

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Грејање, климатизација и соларна енергија

Број индекса: 97/2010

Марко (Златко) Миленковић

**Оптимизација Тромбовог зида са фотонапонским панелима на
годишњем нивоу**

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

- 1. Др Милорад Бојић, ред.проф. - ментор**
- 2. Др Небојша Лукић, ред.проф.**
- 3. Др Јасна Радуловић, ред.проф.**

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да анализира утицај ФН панела у комбинацији са Тромбовим зидовима на термичко понашање куће и потрошњу соларне енергије и енергије за загревање и хлађење. Кандидат треба да истражи могућности коришћења ових система на подручју Београда, где се налази испитивана пасивна кућа. При томе Тромбов зид се поставља на јужној страни куће и на коси део спрата, такође јужни. ФН панел, као активни соларни систем, се поставља на хоризонталан јужни зид, у осталим случајевима, и на коси јужни део спрата. Извршити симулационо испитивање свих могућих варијанти уз помоћ програмског софтвера EnergyPlus-a.

Препоручена литература:

1. S. Zrnić, Ž. Čulum: Grejanje i klimatizacija sa primenom solarne energije.
2. Anonymous, ENERGYPLUS, Input Output Reference - The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output, University of Illinois & Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009.
3. Кошки, Ж; Зорић, Г. Акумулација Сунчеве енергије у Пасивним кућама. Е-gfos, Број 1, (2010)

Крагујевац, 2013.

ментор:

Проф. Др Милорад Бојић

Резиме: Тема овог рада је утицај ФН панела у комбинацији са Тромбовим зидовима на термичко понашање куће и потрошњу соларне енергије и енергије за загревање и хлађење. Истражене су могућности коришћења ових система на подручју Београда, где се налази испитивана пасивна кућа. Тромбов зид је постављен на јужној страни куће и на коси део спрата, такође јужни. ФН панел, као активни соларни систем, је постављен на хоризонталан јужни зид, у осталим случајевима, на коси јужни део спрата. Извршено је испитивање свих могућих варијанти. Уз помоћ програмског софтвера EnergyPlus-a, кућа је моделирана и извршена је симулација.

Кључне речи: Пасивна кућа, Тромбов зид, Грејање, Хлађење, Соларна енергија

Abstract: This paper presents the impact of PV panels in combination with Tromb walls to the thermal behavior of the home and to the consumption of solar energy and energy for heating and cooling. Possibility of using these systems in Belgrade is explored on the passive house. The Tromb wall is placed on the south side of the house and on the slope of the floor, also facing south. PV panel as active solar system, is placed on the south wall of the house, and in other cases on the slope on the south of the floor. Research was done for all possible variants. By using software EnergyPlus's, house was modeled and simulation was done.

Keywords: Passive House, Trombov wall, Heating, Cooling, Solar Energy

САДРЖАЈ:

1 УВОД	7
2 ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ	8
2.1 Обновљиви извори енергије	8
2.1.1 Дефиниција енергије	8
2.1.2 Подела енергије према извору добијања за људске потребе	8
2.1.3 Однос резерви, потенцијала и потрошње енергије у свету	10
2.2 Енергија Сунчевог зрачења	11
2.2.1 Глобални потенцијал сунчеве енергије	11
2.2.2 Сунчево зрачење у Србији (инсолација)	12
2.3 Пасивна кућа	14
2.3.1 Шта је то пасивна кућа	15
2.3.2 Дефиниција пасивне куће	16
2.3.3 Филозофија пасивне куће	16
2.3.4 Примери пасивних техника	17
2.4 Фотонапонски систем, ФН панели	19
2.4.1 Примери соларне технике	20
2.4.2 Дефиниција соларних панела	20
2.4.3 Подела пријемника соларне енергије	20
2.4.4 Подела соларног фотонапонског система према складиштењу енергије	22
2.4.5 Компоненте фотонапонског система	23
2.4.6 Генерација ФН ћелија	24
2.4.7 Технологија фотонапонских соларних уређаја	25
2.4.8 Анализа производње фотонапонског система на односу мерних података	26
2.4.9 Статистичка метода за анализу дијаграма производње фотонапонског система	27
2.4.10 Payback период(повраћај инвестиције)	29
2.5 Тромбов зид	32
2.5.1 Дефиниција Тромбовог зида	32
2.5.2 Простирање топлоте у пасивном систему Тромбовог зида	33
2.5.3 Историја	35
2.5.4 Варијанте Тромбовог зида	35
2.5.5 Степен искоришћења Тромбовог зида	39

3 СОФТВЕРИ КОРИШЋЕНИ ПРИ ПРОЈЕКТОВАЊУ И СИМУЛАЦИЈИ ОБЈЕКТА И ЊИХОВА ОСНОВНА ПОДЕШАВАЊА	40
3.1 Софтвери	40
3.1.1 Energy Plus	40
3.1.2 Google SketchUp са OpenStudio Плуг ин-ом	41
3.2 Унос основних фајлова у Energy Plus-у	41
3.3 Основна подешавања у IDF-Editor-у	44
4 МОДЕЛИРАЊЕ И СИМУЛАЦИЈА	48
4.1 Дефинисање геометрије и конструкције стамбене куће	48
4.1.1 Изглед стамбеног објекта	48
4.1.2 Распоред коришћења куће	52
4.1.3 Дефинисање ФН панела у Energy Plus-у	57
4.2 Конструкција Тромбовог зида у Energy Plus-у	59
4.2.1 Тромбов зид у Energy Plus-у	60
4.3 Симулација	62
5 ДИСКУСИЈА О ДОБИЈЕНИМ РЕЗУЛТАТИМА	64
5.1 Дискусија о потребној електричној енергији на објекту	64
5.1.1 Кућа без соларних система грејања и климатизације	64
5.1.2 Кућа са Тромбовим зидовима	65
5.1.3 Најбоље решење појединачних Тромбових зидова на објектима	67
5.1.4 Утицај распореда коришћења куће на грејање и хлађење	68
5.1.5 Утицај фотонапонских панела на Тромбов зид	70
5.2 Одређивање положаја и број потребних фотонапонских панела, као и примери произведене електричне енергије	71
5.3 Коришћени Off-grid соларни систем	74
5.3.1 Цена Offgrid система	76
5.3.2 Месечна уштеда	77
5.3.3 Payback период	77
5.3.4 Зарада на Offgrid систему	77
5.4 Коришћени Grid tie (умрежени) соларни систем	79
5.4.1 Цена Grid tie соларног система	81

5.4.2 Месечна уштеда, зарада на мрежном соларном систему.....	82
5.4.3 Payback период	82
6 ЗАКЉУЧАК	84
7 РЕФЕРЕНЦЕ	85

1 УВОД

Осигурање довољне количине јефтине енергије и заштита човекове околине су примарни захтеви за остварење одрживог развоја данашње цивилизације. Истраживања и усавршавања технологија за употребу обновљивих извора енергије користе се у многим подручјима људског деловања па тако и у грађевинарству. Изградња нових зграда и боравак људи у њима као темељна људска потреба на почетку 21. века, имају врло комплексне и важне захтеве који ће значајно утицати на општи развитак. Европска Унија у последње две деценије, предузима свеобухватне мере против нерационалне потрошње енергије и последичног загађења атмосфере отпадним гасовима (емисија CO_2). Становништво се мора у што краћем периоду упознати са предностима обновљививог извора енергије, што је неким делом идеја овог рада – подизање нивоа енергетске ефикасности [1].

Извршено је термичко понашање куће, потрошња електричне енергије настале коришћењем ФН ћелија као и енергије за загревање и хлађење. На почетку смо у софтверском програму Google SketchUp са додатком Open Studio plug in-ом моделирали пасивну кућу, а следећим кораком дефинисали материјале објекта, Тромбовог зида и ФН ћелија, као и осталих елемената панела. Експериментално смо одређивали материјал и дебљину Тромбовог зида, обзирајући се на потрошњу енергије за грејање и евентуалне губитке током зимских дана. Одређивали смо генерацију и „квдратуру“ ФН панела према добицима експлоатације тј. добицима електричне енергије и трошковима уградње. Комбиновало се могућности уградње ова два система на јужном зиду приземља и спрата. Када су панели постављани на спрату, није био у питању зид већ кров спрата. При извршеним почетним условима коришћених програма одрађена је симулација којом се добила температура свих просторија за време хлађења, грејања и добит електричне енергије ФН панела. Упоредили смо исти случај са: Тромбовим зидом на вертикалном и косом зиду, Тромбовим зидом на хоризонталном зиду и ФН панелима на косом зиду, Тромбовим зидом на косом зиду и ФН панелима на вертикалном зиду, и кућу без ових пасивних и активних елемената.

Током 20. века су многи светски и домаћи инжењери, и уопште људи стручни за ову област, проучавали реаговања и утицаје Тромбових зидова и ФН панела на разним експерименталним и случајевима из праксе. Први пут је у овом раду приказано испитивање овакве пасивне куће на подручју Београда, највише у циљу подизања свести и о значају и предностима енергетске ефикасности и коришћењу соларне електричне и топлотне енергије. Посебно треба нагласити економски аспект, али и утицај на очување природне средине. Програми овог типа могли би бити организовани и координисани на националном нивоу, али и од стране релевантних научних институција, као и од стране непрофитних и других организација.

2 ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ

2.1 Обновљиви извори енергије

2.1.1 Дефиниција енергије

Енергија је способност неког тела да врши рад. Не може се створити ни уништити већ само прелазити из једног облика у други облик.

Енергија се може појавити у више облика:

- потенцијалну енергију (последича положаја коју објекат има у одноду на друге објекте);
- кинетичку енергију (последича кретања тела);
- хемијска енергија (последича хемијских веза између атома супстанце објекта);
- електрична енергија (наелектрисање објекта);
- топлотна енергија (последича загрејаности тела);
- нуклеарна енергија (која постоји услед нестабилности атомских језгара објекта);
- електромагнетна енергија (енергија зрачења као нпр. светлост, радио таласи или др. појавни облик истог феномена) [2].

2.1.2 Подела енергије према извору добијања за људске потребе

Основна подела енергије је на:

- обновљиве изворе енергије,
 - необновљиве изворе енергије.
- **Обновљиви извори** енергије су енергетски ресурси који се користе за производњу разних видова енергије који су у датом тренутку потребни, односно сваки користан рад, а чије се резерве циклично или константно обнављају. Сам назив обновљиви, као и трајни, значи да се енергија троши у износу који не премашује брзину којом се ствара у природи. У обновљиве изворе енергије спадају енергије чији су ресурси коначни али је немогуће одредити датум њиховог колабирања, могу трајати милионима година. Под утицајем Кјото протокола и енергетске кризе 1974. године цивилизација ставља акценат на развитака овог вида енергије. У последње две деценије примећујемо појефтињење технологије за њено коришћење у цивилне сврхе. Мана обновљивих извора енергије је што добијамо много мање енергије у јединици времена у односу на необновљиве изворе.

Обновљива енергија се може поделити у више облика:

- биомаса и биоплин (која је настала процесом фотосинтезе),
- енергија ветра (еолска енергија),
- отпад,
- енергија водних снага,
- енергија мора (енергија хидросфере),
- енергија сунчевог зрачења.

Најчешће обновљиви извори енергије имају велики укупни енергетски потенцијал, али:

- са малим могућностима ефективног искориштења,
- ниска енергетска концентрација,
- несталност у времену,
- већина обновљивих извора енергије није прикладна за директну потрошњу (са изузетком нпр. дрва), а такођер су ријетки случајеви да се може ускладиштити,
- већина обновљивих извора енергије тренутно није економски конкурентна класичним необновљивим изворима (велики инвестицијски трошкови и релативно а мали степен корисности).

Ова мана се донекле може ублажити разним порезним олакшицама и потицајима којима се стимулира развој и кориштење обновљивих извора енергије. Енергија Сунца је у блиској вези са свим осталим облицима енергије, обновљивим и необновљивим, јер се топлота и зрачење акумулира у њима.

Основне предности обновљивих извора енергије су:

- обновљивост у смислу могућности дугорочног развоја и кориштења,
- ниски (никакви) варијабилни трошкови,
- никакав еколошко штетан утицај по околину,
- доступност на скоро свакој територији што доводи до здраве конкуренције и мира у региону,
- отварање нових радних места,
- стабилност и развој државе (Србија има потенцијал за развој соларне енергије јер је вредност глобалног зрачења 1400 kWh/m^2 што је за око 400 kWh/m^2 више од зрачења светски најразвијенијих земаља у погледу соларне енергије).

Мане обновљивих извора енергије су:

- недовољно инфраструктуре у погону (што је и највећи трошак ове енергије - инсталација),
 - тренутно је скупља од необновљиве енергије,
Развијене државе дају одређене уступке лицима која на своју иницијативу покрећу неки вид система за искоришћење овог типа енергије.
 - мања енергетска ефикасност по јединици времена,
 - мањи степен искоришћења.
- **Необновљиви извори** енергије, као што само име каже, су енергенти који ће у току утрошка уз одређени временски период нестати. И они се такође обнављају, али време које је потребно за настанак тог вида енергије није у сагласности са брзином потрошње и потребе цивилизације. Само од фосилних горива се добија 80% укупне енергије. Једна од вечих мана фосилних горива, гледано са еколошког аспекта, је што испушта у атмосферу велике количине угљендиоксида (CO_2). Са друге стране коришћењем нуклеарног енергије ствара се радиоактивни отпад који се мора складиштити више стотина година, иначе би изазвао много већу штету него емисија угљендиоксида. Одокативним рачуном аналитичари су доказали да ћемо већ у 22.веку остату без иједног вида необновљиве енергије[2].

2.1.3 Однос резерви, потенцијала и потрошње енергије у свету

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. Око 37% светске енергетске потражње задовољава се производњом електричне енергије (приближно око 16.000 TWh у 2001. години). Енергија сунчеве радијације довољна је да произведе просечно 1,700 kWh електричне енергије годишње на сваком квадратном метру тла[12].

Енергија Сунца која за једну годину стигне на површину целе земљине кугле износи 190000000 TWh.

Светске резерве угља су 130000 TWh,

Светске резерве гаса су 7172,4 TWh,

Светске резерве нафте су 8068,96 TWh,

Светски потенцијал уранијума је 7620,68 TWh.

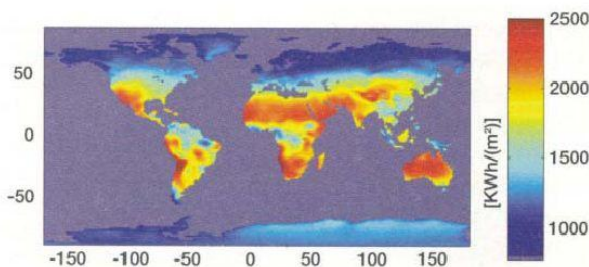
Годишња бруто потрошња енергије у свету је 255,51 TWh.

2.2 Енергија сунчевог зрачења

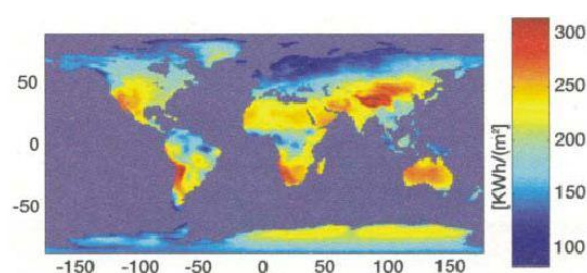
Просечно сунчево зрачење у Србији је за око 40% веће од европског просека, али и поред тога коришћење сунчеве енергије за производњу електричне енергије далеко заостаје за земљама Европске уније.

2.2.1 Глобални потенцијал сунчеве енергије

Енергија зрачења Сунца која долази до земљине површине, дакле потенцијално искористиво зрачења Сунца, износи око 1.9×10^8 TWh годишње. Та је енергија око 170 пута већа од енергије укупних резерви угља у свету и када се упореди са енергетским потребама човечанства, које износе 1.3×10^5 TWh годишње, долази се до тога да је сунчева енергија која стиже на површину Земље у току само 6 часова довољна да задовољи светске потребе и току једне године. Да би се добио бољи увид у ове величине просечно домаћинство у неким од најразвијенијих земаља света троши годишње око 10000 kWh електричне енергије и било би потребно око 100000 година да се потроши 1 TWh.[3] 37% светске енергетске потражње задовољава се производњом електричне енергије, што је више од трећине укупне потражње. Улагање у соларну енергију тешко да може бити пословни ризик, ако занемаримо конкуренцију. Наравно, није сунчева радијација на свим деловима планете иста, што је радијација већа на некој локацији, већа је и генерисана енергија. Тропски региони су у овом погледу повољнији од осталих региона са умеренијом климом (слика 1). Средња озраченост у Европи износи око $1,000 \text{ kWh/m}^2$ док на Блиском истоку она износи $1,800 \text{ kWh}$. [3]



Slika 1a. Globalne varijacije ozračenosti



Slika 1b. Energetski potencijal iz FN uređaja

Слика 1. На слици (1a) приказана је глобална различитост у озрачености сунчевом енергијом на свим континентима, а на слици (1б) потенцијална енергетска слика света на основу прорачуна енергије добијене из ФН уређаја уз претпоставку средњих статистичких података о сунчевом зрачењу и идеалних услова инсталације ових уређаја[4]

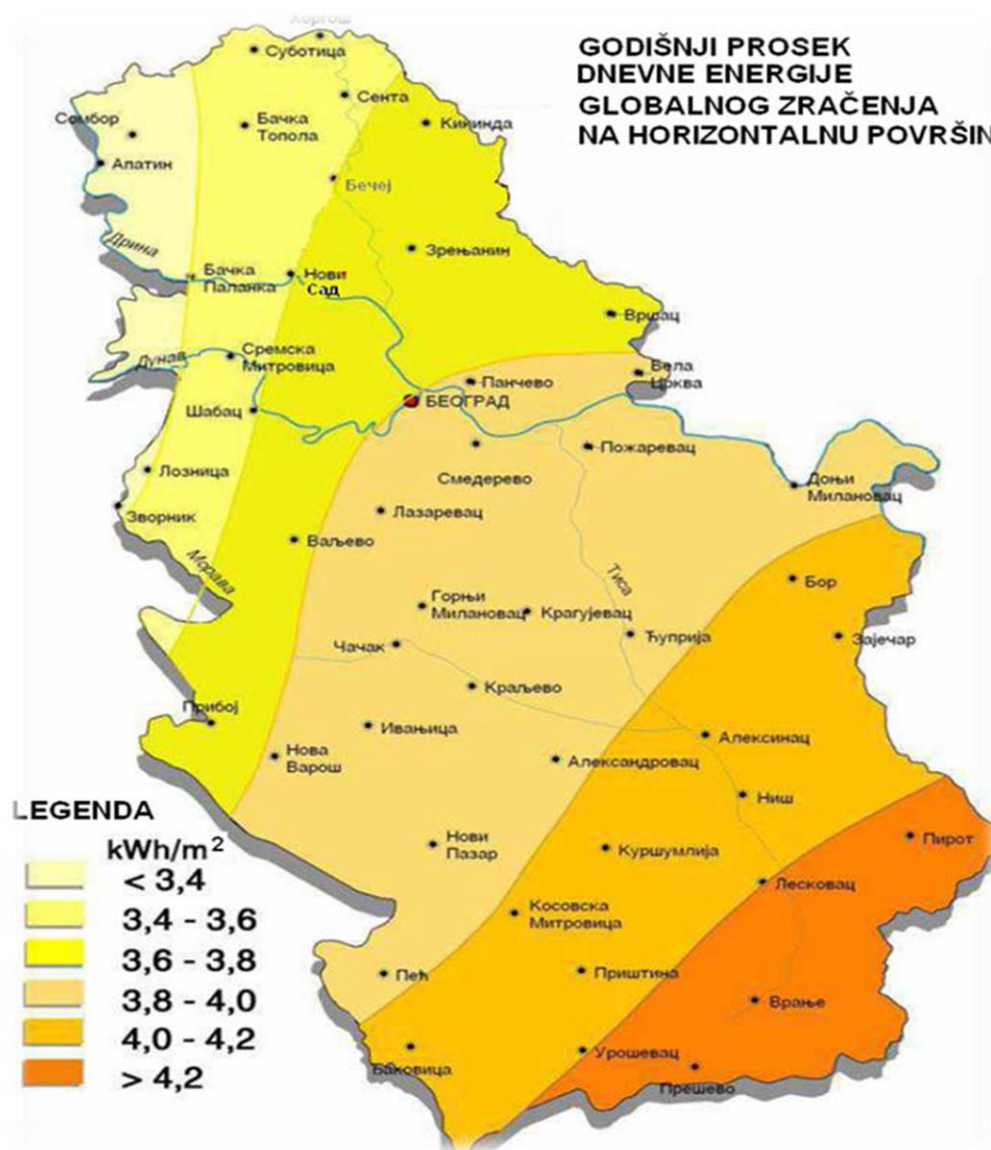
2.2.2 Сунчево зрачење у Србији (инсолација)

Енергетски потенцијал сунчевог зрачења је за око 30% виши у Србији него у Средњој Европи и интензитет сунчеве радијације је међу највећима у Европи. Просечна дневна енергија глобалног зрачења за равну површину у току зимског периода креће се између 1,1 kWh/m² на северу и 1,7 kWh/m² на југу, а у току летњег периода између 5,4 kWh/m² на северу и 6.9 kWh/m² на југу. Годишњи однос стварне и укупне озрачености у Србији је приближно 50%.[4]

Место	Месец												Укупно годишње	Средње годишње
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Београд	1.4	2.2	3.35	4.85	6	6.45	6.75	6	4.65	3.05	1.6	1.15	1446.8	3.96
Зрењанин	1.3	2.15	3.45	4.9	6.05	6.35	6.55	5.9	4.45	2.95	1.45	1.05	1419.45	3.89
Киkinda	1	2	3.55	5.1	6.4	6.55	6.85	5.95	4.45	3	1.5	1.05	1456.5	3.99
Вршац	1	2	3.35	4.4	6	6.4	6.55	6.85	4.6	3	1.55	1.05	1424.75	3.9
Долово	1.3	2.05	3.4	4.8	5.85	6.2	6.55	6	4.55	3	1.55	1.05	1412.05	3.87
Сомбор	1.35	2.15	3.35	4.85	5.95	6.3	6.15	5.65	4.2	2.8	1.35	1.4	1387.35	3.8
Палић	1.3	2.1	3.45	5	6.15	6.25	6.35	5.85	4.3	2.85	1.4	1.15	1407.4	3.8
Врбас	1.45	2.35	3.45	4.8	5.9	6.15	6.4	5.7	4.35	2.95	1.45	1.2	1406.85	3.85
Нови Сад	1.45	2.35	3.2	4.65	5.8	6.2	6.35	5.75	4.4	2.9	1.45	1.2	1392.64	3.82
Ђуприја	1.55	2.35	3.5	5	6.1	6.15	6.65	6.1	5.15	3.4	1.8	1.3	1495.4	4.1
Крушевац	1.65	2.55	3.5	4.9	5.95	6.05	6.45	5.9	5.1	3.3	1.8	1.35	1519.85	4.1
Ниш	1.75	2.6	3.45	5	6.1	6.35	6.7	6.15	5.35	3.45	1.85	1.5	1531.4	4.2
Куршумлија	2.15	3	3.6	5.05	5.85	6.05	6.55	6.1	5.3	3.5	2	1.75	1550.5	4.25
Пећ	1.85	2.95	3.7	4.85	5.95	6.15	6.75	6.15	4.9	3.65	2.25	1.6	1546.25	4.24
Приштина	1.85	2.9	3.7	5.25	6.3	6.6	6.95	6.3	5.1	3.35	1.9	1.6	1578.25	4.32
Врање	1.7	2.7	3.65	5.15	6.15	6.4	6.5	6.35	5.25	3.45	1.85	1.5	1543.4	4.23
К.Паланка	1.85	2.8	3.8	5.2	6.2	6.45	6.9	6.3	5.1	3.4	2	1.65	1567.8	4.3
Призрен	1.5	2.45	3.5	4.8	5.9	6.65	7.2	6.55	4.85	3.15	1.7	1.35	1512.25	4.14
Лозница	1.5	2.3	3.05	4.35	5.3	5.75	6.15	5.6	4.3	2.8	1.45	1.2	1333.5	3.65
Иван Седло	1.45	2.25	3.05	4.3	5.06	5.85	6.3	5.65	4.35	2.75	1.5	1.2	1332.26	3.65
Краљево	1.6	2.5	3.35	4.95	5.9	6.2	6.6	6.05	4.65	3.05	1.65	1.35	1458.4	4
Крагујевац	1.5	2.4	3.35	4.8	5.85	6.1	6.45	5.9	4.85	3.3	1.7	1.3	1447.85	3.97
Смедеревска Паланка	1.45	2.3	3.35	4.95	6	6.3	6.55	5.95	4.85	3.2	1.7	1.2	1418.8	3.89
Смедерево	1.45	2.05	3.4	4.8	5.7	6.3	6.5	5.95	4.75	3.15	1.65	1.1	1432.75	3.93
Неготин	1.35	2.05	3.25	4.85	6.05	6.6	6.95	6.25	4.75	2.9	1.45	1.2	1453.1	3.82
Црни врх	1.4	2.15	3.15	4.65	5.7	6.05	6.5	5.85	4.85	3.1	1.6	1.15	1393.1	3.82
Зајечар	1.5	2.25	3.25	4.8	6.05	6.45	6.95	6.3	4.95	2.95	1.5	1.3	1498.05	4.02
Ваљево	1.45	2.25	3.1	4.4	5.35	5.95	6.35	5.75	4.45	2.95	1.5	1.2	1362.6	3.73
Ужичка Пожега	1.35	2.15	2.15	4.4	5.2	5.4	5.7	5.1	4	2.25	1.45	1.1	1266.35	3.47
Златибор	1.5	2.3	3.1	4.35	5.1	5.65	5.9	5.35	4.3	2.75	1.6	1.3	1316.4	3.61

Табела 1. Средње дневне суме енергије глобалног сунчевог зрачења на хоризонталну површину у kWh/m², за нека места у Србији[4]

Дакле, доказано је да Србија располаже надпросечном количином енергије сунчевог зрачења и повољан распоред сунчаних дана и сати у години па је у скоријем периоду потребно осмислити њено дугорочно кориштење, као и због усклађивања са европским стандардима, плановима и мерама у вези обновљивих извора енергије.



Слика 2. Годишњи просек дневне енергије зрачења на хоризонталну површину у Србији

2.3 Пасивна кућа

2.3.1 Шта је то Пасивна кућа?

Термин „Пасивна кућа“ се везује за грађевинске стандарде. Овај стандард се може постићи коришћењем различитих технологија, пројектантских метода и материјала. То је довитљивост ниско-енергетске куће. Пасивна кућа је зграда, у којој комфортна унутрашња клима може бити подешена без коришћења активних система загревања и хлађења[2].

Кућа, која се загрева и хлади сама се зове „пасивна“. За пасивне зграде у Европи, предуслов за ово својство је да годишње потребе у енергији за грејање буду мање од 15 kWh/(m²a). Оно не треба да буде достигнуто повећањем потрошње неке друге врсте енергије (нпр. електрична енергија). Осим тога, потрошња укупне примарне енергије за све потребе стамбеног простора пасивне куће у Европи не би смела да премашу 120 kWh/(m²a) за грејање, топлу воду и електричну енергију за домаћинство[2]. У случају да смо у склопу куће инсталирали ФН панеле за производњу електричне енергије, имамо „нулту кућу“-кућа која не троши енергију из система, или у још бољем случају, кућу која предаје електричну енергију мрежи. Све то зависи од броја сунчаних дана у току године.

Основне карактеристике, којима се одликује конструкција пасивне куће:	
Компактна форма побољшања изолација зграде:	Све компоненте спољашње опне кућа побољшано су изоловане да би достигле вредност U (коефицијент пролаза топлоте), који не прелази $0.15 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
Јужна оријентација и услови осенчености:	Пасивни захват соларне енергије зими и заштита од прегревања лети, значајни су фактори у пројектовању пасивних кућа.
Енергетски-ефикасно прозорско застакљење и рамови:	Прозори (стакло и рамови, заједно) треба да имају вредност коефицијента U који не прелази $0.80 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ са коефицијентима захвата сунчеве енергије око 50%.
Ваздушна непропусност спољне опне зграде:	Проток ваздуха кроз спојеве који не заптивају мора бити мањи од 0.6 запремина куће на сат.
Пасивно предгревање свежег ваздуха:	Свеж ваздух може бити до куће доведен кроз подземне цевоводе, који размењују топлоту са земљом. Ово предгрева свеж ваздух до температуре изнад 5°C (41°F), чак и зими.
Високо ефикасна топлотна рекуперација помоћу искоришћеног ваздуха коришћењем измењивача топлоте ваздух/ваздух:	Највећи део топлоте у старом ваздуху преноси се на свеж ваздух (вредност измене топлоте је преко 80%).
Обезбеђење топле воде коришћењем обновљивих извора енергије:	Соларни колектори или топлотне пумпе обезбеђују енергију за загревање воде.
Апарати, који штеде енергију у домаћинству:	Кућни апарати који мало троше - енергетски ефикасни (класа AA) фрижидери, пећи, замрзивачи, лампе, веш-машине, сушилице, неходни у пасивној кући.

Табела 2. Основне карактеристике пасивне куће[5]

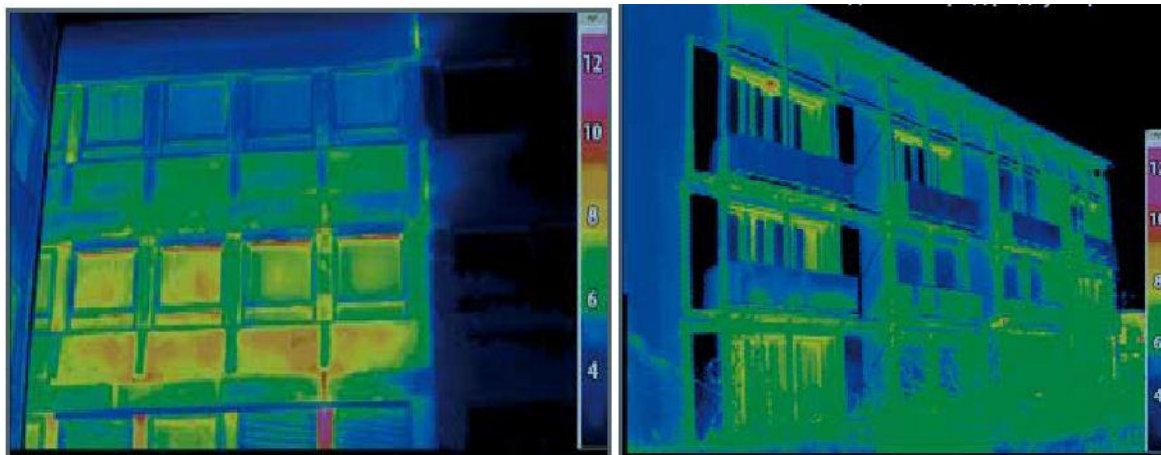
То значи да је укупна потрошња енергије пасивне куће нижа него просечне потребе новосаграђене куће у Европи за електричном енергијом и топлим водом. Штавише, укупна енергија коју потроши пасивна кућа мања је од четвртине енергије коју потроши просечна нова зграда изграђена у складу данас важећим енергетским прописима држава Европе.

2.3.2 Дефиниција пасивне куће

„Пасивна кућа“ не представља енергетски стандард већ концепт да се постигне највиши термички комфор уз најмање трошкове. Стога је исправна дефиниција:

„Пасивна кућа је зграда у којој термички комфор може бити постигнут искључиво накнадним грејањем или хлађењем свежег ваздуха који је потребно обезбедити ради постизања довољног квалитета унутрашњег ваздуха – искључујући рецикулацију искоришћеног ваздуха.“[5].

Ово је чисто функционална дефиниција. Нису потребне нумеричке вредности и такође не зависи од климе. Из ове дефиниције је јасно да Пасивна кућа није обавезујући стандард који је неко наметнуо, већ основни концепт. Пасивна кућа су откривена из услова за примену „пасивног“ принципа, а не измишљен и строго дефинисан објект. Термички комфор се обезбеђује се пасивним мерама колико год је то могуће – изолација, измена топлоте, пасивно коришћење соларне енергије и ослобођене топлоте унутар куће.



Слика 3. а)Стара зграда (губици топлоте) б)“Пасивна“ зграда (губици топлоте)[6]

2.3.3 Филозофија пасивне куће

Принцип 1: Оптимизација основног

Оно што чини овај приступ ефикасној потрошњи тако економичним је чињеница да се он ослања на оптимизацију оних делова зграде који су у сваком случају неопходни:

- омотач зграде,
- прозори,
- аутоматски вентилациони (користан из хигијенских разлога).

Унапређивање ефикасности ових компонената постигнуто је до нивоа на коме су трошкови њихове примене и уградње у потпуности покривени оствареним уштедама.

Принцип 2: Смањење губитака пре повећања добитака

Пасивна кућа спречава топлотне губитке колико год је то могуће (инсистирањем на смањењу губитака). И прорачунима на теоретским математичким моделима, и искуство сакупљено на бројним изведеним пројектима показали су да је ова стратегија значајно ефикаснија од стратегија које се ослањају на пасивном или активном коришћењу соларне енергије.



Слика 4. Редослед потеза како би се новац искористио на прави начин[5]

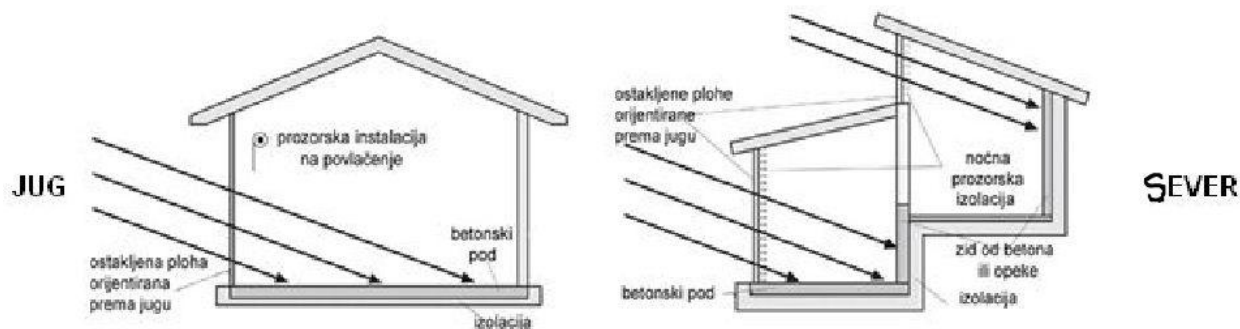
2.3.4 Примери пасивних техника

Разликујемо три основна начина потхрањивања топлоте из сунчевог зрачења:

- **Директан захват Сунчевог зрачења** као принцип изведбе стаклених површина на јужној страни куће, како би пропустиле што већу количину Сунчевог зрачења,
- **Тромбов зид** је конструкција тамно обојеног зида са стакленом плохом на јужној страни,
- **Стакленик** на јужној страни куће.

○ Директан захват Сунчевог зрачења

Директан захват Сунчевог зрачења је најједноставнији облик пасивне технике грејања простора. Сунчева светлост директно улази кроз прозоре на јужној страни куће, изравно загрева простор, па чак и за време облачних дана. Тако се топлота акумулира (похрани) у конструкцији и елементима зграде, а током ноћи враћа се околина. Прозори су постављени на начин да упијају зрачење ниског зимског Сунца. Прозори тако изложени Сунцу користе 60–75% сунчеве енергије (слика 6)[1].



Слика 5. Директан захват Сунчевог зрачења[1]

Конструкција куће у којој се акумулира топлота мора бити изолована споља, јер иначе убрзано губи топлоту. Топлоту губи и када је директно повезана са земљом или је у контакту са ваздухом који је на нижој температури. Под не би требало прекривати теписима, а треба водити рачуна и о размештању намештаја како би Сунце грејало под, а не тепих и намештај. Треба користити прозоре са вишеструким стаклом, а корисно је и прозоре прекрити великим дебелим завесама како би спречили губитак топлоте преко ноћи.

Када зидови имају способност акумулације топлоте, тада ће након прекида гријања у просторији бити још дуго топло, зидови ће враћати топлоту, односно биће спречено нагло хлађење просторије. Када Сунце залази, потребно је прекрити кровне прозоре дрвеним изолационим ролетама, а изолационе завесе се спуштају преко прозора који гледају на југ. Ти покретни уређаји контролишу губитак топлоте. Топлотна акумулација спољних конструкција лети је неповољна јер узрокује повећање ионако високих температура ваздуха у просторијама. Како би се спречило загревање куће лети, прозори се прекривају изолационим ролетама током дана, а завесе на прозорима одбијају директно Сунчево зрачење. Током летних ноћи, ролетне на кровним прозорима су отворене, а завесе подигнуте. То омогућава да топлота излази ван.

Предности директног захвата Сунчевог зрачења:

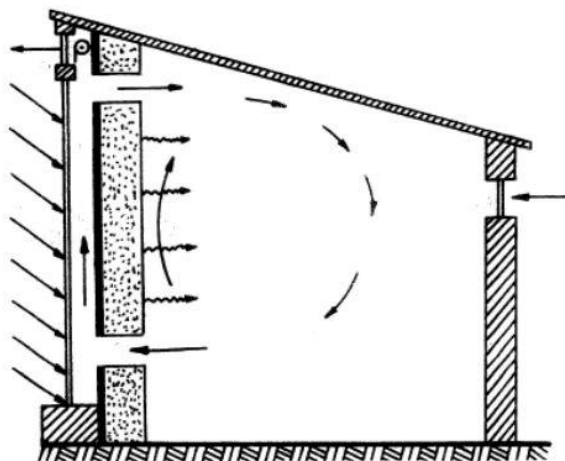
- једноставан састав,
- вишеструки оквири прозора су јефтин облик соларних колектора,
- целокупни трошак може се успоредити с обичном градњом,
- вишеструки оквири прозора не осигуравају само акомулирање топлоте, него су и извор дневне светлости и визуална веза са спољним светом.

Недостаци директног захвата Сунчевог зрачења:

- ултраљубичасто зрачење узрокује штете на тканинама и уметничким делима,
- мањак приватности,
- губитак топлоте кроз под који је у додиру с тлом.

○ Тромбов зид

Једна од главних тачака овог рада је оптимизација Тромбовог зида на Пасивној кући, утицај Тромбовог зида на термичко понашање куће и потрошњу енергије за загревање и хлађење. Истаживање и моделирање је у посебном софтверском пакету, о коме ће се водити реч нешто касније. У овом поглављу ће се само поменути Тромбов зид.



Слика 6. Принцип рада Тромбовог зида[6]

2.4 Фотонапонски систем, ФН панели

2.4.1 Примена соларне енергије

Примена соларне енергије може се остварити на два начина: претварањем сунчеве енергије у топлотну и претварањем сунчевог зрачења у електричну енергију.[3] У последњих десетак година фотонапонска конверзија сунчеве енергије је постала примарна грана индустрије соларних уређаја услед великог броја технолошких предности у односу на претварање у топлоту и услед брзог развоја релевантних технологија и њихових пројектованих могућности. Тржиште доказује да се производња фотонапонских уређаја дуплира сваке две године уз просечан годишњи пораст од 48% од 2002. године.

Ова грана привреде показује најбржи раст у погледу на остале гране енергетске технологије.

2.4.2 Дефиниција соларног панела

Соларни панел је електрични генератор, састављен од соларних модула и тек он може да обезбеди потребну енергију за напајање уређаја снаге изнад 10 W. Његова конструкција је доста једноставна, а зависи од броја модула и њихове величине. Носећи рам треба да омогући механичку отпорност на непогоде. Он такође треба да обезбеди лако монтирање и демонтирање модула. Ако су ови услови испуњени, следећи најважнији услов је да панели буду орјентисани према Сунцу. Треба предвидети могућност промене орјентације у току године слично као код концентратора[6].

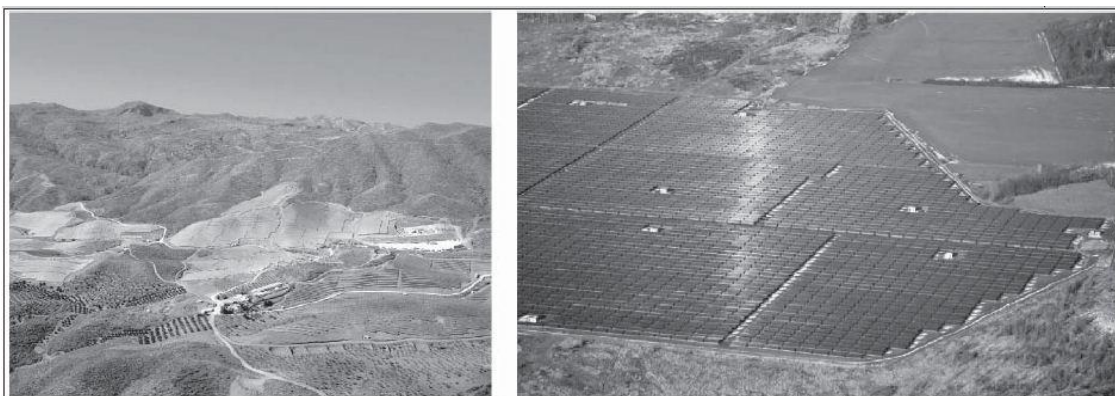
2.4.3 Подела пријемника соларне енергије

По начину уградње соларни ФН системи могу бити:

- самостални, издвојени из објекта,
- као део соларне архитектуре, интегрисани у објекат,
- као системи за уградњу у објекат.

○ Самостални, издвојени из објекта

Налазе се произвољно далеко од објекта и обично се користе за напајање сигнализације, телекомуникационе опреме, или су то комплетне соларне електране.



Слика 7. Фотонапонске соларне електране у свету. (a) Lucainena de las Torres, Анадалусија, Шпанија, 23.2 MWp; (b) Solarpark Waldpolenz, Brandis, највећа ФН-електрана у Немачкој, 40 MWp;[7]

- **Као део соларне архитектуре, интегрисани у објекат**

Соларна архитектура је термин новијег датума и подразумева осмишљени архитектонски изглед зграде уз интегрисане фотонапонске ћелије, као део њене фасаде. То је естетски обликована и пре свега корисна фасада.



Слика 8. Соларна архитектура [4]

- **Системи за уградњу у објекат**

Овакав систем се применио у испитиваној пасивној кући. Постављен је са јужне косе стране спрата, а у другом случају, на јужном вертикалном зиду приземља. Системи за уградњу се могу поставити на жељено место на објекту, накнадно после изградње објекта. Касније ће бити нешто опширније о овом систему.

2.4.4 Подела соларног фотонапонског система према складиштењу енергије

Деле се на:

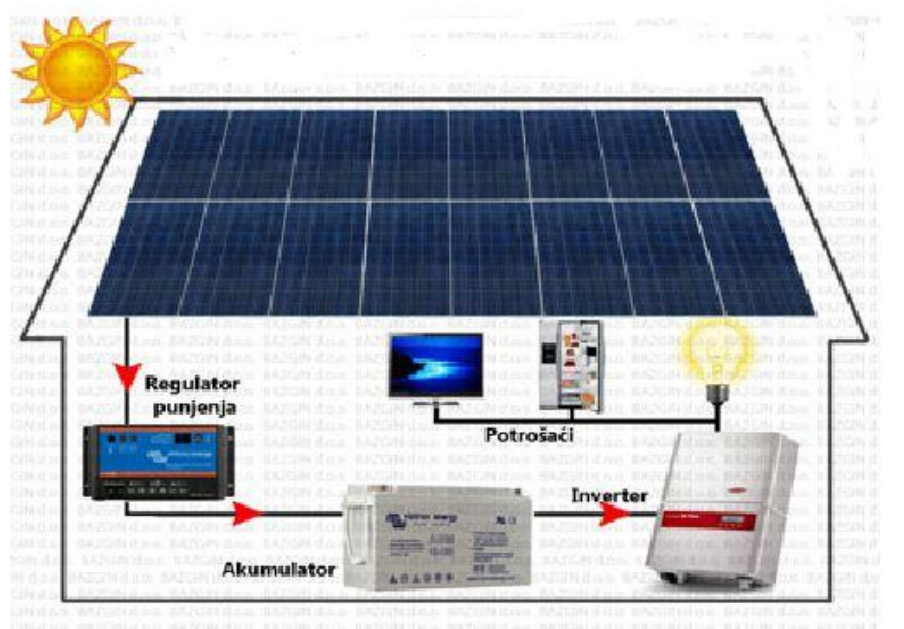
- директне самосталне системе, без акомулирања електричне енергије,
- батеријске самосталне системе,
- умрежене системе, повезане и синхронизиване са јавним системом за производњу и дистрибуцију електричне енергије[4].

○ Директни самостални системи

Самостални су, не акомулирају произведену енергију већ одмах троше оно што је произведено. Типичан пример су издвојене пумпне станице.

○ Батеријски самостални системи

Ови системи вишак произведене енергије складиште у акумулаторе а касније по потреби троше.



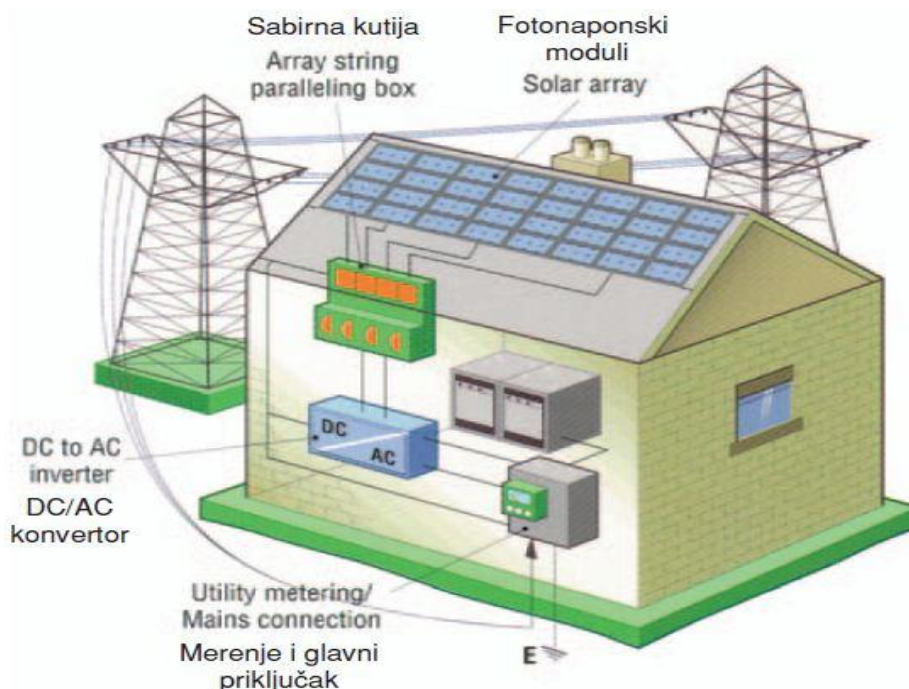
Слика 9. Autonomni system[8]

○ Умрежени ФН системи

Инсталирање умрежених система се највише подстиће, повезани су и потпуно синхронизовани са јавним дистрибутивним системом електричне енергије. Када се у ФН систему јави вишак, објекат ради као електрана шаљући електричну енергију у систем.

Електрично бројило иде уназад. У случају мањка енергије у објекту, он се понаша као потрошач и повлачи енергију из система.

Цена једног kWh јавне електричне мреже и соларног система није иста, енергија из система је јефтинија. Аналитичари тврде да ће у скорој будућности бити $1 \text{ kWh}_{\text{FNS}} = 1 \text{ kWh}_{\text{el.m}}$, што је и разлог више за инсталирање система[4].



Слика 10. Умережени ФН систем [4]

2.4.5 Компоненте ФН система

Стандардне компоненте фотонапонских система су ФН модули, контролери и регулатори пуњења батерија, акумулатори или батерије, каблови и монтажни системи, као и претварачи једносмерне у наизменичну струју – инвертори (аутономни и мрежни). Једносмерна струја произведена у соларној ћелији или модулу се путем кабла одводи до контролера. Основна функција контролера је да спречи прекомерно пуњење акумулатора, али има и неке друге улоге у зависности од специфичних примена. Уколико акумулатор није потпуно напуњен, струја може слободно да иде ка акумулатору, где се енергија складишти за каснију употребу. Уколико систем треба да покреће уређаје који раде на наизменичну струју, део ФН система ће бити и инвертори који претварају једносмерну у наизменичну струју. Уколико је ФН систем везан на електродистрибутивну мрежу, користе се такозвани специјални мрежни инвертори који омогућавају синхронизацију ФН система са мрежом и враћање електричне енергије назад у мрежу. Том приликом мрежа

представља медијум за складиштење електричне енергије уместо акумулатора. То представља најраспрострањенију примену ФН система у развијеним земљама данас[4].



Слика 11.Регулатор пуњења[8]



Слика 12 .Инвертор[8]

2.4.6 Генерације ФН ћелија

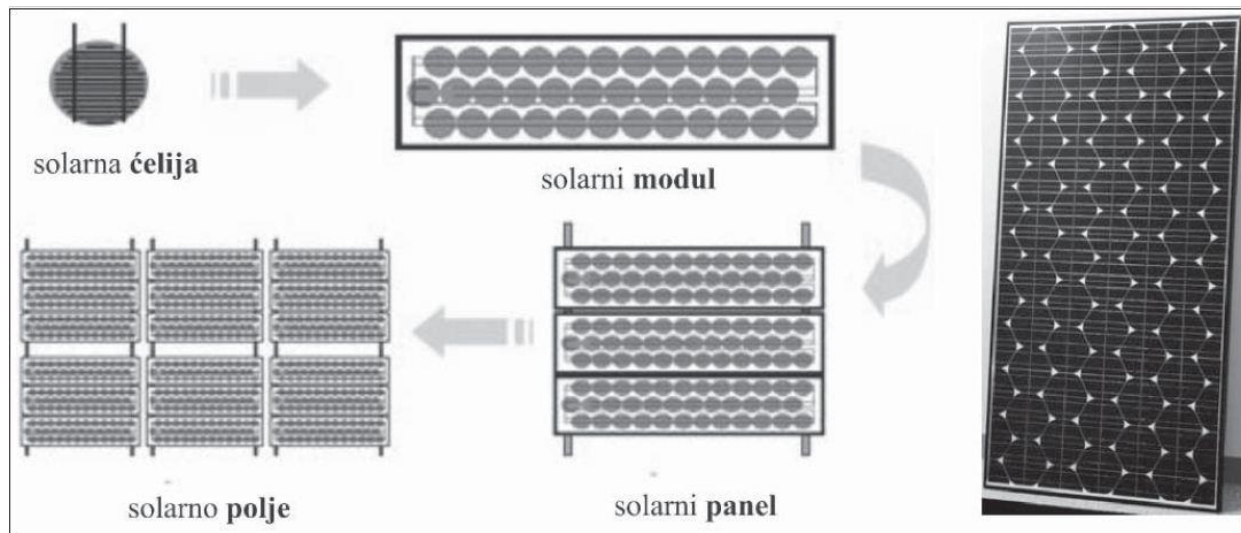
На светском тржишту постоји више него довољно фирми које се боре за просперитет, вођство и стабилно тржиште. То је утицало брзину развијања технологије фотонапонских ћелија.

За сада имамо четири генерације ФН ћелија:

- Силицијумске ћелије од монокристалног или поликристалног силицијума,
- тругу генерацију представљају полупроводници у танком филму на одређеној подлози. У највећем броју случајева ово је аморфни силицијум али постоје и многе друге комбинације.
- трећа генерација ради на другачијем принципу фото-електро-хемијског ефекта, који користи полимере, органске ФН ћелије и нанокристале,
- комбинација полимера и наночестица у структурама које могу апсорбовати и трансформисати различите делове електромагнетног зрачења.

2.4.7 Технологија фотонапонских соларних уређаја

Фотонапонски системи се састоје од модула, а они су израђени од соларних ћелија. (слика 11).



Слика 13. Фотонапонски (соларни) уређаји. Лево: Соларне ћелије, модули, панели и поља. Десно: Соларни HIT modul корпорације

Sanyo, nominalne snage 220-230 W; dimenzije modula: 861 x 1610 x 35 mm, težina modula: 16.5 kg; efi kasnost konverzije ćelije: 19.2%, modula: 16.6% [7]

ФН системи су модуларни тако да се њихова снага може пројектовати за практично било коју примену. Штавише, додатни делови којима се повећава излазна снага лако се прилагођавају постојећим фотонапонским системима, што није случај са конвенционалним изворима електричне енергије као што су термоелектране и нуклеарне електране чија економска исплативост и изводљивост захтева мултимегаватне инсталације. ФН модули садрже одређен број редно или паралелно повезаних ФН ћелија како би се добили жељени напон, односно струја. Соларне ћелије су ламиниране између два заштитна слоја. С једне стране је специјално каљено стакло са ниским садржајем гвожђа, а са друге заштитни пластични материјал или још један слој стакла. У типичном соларном модулу соларне ћелије су интегрисане и ламиниране помоћу ламинирајуће пластике. Тако ламиниран ФН модул је заштићен од нежељених утицаја средине, а у циљу продужења радног века. Типични гарантни рок произвођача на ФН модуле је 25 година. ФН панели садрже један или више модула који се могу користити појединачно или у групама у циљу формирања модуларних система, заједно са потпорним структурама и другим неопходним компонентама. Системи се могу фиксирати у одређеном положају према Сунцу, или се механичким путем могу континуално прилагођавати правцу сунчевих зрака (покретни пратећи системи) [4].

2.4.8 Анализа производње фотонапонског система на односу мерних података

Снага коју ФН панел предаје мрежи P_{AC} мања је од излазне снаге модула DC при стандардним условима $P_{DC(STC)}$ због губитака тј. ефикасности конверзије:

$$P_{AC} = P_{DC(STC)} \cdot \eta_z \cdot \eta_N \cdot \eta_T \cdot \eta_{inv}$$

η_z , η_N и η_T означавају смањење ефикасности панела услед запрљања, неупарености и повећања температуре модула у односу на стандардну вредност 25°C , а η_{inv} дефинише ефикасност инвертора.

NOCT је температура модула при амбијенталној температури 20°C , соларној ирадијацији 800 W/m^2 брзини ветра 1 m/s . На основу NOCT процењује се температура ћелије (модула или панела)[9]:

$$P_{PV} = T_{amb} + \left(\frac{NOCT - 20}{0,8} \right) \cdot I_{PV}$$

где су: T_{PV} температура соларних модула, T_{amb} температура амбијента, I_{PV} соларна ирадијација на површини модула.

Снага на DC прикључцима система услед повећања температуре соларне ћелије изнад стандардне вредности, која је довела до пада ефикасности фотонапонских ћелија се одређује обрасцем[9]:

$$P_{DC(PTC)} = P_{DC(STC)} \cdot (1 - 0,005 \cdot (T_{cell} - T_{amb}))$$

Енергија на AC прикључцима ФН система при стандардној ирадијацији од “једног сунца” се рачуна тако што се израчуната ирадијација помножи са бројем сати зенитног сунца и на тај начин се добија укупна очекивана енергија производње:

$$W [\text{kW/dan}] = I_{av} [\text{kWh/dan}] \cdot A [\text{m}^2] \cdot \eta_{av}$$

W је енергија коју систем произведе у току једног дана, I_{av} средња дневна инсолација на панел, A површина ФН панела, η_{av} просечна ефикасност система у току дана. Ефикасност система η_{av} , поред смањења ефикасности панела услед запрљања, неупарености и повећања температуре модула, укључује ефикасност инвертора η_{inv} и ефикасност самих модула η_m [9].

При ирадијацији од “једног сунца”, AC снага ФН система је[9]:

$$P_{ac} [\text{kW}] = 1 [\text{kW/m}^2] \cdot A [\text{m}^2] \cdot \eta_{1-sunce}$$

где је $\eta_{1-\text{sunce}}$ ефикасност система при ирадијацији од “једног сунца“. Комбинујући претходне две једначине добија се[9]:

$$W[\text{kWh/dan}] = P_{AC} [\text{kW}] \cdot \frac{I \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} / \text{dan} \right]}{1[\text{kW/m}^2]} \cdot \frac{\eta_{av}}{\eta_{1-\text{sunce}}}$$

Ако се претпостави да је просечна ефикасност система по дану једнака ефикасности када је ирадијација “једно сунце“, тада је електрична енергија која се предаје дистрибутивном систему:

$$W[\text{kWh/dan}] = I_{av} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} / \text{dan} \right] \cdot h_z [\text{broj sati "zenita sunca"}]$$

Фактор капацитета се обично дефинише на годишњем нивоу, али се може дефинисати и на дневном, недељном и месечном нивоу. Следећа једначина даје везу између дневне произведене електричне енергије и фактора капацитета на дневном нивоу (CF – Capacity Factor)[9]:

$$W[\text{kWh/dan}] = P_{AC} [\text{kW}] \cdot CF \cdot 24[\text{h}]$$

Комбиновањем претходних једначина може се једноставно дефинисати фактор капацитета за мрежно повезане ФН системе:

$$CF = \frac{h_z [\text{broj sati "zenita sunca"}]}{24[\text{h}]}$$

2.4.9 Статистичка метода за алализу дијаграма производње фотонапонског система

Дневни дијаграми снага производње фотонапонског система се могу добити на основу измерених вредности ирадијације на фотонапонски панел I_{PV} , површине панела A и укупне ефикасности фотонапонског система η :

$$P_{AC} [\text{kW}] = I_{PV} [\text{kW/m}^2] \cdot A[\text{m}^2] \cdot \eta$$

Уважавајући смањење ефикасности η_z , η_N и η_T услед задрљања, неупарености и загревања модула, као и ефикасност инвертора η_{inv} и ефикасност самих модула η_m , ефикасност фотонапонског система η може да се изрази као[9]:

$$\eta = \eta_z \cdot \eta_N \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_m$$

Карактеристичне величине су максимална дневна снага производње $P_{\max}$, средња дневна снага производње P_{sr} и средња дневна снага производње на квадрат и одређују на следећи начин [9]:

$$P_{\max} = \max_i (P_i) \quad i = 1 \dots m;$$

$$P_{sr} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_i$$

$$P_q = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_i^2$$

где m представља број мерења инсолације у току дана, односно број вредности које дефинишу дневни дијаграм снаге производње фотонапонског система.

За све дане одређују се средње вредности карактеристичних показатеља (математичко очекивање) и вероватне доње и горње граничне вредности ових показатеља (границе интервала поверења). Нека су X_k вредности показатеља X за дан " k ". Математичко очекивање показатеља X једнако је [9]:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_k$$

где је n статистички узорак, једнак броју дана у посматраном периоду времена.

Са вероватноћом 0.95 величина X се налази у интервалу:

$$\bar{X} - 1,96 \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}} < X < \bar{X} + 1,96 \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$$

За одређивање интервала поверења коришћена је нормална расподела. Параметар σ_{n-1} је средње квадратно одступање [9]:

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (\bar{X} - X_k)^2}$$

Анализа производње ФН система се најчешће ради за четири периода у току године:

- пролећна сезона (март, април, мај),
- летња сезона (јун, јул, август),
- јесења сезона (септембар, октобар, новембар),
- зимска сезона (децембар, јануар, фебруар).

2.4.10 Payback период(повраћај инвестиције)

Неколико корака који воде ка одређивању payback периода:

- Израчунавање свих почетних дажбина пројекта, главну инвестицију, амортизацију за одређени период разматрања, пореска и кредитна оптерећења, цену утрошеног времена на инвестицији,
- Израчунавање коначне добити, у овом случају соларног енергетског система, као и вероватноћу те добити или осцилације добијене вредности,
- Одредите тренутак када ћете бити у добитку, и проверите да ли се уклапа са вашим очекивањима.

Тек сада можете приступити одређивању вредности ROI према једначини (објављена у првом делу). ROI је повраћај од уложеног укупног капитала, показатељ рентабилности односно профитабилности уложеног капитала или инвестиције[11].

Поред саме вредности, битни фактори су убрзавање добити, редукција цене-трошкова, и повећање добити. Када се ради о соларним системима ово се може пратити кроз симулације у програмима, као што су PVSYST, RETScreen, итд. Том приликом је јако битно да се обрати пажња на цену панела, батерија (ако улазе у пројекат), цену и снагу инвертора, цену и снагу контролера пуњења. Код панела мора се имати у виду временски период уговора или предвиђеног трајања система, што ће обезбедити одабир технологије соларних панела (због континуалног опадања карактеристика соларних ћелија), а са друге стране битан је однос цене/W_p како би вредност ROI за соларну енергију био што већи[11].

Према томе, ради се о стратешком планирању како на микро плану, код домаћинстава, тако и на макро плану-соларне електране. Иначе, овакав вид анализе у соларној индустрији први су увели Немачки соларни енергетски менаџери, што је и у духу њихове прецизности и прорачунљивости.

Период повраћаја (payback Период- времена које је потребно да се инвестиција исплати) се може одредити на основу графика и представља помоћни параметар за мерење перформанси. Ту се ради о погледу на ROI са позиције временског еквивалента повраћаја новца. Зарада, која касније долази не улази у разматрање[11].

$$\text{Payback период} = \frac{\text{цена}}{\text{месечна добит}}$$

(добијено средње новчане масе по месецу из инвестиције),

мада може бити, и за соларне системе уобичајена је употреба годишња новчана маса.

ROI се примењује на пројекте где су сви будући трошкови или уштеде унапред познати захваљујући искуству стеченом на претходним пројектима, тако да се може са поприличном сигурношћу применити и у соларној енергетици. Зашто? Пре свега сви услови како инвестирања су познати, почев од административних до саме инвестиције. То се да израчунати, иако за веће пројекте захтева времена и посебног знања. Даље, амортизација је мала јер, код фиксних система нема механичких покретних делова, тако да се једино квар јавља на самом панелу који се да лако заменити или на систему преноса струје. Треће и оно што највише привлачи улагаче јесте загарантовано тржиште-откуп на дужи временски период када се ради са грид-тие системима (системи повезани на мрежу). Ово се код off-грид система (аутономних) пројектује на време рада панела и преко 25 година. На (слика 15.) може се видети како би изгледало ROI за такав један off-грид систем. Наравно, кумулативно инвестирање ће направити један битан скок онда када дође до инвестирања у нове батерије, јер је њихов век експлоатације између 5-15 година и у многоме зависи од начина употребе[11].



Слика 14. Време повраћаја инвестиције off-grid система

Са друге стране, ROI не узима флексибилност нити ризик, што га чини непоузданим параметром код нових улагања било ког типа. Понекада може да захтева велики број података, као на пример код соларних електрана, што значи да је заснован на параметрима који се могу пратити. Затим, није увек исплативо радити анализу за мале

промене соларног система јер се може доћи до веће непрецизности од дозвољене јер нису сви приходи финансијске природе, али у глобалу сви приходи имају финансијски утицај. На крају, ROI фаворизује оне пројекте који доносе уштеду[11].

Када се појединац одлучи на уградњу соларног енергетског система мора унапред да дефинише и одреди неколико ствари:

- Одређивање цене за дату снагу,
- Колике су субвенције или пореске олакшице на соларну енергију које даје држава,
- Колико енергије на годишњем плану ће дати систем сакупити,
- Израчунавање колико кошта један kWh тако добијене струје,

Одређивање периода повраћаја и ROI.

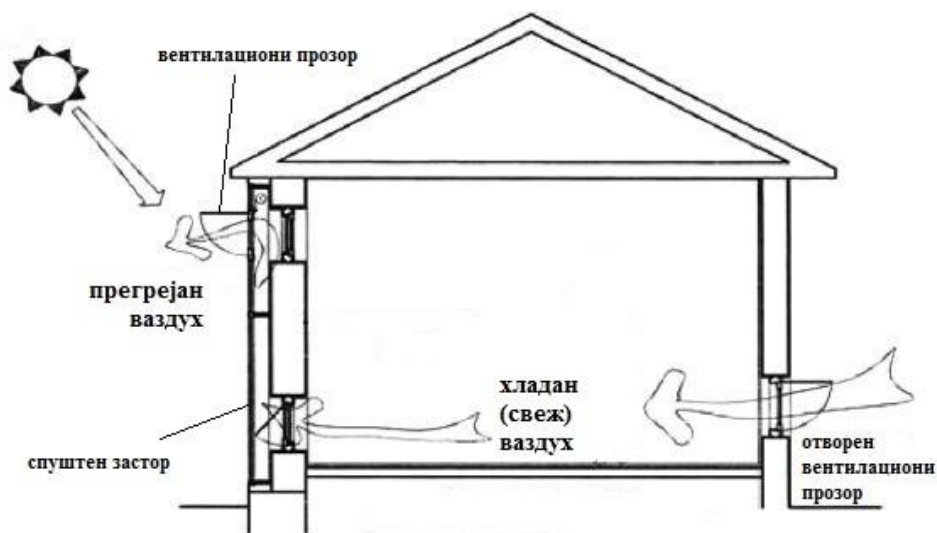
Прву ставку одређује сама цена делова на тржишту, мада се може кренути и од планиране новчане масе намењене улагању, тако да се на основу тога може прорачунати максималну снагу система. Наравно, све је у корелацији са потребама купца, и ту важи правило избора[11].

2.5 Тромбов зид

2.5.1 Дефиниција Тромбовог зида

Тромбов зид је зид од грађевинског материјала великог топлотног капацитета (цигла, бетон), дебљине најчешће 200mm. Испред зида, према спољашњости, која најчешће представља јужну страну објекта, на раздаљини од 20 до 50mm постављено је једноструко или двоструко застакљење[6]. Зид је премазан апсорбујућом црном бојом, рељефно обрађене унутрашње површине без шупљина, у циљу интензивније размене топлоте унутрашњости објекта и зида. Да би ваздух кружно циркулисао на дну и врху Тромбовог зида направљени су отвори целом дужином.

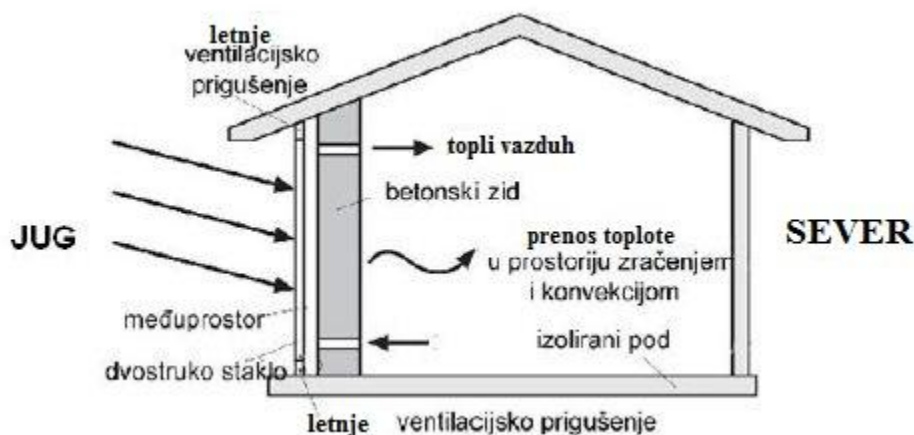
Између Тромбовог зида и плоче темеља мора бити добра изолација како не би дошло до појаве топлотног моста. У летњем периоду може доћи до непожељног прегревања просторије па се између Тромбовог зида и стакла или са спољне стране стакла поставља застор или настрешница која спречава продор сунчевих зрака. Постављени су прозори малих површина изнад спољашњег застакљења који се отварају да лети услед великих температура. Кроз њих излази вишак топлоте а на другој страни просторије се отварају прозорчићи за улаз свежег ваздуха (слика 16).



Слика 15. Хлађење у летњим условима

Током времена на Тромбовом зиду су вршене модификације. Најчешће измене су:

- постављање клапне изнад застакљења, ка спољашњости што омогућава хлађење зида лети када грејање није потребно,
- могу се поставити прозори, из разлога недостатка дневног светла и естетских разлога,
- постављање вентилатора на отворима Тромбовог зида, ради брже кружне циркулације.



Слика 16. Тромбов зид (циркулација ваздуха и пренос топлоте)

Предности Тромбовог зида:

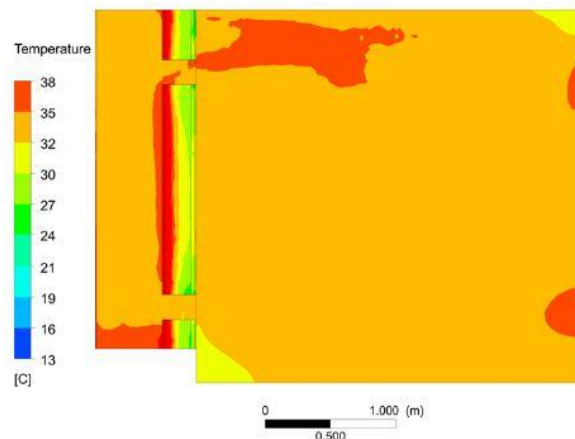
- угодна топлота елемената зграде (подова, зидова, спратова),
- без покретних делова, без одржавања,
- релативно лако укључивање у изградњи структуре као унутрашњи или спољашњи зид,
- јефтини грађевински материјал.

Недостаци Тромбовог зида:

- спољашњи зидови су извори губитка топлоте током дужих облачних дана[1].

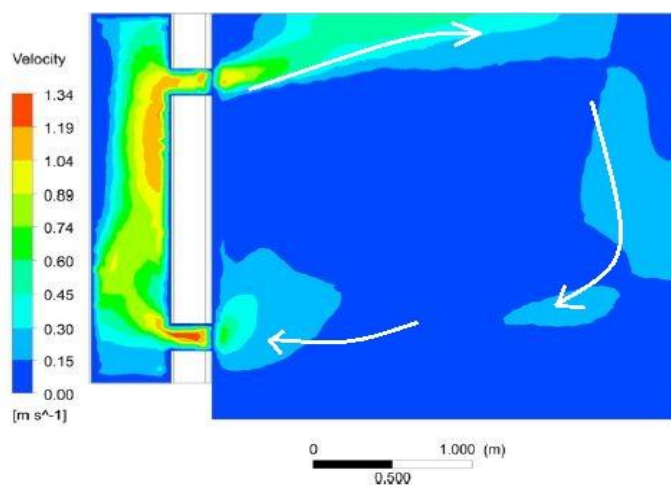
2.5.2 Простирање топлоте у пасивном систему Тромбовог зида

На (слици 18, 19, 20) се инфрацрвеном камером приказује простирање температуре по запремини зида и просторије, и брзина струјања (циркулације) ваздуха. Закључујемо да је апсорпција површинска појава. Топлота површинском слоју се преноси кондукцијом кроз зид и на крају зрачењем и конвекцијом кроз ваздух греје просторију и предмете у њој.



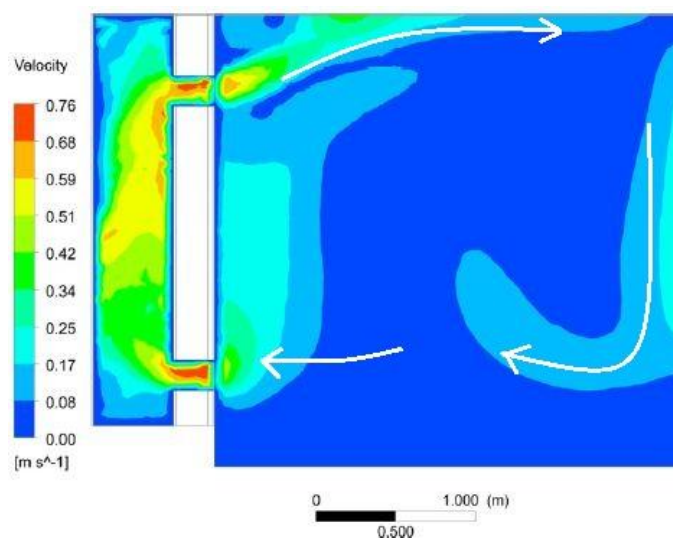
Слика 17. Температура у зиду и просторији (26.02. 13h)[12]

Ваздух са леве стране уз саму површину зида је топлији, значи, површина је та која греје ваздух и тера га на циркулацију услед разлике густина. Ексериментим је доказано да у зимским месецима, тачније (26.02.) се постиже температура до 38°C . Нормална температура просторије је око 32°C .



Слика 18. Брзина ваздуха при једнослојним застакљењем (26.02. 13h) [12]

Код једнослојног застакљења је највећа брзина струјања $1,34 \text{ m/s}$.



Slika 19. Брзина ваздуха при двослојним застакљењем (26.02. 13h) [12]

Код једнослојног застакљења је нешто већа брзина. Двослојно стакло задржава већи део зрачења и топлоте ван просторије тј. мање се загрева Тромбов зид, а зид мање загрева ваздух. Највећа брзина је $0,76 \text{ m/s}$, наравно, у отворима зида који су најмање површине.

2.5.3 Историја

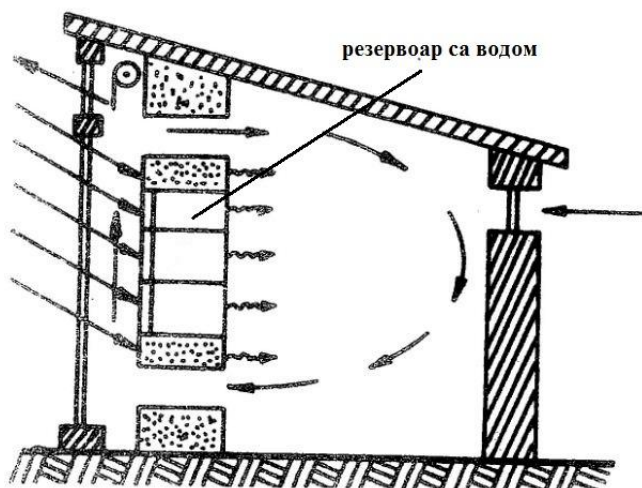
Феликс Тромб је 1965. године је у Францској, тачније, у Одеју код Пиринеја, саградио је кучу са тамним зидом на јужној страни. По њему је добио назив Тромбов зид. Доказао је компетентност апсорбовања топлоте, за акомулацију топлоте и загревања унутрашњих просторија.

Давне 1881. године је амерички научник E.L.Morse први дефинисао Тромбов зид у свом раду (Morse 1881), који је и патентирао.

2.5.4 Варијанте Тромбовог зида

Велики развој овог соларног система почео је за време светске економске кризе 1973. године па све до данас. Временом је забележено више варијанти овог пасивног соларног система.

Једна од варијанти је када се уместо масивног зида постави велики резервоар напуњен водом. Уместо резервоара могу се користити и бурад напуњена водом као што је урадио американац Стив Бер. На (слици 21) је приказана шема Тромбовог зида заменен бурадима пуни водом.

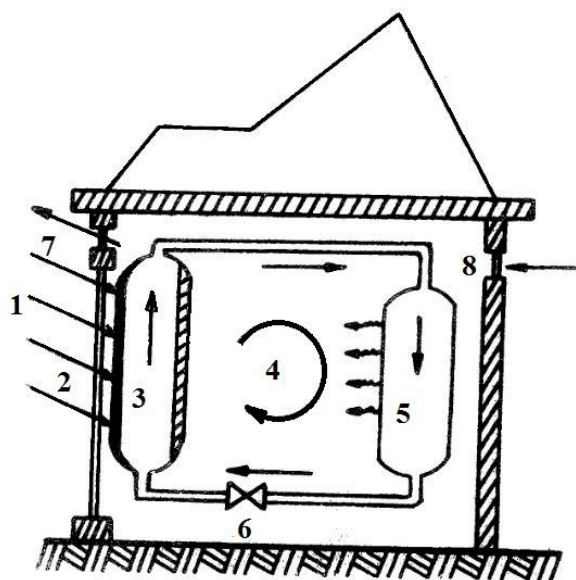


Слика 20. Тромбов зид са резервоаром[6]

Предности Тромбовог зида са резервоарима над првобитном конструкцијом Тромбовог зида:

- правац протекта топлоте кроз зид није једносмеран што значи да Тромбеов зид губи иверезбилне особоне,
- зид даје боље резултате него зид саграђен од Тромбовог масивног зида, због мањих међусобно независних јединица,
- иста маса воде акумулише 5 пута више Ј него бетон, а при истој запремини око 2 пута више,
- вода брже преноси топлоту са једне стране зида на други па нема временских закашњења у преносу топлоте на просторију.

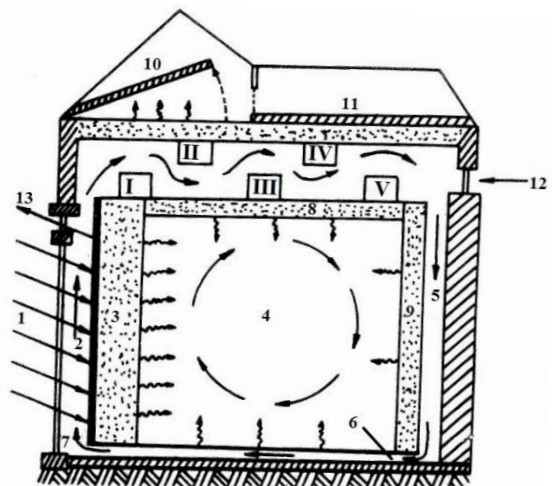
Зими се између буради и застакљења спушта завеса као застор да би се спречило безразложно губљење топлоте у спољашњој атмосфери. Спуштањем застора лети спречавамо прегревање просторије, када је спољња температура прилично висока. Лети се тај исти застор ноћу диже како би се бурад хладила тј. зрачила у атмосферу. Следећи тип пасивног соларног система оствареног на принципу Тромбовог зида се остварује везивањем резервоара са цевима већег пречника кроз које струји ваздух или вода. Струјање воде или ваздуха кроз ове цеви може бити остварено природном или принудном циркулацијом.



Слика 21. Затворено коло струјања воде из Тромбовог зида у акумулатор топлоте[6]

Зраци Сунца (1) падају преко застакљене површине (2) на предњу зацрњену страну Тромбовог зида (3), који је у овом случају метални цилиндрични резервоар напуњен водом. Задња страна је термички изолована према просторији коју греје (4). Загрејана вода се диже и преко цеви долази у један већи акумулатор топлоте (5). За време сунчаних дана ова природна циркулација се непрестално одвија. Када течност или ваздух у Тромбовом зиду није довољно загрејан/а може доћи до промене смера струјања. Да би то спречили, на повратни ток у цевима се поставља неповратни вентил (6). Да би се уживало у повољностима овог система цеви, акумулатор топлоте и Тромбов зид мојају имати добру изолацију.

Још једноставнију конструкцију и бољи ефекат деловања се добија када уместо струјања воде струји ваздух, кога смо поменули раније. У последње време се све више користи. Принцип рада је сличан.

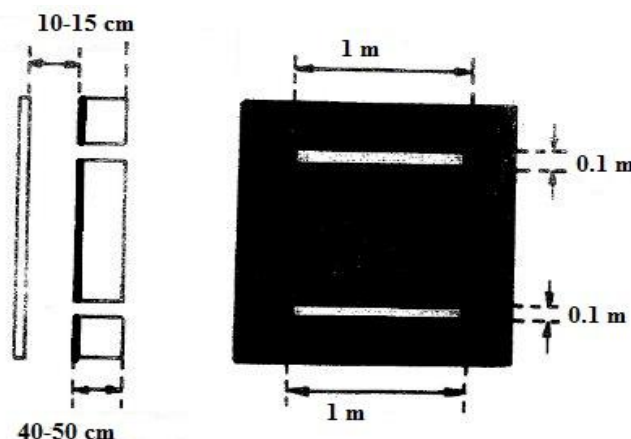


Слика 22. Затворено коло струјања ваздуха из Тромбовог зида у акумулатор топлоте[6]

Сунчеви зраци (1) пролазе кроз застакљену површину (2) и падају на спољни део Тромбовог зида (3). Исти тај зид зрачењем загрева унутрашњост просторије (4). Топао ваздух који се налази између застакљене површине и зида струји навише, између двоструке површине тј. таванице и пода подкровља. Судови (I, II, III, IV, V) представљају акумулаторе топлоте у којима се налази вода. Ваздух даље пролази кроз цеви (5) и (6) и излази код места (7), одакле се процес понавља. Таваница (8) и зид (9) се овом приликом загревају и даље зрачењем предају ту топлоту просторији (4). Преко пода поткровња топлота доспева у поткровље. Ако је непотребно грејати поткровље, посатавља се изолација ових плоча, плочама од стиропора (10), (11). Температура се може регулисати и преко отвора за улаз свежег ваздуха (12) и отвора за излазак врелог ваздуха (13). Северни зид такође мора бити масиван како би заштитио кућу од северних хладних ветрова а заједно са јужним Тромбовим зидом је у могућности да носе масивније акумулаторе топлоте типа камен, судове већих запремина.

2.5.5 Степен искоришћења Тромбовог зида

За довољну количину апсорбоване енергије у наредних 24-28 часова је потребан Тромбов зид дебљине од 40-50cm, при оптималној количини сунчевог зрачења. Задовољавајући ефект стаклене и природна циркулација ваздуха постиже се када растојање између застакљења и Тромбеовог зида износи 10-15cm.



Слика 23. Шупљине у Тромбовом зиду[6]

Отвори на Тромбовом зиду су минимум 0,1m x 1m. Потребна колекторска површина Тромбовог зида зависи од георафске ширине места, запремине просторије и квалитета термичке изолације куће. Однос потребне колекторске површине A_k и запремине просторије V износи $A_k/V=0,1$, којим можемо покрити 50-75% потребне топлотне енергије. Ова однос се добија за кућу у нашим крајевима на око 45° северне географске ширине. У случају да кућа није добро термички изолована $A_k/V=0,15$, значи да на сваких $100m^3$ запремине, односно $100m^3/2,4m=42m^2$ основне површине потребно је $10m^2$ колекторске површине. Да би обезбедили топлотну енергију за 2-3 дана када Сунчево зрачење није довољно играју се дужевременски акумулатор топлоте. За сваки $1m^2$ основне површине потребанубни метар запремине је дужевременски акумулятор од око 100 литара воде. Из односа $A_k/V=0,1$, излази да је за сваки кубни метар ове запремине потребан акумулятор са око 10 литара воде.

Маса Тромбеовог зида се рачуна према обрасцу: $m = \rho \times V$
 где је ρ -густина материјала Тромбовог зида [kg/m^3], V - запремина Тромбовог зида [m^3].

3 КОРИШЋЕНИ СОФТВЕРИ

3.1 Софтвери

За израду овог завршног рада у основи су коришћени програми Google SketchUp, OpenStudio i EnergyPlus. OpenStudio i EnergyPlus имају међусобну комуникацију тако што OpenStudio као додаток Google SketchUp-у даје геометрију објекта који се симулира у EnergyPlus-у[10].

Будући да EnergyPlus не доноси са собом графичке корисничке интерфејсе за препроцесирање(графичко дефинисање геометрије) и постпроцесирање (графички приказ резултата), неопходно је користити програме који већ постоје и могу се применити како за креирање објекта, тако и за приказ резултата прорачуна [10].

После генерисања фајла у софтверским програмима Google SketchUp-а и EnergyPlus-а а после тога и корекције у IDF едитору добија се улазна датотека EnergyPlus-а. Овај фајл се прослеђује у главни програм EnergyPlus Simulation Manager. Симулације баланса масе и топлоте се рачуна, преко зонских услова преносе на модел објекта, а уколико услови нису задовољени враћају се назад на симулацију баланса. Када софтвер израчуна релативне вредности у зависности од улазних података EnergyPlus Simulation Manager записује резултате. У овом истраживању система смо користили HTML фајл у којима су табеларно приказани резултати. Табеле се убацују у друге програмске пакете типа: Excel-а, OpenOffice Spreadsheet-а.

3.1.1 EnergyPlus

EnergyPlus служи за моделирање грејања, хлађења, осветљења, фотонапонске енергије, вентилације и др. Има способност симулације у задатим временским интервалима, топлотно балансиране зоне симулације, проток ваздуха кроз све термичке зоне, термичку удобност, коришћење воде, као и природну вентилацију. Програмски језик EnergyPlus је настао на моделу старијих програмских пакета BLAST и DOE-2. Они су настали седамдесетих и осамдесетих година 20. века као први програми за енергетске симулације. Главни разлог настајања ових програма је енергетска криза седамдесетих година, која је захтевала статистике потрошње енергије у Америци и циљу очувања исте. EnergyPlus анализира и симулира енергетске и термичке угодности, као и његови претходници, уз већу тачности добијених вредности.

3.1.2 Google SketchUp са OpenStudio Плуг ин-ом

Google SketchUp са OpenStudio Плуг ин-ом нам служи за дефинисање геометрије јер представља један од најлакших начина за то. OpenStudio је накнадно инсталиран.

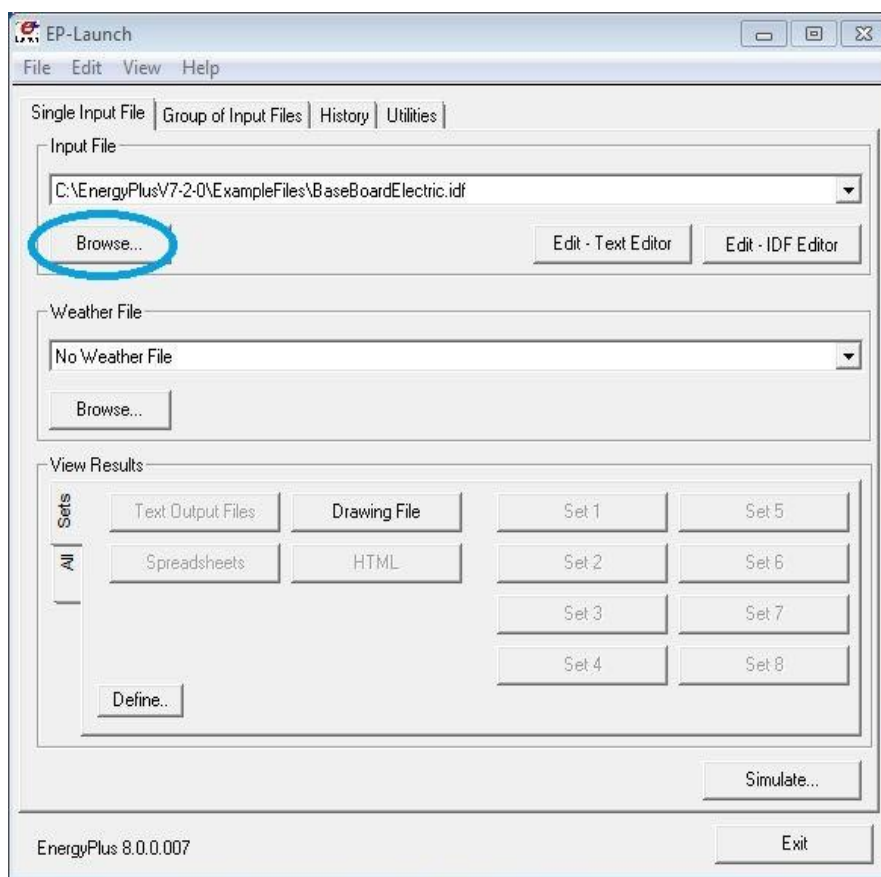
Уз помоћ OpenStudio-а користе се стандардне Sketch Up алате за креирање и уређивање EnergyPlus зоне и површине. Помоћу њега могу се истраживати сви EnergyPlus фајлови, наравно, уз помоћ Google SketchUp алата, тако да постоје разне могућности мењања геометрије објекта, промене конструкције и назива тих конструкција. OpenStudio је развијен у лабораторијама Америчког министарства енергетике од стране бироа за обновљиву енергију[10].

Google Sketch Up је програм намењен режисерима, грађевинским инжењерима, архитектама и сличним професијама. Флексибилан је и лакши за употребу од других програма за графички дизајн. У Google Sketch Up-у се налази опција 3D Warehouse, која омогућује корисницима да претражују моделе израђене од других корисника. Електронском поштом је могуће скидати моделе других корисника и разгледати помоћу опције 3D Warehouse.

3.2 Унос основних фајлова у Energy Plus-у

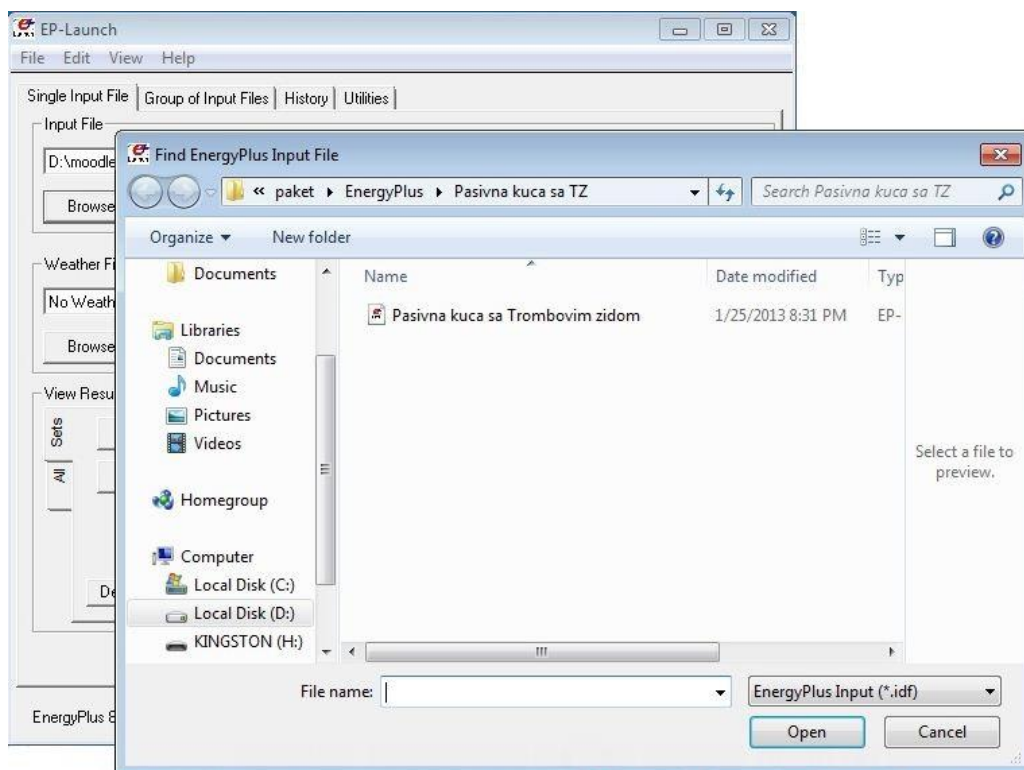
После затварања фајла креираним у SketchUp-у сада треба дуплим кликом отворити исти тај IDF фајл. На екрану се приказује главни мени преко чијих опција бирамо жељене операције. Може се прво отворити EnergyPlus, па у њему пронаћи директоријум IDF фајла.

У истом менију, опција ниже служи за убацивања Weather фајла са одређену локацију на којој се налази објекат. Weather фајл је битан зато што различити градови леже у различитим временским зонама што утиче на резултате симулације. Не постоје Weather фајлови за све градове па се за неке користе Weather фајлови најближих градова. Поступак је објашњен на пропратним сликама.

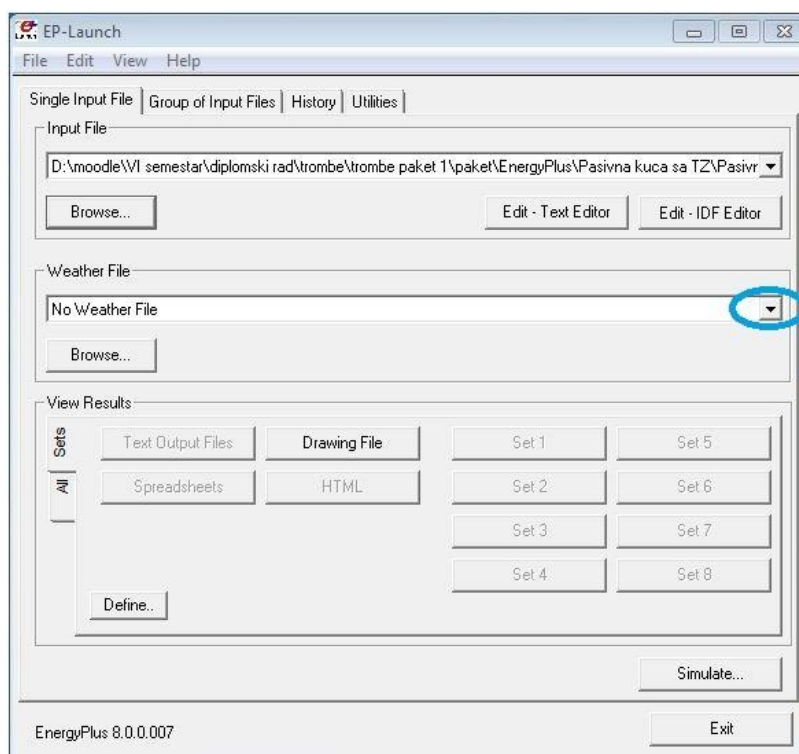


Слика 24. Изглед главног менија при покретању EnergyPlus-a

Левим кликом на (Browse...) отвара се прозор у коме бирамо одговарајући input file који се симулира. Прозор се затвара кликом на Open. Ово је једноставан процес уношења input фајла.

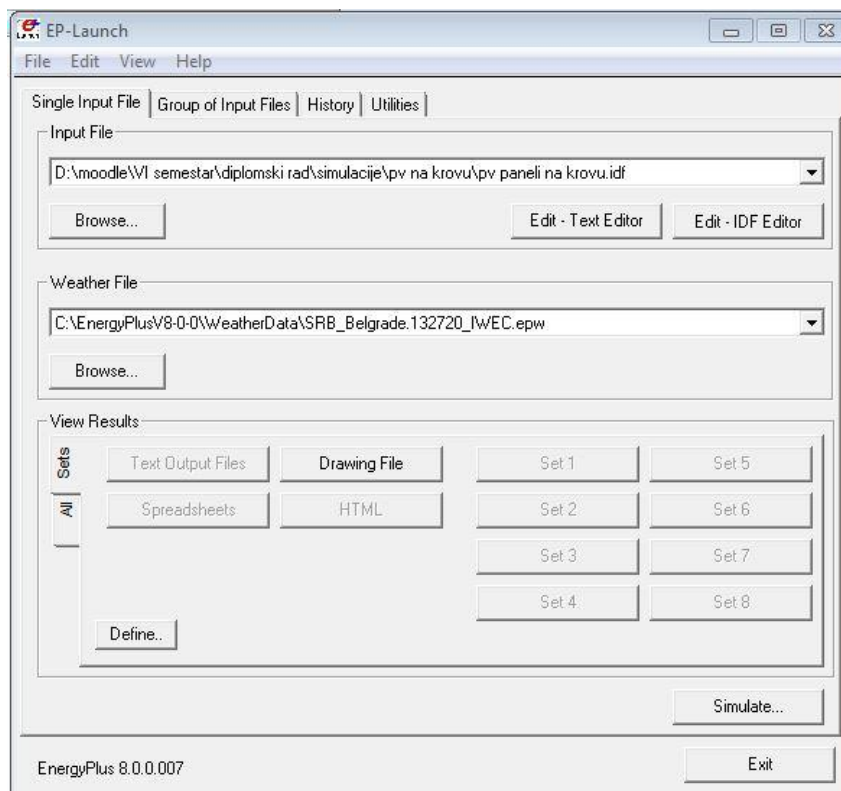


Слика 25. Унос фајла



Слика 26. Унос Weather filea

Након уношења Weather и input fileа се приступа подешавању параметара кликом на (Edit-IDF Editor). На крају следи симулација, разлог због чега се ради све ово. Изглед главног менија после основног подешавања изгледа овако:



Слика 27. Изглед главног менија после подешавања

3.3 Основна подешавања у IDF-Editor-у

- **Version**

Овде се уписује тренутна верзија програма. Коришћена је најновија верзија V8-0-0, и приликом покретања програма програм је сам учитава.

Field	Units	Obj1
Version Identifier		8 . 0

Табела 3. Учитана верзија програма

- **Simulation Control**

Ово подешавање се односи на период симулације. У овом случају је укључен само период симулације директно везан за Weather фајл.

Field	Units	Obj1
Do Zone Sizing Calculation		No
Do System Sizing Calculation		No
Do Plant Sizing Calculation		No
Run Simulation for Sizing Periods		No
Run Simulation for Weather File Run Periods		Yes

Табела 4. Подешавање периода симулације

- **Building**

Ово је основно подешавање везано за објекат. Одређује се положај објекта, терен на коме се налази, утицај Сунчевог зрачења, максималан број топлих дана.

Field	Units	Obj1
Name		Pasivna kuca sa 2TZ
North Axis	deg	0
Terrain		City
Loads Convergence Tolerance Value		0.04
Temperature Convergence Tolerance Value	deltaC	0.4
Solar Distribution		FullInteriorAndExterior
Maximum Number of Warmup Days		25
Minimum Number of Warmup Days		6

Табела 5. Основна подешавања објекта

- **Timestep**

Ова опција служи за одређивање временског корака тј. број симулација у једном сату. У овом случају чита четири симулација у једном сату.

Field	Units	Obj1
Number of Timesteps per Hour		4

Табела 6. Подешавање временског корака

- **Site: Location**

У овој табели се уносе географска ширина, географска дужина, временска зона и надморска висина објекта. Унесемо ли Weather фајл, ови се подаци аутоматски добијају.

Field	Units	Obj1
Name		Beograd
Latitude	deg	44.8
Longitude	deg	20.46
Time Zone	hr	1
Elevation	m	117

Табела 7. Локација објекта

- **RunPeriod**

Период симулације је у овом случају веома занимљива табела зато што ће се мењати у току овог истраживања. Обично се период симулације узима за целу годину тј. за периоде грејања и хлађења. Требало би укључити индикаторе снега и кише, празнике и дане одмора треба такође узети у обзир.

Field	Units	Obj1
Name		Pasivna kuca sa 2TZ
Begin Month		1
Begin Day of Month		1
End Month		12
End Day of Month		31
Day of Week for Start Day		USEWEATHERFILE
Use Weather File Holidays and Special Days		Yes
Use Weather File Daylight Saving Period		Yes
Apply Weekend Holiday Rule		No
Use Weather File Rain Indicators		Yes
Use Weather File Snow Indicators		Yes
Number of Times Runperiod to be Repeated		
Increment Day of Week on repeat		
Start Year		

Табела 8. Подешавање периода вршења симулације

- ***Run Period Control:Special Days***

За време празника је појачана потрошња електричне и других видова енергије је повећана. Тих дана је доста људи у кући што знатно утиче на грејање и климатизацију.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		Slava Sveti Jovan	Bozic	Vaskrs	Litije Trojice
Start Date		20-Jan	7-Jan	15-Apr	3-Jun
Duration	days	3	3	3	3
Special Day Type		Holiday	Holiday	Holiday	Holiday

Табела 9. Период празника

- ***Site:GroundTemperature:BuildingSurface***

Ово су препоручене температуре тла .

Field	Units	Obj1
January Ground Temperature	C	18
February Ground Temperature	C	18
March Ground Temperature	C	18
April Ground Temperature	C	18
May Ground Temperature	C	18
June Ground Temperature	C	18
July Ground Temperature	C	18
August Ground Temperature	C	18
September Ground Temperature	C	18
October Ground Temperature	C	18
November Ground Temperature	C	18
December Ground Temperature	C	18

Табела 10. Температуре тла испод објекта

Ова подешавања су обавезна за било који IDF фајл па се зато називају основним подешавањима.

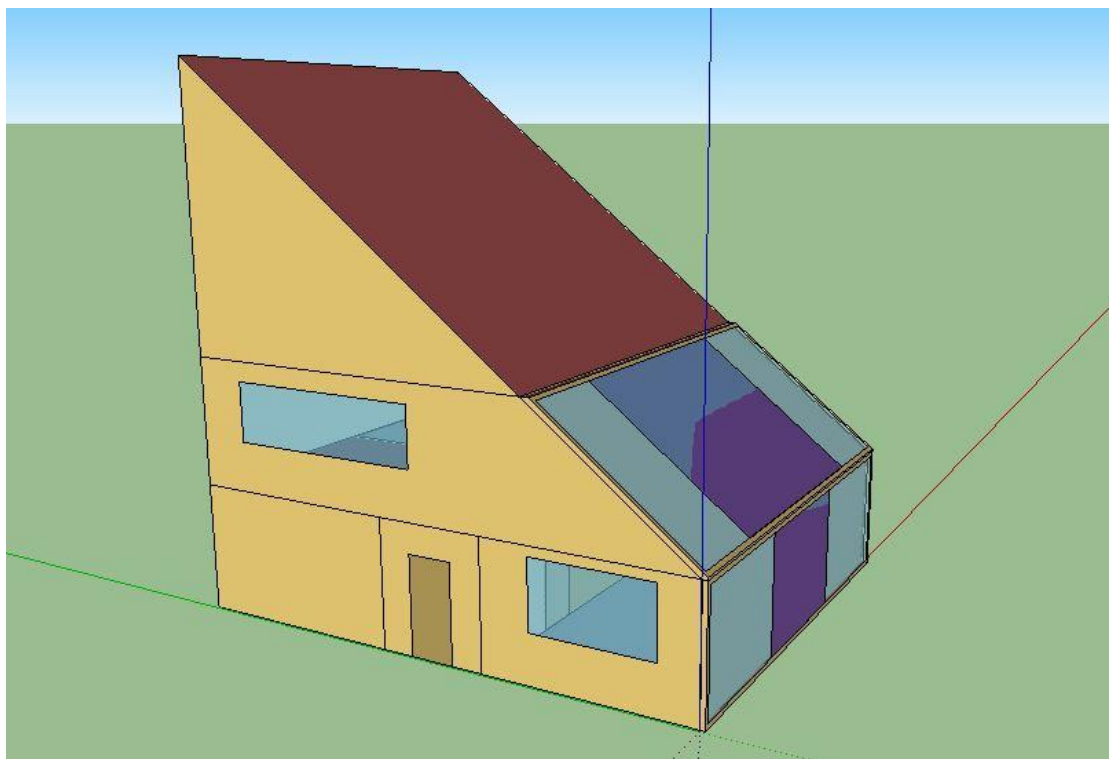
4 МОДЕЛИРАЊЕ И СИМУЛАЦИЈА

4.1 Дефинисање геометрије и конструкције стамбеног објекта

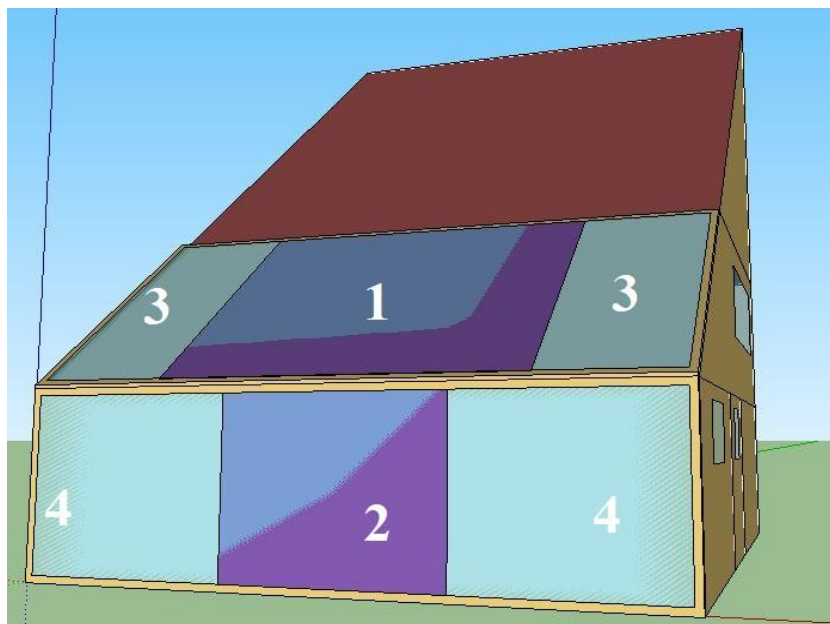
Дефинисање геометрије објекта је у OpenStudio који ради на платформи Google SketchUp-a. Тек онда се почине са радом у програму EnergyPlus. Моделирање објекта се обавља у Google SketchUp-у коришћењем једноставних алата. Веза између Google SketchUp-a и EnergyPlus-a је Open studio(plugin) који се мора инсталирати. Свака просторија се моделира засебно стим што се води рачуна да се геометрије заједничких просторија преклапају међусобно. Након моделирања свих просторија се мењају имена свих површина ради лакшег руковања у даљем раду. Фајл се на крају екпортује у .idf фајл како би се радило на њему у EnergyPlus-у. Разлог због кога се објекат моделира у Google SketchUp-у је да се не би кординате свих зона укуцало ручно, што је веома заморан посао и иште време и концетрацију. У овом случају се добијају аутоматски.

4.1.1 Изгед стамбеног објекта

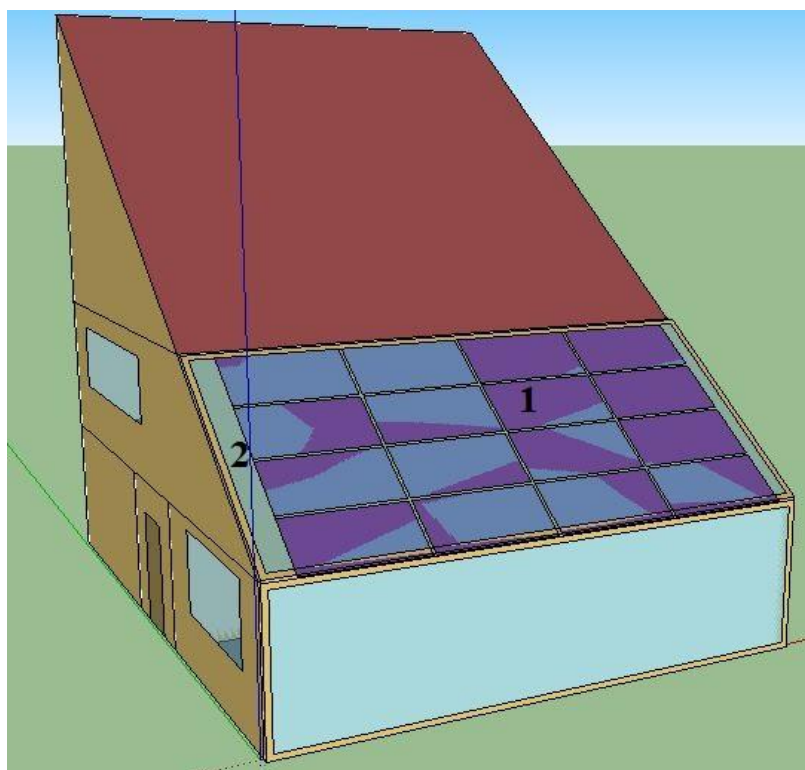
На следећим сликама је приказан изглед стамбене куће са Тромбовим и без Тромбовог зида, вертикални и хоризонтални пресеци. Разлика у кућама је једино што на једним постоје Тромбови зидови и ФН панели а други су без њих или са једним од од поменутог.



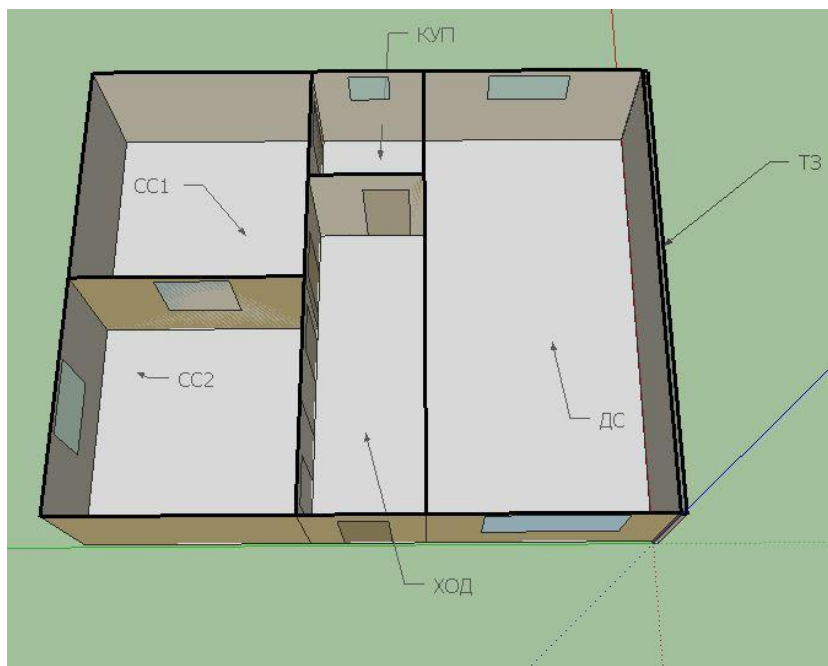
Слика 28. Стамбена кућа без Тромбовог зида Западна страна



Слика 29. Поглед објекта са јужне стране (1 – Фотонапонски панели на косом Тромбовом зиду, 2 – Фотонапонски панели на равном Тромбовом зиду, 3 – Коси Тромбов зид на јужној страни куће, 4 – Раван Тромбов зид на јужној страни куће)

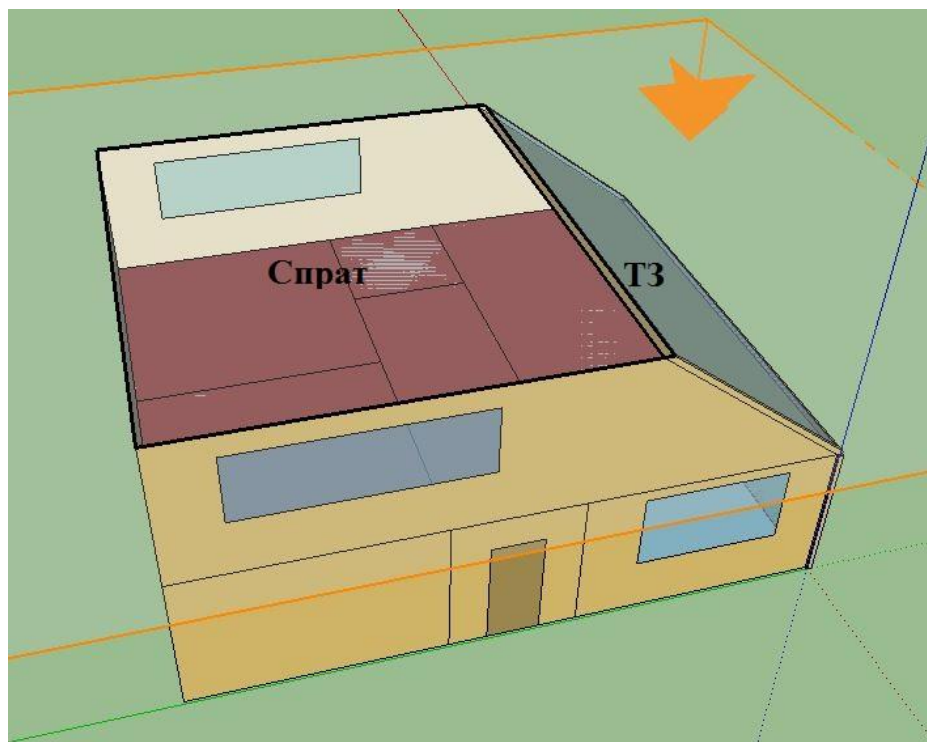


Слика 30. Фотонапонски панели на косом Тромбовом зиду (1 – фотонапонски панели, 2 – коси Тромбов зид)

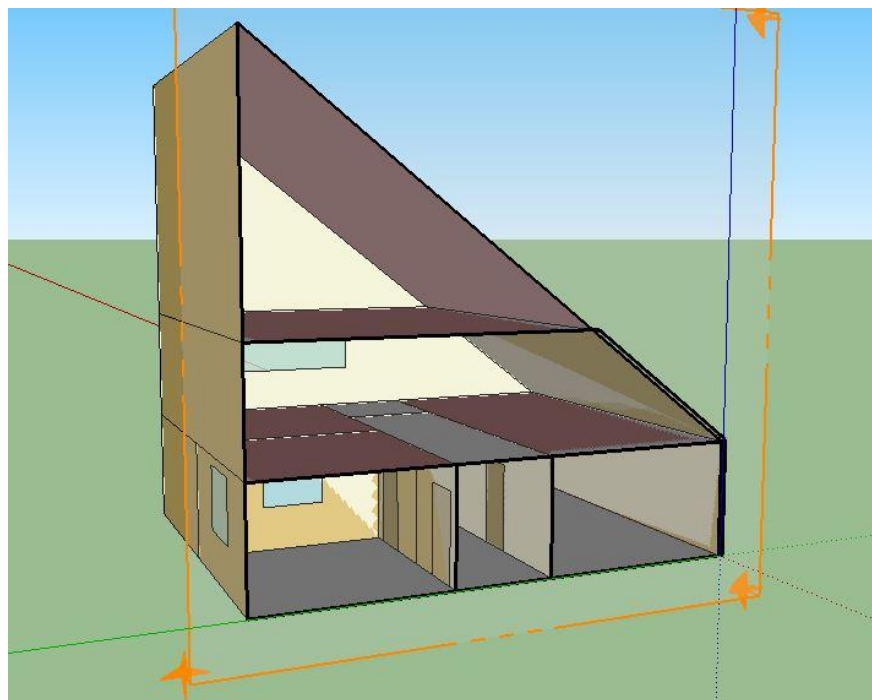


Слика 31. Пресек приземља

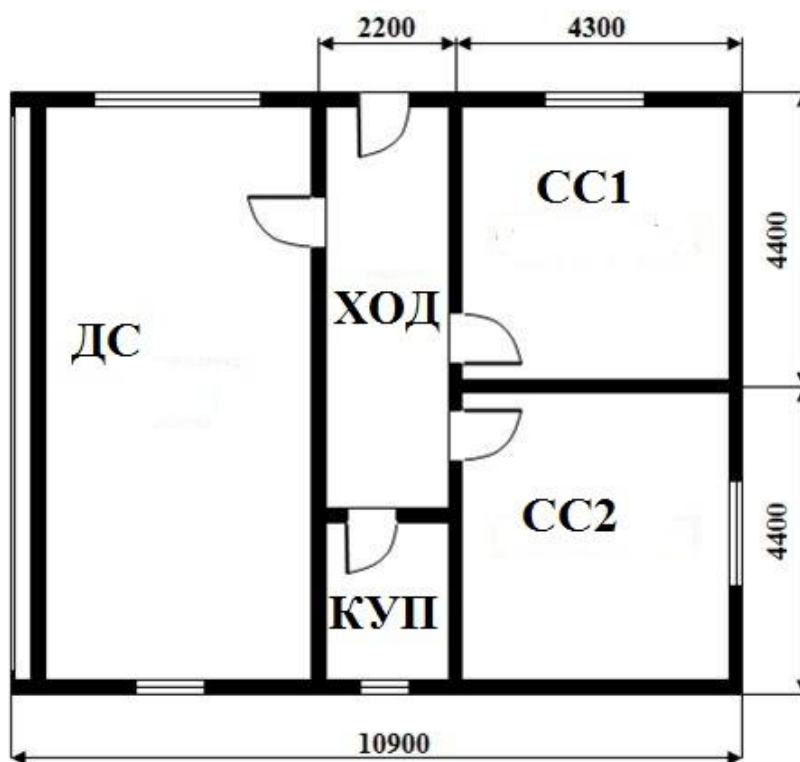
(ДС-Дневна соба, ХОД-ходник, КУП-Купатило, СС1-Спаваћа соба, СС2-Спаваћа соба, ТЗ-Тромбов зид)



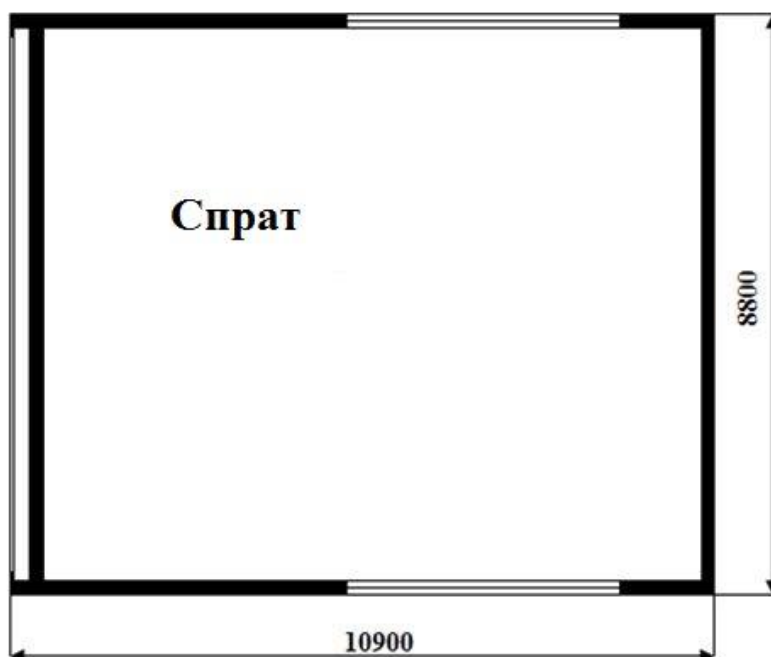
Слика 32. Пресек спрата (ТЗ- Тромбов зид)



Слика 33. Вертикални пресек објекта



Слика 34. Основа приземља (ДС-Дневна соба, ХОД-ходник, КУП-Купатило, СС1-Спаваћа соба, СС2-Спаваћа соба)



Слика 35. Основа првог спрата

Стамбена кућа је укупне површине $190,08\text{m}^2$. Половину те површине заузима (СПРАТ= $95,04\text{m}^2$), а друга половина се дели на остале површине: (ДС= $37,84\text{m}^2$), (СС1=СС2= $18,92\text{m}^2$), (ХОД= $14,3\text{m}^2$), (КУП= $5,06\text{m}^2$).

4.1.2 Распоред коришћења куће

Поред спољашњих добитака топлоте у кући постоје и унутрашњи добици од стране кућних уређаја, електричне опреме и људи који станују у њој. Ови добици ће бити урачунати у прорачуну јер се разлика у крајњим резултатима не може занемарити.

- Осветљење

Поред тога што сијалице служе да осветле просторију, сијалице одају топлоту. У следећим табелама ће бити приказан распоред укључивања и снага сијалица по просторијама.

Светло у ходнику	Проценат (%)
7.00 - 9.00	0
9.00 - 10.00	20
10.00 - 15.00	0
15.00 - 19.00	0
19.00 - 22.00	10
22.00 - 24.00	20
00.00 – 07.00	3

Табела 11. Распоред коришћења осветљења у ходнику у току дана

Светло у купатилу	Проценат (%)
7.00 - 9.00	0
9.00 - 10.00	80
10.00 - 15.00	0
15.00 - 19.00	10
19.00 - 22.00	10
22.00 - 24.00	20
00.00 – 07.00	3

Табела 12. Распоред коришћења осветљења у купатилу у току дана

Светло у дневној соби	Проценат (%)
7.00 - 9.00	0
9.00 - 10.00	0
10.00 - 15.00	0
15.00 - 19.00	0
19.00 - 22.00	0
22.00 - 24.00	100
00.00 – 07.00	0

Табела 13. Распоред коришћења осветљења у дневној соби у току дана

Светло у спаваћој соби	Проценат (%)
7.00 - 9.00	15
9.00 - 10.00	0
10.00 - 15.00	0
15.00 - 19.00	0
19.00 - 22.00	0
22.00 - 24.00	60
00.00 – 07.00	10

Табела 14. Распоред коришћења осветљења у спаваћој соби у току дана

Светло на спрату	Проценат (%)
7.00 - 9.00	0
9.00 - 10.00	30
10.00 - 15.00	0
15.00 - 19.00	0
19.00 - 22.00	0
22.00 - 24.00	30
00.00 – 07.00	0

Табела 15. Распоред коришћења осветљења на спрату у току дана

Просторије	Снага (W)
Дневна соба	120
Спаваћа соба	75
Купатило	100
Ходник	60
Спрат	120

Табела 16. Снага сијалица у просторијама куће

- Електрична опрема

У електричну опрему спадају кућни уређаји типа: фрижидер, фен, електрични шпорети... Електрична опрема највише утиче на добитке топлоте. У следећим табелама је приказан распоред коришћења кућних уређаја по просторијама.

Електрична опрема у купатилу	Проценат (%)
7.00 - 10.00	0
10.00 - 15.00	10
15.00 - 18.00	0
18.00 - 20.00	0
20.00 - 22.00	0
22.00 - 24.00	10
00.00 – 07.00	0

Табела 17. Распоред коришћења електричне опреме у купатилу

Из табеле се види да је се електрична опрема у купатилу користи у јутарњим часовима, пред полазак на посао и дневне активности, и у вечерњим часовима, када се укупани спремају за спавање. Снага електричних уређаја у купатилу је 1000W.

Електрична опрема у спаваћој соби	Проценат (%)
7.00 - 10.00	0
10.00 - 15.00	0
15.00 - 18.00	0
18.00 - 20.00	0
20.00 - 22.00	20
22.00 - 24.00	100
00.00 – 07.00	0

Табела 18. Распоред коришћења електричне опреме у спаваћој соби у току дана

Електрична опрема у спаваћој соби се користи само у вечерњим часовима, када се укућани спремају за спавање. Снага електричне опреме је 400W.

Електрична опрема у дневној соби	Проценат (%)
7.00 - 10.00	0
10.00 - 15.00	0
15.00 - 18.00	0
18.00 - 20.00	50
20.00 - 22.00	50
22.00 - 24.00	0
00.00 – 07.00	0

Табела 19. Распоред коришћења електричне опреме у дневној соби у току дана

У вечерњим часовима се породица окупља у дневној соби, што се види по употреби електричне опреме. Укупна снага електричних уређаја у дневној соби је 800W.

Електрична опрема на спрату	Проценат (%)
7.00 - 10.00	0
10.00 - 15.00	0
15.00 - 19.00	0
19.00 - 20.00	10
20.00 - 22.00	0
22.00 - 24.00	0
00.00 – 07.00	0

Табела 20. Распоред коришћења електричне опреме на спрату у току дана

На спрату се електрични уређаји користе само у вечерњим часовима. Спрат се активније користи само за време празника. Снага електричних уређаја на спрату је 800W.

- Људи

У испитиваној кући живе четири особе. У наредним табелама је процентуално одређено задржавање људи појединим просторијама. Такође, табеларно је описано максимално задржавање људи у просторијама.

Људи у спаваћој соби	Проценат (%)
7.00 - 11.00	20
11.00 - 16.00	20
16.00 - 18.00	0
18.00 - 22.00	20
22.00 - 24.00	80
00.00 – 07.00	100

Табела 21. Појављивање људи у спаваћој соби у току дана

Људи у ходнику	Проценат (%)
7.00 - 10.00	10
10.00 - 16.00	5
16.00 - 18.00	10
18.00 - 22.00	10
22.00 - 24.00	10
00.00 – 07.00	1

Табела 22. Појављивање људи у ходнику у току дана

Људи у дневној соби	Проценат (%)
7.00 - 11.00	0
11.00 - 16.00	30
16.00 - 20.00	30
20.00 - 24.00	60
00.00 – 07.00	20

Табела 23. Појављивање људи у дневној соби у току дана

Људи у купатилу	Проценат (%)
7.00 - 10.00	10
10.00 - 16.00	30
16.00 - 18.00	25
18.00 - 22.00	40
22.00 - 24.00	30
00.00 – 07.00	1

Табела 24. Појављивање људи у купатилу у току дана

Људи на спрату	Проценат (%)
7.00 - 10.00	0
10.00 - 16.00	30
16.00 - 18.00	0
18.00 - 20.00	0
20.00 - 22.00	20
22.00 - 24.00	20
00.00 – 07.00	0

Табела 25. Појављивање људи на спрату у току дана

Назив просторије	Број људи
Спаваћа соба	4
Дневна соба	4
Ходник	2
Купатило	1
Спрат	2

Табела 26. Максималан број људи који се појављује у просторијама у току дана

4.1.3 Дефинисање ФН панела у Energy Plus-у

У даљем тексту су приказана подешавања везана за ФН панеле, дефинисана је њихова снага, ефективност, тачан положај на објекту и материјал елемената конструкције

- **Generator:Photovoltaic**

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		SIMPLE Roof Pavel PV	SIMPLE Roof Pavel 2 PV
Surface Name		TZ-Window	TZ2-Staklo
Photovoltaic Performance Pbject Type		PhotovoltaicPerformance:Simple	PhotovoltaicPerformance:Simple
Module Performance Name		12percentEffPVhalfArea	12percentEffPVhalfArea
Heat Transfer Integration Mode		Decoupled	Decoupled
Number of Series Strings in Parallel	Dimensionless	1	1
Number of Modules in Series	Dimensionless	1	1

Табела 27. Убацивање параметара и положаја на објекту

- **PhotovoltaicPerformance:Simple**

Field	Units	Obj1
Name		12percentEffPVHalfArea
Fraction of Surface Area with Active Solar Cells	dimensionless	1
Conversion Efficiency Input Mode		Fixed
Value for Cell Efficiency if Fixed		0.12
Efficiency Schedule Name		

Табела 28. Дефинисање ефективности панела

- **ElectricLoadCenter:Generators**

Field	Units	Obj1
Name		PV List
Generator 1 Name		SIMPLE Roof Paver PV
Generator 1 Object Type		Generator:Photovoltaic
Generator 1 Rated Electric Power Output	W	20000
Generator 1 Availability Schedule Name		Always On
Generator 1 Rated Thermal to Electrical Power Ratio		
Generator 2 Name		SIMPLE Roof Paver 2 PV
Generator 2 Object Type		Generator:Photovoltaic
Generator 2 Rated Electric Power Output	W	20000
Generator 2 Availability Schedule Name		Always On
Generator 2 Rated Thermal to Electrical Power Ratio		

Табела 29. Креирање ФН листе за читање електричне енергије унетих панела

- **ElectricLoadCenter:Inverter:Simple**

Field	Units	Obj1
Name		Simple Ideal Inverter
Avaibility Schedule Name		Always On
Zone Name		
Radiative Fraction		0
Inverter Efficiency		1

Табела 30. Активирање ФН панела

- ***ElectricLoadcenter:Distributon***

Field	Units	Obj1
Name		Simple Electric Load Center
Generator List Name		PV list
Generator Operation Scheme Type		Baseload
Demant Limit Scheme Purchased Ele	W	0
Track Schedule Name Scheme Sched		
Track Meter Scheme Meter Name		
Electrical Buss Type		DirectCurrentWithInverter
Inverter Object Name		Simple Ideal Inverter
Electrical Storage Object Name		
Transformer Object Name		

Табела 31. Дистрибуција електричне енергије

4.2 Конструкција Тромбовог зида

Извођена је симулација са више дебљина Тромбовог зида и различитих дебљина стакла и простора између њих. Испробавани су и различити материјали како би се добила највећа уштеда енергије.

Највећи разлог вишеслојног стакла на Тромбовом зиду јесте термоизолационо својство за време тмурних дана. Веома је важно умати више слијева стакла како не би било великих губитака топлотне и електричне енергије зими.

Испитивањем је итврђено да конструкција (CLEAR 4mm+Air 18mm+CLEAR 4mm+Air 15mm+CLEAR 4mm) представља најбоље решење косог Тромбовог зида на спрату, а (CLEAR 4mm+Air 18mm+CLEAR 4mm+Air 19mm+CLEAR 4mm) је најјекономичнија конструкција вертикалног Тромбовог зида. Приликом симулирања објекта са Тромбовим зидовима на косом зиду и вертикалном зиду установљено је да следећи распоред елемената конструкције (CLEAR 4mm+Air 18mm+CLEAR 4mm+Air 15mm+CLEAR 4mm) представља најбоље решење.

4.2.3 Тромбов зид у EnergyPlus-у

- **Material Тромбовог зида**

Field	Units	Obj1
Name		Armironi beton TZ
Roughness		MediumRough
Thickness	m	0.3
Conductivity	W/m-K	2.04
Density	kg/m3	2400
Specific Heat	J/kg-K	960
Thermal Absorptance		0.91
Solar Absorptance		0.91
Visible Absorptance		0.91

Табела 32. Катактеристике материјала Тромбовог зида

- **WindowMaterial:Glazing**

Field	Units	Obj1
Name		CLEAR 4MM
Optical Data Type		SpectralAverage
Window Glass Spectral Data Set Name		
Thickness	m	0.004
Solar Transmittance at Normal Incidence		0.837
Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0.075
Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0.075
Visible Transmittance at Normal Incidence		0.898
Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0.081
Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0.081
Infrared Transmittance at Normal Incidence		0
Front Side Infrared Hemispherical Emissivity		0.84
Back Side Infrared Hemispherical Emissivity		0.84
Conductivity	W/m-K	0.9
Dirt Correction Factor for Solar and Visible Transmitt		
Solar Diffusing		
Young's modulus	Pa	
Poisson's ratio		

Табела 33. Карактеристике неких од стакла и Тромбовом зида

- **WindowMaterial: Gas**

Програм садржи у бази података гасове са ниским коефицијентом провођења топлоте. У овим табелама се дефинише дебљина слојева гасова и тип гаса. У овом случају гас користимо као слој између стакла прозора и између стакла у Тромбовом зиду.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		Air 18 mm	AIR 13MM	Air 15mm	Air 17mm
Gas Type		Air	Air	Air	Air
Thicness	M	0.018	0.0127	0.015	0.017
Conductivity Coefficient A	W/m-K				
Conductivity Coefficient B	W/m-K2				
Conductivity Coefficient C	W/m-K3				
Victosity Coefficient A	kg/m-s				
Victosity Coefficient B	kg/m-s-K				
Victosity Coefficient C	kg/m-s-K2				
Specific Heat Coefficient A	J/kg-K				
Specific Heat Coefficient B	J/kg-K2				
Specific Heat Coefficient C	J/kg-K3				
Molecular Weight	g/mol				
Specific Heat Ratio					

Табела 34. Дефинисање слоја гаса између стакла

- **Construction**

У конструкцији Тромбовог зима је алуминијумска ролетна са ламелама пуњеним незапаљивим полиуретаном, који осим што је добар термоизолатор, обезбеђује и адекватан ниво звучне изолације (SHADE ROLL).

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Trombov zid	TZ staklo	TZ 1
Outside layer		Armirani beton TZ	SHADE ROLL	CLEAR 4
Layer 2			CLEAR 4	Air 18 mm
Layer 3			Air 18 mm	CLEAR 4
Layer 4			CLEAR 4	AIR 13MM
Layer 5			AIR 13MM	CLEAR 4
Layer 6			CLEAR 4	

Табела 35. Конструкција Тромбовог зида

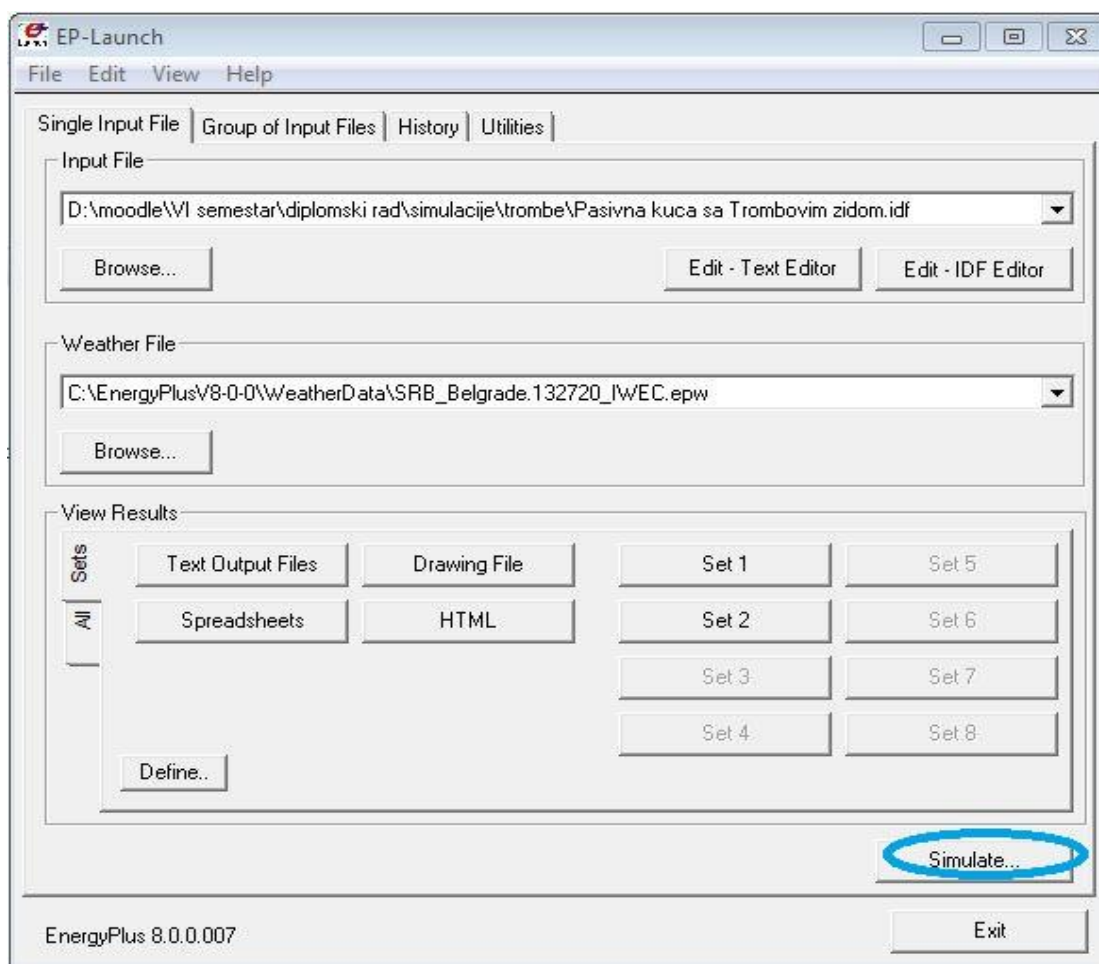
4.3 Симулација

Симулација ће бити успешно извршена уколико су подешавања за грејање, хлађење, Тромбов зид, просторије и омотач зграде тачна. Карактеристике рачунара су дата у следећој табели. Потребно време за извршење симулације је 7,47 секунди.

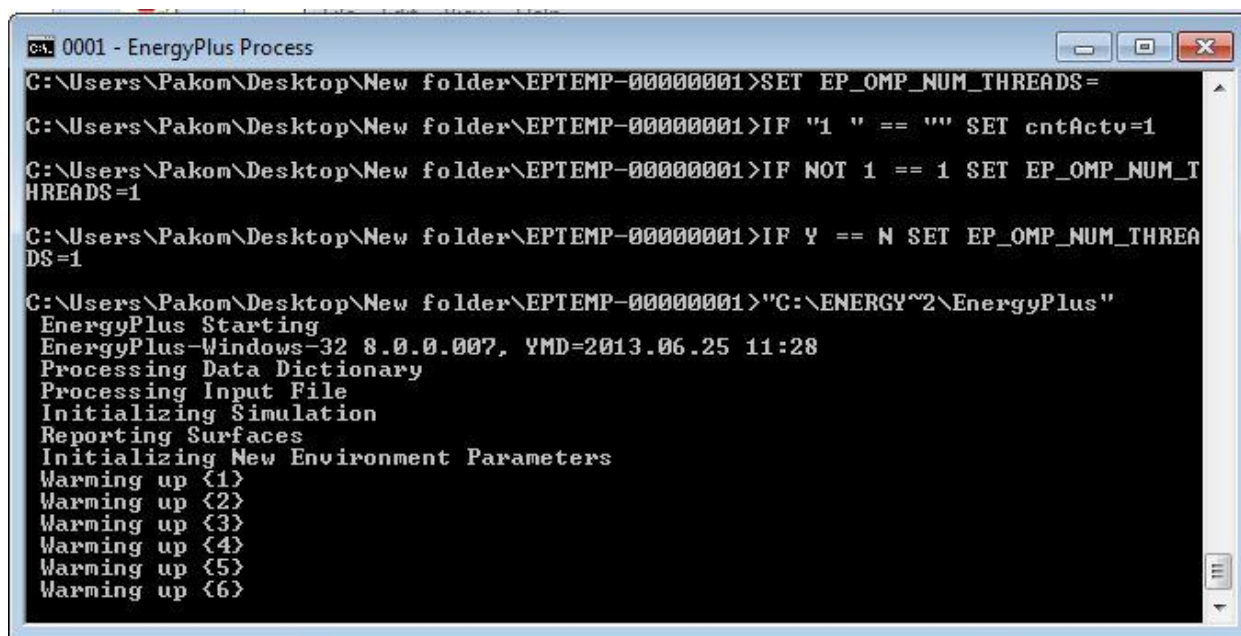
Оперативни систем	Microsoft Windows 7 Ultimate 32-bit SP1
Процесор	Intel i3-330M 2,13GHz
Меморија	4.00 GB Dual-Channel DDR3 @ 532MHz
Хард диск	298GB TOSHIBA MK3265GSX ATA Device (SATA)
Графичка карта	LP156WH2-TLAA (1366x768@60Hz) ATI Mobility Radeon HD 4500 Series

Табела 36. Спецификација коришћеног рачунара

При стартовању одговарајуће .idf датотеке у EP-Launch-у поступак симулације изгледа овако:

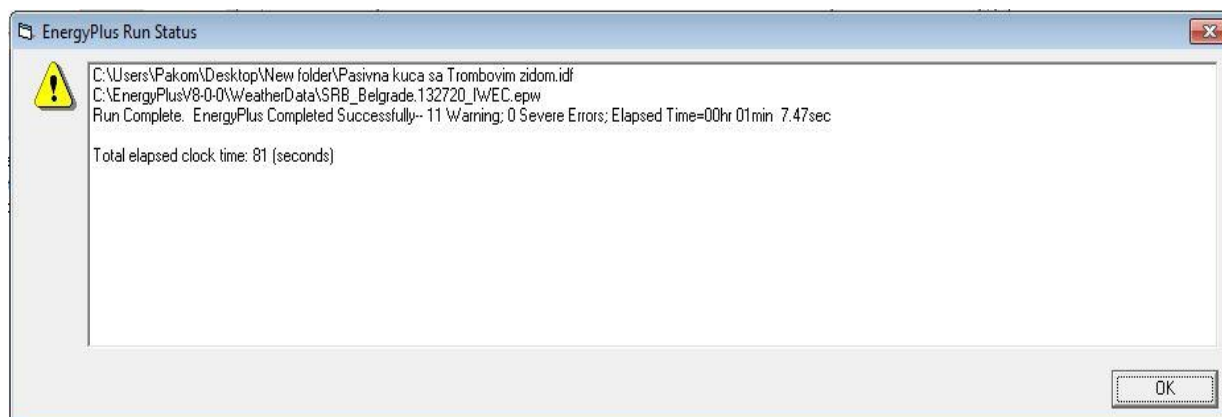


Слика 36. Изглед главног менија



Слика 37. Процес симулирања

Неретко се дешава да се деси нека грешка при задавању геометрије или параметара. Програм аутоматски проналази грешке и прикатује их у error file-у. У error file-у је дат број грешака, опис грешака и место у програму где се налази та грешка. Након тога је потребно наћи и исправити те грешке и поновити симулацију. У случају да нису откљонене све грешке, процес у error file-у се понавља. Симулирање ће бити успешно када се отклоне све грешке. Симулација приказује и упозорења која се могу одклонити али не морају јер битно не утичу на тачност резултата ($\pm 3\%$).



Слика 38. Извештај на крају симулације о могућим грешкама и упозорењима

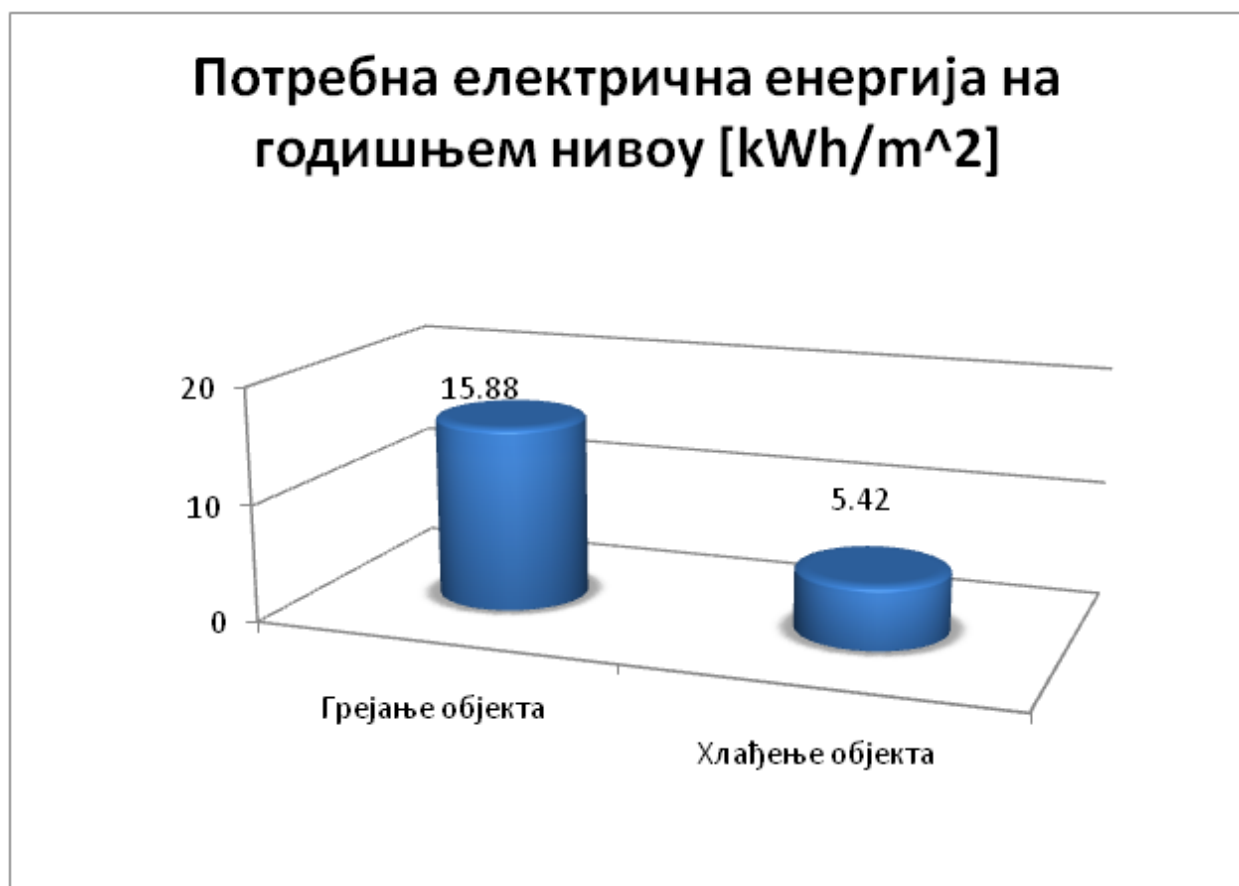
Програм има пар излазних фајлова са различитим подацима програма. То су HTML, excel и Auto Cad фајлови, па је неопходна инсталација Microsoft Office и Auto Cad. Интернет browser је саставни део оперативног система који приказује резултате HTML-у.

5 ДИСКУСИЈА О ДОБИЈЕНИМ РЕЗУЛТАТИМА

После извршења симулације и добијеном узвештају у HTML познати су резултати потрошње електричне енергије на годишњем нивоу. Ради лакшег разумевања, приказали смо их графички у Excel-у.

5.1 Дискусија о потребној електричној енергији

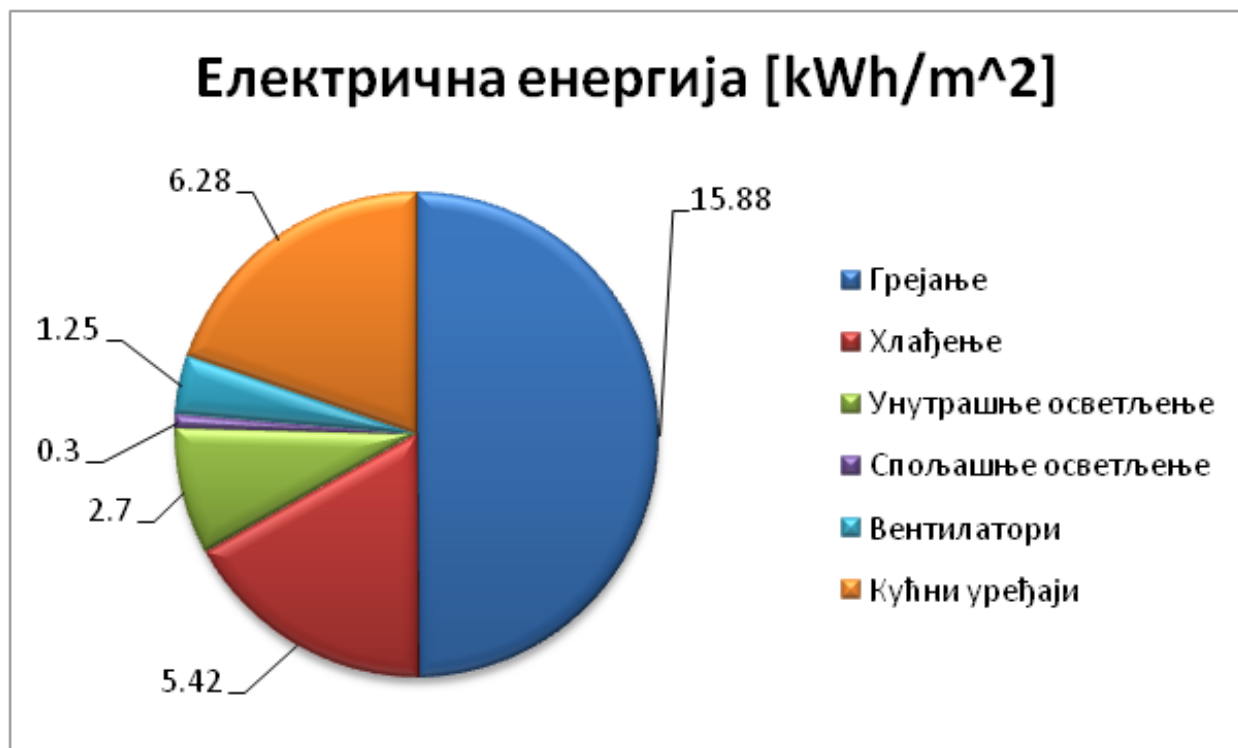
5.1.1 Кућа без соларних система грејања и климатизације



Слика 39. Потрошња електричне енергије за загревање и хлађење објекта без Тромбових зидова и соларног система на годишњем нивоу

Пре него што се крене са дискусијом о уштеди количине енергије у испитиваном објекту, дат је податак о количини потрошње енергије изолиране куће без соларних система грејања и хлађења (Слика 39.). После ових података може се стећи увид у количину потрошње енергије. Потрошња електрична енергија унутрашње опреме (кућни уређаји) је делимично константна за све комбинације пасивних и активних соларних

система у објекту и износи $6,28 \text{ kWh/m}^2$. Разлика је у електричној опреми коју садржи Тромбов зид.



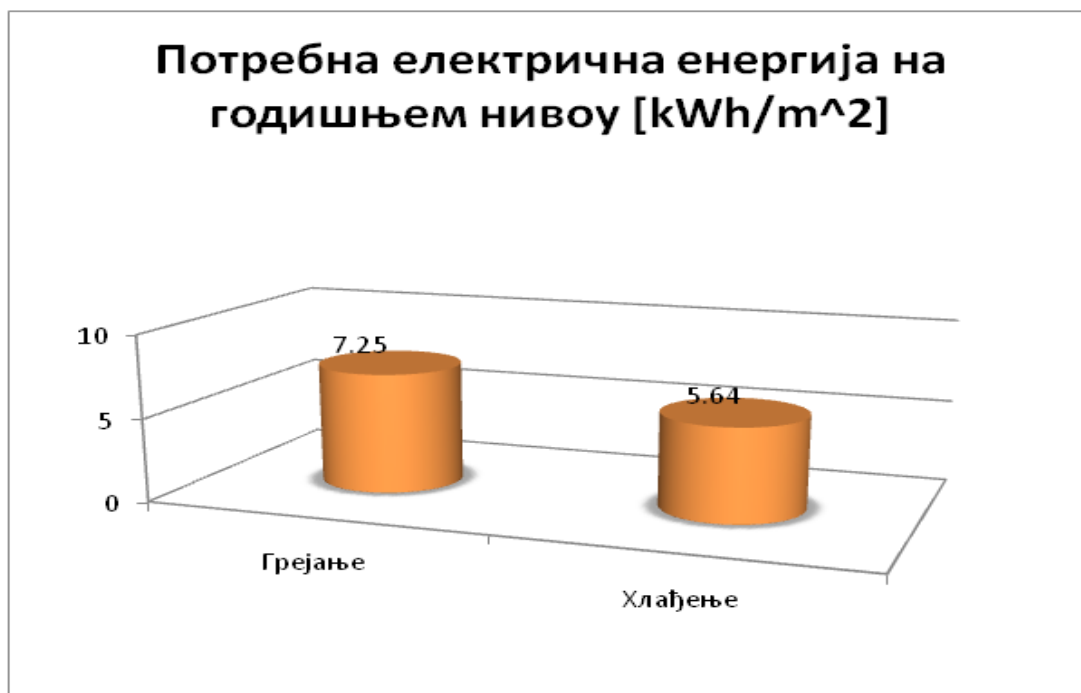
Слика 40. Потрошња електричне енергије по m^2 без Тромбових зидова, на годишњем нивоу

Укупна потрошња електричне енергије куће без Тромбових зидова је $31,83 \text{ kWh/m}^2$.

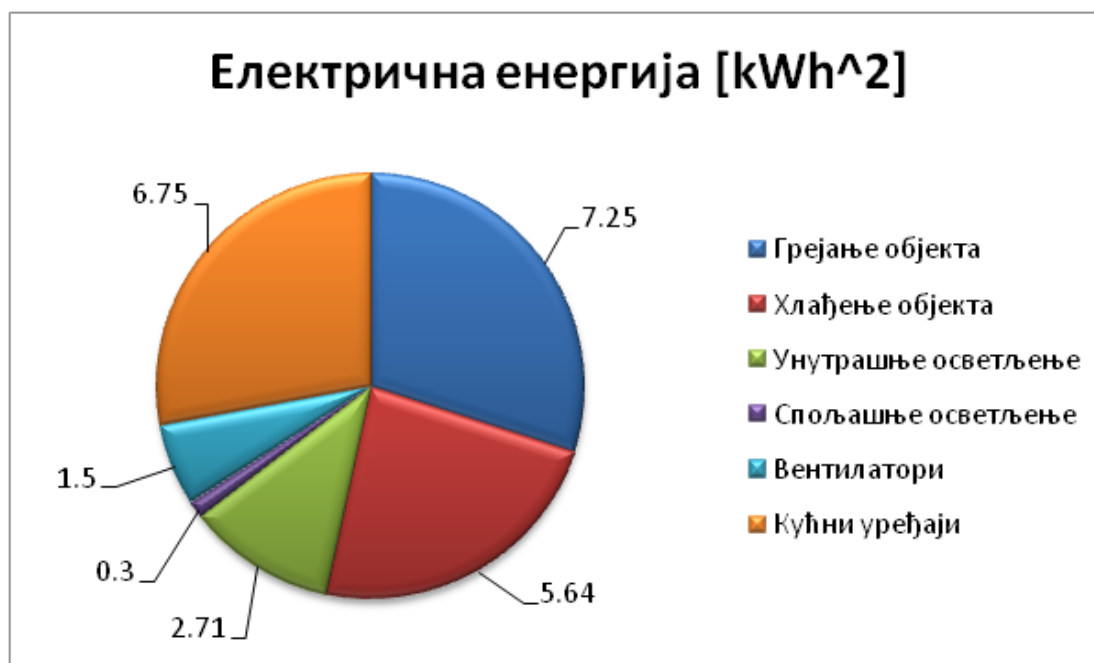
5.1.2 Кућа са Тромбовим зидовима

На приказаној слици 42. у старту се примећује уштеда електричне енергије на грејање код су остале вредности исте, сем потрошње електричне опреме на унутрашњу опрему. Она се разликује због постојања електричне опреме у Тромбовом зиду која служи за замрачење Тромбовог зида. Са два Тромбова зида постиже се уштеда од $8,63 \text{ kWh/m}^2$ на грејање, што преко два пута више од куће без пасивног соларног система. Благи пораст потребне енергије на хлађење је због постојања Тромбових зидова на објекту зато што негативно утичу на кретање потрошње за време летњих дана. Пораст потрошње електричне енергије је $0,22 \text{ kWh/m}^2$. Овај број је занемарљив у погледу уштеде током грејања тако да је разумно користити Тромбов систем на објектима. Елементи

конструкције на Тромбовом зиду су распореда (4mm стакло+18mm ваздушни простор+4mm стакло+13mm ваздушни простор+4mm стакло).



Слика 41. Потребна количина електричне енергије за загревање и хлађење објекта са Тромбовим зидовима објекта на годишњем нивоу

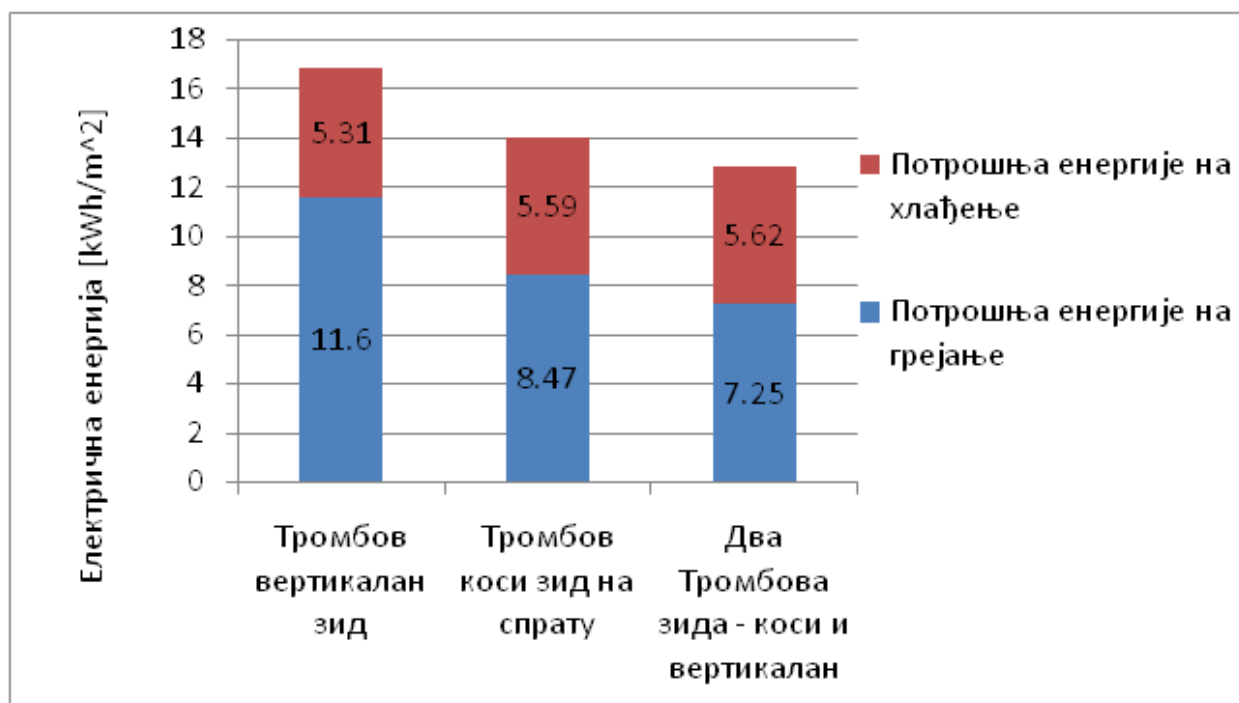


Слика 42. Потрошња електричне енергије по m² објекта са Тромбовим зидовима, годишњем нивоу

Укупна потрошња електричне енергије је $24,15 \text{ kWh/m}^2$. Површина испитиваног објекта је $257,06 \text{ m}^2$.

5.1.3 Најбоље решење појединачних Тромбових зидова на објектима

У овом тексту ће се испитивати економичнији Тромбов зид између вертикалног зида на јужној страни куће површине $20,64 \text{ m}^2$ и косог зида спрата површине $34,31 \text{ m}^2$ који је такође на јужној страни куће.



Слика 43. Потрошња електричне енергије на грејање и хлађење са више примера Тромбовог зида, на годишњем нивоу

Коси вертикалан Тромбов зид има задатак да загреје само спрат тј.једну просторију. На тај начин добијамо повољније резултате уштеде електричне енергије за грејање од $8,47 \text{ kWh}$. Такође се сматра да је додатни разлог боље ефективности косог зида његова површина – $34,31 \text{ m}^2$.

Људи се најчешће одлуђују на овакво решење приликом опасности од разбијања стакла Тромбовог зида на приземљу (пример: Када у кући живе несташна деца или поред прометне улице).

5.1.4 Утицај распореда коришћења куће на грејање и хлађење

Под овом тачком се убрајају кућни уређаји, осветљење и људи, јер све ово утиче на промену потрошње електричне енергије за загревање и хлађење. Сви ови елементи одају неку количину топлоте, што је корисно за грејање у време зимских дана, али могу неповољно утицати на хлађење лети.

	Потребна електрична енергија куће без Тромбових зидова, на годишњем нивоу [kWh ²]	
Објекат на чију потрошњу електричне енергије утичу сви фактори - кућни уређаји, људи у кући, осветљења	15.87	5.41
Потрошње електричне енергије у кући само са осветљењем	33.23	4.28
Потрошња електричне енергије у кући само са кућним уређајима у њој	31.54	4.7
Потрошња електричне енергије у кући у којој се налазе само људи	27.31	5.36
Објекат на чију потрошњу електричне енергије не утичу кућни уређаји, људи у кући и осветљење	34.44	4.08
	Грејање	Хлађење

Табела 37. Утицај електричне опреме, људи и унутрашњег осветљења на загревање и хлађење куће без Тромбових зидова, на годишњем нивоу

У табели 38. је приказана промена укупне потрошње електричне енергије, као и електричне енергије за грејање и хлађење куће без Тромбових зидова. Када су у кући

заступљени сви фактори, потребна електрична енергија за грејање је сведена на минимум од $15,87 \text{ kWh/m}^2$. Највећа уштеда при загревању објекта се постиже боравком људи у кући, јер повећање потрошње најмање, на $27,31 \text{ kWh/m}^2$. На другом месту су кућни уређаји са смањеном потрошњом на $31,54 \text{ kWh/m}^2$, док је на трећем месту унутрашње осветљење са смањеном потрошњом $33,23 \text{ kWh/m}^2$. Када објекат не поседујеле електричне уређаје, осветљење, као ни присуство људи у њему, потрошња је $34,44 \text{ kWh/m}^2$. Најнеповољније утицај на хлађење објекта је присуство људи у њему са $5,36 \text{ kWh/m}^2$, па кућни уређаји са $4,7 \text{ kWh/m}^2$. Најмање загревање чини унутрашња опрема са $4,28 \text{ kWh/m}^2$ на годишњем нивоу.

	Потребна електрична енергија куће са Тромбовим зидовима, на годишњем нивоу [kWh^2]	
Објекат на чију потрошњу електричне енергије утичу сви фактори - кућни уређаји, људи у кући, осветљења	7.25	5.64
Потрошње електричне енергије у кући само са осветљењем	12.79	4.67
Потрошња електричне енергије у кући само са кућним уређајима у њој	11.71	5.16
Потрошња електричне енергије у кући у којој се налазе само људи	9.39	5.75
Објекат на чију потрошњу електричне енергије не утичу кућни уређаји, људи у кући и осветљење	13.52	4.47
	Грејање	Хлађење

Табела 38. Утицај електричне опреме, људи и унутрашњег осветљења на загревање и хлађење куће са Тромбовим зидовима, на годишњем нивоу

У табели 39. приказана је промена укупне потрошње електричне енергије, као и електричне енергије за грејање и хлађење куће са Тромбовим зидовима. Када су у кући заступљени сви фактори, потребна електрична енергија за грејање је сведена на минимум од $7,25 \text{ kWh/m}^2$. Највећа уштеда при загревању објекта се постиже боравком људи у кући, јер повећање потрошње најмање, на $9,39 \text{ kWh/m}^2$. На другом месту су кућни уређаји са смањеном потрошњом на $11,71 \text{ kWh/m}^2$, док је на трећем месту унутрашње осветљење са смањеном потрошњом $12,79 \text{ kWh/m}^2$. Када објекат не поседује електричне уређаје, осветљење, као ни присуство људи у њему већ сами Тромбове зидове, потрошња је $13,52 \text{ kWh/m}^2$. Најнеповољније утицај на хлађење објекта је присуство људи у њему са $5,75 \text{ kWh/m}^2$, па кућни уређаји са $5,16 \text{ kWh/m}^2$. Најмање загревање чини унутрашња опрема са $4,67 \text{ kWh/m}^2$ на годишњем нивоу.

Распоред елемената куће по неповољном утицају је исти за објекат са Тромбовим зидом и за објекат без Тромбових зидова. Код Тромбових зидова постоји благи пораст потребне електричне енергије за хлађење и дупло мања потребна енергија за грејање, што је у овом раду раније описано.

5.1.5 Утицај фотонапонских панела на Тромбов зид

Са слике смо видели да су фотонапонски панели постављени на Тромбов зид и притом онемогућују сунчевим зрацима да падају на стакло зида. У сличају да је мања уштеда електричне енергије за загревање и хлађење објекта помоћу Тромбовог зида од произведене електричне енергије помоћу фотонапонских панела на Тромбевом зиду, тај соларни систем неће бити исплатив. Даље, рачуна се разлика између произведене електричне енергије фотонапонских панела у негативног утицаја истих тих панела на Тромбов зид. Добијени резултат је чист добит у односу на објекат са само Тромбовим зидовима.

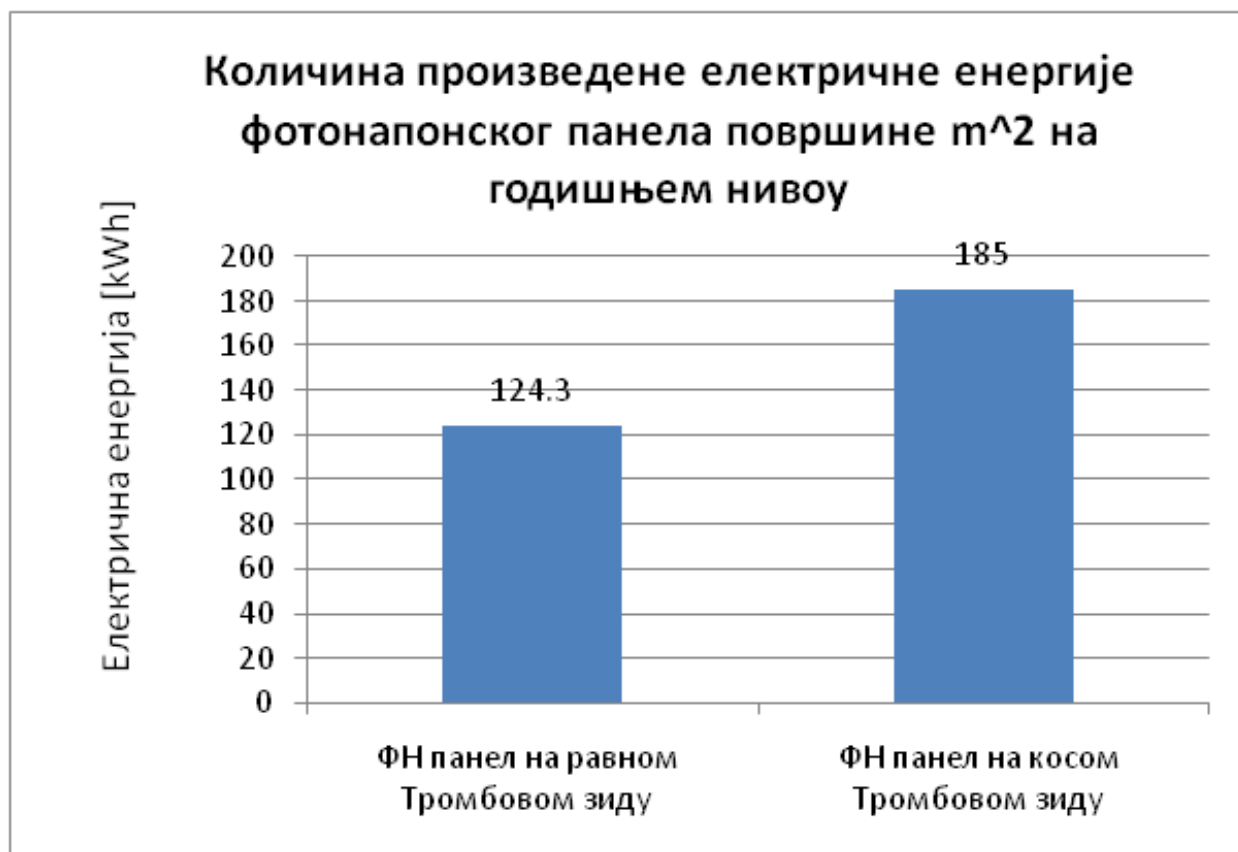
Површина ФН панела на Тромбовом косом зиду [m^2]	0	6	12	20	28	32	33.2	33.6
Потрошња електричне енергије за загревање куће на годишњем нивоу [kWh/m^2]	7.2525	7.2544	7.2546	7.2598	7.2665	7.2699	7.271	7.2714
Потрошња електричне енергије за хлађење куће на годишњем нивоу [kWh/m^2]	5.6385	5.6383	5.6383	5.6365	5.6358	5.6349	5.6349	5.6348

Табела 39. Утицај ФН панела на ефикасност Тромбовог зида(постављени на косом Тромбовом зиду)

Примећује се благи пораст потребне електричне енергије за загревање јер нема довољно сунчевог зрачења. Панели су прекрили површину Тромбовог зида. Са повећавањем површине панела повећава се утрошак kWh-ова за загревање. За време летњих дана фотонапонски панели повољно утичу на потрошњу струје за хлађење. Служе као застор, спречавају сунчеве зраке да делују на Тромбов зид. Из табеле се види да је веома мали утицај ФН панела потрошњу електричне енергије са $34,44 \text{ m}^2$ фотонапонских панела на косом Тромбовом зиду. Потребно је $0,15$ динара/ m^2 за загревање и $0,029$ динара/ m^2 за хлађење објекта више него за кућу без ФН панела.

5.2 Одређивање положаја и број потребних фотонапонских панела, као и примери произведене електричне енергије

Панели ће бити орјентисани на јужној страни куће, у комбинацији са Тромбовим зидова од којих се један налази на косом зиду спрата а други на вертикалном зиду приземља. Да би инвестиција била исплатива, и притом се зарадило, тражи се најбољи положај за инсталацију фотонапонских панела. Мисли се на положај са најбољим углом падања сунчевих зрака – највише произведене електричне енергије.



Слика 44. Количина произведене електричне енергије соларног панела површине m^2 , на месечном нивоу

Уз помоћ симулације у EnergyPlus-а добијем је податак да су панели на косом Тромбовом зиду за скоро 40% ефикаснији од панела на равном Тромбовом зиду. Један ФН панел на косом зиду произведе 185,04 kWh годишње, што је 2,98% укупне потребне електричне енергије објекта у периоду од годину дана. ФН панел на вертикалном зиду произведе 124,32 kWh годишње, то је 2,01% потребне електричне енергије за годину дана на кући.

$$\frac{100\%}{4,89\%} = 20,44 = 21 \text{ ФН панела}$$

$$\frac{100\%}{3,28\%} = 30,48 = 31 \text{ ФН панела}$$

Исплативије је поставити панеле на коси Тромбеов зид из више разлога, мада је довољан податак да производи више електричне енергије. Да би се задовољиле потребе куће, у случају постављања ФН панела на вертикалном Тромбовом зиду, потребно је 31 панел. То је за око 30% већа инвестиција на ФН панеле, тачније 212394 динара више него када се постављају панели на коси Тромбеов зид. Још један, у овом случају, не толико важан

податак, вертикалан Тромбов зид је површине $20,64 \text{ m}^2$, а потребна површина за панеле је $50,84 \text{ m}^2$.

Логички је закључено да ће се ФН панели поставити на коси Тромбеов зид који је површине $34,31 \text{ m}^2$. Потребна су 21 фотонапонска панела која заузимају површину $34,44 \text{ m}^2$. Фотонапонски панели прећи прето Тромбеовог зида са доње стране за $0,13 \text{ m}^2$.



Слика 45. Површине соларних система са количином произведене електричне енергије на месечном нивоу

На табели .су дати неки од примера површина фотонапонских панела са произведеном електричном енергијом на месечном нивоу ради лакше орјентације корисника у смислу планирања корисне површине крова према потрошачима електричне енергије у објекту.

5.3 Коришћени Off-grid соларни систем

Систем укључује:

- 16 ФН модула од 250W
- Mini Magnum MS4448 PAE Power Center +(Magnum BMK Battery Monitor, Mldnite Classic Charge Controller, ME-ARC 50 Inverter Remote Control)
- Wiring Diagram
- Magnum Energy Auto Gen Start
- UPG Battery Bank
- Magnum ME-BMK Battery Monitor Kit
- 16 USA Made VS Flush Mount Racking Per 60 Cell Black рамови за панеле

АС соларни систем за вашу кућу: Овај Off-grid соларни систем садржи 16 фотонапонских модула снаге 250 W са синусоидним инвертором који даје довољно снаге за све уобичајне кућне уређаје са наизменичном струјом. Без проблема се може користити фрижидер, стерео систем, светла, телевизор, машина за веш, и остали потребни уређаји.

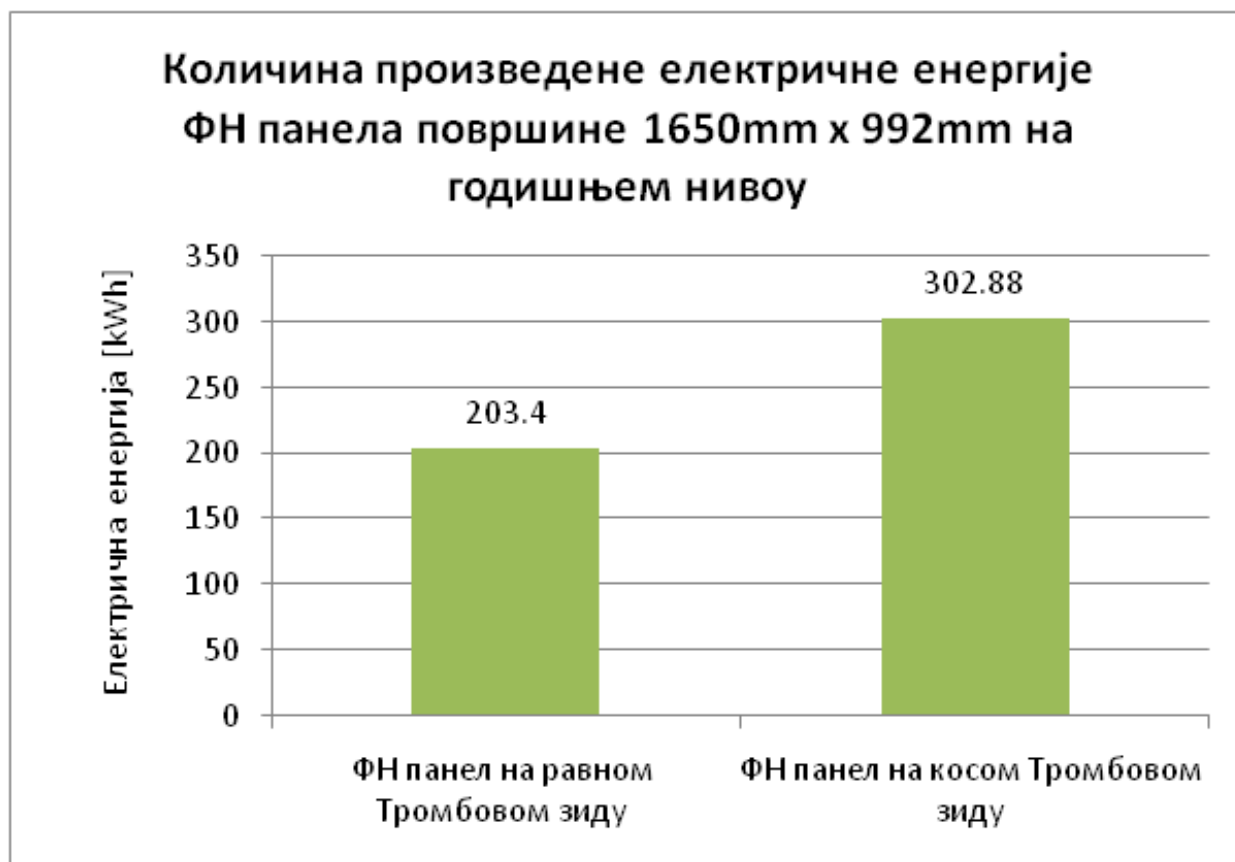
Права синусоида: Чиста синусоидна снага из Magnum Energy инвертора је срце поменутог off-grid соларног система. Овај инвертор конвертује једносмерну струју насталу у ФН модулима у наизменичну струју која је компатибилна за електричне уређаје типа телевизор и стерео систем. Такође, уређаји неће имати мрежне сметње (лоша фреквенција, слаб пријем програма).

Лака инсталација: Овај потрошни систем се испоручује се унапред повезан у пакету Mini Magnum MS4448 PAE Power Center, који осигурава брзу инсталацију. Систем су претходно испитао тим стручњака 4 Star Solar OEM. Испитане су све безбедносе компоненте, које вам штеде време, новац, и елиминише ризик да вам прегори инвертор.

120/240-волтни систем наизменичне струје: Овај off grid систем доспрема пуну снагу до 240V или 120 V, при чему производи 543 kWh електричне енергије сваког месеца.

- Astronergy CHSM 6610P 250-watt соларни панели

Ови панели су квалитетни 60-ћелијни поликристални модули који су компатабилни за већину кућних или пословних објеката. Димензије ФН палела су 1650 mm x 992mm x40 mm. Панели вам гарантују ефикасност од 90% своје оцењене снаге у првих десет година, док од десете до двадесетпете године гарантује 80% продуктивности. Од двадесетпете до тридесете године радног века произвођач не гарантује процентуалну вредност произведене електричне енергије али ће панел свакако имати продуктивност. Пошто се користе у off-grid систему, радни век панела је и до 30 година.



Слика 46. Количина произведене електричне енергије ФН панела површине 1650mm x 992mm, на месечном нивоу

Са слике се види да је један овакав панел, постављен на коси Тромбов зид, способан да произведе 302,88 kWh месечно, што је 4,89% укупне потребне електричне енергије за годину дана. Када се постави исти тај панел на вертикалан Тромбов зид у стању је да произведе 203,4 kWh месечно, или 3,28% потребне електричне енергије за годину дана.

- Midnite Solar Classic MPPT контролер пуњења

Ово је нова генерација MPPT контролера пуњења - Midnite Solar's Classic Charge Controller – ствара обновљиву електричну енергију одрживом и доступнијом него раније. Midnite Solar Classic MPPT контролер пуњења се користи у систему панела са великом волтажом. Користи се не само у соларним, већ и у ветро и хидросистемима. Још један значајан напредак код Classic-а је способност даљинског приступа соларном систему користећи интернет. Ако је корисник ван града, може да позове систем и пријави неправилности у раду и вратити га у стању нормалног рада. Ако систем има довољни или вишак енергије, корисник има могућност да активира посебан додатак - snow-melting, у случају да није кући.

- WSS Mini Magnum MS4448 PAE Power Center

У склопу овог уређаја улази: Magnum Energy MS4448PAE инвертор, Magnum Energy ME-ARC 50 даљински инвертора, Magnum ME-BMK монитор на коме се прати количина струје у батеријама, Midnite Solar Classic MPPT контролер пуњења.

- Magnum Energy Auto Gen Start генератор

Подобан је за Offgrid кућне системе зато што одржава, када је то потребно, батерије пуним када корисник није кући да прочита стање батерија. Може бити миран јер Auto Gen Start препознаје када је фрижидер остао без струје. Овај паметни уређај зна да је време да допуни батерије потребном електричном енергијом за кућне уређаје. Стартна волтажа је од 10-12 VDC или 20-22 VDC, док му је стартна температура од 65-85 °F. Генератор се може подесити да ради од 1-5 h, помоћу веома једноставних функција.

5.3.1 Цена Offgrid система

Astronergy CHSM 6610P 250-watt соларни панели	21комад *186€ = 3906€
UPG UB-GC2 AMG Battery Bank	16 комада = 2773€
Magnum Energy Auto Gen Start генератор	198€
WSS Mini Magnum MS4448 PAE Power Center + (Magnum BMK Battery Monitor, Midnite Classic Charge Controller, ME-ARC 50 Inverter Remote Control)	3845€
Magnum ME-BMK Battery Monitor Kit	135€
USA Made VS Flush Mount Racking Per 60 Cell Black рамови за панеле	80€
УКУПНО:	10937 € = 1248900 динара

Табела 40. Укупна цена соларног Offgrid соларног система

Да би соларни систем намирио годишњу потребу куће за електричном енергијом, соларни систем садржи 21 фотонапонски панел, као и 16 батерија за складиштење електричне енергије.

5.3.2 Месечна уштеда

Месечна уштеда се добија тако што се месечна потрошња kWh-ова помножи са ценом kWh коју одређују државни надлежни органи.

Испитивана кућа се налази у „плавој зони“ потрошача електричне енергије. Коришћена је цена kWh једнотарифног мерења од 7,89дин/ kWh. Месечна потрошња објекта је 516 kWh.

$$516 \text{ kWh} \cdot 7,89 \text{ динара} = 4072 \text{ динара} = 35,66 \text{ €}$$

5.3.3 Payback период

Payback период је у првом рачуну изражен у месечној вредности која се дели са 12 за годишњу вредност, која је власнику појмивија.

$$\text{Payback период} = \frac{\text{цена}}{\text{месечна добит}}$$

$$\text{Payback период} = 10937 \text{ €} / 35,66 = 306,7 \text{ месеци} = 25,5 \text{ година}$$

Ово није резултат којим би се корисник соларног система поносио. Да би оваква инвестиција била повољнија потребна је већа потрошња електричне енергије, како би месечна уштеда била већа. Наравно, већа потрошња иштудева јачи соларни систем са више ФН панела и батерија. Соларни панели су јефтини у односу на друге компоненте система, као и батерије. Треба имати у виду да је потребан бољи инвертор, генератор и сл. али су сви они приближно исте цене за све Offgrid системе. Долази се до закључка да раст цене коштања соларног система не расте аналогно са месечном потрошњом струје (уштеда). Са повећавањем потрошње електричне енергије Payback период „експоненцијално“ опада јер се у инвестицију улази цена фотонапонских панела. Тек при укупној снази панела од 7000-7500W се мора користити Dual инвертор са додацима који је за око 2000€ скупљи од тренутног, и боље и јаче батерије које су такође скупље.

5.3.4 Зарада на Offgrid систему

Фотонапонски панели који су у мрежи у могућности су да произведу 527,1 kWh месечно, док је за ову породичну кућу потребно 516 kWh. Приликом опадања прорачунате

ефективности панела и даље су у могућности да снабду потрошаче потребном електричном енергијом. Уобичајно је да радни век кућних соларних система дужи од Ongrid система. Процењује се на 30 година експлоатације, стим сто је од двадесетпете године смањена ефективност на неких 75%, што не значи да не може бити виша вредност од 75%.

Пошто је Payback период процењен на 25,5 година, остало је још 4,5 године коришћења соларног система са смањеном продуктивношћу. Када претворимо то у месеце, остаје 54 месеци експлоатације.

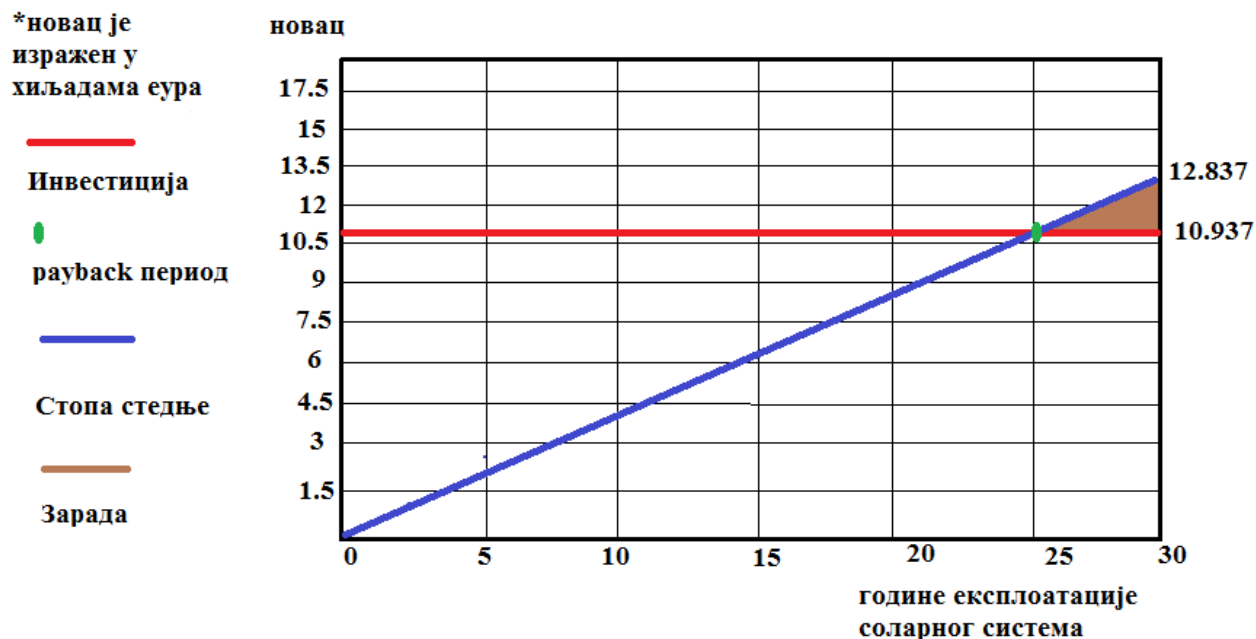
$$54 * 527,1 \text{ kWh} = 28463,4 \text{ kWh}$$

$$28463,4 \text{ kWh} * 7,89 \text{ дин/kWh} = 224576,2 \text{ динара}$$

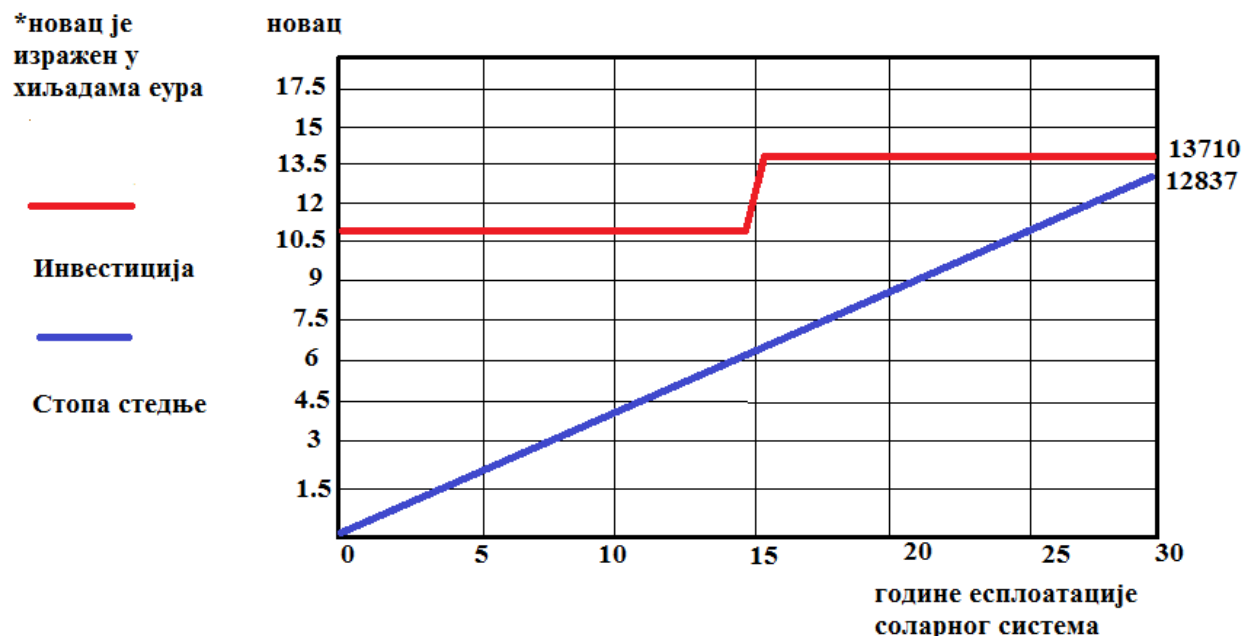
Добијен је резултат зараде када ФН панели са 100% могуће корисности стварају електричну енергију. Да би се добио реалан број kWh који у том тренутку панели могу да произведу помножићемо претходно добијени резултат са 0,75 (=75%).

$$224576,2 * 0,75 = 168432 \text{ динара} = 1475 \text{ €}$$

Наравно, кумулативно инвестирање ће направити један битан скок онда када дође до инвестирања у нове батерије, јер је њихов век експлоатације између 5-15 година и у многоне зависи од начина употребе. [15] То је нови трошак од 2773€, при чему се улази у минус од 1298€. Соларни систем је неисплатив.



Дијаграм 1. Payback период и зарада на соларном систему



Дијаграм 2. Payback период и зарада на соларном систему са додатном инвестицијом за нове батерије после 15 година коришћења

5.4 Коришћени Grid tie (умрежени) соларни систем

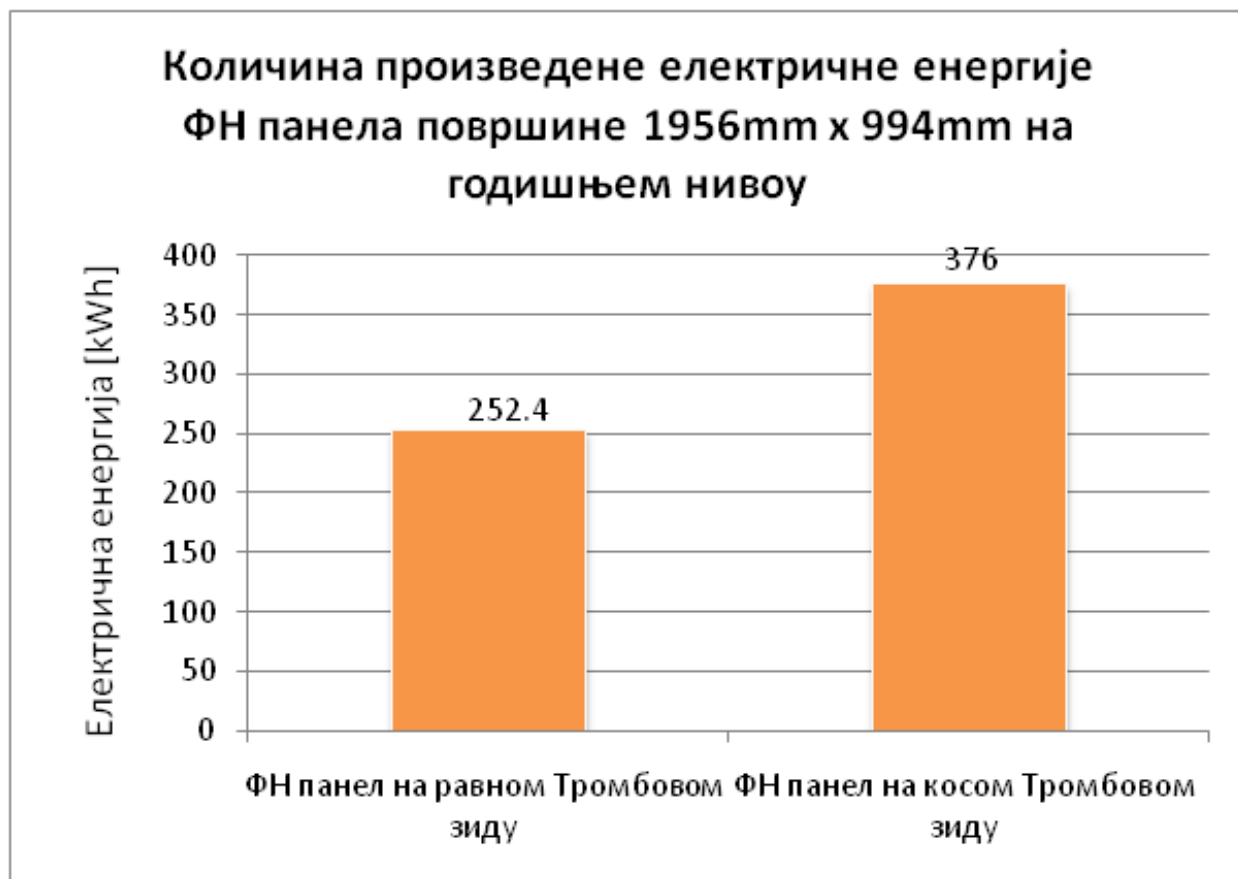
У склопу овог система улази:

- 15 поликристалних Astronergy фотонапонских панела јачине 290W
- 15 SolarEdge PowerBoxes кућишта за инсталацију
- SolarEdge 5.0KW SE5000A-US Gridtied инвертор
- Square-D 240V and 600V NEMA 3R сигурносни прекидач на електричној мрежи
- Каблови и конектори фотонапонских панела
- CHSM 6612P module 290-watt фотонапонски панел

Ова група панела је тронутно једна од најбољих на тржишту. Садрже 72 модула који могу бити укупне јачине 275W, 280W, 285W 290W, и погодан је за кућу или веће комплексе. Направљен је од високоиздрживог рама који без проблема одолева временским непогодама. На овај соларни панел се добија гаранција од 90% ефективности у првих 10 година, 80% могуће ефективности у других 15 година. У сличају да корисник нема гарантовани процентуални учинак, компанија која производи ове панеле Astronergy покрива корисников губитак или замењује проблематичну компоненту у систему.

Модел	W	Amps	V	Димензија [mm]
CHSM 6612P module 290-watt	290	8.15	35.08	1956x994x50

Табела 41. Фотонапонски панел Grid tie соларног система



Слика 47. Количина произведене електричне енергије ФН панела површине 1956mm x 994mm, на месечном нивоу

Фотонапонски панел од 290W на вертикалном Тромбовом зиду произведе 252,4 kWh годишње, тј. чини 3,85% потребне енергије објекта. Када се постави на повољнији положај, коси Тромбов зид, месечно произведе 376 kWh. Та количина електричне енергије чини 5,74% потребне енергије куће. Испитивање је вршено на подручју Београда.

- Square-D 240V and 600V NEMA 3R сигурносни прекидач на електричној мрежи

Овакви соларни системи захтевају АС сигурносну on/off конекцију, између инвертора и мреже. Овај уређај је лак за руковање. Овај 30-амп 240-volt-ни дисконектор је довољан за 5 kW на 240 VAC, док је 60- амп довољан за систем до 11 kW.

- SolarEdge 5.0KW SE5000A-US Gridtied инвертор

Ово је нова генерација инвертора на коме се можете ослинити у сваком тренутку, лак за инсталацију у мрежи, компактан. На њему се могу повезати фотонапонски панели различитих снага птреки свог SolarEdge PowerBox система. Инвертор осигурава висикоквалитетнан рад (око 97%). То значи да ће свој посао одговорно извршавати на великим мразевима, као и на великим температурама. SolarEdge PowerBox инвертора омогућава да корисним има увид у рад сваког умреженог панела појединачно. Такође, корисник добија апликацију и линк на ентернету помоћу кога „прати“ свој соларни систем. Уколико је проблем на мрежи софтверске пророде, у могућности је да проблем реши преко телефона.

5.4.1 Цена Grid tie соларног система

20 Astronergy фотонапонских панела јачине 290W	
15 SolarEdge PowerBoxes кућишта за инсталацију	
SolarEdge 5.0KW SE5000A-US Gridtied инвертор	
Square-D 240V and 600V NEMA 3R сигурносни прекидач на електричној мрежи	
Каблови и конектори фотонапонских панела, рамови	
Укупно:	6757 € = 771582 динара

Табела 42. Укупна цена Grid tie соларног система

Америчка компанија Astronergy је представила цену целог соларног система. Инжињери чија је специјалност соларна енергија је комбинацијама дошла до најбољег решења, тако да де корисник не мора мучити по питању компонената.

5.4.2 Месечна уштеда, зарада на мрежном соларном систему

Месечна уштеда Grid tie и Off grid соларног система се на рачуна на исти начин. Извршни органи Србије су одредили да kWh из соларног система који се испоручује мрежи вреди 0,18 €. Испитивана кућа је у плавој зони потрошача, са једнотарифном струјом при којој kWh износи 7,89 динара.

$$0,18 \text{ €} = 20,56 \text{ динара}$$

$$1 \text{ kWh} = 20,56 \text{ динара из електричне мреже}$$

$$1 \text{ kWh} = 7,89 \text{ динара из соларног система}$$

Испитивани објект месечно потроши 516 kWh, а 20 фотонапонских панела произведу 624,7 kWh. У месечну уштеду спадају 516 kWh произведених у соларном систему, а преосталих 105,7 kWh су чиста зарада. Ових 105,7 kWh се шаљу у електричну мрежу по цени од 20,56 динара.

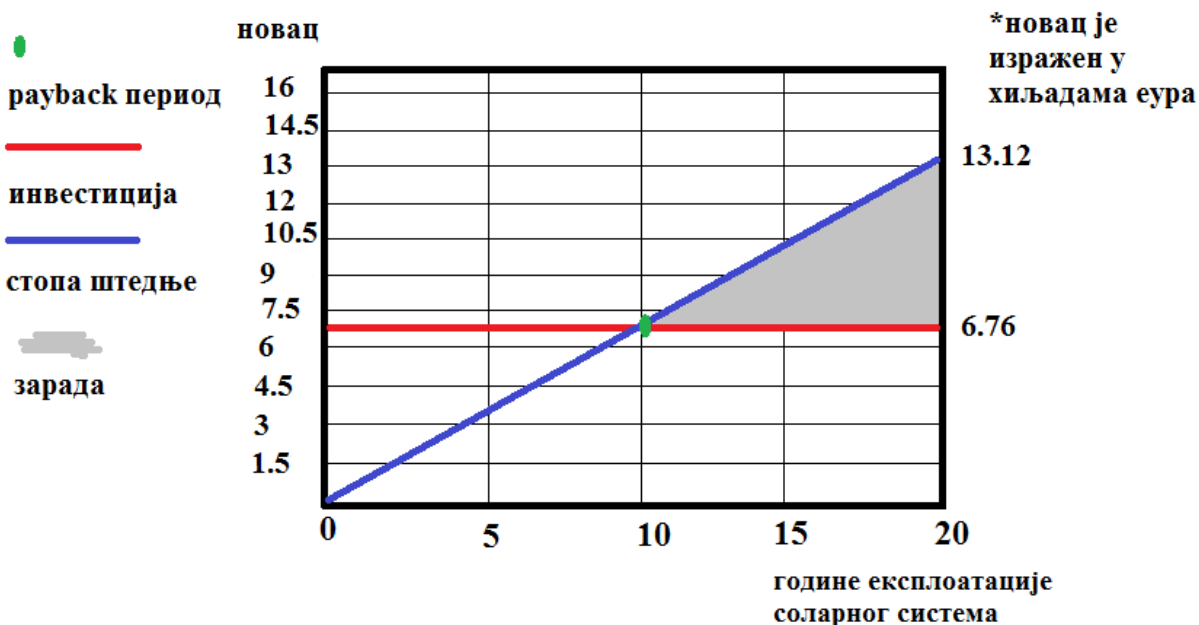
$$624,7 \text{ kWh (укупно произведено у Grid tie систему)} - 516 \text{ kWh (потрошња куће)} = 105,7 \text{ kWh (вишак)}$$

Месечна уштеда се множи са 7,89 динара јер би се у супротном за исту ту енергију из мреже плаћало толико. Вишак енергије се множи са 20,56 динара, при чему се добија чиста зарада. На месечном нивоу је уштеда 4072 динара. Зарада на овом систему је 2173 динара.

5.4.3 Payback период

У периоду повраћаја новца неће се користити термин чисте зараде јер ће се све рачунати као уштеда. Тек након повраћаја инвестиције може се рећи да постоји уштеда и зарада. Сабраће се сви добици које се деле са инвестицијом ради проналаска времена исплативости, који чине 6245 динара (=54,7 €).

$$\text{Payback период} = 6757 \text{ €} / 54,7 = 123,5 \text{ месеци} = 10,3 \text{ година}$$



Дијаграм 3. Payback период и зарада на Grid tie (мрежном) соларном систему за време експлоатације од 20 година

На следећем дијаграму су упоређене потрошње, уштеде и зарада на електричној енергији како би будући корисници у Београду, па и у Србији, увидели које је решење најбоље. Ово улагање би се исплатило за 10,3 године. У односу на off grid системе, не треба се ни размишљати о обостраним предностима и недостацима јер је grid tie (мрежни) систем далеко бољи.

6 ЗАКЉУЧАК

У раду је анализиран утицај Тромбових зидова и ФН панела на термичко понашање куће, првенствено на потрошњу енергије за грејање и хлађење. Коришћењем програма као што су EnergyPlus и Google SketchUp са додатком Open Studio плуг ин-ом, дефинисали смо материјала и конструкције куће и Тромбовог зида који састоји се од армираног бетона обојеног у црно, дебљине 0.3m, испред којег је постављено троструко застакљење 4+18+4+13+4mm на 100mm од зида. Даљим анализирањем дебљине слојева у конструкцији смо дошли до оптималне дебљине и конструкције Тромбовог зида 4+18+4+15+4mm. Упоредили смо куће са различитим положајима Тромбових зидова и положајима ФН панела. Резултати су приказали уштеду енергије са Тромбовим зидом од 8,63 kWh/m² у односу на кућу без Тромбовог зида.

У поменутим програмима смо дефинисали конструкцију и положај ФН панела и пратили понашање на кући. Добијени резултати доказују да је најбољи положај фотонапонских панела на јужном косом Тромбовом зиду због угла између панела и сунчевих зрака.

Ови резултати приказују могућност инсталирања Тромбових зидова за грејање објекта и ФН панела за повраћај утрошене електричне енергије, али је зарада малих размера од 1475€. Ако се после 15 година купе батерије, корисник ће бити у минусу. Не препоручује се инсталација Off grid система чак и ако се не купују нове батерије, због смањене функционалности и мале зараде и велике инвестиције. Зарада би се увећала када би објекат био већи потрошач електричне енергије. Стартни трошкови не расту аналогно да растом уштеде електричне струје.

Разматран је случај уградње Grid tie (мрежног) соларног система у објекат. Ово решење се показало као рационалан избор за улагање новца. Радни век система је најмање 20 година а време отплате је 10,3 година. Све после тога је зарада, солидна зарада.

Друштво би требало више размишљати у правцу искоришћења соларне енергије. Пре свега се мисли на пасивне соларне системе јер се они уграђују при уградњи објекта, у већини случајева.

7 РЕФЕРЕНЦЕ

- [1] Željko Koški, Gorana Zorić, AKUMULACIJA SUNČEVE ENERGIJE U OBITELJSKIM PASIVNIM KUĆAMA, e-GFOS, Vol.1 No.1 2010., Str. 80 - 92
- [2] Wikipedia.rs
<http://sr.wikipedia.org/sr/%D0%95%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%98%D0%B0> (25.04.2013.)
- [3] Solar Energy, Sunčeva energija, http://www.centrala.org.rs/knjiga%20liber%20perpetuum/02Sunčeva_energija_Solar_Energy.pdf (25.04.2013.)
- [4] Ljubisav Stamenić, KORISĆENJE SOLARNE FOTONAPONSKE ENERGIJE U SRBIJI, Jefferson Institute, DECEMBAR 2009.
- [5] GRAĐEVINSKA DIREKCIJA SRBIJE ~jednostavno pametnije~ Na osnovu rada autora Dr Volfganha Fajsta, priredili S. Marković i D. Vasović, год
- [6] Слободан Зрнић; Живојин Ћулум; Грејање и климатизација са применом соларне енергије, осмо издање. (ИСБН 86-23-43015-8)
- [7] Međunarodno savetovanje u organizaciji Saveza energetičara; Zlatibor, 23.03.-26.03.2010. pod pokroviteljstvom Ministarstva rudarstva i energetike, Ministarstva nauke i tehnološkog razvoja, Ministarstva životne sredine i prostornog planiranja, Ministarstva ekonomije i regionalnog razvoja, PKS, JP EPS, NIS a.d. Novi Sad, JP EMS, JP Srbijagas
- [8] <http://www.mikrokuca.com/?P=780> (11.05.2013.)
- [9] Jovan Mikulović, Željko Đurišić, Statistička metoda za procenu proizvodnje električne energije iz fotonaponskog sistema, INFOTEH-JAHORINA Vol. 11, March 2012.
- [10] Милош Миловановић, Утицај Тромбовог зида на термичко понашање куће и потрошњу енергије (Мастер рад), Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2013.
- [11] ROI, solarna energija i povraćaj investicije – deo II
<file:///H:/ROI,%20solarna%20energija%20i%20povracaj%20investicije%20-%20deo%20II%20%20%20www.solarnipaneli.org.htm> (12.05.2013.)
- [12] Basak Kundakci Koyunbaba, Zerrin Yilmaz , The comparison of Trombe wall systems with single glass, double glass and PV panels , Renewable Energy, Volume 45, September 2012, Pages 111–118
- [13] Anonymous, ENERGYPLUS, Input Output Reference - The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output, University of Illinois & Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009.

[14] Milorad Bojić, Dimitri Bigot, Frederic Miranville, Alexandre Parvedy-Patou, Jasna Radulović, Optimizing performances of photovoltaics in Reunion Island—tilt angle, Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). DOI: 10.1002/pip.1159, 2011.