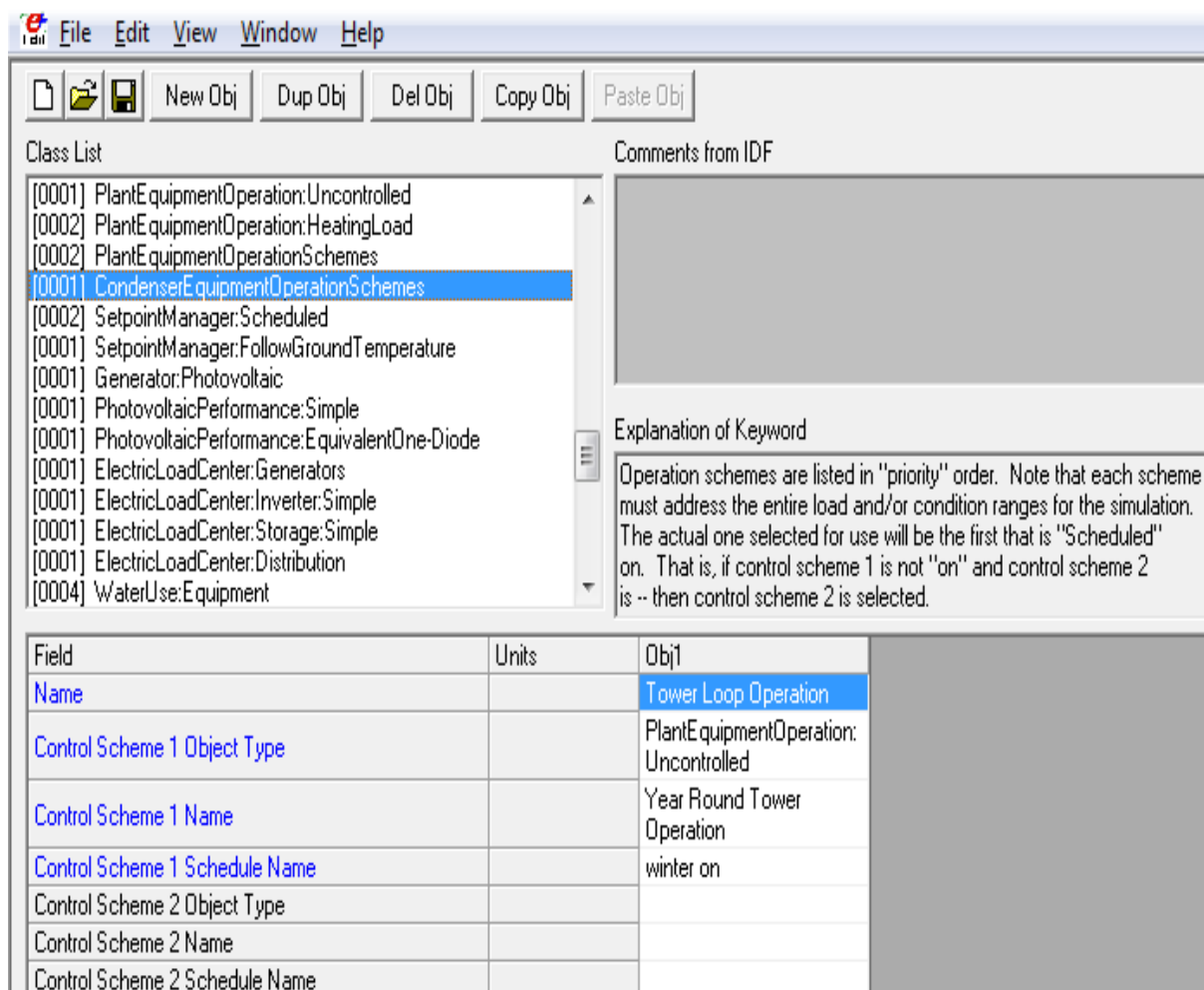
Control Scheme <#> Object Type- Тип – шема објекта

Control Scheme <#> Name-Име – шема објекта

Control Scheme <#> Schedule- Распоред – контролна шема

5.11. Операциона шема опреме кондензатора

Поред имена операционе шема кондензатора уносе се и типови контроле шеме.



Слика 5.11 Унос параметара - операциона шема опреме кондензатора

Name-Име операционе шеме кондензатора

Control Scheme <#> Object Type- Тип – шема објекта

Control Scheme <#> Name- Тип–шема објекта

Control Scheme <#> Schedule- Распоред-Контролна шема

5.12. Распоред контролних тачака

У овом пољу се уноси име и распоред контролних тачака.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Hot Water Loop Setpoint Manager	SHwSys1 Loop Setpoint Manager
Control Variable		Temperature	Temperature
Schedule Name		HW Loop Temp Schedule	SHwSys1-Loop-Temp-Schedule
Setpoint Node or NodeList Name		Hot Water Loop Setpoint Node List	SHwSys1 Supply Outlet Node

Слика5.12 Унос параметара - распоред контролних тачака

Name - Име контролне тачке

ControlVariable - Контрола промењиве

ScheduleName - Распоред

Setpoint Node or NodeList Name - Име задатог чвора са листе чворова

6. СИМУЛАЦИЈЕ И АНАЛИЗЕ ДОБИЈЕНИХ ПОДАТАКА О ПОТРОШЊИ ЕНЕРГИЈЕ У КУЋИ ЗА РАЗЛИЧИТЕ СИСТЕМЕ ГРЕЈАЊА

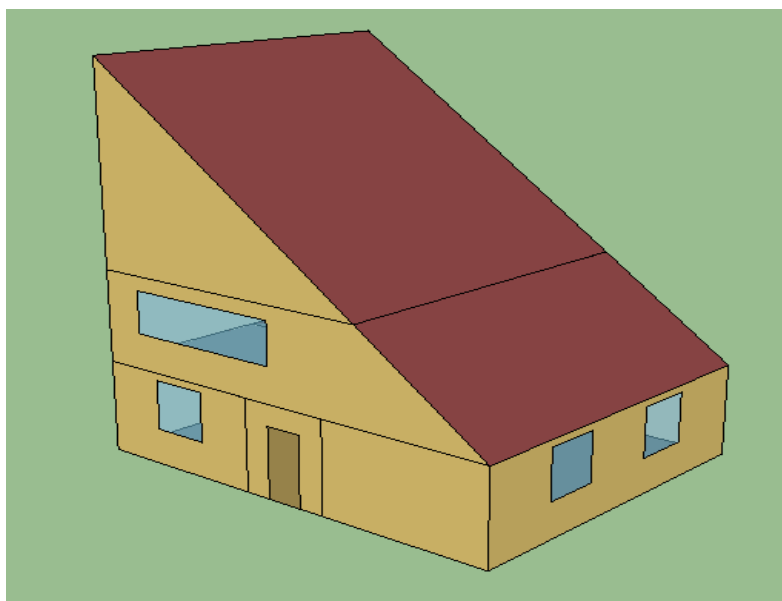
Потрошња енергије у кући симулирана је за различите системе грејања. При поређењу потрошње енергије у кући, поређена је потрошња енергије за грејање као и укупна потрошња енергије у кући. Симулиран је панелни систем грејања повезан на топлотну пумпу, панелни системи грејања повезани на топлотну пумпу и PV панеле различитих површина, панелни систем грејања повезан на систем са гасним котлом и панелни систем грејања повезан на систем са електро котлом.

Систем са топлотном пумпом и PV панелима, симулиран је са површином PV панела преко целе површине крова, и истраживано је може ли та површина да обезбеди електричну енергију за рад топлотне пумпе, уколико не, симулиран и случај са већом површином PV панела.

У свим случајевима грејна тела у кући су зидни панели.

6.1. Симулација потрошње енергије у кући која користи систем грејања топлотном пумпом

У првом случају симулирана је потрошња енергије у кући код панелног система грејања повезаног на топлотну пумпу.



Слика 6.1 Приказ куће

6.1.1. Топлотна пумпа

У систему топлотне пумпе налази се и вертикални земљани измењивач топлоте који је постављен на дубини од 76,2 m. Поред топлотне пумпе у систему се налази и две циркулационе пумпе. Једна пумпа остварује проток топле воде кроз грејне панеле, која се загрева у измењивачу топлоте узимајући топлоту од загрејаног фреона, док друга пумпа остварује проток воде кроз вертикални земљани измењивач топлоте, која узима топлотну енергију из земље, температуре од 14°C, и предаје је фреону. Што се тиче земљине проводљивости топлоте она износи 2,5 W/mK.

Топлотна пумпа која се користи у систему је **Hoval Thermalia® Н (6-15)** са расхладном течностју R 134a, *слика 6.2*.

Ово је компактна топлотна пумпа земља/вода–вода/вода, има стабилно кућиште са рамом од алуминијумских профила и новим пластичним угловним спојевима. Са подесивим, антивибрационим демонтажним бочним панелима израђеним од пластифицираног челичног лима са уграђеном високо квалитетном звучном и топлотном изолацијом и има изузетно тих рад захваљујући конструкцији са троструким ослањањем.

Она има још и циркулациони круг расхладног средства са интегрисаним измењивачем топлоте пара-течност, термостатски експанзиони вентил, сушач расхладног средства са филтером и показним стаклом, сабирник течног расхладног средства као и реостат високог и ниског притиска.

Поседује интегрисану заштиту мотора и термостат за заштиту од смрзавања. Поседује уграђене циркулационе пумпе (230V) за топлотни извор (улаз у испаривач) и за грејни систем (полаз из кондензатора). Има флексибилна прикључна црева за повезивање на грејни систем и топлотни извор.

Карактеристике топлотне пумпе представљене су у *табели 10*.



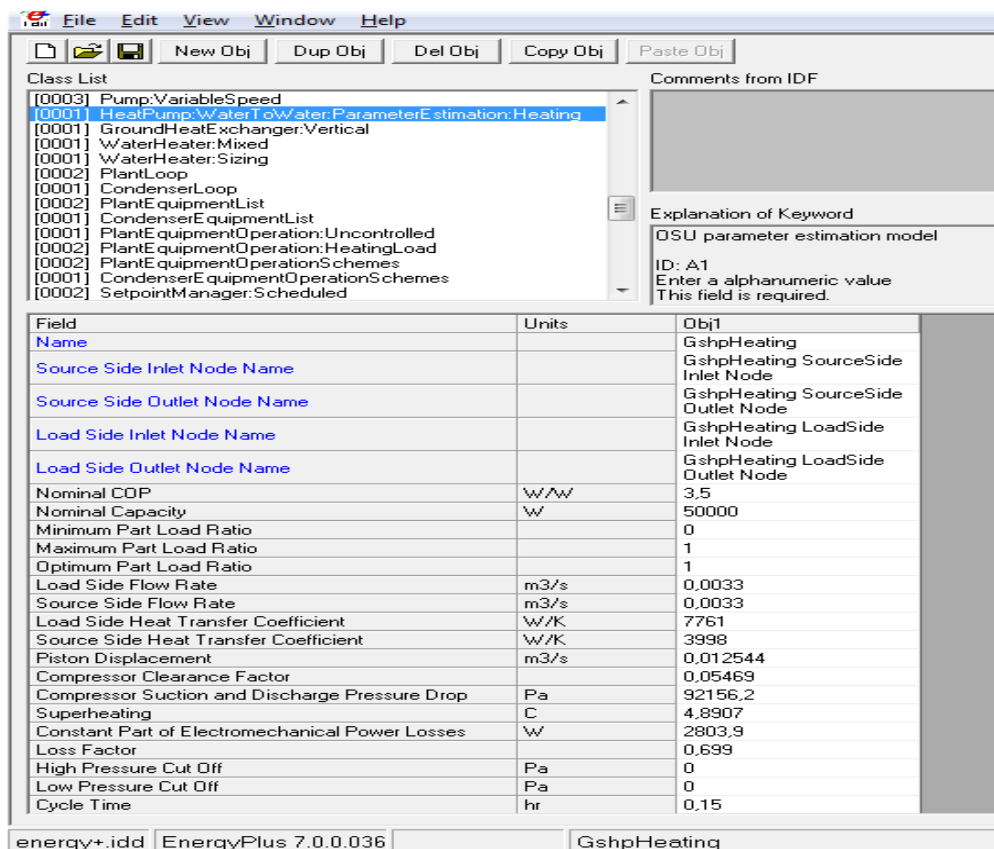
Слика 6.2 Топлотна пумпа- Hoval Thermalia® Н

Табела 10 Карактеристике топлотне пумпе Hoval Thermalia® Н (6-15) R134a

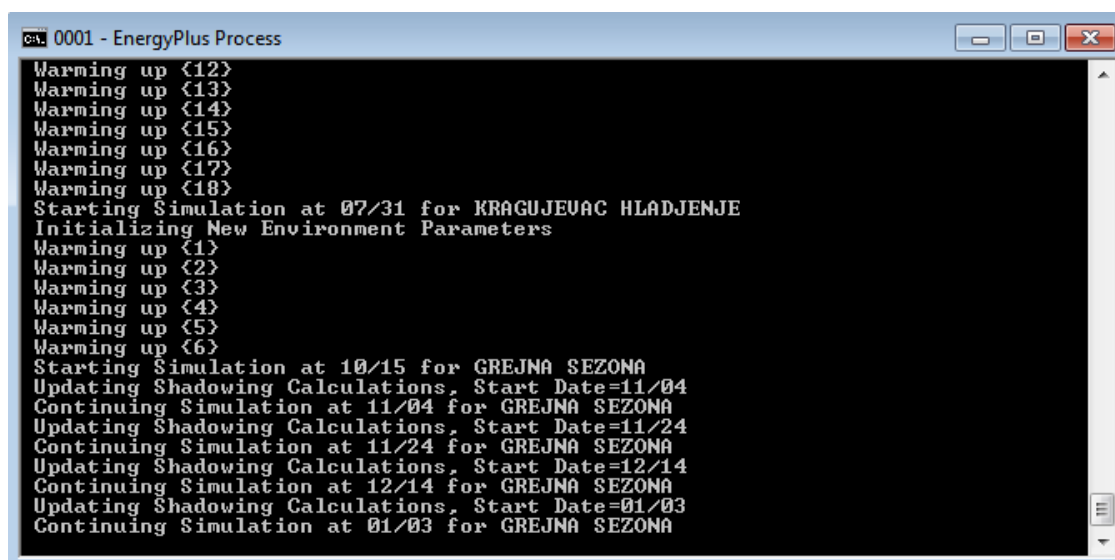
Тип	8
Грејни капацитет (Q)	kWh 5,2
Потрошња електричне енергије	kWh 1,18
Коефицијент грејања	COP 4,42
Маса	kg 165
Расхладно средство R134a	kg 1,9
Кондензатор/испаривач	плочасти измењивач топлоте
Материјал	нерђајући челик V4A, AISI 316, 1,4401

6.1.2. Симулација и добијени резултати

У пољима програма EnergyPlus уносе се сви потребни параметри потребни за симулацију; Подаци о геометрији куће, материјалима у зидовима, комбинација материјала у зидовима као и броја људи у кући, опреме, свих потребних информација о топлотној пумпи и измењивачу топлоте. Унос параметара и симулација су представљени на сликама 6.3 и 6.4.



Слика 6.3 Унос параметра везаних за топлотну пумпу



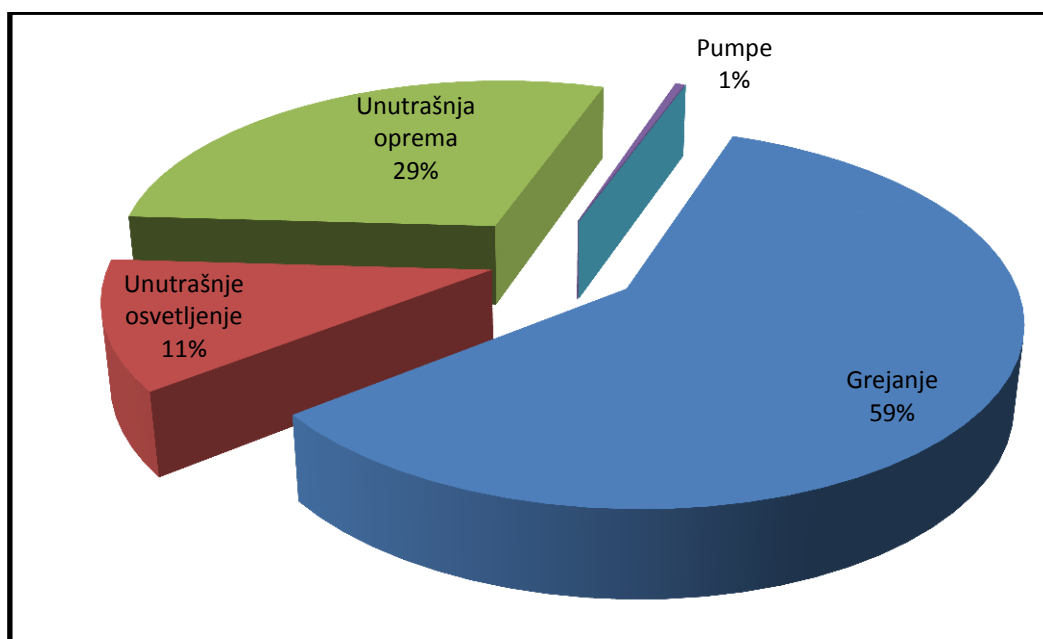
Слика 6.4 Симулација у програму EnergyPlus

Из извештаја симулације у HTML формату, добијена је *табела 11*, у којој су представљени резултати потрошње енергије у кући по метру квадратном грејане површине и потрошње енергије по гејној сезони. Електрична енергија се троши на грејање, унутрашње осветљење, рад електроопреме као и за рад пумпи у систему. Такође је у табели приказана и укупна потрошња електричне енергије у кући.

Табела 11. Потрошња електричне енергије у кући

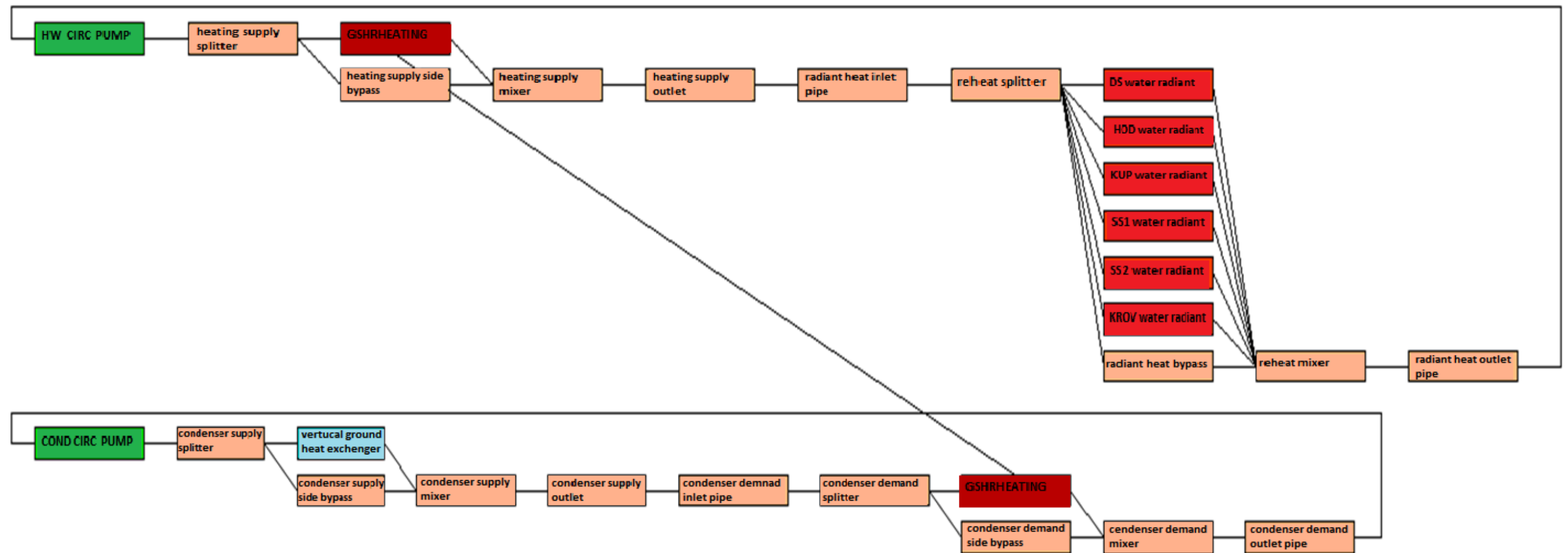
	[kWh/m ²]	[kWh]
Грејање	22.97	4365.93
Унутрашње осветљење	4,45	846.56
Унутрашња опрема	11,36	2159.40
Пумпе	0,18	35.21
Укупно	38,9	7407,1

Електрична енергија од 22,97 kWh/m², из *табеле 11*, представља и потребну електричну енергију за рад топлотне пумпе. Однос потрошње електричне енергије у кући приказан је процентуално на *слици 6.5*.



Слика 6.5 Процентуални однос потрошње електричне енергије у кући

Симулацијом у програму EnergyPlus добијена је блок шема система, која је приказана на *слици 6.6* са свим компонентама.



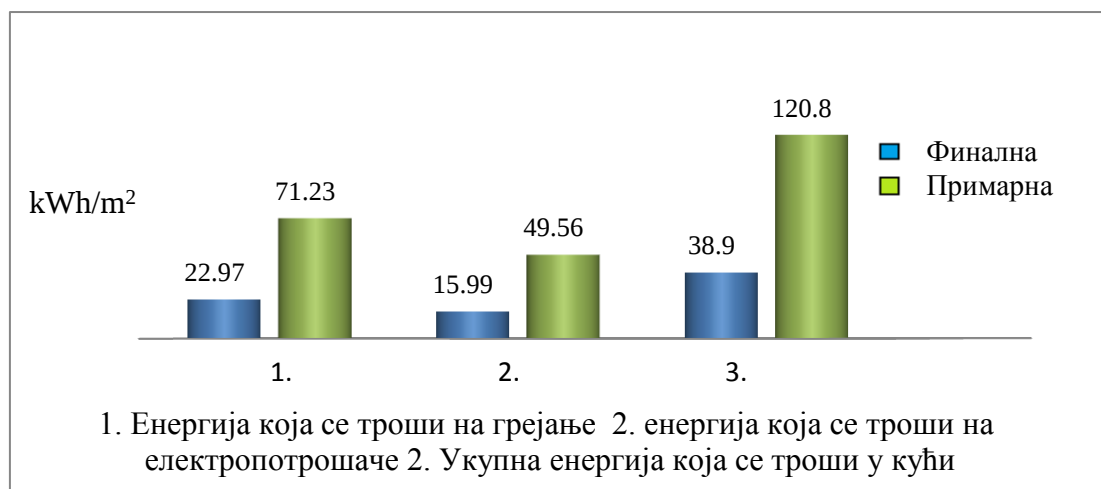
Radiant heat outlet pipe - Загрејана излазна грејна цев
HW circ pump - HW циркулациона пумпа
Heating supply splitter - Грејни разводник
GSHRheating -Топлотна пумпа
Heating supply side bypass - Ваура са топлотне пумпе
Reheat splitter -Разделник грејних тела
Heating supply outlet -Цев из топлотне пумпе
HOD water radiant - Грејно тело у ходнику
KUP water radiant -Грејно тело у купатилу
SS1 water radiant - Грејно тело у спаваћој соби 1
SS2 water radiant - Грејно тело у спаваћој соби 2
KROV water radiant -Грејно тело у крову
Radiant heat bypass - Ваура грејних тела
Radiant heat inlet pipe - Улазна цев ка грејним телима

DS water radiant -Грејно тело у дневној соби
Reheat mixer -Сабирник и грејног тела
Condenser demand side bypass - Ваура кондезатора
Condenser demand mixer -Сабирник са стране кондезатора
Condenser demand outlet pipe -Излазна цев из кондезатора
Heating supply mixer -Сабирник из топлотне пумпе
COND circ pump - COND циркулациона пумпа
Condenser supply splitter - Сабирник из вертикалног измењивача топлоте
Vertical ground heat exchanger - Вертикални измењивач топлоте у земљи
Condenser supply bypass- Ваура са стране измењивача

Слика 6.6 Шема система

Пошто се симулирају системи грејања који користе различите изворе топлотне енергије, и да би се могло вршити поређење потрошње енергије тих система, поређење се врши по потрошњи примарне енергије, док се цена потрошње енергије пореди по цени финалне енергије. У овом случају електрична енергија која се троши у кући, множи се са коефициентом трансформације електричне у примарну енергију, који износи **3,1**.

На *слици 6.7*, представљен је однос потрошње финалне и примарне енергије у кући представљену по метру квадратном у току грејне сезоне. На дијаграму је представљен однос потрошње енергије за грејање, осталих електропотрошача и укупне потрошње енергије у кући.



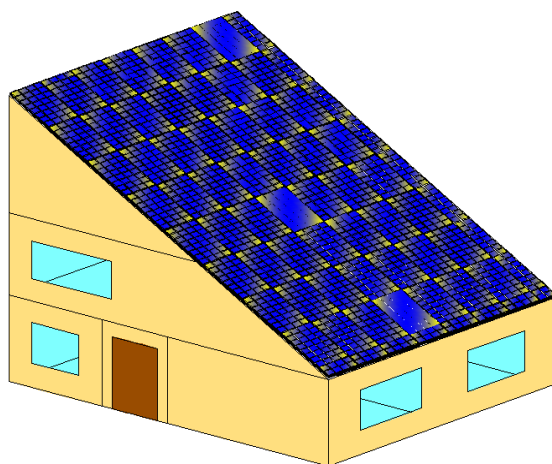
Слика 6.7 Однос потрошње примарне и финалне енергије у кући

6.2. Симулација потрошње енергије у кући која користи систем за грејање са топлотном пумпом и PV панелима преко целе површине крова

У другом случају симулиран је панелни систем грејања повезан на топлотну пумпу и PV панеле преко целе површине крова. Електрична енергија која се производи PV панелима може се директно користити за рад топлотне пумпе или се предати мрежи по једној цени, вишој, а узети за рад исте по другој, нижој цени. Поред потрошње енергије у кући, симулацијом је истраживано може ли се овом површном PV панела обезбедити електрична енергија за рад топлотне пумпе.

6.2.1. PV панели

Што се тиче PV панела, површина појединачних панела износи $0,63 \text{ m}^2$ са бројем ћелија од 36, напона од $17,8 \text{ V}$. Инсолација која је усваја у овом случају при симулацији износи 1000 W/m^2 , док укупна површина PV панела постављених на крову износи $119,6 \text{ m}^2$, *слика 6.8*.



Слика 6.8 Кућа са PV панелима преко целе површине крова

Тип фотонапонских панела, слика 6.9, који се користи је Stm5-xxx/36, док су спецификације представљене у табели 12.



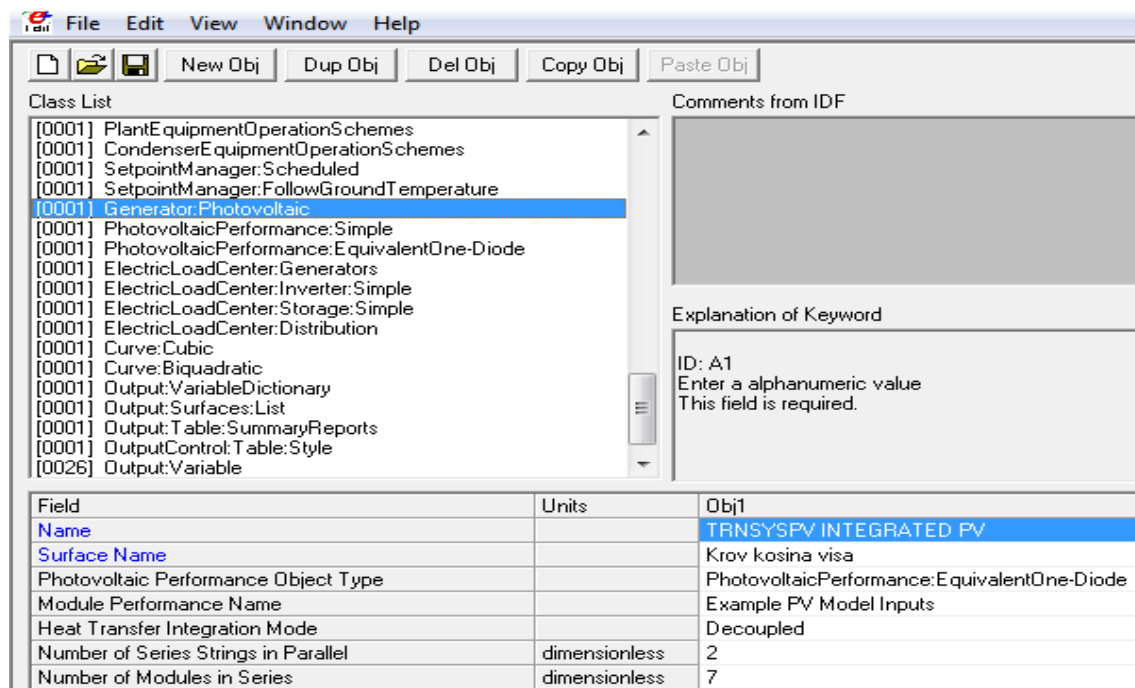
Слика 6.9 Фотонапонски панел

Табела 12. Спецификације PV панела

Тип ћелија	Моно кристалне, Силицијум, 125mm x 125mm
Број ћелија	36 ћелије у линији
Тежина	12 kg
Димензије	1200 x 540 x 35 mm
Ефикасност ћелије PV панела износи	17.12 %
Ефикасност модула	15,87 %
Снага	100 W
Максимална волтажа ћелије	17,85 V

6.2.2. Симулација и добијени резултати

Као и у предходном случају пре почетка симулације, у пољима програма EnergyPlus уносе се потребни подаци. Поред геометријских података о кући, боравку људи и коришћењу сијалица и електроопреме, уносе се и подаци о PV панелима, њихове површине, као и место на коме су постављени. Унос података везани за PV панеле у програм EnergyPlus представљен је на *слици 6.10*.



Слика 6.10 Унос података везани за PV панеле

Добијена блок шема система симулацијом је потпуно иста као и у предходном случају, као и потрошња електричне енергије у кући, *табела 13*, с тим што се PV панелима производи одређена количина електрична енергија.

Табела 13. Произведена електрична енергија и потрошња електричне енергије у кући

	[kWh/m ²]	[kWh]
Енергија потребна за грејање	22,97	4365
Електрична енергија добијена PV панелима	19,7	3744
Енергија коју троше електропотрошачи	15,99	3038,1
Укупна потрошња електричне енергије	38,9	7407,1

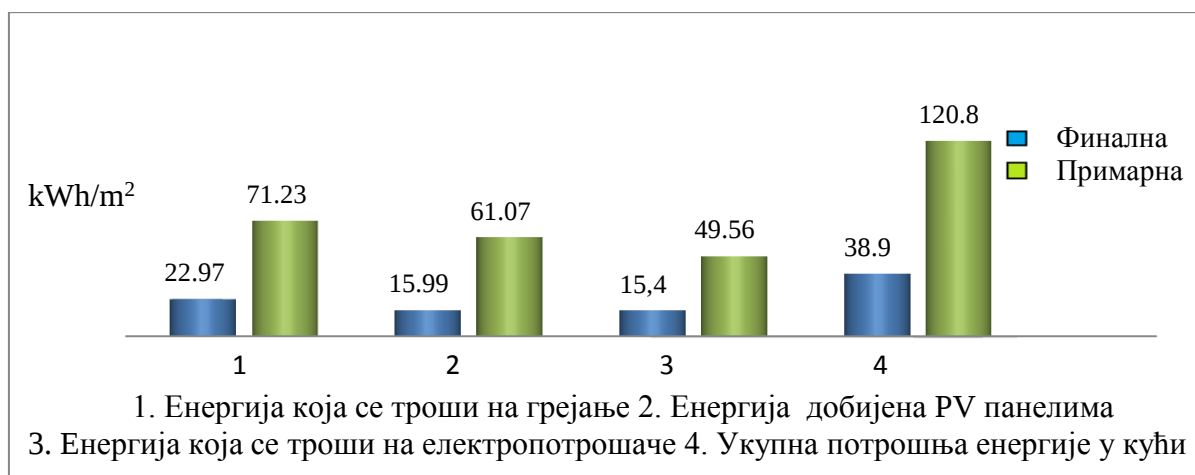
Однос произведене електричне енергије PV панелима и потребне енергије за грејање представљен је у *табели 14*.

Табела 14. Однос потребне електричне енергије за грејање и енергије добијене PV панелима

	kWh/m ²	kWh
Енергија потребна за грејање	22,97	4364,4
Електрична енергија добијена PV панелима	19,7	3743

Резултати симулације указују да се овом површином PV панела не производи довољно електричне енергије за рад топлотне пумпе, те се остатак електричне енергије потребне за грејање обезбеђује из мреже.

На слици 6.11 је представљен однос потребне енергије за грејање, потрошње енергије у кући као и производње електричне енергије PV панелима. Електрична енергија која се троши на грејање износи $22,9 \text{ kWh/m}^2$, док добијена електрична енергија овом површином PV панела износи $19,7 \text{ kWh/m}^2$. На рад свих осталих електропотрошача у кући троши се $15,99 \text{ kWh/m}^2$. Такође је на дијаграму приказана и укупна потрошња електричне енергије у кући која износи $38,9 \text{ kWh/m}^2$, како кроз финалну тако и кроз примарну енергију.



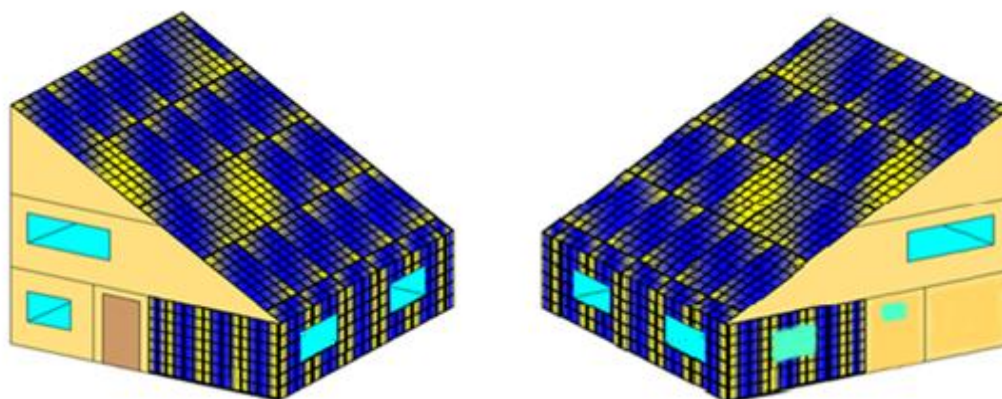
Слика 6.11 Однос финалне и примане енергије - потребне за грејање, произведена енергија PV панелима, енергија коју троше електропотрошачи и укупна потрошња енергије у кући

6.3. Симулација потрошње енергије у кући која користи систем за грејање са топлотном помпом и површином PV панела неопходном да покрије потребе топлотне пумпе

У трећем случају симулиран је панелни систем грејања повезан на топлотну пумпу и PV панеле веће површине, и истраживано је може ли та површина да покрије потребе топлотне пумпе. PV панели су постављени, поред целе површине крова и на зиду дневне собе са јужне, источне и западне стране.

6.3.1. PV панели

Површина појединачних PV панела, као и у предходном случају, износи $0,63 \text{ m}^2$ са бројем ћелија од 36, напона од 21,4 V. Инсолација такође износи 1000 W/m^2 . Укупна површина PV панела у овом случају износи 165 m^2 , слика 6.13.



Слика 6.13 Кућа са PV панелима - веће површине

6.3.2. Симулација и добијени резултати

Блок шема система као и потрошња енергије у кући је иста као и у предходна два случаја. Већом површином PV панела се производи и више електричне енергије. У *табели 15*, је представљен однос произведене електричне енергије и електричне енергије која се троши у кући.

Табела 15. Произведена електрична енергија и потрошња електричне енергије у кући

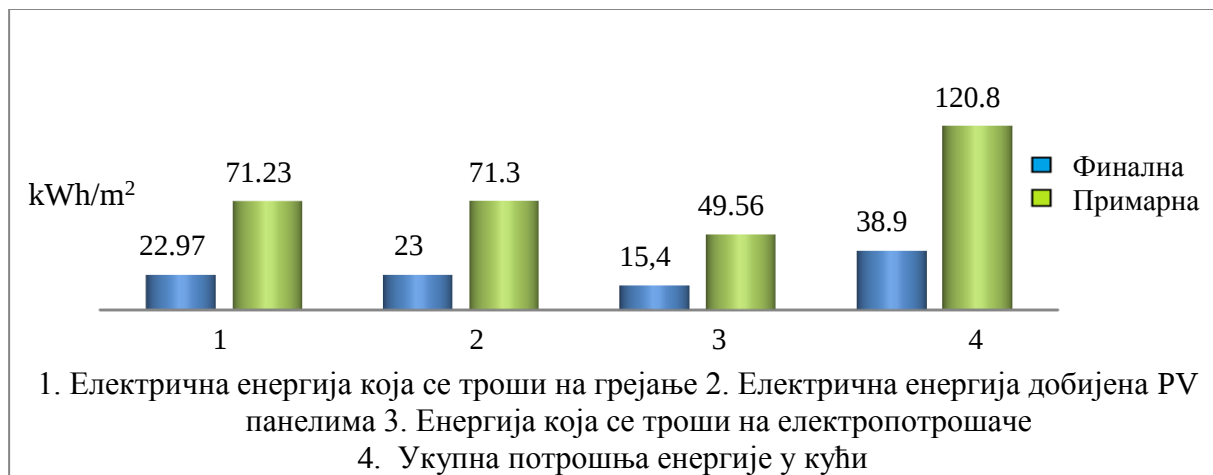
	[kWh/m ²]	[kWh]
Енергија потребна за грејање	22,97	4365
Електрична енергија добијена PV панелима	23	4370
Енергија коју троше електропотрошачи	15,4	2926
Укупна потрошња електричне енергије	38,9	7407,1

Однос произведене електричне енергије PV панелима и потребне енергије за грејање, представљен је у *табели 16*.

Табела 16. Електрична енергија произведена PV панелима и енергија потребна за грејање

	[kWh/m ²]	kWh
Електрична енергија произведена ФН панелима	23	4370
Енергија потребна за грејање	22,97	4364,3

У овом случају, са овом површином PV панела, производи се нешто више електричне енергије него што је потребно за рад топлотне пумпе, те се ова површина PV панела усваја као меродавна површина којом се може обезбедити довољно електричне енергије за рад топлотне пумпе. На *слици 6.14*, је представљен однос финалне и примарне енергије потребне за грејање, потрошње енергије у кући као и производње електричне енергије PV панелима. Електрична енергија потребна за грејање износи 22,97 kWh/m², док електрична енергија која се у овом случају добија PV панелима износи 23 kWh/m². Електрична енергија која се узима из мреже за остале електропотрошаче износи 15,4 kWh/m², а укупна електрична енергија која се троши у кући као и у предходна два случаја износи 38,98 kWh/m².



Слика 6.14 Однос финалне и примане енергије - потребне за грејање, произведена енергија PV панелима, енергија коју троше електропотрошачи и укупна потрошња енергије у кући

6.4. Симулација потрошње енергије у кући који користи систем за грејање сагоревањем фосилних горива, систем са гасним КОТЛОМ

У четвртом случају симулиран је систем у коме се за грејање користи природни гас. Сва електрична енергија за електропотрошаче у кући се узима из електро мреже, а енергија за грејање се добија сагоревањем природног гаса у гасном котлу. Природни гас има огревну вредност око **9.26 kWh/m³**. Степен искоришћења котла је идеално 0,9 док су губици у димњаку и цевном разводу топле воде приближно 25%. Из наведеног следи да је за 1000 kWh топлотне енергије потребно око 133 m³ природног гаса. Пумпа у систему има ефикасност од 0,87 а процењени притисак износи 15000 Pa. номинална термална ефикасност система износи 0,8, пројектована температуре воде износи 80 ° C.

6.4.1. Гасни котао

У систему се користи гасни котао FORMENTERA CTFS, *слика 6.13*.



Слика 6.15 Гасни котао

Formentera CTFS је високоефикасан комбиновани гасни котао за централно грејање. Котао је израђен уз помоћ најновије технологије. Лак је за коришћење и безбедан током рада, једноставна и брза монтажа. Једноставан приступ компонентама ради добро осмишљеног распореда омогућује лако одржавање.

Техничке карактеристике гасног котла приказане су у *табели 17*.

Табела 17. Техничке карактеристике

Примарни измењивач за грејање

Секундарни изменивач за РТВ

Мах. снага грејања: 28,6 kW.

Мин. снага грејања: 12 kW.

Мах температура ПТВ: 62°C.

Ефикасност при мах излазној снази: 93,7 %.

Ефикасност при мин. излазној снази 88,9 %.

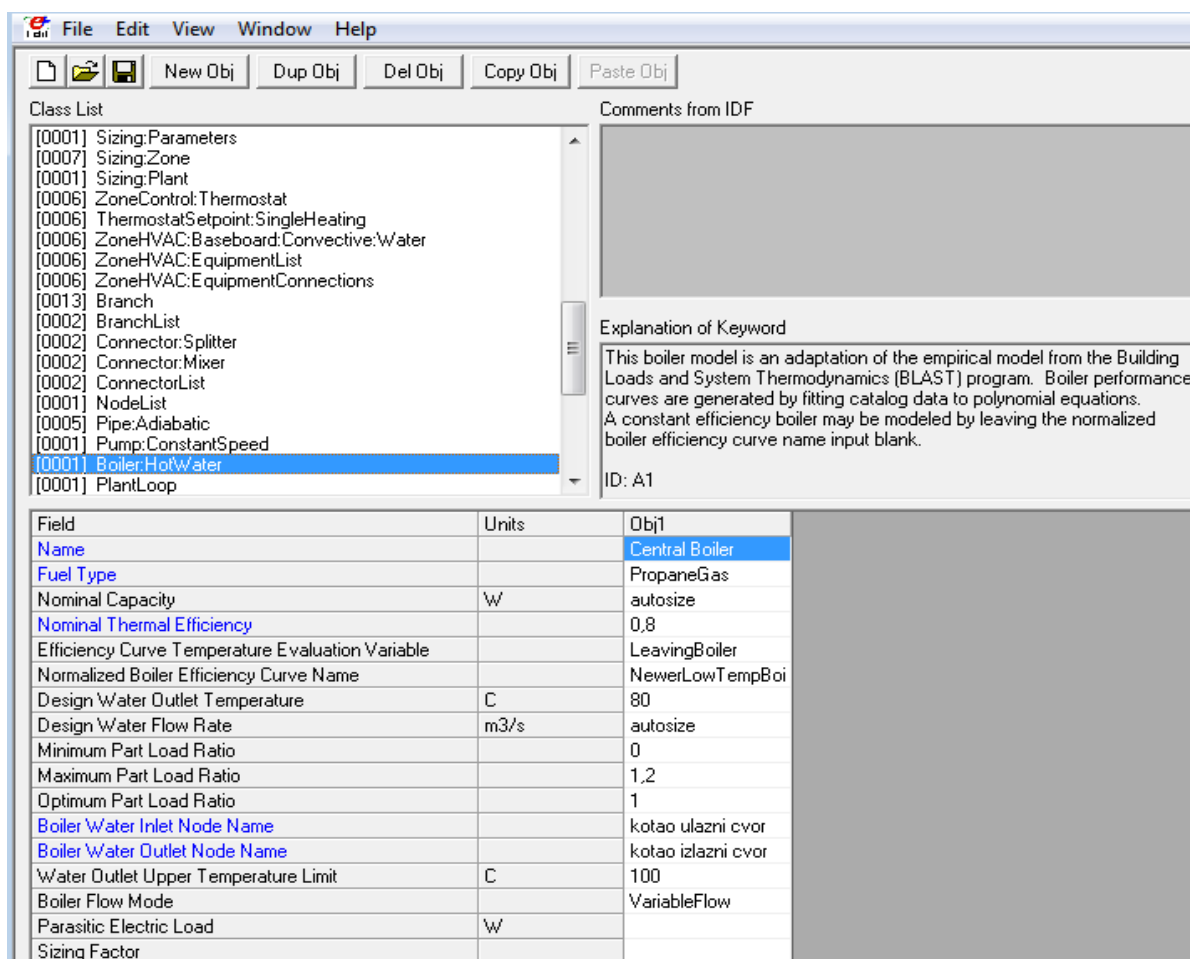
Потрошња природног гаса при мах. излазној снази грејања: 3.23 m³/h.

МАх. потрошња ел. енергије: 134 W

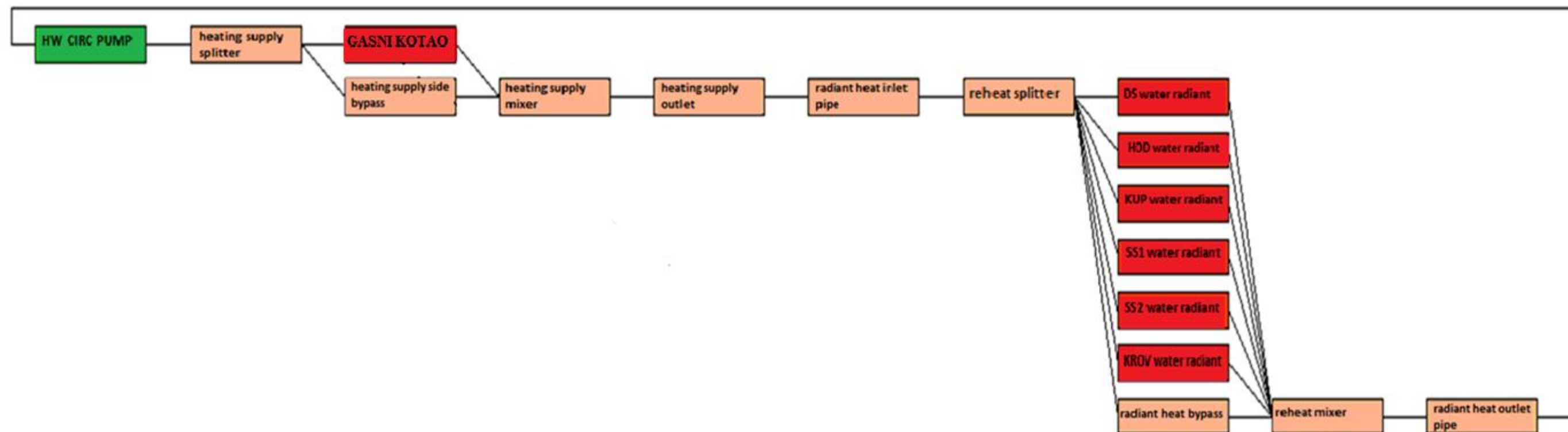
Димензије: 750 mm висина, 420 mm ширина, 315 mm дубина

6.4.2. Симулација и добијени резултати

Поред свих потребних података о кући, у пољима програма EnergyPlus се уносе и подаци о гасном котлу што је приказано на *слици 6.17* и целокупном грејном систему, док је добијена блок шема симулацијом приказана на *слици 6.18*.



Слика 6.17 Унос података везани за гасни котло



Radiant heat outlet pipe - Загрејана излазна грејна цев

HW circ pump- HW циркулациона пумпа

Heating supply splitter - Грејни разводник

GASHI KOTAO – Гасни котао

Heating supply side bypass - Ваурап на гасном котлу

Reheat splitter - Разделник грејних тела

HOD water radiant - Грејно тело у ходнику

KUP water radiant - Грејно тело у купатилу

SS1 water radiant - Грејно тело у спаваћој соби 1

SS2 water radiant - Грејно тело у спаваћој соби 2

KROV water radiant - Грејно тело у крову

Radiant heat bypass - Ваурап грејних тела

DS water radiant - Грејно тело у дневној соби

Reheat mixer - Сабирник из грејних тела

Heating supply mixer - Сабирник из гасног котла

Heating supply outlet – Излазна цев из гасног котла

Radiant heat inlet pipe – Улазна цев ка грејним телима

Слика 6.18 Шема система

Поред блок шеме симулацијом је добијена и *табела 18*, у којој је представљена укупна потрошња енергије у кући, а у *табели 19*, је представљен однос потрошње електричне енергије и енергије природног гаса.

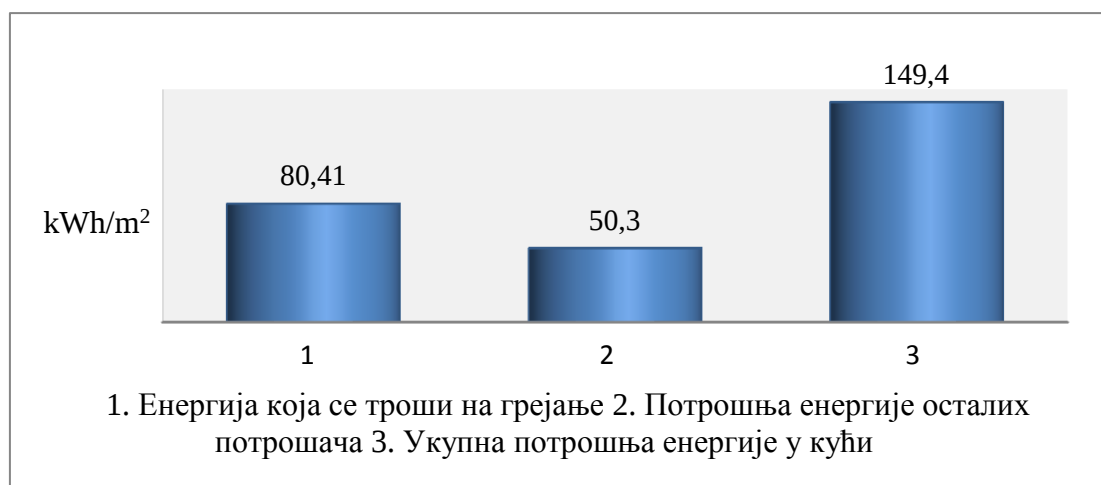
Табела 18. Укупна потрошња енергије у кући

	Електрична енергија [кWh/m ²]	Природни гас [кWh/m ²]
Грејање	0.00	73,1
Унутрашње осветљење	4,45	0.00
Унутрашња опрема	11,36	0.00
Пумпе	0,4	0.00

Табела 19. Однос потрошње електричне и енергије природног гаса

	[кWh/m ²]	[кWh]
Потрошња електричне енергије	16,21	3079,9
Потрошња природног гаса	73,1	13889

Електрична енергија множи се са фактором конверзије електричне енергије у примарну од 3,1 а енергија природног гаса множи се са фактором конверзије природног гаса у примарну енергију од 1,1. Тако да је на *слици 6.19* је представљен однос примарне енергија потребне за грејање, примарне енергије електропотрошача и укупне енергије која се троши у кући.



Слика 6.19 Потрошња примарне енергије у кући

6.5. Симулација потрошње енергије у кући која користи систем за грејање електро котлом

У петом случају симулиран је систем који користи електричну енергију за грејање, загревањем воде у електро котлу. Вода која се загрева шаље се уз помоћ циркулационе пумпе кроз систем панела у кући. Само добијање топлотне енергије из електричне представља најнеекономичнији начин добијања топлотне енергије будући да се у Србији највећи део електричне енергије добија из Термоелектрана у којима ефикасност у најбољем случају износи 40%.

6.5.1. Електро котло

Електро котло који се користи у систему је котло фирме **Valiant**, слика 6.20.



Валиантови електрични котлови за централно грејање је сасвим аутоматизован и готово нечујан. Котло је такође у потпуности опремљен са свим радним сигурносним елементима. Секвенцијалним паљењем огревних спирала, спречени су нежељени инпулси у електричној мрежи приликом укључивања и искључивања котла, што доводи до уштеде електричне енергије. Запремина овог котла износи 80 литара.

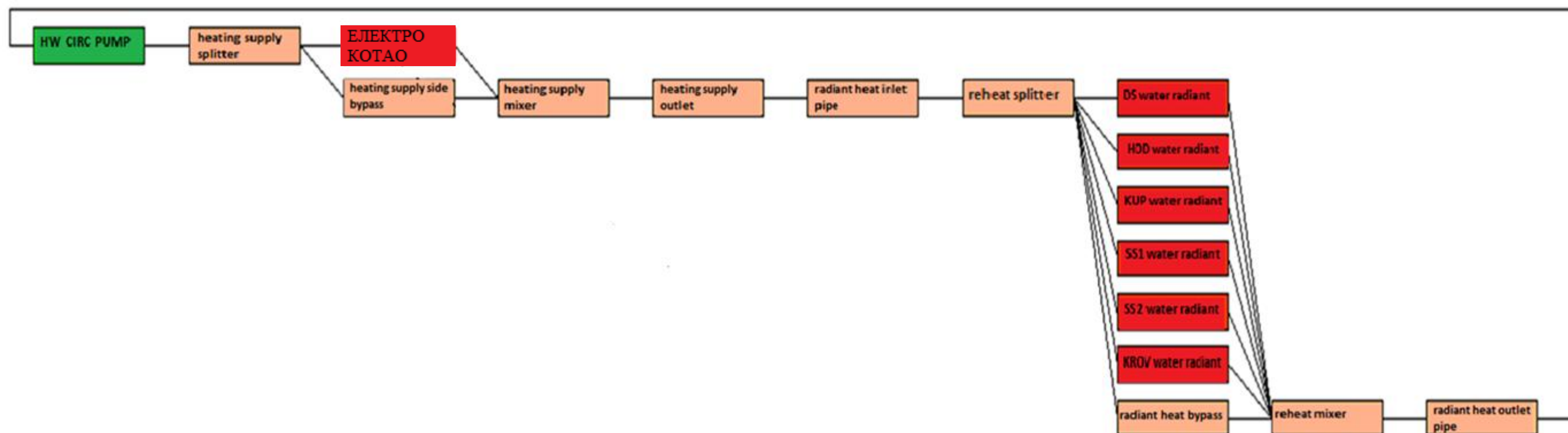
Слика 6.20 Електро котло

6.5.2. Симулација и добијени резултати

Поред свих потребних података о кући, у програм EnergyPlus се уносе и подаци о електро котлу и грејном систему што је приказано на слици 6.21. Поред блок шеме система на слици 6.22, симулацијом су добијени подаци о потрошњи електричне енергије у кући, што је представљено у табели 20.

File Edit View Window Help		
New Obj Dup Obj Del Obj Copy Obj Paste Obj		
Class List		Comments from IDF
[0006] ZoneHVAC:EquipmentList [0006] ZoneHVAC:EquipmentConnections [0013] Branch [0002] BranchList [0002] Connector:Splitter [0002] Connector:Mixer [0002] ConnectorList [0001] NodeList [0005] Pipe:Adiabatic [0001] Pump:ConstantSpeed [0001] Boiler:HotWater [0001] PlantLoop [0001] PlantEquipmentList [0001] PlantEquipmentOperation:HeatingLoad [0001] PlantEquipmentOperation:Schemes [0002] SetpointManager:Scheduled [0001] Curve:Cubic [0001] Output:VariableDictionary		Explanation of Keyword This boiler model is an adaptation of the empirical model from the Building Loads and System Thermodynamics (BLAST) program. Boiler performance curves are generated by fitting catalog data to polynomial equations. A constant efficiency boiler may be modeled by leaving the normalized boiler efficiency curve name input blank. Multiplies the autosized capacity and flow rates ID: N10
Field	Units	Obj1
Name		Elektro boiler
Fuel Type		Electricity
Nominal Capacity	W	autosize
Nominal Thermal Efficiency		0.8
Efficiency Curve Temperature Evaluation Variable		LeavingBoiler
Normalized Boiler Efficiency Curve Name		NewerLowTempBoiler
Design Water Outlet Temperature	C	80
Design Water Flow Rate	m3/s	autosize
Minimum Part Load Ratio		0
Maximum Part Load Ratio		1.2
Optimum Part Load Ratio		1
Boiler Water Inlet Node Name		kotao ulazni cvor
Boiler Water Outlet Node Name		kotao izlazni cvor
Water Outlet Upper Temperature Limit	C	100
Boiler Flow Mode		VariableFlow
Parasitic Electric Load	W	
Sizing Factor		

Слика 6.21 Подаци који се уносе у програм EnergyPlus везани за електро котло



Radiant heat outlet pipe - Загрејана излазна грејна цев
HW circ pump- HW циркулациона пумпа
Heating supply splitter - Грејни разводник
ELEKTRO KOTAO– Електро котло
Heating supply side bypass - Ваурап на електро котлу
Reheat splitter - Разделник грејних тела
HOD water radiant - Грејно тело у ходнику
KUP water radiant - Грејно тело у купатилу
SS1 water radiant - Грејно тело у спаваћој соби 1
SS2 water radiant - Грејно тело у спаваћој соби 2
KROV water radiant - Грејно тело у крову

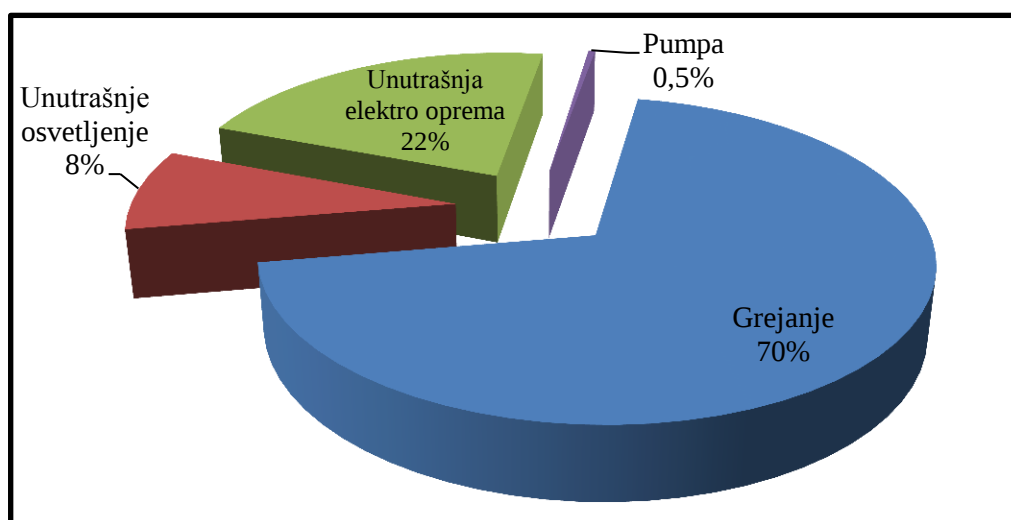
DS water radiant - Грејно тело у дневној соби
Reheat mixer - Сабирник из грејних тела
Heating supply mixer – Сабирник из електро котла
Heating supply outlet – Излазна цев из електро котла
Radiant heat inlet pipe – Улазна цев у електро котло

Слика 6.22 *Шема система*

Табела 20. Електрична енергија која се троши у кући

	[кWh/m ²]	[кWh]
Грејање	73,1	13889
Унутрашње осветљење	4,45	845,5
Унутрашња електроопрема	11,36	2158,4
Пумпа	0,4	76
Укупна потрошња електричне енергије	89,32	16970,8

Потрошња енергије је процентуално представљена на слици 6.23.

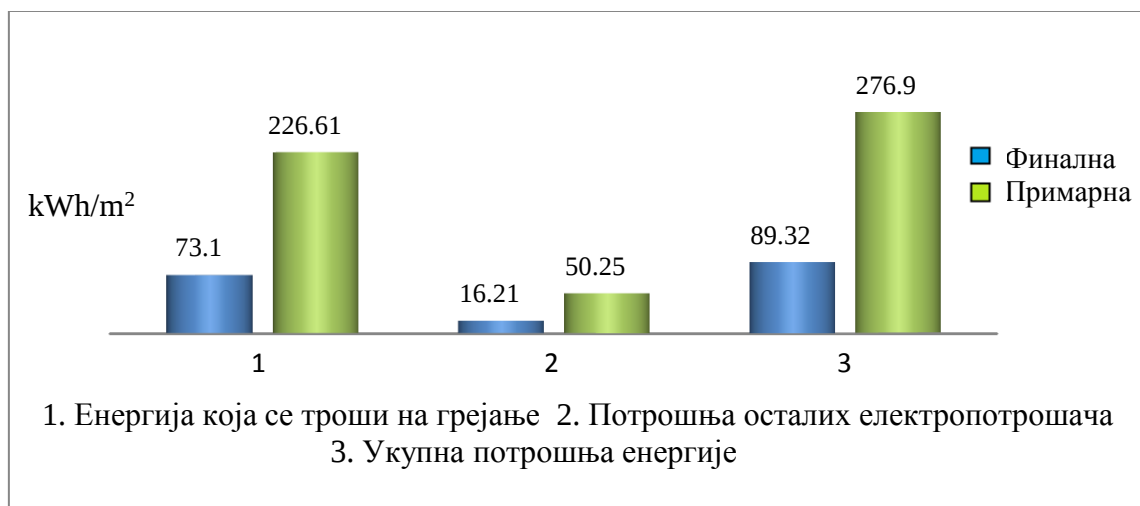


Слика 6.23 Процентуални однос потрошње електричне енергије у кући

Множењем финалне енергије која се троши у кући са фактором конверзије у примарну енергију, добијена је табела 21, и дијаграм на слици 6.24, где је приказан однос потрошње примарне енергија за грејање, енергије електропотрошача и укупне потрошње енергије.

Табела 21. Потрошња примарне енергије у кући

	[кWh/m ²]
Енергија која се троши на грејање	226,61
Потрошња осталих електропотрошача	50,25
Укупна потрошња енергије	276,9



Слика 6.24 Однос потрошње финалне и примане енергије - потребне за грејање, енергија коју троше електропотрошачи и укупна потрошња енергије у кући

Са дијаграма се види да је у овом случају највећа потрошња електричне енергије и свакако за то највећи утицај има потрошња електричне енергије на грејање.

7. ПОРЕЂЕЊЕ ПОТРОШЊЕ ЕНЕРГИЈЕ У КУЋИ

Добијањем резултата симулације, поређена је потрошња енергије за грејање, као и укупна потрошња енергије у кући. Пошто су различити извори топлотне енергије, пореди се потрошња примарне енергије.

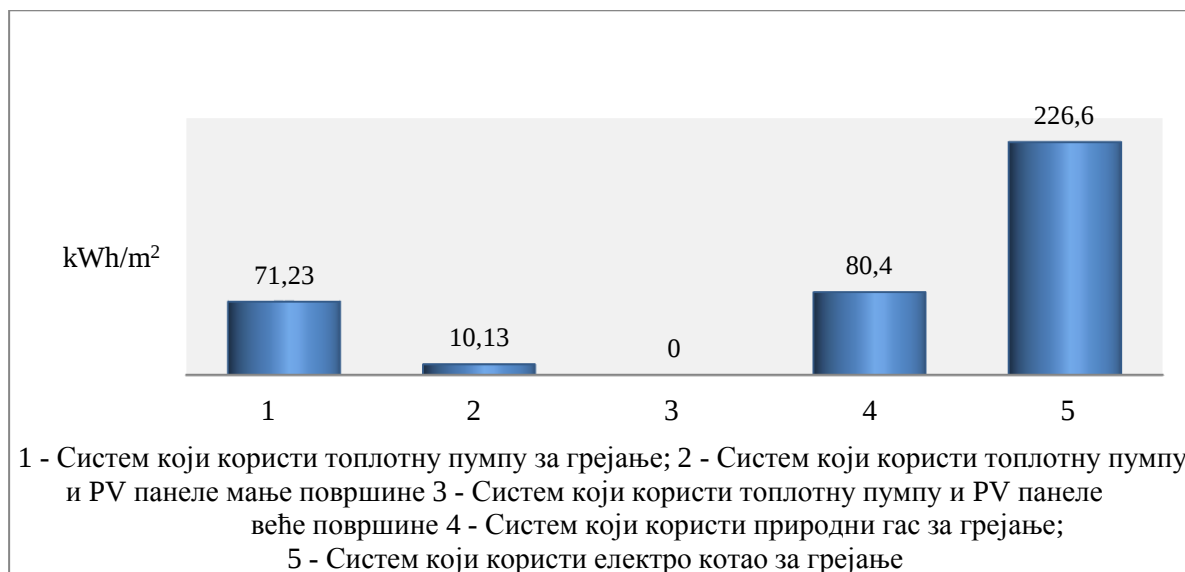
7.1. Потрошње енергије за грејање

Поређењем добијених података на слици 7.1, добијен је дијаграм потрошње енергије за грејање код свих пет система.



Слика 7.1 Однос потрошње примарне енергије за грејање по системима

У систему са топлотном пумпом и PV панелима веће површине, енергија која се добија из PV панела довољна је да задовољи потребе за грејањем, тако да је на дијаграму у овом случају та енергија једнака нули, што је представљено на *слици 7.2*.



Слика 7.2 Однос потрошње примарне енергије за грејање по системима када се енергија добијена PV панелима директно користи за рад топлотне пумпе

7.2. Укупна потрошња енергије у кући

На *слици 7.3*, приказана је укупна потрошња примарне енергије у кући. Поред енергије која се троши на грејање, троши се и на остале електропотрошаче у кући (електрични шпорет, фрижидер, сијалице, замрзивач..)



Слика 7.3 Однос укупне потрошње примарне енергије у кући са различитим системима грејања

8. ЕКОНОМСКА АНАЛИЗА И ИСПЛАТИВОСТ УГРАДЊЕ СИСТЕМА ГРЕЈАЊА

Цена енергије код ових пет система грејања, представљена је кроз цену финалне енергије која се троши на грејање и укупну цену финалне енергије која се троши у кући. Период исплативости уградње система врши се на основу поређења потрошње енергије за грејање. Грејна тела, панели за грејање су исти у свим случајевима тако да се цена њихове уградње неће узети у обзир.

Пошто се PV панелима производи електрична енергија, која се може искористити директно за рад топлотне пумпе или је предати мрежи по већој цени него што је цена када се повлачи из мреже, вршена су поређења исплативости уградње ових система у та два случаја.

8.1. Систем који користи електро котло за грејање

Електрична енергија која се троши за грејање код овог система износи;

- 13888,39 kWh

При цени електричне енергије у Србији по којој се она узима из мреже од 0,065 €/kWh трошкови грејања износе;

- 902,78 €

Инвестиција уградње електро котла износи;

- 380 €

Електрична енергија која се троши у кући на остале електропотрошаче износи;

- 3083,76 kWh

Множењем са ценом струје она износи;

- 200,4 €

Тако да је цена укупне енергије која се троши у кући;

- 1103,18 €

Систем са електро котлом има најнижу цену у почетним инвестицијама, а пак најскупљи сто се тиче цене енергије за грејање. Због тога је узет као репер поређења исплативости уградње осталих система.

8.2. Систем који користи природни гас за грејање

Енергија која се троши на грејање системом на природни гас износи,

- 13888,39 kWh

Пошто Природни гас има грејну вредност око **9,26 kWh/m³**, степен искоришћења котла је око 0,9 док губици у димњаку и цевном разводу топле воде износе приближно 25%. Тако да је у овом случају;

- 1851,3 m³ гаса потребно за грејање.

Цена 1 m³ гаса износи 46,3 РСД што представља 0,41 €/kWh. Тако да цена природног гаса који је потребан за грејање износи;

- 759 €

Инвестиција уградње котла на гас износи;

- 680 €

Инвестиција уградње електро котла је за тристотине евра мања у односу на гасни котао, док је цена енергије грејања 143 € мања код система са гасним котлом, тако да када се ова разлика у цени инвестиција подели са разликом у цени енергије за грејање, добија се период исплативости уградње система са гасним котлом у односу на систем са електро котлом који износи;

- 2 године.

Електрична енергија која се троши у кући на електропотрошаче износи;

- 3083,76 kWh

Множењем са ценом струје, она износи;

- 200,4 €

Тако да је цена укупне енергије која се троши у кући;

- 959,4 €

8.3. Систем који користи топлотну пумпу за грејање

У систему који користи топлотну пумпу за грејање електрична енергија која се троши на грејање, односно за рад топлотне пумпе, износи;

- 4365,93 kWh

Множењем са ценом струје, добија се да цена енергије која се троши за грејање износи;

- 283,78 €.

Цена уградње система са топлотном пумпом износи;

- 14000 €

Цена уградње електро котла је за 13620 € мања у односу на цену уградње система са топлотном пумпом, док је цена енергије која се троши на грејања за 619 € мања код система са топлотном пумпом. Делењем разлике у цени уградње ова два система грејања, са разликом у цени енергије потребне за грејање, добија се период исплативости уградње система са топлотном пумпом у односу на систем са електро котлом износи;

- 22 године.

Електрична енергија која се троши у кући на остале електропотрошаче износи;

- 3041,17 kWh

Множењем са ценом струје, она износи;

- 197,7 €

Тако да је цена укупне енергије која се троши у кући;

- 481,45 €

8.4. Систем са топлотном пумпом и PV панелима мање површине, који електричну енергију из PV панела користи за рад исте

У систему са топлотном пумпом и PV панелима, када се PV панели налазе преко целе површине крова, као и у предходном случају за грејање, односно за рад топлотне пумпе, се троши,

- 4365,93 kWh, електричне енергије,

PV панелима се производи,

- 3744 kWh електричне енергије.

Пошто се овом површином не производи довољно електричне енергије за рад топлотне пумпе, из мреже се узима за рад исте;

- 591,93 kWh електричне енергије.

Множењем са ценом струје од 0,065 €/kWh добија се да је цена електричне енергије која се узима из мреже за рад топлотне пумпе;

- 38,47 €.

Укупна цена уградње топлотне пумпе и PV панела ове површине износи;

- 17151,2 €

Цена уградње електро котла је за 16771,2 € мања у односу на цену уградње система са топлотном пумпом и PV панелима преко целе површине крова, док је цена енергије која се троши на грејања за 864,31 € мања код истог система. Дељењем разлике у цени уградње ова два система грејања, са разликом у цени енергије потребне за грејање, добија се период исплативости уградње система са топлотном пумпом и PV панелима преко целе површине крова у односу на систем са електро котлом који износи;

- 19,4 године.

Електрична енергија која се троши у кући на остале електропотрошаче износи;

- 3041,17 kWh

Множењем са ценом струје она износи;

- 197,7 €

Тако да је цена укупне енергије која се троши у кући;

- 236,8 €

8.5. Систем са топлотном пумпом и PV панелима веће површине, који електричну енергију из PV панела користи за рад исте

Што се тиче система где се корити површина PV панела која производи електричну енергију довољну да покрије потребе енергије за грејањем, цена енергије која се троши на грејање са овим системом износи;

- 0 €

Док је цена уградње овог система;

- 18023,6 €

Цена уградње електро котла је за 17643,6 € мања у односу на цену уградње система са топлотном пумпом и PV панелима ове површине. Пошто је цена електричне енергије која се троши за грејање у овом сличају једнака нули а цена електричне енергије за грејање код система са електро котлом 902,78 €, дељењем разлике у цени уградње ова два система са овом ценом електричне енергије која се троши за грејање електро котлом, добија се период исплативости уградње овог система са PV панелима у односу на електро котао који износи;

- 14 година.

Електрична енергија која се троши у кући на остале електропотрошаче износи;

- 3041,17 kWh

Множењем са ценом струје она износи;

- 197,7 €

Тако да је цена укупне енергије која се троши у кући;

- 197,7 €

8.6. Систем са топлотном пумпом и PV панелима мање површине који електричну енергију предаје мрежи и узима је из ње

У систему са топлотном пумпом и PV панелима, када се PV панели налазе преко целе површине крова, такође као и у предходном случају за грејање се троши,

- 4365,93 kWh, електричне енергије,
Тако да је цена енергије за грејање;

- 283,78 €

PV панелима се производи,

- 3744 kWh електричне енергије.

Предавањем ове електричне енергије мрежи, пошто је цена електричне енергије по којој се продаје мрежа која се добија из PV панела 0,23 €/kWh , зарађује се;

- 861 €

Разлика између зараде која се остварује производњом електричне енергије PV панелима и предавањем мрежи, и цени енергије која је потребна за грејање износи;

- 577,22 €

Инвестиција уградње PV панела ове површине износи;

- 3151,2 €

Укупна цена уградње топлотне пумпе и PV панела ове површине износи;

- 17151,2 €

Цена уградње овог система за 16772,2 € већа у односу на систем са електро котлом а годишња разлика у цени енергије за грејање, заједно са зарадом која се остварује путем производње електричне енергије PV панелима је 1480 €. Дељењем разлике у цени уградње ова два система са овом ценом, добија се период исплативости уградње овог система са PV панелима и топлотном пумпом у односу на систем са електро котлом који износи,

- 11,3 година.

Електрична енергија која се троши у кући на остале електропотрошаче износи;

- 3041,17 kWh

Множењем са ценом струје она износи;

- 197,7 €

Тако да сабирањем цене енергије која се троши на грејање од 283,78 € и цене енергије која се троши на остале електропотрошаче од 197,7 € добија се да је цена укупне енергије која се троши у кући;

- 481,43 €

Пошто се производњом електричне енергије PV панелима зарађује 861 € а из мреже се укупно повлачи електрична енергија у износу од 481,43 €, укупно се зарађује;

- 379,59 €

8.7. Систем са топлотном пумпом и PV панелима веће површине који електричну енергију предаје мрежи и узима је из ње

У систему где се користи површина PV панела која производи електричну енергију довољну да покрије потребе енергије за грејањем, за грејање троши,

- 4365,93 kWh, електричне енергије,
Тако да је цена енергије за грејање;

- 283,78 €

PV панелима се производи;

- 4780,56 kWh електричне енергије.

Помножено са ценом струје по којој се предаје мрежи од 0,23 €/ kWh зарађује се;

- 1186,8 €

У овом случају, будући да се производњом електричне енергије PV панелима зарађује 1186,8 € а из мреже се повлачи електрична енергија за грејање у износу од 283,78 €, зарађује се;

- 903 €

Цена уградње PV панела са овом површином износи;

- 4023,6 €

Док укупна цена уградње овог система износи,

- 18023,6 €

Цена уградње овог система за 17643,6 € већа у односу на систем са електро котлом а годишња разлика у цени енергије за грејање, заједно са зарадом која се остварује путем производње електричне енергије PV панелима је 1805,8 €. Делењем разлике у цени уградње ова два система са овом зарадом која се остварује производњом електричне енергије PV панелима, добија се период исплативости уградње овог система у односу на систем са електро котлом који износи,

- 9,7 год

Електрична енергија која се троши у кући на остале електропотрошаче као и у предходном случају износи;

- 3041,17 kWh

Множењем са ценом струје она износи;

- 197,7 €

Тако да сабирањем цене енергије која се троши на грејање од 283,78 € и цене енергије кој се троши на остале електропотрошаче од 197,7 € добија се да је цена укупне енергије која се троши у кући;

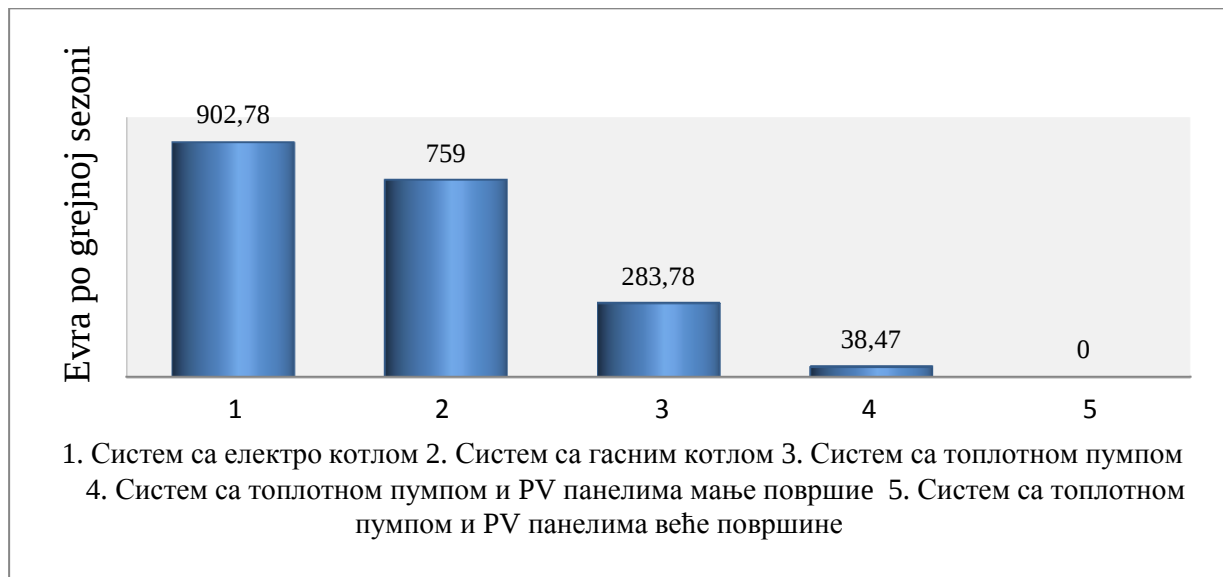
- 481,43 €

У овом случају, будући да се производњом електричне енергије PV панелима зарађује 903 € а из мреже се повлачи електрична енергија у износу од 481,83 €, укупно се зарађује;

- 421,52 €

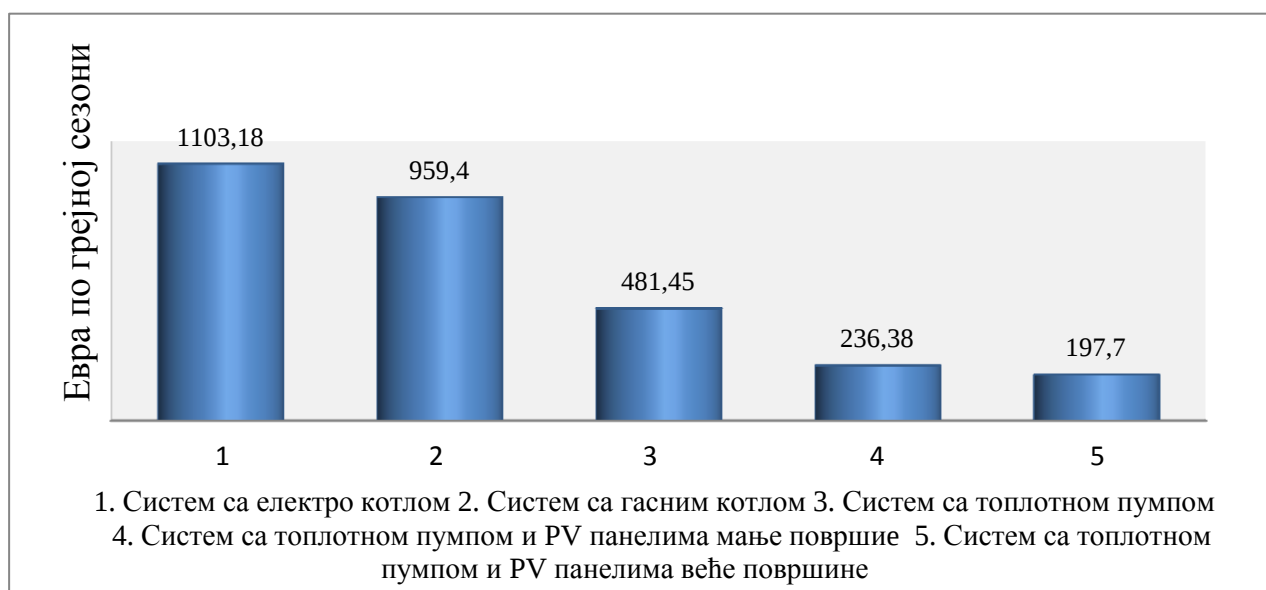
8.8. Годишњи трошкови

Годишњи трошкови су представљени посебно кроз трошкове грејања и кроз трошкове укупне потрошње енергије у кући. На *слици 8.1*, су представљени трошкови за грејање по системима када се електрична енергија из PV панела користи директно за рад топлотне пумпе.



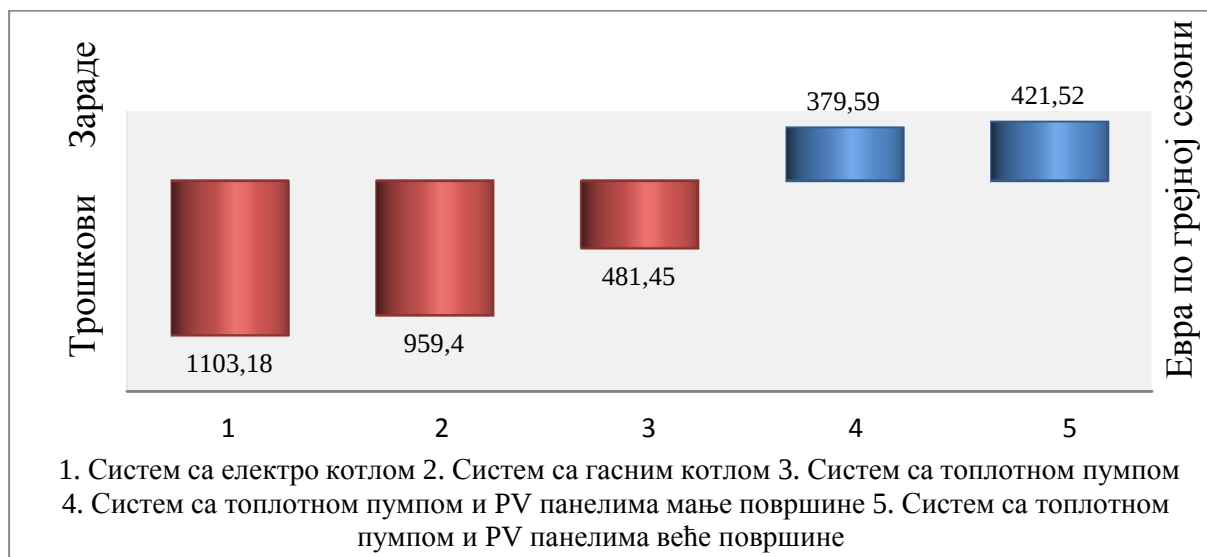
Слика 8.1 *Трошкови грејања у кући са различитим системима грејања*

На *слици 8.2*, је по системима, представљен однос трошкова **укупне енергије** која се троши у кући када се у системима са PV панелима, произведена електрична енергија директно користи за рад топлотне пумпе.



Слика 8.2 *Трошкови укупне потрошње енергије у кући*

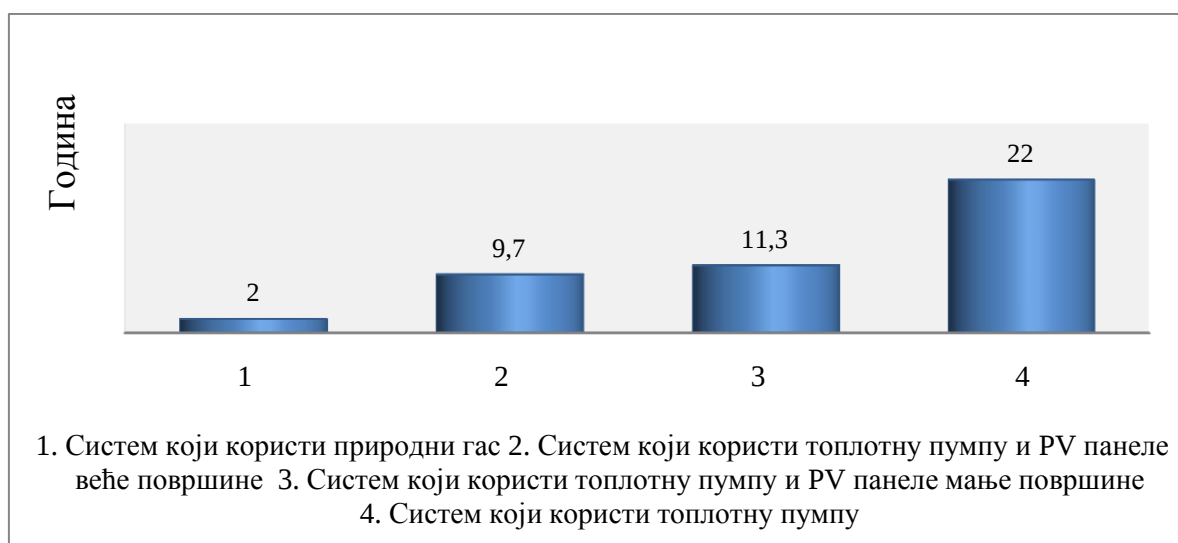
На слици 8.3, су представљени трошкови укупне енергије у кући и зараде које се остварују производњом електричне енергије PV панелима и предавањем електро мрежи.



Слика 8.3 Трошкови енергије и зараде које се остварују производњом електричне енергије PV панелима

8.9. Исплативост уградње система

Поређење исплативости уградње система грејања вршено је у односу на систем са електро котлом. У првом случају на слици 8.4 приказан је однос исплативости уградње система када се електрична енергија произведена PV панелима предаје мрежи по једној цени, вишој, а узма из ње по другој, нижој цени. У другом случају на слици 8.5 приказан је однос исплативости уградње система када се електрична енергија произведена PV панелима директно користи за рад топлотне пумпе.



Слика 8.4 Период исплативости уградње система грејања у односу на систем са електро котлом



Слика 8.5 Период исплативости уградње система грејања у односу на систем са електро котлом

ЗАКЉУЧАК

Обновљива енергија свакако представља будућност човечанства, због све вишег броја људи на планети и све мањим залихама фосилног горива. У овом мастер раду су представљени резултати истраживања других у области примене обновљивих извора енергије, конкретно топлотних пумпи и соларне енергије, где је показано колика је уштеда енергије са оваквим системима. У овом раду вршена је и симулација потрошње енергије у кући, како енергије за грејање тако и укупне потрошње енергије. Симулирани су случајеви где се за грејање користе; панелни систем грејања повезан на топлотну пумпу, панелни системи грејања повезани на топлотну пумпу и PV панеле различите површине, панелни систем грејања повезан на систем са природним гасом и панелни систем грејања повезан на систем који користи електричну енергију за грејање.

Симулација је рађена у програму EnergyPlus. У системима са топлотном пумпом и PV панелима приказано је да је потрошња енергије на грејање неколико пута мања у односу на остале системе али је и цена уградње ових система далеко већа. У систему са топлотном пумпом и PV панелима је истраживано која је површина PV панела довољна да обезбеди електричну енергију за рад топлотне пумпе, те се дошло до података де је довољна површина PV панела 165 m².

Поређење потрошње енергије је вршено у односу на систем са електро котлом јер у том систему је највећа потрошња енергије за грејање.

Вршењем поређења ових система показано је да период отплате уградње система по тренутној цени струје доста велики у односу на систем који користи електро котао, осим система са гасним котлом, али је и цена топлотне енергије добијена из природног гаса такође доста велика. Најдужи период отплате инвестиција је у случају када се користи само топлотна пумпа, где тај период износи чак двадесетдве године. Систем са топлотном помпом и PV панелима су доста скупи али свакако исплативи, где је систем са већом површином PV панела, која је испитивана у овом случају, исплатив већ за 9,7 год. Производњом електричне енергије PV панелима и предавањем исте мрежи остварује се одређена зарада али у Србији то баш није практично изводљиво због много техничких проблема, пре свега због монопола који има Електропривреда Србије над производњом електричне енергије.

Reference;

- [1]. http://sr.wikipedia.org/wiki/Обновљиви_извори_енергије
- [2]. http://sr.wikipedia.org/wiki/Geotermalna_energija
- [3]. http://en.wikipedia.org/wiki/Geothermal_energy 27.08.2013
- [4]. <https://www.google.rs/search?q=toplotne+pumpe+slike>
- [5]. <http://www.stsmihajlopupin.edu.rs>
- [6]. http://www.obnovljivi_izvori_energije.rs/solarna-energija.html
- [7]. <http://www.centrala.org.rs/knjiga>
- [8]. <https://www.google.rs/search?q=pv+panel+images>
- [9]. <http=heat+pumps+images&tbm=isch>
- [10]. Milorad Bojić, Hovak Hikolić, Danijela Hikolić, Jasmina Skerlić, Ivan Miletic, Toward a positive-net-energy residential building in Serbian conditions, Applied Energy, Volume 88, Issue 7, July 2011, Pages 2407-2419, ISSN 0306-2619, 10.1016/j.apenergy.2011.01.011.
- [11]. Jie Ji, Gang Pei, Tin-tai Chow, Kelian Liu, Hanfeng He, Jianping Lu, Chongwei Han, Experimental study of photovoltaic solar assisted heat pump system, Solar Energy, Volume 82, Issue 1, January 2008, Pages 43-52, ISSN 0038-092X, 10.1016/j.solener.2007.04.006
- [12]. Guoying Xu, Shiming Deng, Xiaosong Zhang, Lei Yang, Yuehong Zhang, Simulation of a photovoltaic/thermal heat pump system having a modified collector/evaporator, Solar Energy, Volume 83, Issue 11, November 2009, Pages 1967-1976, ISSN 0038-092X, 10.1016/j.solener.2009.07.008.
- [13]. M.I. Fadhel, K. Sopian, W.R.W. Daud, Performance analysis of solar-assisted chemical heat-pump dryer, Solar Energy, Volume 84, Issue 11, November 2010, Pages 1920-1928, ISSN 0038-092X, 10.1016/j.solener.2010.07.001
- [14]. Qi Qi, Shiming Deng, Yiqiang Jiang, A simulation study on a solar heat pump heating system with seasonal latent heat storage, Solar Energy, Volume 82, Issue 8, August 2008, Pages 669-675, ISSN 0038-092X, 10.1016/j.solener.2008.02.017.
- [15]. M.H.A. Hawlader, K.A. Jahangeer, Solar heat pump drying and water heating in the tropics, Solar Energy, Volume 80, Issue 5, May 2006, Pages 492-499, ISSN 0038-092X, 10.1016/j.solener.2005.04.012