

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Горан В. Сентић

**АНАЛИЗА ПОТРОШЊЕ ЕНЕРГИЈЕ У СТАКЛЕНИКУ
СА ФОТОНАПОНСКИМ ПАНЕЛИМА**

Мастер рад

Крагујевац, 2018.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Соларна техника

Број индекса: 2016/2016

Горан В. Сентић

АНАЛИЗА ПОТРОШЊЕ ЕНЕРГИЈЕ У СТАКЛЕНИКУ СА ФОТОНАПОНСКИМ ПАНЕЛИМА

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. др Данијела Николић, доцент - ментор

Датум одбране: _____

2. _____

Оцена: _____

3. _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да прикаже резултате анализе потрошње и производње енергије у соларном стакленику са системом фотонапонских панела, за различите случајеве оријентације стакленика и различите нагибе фотонапонских панела. Такође је потребно извршити енергетску анализу стакленика за различиту ефикасност фотонапонских ћелија које се примењују за генерисање електричне енергије. На крају, кандидат треба да опише услове и могућности примене фотонапонских система помоћу којих је могуће остварити нето-нулту потрошњу енергије у стакленику на годишњем нивоу. За дизајн стакленика и ФН система користити софтвер SketchUp (са додатком Open Studio), а за симулацију енергетског понашања стакленика са системом фотонапонских панела софтвер EnergyPlus.

Препоручена литература:

- [1] М. Ламбић, А. Такарич, Сунчева енергија и стакленици – пластеници, Зрењанин 1985
- [2] Ламбић М., Соларне технологије – топлотни и фотонапонски системи, Београд 2013
- [3] Peter Clegg & Derry Watkins, The Complete Greenhouse Book, 1981

Ментор

Крагујевац
мај 2017.

др Данијела Николић, доцент

ЗАХВАЛНИЦА

Желео бих да се захвалим свима који су ми пружили подршку у изради овог мастер рада. Велико хвала професорима факултета инжењерских наука у Крагујевцу за све знање које сам стекао на основним и мастер студијама.

Посебно се захваљујем ментору, доц. др Данијели Николић и пок. проф. др Милораду Бојићу који су ми пружили несебичну помоћ својим саветима при одабиру теме и писању ове тезе.

На крају бих се захвалио оцу Властимиру, мајци Светлани, сестри Гордани и девојци Тари, јер су били пуни разумевања и стрпљења и пружили велики допринос.

РЕЗИМЕ

Данашња цивилизација из дана у дан подиже лествицу развоја технологије у примени соларне енергије и с обзиром на то, незамислив је још увек низак ниво употребе ових достигнућа. Могуће је да ће једног дана Сунце, као и други извори обновљиве енергије у потпуности заменити конвенционалну енергију, али то ипак зависи од људске борбе против похлепе и самоуништења од стране појединаца.

Поље примене соларне енергије је широко, али је сигурно најважније у области добијања пијаће воде десаланизацијом у пустињским пределима и у области производње хране.

У овом раду је компјутерским алатима анализирана употреба соларне енергије на стакленику, који за добијање већих приноса хране и продужење сезоне узгоја, мора имати систем грејања и хлађења. Стакленик је сам по себи дизајниран да ефектом ”стаклене баште” пасивно користи соларну енергију, па додатак активних компоненти само употпуњује употребу овог неисцрпног извора.

На почетку овог рада дата је дефиниција соларног стакленика и опис софтвера који су коришћени за симулацију потрошње и производње енергије (EnergyPlus и SkechUp са Open Studio додатком). Затим је описан модел стакленика, његова конструкција и локација, као и начин грејања и хлађења. Фотонапонске ћелије, фотонапонски систем и његово дефинисање на моделу стакленика је описано у посебном одељку. Симулацијама потрошње и производње енергије је анализирана оптимизација оријентације стакленика и нагиба фотонапонских модула (фиксних и покретних), и на крају одређена површина модула која задовољава укупну потрошњу енергије (нето-нулта потрошња енергије).

Кључне речи: Стакленик; Соларна енергија; Фотонапонске ћелије; Нето-нулта потрошња енергије

ABSTRACT

Today's civilization raises the scale of technology development in the application of solar energy from day to day, and given that the level of usage of these achievements that is still low is unthinkable. It is possible that one day, the Sun will completely replace conventional energy as well as other renewable energy sources, but this still depends on the human struggle against greed and self-destruction by individuals.

It is a wide field of usage of solar energy, but it is certainly the most important in the field of obtaining drinking water by desalination in desert areas and in the field of food production.

In this paper, the computer tools analyzed the usage of solar energy on a greenhouse, which needs to have a heating and cooling system in order to obtain higher food yields and prolong the growing season. The greenhouse itself is designed to use solar energy passively by "greenhouse effect", and the addition of active solar components only completes the usage of this inexhaustible source.

At the beginning of this paper we have a definition of the solar greenhouse and description of software we used to simulate consumption and energy production (EnergyPlus and SketchUp with Open Studio addition). The greenhouse model, its construction and location, as well as the way of heating and cooling, are described. Photovoltaic cells, photovoltaic system and its application on the greenhouse model are described in a separate section. The optimization of greenhouse orientation and slope of photovoltaic modules (fixed and mobile) were analyzed by simulations of energy consumption and energy producing, and at the end it's designated the surface of the photovoltaic modules that meets the total energy consumption (zero-net energy consumption).

Keywords: Greenhouse; Solar energy; Photovoltaic cells; Zero-net energy consumption

САДРЖАЈ:

1. УВОДНА РЕЧ	1
2. СОЛАРНИ СТАКЛЕНИК	2
2.1 Соларни стакленик као колектор	2
2.2 Облик стакленика	2
2.3 Угао захвата сунчевих зрака	3
2.4 Застакљивање	5
2.4.1 Једнослојно застакљивање	5
2.4.2 Вишеслојно застакљивање	6
2.5 Губици топлоте у стакленику	6
3. КОРИШЋЕНИ СОФТВЕРИ	8
3.1 EnergyPlus	8
3.2 SketchUp	8
3.3 OpenStudio SketchUp додатак	8
4. МОДЕЛ СТАКЛЕНИКА	9
4.1 Локација модела	9
4.2 Геометрија стакленика	9
4.3 Конструкција стакленика	10
4.4 Окупираност и проветравање	11
4.5 Грејање и хлађење стакленика	12
4.5.1 Геотермална топлотна пумпа вода - ваздух	12
4.5.2 Подешавање термостата	15
5. ФОТОНАПОНСКИ ПАНЕЛИ НА СТАКЛЕНИКУ	17
5.1 Сунце - генератор електричне енергије	17
5.2 Сунчево зрачење у Србији	17
5.3 Примена соларне енергије у пољопривреди	18
5.4 Фотонапонске ћелије	19
5.4.1 Принцип рада фотонапонске ћелије	20
5.4.2 Ефикасност фотонапонских ћелија	22
5.4.3 Повезивање фотонапонских ћелија	23

5.4.4 Фотонапонски системи	24
5.5 Оптимална оријентација ФН панела	26
5.6 Модел фотонапонских модула на стакленику.....	27
5.6.1 Перформансе модела ФН система	28
6. ОПТИМИЗАЦИЈА И АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА СИМУЛАЦИЈА ПОТРОШЊЕ И ПРОИЗВОДЊЕ ЕНЕРГИЈЕ СТАКЛЕНИКА СА ФОТОНАПОНСКИМ СИСТЕМОМ.....	30
6.1 Оптимизација оријентације соларног стакленика.....	30
6.2 Оптимизација нагиба фотонапонских модула.....	35
6.3 Оптимизација фотонапонских модула	39
6.4 ФН модули ($\eta=16\%$) стакленика са периодичном променом нагиба.....	41
6.4.1 Промена нагиба ФН модула ($\eta = 16\%$) према годишњим добима.....	42
6.4.2 Промена нагиба ФН модула ($\eta = 16\%$) према месецима	44
6.5 Соларни стакленик нето-нулте потрошње енергије	47
7. ЗАКЉУЧАК	50
ЛИТЕРАТУРА.....	52

1. УВОДНА РЕЧ

Некада коришћена у малим количинама, енергија је кроз векове, са јачањем техничко-технолошког прогреса, постала незаменљив фактор опстанка људске врсте. Данас, економска моћ једног друштва у великој мери зависи од расположивих капацитета у храни и енергији, стога, напори за већом продукцијом хране уз смањење специфичне енергетске потрошње за њену производњу, могу резултовати сигурном егзистенцијом људи на Земљи [1].

Савремени човек има иза себе искуство претходних генерација, оних који су допринели разним проналасцима и студијама које се баве смањењем потрошње енергије у општем смислу, а између осталог и у процесима производње хране. Његов задатак је да то примени одржава и усавршава и потпуно се посвети идеји да из природе може неограничено да црпи "бесплатну" енергију и тиме подмири своје потребе. Од свих такозваних "обновљивих извора енергије", геотермални извори вреле воде су најадекватнији за употребу у пољопривреди и производњи хране свих размера и могло би се рећи да је несхватљиво не искористити их. На жалост, овај вид енергије није доступан на сваком месту, већ само у специфичним подручјима. У неким областима се могу користити енергије речних токова и ветра, док је једино енергија зрачења Сунца свуда доступна.

У овом раду ће бити разматрана употреба соларне енергије, како би се утврдило колико овај вид "обновљиве енергије" може да смањи потрошњу конвенционалне енергије или је у потпуности замени. Идеја је да се соларна енергија примењује на соларним стакленицима, који током целе сезоне имају контролисану температуру ваздуха у просторији. Као што је речено геотермални извори вреле воде нису чести али је развој технологије омогућио искоришћење геотермалне енергије помоћу топлотне пумпе, зато је овај начин загревања и хлађења простора примењен у овом раду. У оваквом систему доминантна је потрошња електричне енергије па је употреба фотонапонских модула узета за анализу, док је употреба соларних колектора топле воде, која не би задовољила потребе у зимском периоду, искључена из разматрања у области производње хране. Модел стакленика, симулације система грејања, хлађења и фотонапонских модула и анализа резултата урађени су помоћу софтвера EnergyPlus и SketchUp са OpenStudio додатком.

2. СОЛАРНИ СТАКЛЕНИК

Овај термин се везује за стакленике који се пројектују тако да максимално искористе Сунчеву енергију за потребе загревања и осветљења. Акценат се посебно ставља на топлотну енергију и њено искоришћење у току хладних зимских дана. Соларни стакленици могу бити пројектовани на више начина, па се на основу дизајна може направити разлика међу њима. Дизајн се одређује на основу параметара као што су: клима, оријентација, величина, економска питања [2]...

Соларни стакленици се на основу складиштења и коришћења соларне енергије могу поделити на пасивне и активне. Пасивни стакленици складиште соларну енергију у посебно изграђеном апсорберу унутар стакленика. Апсорбер може бити изграђен од разних материјала као што су: камење, метална бурад напуњена водом, базен изложен зрачењу...На овај начин, соларна енергија се прикупља и користи у току хладних ноћи без икаквог додатног механизма. Активни системи складиштења соларне енергије су сви они који користе покретне механизме за транспорт топлотне енергије од апсорбера назад до стакленика (вентилатори, пумпе). Активни и пасивни системи се увек могу комбиновати [2].

Соларни стакленик може бити изграђен као посебан објекат, али и као додатак стамбеном објекту. У другом случају, стакленик користи једну или више заједничких површина са стамбеним објектом преко којих може да размењује топлоту.

2.1 Соларни стакленик као колектор

Сунчеви зраци који продиру у стакленик су краткоталасне дужине. Након проласка бивају апсорбовани од стране унутрашњих површина и биљака које се гаје у стакленику. Апсорбована енергија се претвара у топлотну, која емитује зраке дужих таласа и тежи да се, посредством закона о радијацији, пренесе назад ка атмосфери. Стакло, које чини главни део структуре стакленика, има способност да пропусти краткоталасно зрачење а задржи већи део дуготаласног зрачења и на тај начин складишти део укупне сунчеве енергије којом је стакленик обухваћен [3].

2.2 Облик стакленика

Приликом пројектовања стакленика и избора облика, највећу улогу има кретање Земље око Сунца као и угао од 23,5° С под којим је Земља нагнута у односу на своју осу

ротације. Такође, важна је локација објекта у односу на Екватор као и локални климатски услови. Све ове услове је немогуће задовољити једним обликом па се стога тражи најидеалније могуће решење за дату локацију [2].

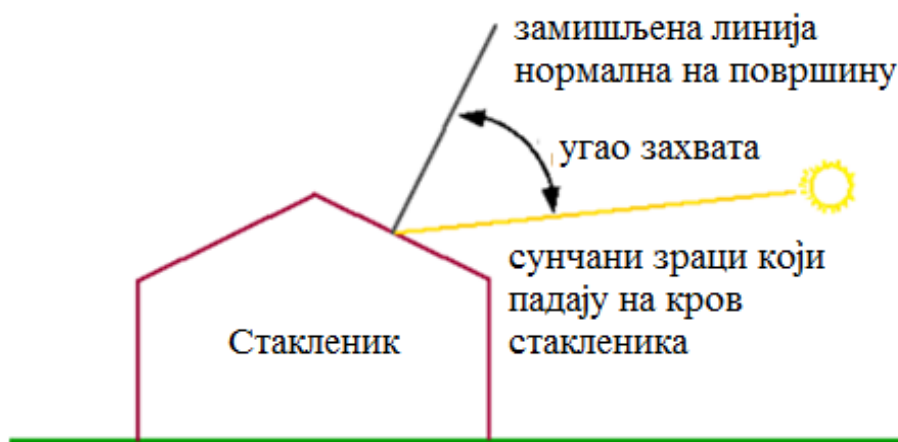
Стакленик се обликује тако да кровна површина захвата највећи део сунчевих зрака који падају на његову површину. Уобичајено је да се кровна површина дели на два једнака дела, што у случају стакленика има смисла на локацијама са мањом географском ширином где сунчеви зраци целе године падају под већим углом, и захватају готово подједнако обе површине крова. У крајевима који су удаљени од Екватора, сунчеви зраци мењају упадни угао према површини земље у току године, па ћемо се даље базирати на овај случај [2].

Опсег упадних углова Сунчевог зрачења на овим географским дужинама се креће од око 80° лети до 30° зими. Како су потребе за топлотном енергијом јављају зими, јужна страна крова се управља према нижим упадним угловима [2].

Правац пружања осе крова стакленика је исто тако битан. Студије показују да стакленици примају до 25 % више сунчеве енергије уколико су оријентисани у правцу исток-запад у односу на север-југ [2].

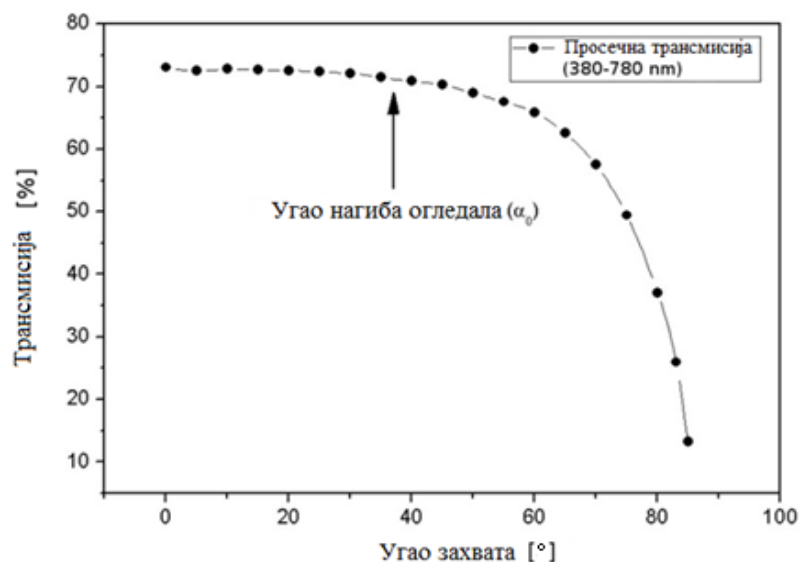
2.3 Угао захвата сунчевих зрака

На Слици 2.1 се може уочити како сунчеви зраци падају на јужну страну крова стакленика. Како угао захвата представља угао који сноп светлости прави са површином која је нормална на јужну површину крова, долази се до закључка да тај угао треба да буде приближан нули да би искоришћење било веће [2].



Слика 2.1 - Угао захвата Сунчевог зрачења

У случају већих географских ширина у периоду између новембра и марта када је упадни угао од 30° до 50° , јужну страну крова је најбоље поставити под углом од око 40° у односу на површину земље. На Слици 2.2 се могу уочити односи трансмисије сунчевих зрака у односу на угао јужне стране крова, тј. угао захвата [2].



Слика 2.2 - Трансмисија Сунчевог зрачења у односу на угао захвата

Северна страна крова под овим упадним угловима готово и да није захваћена сунчевим зрацима па је најбоље потпуно је изоловати и направити од непрозирних материјала са што мањим коефицијентом пролаза топлоте. Иако је изолована врло је битно одредити угао северне стране крова. Правилним одређивањем може се искористити унутрашња страна као рефлективна површина, додавањем одређених материјала на њу и на тај начин повећати количина захваћене енергије. Истраживања су показала да је за подручје већих географских ширина оптималан нагиб северне стране од 60° до 75° .

При избору углова северне и јужне стране крова треба водити рачуна и о висини, јер се загрејани ваздух може подићи превисоко и сместити између две косине. Због ове појаве се често користе вентилатори који распоређују загрејани ваздух.

Што се тиче бочних страна стакленика које се налазе на источној и западној страни, њихова улога у захвату Сунчевог зрачења је далеко мања у односу на јужну страну. Препоручљиво је двоструко застакљивање уколико су стакленици мањих димензија и потребно им је додатно осветљење. Уколико су пак већих диманзија и имају довољно светлости са јужне стране, ефикасније је затворити бочне стране изолационим материјалима [2].

Да би се повећао захват сунчевих зрака, могу се користити покретни делови у виду капака на јужној страни, који могу бити механички или аутоматски вођени. У току зимског дана, они се отварају под одређеним углом како би се сунчеви зраци усмерени изнад и испод стакленика, преусмерили ка јужном делу крова стакленика. У току ноћи капци се затварају и повећавају отпорност губитка примљене топлоте. Са овим додацима ипак треба бити опрезан, јер може доћи до проблема приликом појаве снежних падавина и олујних ветрова [3].

2.4 Застакљивање

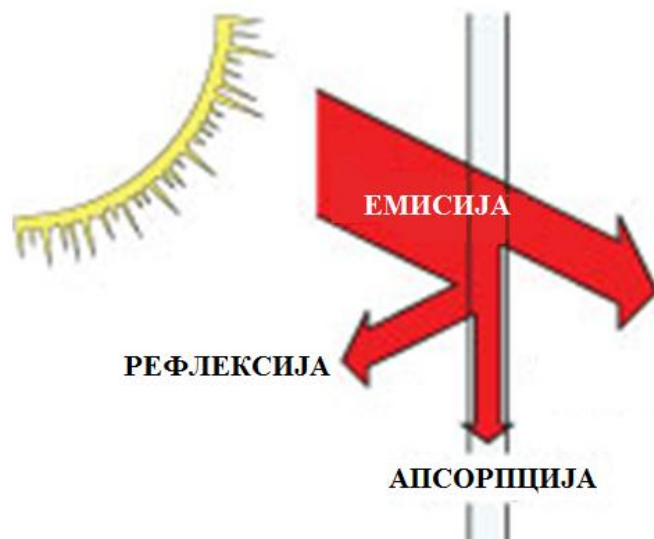
Најкомплекснији и најбитнији елемент соларног стакленика је застакљена површина. Као што је већ наведено, има улогу да пропусти краткоталасне а задржи дуготаласне зраке, па је потребно при избору водити рачуна о карактеристикама стакла. Поред ове карактеристике стакло треба бити постојано при атмосферским утицајима, отпорно на притисак, лако за инсталацију и одржавање. Застакљивање (Слика 2.3) може да се изведе у једном или више слојева, што зависи од потреба и економске оправданости [2].



Слика 2.3 – Застакљивање стакленика

2.4.1 Једнослојно застакљивање

Осим што пропушта сунчеве зраке стакло у одређеном проценту рефлектује и апсорбује ове зраке (слика 2.4), и самим тим смањује пропустљивост [2].



Слика 2.4 - Расипање емисије сунчевих зрака кроз један слој стаклене површине

Када сунчеви зраци падају приближно под правим углом у односу на стаклену површину, она рефлектује од 4-8 % овог зрачења. Како се угао зрачења смањује рефлексија постепено расте, док за углове испод 45° рефлексија нагло расте и до 100 %. Због тога је битно одредити добар угао јужне косине. Апсорпција се јавља у много мањем проценту и зависи од врсте стакла, тј. количине примеса метала у стаклу због којих до ње и долази.

Када се енергија која је пропуштена кроз застакљену површину апсорбује унутар стакленика и емитује назад у виду инфрацрвеног зрачења, поново наилази на застакљену површину и опет се рефлектује, апсорбује и пролази у одређеним процентима [2].

2.4.2 Вишеслојно застакљивање

Употреба више слојева при застакљивању се врши у циљу побољшања изолације те површине али у исто време смањује количину светлости која пролази кроз њих. Додавањем једног слоја смањују се губици топлоте до чак 50 % у односу на један слој, додавањем два слоја губици се смањују на око 33 %, али се додавањем више од два слоја не постижу значајнија смањења губитака а повећавају улагања, тако да је више од укупно трослојног застакљивања неисплативо [2].

2.5 Губици топлоте у стакленику

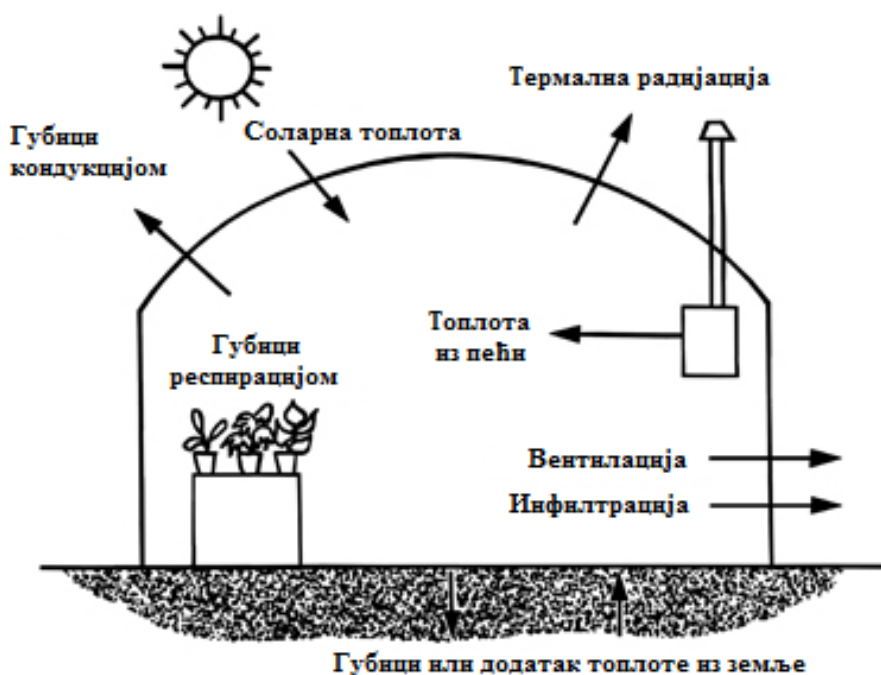
Колико је битно омогућити што већи захват и пролаз сунчеве енергије до унутрашњости стакленика, толико је битно спречити губитке топлоте када је

спољашња температура нижа. Топлотни губици се јављају услед зрачења, конвекције и кондукције [3].

Губици услед зрачења су споменути и редукују се избором квалитетнијих прозирних материјала.

Конвекција се јавља подизањем загрејаног ваздуха, од стране земље и биљака у дну стакленика, до места где се косине крова спајају, а одатле кондукцијом загрејани ваздух напушта стакленик. Да би се ови губици спречили потребно је направити принудну конвекцију, вентилаторима који ће загрејани ваздух враћати у доње слојеве стакленика. Много више топлоте се изгуби током ветровитих дана, када ветар који дува око стакленика ствара већи притисак на одређеним површинама са спољашње стране, док се са унутрашње стране јавља потпритисак. Због разлике притисака долази до инфилтрације ваздуха на пукотинама и губитка топлотне енергије. Испаравање воде из биљака може направити велики проблем услед кондензације која се јавља на хладној застакљеној површини, и која смањује пролаз сунчевих зрака у великој мери. Најбоље решење за овај проблем је двоструко застакљивање.

Највећи део губитака топлоте се јавља услед кондукције свих површина које чине стакленик. Непрозирне делове треба добро изоловати адекватним материјалима а застакљени део појачати још једним или два слоја како би ваздух који се нађе између слојева умањио знатно кондукцију [2].



Слика 2.5 – Губици топлоте код стакленика и пластеника

3. КОРИШЋЕНИ СОФТВЕРИ

3.1 EnergyPlus

EnergyPlus је софтвер намењен инжењерима, архитектама и истраживачима за симулирање биланса потрошње енергије за грејање, хлађење, вентилацију, расвету и процесна оптерећења, као и симулирање потрошње воде и других енергената у стамбеним објектима. EnergyPlus је програм заснован на конзоли, који читава улазне информације и записује излазне у текстуалне фајлове [4].

У овом раду је коришћена верзија 8.7.0 програма EnergyPlus.

3.2 SketchUp

SketchUp је програм за 3D моделирање, намењен архитектама, грађевинским инжењерима, режисерима, креаторима игрица и осталим сличним професијама. Програм је предвиђен да буде што флексибилнији и лакши за употребу од других CAD програма за 3D компјутерски дизајн. Овај програм се нуди као идејна алатка за развој графичких концепата, који је лакши за употребу, са једноставним окружењем (алаткама и др). Главна карактеристика SketchUp-а је 3D складиште на мрежи, које омогућава корисницима SketchUp-а да претражују моделе израђене од других корисника овог програма [5].

У овом раду је коришћен SketchUp 2017.

3.3 OpenStudio SketchUp додатак

OpenStudio додатак за SketchUp, омогућава кориснику да користи стандарне SketchUp алате како би креирао и едитовао EnergyPlus зоне и површине неког објекта. Он дозвољава SketchUp-у да види улазне фајлове EnergyPlus-а у 3D формату, дозвољава упаривање површина које се граниче унутар зоне, именовање зона, површина и подповршина као и њихову претрагу, опис и едитовање конструкције површина објекта. OpenStudio омогућава и постављање KГХ система и симулацију модела без изласка из SketchUp-а, али је ова опција још увек у развоју са ограниченим могућностима подешавања [6].

У овом раду је коришћен OpenStudio SketchUp додатак 2.3.0.

4. МОДЕЛ С ТАКЛЕНИКА

У овом одељку је описан модел стакленика који је предмет анализе, од његове локације и оријентације, структуре и облика до начина грејања и хлађења и коришћења соларне енергије. Сви параметри су генерисани помоћу софтвера који су поменути у претходном поглављу, а заједно формирају фајл којим су симулирана енергетска оптерећења стакленика. Изменама одређених параметара направљен је низ симулација са циљем да се потрошња енергије сведе на оптимални минимум а повећа захват соларне енергије.

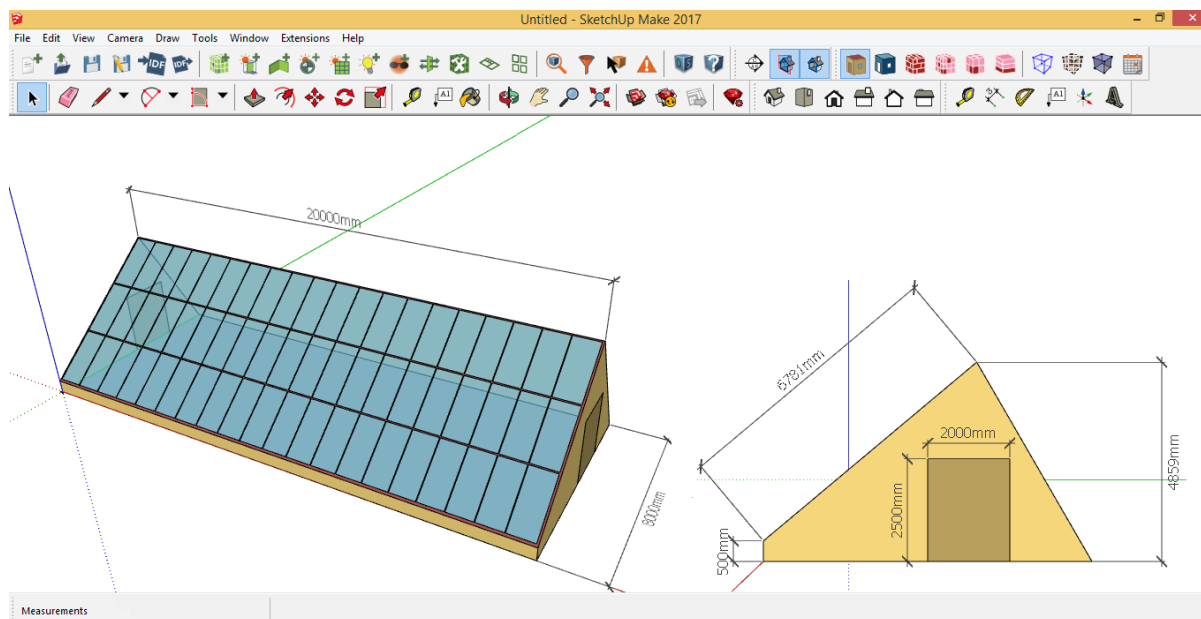
4.1 Локација модела

Локација модела се одређује избором временског фајла који је доступан за преузимање на званичном сајту EnergyPlus-a. Овде је коришћен временски фајл Крагујевца који се налази на $20,55^{\circ}$ источне географске дужине и $44,1^{\circ}$ северне географске ширине, на око 209 m надморске висине. Минимална температура у зимском периоду, дата у временском фајлу је -18°C , а максимална температура лети је 34°C [7]. Ове температуре су одређене на основу просека температура мерених у дужем временском периоду од неколико десетина година. Средња годишња инсолација за Крагујевац износи $1447,85\text{ kWh/m}^2$ [8].

4.2 Геометрија стакленика

У SketchUp-у је моделиран стакленик (слика 4.1) чија је основа правоугаоник димензија $20 \times 8\text{ m}$, површине 160 m^2 . Бочни зидови су у облику неправилног четвороугла и управни су према земљи. Јужни зид је димензија $20 \times 0,5\text{ m}$ на који се наставља јужна страна крова нагнута под углом од 40° у односу на земљу. На висини од 4,86 m (слеме стакленика), јужну косину сече северна косина која је под углом од 60° у правцу југа и пружа све до земље. На јужној страни крова се налази 60 једнаких прозорских отвора димензија $2,18 \times 0,97\text{ m}$. Северна страна крова (зида) је димензија $20 \times 5,61\text{ m}$, површине $112,2\text{ m}^2$, а јужна димензија $20 \times 6,78\text{ m}$, површине $135,6\text{ m}^2$, од које је $126,88\text{ m}^2$ у прозорима. Врата димензија $2 \times 2,5\text{ m}$, се налазе на бочним зидовима.

На слемени стакленика су аплицирани модули са фотонапонским ћелијама. Укупна димензија модула је $20 \times 4\text{ m}$, бруто површине 80 m^2 .



Слика 4.1 - Модел стакленика у SketchUp-у

4.3 Конструкција стакленика

Стакленик је формиран од елемената који су модуларни и омогућују брзу монтажу, а коришћени материјали су постојани и имају нижу проводљивост топлоте.

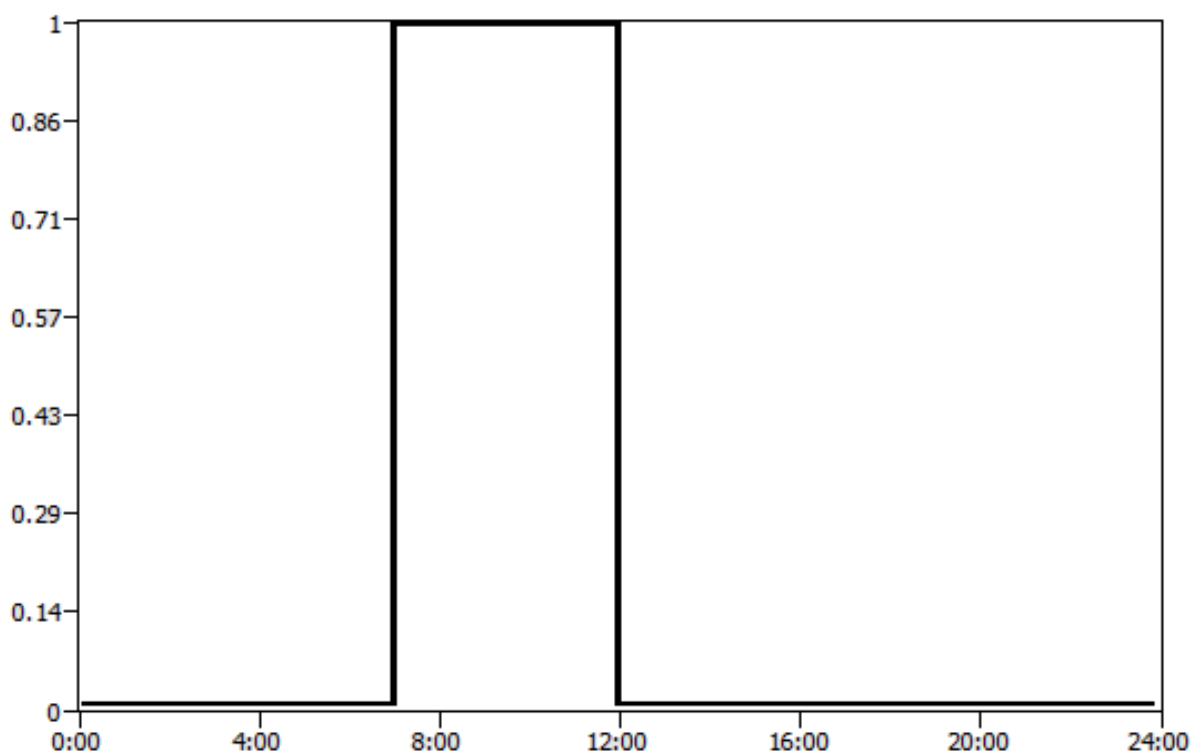
Рам стакленика је од алуминијума и он формира његов облик. Северна косина, јужни зид и бочни зидови заједно са вратима су од сендвич панела који се лако монтирају на алуминијумски рам и нису масивни. Сендвич панел се састоји од два слоја алуминијумског лима дебљине 2 mm, између којих је полиуретанска пена дебљине 100 mm. Панели су фабриковани и доступни на тржишту, одликују их добра термичка својства. Коефицијент пролаза топлоте панела је $0,269 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Прозори на јужној косини су двоструко застакљени високо транспарентним стаклима дебљине 4 mm, која су постављена на размаку од 13 mm који испуњава ваздушни простор. Коефицијент соларне трансмисије стакла под нормалним упадним углом је 0,9, коефицијент пријема соларне топлоте прозора (SHGC) 0,859, коефицијент пролаза топлоте прозора $2,699 \text{ W/m}^2\text{K}$. Двоструко застакљивање спречава кондензацију и смањује топлотне губитке.

EnergyPlus нема развијен модул за имплементацију биљака, али има могућност симулирања вегетације на крововима. У овом случају је вегетација коришћена на подној површини како би се урачунао удео енергије коју биљке апсорбују и емитују.

4.4 Окупираност и проветравање

Распоредом је предвиђено да у стакленику разне делатности обављају две особе по 5 часова дневно сваког дана. Програм узима у обзир њихово присуство и емитовање њихове топлоте каја износи око 120 W по особи. На Слици 4.2 је дат дијаграм, на ком се види време (07 h – 12 h) окупираности стакленика у току дана. На левој оси бројеви од 0 до 1 процентуално представљају тренутну окупираност од укупног броја људи који је дефинисан, у овом случају константно максималан проценат у задатом времену.



Слика 4.2 – Дијаграм распореда окупираности стакленика

Ваздух у пластенику временом постаје устајао, превлажан, пун различитих гасова, па га је неопходно заменити свежим ваздухом. Проветравањем се мењају те карактеристике да би се ускладиле са потребама гајених култура. Проветравање (природно струјање ваздуха) отварањем врата и прозора је предвиђено у месецима када се стакленик прегрева, односно од 15. априла до 15. октобра. Ово може значајно уштедети енергију која се троши на хлађење стакленика.

4.5 Грејање и хлађење стакленика

Постоји много могућности и приступа за производњу усева у стакленицима. У фази планирања потребно је донети одлуке о распореду и дизајнирању стакленика. Када простор за стаклене баште постане доступан и одређени усеви, сорте и системи за узгој, фокус треба усмерити на одржавање и контролу погодног стакленичког окружења. Стакленик као контролисано окружење је прилика за вртларе и комерцијалне произвођаче да комбинују оптималне услове температуре, светлости и влажности уз правилно заливање, ђубрење и управљање за производњу врхунских биљака одабраних усева [9].

Грејање је потребно током зимске половине године и може повећати раст летњих биљака задржавајући температуре стакленика изнад температура околине. Већина стакленика се данас греје на природни или течни нафтни гас, па грејање представља велики трошак производње у стакленику. Стална повећања цена енергије интензивирају све већу примену енергетски ефикасних технологија за грејање стакленика, како би се смањили трошкови и повећала рентабилност пољопривредне производње [10].

Током лета температуре у стакленику достижу температуре преко 50° С што биљке не могу да поднесу, па је неопходно ваздух расхладити на било који начин. Природна вентилација није довољна да расхлади стакленик када је инсолација веома висока па се тада употребљавају разни уређаји за хлађење који користе конвенционалну енергију.

У овом раду је коришћен јединствени систем грејања и хлађења помоћу геотермалне топлотне пумпе вода – ваздух, који се у свим истраживањима показује као најисплативији.

4.5.1 Геотермална топлотна пумпа вода - ваздух

Топлотна пумпа вода ваздух са размењивачем топлоте у земљи, на индиректан начин користи геотермалну енергију и има високу ефикасност.

На Слици 4.3 је шематски описана петља топлотне пумпе. Радни флуид на снабдевачкој страни петље је вода у мешавини са 15 % гликола. Вода уз помоћ циркулационе пумпе кружи петљом, мења своје фазе и на тај начин преноси топлоту. У зимском периоду топлота се црпи из утробе земље која има константну температуру од

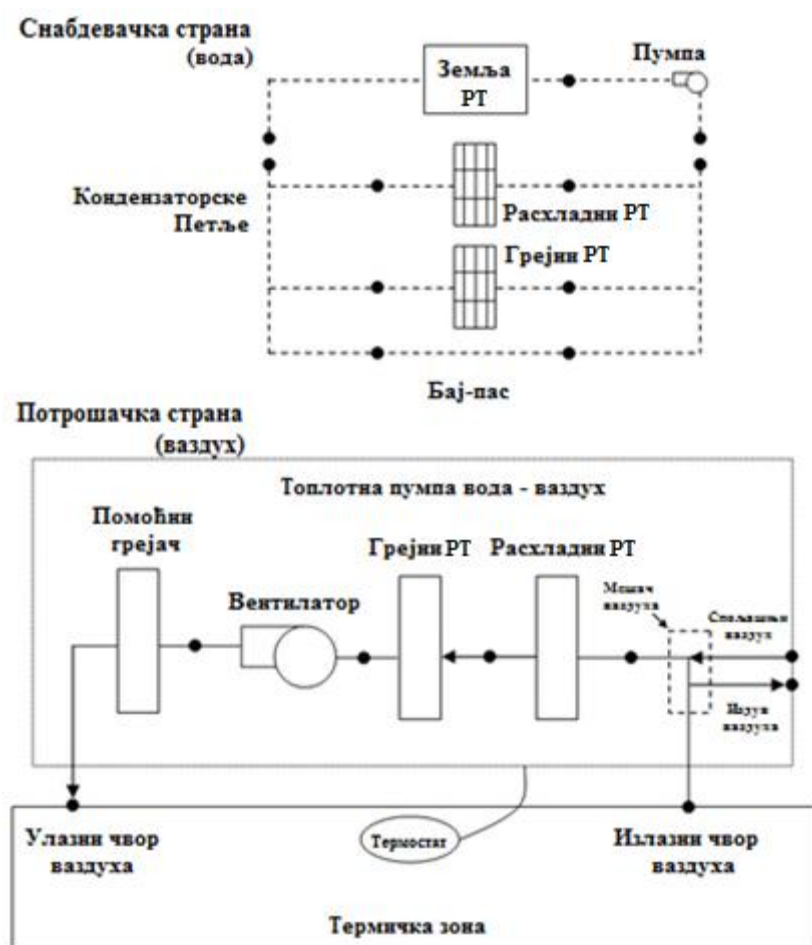
око 14 °C [19]. Радни флуид у земљи испарава, а хладна пара путује у компресорску станицу. Пара под притиском подиже своју температуру и са тенденцијом да преда своју топлоту улази у размењивач топлоте где се хлади и кондензује. Кондензат који је још увек под притиском даље наилази на експанзиони вентил како би се притисак смањено чиме се стварају услови да течност поново испарава. У таквом стању течност поново улази у размењивач који је у земљи и апсорбује топлоту потребну за испаравање чиме се овај круг затвара и понавља све док се режим рада пумпе не промени.

Потрошачка страна система користи ваздух као радни флуид, који прима топлоту од воде на размењивачу топлоте и системом канала помоћу вентилатора улази у термичку зону. Поред размењивача топлоте у овој петњи се налази и додатни грејач који користи електричну енергију (у овом случају) и активира се по потреби када температура ваздуха доведена топлотном пумпом не задовољава потребе термичке зоне. Испред размењивача топлоте се налази мешач у који улази спољашњи ваздух и освежава ваздух који се транспортује у термичку зону, док се на излазу из термичке зоне део ваздуха испушта у околину.

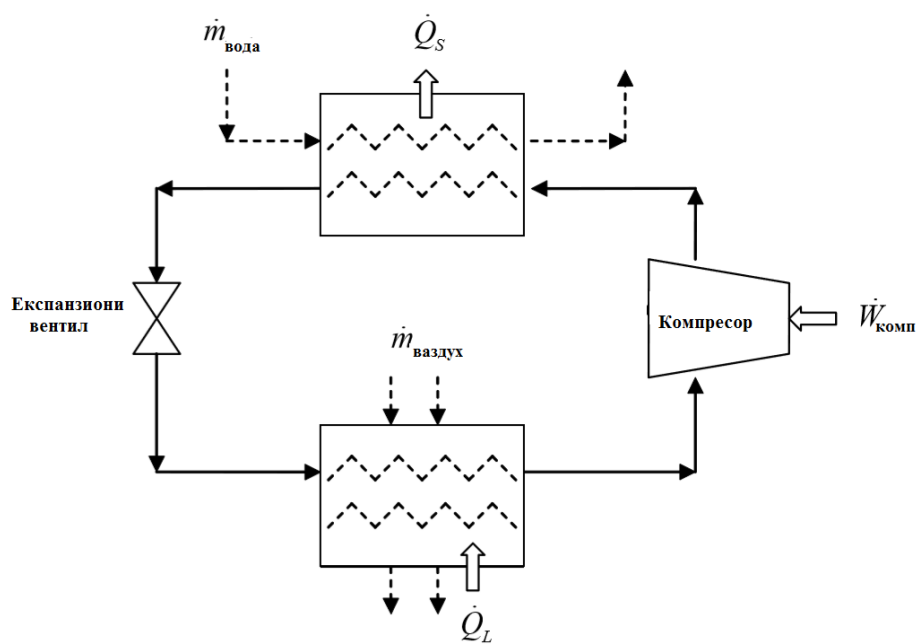
Топлотна пумпа мења режим између хлађења и грејања у зависности од потребе зоне помоћу термостата и повратног вентила. Термостат мери температуру ваздуха и на основу програмираних температура шаље сигнал повратном вентилу који преусмерава радни флуид у снабдевачкој петњи преко обилазног вода (by-pass). У режиму хлађења (Слика 4.4) флуид у парној фази се након компресије транспортује у земљу где одаје топлоту и кондензује, док се испаравање врши у размењивачу који топлоту црпи из топлог ваздуха термичке зоне.

EnergyPlus дефинише два размењивача (топлотни и расхладни) да би се приближио рад једног размењивача који може радити у режиму грејања или режиму хлађења. Стога, када је режим протока воде константан, постојаће потпун проток кроз или грејни или расхладни размењивач, али не кроз оба у исто време.

Циркулациона пумпа снаге 25 W врши константан проток радног флуида од 0,0033 m³/s. Вертикални размењивач топлоте у земљи се састоји од цеви у облику латиничног слова У (U) дужине 76,2 m, пречника 6,35 cm и коефицијента провођења топлоте 0,391 W/mK, смештеним у 120 бушотина. Размењивач топлоте који предаје топлоту потрошачу има номинални капацитет 25 kW, а помоћни грејач 32 kW.



Слика 4.3 – Шематски приказ рада топлотне пумпе вода - ваздух



Слика 4.4 –Дијаграм пумпе вода – ваздух у режиму хлађења

4.5.2 Подешавање термостата

Температуре у стакленику су дефинисане у односу на потребе за узгој различитих култура у различитим периодима.

	Температура			
	за клијање		оптималана за раст	
врста поврћа	минимална	оптимална	дању	ноћу
парадајз	10 - 12	25 - 30	18 - 25	15 - 16
паприка	13	25 - 30	26 - 29	18 - 20
краставац	12 - 13	25 - 30	26 - 30	18 - 20
салата	2 - 3	18 - 20	12 - 20	8 - 14
спанаћ	2 - 3	20	15 - 18	7 - 10
шаргарепа	4 - 5	20	16 - 20	7 - 9
ротквица	2 - 3	18	10 - 16	7 - 9
келераба	2 - 3	18 - 20	12 - 18	12

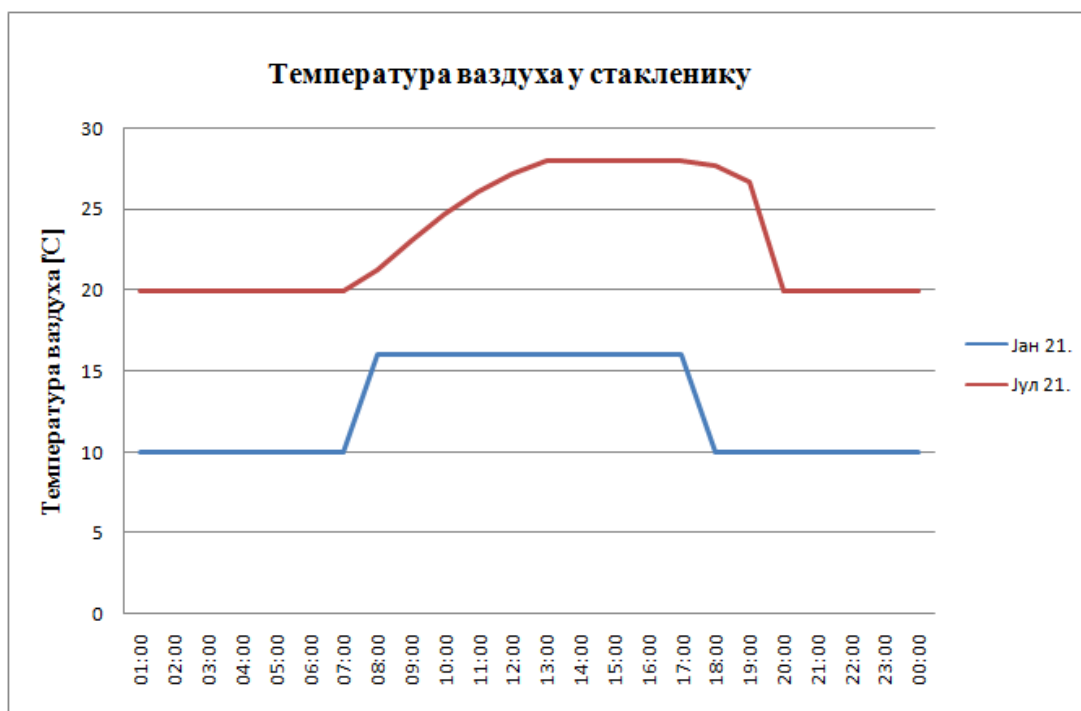
Табела 4.1 –Табела оптималних температура за узгој неких врста поврћа

У претходним пасусима је описана промена режима грејања у EnergyPlus-у која се регулише подешавањем термостата. У Табели 4.1 су дате температуре оптималне за узгој неких врста поврћа па је према томе усвојен следећи распоред а) грејања у периоду од 01.новембра до 01.априла и б) хлађења од 01.априла до 01. новембра:

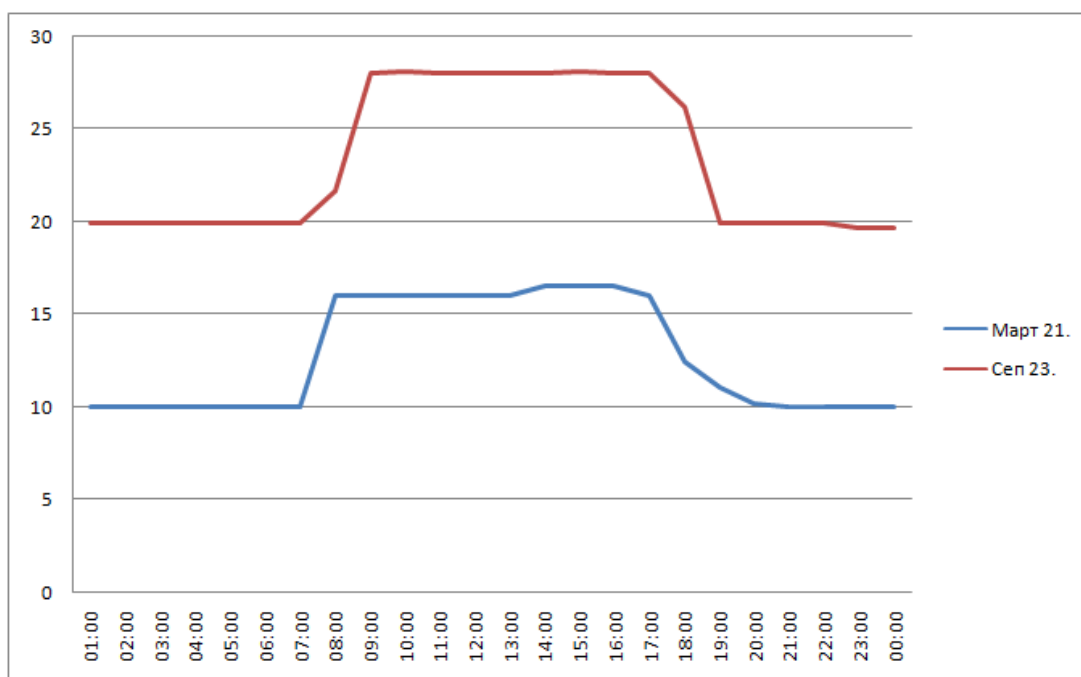
а) 07-17 h-16° C; 17-07 h-10° C

б) 07-19 h-28° C; 19-07 h-20° C

Након сваке симулације која протекне без грешака, отвара се Excel фајл у коме између осталих излазних података налазимо и промене температура у термичкој зони из сата у сат за период симулације који је одређен на почетку. На овај начин проверавамо да ли су температуре исте или приближне оним температурама које смо задали на термостату. Уколико су температуре у зимском периоду знатно испод предвиђених потребно је проверити поставке система за грејање и повећати његов капацитет. Исти случај је када су температуре у току лета знатно више, тада је систем за хлађење неадекватно пројектован. Дијаграм на Слици 4.5 показује пример добро изведеног система грејања и хлађења који је описан у овом раду. Приказани су дизајнирани дани 21. јануар и 21. јул због карактеристичних температура. На Слици 4.6 су приказане температуре за први дан пролећа и први дан јесени и такође се налазе у оквиру задатих вредности на термостату са занемарљивим осцилацијама.



Слика 4.5 –Дијаграм промена температура стакленика за дизајниране дане



Слика 4.6 –Дијаграм промена температура стакленика за први дан пролећа и први дан јесени

5. ФОТОНАПОНСКИ ПАНЕЛИ НА СТАКЛЕНИКУ

5.1 Сунце - генератор електричне енергије

У последње време постигнут је невероватан напредак у претварању соларне енергије у електричну енергију, нарочито директном конверзијом помоћу фотонапонских соларних ћелија. Штавише, све је јасније да ће, по могућој вредности енергетског доприноса, овај начин искоришћавања Сунчеве енергије по свој прилици избити на прво место.

Занимљиво је да је Никола Тесла давно предвидео овакав развој соларне технике. У пронађеном интервјуу, датом аустралијском новинару Рандолфу Бедфорду 1922. године, Тесла је, између осталог рекао:

„Целокупна енергија – таласи океана, ток река, ветар, киша, град, снег – све су то производи Сунца. Ми чак употребљавамо флаширану Сунчану енергију у облику угља и нафте, али, ипак, расипање Сунчане енергије још није заустављено. А рачуница показује да Сунчана енергија само на простору од једне квадратне миље одговара снази од милион коњских снага...коју бисмо могли да преточимо у турбине. У вези с тим, наука ће у будућности решити много компликованије задатке, као, нпр., стварање машине која ће електричну енергију добијати директно од Сунца. Овоме треба додати да ће се горива – уз Сунце и воду једини извори енергије – једног дана исцрпсти [11]...”

5.2 Сунчево зрачење у Србији

Број сунчаних сати у Србији се креће у просеку од нешто мање од 2000 сати (на северу) до више од 2300 сати (на југу). То је већа вредност него у већини европских земаља, међутим, соларни потенцијал је неискоришћен. Енергетски потенцијал Сунчевог зрачења је за око 30% већи у Србији него у Средњој Европи. Просечна дневна енергија глобалног зрачења за равну површину у току зимског периода креће се између $1,0 \text{ kWh/m}^2$ на северу и $1,7 \text{ kWh/m}^2$ на југу, а у току летњег периода између $5,4 \text{ kWh/m}^2$ и $6,9 \text{ kWh/m}^2$. Најповољније области у Србији бележе велики број сунчаних сати, а годишњи однос стварне озрачености и укупне могуће озрачености је приближно 50%. Србија има неке од бољих соларних ресурса у Европи. Сунчево зрачење је у просеку веће за око 40% од европског просека.

Место	Месец												Укупно годинње	Средње дневно
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Београд	1,40	2,20	3,35	4,85	6,00	6,45	6,75	6,00	4,65	3,05	1,60	1,15	1446,80	3,96
Зрењанин	1,30	2,15	3,45	4,90	6,05	6,35	6,55	5,90	4,45	2,95	1,45	1,05	1419,45	3,89
Кикинда	1,00	2,05	3,55	5,10	6,40	6,55	6,85	5,95	4,45	3,00	1,50	1,05	1456,50	3,99
Вршац	1,00	2,00	3,35	4,40	6,00	6,40	6,55	6,85	4,60	3,00	1,55	1,00	1424,75	3,90
Долово	1,30	2,05	3,40	4,80	5,85	6,20	6,55	6,00	4,55	3,00	1,55	1,05	1412,05	3,87
Сомбор	1,35	2,15	3,35	4,85	5,95	6,30	6,15	5,65	4,20	2,80	1,35	1,40	1387,35	3,80
Палић	1,30	2,10	3,45	5,00	6,15	6,25	6,35	5,85	4,30	2,85	1,40	1,15	1407,40	3,80
Врбас	1,45	2,35	3,45	4,80	5,90	6,15	6,40	5,70	4,35	2,95	1,45	1,20	1406,85	3,85
Нови Сад	1,45	2,35	3,20	4,65	5,80	6,20	6,35	5,75	4,40	2,90	1,45	1,20	1392,64	3,82
Ђуприја	1,55	2,35	3,50	5,00	6,10	6,15	6,65	6,10	5,15	3,40	1,80	1,30	1495,40	4,10
Крушевац	1,65	2,55	3,50	4,90	5,95	6,05	6,45	5,90	5,10	3,30	1,80	1,35	1519,85	4,10
Ниш	1,75	2,60	3,45	5,00	6,10	6,35	6,70	6,15	5,35	3,45	1,85	1,50	1531,40	4,20
Куршумлија	2,15	3,00	3,60	5,05	5,85	6,05	6,55	6,10	5,30	3,50	2,00	1,75	1550,50	4,25
Пећ	1,85	2,95	3,70	4,85	5,95	6,15	6,75	6,15	4,90	3,65	2,25	1,60	1546,25	4,24
Приштина	1,85	2,90	3,70	5,25	6,30	6,60	6,95	6,30	5,10	3,35	1,90	1,60	1578,25	4,32
Врање	1,70	2,70	3,65	5,15	6,15	6,40	6,50	6,35	5,25	3,45	1,85	1,50	1543,40	4,23
К. Паланка	1,85	2,80	3,80	5,20	6,20	6,45	6,90	6,30	5,10	3,40	2,00	1,65	1567,80	4,30
Призрен	1,50	2,45	3,50	4,80	5,90	6,65	7,20	6,55	4,85	3,15	1,70	1,35	1512,25	4,14
Лозница	1,50	2,30	3,05	4,35	5,30	5,75	6,15	5,60	4,30	2,80	1,45	1,20	1333,50	3,65
Иван Седло	1,45	2,25	3,05	4,30	5,06	5,85	6,30	5,65	4,35	2,75	1,50	1,20	1332,26	3,65
Краљево	1,60	2,50	3,35	4,95	5,90	6,20	6,60	6,05	4,65	3,05	1,65	1,35	1458,40	4,00
Крагујевац	1,50	2,40	3,35	4,80	5,85	6,10	6,45	5,90	4,85	3,30	1,70	1,30	1447,85	3,97
Смедеревска Паланка	1,45	2,30	3,35	4,95	6,00	6,30	6,55	5,95	4,85	3,20	1,70	1,20	1418,80	3,89
Смедерево	1,45	2,25	3,40	4,80	5,70	6,30	6,50	5,95	4,75	3,15	1,65	1,10	1432,75	3,93
Неготин	1,35	2,05	3,25	4,85	6,05	6,60	6,95	6,25	4,75	2,90	1,45	1,20	1453,35	3,98
Црни врх	1,40	2,15	3,15	4,65	5,70	6,05	6,50	5,85	4,85	3,10	1,60	1,15	1393,10	3,82
Зајечар	1,50	2,25	3,25	4,80	6,05	6,45	6,95	6,30	4,95	2,95	1,50	1,30	1498,05	4,02
Ваљево	1,45	2,25	3,10	4,40	5,35	5,95	6,35	5,75	4,45	2,95	1,50	1,20	1362,60	3,73
Ужичка Пожега	1,35	2,15	3,15	4,40	5,20	5,40	5,70	5,10	4,00	2,25	1,45	1,10	1266,35	3,47
Златибор	1,50	2,30	3,10	4,35	5,10	5,65	5,90	5,35	4,30	2,75	1,60	1,30	1316,40	3,61

Табела 5.1 – Средње дневне суме глобалног Сунчевог зрачења у kWh/m², за нека места у Србији – за хоризонталну површину [12]

Најниже измерене вредности Сунчевог зрачења у Србији се могу упоредити са највишим вредностима у водећим земљама соларног коришћења, као што су Немачка и Аустрија. У циљу поређења, просечна вредност глобалног зрачења за територију Немачке износи око 1000 kWh/m², док је за Србију та вредност преко 1400 kWh/m² [12].

Према табели 5.1 средње дневно Сунчево зрачење за Крагујевац износи 3,97 kWh/m² за хоризонталну површину.

5.3 Примена соларне енергије у пољопривреди

Предности соларне енергије у пољопривреди су вишеструке: енергије Сунца у Србији има у довољној мери када се изводе пољопривредни радови (жетва/сетва), коришћење соларне енергије не загађује (хемијски, радиоактивно, или топлотно) околину. За коришћење соларне енергије нису потребне сложене машине, постројења, рудници и велика новчана средства. Соларна енергија не захтева транспорт. Такође, соларна енергија се може претварати у друге облике енергије.

Топлотно дејство Сунчевог зрачења представља веома погодан извор енергије за грејање потрошне воде на пољопривредним имањима и салашима, за добијање електричне енергије за напајање потрошача мале и средње снаге у индивидуалним објектима на пољопривредним газдинствима и имањима, за пуњење акумулатора за многобројне пољопривредне машине, за напајање специјалних и модерних пољопривредних алатки и опреме, али и за наводњавање обрадивих површина.

Предности употребе соларне енергије су: могућност рада за време облачних дана (уколико се користе акумулатори), брза инсталација, нема емисије угљен-диоксида, мали штетан утицај на околину, животног века ФН панела је 20-30 година, заузима мали простор (ако је на крову). Мане примене оваквог извора енергије су: стални приступ Сунчевој енергији, могућност блокирања сунчеве енергије, мала ефикасност, потребан је систем за акумулирање електричне енергије или резервни систем, као и потреба за претварањем једносмерне струје у наизменичну.

Даље могућности примене енергије Сунца у пољопривреди су многобројне. Енергија Сунца се може користити за напајање појилишта за испашу, за напајање система за заливање пољопривредних култура, за проветравање рибака, за наводњавање, за загревање стакленика, за обезбеђивање пулсирајућег напона за електричне ограде итд.[13].

5.4 Фотонапонске ћелије

Директна конверзија Сунчеве енергије у електричну, тзв. фотонапонски ефекат, уочен је пре скоро два века, али је тек развојем квантне теорије почетком двадесетог века овај феномен објашњен и схваћен. Прва соларна фотонапонска ћелија израђена је у Бел лабораторијама (Bell Laboratories) 1954. године. Фотонапонске ћелије израђене од полупроводника силицијума убрзо су, с развојем истраживања свемира, постале основни извори електричне енергије на сателитима, примарно због своје поузданости, док је цена била од мањег значаја. Значај њихове земаљске употребе постао је актуелан у току светске енергетске кризе раних седамдесетих година, када се почело размишљати о побољшању њихових радних карактеристика и ефикасности, као и нижој производној цени. Данас фотонапонска конверзија подразумева високу технологију производње електричне енергије из Сунчеве енергије [14].

5.4.1 Принцип рада фотонапонске ћелије

Директно претварање енергије фотона Сунчеве светлости у електричну енергију обавља се једним физичким процесом у фотонапонским, односно соларним ћелијама. Најбољи резултати за ову конверзију постижу се коришћењем исправљачког својства полупроводничког р-п споја. Рад соларних ћелија се базира на законима квантне механике, односно на квантним процесима у чврстом стању. Класични тип ових ћелија је израђен на бази монокристала силицијума, а принцип њиховог рада користи одређена својства кристала полупроводника, односно његову електричну проводност. У монокристалу силицијума атоми образују сложену кубну решетку тако што је сваки силицијумов атом везан за четири друга атома преко своја четири валентна електрона, при чему се веза између два суседна атома остварује посредством два електрона (ковалентна веза). Приликом загревања кристала ковалентна веза се кида, а електрони ослобађају (прелазак електрона из валентне везе у проводну). Енергија потребна да изазове кидање ковалентне везе представља енергију везе (или енергију процепа, при чему се под процепом подразумева растојање између валентне и проводне зоне на енергетској скали) и за монокристал силицијума износи око 1,1 eV.

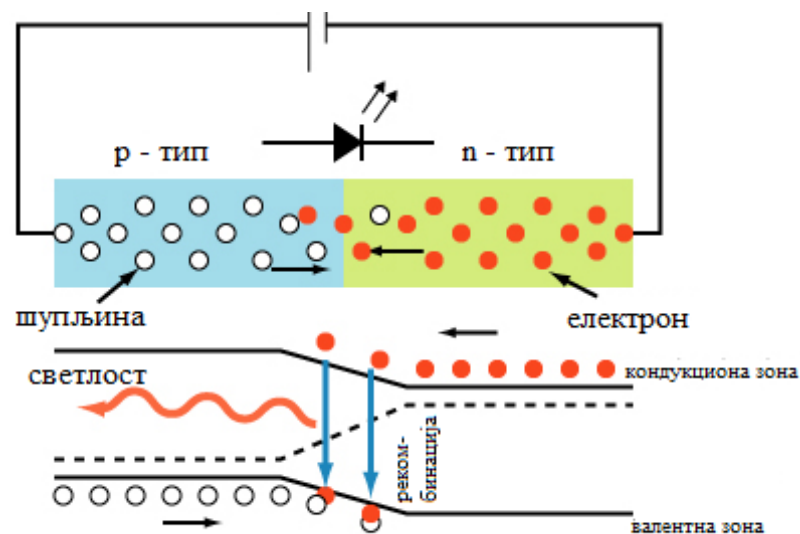
Последица пребацивања електрона из валентне у проводну зону је стварање одређеног упражњеног места у валентној зони ("шупљине"), при чему се та "шупљина" понаша као струјни носилац – сличан електрону, али позитивног знака. Ове "шупљине" представљају у суштини другу врсту струјних носилаца који се не срећу код метала. Примесе које сваки материјал има у мањој или већој количини – имају код полупроводника значајан утицај на проводност. Атоми примеса се могу поделити на две врсте, од којих једни имају три, а други више валентних електрона. Атоми примеса са три валентна електрона не могу да обезбеде спаривање у потпуну ковалентну везу, па преузимају по један електрон из суседних силицијумових атома, при чему њима остаје једно упражњено место - "шупљина". У таквом случају "шупљине" представљају већинске струјне носиоце, а атоми ове врсте називају се акцептори. Одговарајући тип полупроводника назива се позитиван тип или р – тип. Други тип атома примеса са више од три валентна електрона може да замени један атом силицијума у решетки, што резултује појавом вишка неспарених електрона који ће бити слободни без обзира на температуру кристала. Атоми ове врсте се зову донори, а полупроводник се назива полупроводником негативног типа односно n – типа. У оваквом полупроводнику су електрони доминантни, односно већински при чему појава

слободног електрона није праћена стварањем ”шупљине”. Спајање ових елемената у једну двослојну структуру, назива се р-п спој (Слика 5.1).

Фотонапонски ефекат настаје дејством светлости на р-п спој – фотоћелију, при чему се ремети електрично равнотежно стање које је претходно постојало у њој.

Светлост узрокује избацивање електрона из атома, односно из валентне зоне у проводну. У фотоелектричном ефекту кванти светлости – фотони, сву своју енергију предају електронима сударајући се са њима.

Волтметар прикључен на крајеве р-п споја региструје при томе напон. Уколико се ћелија (диода) кратко споји добија се фотоелектрична струја кратког споја, која је сразмерна јачини осветљености диоде. За сваки случај када је коло отворено, остварује се максимално могући напон за одређену јачину осветљености (напон отвореног кола). Овај напон, такође зависи од јачине осветљености, али не директно сразмерно већ се зависност промене напона кола мења приближно као њен логаритам [11].

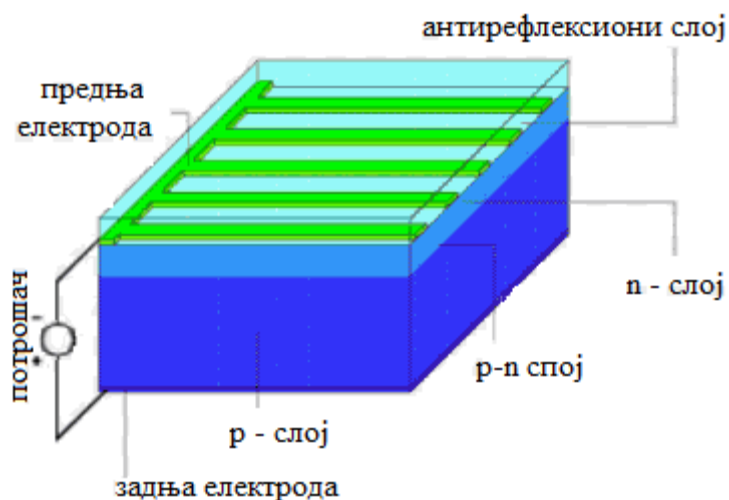


Слика 5.1 – Шематски приказ фотонапонског р-п споја

У циљу одвођења електричне енергије од соларне ћелије, њена предња и пријемна страна (Слика 5.2) се покрива мрежом металних проводника (обично од никла или калаја), који прикупљају наелектрисање и одводе га у спољно коло.

Овај метализован слој – мрежа металних проводника даје највећи отпор преласку струје и у одређеној мери спречава продор светлости до целокупне предње стране ћелије. Значи, овде се поставља проблем оптимума: што боља запоседнутост

пријемне површине металном мрежом смањује отпоре и боље одводи електрицитет, али истовремено смањује површину која може бити изложена светлости [11].



Слика 5.2 – Пресек фотонапонске ћелије

5.4.2 Ефикасност фотонапонских ћелија

Ефикасност фотонапонске ћелије, η_{pvc} представља однос снаге трансформисане у електричну енергију (снага ФН ћелије), P_{pvc} и снаге Сунчевог зрачења, I_p , које пада на површину исте ћелије, A_{pvc} [8].

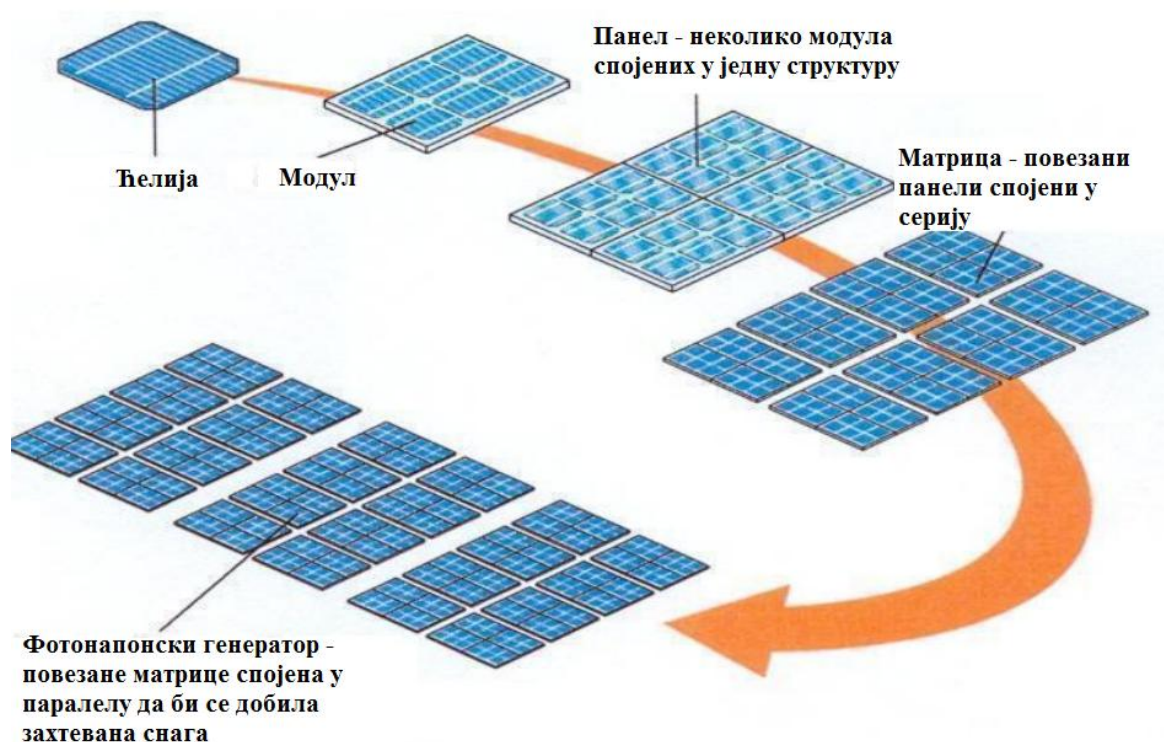
$$\eta_{pvc} = P_{pvc} / I_p \cdot A_{pvc} \quad (5.1)$$

Наведени губици енергије услед условљености које постављају фундаментални физички закони, као и расположиве производње соларних ћелија износе око 87%. То значи да се око 13% дозрачене енергије под одређеним условима може трансформисати у корисну електричну енергију на излазу из фотоћелије.

Имајући у виду чињеницу, да је усавршавањем производних технологија могуће неке од наведених губитака умањити, теоријски максималан степен искоришћења силицијумских ћелија може достићи вредност од 22%. На неким лабораторијским узорцима достигнуте су вредности ефикасности и преко 18%, мада фото ћелије из масовне производње достижу ефикасност до 16% (у зависности од произвођача често пута су ефикасности око 10%). Нешто боља максимална теоријска ефикасност од 29% постиже се код ћелија са галијум – арсенидом, чија енергија процепа износи 1,39 eV [11].

5.4.3 Повезивање фотонапонских ћелија

Снага коју производи једна фотонапонска ћелија је релативно мала. У стандардним условима погона соларних система (површинска снага зрачења: 1000 W/m^2 и температура: 25°C), фотонапонска ћелија генерише струју од око 3 A и напон око 0.6 V , односно снагу око 2 W . Зато се у пракси соларне ћелије групишу у соларне модуле. Модули се добијају повезивањем више ћелија. Дакле, неколико механички и електрички спојених ћелија чини модул. Најчешћи просторни распоред је 36 ћелија распоређених у 4 паралелна реда. Обично се све ћелије у једном модулу спајају серијски, а укупна површина модула је између 0.5 m^2 и 1 m^2 . Све ћелије у серијској вези треба да буду што уједначеније осветљене и сличних карактеристика. Више модула спојених у једну структуру чини фотонапонски панел. Неколико панела спојених у серију чини матрицу, те коначно, више паралелно спојених матрица чини фотонапонски генератор. „Пут“ од фотонапонске ћелије до фотонапонског генератора дат је на Слици 5.3 [15].



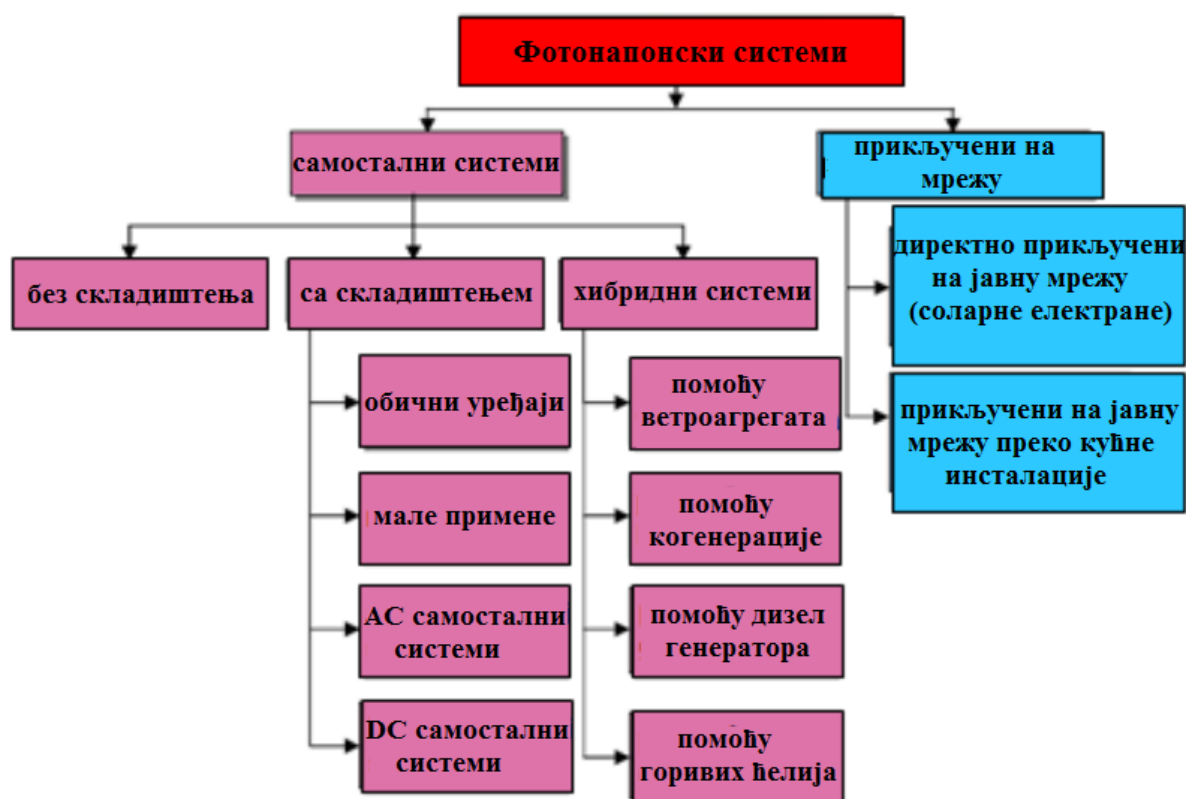
Слика 5.3 – Од фотонапонске ћелије до фотонапонског генератора

5.4.4 Фотонапонски системи

Под фотонапонским системима подразумевају се системи помоћу којих се врши снабдевање потрошача једносмерном и наизменичном струјом. Соларни фотонапонски системи могу се поделити на две основне групе:

- фотонапонски системи који нису прикључени на мрежу (енг. off-grid), или самостални системи (енгл. stand-alone systems),
- фотонапонски системи прикључени на јавну електроенергетску мрежу (енгл. on-grid).

Детаљнија подела фотонапонских система приказана је шематски на Слици 5.4



Слика 5.4 – Подела фотонапонских система

Самостални фотонапонски систем је одличан извор енергије за удаљене куће, камп кућице, телекомуникацијске објекте, чамце и једрилице, као и за удаљена пољопривредна поља.

Основне компоненте самосталног фотонапонског система су: фотонапонски модули (обично спојени паралелно или серијски - паралелно), регулатор пуњења, акумулатор, потрошачи и инвертор (ако потрошачи раде на наизменичну струју).

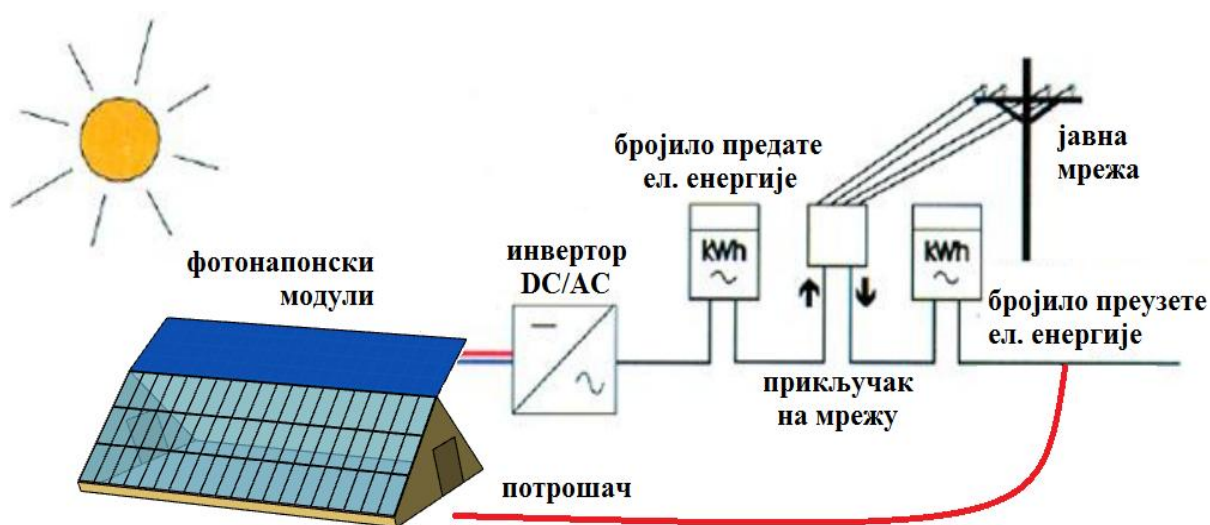
Фотонапонски системи прикључени на јавну мрежу преко инсталације на неком објекту (стакленику) припадају дистрибутивној производњи електричне енергије. Прикључују се углавном на нисконапонску дистрибутивну мрежу.

Основне компоненте фотонапонског система прикљученог на јавну електроенергетску мрежу преко инсталације објекта су: фотонапонски модули, спојна кутија са заштитном опремом (одводници пренапона, прекидачи), каблови једносмерног развода, главна склопка за одвајање, инвертор DC/AC, каблови наизменичног развода, бројила предате и преузете електричне енергије.

Фотонапонски систем прикључен на јавну мрежу преко инсталације објекта (стакленика) је у паралелној вези с дистрибутивном мрежом и намењен је за напајање потрошача у објекту, а ”вишак” електричне енергије предаје се у мрежу.

Кад соларни модули не производе довољно електричне енергије, напајање потрошача допуњује се преузимањем енергије из мреже. Инсталирани фотонапонски системи прикључени на јавну мрежу преко инсталације објекта (стакленика) производе највише електричне енергије средином дана и добрим делом растерећују електроенергетски систем, што може бити од велике важности у подручјима где је слаба електроенергетска мрежа.

Прикључак фотонапонског система стакленика (који је предмет симулације у овом раду) на јавну мрежу са назначеним основним деловима инсталације приказан је на Слици 5.5 [15].



Слика 5.5 – Прикључак фотонапонског система стакленика на јавну мрежу

Предности фотонапонских система спојених на мрежу преко инсталације на објекту су:

- производи се еколошки чиста електрична енергија,
- претварање енергије обавља се у близини места потрошње,
- нема губитака енергије у преносу и дистрибуцији,
- поузданост и сигурност снабдевања,
- трошкови одржавања постројења нижи од одржавања централизованих производних објеката,
- лакше се и брже проналазе локације за инсталацију фотонапонских система у односу на велике централизоване производне системе,
- једноставна и брза инсталација, као и пуштање у погон.

5.5 Оптимална оријентација ФН панела

Да би фотонапонски панел постигао жељену ефикасност, његова оријентација (i) и нагиб (G), треба да буду у положају у ком примају највећу могућу количину Сунчевог зрачења, односно угао нормале његове површине и правца Сунчевог зрака треба да буде што мањи, односно приближан нули.

У случају фиксног ФН панела, његова оријентација је одређена према југу (северна хемисфера), а нагиб се одређује тако да панел у току године прими максималну могућу количину зрачења. За одређивање нагиба панела постоје три приступа која се користе:

- одређивање нагиба према географској ширини
- одређивање нагиба према индексу прозрачности
- одређивање нагиба према деклинацијском углу

Одређивање оптималног нагиба колектора према географској ширини, φ је најстарији и најчешће коришћени метод. Углавном се препоручује нагиб који је једнак $G = \varphi + (10^\circ - 30^\circ)$. Уколико се једном годишње мења нагиб колектора препоручује се $G = \varphi \pm 20^\circ$, где се знак минус примењује у летњем периоду, а знак плус у зимском периоду.

Оптимални нагиб колектора према индексу прозирности атмосфере, G_{opt} одређује се према једначини:

$$G_{opt} = f(\varphi, N, i, K_1, g_r), \quad (5.2)$$

где су: N (-) дан у години, i (°) већ дефинисана оријентација површине панела (азимут), K_1 (-) индекс прозирности атмосфере и g_r (-), такође већ дефинисани алbedo Земљине површине.

Трећи приступ предлаже одређивање оптималног нагиба у зависности од деклинацијског угла, δ :

$$\delta = \left(23 + \frac{27}{60}\right) \cdot \sin\left(\frac{2\pi \cdot brd21}{365,25}\right) \cdot \frac{\pi}{180}, \quad (5.3)$$

где је $brd21$ (-) број дана протеклих од пролећне равнодневнице на северној хемисфери [8],

$$G_{opt} = |\varphi - \delta|, \quad (5.4)$$

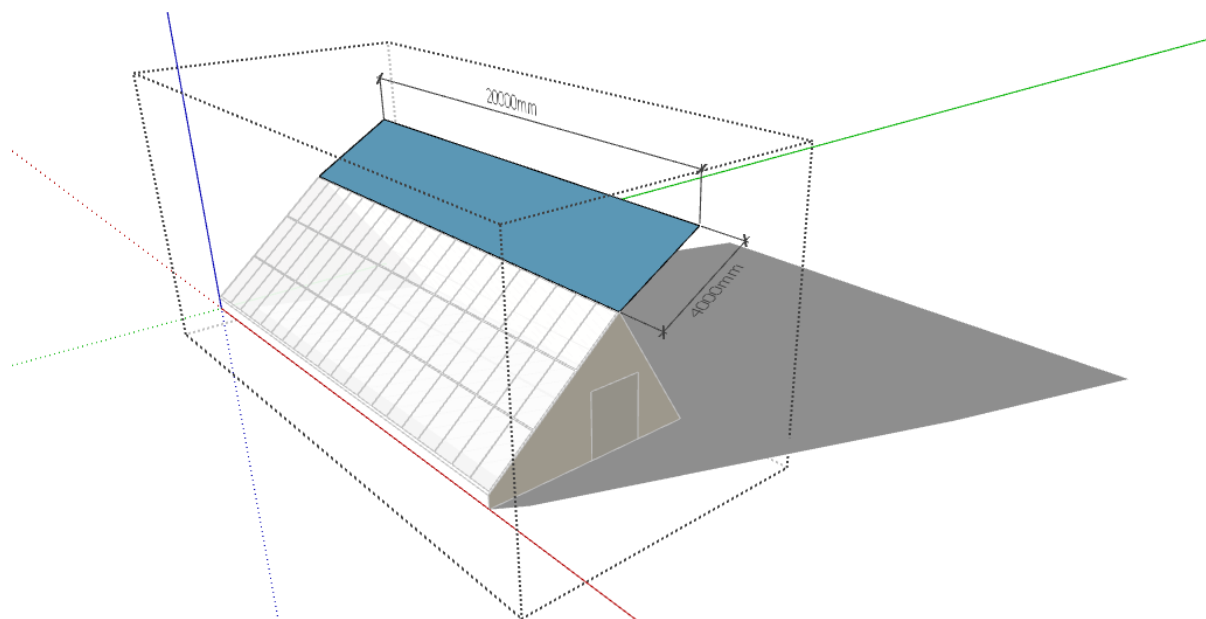
где је G_{opt} (°) оптимални нагиб у случају када се панел подешава око хоризонталне осе исток – запад сваког дана [18].

5.6 Модел фотонапонских модула на стакленику

Дефинисање фотонапонских модула у софтверу EnergyPlus почиње одређивањем површине на којој ће се налазити модули. Та површина може бити део објекта (најчешће је то јужна кровна косина, јужни зид или већи део фасаде и крова) или површина која се налази изван конструкције објекта (пored или изнад њега). Уколико се бира ово друго решење, као што је то случај на стакленику са Слике 5.6, у SketchUp-у се формира нова површина, једна или више, која није део било које термичке зоне објекта који се симулира, већ је EnergyPlus препознаје као површину или објекат који прави сенку и нема никакав други утицај на термичке процесе унутар објекта (стакленика).

Димензија површине на којој се дефинишу фотонапонски модули је 20x4 m или 80 m². Ова површина се наставља на јужну косину крова стакленика и у таквом положају не омета осунчавање стакленика, тј. не прави сенку према застакљеном делу и при том не заузима простор на земљи око стакленика, који може да се искористи за

евентуално још неки објекат. Угао који ова површина образује у односу на хоризонталну раван се креће од $0-90^\circ$ од симулације до симулације.



Слика 5.6 – Екстерна површина модела за постављање фотонапонских модула

5.6.1 Перформансе модела ФН система

EnergyPlus нуди различите опције за прорачун електричне енергије произведене од фотонапонских панела. Три различите опције су Simple, Equivalent One-Diode и Sandia, а избор одређује математичке моделе који се користе за одређивање производње енергије. Први омогућава кориснику да унесе произвољну ефикасност. Остала два модела користе емпиријске односе како би предвидели радне перформансе фотонапонских панела базирани на многим варијаблама околине, као што је температура ћелије. На моделу стакленика коришћена је прва опција са коефицијентима ефикасности од 12,14 и 16 % од симулације до симулације.

Фотонапонски генератор описује низ фотонапонских модула који се користе у прорачуну. Генератори се потом у објекту ElectricLoadCenter:Generators групишу на одређеној листи која сабира њихове номиналне излазне снаге. Сваки генератор у групи може бити састављен од друге врсте фотонапонских модула и налазити се на различитој површини.

Инвертор једносмерне у наизменичну струју коју користе потрошачи или се ”вишак” предаје јавној мрежи дефинисан је под претпоставком да ради са максималним коефицијентом ефикасности.

Модел ФН панела у EnergyPlus-у не рачуна напон и струју, већ само снагу (односно енергију). Производња електричне енергије се мери на основу излаза из претварача. Излазни резултати су доступни пре и након претварача. Једна од претпоставки је да ФН панел увек ради при максималној снази. Производња енергије се заснива на претпоставци да су квази-стабилна предвиђања моћи константна и континуирана у току симулационог времена.

Због тога се ово моделирање треба сматрати методом груписања максималне производње електричне енергије, а не прецизног предвиђања онога што ће панели произвести. Треба имати на уму да су предвиђања модела повезана са подацима о Сунчевом зрачењу у временској датотеци EnergyPlus-a, и да су соларни подаци у њима обично из модела уместо директних мерења и да су соларни ресурси са којима се сусреће стварна инсталација у одређеној години, вероватно различити од датотеке података о времену [16].

6. ОПТИМИЗАЦИЈА И АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА

СИМУЛАЦИЈА ПОТРОШЊЕ И ПРОИЗВОДЊЕ ЕНЕРГИЈЕ

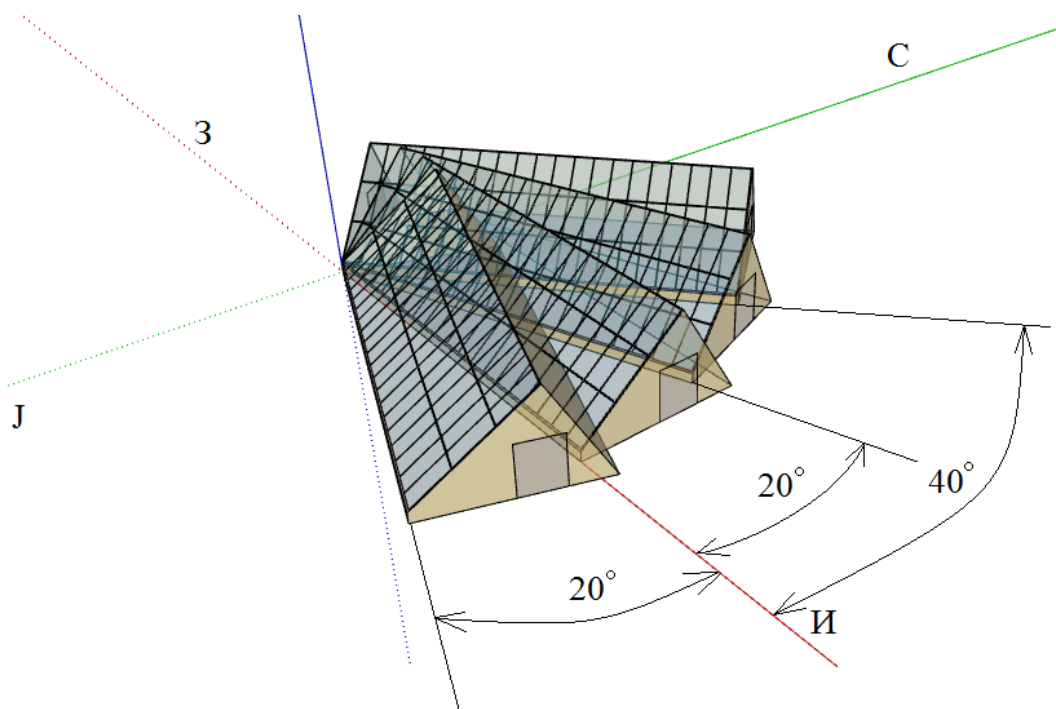
СТАКЛЕНИКА СА ФОТОНАПОНСКИМ СИСТЕМОМ

У претходним поглављима је описан модел стакленика са фотонапонским системом који ће проласком кроз низ симулација у EnergyPlus-у, а које ће се међусобно разликовати за макар један параметар који потенцијално може да промени крајњи резултат укупне потрошње енергије, показати да ли се енергија може уштедети и на који начин.

Стакленик је дизајниран да прими довољно Сунчеве енергије и при том што дуже задржи топлоту у зимском периоду. Јужна страна стакленика је застакљена, оријентисана у правцу исток – запад, али који угао у односу на север и југ је најоптималније решење, показеће резултати симулација са променом овог параметра.

6.1 Оптимизација оријентације соларног стакленика

Параметар оријентације се мења ротирањем модела око Z осе у програму SkechUp. Координате свих тачака модела се затим преводе у EnergyPlus софтвер. На Слици 6.1 су приказане четири оријентације које су узете у разматрање а то су:



Слика 6.1 – Промена оријентације стакленика

- северозапад – југоисток 20° од оријентације исток – запад (СЗ - ЈИ 20°)
- исток – запад (И – З)
- североисток – југозапад 20° од оријентације исток – запад (СИ – ЈЗ 20°)
- североисток – југозапад 40° од оријентације исток – запад (СИ – ЈЗ 40°)

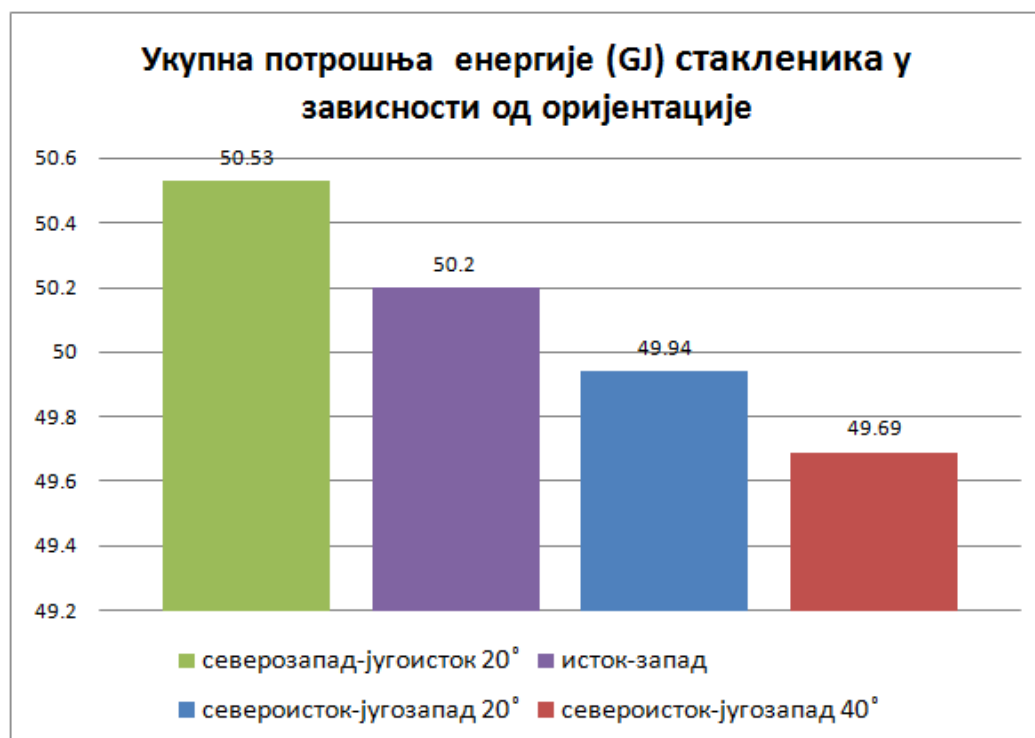
Резултати симулација показују да се укупна потрошња енергије за грејање и хлађење стакленика мења са овим променама оријентације. Разлике у потрошњи (Табела 6.1) нису велике али је било која уштеда енергије значајна.

Оријентација	Укупна потрошња енергије	Потрошња енергије за грејање	Потрошња енергије за хлађење
северозапад – југоисток 20°	50,53 GJ	10,62 GJ	12,09 GJ
исток – запад	50,2 GJ	10,42 GJ	11,95 GJ
североисток – југозапад 20°	49,94 GJ	10,48 GJ	11,64 GJ
североисток – југозапад 40°	49,69 GJ	10,76 GJ	11,11 GJ

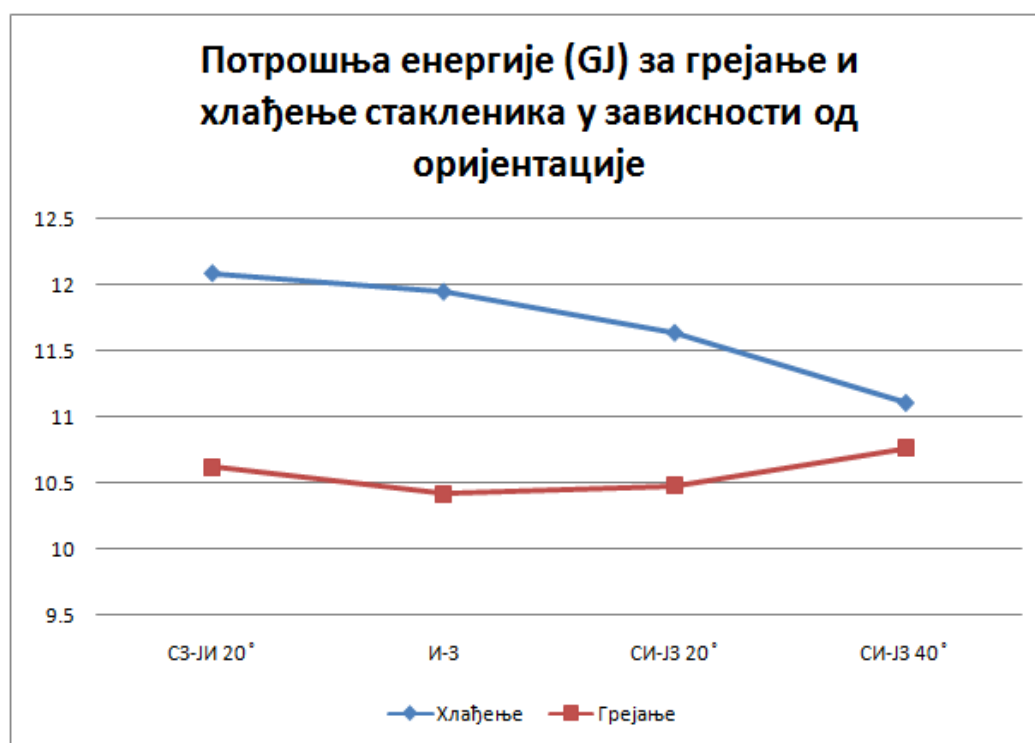
Табела 6.1 – Укупна потрошња енергије стакленика и потрошња енергије за грејање и хлађење у зависности од оријентације

Северозапад – југоисток 20° оријентација има потрошњу 50,53 GJ, исток – запад има потрошњу 50,2 GJ, североисток – југозапад 20° потрошњу 49,94 GJ и североисток – југозапад 40° потрошњу 49,69 GJ. Све симулације су рађене за период од годину дана. Према овим резултатима, ако посматрамо заокретање стакленика од југа ка северу, укупна потрошња енергије се смањује па је најоптималнија оријентација североисток – југозапад 40° (Слика 6.2). Логично је зашто је то тако и представљено дијаграмом на Слици 6.3. Стакленик оријентисан благо према западу троши највише енергије за хлађење у односу на остале оријентације узете у разматрање, а при том нема најмању потрошњу енергије за грејање. Лети када је Сунце високо изнад хоризонта стакленик оријентисан у правцу исток – запад је најотворенији за примање соларних зрака па је стога потребно доста енергије за његово хлађење. Са друге стране зими Сунчево зрачење смањује потрошњу енергије потребну за грејање. Једини разлог зашто оријентација најближа према северу, североисток – југозапад 40° има најмању потрошњу је због односа потребне количине енергије за грејање и хлађење која је

нешто већа у корист хлађења. Ова оријентација је више окренута према правцу где Сунце излази, па у поподневним часовима западни зид прави сенку које готово да нема при оријентацији исток – запад.

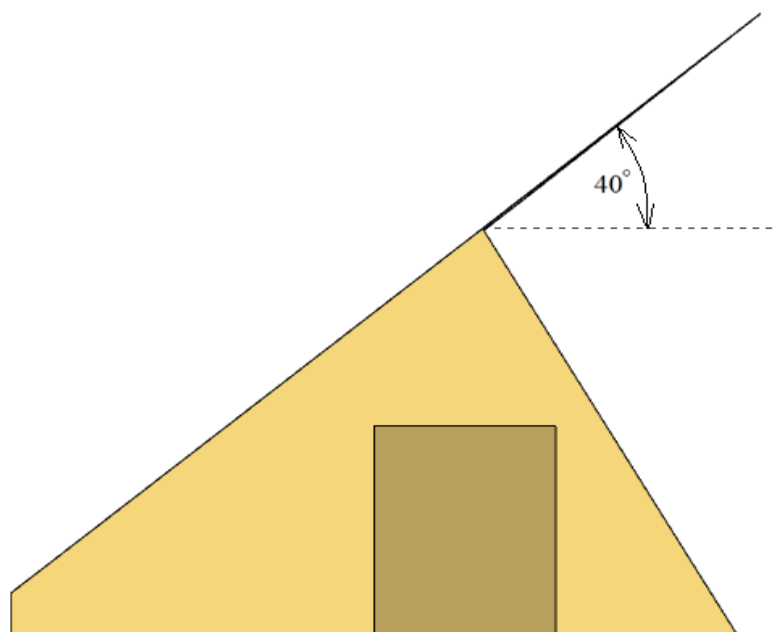


Слика 6.2 – Укупна потрошња енергије (GJ) стакленика у зависности од оријентације



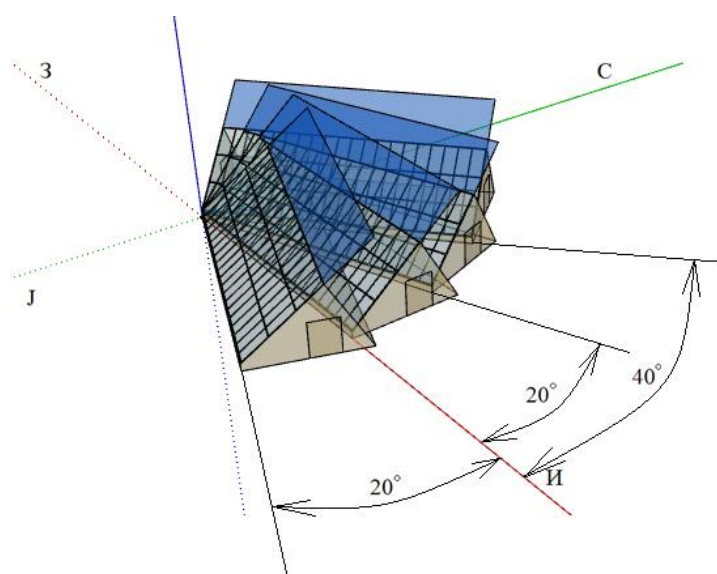
Слика 6.3 – Потрошња енергије (GJ) за грејање и хлађење стакленика у зависности од оријентације

Други параметар који одређује најоптималнију оријентацију стакленика је производња електричне енергије из фотонапонског система изнад стакленика. Симулиран је модел са нагибом фотонапонских модула у односу на хоризонталу од 40° (Слика 6.4,) који прате нагиб јужне косине стакленика.



Слика 6.4 – Стакленик са фотонапонским модулима под нагибом од 40° у односу на хоризонталу

Укупна површина модула је 80 m^2 , а коефицијент ефикасности фотонапонских ћелија 12%. Фотонапонски модули су као и стакленик ротирани у програму SketchUp према већ поређеним оријентацијама (Слика 6.5).

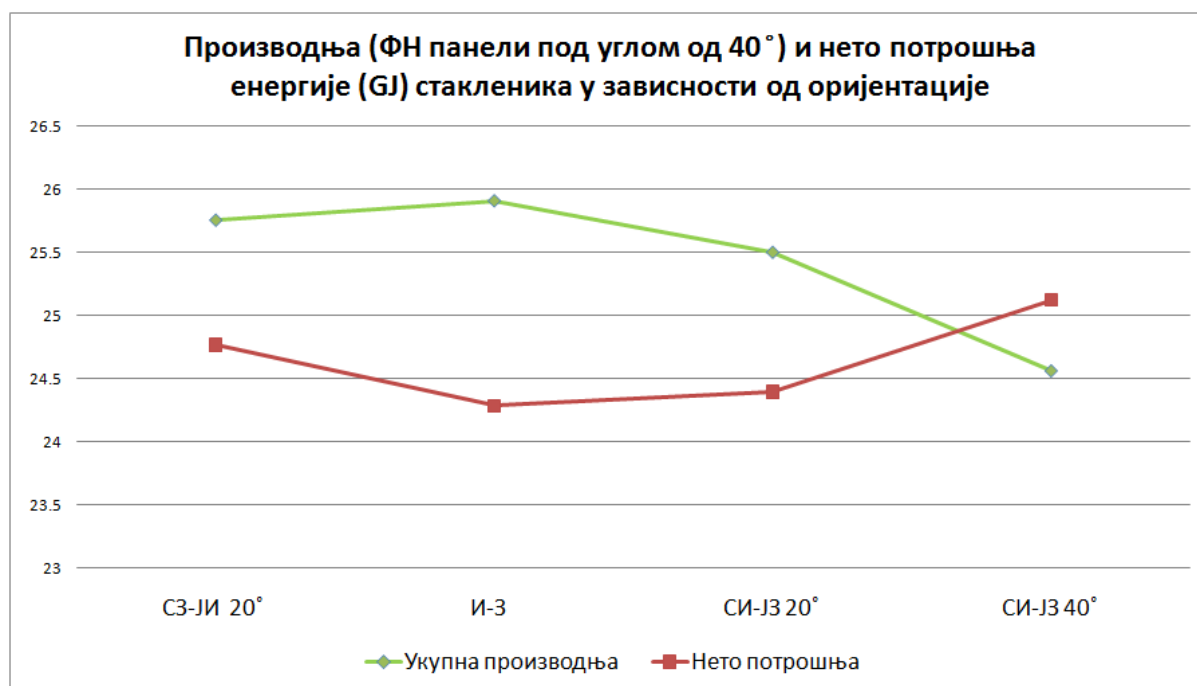


Слика 6.5 – Промена оријентације стакленика са фотонапонским модулима под нагибом од 40°

Оријентација	Укупна потрошња енергије	Произведена енергија	Нето потрошња енергије
северозапад – југоисток 20°	50,53 GJ	25,76 GJ	24,77 GJ
исток – запад	50,2 GJ	25,91 GJ	24,29 GJ
североисток – југозапад 20°	49,94 GJ	25,5 GJ	24,40 GJ
североисток – југозапад 40°	49,69 GJ	24,57 GJ	25,12 GJ

Табела 6.2 – Укупна потрошња, производња и нето потрошња енергије стакленика у зависности од оријентације

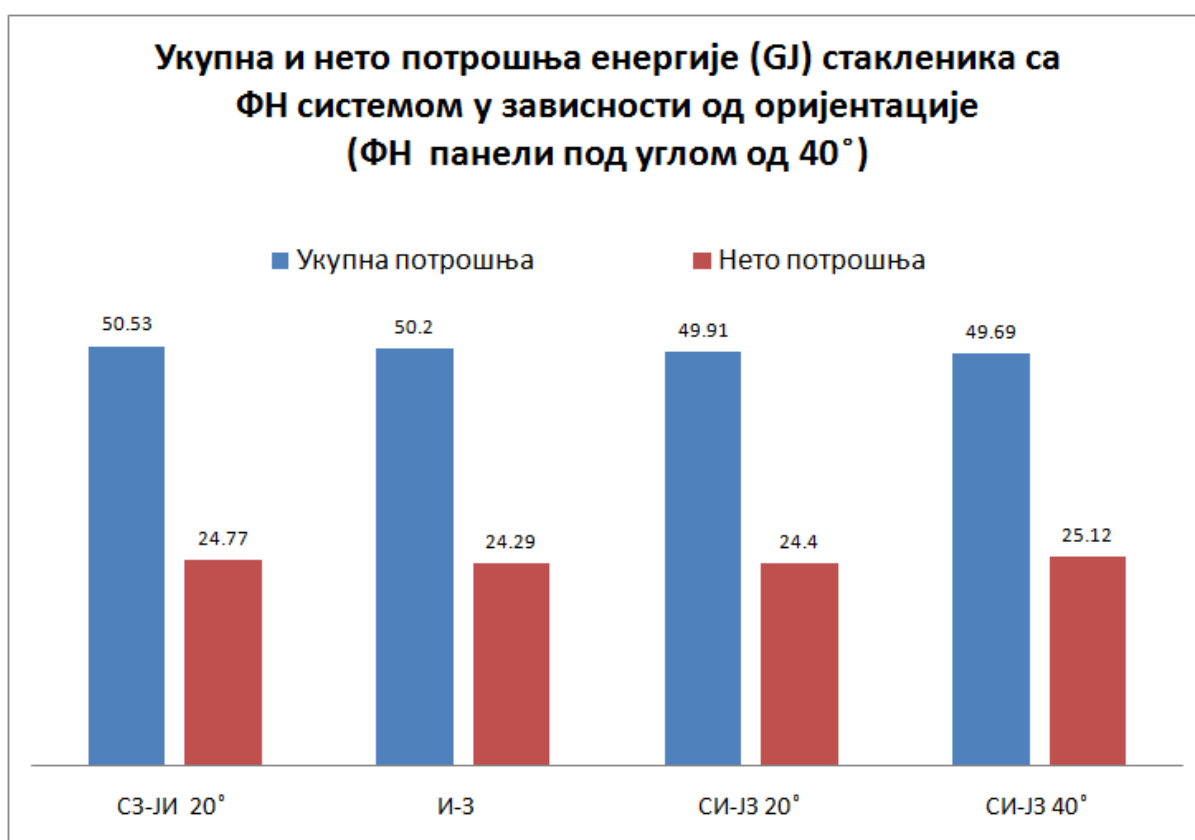
Резултати симулација (Табела 6.2) стакленика са фотонапонским системом показују да укупна годишња производња електричне енергије за оријентацију северозапад – југоисток 20° износи 25,76 GJ, исток – запад 25,91 GJ, североисток – југозапад 20° 25,5 GJ и североисток – југозапад 40° 24,57 GJ. Јасно је да се највише електричне енергије производи када су фотонапонске ћелије окренуте у правцу исток – запад.



Слика 6.6 – Производња (ФН панели под углом од 40°) и нето потрошња енергије (GJ) стакленика у зависности од оријентације

Произведена електрична енергија се користи за снабдевање компоненти топлотне пумпе вода – ваздух која је описана у једном од претходних поглавља.

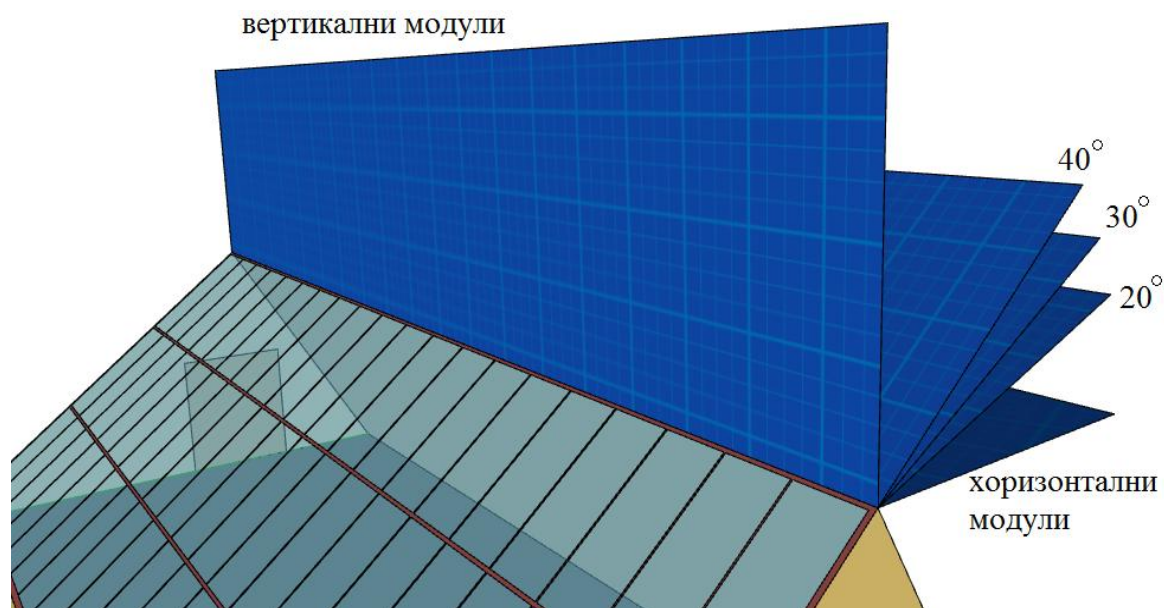
Одузимањем произведене од вредности укупно потрошене енергије за четири дате оријентације долазимо до закључка да се најоптималнији однос потрошене и произведене енергије, односно најмања нето потрошња енергије добија када је стакленик са фотонапонским модулима оријентисан у правцу исток – запад. На Слици 6.6 се може видети како са удаљењем од идеалне оријентације опада производња а расте укупна нето потрошња енергије. Укупна годишња нето потрошња енергије (Слика 6.7) за оријентацију северозапад – југоисток 20° износи 24,77 GJ, исток – запад - 24,29 GJ, североисток – југозапад 20° 24,4 GJ и североисток – југозапад 40° - 25,12 GJ. Овим резултатима је усвојена најоптималнија оријентација која ће у даљем анализирању фотонапонског система бити узета у обзир.



Слика 6.7 – Укупна и нето потрошња енергије (GJ) стакленика са ФН системом у зависности од оријентације (ФН под углом од 40°)

6.2 Оптимизација нагиба фотонапонских модула

Од нагиба фотонапонских модула доста зависи колика ће бити укупна производња електричне енергије. Потребно је наћи најоптималнији угао при ком ће фотонапонске ћелије имати највећи захват Сунчевог зрачења.

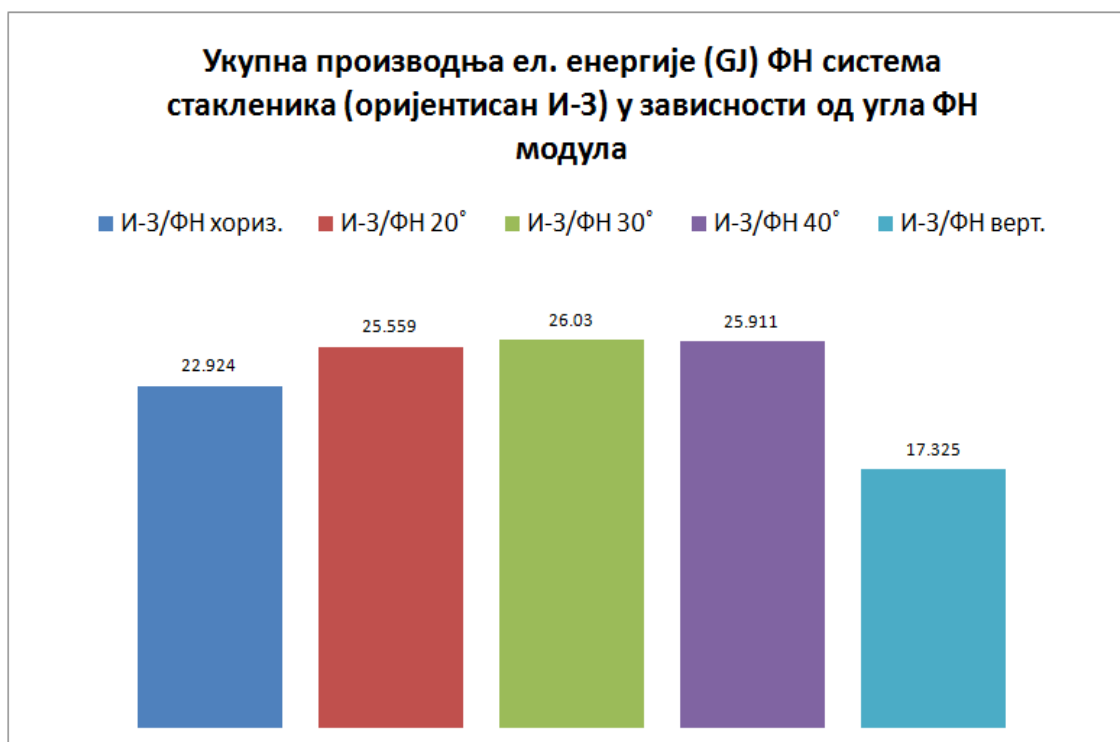


Слика 6.8 – Промена нагиба фотонапонских модула

Коришћени модел фотонапонских модула са нагибом од 40° је у програму SketchUp ротиран око странице која се наслања на стакленик. Затим су сачуване и експортиране координате фотонапонских модула са нагибом од 0° (хоризонтални модули), 20° , 30° и 90° (вертикални модули) који су приказани на Слици 6.8. Стакленик при ротирању модула све време има исту оријентацију исток – запад. Симулацијом фотонапонских модула са ова четири нагиба добијени су резултати за поређење произведене електричне енергије са већ познатим резултатом модула са нагибом од 40° . Када ФН модули имају хоризонтални положај производи се 22,92 GJ електричне енергије, при нагибу од 20° производи се 25,56 GJ, при нагибу од 30° производи се 26,03 GJ и код вертикалног положаја 17,33 GJ (Табела 6.3).

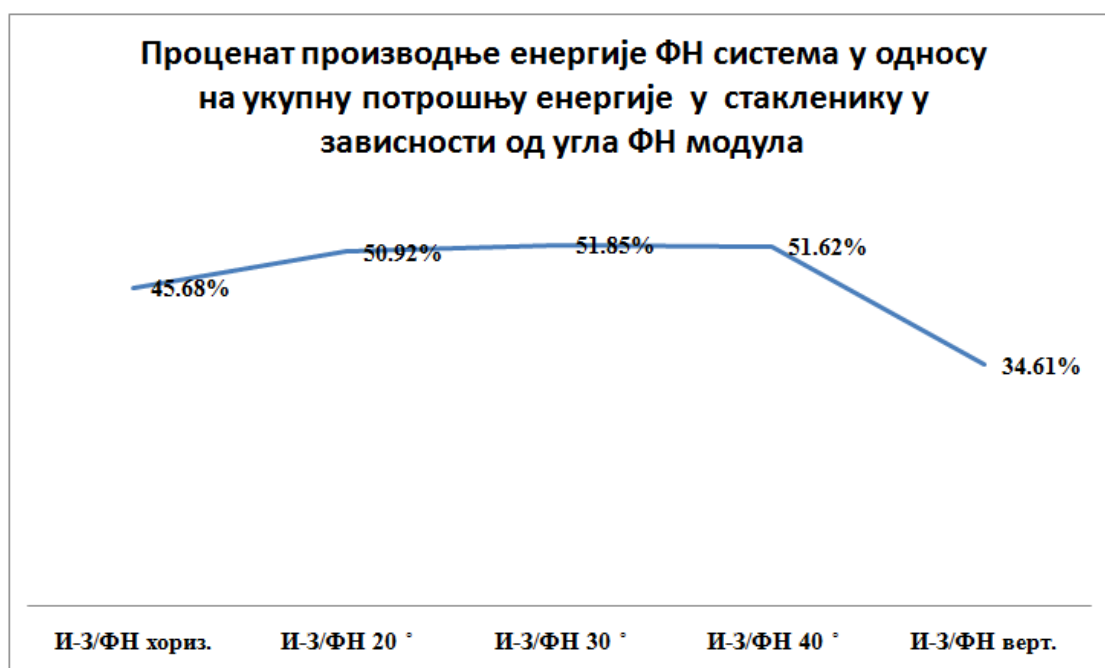
Положај ФН модула	Произведена енергија	Производња/ потрошња енергије	”Вишак” енергије
хоризонтални	22,92 GJ	45,68 %	4,76 GJ
нагиб од 20°	25,56 GJ	50,92 %	6,94 GJ
нагиб од 30°	26,03 GJ	51,85 %	7,46 GJ
нагиб од 40°	25,91 GJ	51,62 %	7,53 GJ
Вертикални	17,33 GJ	34,61 %	3,52 GJ

Табела 6.3 – Укупна производња, проценат производње и ”вишак” енергије ФН система у зависности од положаја ФН модула на стакленику са оријентацијом исток - запад



Слика 6.9 – Укупна производња ел. енергије (GJ) ФН система стакленика (оријентисан И-З) у зависности од угла ФН модула

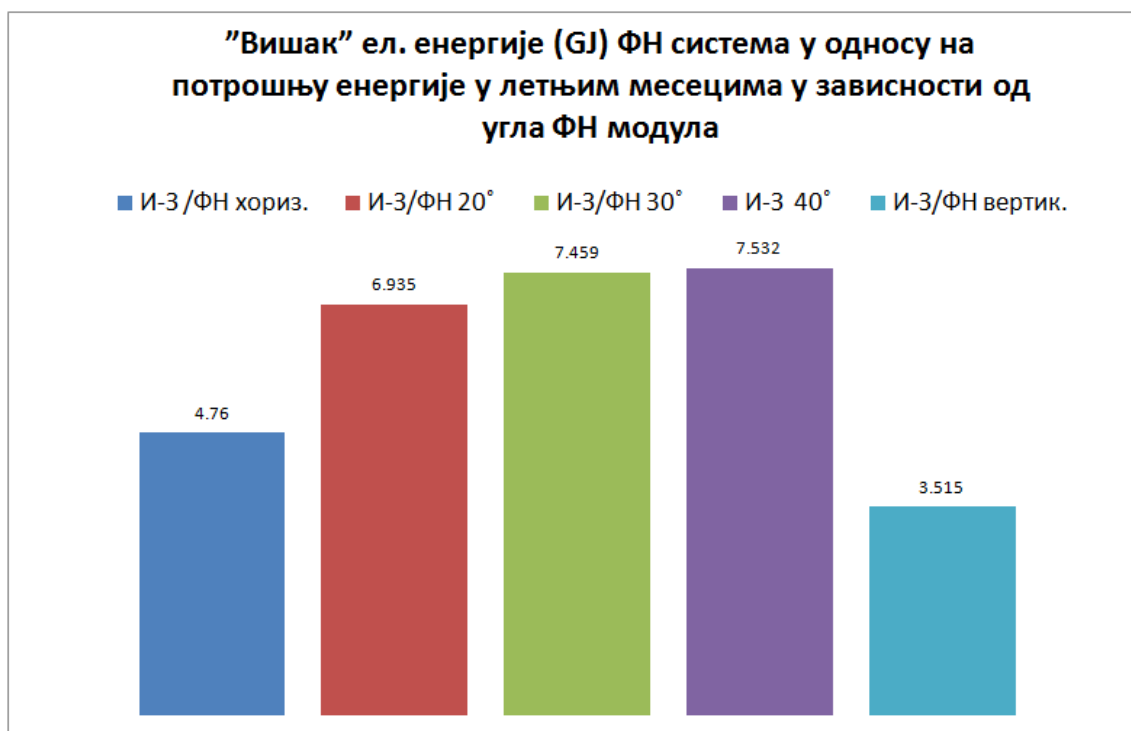
Према овим резултатима усваја се најоптималнији нагиб фотонапонских модула од 30° у односу на хоризонталу.



Слика 6.10 – Проценат производње енергије ФН система у односу на укупну потрошњу енергије у стакленику у зависности од угла ФН модула

Произведена енергија у односу на потрошену енергију дата је процентуално у табели 6.3 као и дијаграмом на Слици 6.10. Хоризонтални ФН модули задовољавају 45,68 % потрошње енергије, фотонапонски модули са нагибом од 20 ° задовољавају 50,92 %, фотонапонски модули са нагибом од 30 ° задовољавају 51,85 %, фотонапонски модули са нагибом од 40 ° задовољавају 51,62 % и вертикални модули задовољавају 34,61 % потрошње енергије.

У претходном поглављу је описан начин рада фотонапонског система стакленика у спрези са електроенергетском мрежом, што му омогућава да уколико у летњим месецима производи ”вишак” електричне енергије у односу на ону која му је у датом тренутку потребна, преда централној мрежи, а потом користи енергију из мреже када производња не задовољава енергетске потребе стакленика. Овим решењем, електрична мрежа се понаша као складишни центар фотонапонског система.



Слика 6.11 – ”Вишак” ел. енергије (GJ) ФН система у односу на потрошњу енергије у летњим месецима у зависности од угла ФН модула

У излазном фајлу EnergyPlus–а може се пронаћи вредност укупног вишка енергије који је у току одређеног периода предат мрежи. За претходне симулације фотонапонских система стакленика, као што је приказано на Слици 6.11 и табели 6.3 ”вишак” се креће од 3,52 GJ (вертикални модули) – 7,46 GJ (ФН модули под нагибом од 30°).

Са гледишта правне и економске стране годинама уназад производња енергије добијене из обновљивих извора енергије подстиче се ткз. feed-in тарифама. Ово значи да ”повлашћени произвођач” продаје електромрежи енергију по одређеном коефицијенту за 1 kWh који је знатно већи од цене коју електромрежа наплаћује својим корисницима.

У Србији је тренутно на снази уредба по којој ”повлашћени произвођач” може да постане само онај који укупну произведену енергију из обновљивих извора преда мрежи, тј. не може то да постане уколико предаје мрежи само ”вишак” произведене енергије [17].

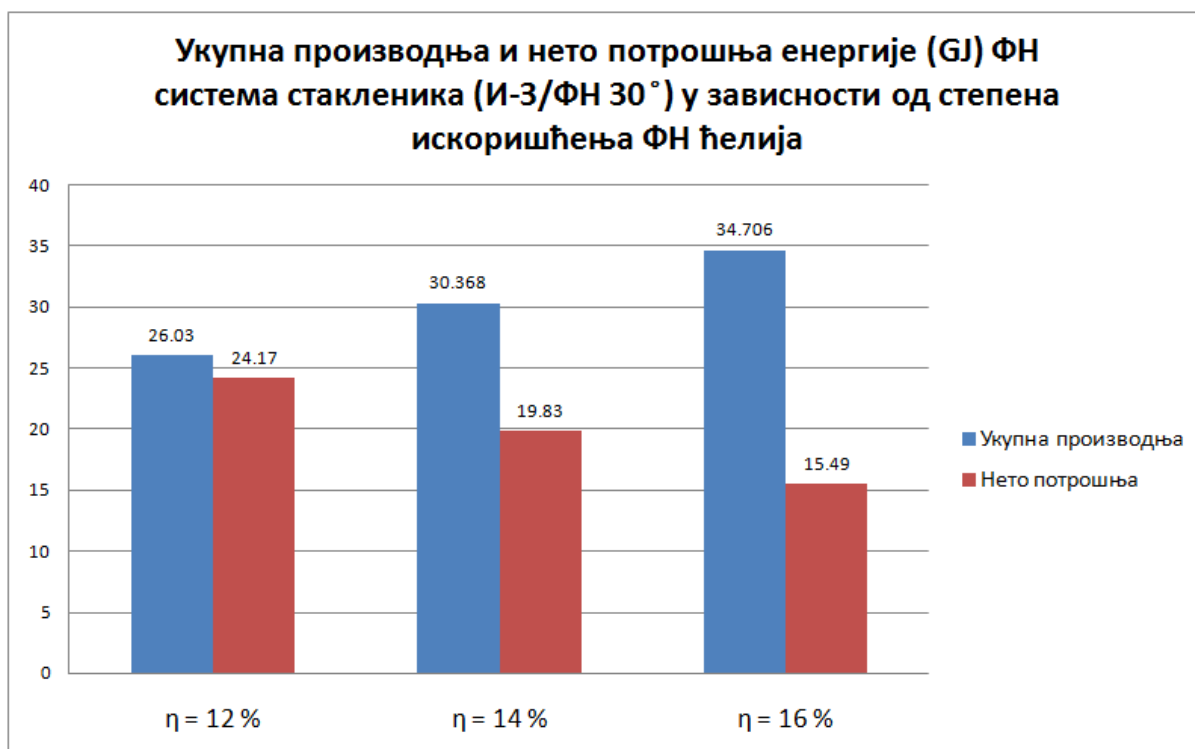
6.3 Оптимизација фотонапонских модула

Трећи параметар који утиче на укупну нето потрошњу енергије стакленика са фотонапонским модулима је промена перформанси фотонапонских ћелија. Претходни резултати се односе на модуле са ћелијама ефикасности $\eta = 12\%$. Ове ћелије су најраспрострањеније и најјефтиније на тржишту али нису увек најбоље решење.

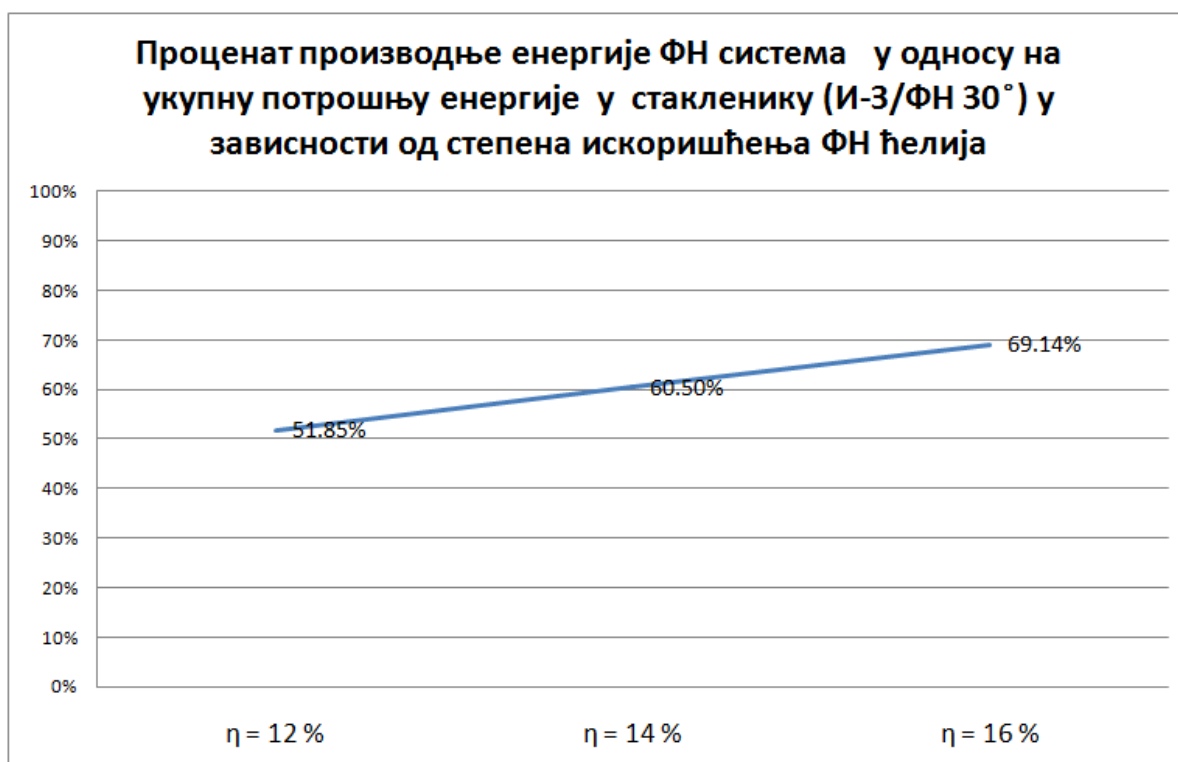
Ефикасност соларних ћелија	Произведена енергија	Производња/потрошња енергије	Нето потрошња енергије	”Вишак” енергије
$\eta = 12\%$	26,03 GJ	51,85 %	24,17 GJ	7,46 GJ
$\eta = 14\%$	30,37 GJ	60,50 %	19,83 GJ	10,89 GJ
$\eta = 16\%$	34,71 GJ	69,14 %	15,49 GJ	14,54 GJ

Табела 6.4 – Укупна производња, проценат производње, нето потрошња и ”вишак” енергије ФН система у зависности од ефикасности соларних ћелија на ФН модулима под нагибом од 30°

Симулација стакленика са најоптималнијом оријентацијом и најоптималнијим нагибом фотонапонских модула показује да укупна производња електричне енергије са ћелијама ефикасности $\eta = 14\%$ износи 30,37 GJ, а са ћелијама ефикасности $\eta = 16\%$ износи 34,71 GJ (Табела 6.4 и Слика 6.12), што је знатно више у односу на 26,03 GJ са ћелијама $\eta = 12\%$. Порастом производње смањује се знатно нето потрошња на 19,83 GJ за ћелије $\eta = 14\%$ и 15,49 GJ за ћелије $\eta = 16\%$ у односу на укупну потрошњу енергије стакленика која износи 50,2 GJ .



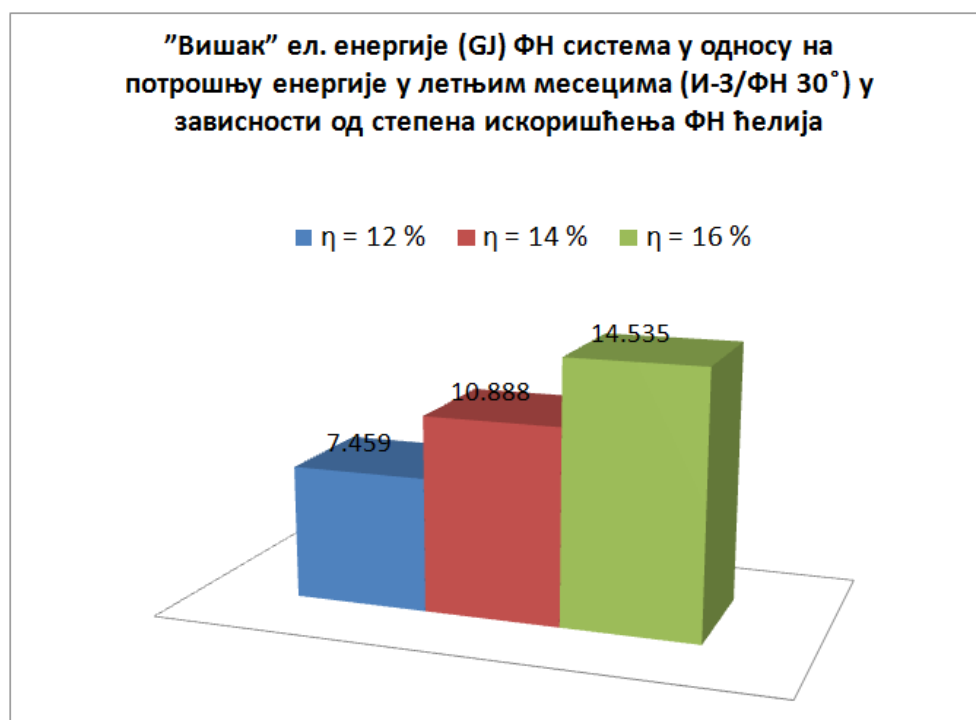
Слика 6.12 – Укупна производња и нето потрошња енергије (GJ) ФН система стакленика (И-3/ФН 30°) у зависности од степена искоришћења ФН ћелија



Слика 6.13 – Процент производње енергије ФН система у односу на укупну потрошњу енергије у стакленику (И-3/ФН 30°) у зависности од степена искоришћења ФН ћелија

Процентуално производња енергије са ћелијама ефикасности $\eta = 14 \%$ задовољава 60,5 %, а са ћелијама ефикасности $\eta = 16 \%$ задовољава 69,14 % (Слика 6.13 и табела 6.4) укупне потрошње енергије у стакленику.

Већа ефикасност логично доноси веће ”вишкове” електричне енергије, у току летњих врелих дана, који се предају електроенергетској мрежи. На Слици 6.14 може се видети да достижу вредности од 10,89 GJ за ћелије $\eta = 14 \%$ и 14,54 GJ за ћелије $\eta = 16 \%$.



Слика 6.14 – ”Вишак” ел. енергије (GJ) ФН система у односу на потрошњу енергије у летњим месецима (И-З/ФН 30°) у зависности од степена искоришћења ФН ћелија

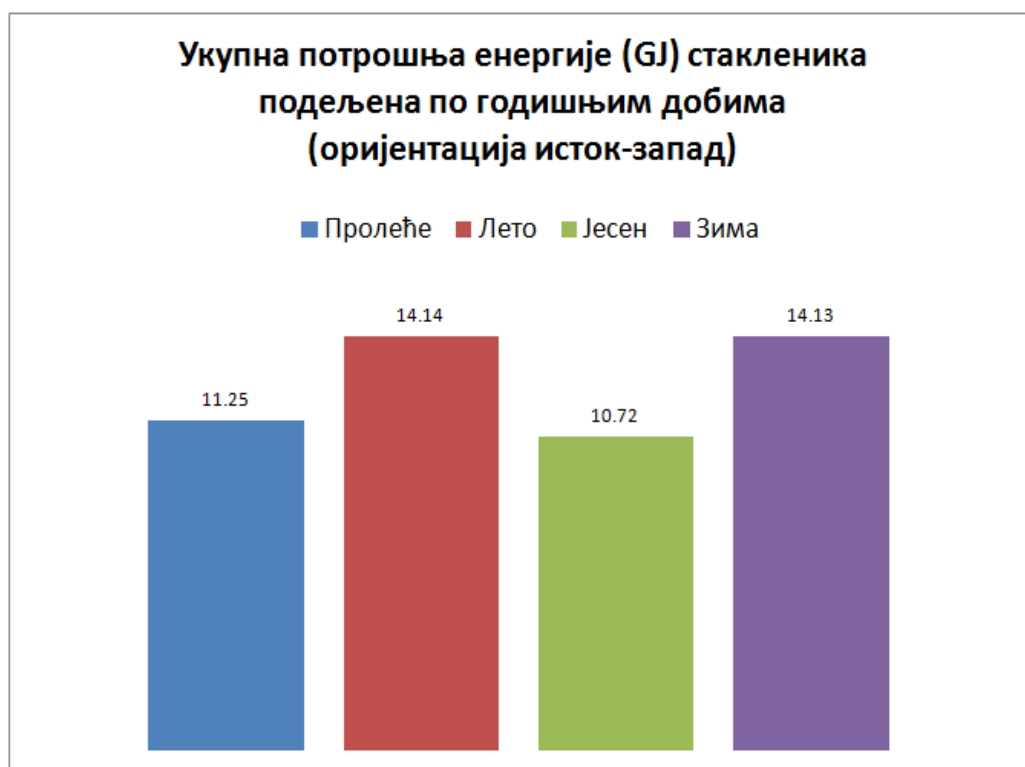
6.4 ФН модули ($\eta=16 \%$) стакленика са периодичном променом нагиба

Из претходних анализа симулација се могло видети да нагиб фотонапонских модула од 30° захвата највећи проценат Сунчевог зрачења за период од годину дана, када су у питању фиксни модули. Што се тиче покретних модула који могу да се померају по једној или две осе, програм EnergyPlus још увек нема развијен код за такву симулацију. Ипак мимо тога, може се направити импровизација сабирањем појединачних симулација. Па уколико би симулирали праћење Сунца од стране модула, тј. померање у две осе из минута у минут, на овај начин, морали би да направимо најмање око 300.000 симулација за анализу годишње производње енергије и саберемо њихове резултате.

Панел са фотонапонским модулима инсталиран изнад стакленика, и који се својом доњом страницом ослања на њега, може се ротирати око те странице мењајући нагиб. Пошто је установљено да би мануелно симулирање промене угла модула на сваки минут протеклог времена трајало предуго, симулирана је промена нагиба око једне осе за неколико периода у току године.

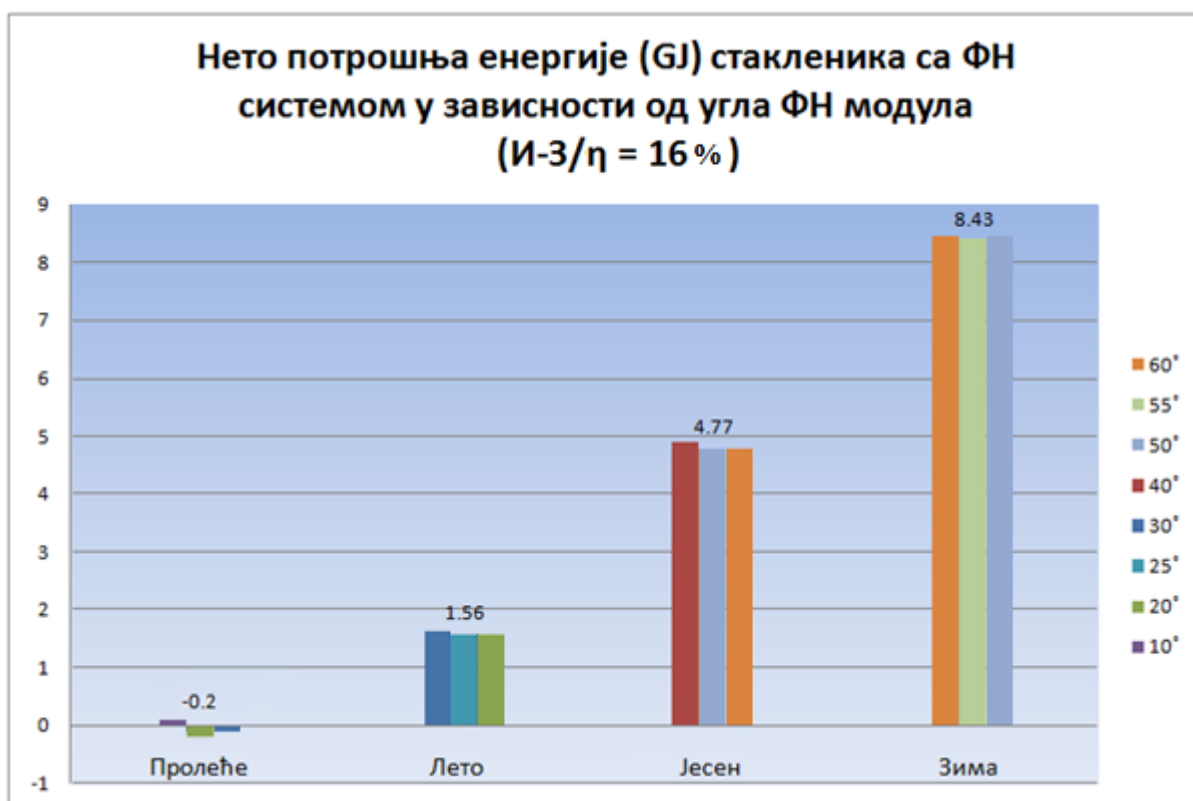
6.4.1 Промена нагиба ФН модула ($\eta = 16\%$) према годишњим добима

Да би се извршила симулација за одређени временски период у програму EnergyPlus је потребно изменити овај параметар. Узет је улазни фајл једне од претходних симулација са оријентацијом стакленика исток – запад и на њему је направљена промена четири пута за четири нова фајла са периодима: 1) 21.03. – 21.06. (пролеће); 2) 22.06. – 22.09. (лето); 3) 23.09. – 21.12. (јесен); 22.12. – 20.03. (зима). Симулацијом ова четири фајла добијена је подела укупне потрошње енергије стакленика према годишњим добима која износи 11,25 GJ у пролеће, 14,14 GJ преко лета, 10,72 GJ у јесен и 14,13 GJ преко зиме (Слика 6.15). Из овога се може видети да се највише енергије троши у периодима са најекстремнијим температурама околине.



Слика 6.15 – Укупна потрошња енергије (GJ) стакленика подељена по годишњим добима (оријентација исток-запад)

Производња електричне енергије је симулирана минимум три пута различитим нагибима фотонапонских модула за сваки од ових периода понаособ. Почетни нагиб је одређен произвољно на основу географске ширине локације и годишњег доба за које се врши симулација, а потом је нагиб повећаван или смањиван за 5° или 10° . Максимална вредност производње је одређена проналаском вредности неке симулације са датим нагибом, која је већа од резултата симулација за оба суседна нагиба датом.

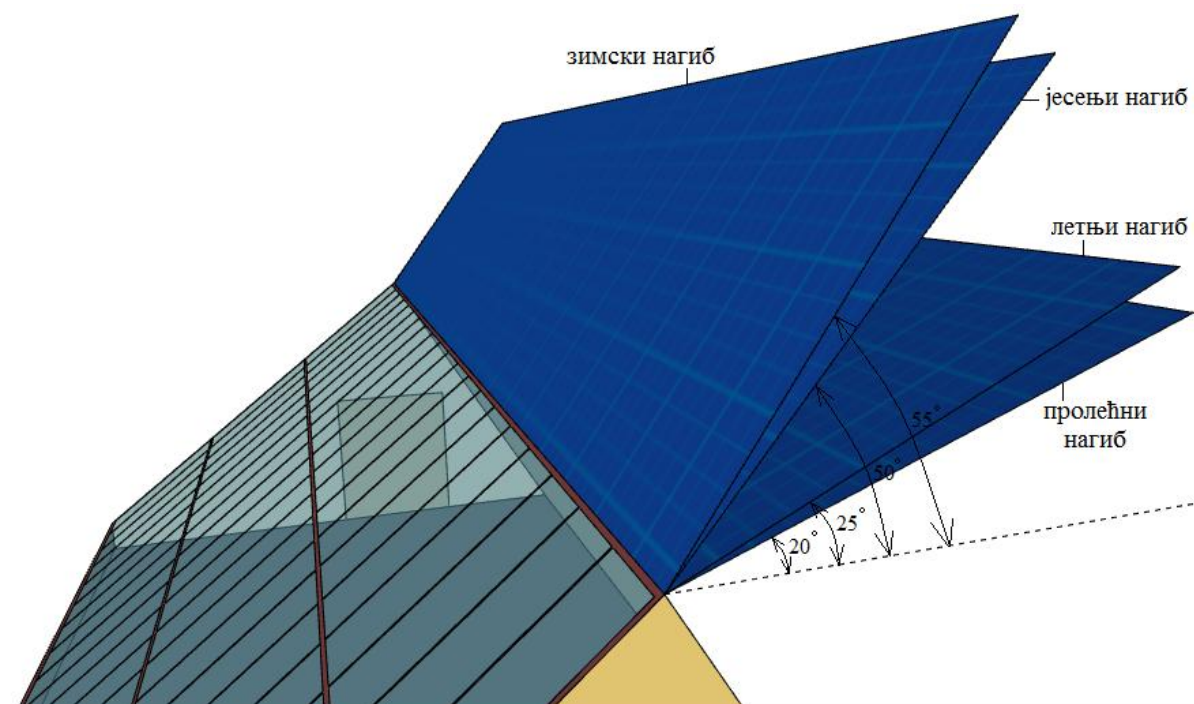


Слика 6.16 – Нето потрошња енергије (GJ) стакленика са ФН системом у зависности од угла ФН модула

($I-3/\eta = 16$)

Максимална производња енергије даје минималне нето потрошње. На дијаграму са слике 6.16 се може видети да је за пролећни период најнижа нето потрошња $E_{\text{пр,нет}} = -0,2$ GJ за нагиб од 20° (негативна вредност означава да је производња већа од потрошње енергије), док су вредности нето потрошње за први мањи и већи симулирани нагиб $0,1$ GJ (нагиб 10°) и $-0,1$ GJ (нагиб 30°). За летњи период минимална нето потрошња је за нагиб од 25° и износи $E_{\text{ле,нет}} = 1,56$ GJ, за мањи нагиб од 20° износи $1,57$ GJ и за већи нагиб од 30° износи $1,63$ GJ. Нагиб од 50° у јесењем периоду даје минимум нето потрошње $E_{\text{је,нет}} = 4,77$ GJ поред $4,9$ GJ за нагиб од 40° и $4,79$ GJ за нагиб од 50° . У зимском периоду нагиб од 55° даје минималну нето

потрошњу $E_{\text{зи}_{\text{нет}}} = 8,43 \text{ GJ}$, док нагиби од 50° односно 60° дају исту нето потрошњу од $8,45 \text{ GJ}$.



Слика 6.17 – Најоптималнији нагиби ФН модула према годишњим добима

Сабирањем вредности нето потрошње енергије из симулација са најоптималнијим нагибима ФН модула (Слика 6.17) за сва четири годишња доба, добија се укупна годишња нето потрошња, $E_{\text{гд}_{\text{нет}}}$:

$$E_{\text{гд}_{\text{нет}}} = E_{\text{пр}_{\text{нет}}} + E_{\text{ле}_{\text{нет}}} + E_{\text{је}_{\text{нет}}} + E_{\text{зи}_{\text{нет}}} \quad (6.1)$$

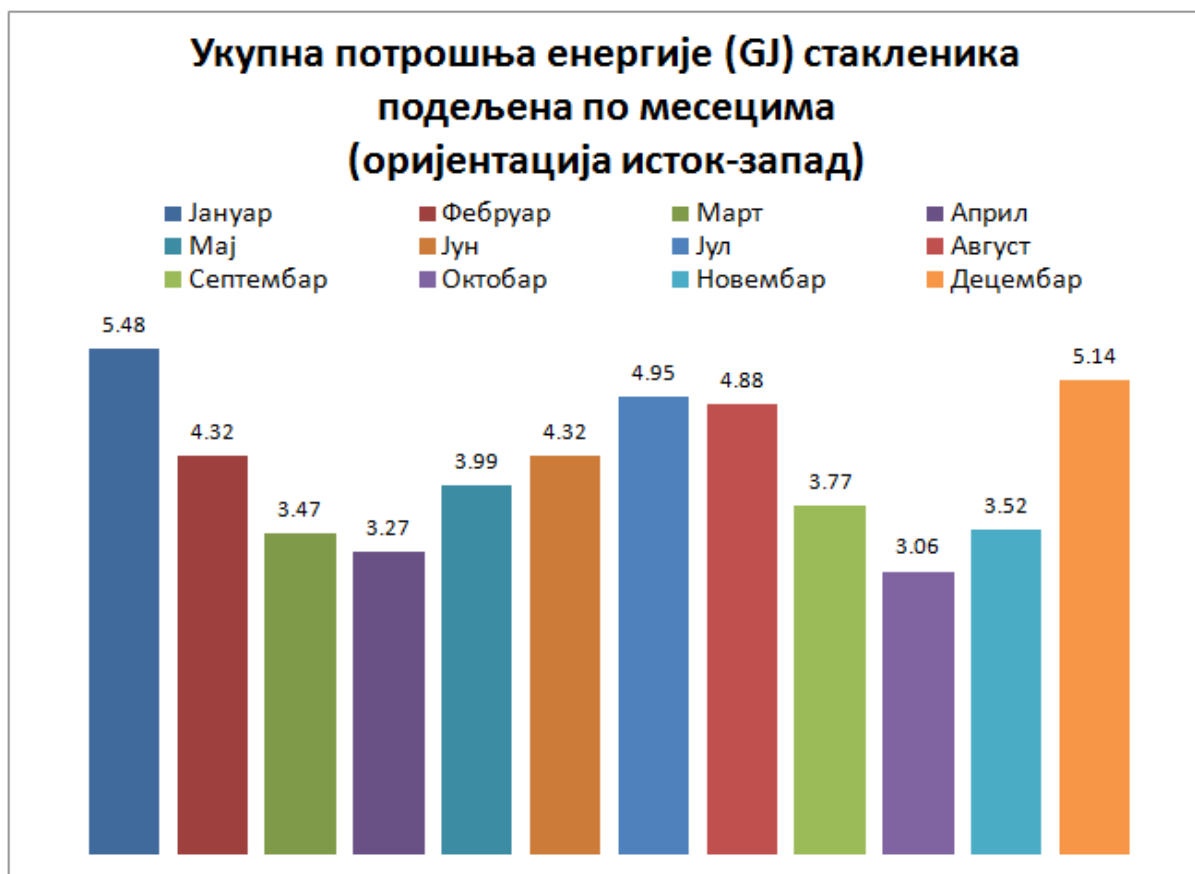
$$E_{\text{гд}_{\text{нет}}} = -0,2 + 1,56 + 4,77 + 8,43 = 14,56 \text{ GJ} \quad (6.2)$$

Када добијену вредност упоредимо са нето потрошњом стакленика са фиксним ФН модулима (Слика 6.12) која износи $15,49 \text{ GJ}$ добијамо уштеду енергије од $0,93 \text{ GJ}$ или 6% за годину дана.

6.4.2 Промена нагиба ФН модула ($\eta = 16 \%$) према месецима

Скраћивањем временског периода за који се врши симулација, као што је већ поменуто, повећава се број симулација као и број промена нагиба ФН модула. Овде је анализирана још и промена нагиба модула за сваки месец појединачно. У EnergyPlus-у је дефинисано нових дванаест периода уместо четири, а затим симулирана потрошња енергије за сваки од њих. Месец јануар има највећу потрошњу од $5,48 \text{ GJ}$, а месец

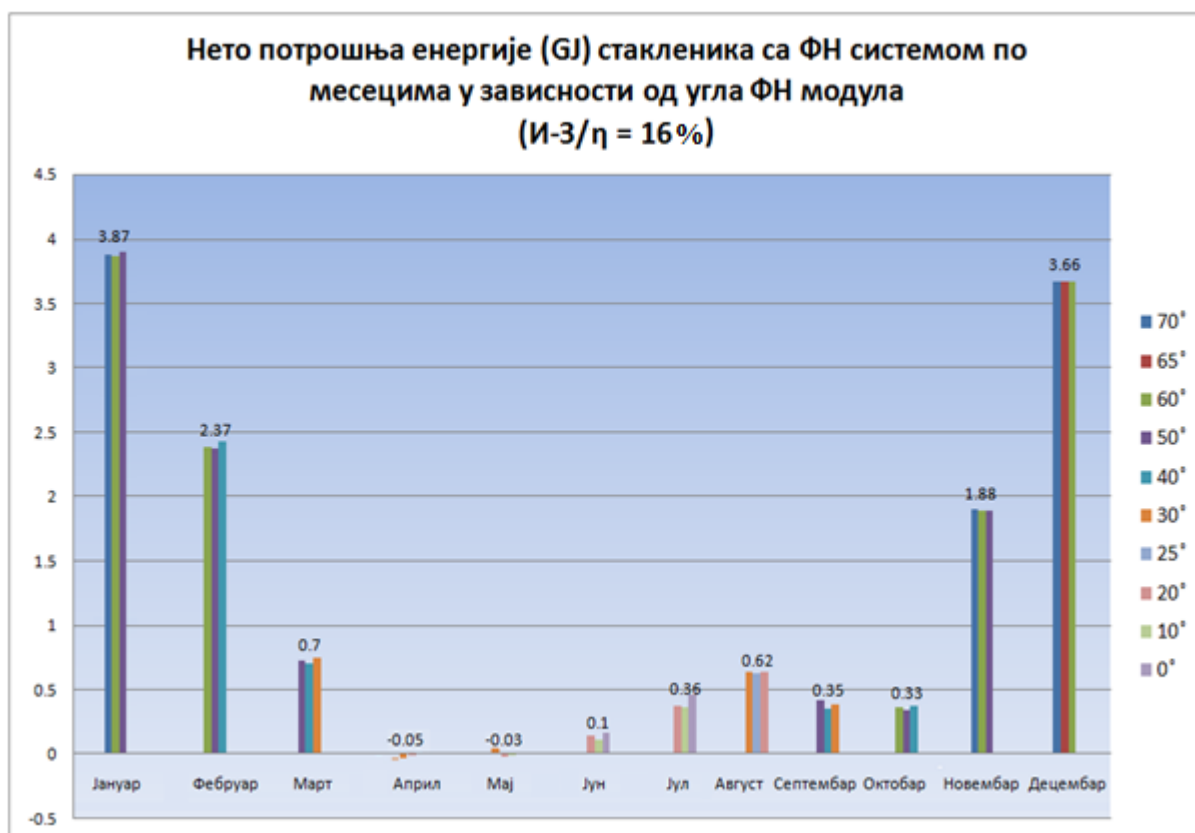
октобар најнижу од 3,06 GJ. Комплетна потрошња по месецима дата је дијаграмом на Слици 6.18.



Слика 6.18 – Укупна потрошња енергије (GJ) стакленика подељена по месецима
(оријентација исток-запад)

Производња, односно нето потрошња енергије за сваки месец је симулирана по истом принципу као што је то приказано за годишња доба. Низом симулација издвојена су по три нагиба ФН модула која дају најниже нето потрошње енергије. У јануару је најоптималнији нагиб од 60° , потом се најоптималнији нагиби из месеца у месец мењају смањивањем нагиба за по 10° , све до месеца јуна ком одговара нагиб од 10° . За месец јул се понавља исти нагиб као у јуну, при ком је нето потрошња енергије најнижа. Од јула до септембра ком одговара нагиб од 40° , угао се постепено повећава за 15° , а од септембра до новембра за 10° , па је нагиб поново на 60° . У децембру нагиби ФН модула од 60° , 65° и 70° дају најниже нето потрошње енергије стакленика, али занимљиво ове вредности су идентичне за сва три угла. С обзиром на то да је у новембру најоптималнији нагиб 60° , а у јануару такође, логично је да и у децембру остане овај угао и тако споји ова три месеца. Коначно, можемо закључити да је

потребно девет пута у току године мењати нагиб ФН модула, како би добили најнижу нето потрошњу енергије на месечном нивоу. Дијаграм на слици 6.19 приказује најниже нето потрошње за свих дванаест месеци у зависности од нагиба ФН модула.



Слика 6.19 – Нето потрошња енергије (GJ) стакленика са ФН системом по месецима у зависности од угла ФН модула (И-3/η = 16 %)

Сабирањем најнижих нето потрошњи енергије за свих дванаест месеци, добија се укупна годишња потрошња у зависности од месечне промене нагиба ФН модула, $E_{\text{нет}}$:

$$E_{\text{нет}} = E_{\text{ја}_{\text{нет}}} + E_{\text{фе}_{\text{нет}}} + E_{\text{ма}_{\text{нет}}} + E_{\text{ап}_{\text{нет}}} + E_{\text{мај}_{\text{нет}}} + E_{\text{јун}_{\text{нет}}} + E_{\text{јул}_{\text{нет}}} + E_{\text{ав}_{\text{нет}}} + E_{\text{се}_{\text{нет}}} + E_{\text{ок}_{\text{нет}}} + E_{\text{но}_{\text{нет}}} + E_{\text{де}_{\text{нет}}} \quad (6.3)$$

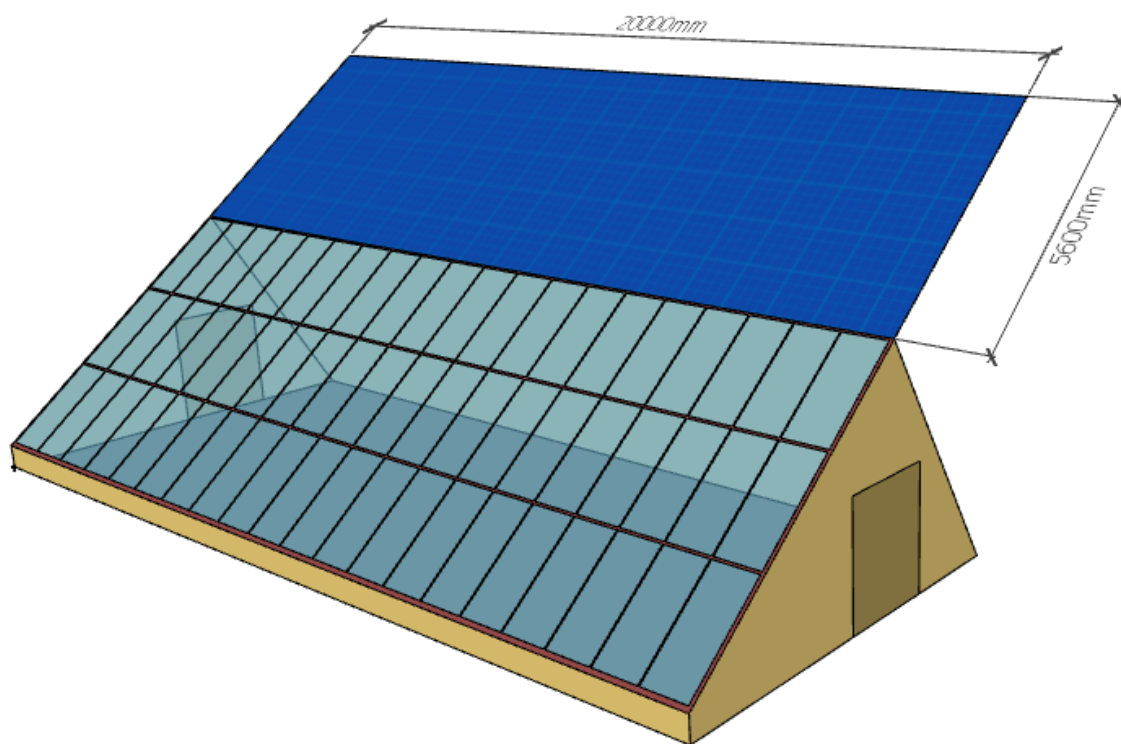
$$E_{\text{нет}} = 3,87 + 2,37 + 0,7 - 0,05 - 0,03 + 0,1 + 0,36 + 0,62 + 0,35 + 0,33 + 1,88 + 3,66 = 14,16 \text{ GJ} \quad (6.4)$$

У односу на потрошњу енергије стакленика са фиксним ФН модулима уштеда енергије износи 1,33 GJ или 8,6 %.

6.5 Соларни стакленик нето-нулте потрошње енергије

Соларни стакленик нето-нулте потрошње енергије би представљао стакленик чије компоненте за коришћење обновљивих извора енергије, производе једнако онолико енергије колико износи укупна потрошња.

Добијени резултати симулација модела стакленика односно ФН модула површине 80 m^2 , показују да је овај капацитет недовољан да произведе довољно енергије која би подмирила потребе стакленика за његово грејање и хлађење. Максимална производња енергије износи $71,79 \%$ од укупне потрошње, па према том односу, површина ФН модула треба да износи 112 m^2 да би производња енергије била једнака укупној потрошњи. Према претходној констатацији, модел ФН модула је модификован у програму SkechUp повећањем ширине екстерне површине за $1,6 \text{ m}$ (Слика 6.20).



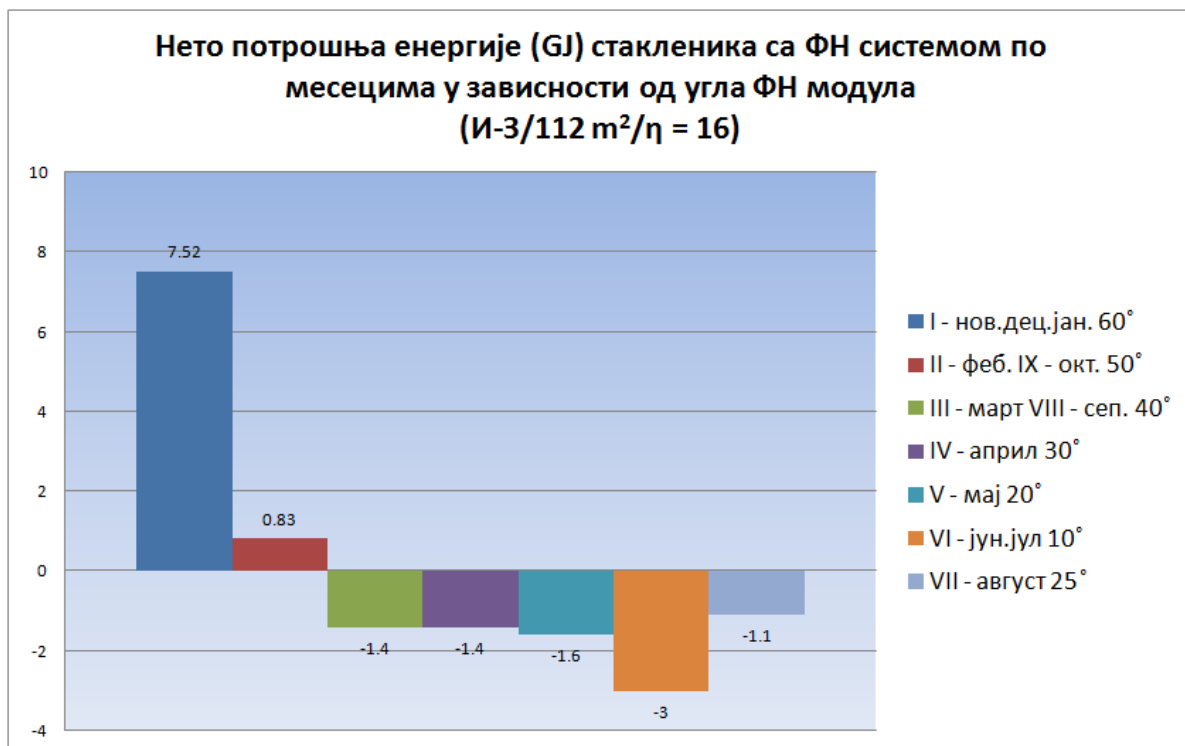
Слика 6.20 – Модел стакленика са ФН модулима површине 112 m^2

Симулацијом модела стакленика оријентисаног у правцу исток - запад са ФН модулима бруто површине 112 m^2 , под нагибом од 30° , може се видети да нето потрошња енергије износи $1,6 \text{ GJ}$ (Слика 6.22 и табела 6.5). Производња енергије достиже $96,8 \%$ укупне потрошње.

Покретљивост ФН модула	Укупна потрошња	Нето потрошња енергије
фиксни модули	50,2 GJ	1,6 GJ
месечна промена нагиба	50,2 GJ	-0,15 GJ

Табела 6.5 – Укупна и нето потрошња енергије стакленика са ФН модулима површине 112 m² (ФН 30/ И-3/ η = 16 %) у зависности од покретљивости

Симулације са променама нагиба ФН модула по месецима су у овом случају урађене у седам корака, по већ установљеним најоптималнијим нагибима. На Слици 6.21 дат је дијаграм на ком се виде нето потрошње енергије у односу на седам различитих симулација у којима фигурира девет промена нагиба ФН модула. Прва симулација представља први положај са нагибом од 60° и укључује период од новембра до краја јануара. Нето потрошња износи $E_{\text{нет}} = 7,52$ GJ. Друга симулација је за други (фебруар) и девети (октобар) положај заједно јер имају идентичан нагиб од 50°, а нето потрошња је $E_{\text{нет}} = 0,83$ GJ.



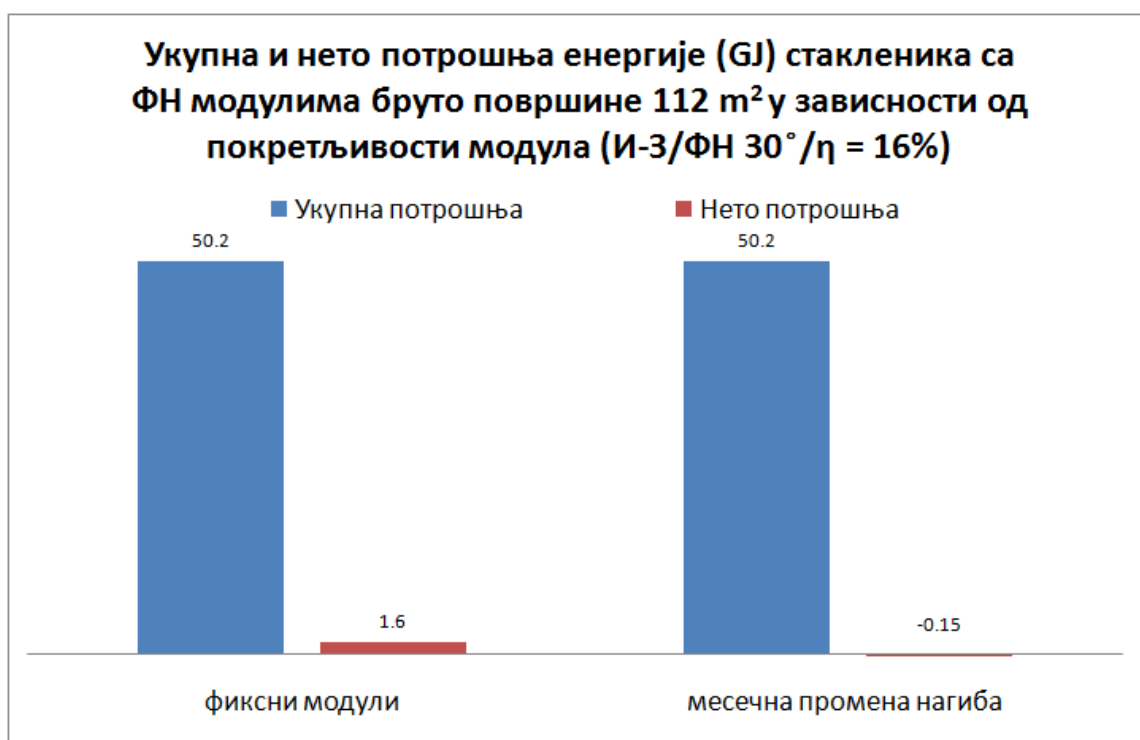
Слика 6.21 – Нето потрошња енергије (GJ) стакленика са ФН системом по месецима у зависности од угла ФН модула (И-3/112 m²/ η = 16)

Трећа симулација обухвата два положаја као и претходна, то су трећи (март) и осми (септембар) положај са нагибом од 40° . Нето потрошња енергије је $E_{III_{\text{нет}}} = -1,4$ GJ. Четврта је само за четврти положај, односно месец април са нагибом од 30° и нето потрошња је $E_{IV_{\text{нет}}} = -1,4$ GJ. Пета симулација је за пети (мај) положај са нагибом од 20° . Нето потрошња је $E_{V_{\text{нет}}} = -1,6$ GJ. Шеста симулација за шести положај који обухвата период од почетка јуна до краја јула, са нагибом од 10° , има нето потрошњу $E_{VI_{\text{нет}}} = -3$ GJ. И последња седма симулација је за седми (август) положај са нагибом од 25° , а нето потрошња енергије је $E_{VII_{\text{нет}}} = -1,1$ GJ. Сабирањем вредности свих седам симулација добија се, $E_{\text{Мнет}}$:

$$E_{\text{Мнет}} = E_{I_{\text{нет}}} + E_{II_{\text{нет}}} + E_{III_{\text{нет}}} + E_{IV_{\text{нет}}} + E_{V_{\text{нет}}} + E_{VI_{\text{нет}}} + E_{VII_{\text{нет}}} \quad (6.5)$$

$$E_{\text{Мнет}} = 7,52 + 0,83 - 1,4 - 1,4 - 1,6 - 3 - 1,1 = -0,15 \text{ GJ} \quad (6.6)$$

Укупна нето потрошња енергије стакленика са ФН модулима бруто површине 112 m^2 , при месечним променама нагиба а који су најоптималнији за дати период, износи $-0,15$ GJ (Слика 6.22 и табела 6.5). Произведена енергија из ФН модула у потпуности обезбеђује довољно енергије за потребе стакленика, што потврђује претпоставку да модел ових димензија представља стакленик нето-нулте потрошње енергије.



Слика 6.22 – Укупна и нето потрошња енергије (GJ) стакленика са ФН модулима бруто површине 112 m^2 у зависности од покретљивости модула (И-3/ФН 30° $\eta = 16\%$)

7. ЗАКЉУЧАК

Основна идеја овог истраживања била је да се пројектованом моделу стакленика са фотонапонским системом, у софтверу EnergyPlus, одреди најоптималнија оријентација, положај модула за пријем Сунчеве енергије и постигне нето-нулта потрошња енергије.

Најпре је поређењем резултата потрошње енергије за грејање и хлађење стакленика помоћу топлотне пумпе, и производње енергије преко ФН система површине од 80 m^2 , за четири различите оријентације, одређен правац исток – запад као најоптималнији и усвојен за све наредне симулације. ФН модули су почетно дефинисани под нагибом од 40° , са ћелијама ефикасности $\eta = 12 \%$, а нето потрошња енергије за усвојену оријентацију износила је $24,29 \text{ GJ}$, при укупној потрошњи енергије од $50,2 \text{ GJ}$.

За усвојену оријентацију је потом мењан параметар нагиба ФН модула, дефинисањем нових углова од 0° , 20° , 30° и 90° . Нагиб од 30° је усвојен након симулација са најнижом нето потрошњом која је имала вредност $24,17 \text{ GJ}$. Следећи параметар промене је био ефикасност ФН ћелија. Упоредивање су вредности произведене електричне енергије симулацијама са ефикасношћу ФН ћелија $\eta = 14 \%$ и $\eta = 16 \%$, а нето потрошња енергије стакленика за усвојену ефикасност $\eta = 16 \%$ је била смањена за $35,91 \%$ у односу на ефикасност $\eta = 12 \%$ и износила је $15,49 \text{ GJ}$.

Следећи потенцијал за смањење укупне нето потрошње енергије пронађен је у промени нагиба ФН модула у зависности од периода симулације. За промену према годишњим добима одређени су оптимални нагиби и то 20° за пролеће са нето потрошњом енергије од $-0,2 \text{ GJ}$, 25° за лето са нето потрошњом од $1,56 \text{ GJ}$, 50° за јесен са нето потрошњом од $4,77 \text{ GJ}$ и 55° за зиму са нето потрошњом од $8,43 \text{ GJ}$. Укупна нето потрошња је смањена за $0,93 \text{ GJ}$ у односу на фиксни нагиб што је дало укупну вредност од $14,56 \text{ GJ}$. Корак даље су биле симулације за промене нагиба према месецима. Оптимални нагиби су се кретали од 60° за три везана месеца (новембар, децембар и јануар) до 10° за месец јун и јул. Нагиб је између јануара и јуна је опадао за по 10° између сваког месеца. Од јула је оптимални нагиб почео да расте за по 15° до септембра, а у месецу октобру износио је 50° . Укупна нето потрошња енергије смањила се још додатних $0,4 \text{ GJ}$ и достигла вредност од $14,16 \text{ GJ}$.

Усвајањем најниже добијене вредности нето потрошње енергије при симулацији соларног стакленика са оријентацијом исток – запад, на коме се налазе ФН модули са оптималном променом нагиба према месецима и чије ФН ћелије имају ефикасност $\eta = 16 \%$, није постигнут циљ достизања нето-нулте потрошње. Стога је било неопходно повећати површину ФН модула на 112 m^2 , што је резултирало нето потрошњом енергије у вредности од $- 0,15 \text{ GJ}$.

Економски гледано, овакав фотонапонски систем захтева велика новчана улагања са дугим периодом отплате кроз уштеду енергије и повећање пољопривредних приноса. Стога су неопходне мере подстицаја од стране државе у виду субвенција и већих коефицијената за "повлашћене произвођаче" електричне енергије из обновљивих извора енергије.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] М. Ламбић, А. Такарић, Сунчева енергија и стакленици – пластеници, Зрењанин 1985.
- [2] James C. McCullagh, The Solar Greenhouse Book, 1978
- [3] Peter Clegg & Derry Watkins, The Complete Greenhouse Book, 1981
- [4] <https://energyplus.net>
- [5] <https://sr.wikipedia.org/wiki/SketchUp>
- [6] <https://en.wikipedia.org/wiki/OpenStudio>
- [7] <https://energyplus.net/weather>
- [8] Н. Лукић, М. Бабић, Соларна енергија, Универзитет у Крагујевцу, Машински факултет, Крагујевац, 2008.
- [9] <https://www.ua.edu/files/ces/publications-db/catalog/anr/HGA-00336.pdf>
- [10] <https://www.scribd.com/document/357911324/02Dragicevic-Lambic-Proracun-Gubitaka-Toplote>
- [11] Бранко Лаловић, Насушно Сунце, Нолит, Београд 1982.
- [12] Мирослав Ламбић, Соларне технологије: топлотни и фотоелектрични системи, Технички факултет М. Пупин у Зрењанину, Београд 2013.
- [13] http://arhiva.nara.ac.rs/bitstream/handle/123456789/292/PT_04-2009%20-%20Radicevic.pdf
- [14] <http://www.proximalite.com/PDF%20files/fotonaponski%20sistemi%20i%20primena%20u%20srbiji.pdf>
- [15] https://www.researchgate.net/profile/Nadja_Hodzic/publication/299368864_Solarna_energija/links/56f273d608ae354d1629b027/Solarna-energija.pdf
- [16] <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-0/input-output-reference/page-055.html#photovoltaic-generators>
- [17] http://www.mre.gov.rs/latinica/faq-energetska-efikasnost-obnovljivi-izvori.php#_Mere_podsticaja_za
- [18] http://www.emo.org.tr/ekler/bb3f65bfca95624_ek.pdf
- [19] https://sr.wikipedia.org/wiki/Geotermalna_energija