

**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: 393/2017

Никола П. Матић

**Хибридни соларни пријемници – дизајн и
имплементација у зградарству**

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Данијела Николић, ванр. проф. – ментор

Датум одбране: _____

2. _____

Оцена: _____

3. _____

Задатак: У оквиру мастер рада кандидат треба да опише врсте и типове хибричних соларних пријемника, њихов принцип рада, поделу, као и њихова конструктивна решења. Дати преглед развоја и коришћења хибричних пријемника у свету данас и описати њихову примену у сектору зградарства. Посебан осврт дати на могућности интеграције соларних хибричних пријемника у различите елементе омотача зграде (фасада, кров и др.) и на могућности уштеде енергије применом ове врсте пријемника.

Препоручена литература:

- [1] Afroza Nahar, Numerical investigation and modelling of solar photovoltaic/thermal systems, Institute of graduate studies, Куала Лумпур, Малезија 2017.
- [2] Erdem Cuce, Erman Kadir Oztekin, Pinar Mert Cuce, Hybrid Photovoltaic/Thermal (HPV/T) Systems: From Theory to Applications, Faculty of Engineering, Бајбурт, Турска, 2018.
- [3] Станко Станков, Напајање индивидуалних потрошача хибричним системима, Универзитет у Нишу, Електронски факултет, 2017.
- [4] Al-Jadri Ihsan Ali, Junis Mahmoud M. Selim, Uticaj primene tehnologije solarnog sistema u arhitektonskoj proizvodnji, Dar altibaah, Tripoli, 2016.

Крагујевац, датум

Ментор:

Др Данијела Николић, ванр. проф.

Садржај

<i>Резиме</i>	1
<i>Abstract</i>	1
Списак ознака и скраћеница	2
Листа слика.....	3
Листа табела	5
Предговор	7
1. УВОД.....	8
2. ГОДИШЊА ЕНЕРГИЈА ГЛОБАЛНОГ ЗРАЧЕЊА СУНЦА	11
3. КАРАКТЕРИСТИКЕ СОЛАРНИХ ПРИЈЕМНИКА	16
3.1. Зависност електричне ефикасности од таласне дужине зрачења	17
3.2. Зависност електричне ефикасности од температуре	19
3.3. Ефикасност хибридних соларних пријемника	21
4. КАРАКТЕРИСТИКЕ ХИБРИДНИХ СОЛАРНИХ ПРИЈЕМНИКА.....	24
4.1. Историјски развој хибридних соларних пријемника	24
4.2. Дефинисање и основни принцип рада хибридних соларних пријемника	25
4.3. Подела хибридних соларних пријемника према конструкцији и начину извођења	27
4.3.1. Начин функционисања равних хибридних соларних пријемника	28
4.3.2. Концентришући хибридни соларни пријемници.....	29
4.3.3. Хибридни соларни пријемници интегрисани у омотач зграде.....	31
4.3.4. Подела хибридних соларних пријемника према радном флуиду	31
4.3.4.1. Начин функционисања водених хибридних соларних пријемника	32
4.3.4.2. Начин функционисања ваздушних хибридних соларних пријемника	36
4.4. Предности и недостаци хибридних соларних пријемника у односу на PV и T пријемнике	39
4.5. SWOT анализа хибридних PV/T пијемника у односу на PV и T пријемнике.....	40
5. АНАЛИЗА ГЛОБАЛНОГ ТРЖИШТА ХИБРИДНИХ СОЛАРНИХ ПАНЕЛА.....	41
6. ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА ХИБРИДНИХ СОЛАРНИХ ПРИЈЕМНИКА У ЗГРАДАРСТВУ.....	47
6.1. Енергетска ефикасност и значај примене соларне енергије у зградарству.....	47
6.2. Пројектовање интегрисаних фотонапонских топлотних система у зградарству .	50
6.2.1. Разматрања приликом дизајнирања кућишта хибридних соларних пријемника.....	51

6.2.2. Предности имплементације хибридних соларних пријемника у зградарству	52
6.3. Положај и методе имплементације хибридних соларних пријемника у зградарству	53
6.3.1. Кровна имплементација хибридног соларног пријемника	54
6.3.2. Фасадна имплементација хибридног соларног пријемника	58
6.3.3. Други облици имплементације соларних пријемника у зградарству	61
6.4. Студија случаја – хибридна фасада ФИАТ-овог истраживачког центра	69
7. ЗАКЉУЧАК.....	74
ЛИТЕРАТУРА.....	75

Резиме

У овом мастер раду је објашњено време настанка хибридних соларних пријемника, принцип рада, примена, неке од главних карактеристика као и предности и недостаци хибридних соларних пријемника, конструкције и типови хибридних соларних пријемника, флуиди који се користе као и тенденције даљег развоја. Такође је приказан процентуални приказ добијања електричне енергије из обновљивих и необновљивих извора енергије у Свету.

Приказани су и начини имплементације хибридних соларних приемника у различитим деловима омотача зграде и то за: хоризонталне кровове, косе кровове, закривљене кровове, фасаде зграда и грађевинске детаље.

Циљ је дати информације везане за ову проблематику, укључујући преглед теорије, конструкције хибридних соларних пријемника, приказ имплементације хибридних соларних пријемника у високој и ниској градњи као и свест о заступљености хибридних соларних пријемника у свету.

Кључне речи: соларни пријемници, PV/T пријемници, соларни модули, соларна енергија, флуид за пренос топлоте.

Abstract

This master thesis explains the time of creation of hybrid solar receivers, the principle of operation, application, some of the main features as well as the advantages and disadvantages of hybrid solar receivers, the designs and types of hybrid solar receivers, fluids used, as well as tendencies of further development. The percentage of electricity production from renewable and non-renewable energy sources in the world is also presented.

The ways of implementation of hybrid solar receivers in different parts of the building are also presented, for: horizontal roofs, sloping roofs, curved roofs, building facades and construction details.

The aim is to provide information related to this issue, including an overview of the theory, construction of hybrid solar receivers, demonstration of the implementation of hybrid solar receivers in high and low construction as well as awareness of the presence of hybrid solar receivers in the world.

Keywords: solar receivers, PV/T receivers, solar modules, solar energy, heat transfer fluid.

Списак ознака и скраћеница

A – Површина апсорпције, (m^2)
 A_c – Површина фотонапонских PV модула, (m^2)
 c_p – Специфична топлота флуида при константном притиску, (J/kgK)
 D_o – Спољашњи пречник цеви, (m)
 G_a – Вредност глобалног годишњег зрачења Сунца, (kWh/m^2god)
 G_d – Просечне дневне вредности енергије зрачење Сунца, (kWh/m^2dan)
 I_{sc} – Максимална остварљива струја коју генерише соларна ћелија када ради у кратком кругу, (A)
 I_b – Долазна соларна инсолација, (W/m^2)
 $\dot{m}$ – Масени проток флуида, (kg/s)
 P_c – Излазна снага фотонапонских PV модула, (W)
 P_{MPP} – Максимална снага, (W)
 q_e – Локална јединица електричног излаза пријемника
 q_L – Локална јединица топлотних губитака из пријемника
 Q_u – Корисна прикупљена топлота, (W)
 Q_u – Количина топлоте која се апсорбује, (W)
 S – Апсорбована соларна енергија
 T_o – Температура флуида на улазу у размењивач топлоте, ($^{\circ}K$)
 T_i – Температура флуида на излазу из размењивача топлоте, ($^{\circ}K$)
 T_a – Температура околине, ($^{\circ}K$)
 V – Пријемни напон, (V)
 V_{oc} – Максимални напон који се остварује код соларне ћелије у отвореном кругу, (V)
 W – Размак између цеви, (m)

Грчке величине:

β_{PV} – Температурни коефицијента соларне ћелије,
 γ_G – Интензитет коефицијента соларне ћелије, (-)
 $\eta(T)$ – Температурна зависност ефикасности соларних ћелија, (-)
 η_o – Ефектност соларне ћелије која ради у стандардним условима, (-)
 η_{th} – Термичка ефикасност хибридног соларног пријемника, (-)
 η_{el} – Електрична ефикасност хибридног соларног пријемника, (-)
 λ – Таласна дужина зрачења, (μm)

Ознаке:

2009/28/EC – Директива о обновљивим изворима енергије
BIPV/T – Интегрисани у грађевински омотач зграде фотонапонски/термални
CPV/T – Концентришући фотонапонски/термални
EIA – Управа за енергетске информације

HTF – Флуид за пренос топлоте
PV – Фотонапонски
PV/T – Фотонапонски/термални
REN 21 – Мрежа обновљивих извора енергије за 21 век
TRAC – Систем за праћење кретања Сунца
T – Термални

Листа слика

Слика 1.1. Глобална потрошња финалне енергије по години у зависности од извора енергије

Слика 1.2. Емисија CO₂ у зависности од врсте горива од 1990 до 2040

Слика 1.3. Удео обновљивих извора енергије у глобалној потрошњи финалне енергије за 2014

Слика 1.4. Удео обновљивих извора енергије у светској производњи електричне енергије на крају 2015 године

Слика 2.1. Просечна годишња енергија глобалног зрачења Сунца на хоризонталну раван Европе

Слика 2.2. Просечна годишња енергија глобалног зрачења Сунца на хоризонталну раван у Србији

Слика 3.1. Технологије конверзије соларне енергије

Слика 3.1.1. Претварање енергије у PV силицијумским модулима у PV/T пријемнику

Слика 3.2.1. I–V дијаграм соларне ћелије

Слика 3.3.1. Модел енергетског билансирања за PV/T соларни пријемник

Слика 4.1. Хибридни соларни пријемник

Слика 4.2.1. Начин функционисања хибридних PV/T соларних пријемника

Слика 4.2.2. Конструкција хибридног ваздушног пријемника

Слика 4.2.3. Изглед хибридних PV/T соларних пријемника

Слика 4.3. Графички приказ поделе хибридних соларних пријемника према конструкцији и начину извођења

Слика 4.3.1. Пресек x–z равног конвенционалног PV/T пријемник

Слика 4.3.2.1. Шематски приказ концентришућег хибридног соларног пријемника

Слика 4.3.2.2. Шема и изглед концентришућег PV/T соларног пријемника са непокретним панелима

Слика 4.3.3. а) Шематски приказ функционисања ваздушног PV/T пријемника интегрисаног у омотач зграде; б) Изглед зграде са омотачем у коме је интегрисан ваздушни PV/T пријемник

Слика 4.3.4. Графички приказ поделе хибридних соларних пријемника према врсти радног флуида

Слика 4.3.4.1.1. Приказ конструкција апсорбера који се користе за PV/T пријемнике

Слика 4.3.4.1.2. Шематски приказ PV/T пријемника типа цев и омотач

Слика 4.3.4.1.3. Шематски приказ каналног PV/T пријемника

Слика 4.3.4.1.4. Шематски приказ слободно проточног PV/T пријемника

Слика 4.3.4.1.5. Шематски приказ двоапсорберског PV/T пријемника

Слика 4.3.4.2.1. Различите конструкције ваздушних PV/T пријемник

Слика 4.3.4.2.2. Незастакљени ваздушни PV/T пријемници а) без композитног слоја и б) са композитним слојем

Слика 4.3.4.2.3. Застакљени ваздушни PV/T пријемник а) без композитног слоја и б) са композитним слојем

Слика 4.3.4.2.4. Једно-пролазни и дво-пролазни ваздушни PV/T пријемници

Слика 5.1. Удео соларне енергије на тржишту у 2018. години

Слика 5.2. Генерација и капацитет обновљиве снаге као удела светске снаге у периоду од 2008-2018 године

Слика 5.3. Топ 10 тржишта соларне енергије у 2018. години

Слика 5.4. Кретање инсталисане снаге PV и PV/T пријемника у периоду од 2000. до 2018. године

Слика 6.1. Технички системи у згради који одређују потрошњу енергије у згради

Слика 6.3.1.1. Систем TIS

Слика 6.3.1.2. Кровна имплементација хибридног соларног пријемника

Слика 6.3.1.3. Соларни систем као модул за спољну завршну обраду крова зграде

Слика 6.3.1.4. Соларне ћелије као алтернатива традиционалним завршним материјалима у косим ојачаним модулима

Слика 6.3.2.1. Шема типичног цевног топлотног PV/T система

Слика 6.3.2.2. Соларне зидне завесе

Слика 6.3.2.3. Вертикални зидови као слој изнад унутрашњег слоја

Слика 6.3.2.4. Фасаде са кривим зидовима

Слика 6.3.3.1. Шематски приказ BIPV/T система за концентрисање енергије

Слика 6.3.3.2. Колектор за хлађење BIPV/T система

Слика 6.3.3.3. Шематски приказ и фотографија BIPV/T са интегрисаним UTC-ом

Слика 6.3.3.4. Библиотека Mataro у Шпанији

Слика 6.3.3.5. Фасада SolarWall PV/T на Универзитету Concordia у Монтреалу

Слика 6.3.3.6. Инсталација SolarWall PV/T у олимпијском селу у Пекингу

Слика 6.3.3.7. Кровни интегрисани хибридни PV/T пријемници у Марсеју у јужној Француској

Слика 6.3.3.8. Инсталација Absolicon PV/T пријемника на крову локалне болнице у Harnosand-у, Шведска

Слика 6.3.3.9. Virtu хибридни PV/T пријемник

Слика 6.3.3.10. Имплементација Virtu хибридног PV/T пријемника у зградарству

Слика 6.4.1. Соларна фасада у Фиат-овом истраживачком центру (CRF)

Слика 6.4.2. Детаљи дизајна хибридног PV/T пријемника

Слика 6.4.3. Систем за надзор - приказ података

Слика 6.4.4. Пројекат Ecomensa, Фиат-ов истраживачки центар

Слика 6.4.5. Месечна производња електричне енергије

Слика 6.4.6. Месечна максимална електрична снага

Слика 6.4.7. Процењена месечна производња топлотне и електричне енергије

Листа табела

Табела 2.1. Просечна дневна и годишња енергија глобалног зрачења Сунца на хоризонталну раван, за нека места у Србији

Табела 4.3.4.2. Поређење ваздуха и воде као радног флуида за пренос топлоте у PV/T пријемницима

Табела 4.4. Табеларни приказ предности и недостатака PV/T пријемника у односу на PV и T пријемнике

Табела 4.5. SWOT анализа хибридних PV/T пријемника у односу на PV и T пријемнике

„Ако користимо фосилно гориво за добијање енергије, то значи да живимо на рачун капитала који се јако брзо троши. Овај варварски и расипнички метод потребно је што пре зауставити у интересу будућих генерација. Енергија Сунчевих зрака представља огромну количину енергије, далеко већу и од енергије воде.“

Никола Тесла, 9. септембар 1915. године

Предговор

Мастер рад на тему „Хибридни соларни пријемници – дизајн и имплементација у зградарству” је настао као резултат школовања на Факултету Инжењерских Наука у Крагујевцу, на мастер академским студијама Машинског инжењерства, модула Енергетика и процесна техника.

Будући да сам био неодлучан при одабиру теме за мастер рад, сматрао сам да је боље консултовати стручну особу која би ме упутила на прави пут. Из тих разлога консултовао сам се са ванр. проф. Др Данијелом Николић, која ми је предложила тему „Хибридни соларни пријемници – дизајн и имплементација у зградарству”. Ова тема ми је сама по себи звучала специфично, али уједно представљала је за мене велики изазов. У почетку сам сумњао да ћу успети да саставим мастер рад на ову тему. Схватао сам да морам наћи одговарајућу литературу која би ми помогла при бољем разумевању теме, те да је већина радова на ову тему на страним језицима. Тражећи литературу која је везана за тему мог мастер рада налазио сам различите чланке, научне радове који су ми помогли не само при изради мастер рада већ и при разумевању самих хибридних соларних пријемника и њиховом функционисању. Истраживајући о овој теми схватао сам велики значај и потенцијал хибридних соларних пријемника у свету. Наравно, моје знање о овој материји још увек је незнатно у односу на људе који се баве применом хибридних соларних пријемника као и њиховом изградом и уградњом, али свакако планирам да наставим своје усавршавање на ову тему.

Захваљујем ментору ванр. проф. Др Данијели Николић који је пратио цели процес настајања мастер рада, која је својим саветима и ентузијазмом мене усмеравала како да сагледам проблеме који су се појављивали приликом израде овог рада. Поред овога јој се захваљујем на предложеној теми.

Такође се захваљујем колеги и пријатељу струк. инж. маш. Милошу Марковићу на пруженој помоћи и подршци током израде овог рада.

Од срца захваљујем својој породици на пруженој помоћи и подршци током израде овог рада као и током студија.

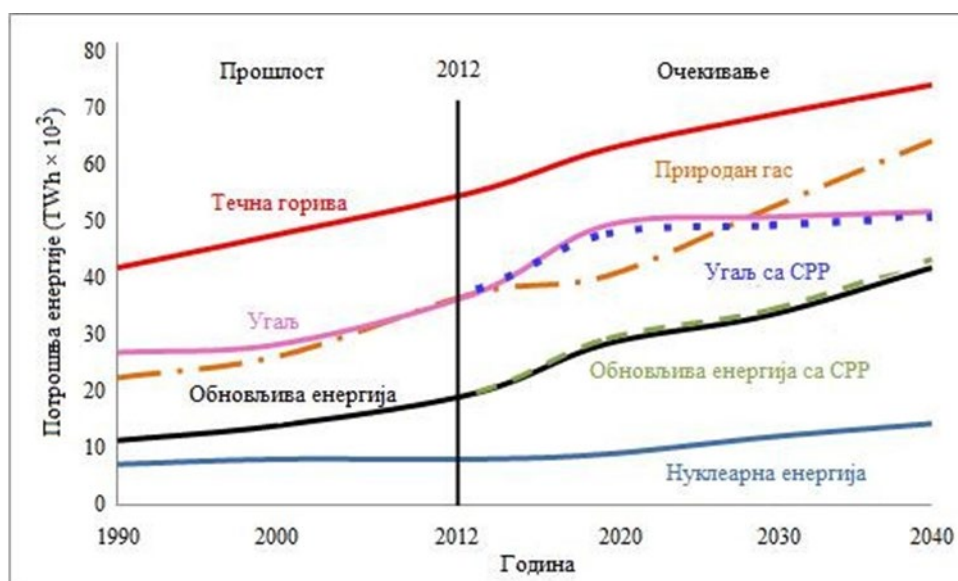
Никола, П Матић

1. УВОД

Енергија је камен темељац модерне цивилизације и један од главних покретачких фактора за укупни социо – економски раст земље. Потрошња енергије по глави становника одређује ниво економског развоја земље. Потражња за енергијом расте из дана у дан са повећањем броја становника, као и са нивом бруто домаћег производа (БДП). Док ће глобални БДП порасти за 3,3% годишње између 2012. и 2040. године, укупна светска потрошња енергије ће порасти са 160.895,43 на 238.852,05 TWh. [1]

Енергетски ресурси света састоје се од конвенционалних фосилних горива (угаљ, нафта, гас и њихови деривати), нукларне енергије и обновљивих извора енергије (енергија сунца, ветра, геотермална енергија и слично). Фосилна горива тренутно задовољавају већину енергетских потреба света јер су релативно јефтина и погодна за експлоатацију и остаће доминантан облик енергије који ће осигурати око 60% укупне потрошње енергије на свету у 2035. години.

Глобална потрошња енергије, као што је приказано на слици 1.1., предвиђа да ће допринос нефосилних горива у енергетском смислу у 2040. години бити 78% од укупне потрошње енергије док ће фосилна горива преузети остатак енергетских потреба. [1][2]



Слика 1.1 Глобална потрошња финалне енергије по години у зависности од извора енергије [1]

Међутим, проблем са фосилним горивима је да она приликом сагоревања доводе до емисије штетних гасова, а у највећој мери угљен-диоксида. До 2040. године количина CO₂ у атмосфери света, као што је приказано на слици 1.2., вероватно ће достићи 43,2 милијарде метричких тона. Количина доступних енергетских ресурса на овој планети је веома ограничена, а главни извори енергије као што су угаљ, нафта и природни гас се брзо смањују због све веће потрошње. [1]



Слика 1.2 Емисија CO_2 у зависности од врсте горива од 1990 до 2040 [1]

У садашњој ситуацији са порастом потрошње енергије, повећавањем цене енергената и јачањем мера за сузбијање глобалног загревања, обновљиви извори енергије су постали веома значајни на енергетском тржишту. У последњој деценији, енергија из обновљивих извора енергије је постала најбрже растући извор енергије на свету и њена потрошња ће се повећати за 2,6% годишње између 2012. и 2040. године, док ће нуклеарна енергија порасти за 2,3% годишње у истом периоду. [1]

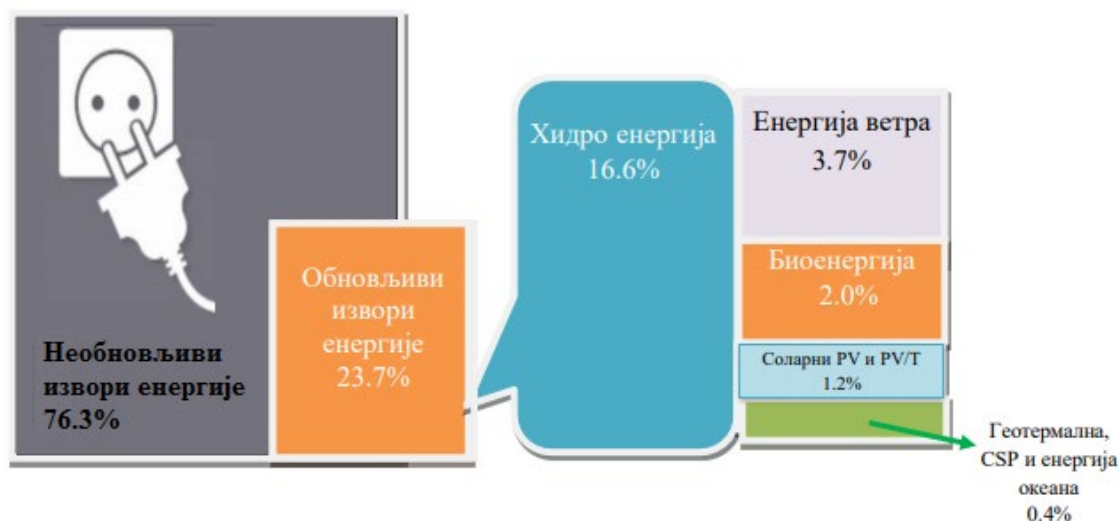


Слика 1.3. Удео обновљивих извора енергије у глобалној потрошњи финалне енергије за 2014 [3]

Процењени допринос обновљивих извора енергије као финалне енергије у 2014. години био је 19,2% (слика 1.3.), што значи да се око 20% светске потражње за

енергијом сада задовољава обновљивим изворима енергије. Што се тиче производње електричне енергије, овај удео је виши, што износи око 23,7% на крају 2015. [3]

Соларна енергија је чистија и зеленија у поређењу са другим облицима обновљивих извора енергије у смислу да не узрокује готово никакво загађење животне средине од процеса производње до самог снабдевања. Дакле, препозната је као једна од најперспективнијих алтернатива која може ублажити зависност од фосилних горива. Капацитет соларних фотонапонских пријемника се повећао са 177 GW у 2014. на 227 GW у 2015. години. [3]



Слика 1.4. Удео обновљивих извора енергије у светској производњи електричне енергије на крају 2015 године [3]

Нажалост, због недостатка одговарајуће технологије за ефикасну употребу енергије сунца, соларна енергија тренутно пружа само мањи део финалне енергије као што је приказано на слици 1.4. Остали недостаци соларне енергије су њена испрекидана природа, веома ниска ефикасност фотонапонских модула и недостатак одговарајућег складишта добијене енергије на дужи период. Потрага за одговарајућом технологијом за сакупљање и складиштење соларне енергије како би се осигурало континуирано снабдијевање енергијом је из дана у дан све веће. Потребна су опсежна истраживања и истраживања како би се пронашли бољи начини за коришћење овог не исцрпног извора енергије.

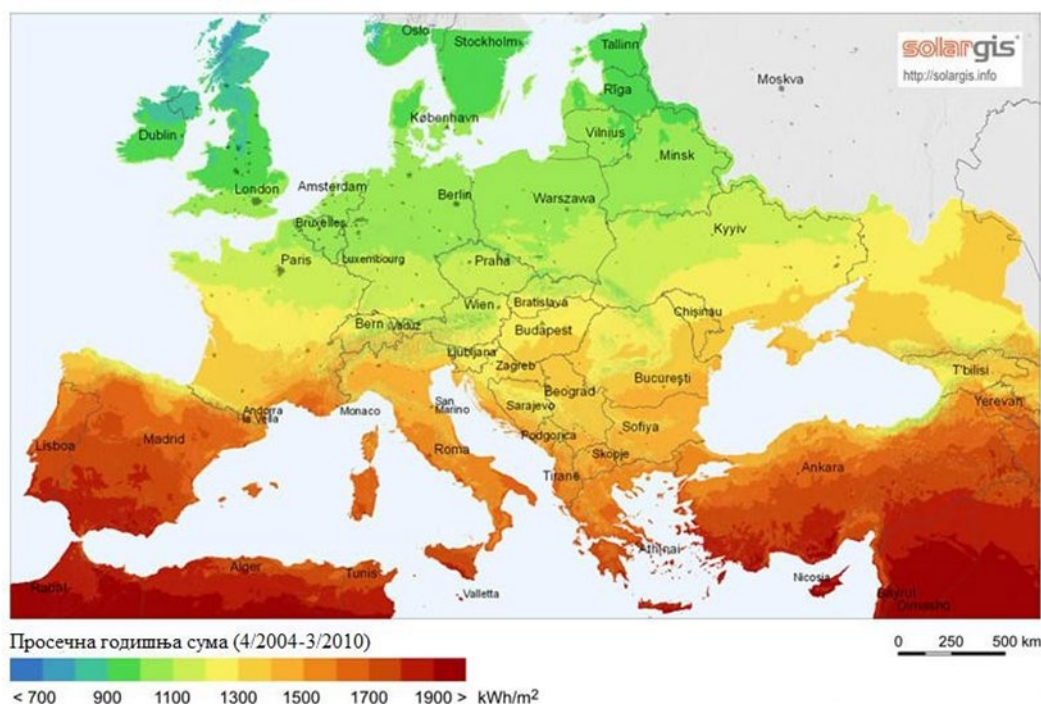
2. ГОДИШЊА ЕНЕРГИЈА ГЛОБАЛНОГ ЗРАЧЕЊА СУНЦА

Сунце је најближа звезда планети Земљи, па је као таква, природни извор енергије на Земљи. Коришћење соларне енергије на Земљи зависи од локације, годишњег доба, доба дана, временских услова итд. Европа није на врло погодном подручју за експлоатацију, али упркос томе у Европи је искоришћење енергије сунца у порасту, захваљујући политикама појединих држава које доста улажу у обновљиве изворе енергије, а посебно енергију сунца. Електране које користе сунчеву енергију су енергетски објекти за обављање енергетске делатности производње електричне енергије из потенцијала сунчевог зрачења.

Основни принципи директног искоришћавања енергије сунца су: соларни пријемници (грејање воде и просторија), фотонапонске ћелије (директно претварање енергије у електричну енергију) и фокусирање соларне енергије (употреба у великим енергетским постројењима). Очигледна предности соларне енергије је да једном кад је опрема купљена, коришћење енергије сунца је бесплатно. Затим соларни пријемници и панели не испуштају штетне гасове у ваздух, а њихов рад је сигуран и тих. Енергија се производи на месту где се троши па нису потребне дугачке жице и каблови. Са друге стране, недостатак је то што сунца нема током целог дана, односно по ноћи. Иако се енергија сунца може користити и током облачних дана, количина корисне топлотне или електричне енергије пуно је мања. Такође опрема потребна за коришћење енергије сунца је скупа, али временом постаје јефтинија и приступачнија. [4]

Глобално зрачење Сунца представља енергију укупног зрачења Сунца (директног и дифузног) која током неког временског периода доспе на јединичну површину Земље. Другим речима представља енергију инсолације у неком временском периоду. Вредности глобалног годишњег зрачења Сунца G_a изражава се у (kWh/m^2god) и обавезно се дефинише угао нагиба површине на коју се односи дата вредност. Поред годишњег, у разним студијама често се наводе просечне дневне вредности енергије зрачења Сунца G_d , која се изражавају у (kWh/m^2dan). Основни параметар за процену оправданости изградње хибридних соларних пријемника на некој локацији јесте годишња енергија глобалног зрачења Сунца на хоризонталну раван те локације G_a , дакле, укупна вредност енергије сунчевог зрачења која током године доспе на m^2 хоризонтале површи на одговарајућој локацији. [5]

Постоји опште мишљење да је просечно годишње глобално зрачење Сунца у Србији за 30% веће него у земљама западне Европе.

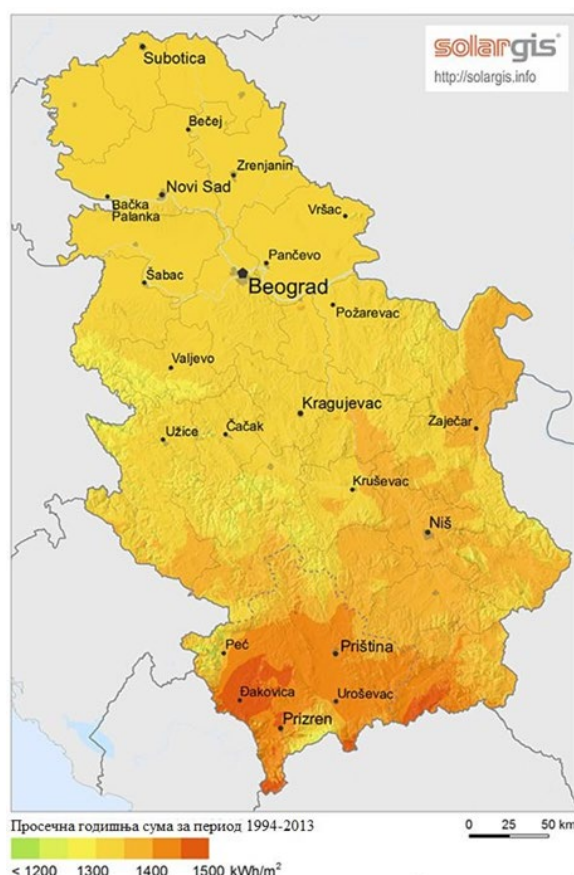


Слика 2.1. Просечна годишња енергија глобалног зрачења Сунца на хоризонталну раван Европе [5]

На слици 2.1. приказана је мапа годишње енергије глобалног зрачења Сунца на хоризонталну раван за територију Европе, а на слици 2.1. за територију Републике Србије. У табели 2.1. су дати подаци о месечним и годишњим енергијама глобалног зрачења Сунца на хоризонталну раван за неке градове у Србији.

Потенцијал сунчеве енергије представља 16,7% од укупно искористивог потенцијала ОИЕ у Србији. Енергетски потенцијал сунчевог зрачења је 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. Просечна вредност глобалног зрачења на територију Србије износи 1400 kWh/m². Најповољније области у Србији бележе велики број сунчаних сати, а годишњи однос стварне озрачености и укупне могуће озрачености је приближно 50%.

Сви ови подаци јасно показују да Србија располаже ресурсима енергије сунчевог зрачења знатно изнад европског просека уз изузетно повољан сезонски распоред и да је њено ефикасно и дугорочно коришћење неопходно осмислити у најскоријем временском периоду, између осталог, и због усклађивања са европским мерама и плановима у вези обновљивих извора енергије. [4]



Слика 2.2. Просечна годишња енергија глобалног зрачења Сунца на хоризонталну раван у Србији [5]

Србија има значајан потенцијал у обновљивим изворима енергије који је, на жалост, још увек недовољно искоришћен. Један од разлога за такву ситуацију је недовољна инвестициона активност у овом сектору. Очекује се да ће у наредних неколико година доћи до крупних помака у том погледу, с обзиром на најновији корак Владе Републике Србије у смислу прихватања одлуке Министарског савета Енергетске заједнице о промоцији обновљиве енергије кроз прихватање 2009/28/ЕС директиве о обновљивим изворима енергије. Овом одлуком Србији је постављен амбициозни циљ да повећа учешће обновљиве енергије у укупној потрошњи финалне енергије на 27% у 2020. години са 21.2% у референтној, 2009. години. [5]

Важно је истаћи да, због географског положаја Србије и умерено континенталне климе на овим просторима, а која подразумева релативно оштре зиме са просечном температуром током најхладнијих зимских месеци често нижом од 0°C и релативно великих потреба за топлотном енергијом баш у периоду када је зрачење Сунца најслабије, није могуће користи хибридне соларне пријемнике као основни, него само као допунски систем за грејање. Анализе су показале да оптимално пројектовани хибридни соларни пријемници за подручје Србије треба да задовољи тек 10 – 20% потреба за топлотном енергијом за загревање простора. Овај мали проценат

задовољавања потреба за грејањем, одредио је њихову другу и превасходну улогу, како у Србији тако и у свету. [5][6]

Табела 2.1. Просечна дневна и годишња енергија глобалног зрачења Сунца на хоризонталну раван, за нека места у Србији [6]

Град	Месец												Укупно 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
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
Кикинда	1	2.05	3.55	5.1	6.4	6.55	6.85	5.95	4.45	3	1.5	1.05	1456.5
Вршац	1	2	3.35	4.4	6	6.4	6.55	6.85	4.6	3	1.55	1	1424.75
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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

Важно је истаћи да, због географског положаја Србије и умерено континенталне климе на овим просторима, а која подразумева релативно оштре зиме са просечном температуром током најхладнијих зимских месеци често нижом од 0°C и релативно великих потреба за топлотном енергијом баш у периоду када је зрачење Сунца најслабије, није могуће користити соларни грејни систем као основни, него само као допунски систем за грејање. [4]

Анализе су показале да оптимално пројектовани соларни грејни систем за подручје Србије треба да задовољи тек 10 – 20% потреба за топлотном енергијом за загревање простора. Овај мали проценат задовољавања потреба за грејањем, одредио је њихову другу и превасходну улогу, како у Србији тако и у свету. Ови системи се најбоље користе као системи за загревање потрошне топле воде. Отуда не чуди податак да се 80% случајева њихове примене у свету односи на системе за загревање потрошне топле воде, као и податак да оптимални степен задовољавања потреба за загревање потрошне топле воде за подручје Србије износи око 65%. [4]

Законом о енергетици Републике Србије регулисана је и област производње и дистрибуције и снабдевања топлотном енергијом, као и област обновљивих извора енергије. Овим Законом су уређене одређене дозволе за објекте за производњу

енергије, а које инвеститор мора да прибави, као и дозволе за обављање енергетских делатности. [4]

Брз пораст FN индустрије у свету уз пораст производних капацитета и позитивну политичку климу у земљама као што су Немачка, Шпанија и др. обећавају добру перспективу фотонапонским технологијама и у Србији.

У даљем тексту ће бити дефинисане технологије које користе сунчево зрачење за добијање топлотне и електричне енергије као и фактори који утичу на ефикасност хибридних соларних пријемника.

3. КАРАКТЕРИСТИКЕ СОЛАРНИХ ПРИЈЕМНИКА

Енергија сунца се може употребити на два основна начина, наиме за добијање топлоте и електричне енергије, мада се у будућности очекује да ће се соларна енергија (сунчево зрачење) користити и за пренос информација (*Li-Fi* технологија). Соларна енергија се може охарактерисати према доменама примене, као што је соларна топлотна енергија (термални соларни пријемници) и електрична енергија добијена путем фотонапонских ћелија. Осим ових конвенционалних метода за апсорбовање соларне енергије, постоји прилично нова технологија која обједињује и соларне фотонапонске пријемнике и соларне термалне пријемнике у једној јединици (позната као фотонапонски/термални (*PV/T*) соларни пријемници), која постаје све популарнија из дана у дан. Многи аспекти који се тичу *PV/T* пријемника су још увек у фази истраживања и развоја. Технологије конверзије соларне енергије и њихов међусобни однос приказан је на слици 3.1. [7]



Слика 3.1. Технологије конверзије соларне енергије [7]

Широка употреба соларне технологије може смањити значајан део конвенционалне енергије. Међународно тржиште соларне технологије значајно се проширило током последње деценије. Иако је почетно улагање у ове технологије високо у поређењу са доступним конвенционалним алтернативама, поврат инвестиције је постао све атрактивнији са повећањем цене конвенционалне енергије. Период враћања средстава зависи од локације инсталације, модела коришћења и замењеног горива. [7]

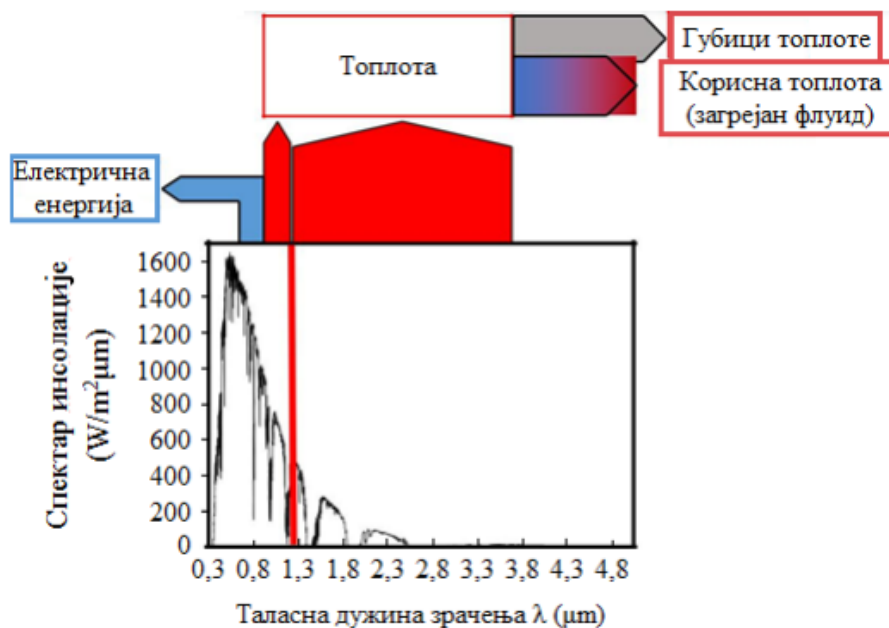
3.1. Зависност електричне ефикасности од таласне дужине зрачења

Процес претварања соларне енергије у топлотну и електричну енергију у силицијумском соларном модулу је приказан на слици 3.1.1. Минимална енергија која је потребна за апсорпцију и претварање у електричну енергију у PV – ћелијама на бази силицијума одговара граничној таласној дужини зрачења до $1,1 \mu\text{m}$. Претварање соларне енергије у електричну енергију у PV соларним пријемницима заснованом на силицијуму је између 5% и 20%, док неискоришћена топлота у PV модулима чини од 60% – 70% од инцидентног зрачења. Део апсорбованог зрачења која се претвара у топлоту у соларним ћелијама повећава температуру PV соларног пријемника, а самим тим смањује конверзију зрачења у електричну енергију и на крају долази до топлотних губитака зрачењем и конвекцијом. У PV/T соларном пријемнику се ова топлота апсорбује на задњем термалном апсорберу и генерише корисна топлотна енергије повећавајући температуру флуида за пренос топлоте. Ови интегрисани пријемници имају неколико предности у односу на одвојене PV и соларне пријемнике. [7]

- 1) комбинована производња топлоте и електричне енергије на мањој површини за разлику од комбинације одвојеног PV и соларног термалног пријемника;
- 2) потенцијално већа конверзија електричне енергије због потенцијално мањих температурама на којим раде модули а која се постиже активним хлађењем;
- 3) потенцијално смањење трошкова јединичне енергије због чињенице да само један соларни пријемник мора бити инсталиран. [7]

Део зрачења (део долазне соларне инсолације) који се апсорбује када је $\lambda < 1,1 \mu\text{m}$ делимично се претвара у електричну енергију, док се зрачење које се апсорбује на већим вредностима λ ($\lambda > 1,1 \mu\text{m}$) конвертује само у топлоту. Део ове топлоте се користи за загревање носиоца топлоте (флуида), а део ове топлоте се размењује са околином и представља губитак. [7]

У конвенционалним соларним пријемницима апсорпција зрачења је максимална док су губици топлоте приликом зрачења минимални. Ово се постиже премазивањем горње површине апсорбера са црним селективним премазом који има својства високе апсорпције светлости и ниску емисију у средњем и високом инфрацрвеном опсегу таласне дужине зрачења.



Слика 3.1.1. Претварање енергије у PV силицијумским модулима у PV/T пријемнику [7]

Топлотна ефикасност PV/T пријемнику је ограничена оптичким својствима соларних модула, јер апсорбер нема исту спектралну емисију/апсорпцију као селективни апсорбер који се типично користи у соларно термалним пријемницима. Очекује се да ће топлотна ефикасност PV/T пријемника бити нижа од ефикасности конвенционалног термалног пријемника исте геометрије, такође због: [7]

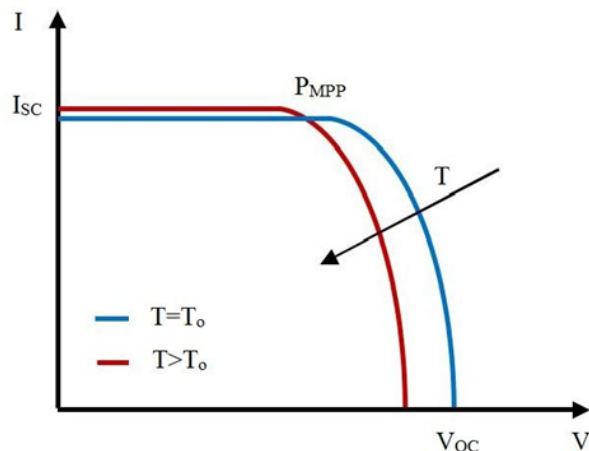
- 1) нижег фактора апсорпције апсорбера;
- 2) директног претварања дела долазне соларне инсолације у електричну енергију, која смањује проценат који је доступан у облику топлоте; и
- 3) већих губитака топлоте зрачењем од апсорбера до стакленог поклопца због веће емисије PV ћелије у поређењу са емисијом конвенционалног термалног апсорбера. [7]

Соларне ћелије у PV/T пријемнику могу функционисати потенцијално на нижим температурама и имати већу електричну ефикасност него у еквивалентном PV модулу без активног хлађења. Степен хлађења постигнут у PV/T модулу одређује се кроз температуру улазне течности, величине протока и термофизичких особина материјала пријемника. Постоје случајеви где флуид у PV/T пријемнику може функционисати на ниским температурама и то 20°C нижих од нормалне радне температуре не хлађених PV модула. Зависност електричне ефикасности од таласне дужине зрачења зависи од многих фактора који се морају размотрити приликом пројектовања и рада PV/T модула. На електричну ефикасност PV/T модула могу утицати и температурне промене на површини пријемника. Ово је од пресудног значаја за правилан дизајн и избор PV/T пријемника због топлотног и електричног приноса енергије који се очекује. [7]

PV/T пријемници производе више енергије по јединици површине од PV модула и соларних пријемника. Због тога су ови системи посебно погодни за примене где је расположива површина ограничена. Животни век ових пријемника се креће у границама од 20 – 30 година, а трошкови одржавања су занемарљиви. У зависности од атрактивних карактеристика и импресивном расту у соларној електропривреди, очекује се да ће се PV/T технологија значајно проширити у блиској будућности. [7]

3.2. Зависност електричне ефикасности од температуре

Крива струјног напона соларне ћелије је приказана на слици 3.2.1. где је V_{oc} максимални напон који се остварује код соларне ћелије у отвореном кругу, I_{sc} је максимална остварљива струја коју генерише соларна ћелија када ради у кратком кругу; ови параметри се одређују унутрашњим својствима соларне ћелије и независни су од оптерећења и пријемног напона V . Снага коју генерише соларна ћелија је производ струје и напона у свакој тачки рада на кривој $I-V$, максимална снага је генерирана на I_{MPP} и V_{MPP} . Ефикасност соларне ћелије је, по дефиницији, максимална излазна снага дељена са долазном соларном инсолацијом која се јавља у одређеним стандардним условима, за ћелијску температуру од $25^{\circ}C$ и за просечно зрачење од 1000 W/m^2 са соларним спектар приближан ономе који се настаје у периоду од 13.00 h на сунчевој светлости. [7]



Слика 3.2.1. $I-V$ дијаграм соларне ћелије [7]

На слици 3.2.1. плава линија је крива за соларну ћелију која ради на референтној температури T_0 , а црвена линија је крива за соларну ћелију која ради на вишој температури. Напон отвореног кола се смањује са температуром, док струја кратког кола расте, али овај ефекат је мањи. [7]

На струју кратког кола утиче температура, пошто се енергије E_g смањује са температуром као у једначини 1, која одређује мали пораст апсорпције светлости и повећање концентрације унутрашњих носилаца на високим температурама: [7]

$$E_g = E_g(0) - \frac{aT^2}{T+b} \quad (1)$$

где су a и b особине материјала и једнаке су $a=4,73 \cdot 10^{-4} \text{ eV/K}$ и $b=636 \text{ K}^{-1}$ респективно за силицијум, а температура је у K . Напон отвореног кола у једначини 2 се смањује са повећањем температуре, у једначини 3 услед зависности температуре од I_0 :

$$V_{oc} = \frac{\kappa_B T}{q} \ln \left(\frac{I_{sc}}{I_0} - 1 \right); \quad (2)$$

$$\frac{dV_{oc}}{dT} = \frac{V_{oc} - V_g(0)}{T} - \gamma \frac{\kappa_B}{q} \quad (3)$$

где су за силицијумске соларне ћелије $\gamma = 3$ и $V_g=1.2\text{V}$, па је температурна зависност напона отвореног кола $\sim 2.2 \text{ mV/K}$. Максимална снага P_{MPP} (генерисана када ћелија ради на V_{oc} и I_{sc}), изражена је у једначини 4. Као резултат, снага се смањује линеарно са радном температуром (упркос малом порасту струје кратког кола) за $\sim 0,4 \text{ %/K}$. [6]

$$P_{MPP} = V_{oc} I_{sc} \left(1 - \frac{1 + \ln(\ln(I_{sc} - I_0))}{\ln(I_{sc} - I_0)} \right) \quad (4)$$

Температурна зависност ефикасности соларних ћелија често се апроксимира као линеарна функција температуре рада, која је приказана изразом: [7]

$$\eta(T) = \eta_0 (1 - \beta_{PV} (T - T_0 + \gamma_G \log(G))) \quad (5)$$

где су:

- β_{PV} је температурни коефицијент соларне ћелије ($0.4\%/K$ за силицијумске ћелије) дефинисане као: [7]

$$\beta_{PV} = \frac{1}{T' - T_0}; \quad (6)$$

- T' у једначини 6 је највиша температура рада соларне ћелије за коју ефикасност пада на нулу;
- T_0 у једначинама 5 и 6 је стандардна температура од 25°C ;
- η_0 је ефикасност соларне ћелије која ради у стандардним условима и
- γ_G је интензитет коефицијента соларне ћелије. [7]

3.3. Ефикасност хибридних соларних пријемника

Ефикасност пријемника је јако везана са оптичким својствима рефлектора, поклопца и апсорбера и може се драстично смањити у случају неједноликости геометрије огледала и неправилног облика. [8]

Термичка ефикасност хибридног соларног пријемника се може изразити: [8]

$$\eta_{th} = \frac{Q_u}{A \cdot I_b} \quad (7)$$

где су: Q_u (W) – количина топлоте која се апсорбује, A (m^2) – површина апсорпције и I_b (W/m^2) је долазна соларна инсолација. Количина топлоте која се апсорбује се може изразити: [8]

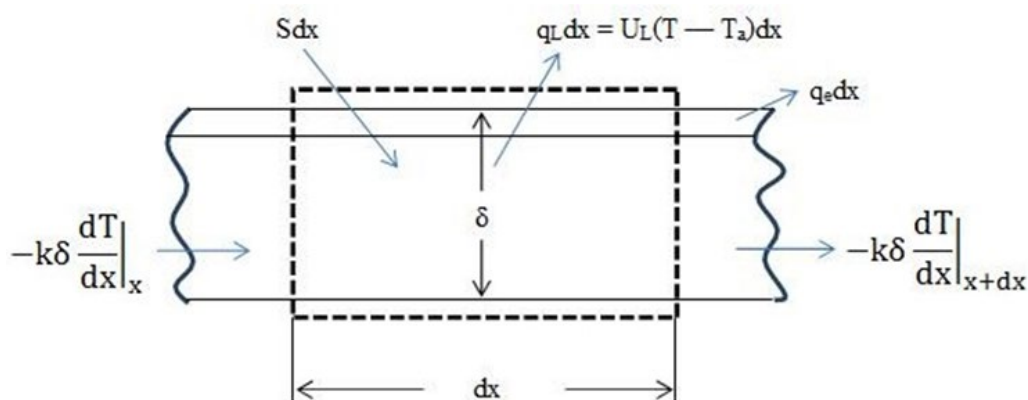
$$Q_u = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_o - T_i) \quad (8)$$

Где су: $\dot{m}$ (kg/s) масени проток флуида, T_o и T_i ($^{\circ}K$) температура флуида на улазу и излазу размењивача топлоте, респективно и c_p (J/kgK) – специфична топлота флуида при константном притиску. [8]

Електрична ефикасност хибридног соларног пријемника која представља ефикасност фотонапонског PV панела, се може изразити: [8]

$$\eta_{el} = \frac{P_c}{A_c \cdot I_b} \quad (9)$$

где су: P_c (W) – излазна снага фотонапонских PV модула и A_c (m^2) – површина фотонапонских PV модула. [8]



Слика 3.3.1 Модел енергетског билансирања за PV/T соларни пријемник [8]

Из слике 3.3.1, енергетски биланс температуре флуида предатог на овом елементу износи: [8]

$$Sdx - U_L (T - T_a)dx - q_e dx + \left(-k\delta \frac{dT}{dx} \Big|_x \right) - \left(-k\delta \frac{dT}{dx} \Big|_{x+dx} \right) = 0 \quad (10)$$

где је S , апсорбована соларна енергија, q_e је електрични излаз пријемника на локалној јединици, q_L је стопа локалних топлотних губитака из пријемника. T_a је температура околине. [8]

На основу коначне теорије разлика, знамо да: [8]

$$\frac{dT}{dx} \Big|_{x+dx} = \frac{dT}{dx} \Big|_x + dx \frac{d^2T}{dx^2} \Big|_x + \dots \quad (11)$$

Према томе, једначина 11 се може изразити као: [8]

$$\frac{d^2T}{dx^2} \Big|_x = \frac{1}{k\delta} [U_L (T - T_a) - S + q_e] \quad (12)$$

где су ову диференцијалну једначину другог реда анализирали *John Duffie* и *William Beckman*. Овде су представљени резултати ове једначине. Корисна прикупљена топлота Q_u се може изразити преко израза: [8]

$$Q_u = A_c \cdot F_R \cdot [S \cdot U_L \cdot (T_i - T_a)] \quad (13)$$

где је,

$$F_R = \frac{mC_p}{A_c U_L} \left[1 - e^{-\frac{A_c U_L F'}{mC_p}} \right] \quad (14)$$

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{W \left[\frac{1}{U_L [D_o + (W - D_o)F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D_i h_{fi}} \right]} \quad (15)$$

$$F = \frac{\tanh(x)}{x} \quad (16)$$

и

$$x = \sqrt{\frac{U_L}{k\delta}} \left(\frac{W - D_o}{2} \right) \quad (17)$$

Где су W размак између цеви и D_o је спољашњи пречник цеви. Стога, када су познати сви параметри, коначно можемо израчунати топлотну ефикасност PV/T соларног пријемника. [8]

За израчунавање електричне ефикасности PV панела, *Zengal* и сарадници су изразили једначину: [8]

$$\eta_{el} = \eta_o [1 - 0,0045 \cdot (T - 25^\circ\text{C})] \quad (18)$$

где је η_o електрична ефикасност када је температура околине 25°C и морамо да претпоставимо да се ефикасност ћелија линеарно смањује са температуром апсорбера. [8]

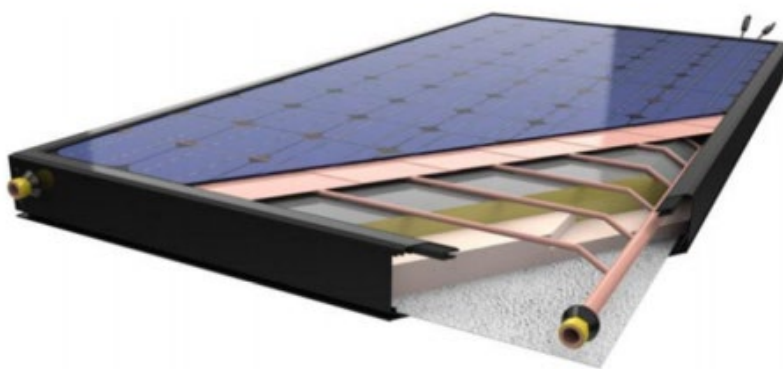
Решење John Duffie и William Beckman је широко истражено за равне плочасте соларне пријемнике и такође је добар метод за термалну анализу хибридног соларног пријемника. Ефикасност соларних ћелија је зависна од температуре, при чему се ефикасност смањује са порастом температура као што је приказано у једначини 18. На пример, кристалне соларне ћелије силицијума ће имати смањење ефикасности од 15% када се температура повећа за 30°K . Међутим, можда није вредно сакупљати енергије са задње стране PV модула како би се постигла боља ефикасност PV модула. Пре свега, иако је око 64% соларне енергије пренето као топлота у соларним ћелијама, ову топлоту не можемо у потпуности сакупити јер се јавља природна конвекција између ћелија и околног ваздуха. Друго, прикупљање енергије са задње стране соларног пријемника не обезбеђује потребну количину енергије за загревање воде која треба да буде на температури изнад 40°C . Због тога се користе филтери тако да ћелије апсорбују само користан спектар светлости, а остатак сунчеве инсолације се прикупља за термалну употребу. То је основна идеја по коме су развијени нови типови *Concentrating Photovoltaic/Thermal (CPV/T)* соларних пријемника. [8]

У наредном поглављу направљен је покушај да се изнесе детаљан опис PV/T пријемника заједно са њиховим историјским развојем, врстама и перформансама.

4. КАРАКТЕРИСТИКЕ ХИБРИДНИХ СОЛАРНИХ ПРИЈЕМНИКА

4.1. Историјски развој хибридних соларних пријемника

Концепт *PV/T* пријемника је настао средином седамдесетих година прошлог века када су истраживачи покушали да реше проблем пада ефикасности са повећањем температуре соларних ћелија. *Wolf* објављује да је израдио први *PV/T* пријемник на бази пласнатих плоча за грејање стамбених јединица. Аутор је монтирао фотонапонски модул на неконцентришући топлотни пријемник опремљен батеријом за складиштење електричне енергије и резервоаром за воду (бојлер) за прикупљање топлотне енергије. Систем је био технички одржив и исплатив. *Florschuetz* развио је математички модел овог комбинованог система користећи софтвер *TRNSYS*. [9]



Слика 4.1. Хибридни соларни пријемник [26]

Kern & Russell су развили и тестирали хибридне *PV/T* пријемнике према *ASHRAE* стандардима у *Lincoln* лабораторији на Универзитету Тексас из Сједињених Америчких Држава на Департману за енергију, конзервацију и соларну примену. Аутори су закључили да је ефективни енергетски принос по јединици површине хибридног пријемника већи од појединачног *PV* пријемника и термалног пријемника. Године 1979. *Hendrie* је теоретски анализирао и експериментално проценио топлотне и електричне перформансе *PV/T* соларног пријемника са ваздухом и течномшћу као флуидом за пренос топлоте. Показало се да експериментални резултати имају блиску подударност са теоријским резултатима. Уочено је да за течни и ваздушни пријемник топлотне ефикасности падају (од 42,5% до 40,4% за течни и од 40% до 32,9% за ваздушни пријемник) када се електрична енергија узима као излаз. Максимална постигнута електрична ефикасност је 6,8%. [9][10]

Осамдесетих година прошлог века, технологија комбиновања две различите методе соларне конверзије привукла је интересовање многих истраживача и израђене су бројне студије о перформансама ове хибридне технологије, користећи различите типове ћелијских материјала као што је аморфни силицијум да би се утврдило који је

материјал најпогоднији за PV/T пријемнике. *Cox & Raghuraman* су спровели студију компјутерске симулације како би истражили карактеристике дизајна PV/T пријемника у циљу побољшања њихове ефикасности. [9][10]

Лаловић и др. су произвели PV/T пријемник лепљењем аморфних силицијумских ($a-Si$) ћелија са просечном ефикасношћу од 4% у односу на соларни термални пријемник са цевима. Хибридни пријемник је радио као термални пријемник који повећава температуру воде до 65°C уз незнатне варијације у перформансама PV ћелија. [9][10]

Међународна агенција за енергију (*International Energy Agency – IEA*) је 2002. године проценила потенцијал PV/T пријемника као део једног од својих програма међународне енергетске сарадње.

Због неподношљиве цене изолованих PV/T пријемника, тренд ових система се претворио у изградњу PV/T пријемника интегрисаних у омотач зграде који су доживели брзи развој последњих година. Иако је технологија PV/T пријемника присутна већ четири деценије комерцијализација ових пријемника је још увек врло ограничена. Дакле, потребно је много пажње посветити побољшању расположивости и ефективној употреби ових хибридног пријемника.

4.2. Дефинисање и основни принцип рада хибридних соларних пријемника

Хибридни PV/T пријемници су веома корисни уређаји који омогућавају истовремену производњу електричне и топлотне енергије, што је сликовито приказано на слици 4.2.1. Једноставно, PV/T пријемници се састоје од PV модула повезаних са јединицама за екстракцију топлоте (апсорбером). Иако фотонапонски модули претварају Сунчеву енергију директно у електричну енергију, већина апсорбованог сунчевог зрачења се задржава у облику топлотне енергије на самим модулима. Настала топлота се преноси на размењивач топлоте у контакту са PV модулима како би се модул ослободио вишка топлоте. [9][10]



Слика 4.2.1. Начин функционисања хибридних PV/T соларних пријемника [10]

Уградњом ових пријемника заузима се много мања површина крова и трошкови уградње су много нижи у односу на случај када би се засебно постављали соларни пријемници и PV модули. Постоје: [11]

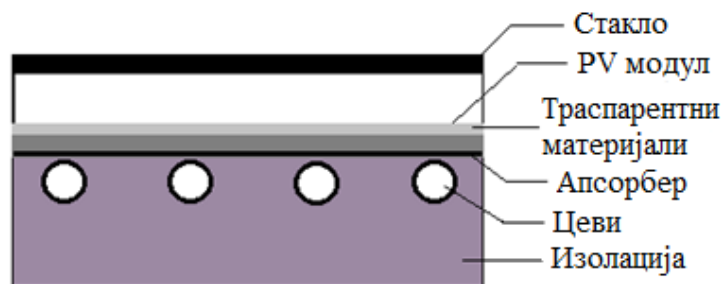
- 1) хибридни ваздушни соларни пријемници;
- 2) хибридни водени соларни пријемници и

- 3) хибридни соларни пријемници са концентришућим системима сунчевог зрачења.

Хибридни соларни PV/T пријемник се састоји од PV модула (фотонапонских модула–панела) интегрисаног у размењивач топлоте који користи течни или гасовити флуид, а најчешће се примењују ваздух и вода.

Хибридни ваздушни соларни пријемници су најјефтинија варијанта хибридних пријемника. Углавном се користе као део соларне архитектуре (интегрисани у објекат) и то углавном у областима са: мало сунчаних дана, пуно облачности и ниским спољним температурама. Лимитирајући фактор за инсталацију хибридних ваздушних пријемника у областима ближим екватору представља температура околног ваздуха, која током већег дела године прелази 20°C . [11]

Наиме, смањене вредности ефикасности FN модула настале услед повећања температуре, је немогуће увећати повећањем масеног протока ваздуха кроз FN модул уколико је температуре околног ваздуха висока. Конструкција хибридног ваздушног пријемника приказана на слици 4.2.2., (предњи пролаз ваздуха) има најмању енергетску ефикасност. Са повећањем протока ваздуха смањује се радна температура пријемника, дакле расте термичка ефикасност.



Слика 4.2.2. Конструкција хибридног ваздушног пријемника [11]

Укупна ефикасност хибридних соларних пријемника се може дефинисати као: [11]

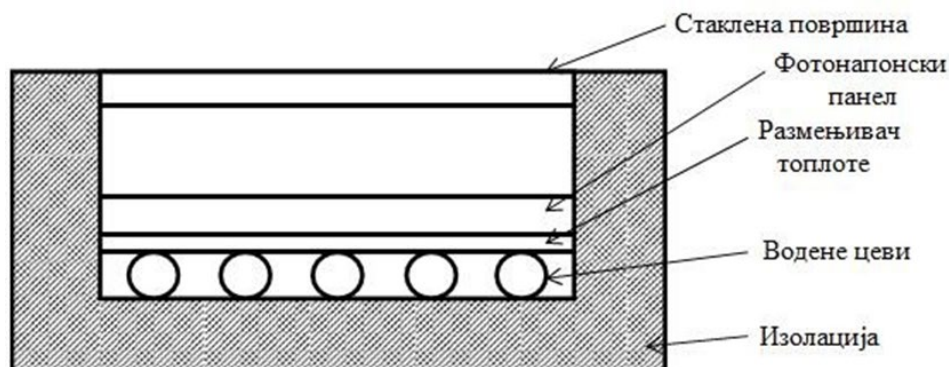
$$\eta_{\text{HSK}} = \eta_{\text{PV}} + \eta_{\text{SK}} \quad (19)$$

где је: η_{PV} – ефикасност FN модула и η_{SK} – ефикасност соларног пријемника (термичка ефикасност). [11]

Термичка ефикасност соларног пријемника је за десетак процената нижа уколико је FN модул у погону.

У супротном се сва енергија сунчевог зрачења трансформише у топлотну енергију. Независно од конструкције, главни део хибридних соларних пријемника је апсорберска плоча која носи фотонапонску ћелују. Обзиром да FN панел и апсорберска плоча имају различит коефицијент термичког ширења спајају се танким слојем флексибилних транспарентних материјала. [11]

Конструкција хибридног воденог соларног пријемника, приказана на слици 4.2.3. је конструисана тако да радни флуид има што већи контакт са површином апсорбера, а самим тим и површином FN модула. Услед непосредног контакта FN модула и апсорбера повећава се температура FN модула, а самим тим и смањује његова ефикасност. Овај проблем је могуће решити повећањем масеног протока воде кроз систем, чиме се повећава ефикасност FN модула и смањује температура апсорбера. [11]



Слика 4.2.3. Изглед хибридних PV/T соларних пријемника [8]

У теорији се чини да је примењивање хибридних PV/T соларних пријемника врло ефикасно и омогућава решавање низ проблема. Међутим, у пракси није увек могуће постићи максимум ефикасност хибридних PV/T соларних пријемника. Ово је углавном због чињенице да лети температура расхладне течности не би требало да прелази 50°C , па рад система за снабдевање топлотом водом је врло ограничен.

4.3. Подела хибридних соларних пријемника према конструкцији и начину извођења

На основу конструкције и начина извођења PV/T пријемници се могу поделити на: равне PV/T пријемнике, концентришуће PV/T пријемнике и PV/T пријемнике интегрисане у омотач зграде (*Building Integrated Photovoltaic Thermal Systems – BIPV/T*), што је приказано на слици 4.3.



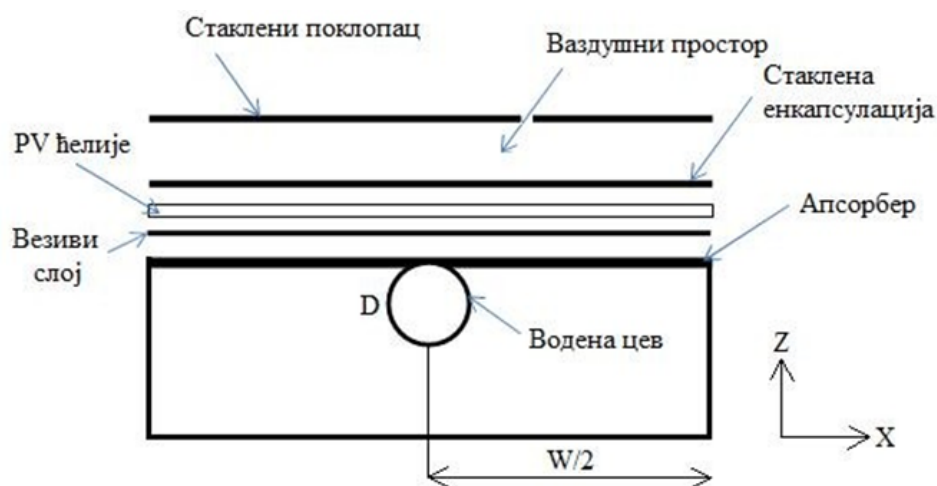
Слика 4.3 Графички приказ поделе хибридних соларних пријемника према конструкцији и начину извођења [9]

Такође PV/T пријемници се могу поделити у зависности од начина циркулације флуида на: природне и принудне PV/T пријемнике. Прва подела представља основну поделу која ће у даљем тексту бити поменута.

4.3.1. Начин функционисања равних хибридних соларних пријемника

Равни PV/T пријемници су најпопуларнији тип PV/T пријемника због своје једноставне конструкције. Ови PV/T пријемници се највише примењују код стамбених објеката за производњу топле санитарне воде и загревање самог објекта. У стамбеним објектима, равни PV/T пријемници се обично повезују паралелно и раде аутоматски помоћу термосифонског ефекта, док индустријски системи за загревање воде користе низ равних пријемника у серији који захтевају пумпу ради обезбеђивања одговарајућег протока воде кроз пријемник. Бочне стране и дна су генерално изоловани, а стаклени поклопац смањује губитак топлоте. [9][10]

Пресек x – z равног конвенционалног PV/T пријемника је приказан на слици 4.3.1., где су D пречник цеви а W је растојање између две суседне цеви. Саставни делови пријемник су: један или више стаклених слојева, PV модул (фотонапонских ћелија– панела), топлотни апсорбер (алуминијум, бакар или полимерна плоча) у контакту са бакарним цевима или каналима и са слојем термалне изолације. PV/T пријемници могу радити са различитим флуидима за пренос топлоте и постоје различите конструкције топлотних апсорбера. Топлотна ефикасност ове врсте пријемника се обично креће у границама од 50 – 60%, док се годишња електрична ефикасност креће у границама од 7 – 15%. [7]



Слика 4.3.1. Пресек x – z равног конвенционалног PV/T пријемник [7]

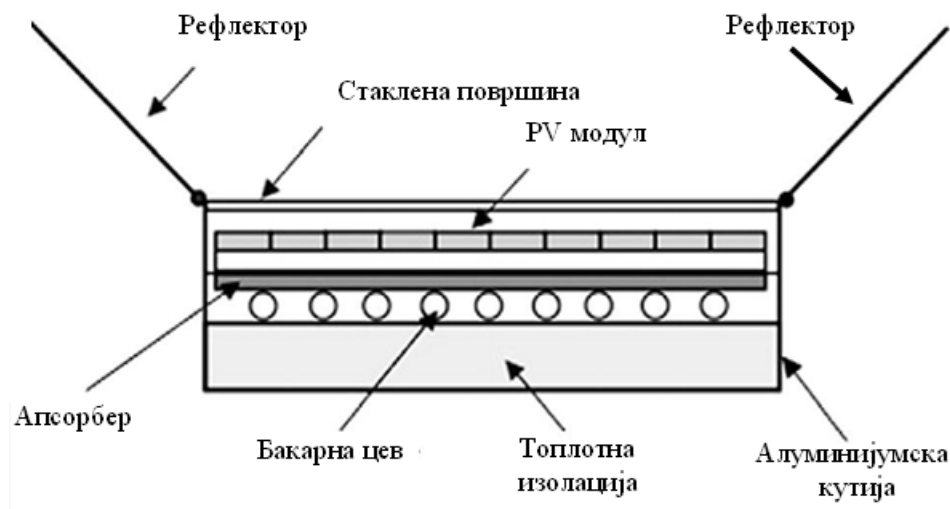
На топлотну и електричну ефикасност и радну температуру овог типа PV/T пријемника утичу следећи фактори: врста течности за пренос топлоте, проток флуида, број стаклених слојева, тип соларних ћелија и својства апсорбера (материјал и конструкција, нпр. пречник цеви D , однос W/D и сл.) који одређују расподелу температуре на површини апсорбера. Треба остварити добар топлотни контакт између

абсорбера и *PV* модула како би се осигурала добра топлотна и електрична ефикасност. [7]

Флуид за пренос топлоте може бити течност или гас. Код равних плочастих *PV/T* пријемника углавном се користе течни флуиди као што су: вода или мешавина воде и гликола како би се избегло замрзавање, док *PV/T* пријемник типа ваздуха пружа једноставније решење за хлађење соларних модула. [7]

4.3.2. Концентришући хибридни соларни пријемници

Основна разлика између концентришућих *PV/T* пријемника и равних *PV/T* пријемника је та што је код ових првих површина прикупљања Сунчевог зрачења увек већа од површине њеног пријема, апсорпције. Код равних соларних *PV/T* пријемника ове две површине су једнаке. Температурни опсег који се може постићи са равним *PV/T* пријемником је у пракси ограничен до границе од 150°C, док на релативно малој површини концентришу велику количину Сунчевог зрачења, *CPV/T* пријемници могу достизати радне температуре од 50°C па до неколико хиљада степена целзијуса. Из овог разлога радни флуид у њима није ваздух, већ вода, термално уље или неки други флуид погодних физичких карактеристика (као што су топлотна проводљивост и температура кључања). Шематски приказ *CPV/T* пријемника је приказан на слици 4.3.2.1. Напредна конфигурација *CPV/T* пријемника позната као спектрално светлосно дељење (*Spectral Beam Splitting*) развијена је како би се осигурало потпуно искоришћавање сунчеве инсолације преко читавог спектра. [9][12]



Слика 4.3.2.1. Шематски приказ концентришућег хибридног соларног пријемника [9]

Концентришући соларни PV/T пријемници се према мобилности панела могу поделити на оне са:

- 1) непокретним панелом (слика 4.3.2.2.),
- 2) покретним панелом по једној или две осе. [12]

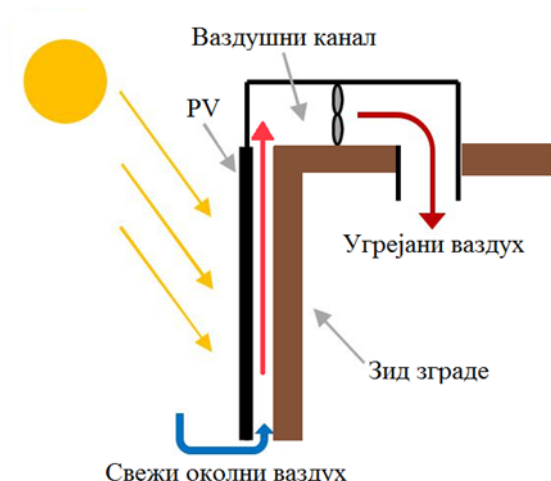


Слика 4.3.2.2. Шема и изглед концентришућег PV/T соларног пријемника са непокретним панелима [7]

Пошто монокристалне соларне ћелије смањују производњу излазне снаге на повишеним температурама, потребно је остварити хлађење да би се одржала електрична ефикасност. Хлађење се постиже течним флуидом (најчешће водом), кроз канале апсорбера. Стога, CPV/T пријемник производи електричну и топлотну енергију из исте области. Ниво Сунчевог зрачења на фотонапонске модуле се повећава помоћу концентратора (сочивима или огледалима), чиме се генерише више електричне и топлоте енергије по јединици површине. Концентрациони системи користе рефлектујућа (огледала) и рефрактивне оптичке уређаје за фокусирање директне компоненте сунчевог зрачења. На локацијама на којима је компонента сунчевог зрачења доминантна током године, сунчево зрачење се може концентрисати са рефлекторима. Генерално, систем за праћење кретања Сунца ($TRAC$) је непоходан ради повећавања топлотног и електричног излаза концентрационих система, мада због високих инвестиционих трошкова се користе они CPV/T пријемници који немају покретне панеле (Слика 4.3.2.2.). У CPV/T пријемницима концентрација Сунчевог зрачења се доводи до мале површине модула, при чему се постиже висока ефикасност пријемника до 65% при 200°C, када је оптичка ефикасност око 70 – 80% и за соларне ћелије које имају високу ефикасност конверзије, као што су соларне ћелије са више чворова са електричном ефикасношћу од 40%. [7]

4.3.3. Хибридни соларни пријемници интегрисани у омотач зграде

Потрошња енергије у стамбеним и пословним објектима расте из дана у дан, посебно у урбанизованим развијеним земљама. Да би се обезбедила потребна енергија у оваквим објектима све се више примењују PV/T пријемници интегрисани у грађевински омотач зграде, зато што PV/T пријемници интегрисани у грађевински омотач зграде ($BIPV/T$) представљају један од оперативних начина за постизање објеката са нултом енергетском потрошњом. [7][9]

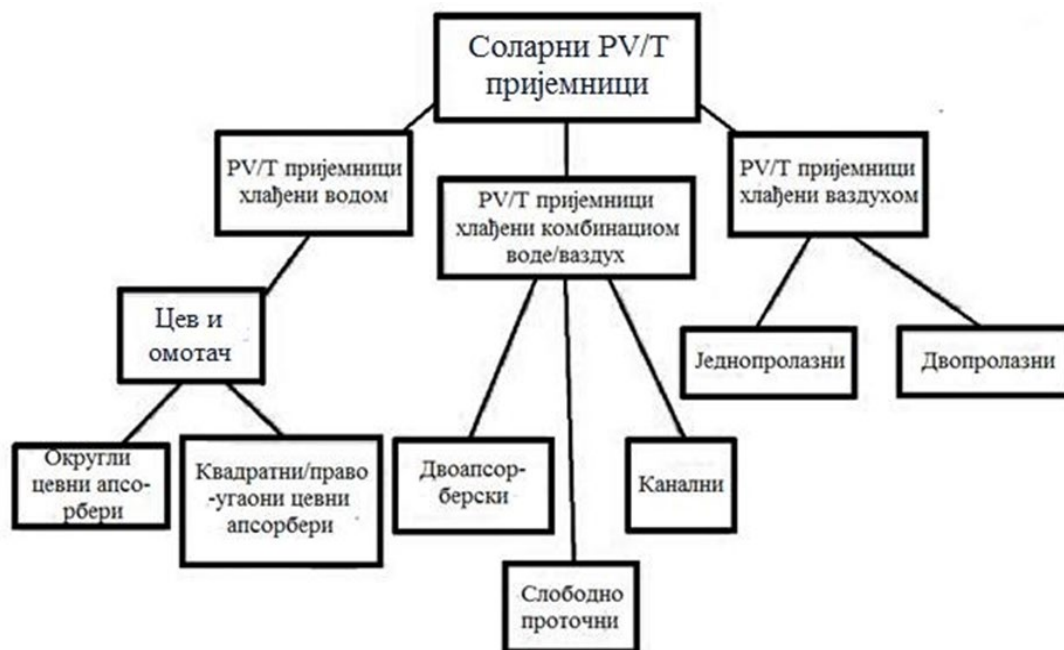


Слика 4.3.3. а) Шематски приказ функционисања ваздушног PV/T пријемника интегрисаног у омотач зграде; б) Изглед зграде са омотачем у коме је интегрисан ваздушни PV/T пријемник [7]

PV/T пријемници интегрисани у грађевински омотач зграде се углавном користе за вентилацију, грејање простора и предгревање ваздуха. Пример овог типа пријемника је $BIPV/T$ фасада са вентилационим ваздушним простором иза PV панела као што је приказано на слици 4.3.3. Овим се ствара природна циркулација ваздуха у згради док се смањују губици топлоте кроз зид. Ваздушни канал се у овом случају налази иза PV панела, али постоје и друга решења где ваздух циркулише испред PV панела. [6][8]

4.3.4. Подела хибридних соларних пријемника према радном флуиду

Флуид за пренос топлоте (HTF) која се користи за одвођење топлоте из PV/T модула представља главну класификацију PV/T пријемника. Тренутно, HTF који се користе у PV/T пријемницима су ваздух, вода, расхладно средство, нанофлуид, уље за пренос топлоте и многи други. Међутим, најчешће коришћени флуиди у PV/T пријемницима су ваздух, вода и њихова мешавина. [9]



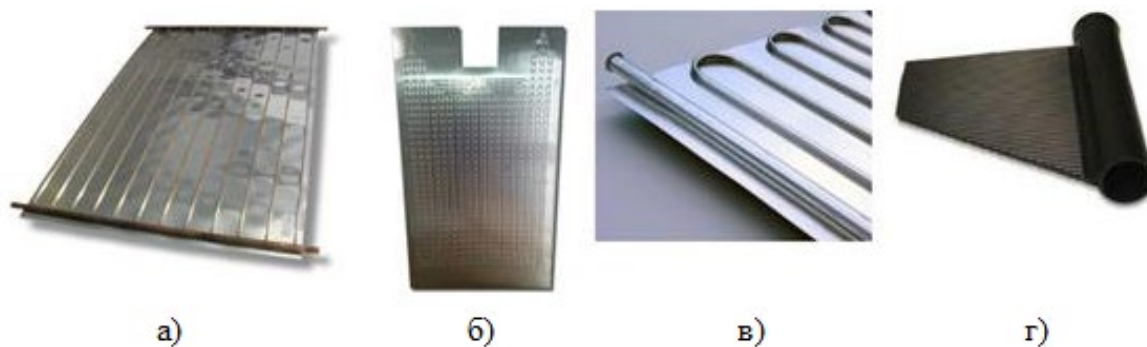
Слика 4.3.4. Графички приказ поделе хибридних соларних пријемника према врсти радног флуида [9]

Слика 4.3.4. даје детаљну класификацију PV/T пријемника базираног на флуиду за пренос топлоте, при чему ће у даљем тексту бити речи о воденим и ваздушним PV/T пријемницима.

4.3.4.1. Начин функционисања водених хибридних соларних пријемника

У PV/T соларним пријемницима који користе течне флуиде, флуиди могу циркулисати природном или принудним путем. За остваривање принудне циркулације користи се пумпа која обично троши знатно мање енергије него вентилатори потребни за циркулацију ваздуха у пријемнику. Ови пријемници углавном имају већу ефикасност него PV/T соларни пријемници који користе ваздух као радни флуид због већег коефицијента прелаза топлоте и већег топлотног капацитета. [7]

Постоје различите конструкциона решења апсорбера за PV/T соларне пријемнике који користе течне флуиде, који су приказани на слици 4.3.4.1.1.



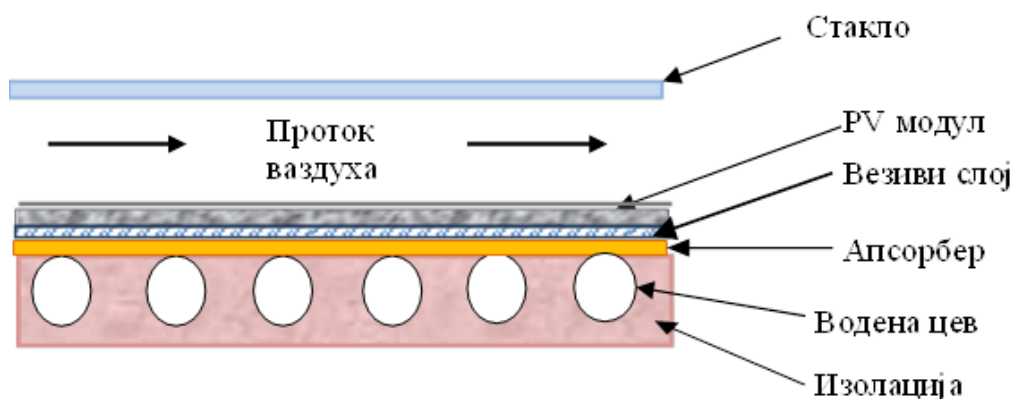
Слика 4.3.4.1.1. Приказ конструкција апсорбера који се користе за PV/T пријемнике [7]

Са слике 4.3.4.1.1. а) Апсорбер цев и омотач где је равна метална плоча везана за металну цев; б) Роловани алуминијумски апсорбер произведен техником везивања две алуминијумска лима. Овај дизајн омогућава равномерну расподелу температуре; в) Змијаста апсорбер, сличан дизајну цев у омотач; г) Канални апсорбер карактерише једноставна конструкција, мала тежина, ниска цена али мања ефикасност прелаза топлоте. [7]

PV/T пријемници типа цев и омотач са микроканалима (са хидрауличким пречником канала од $1\mu\text{m}$ – 1mm) се све више примењују као интегрисани у омотач зграде захваљујући њиховој компактној конструкцији и ефикаснијем прелазу топлоте са малих канала. Примери комерцијалних апсорбера које се користе за (PV/T) пријемнике приказани су на слици 4.3.4.1.1. [7]

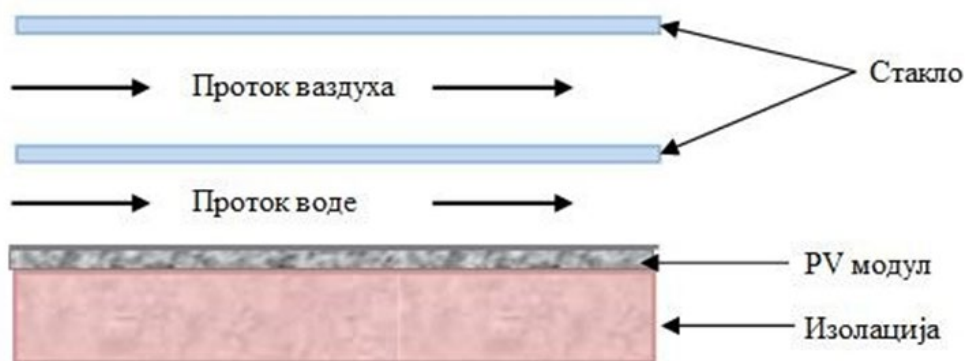
PV/T пријемници могу апсорбовати сунчево зрачење помоћу топлотних цеви кроз које протиче флуид на високим температурама и у латентном облику. Механизам преноса топлоте у топлотним цевима подразумева промену фазе, тако да пријемник ради на равномерној температури која одговара PV модулу. Ови пријемници су погодни за примену у хладнијим регионима света, при чему се може избећи замрзавање правилним избором флуида, а температура рада пријемника топлотних цеви се може контролисати и подешавати. Експерименталне вредности укупне топлотне ефикасности у PV/T пријемницима са топлотним цевима су постигнуте до границе од 65% са одговарајућом електричном ефикасношћу од 8%. [7]

Пријемник типа цев и омотач (Слика 4.3.4.1.2.) је један од најједноставнијих конструкција за водене PV/T пријемнике. Овакви PV/T пријемници могу бити кружне, правоугаоне или квадратне геометрије. [9][10]



Слика 4.3.4.1.2. Шематски приказ PV/T пријемника типа цев и омотач [9]

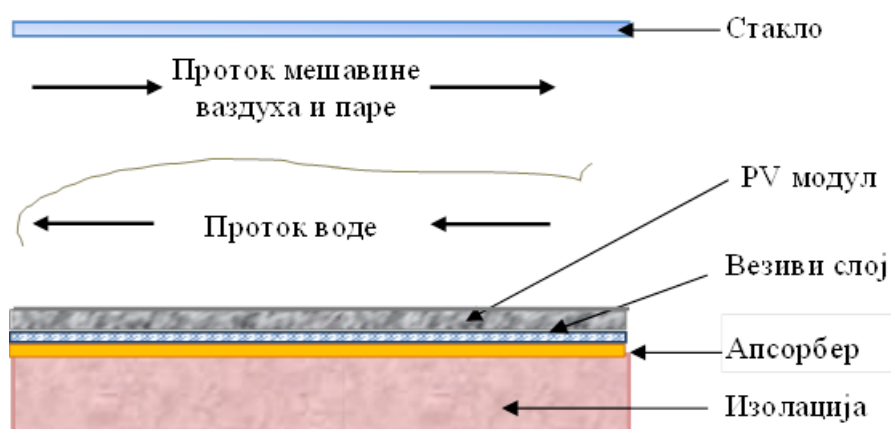
Канални PV/T пријемници се састоје од два одвојена канала за проток воде и ваздуха, а изнад PV модула се налазе стаклени канали (слика 4.3.4.1.3.). Ако је апсорпциони спектар радног флуида и PV модула сличан, може доћи до смањивања апсорпције соларних модула. Иако је овај PV/T пријемник једноставан за конструкцију, могући проблем који се може јавити код ових пријемника је висок притисак воде који утиче на широке канале. Да би се ово избегло стаклене плоче морају бити одговарајуће дебљине да би издржале притисак воде, при чему се повећава габаритност пријемника. Алтернативни дизајн у каналним PV/T пријемницима је да вода тече испод PV модула. [9][10]



Слика 4.3.4.1.3. Шематски приказ каналног PV/T пријемника [9][10]

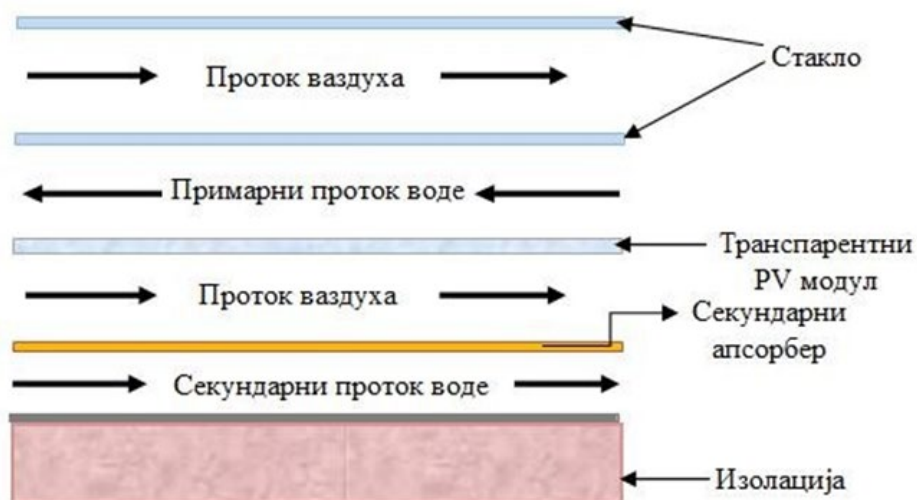
Код слободно проточних PV/T пријемника за разлику од каналних PV/T пријемника, проток ваздуха и воде није одвојен стакленим слојем, што смањује губитке због рефлексије као и материјалне трошкове (слика 4.3.4.1.4.). Међутим, постоји двоструко ограничење код овог дизајна PV/T пријемника. Са једне стране, испаравање се вероватно дешава када ваздух струји у контакту са водом, што може довести до смањења топлотне ефикасности. Са друге стране, кондензација на врху стакленог слоја смањује пренос сунчеве енергије. Високо апсорбујући флуид са високом температуром испаравања може у великој мери ублажити ове проблеме. Дакле, вода није прикладан

избор за овај дизајн пријемника као у другим случајевима, међутим, повећана брзина испаравања воде са порастом температуре спречава прегревање пријемника. [9][10]



Слика 4.3.4.1.4. Шематски приказ слободно проточног PV/T пријемника [9][10]

Код двоапсорберских PV/T пријемника, као примарни апсорбер се користи транспарентни PV модул, а као секундарни апсорбер користи се црни метални лим са високим апсорпционим својствима (слика 4.3.4.1.5). Ови пријемници се састоје од два проточна канала воде између којих се налази проточни канал ваздуха. Вода улази кроз горњи канал (примарни ток) и враћа се кроз доњи (секундарни ток). Ови PV/T пријемници су се показали ефикасним у смислу смањивања топлотних губитака. [9][10]



Слика 4.3.4.1.5. Шематски приказ двоапсорберског PV/T пријемника [9][10]

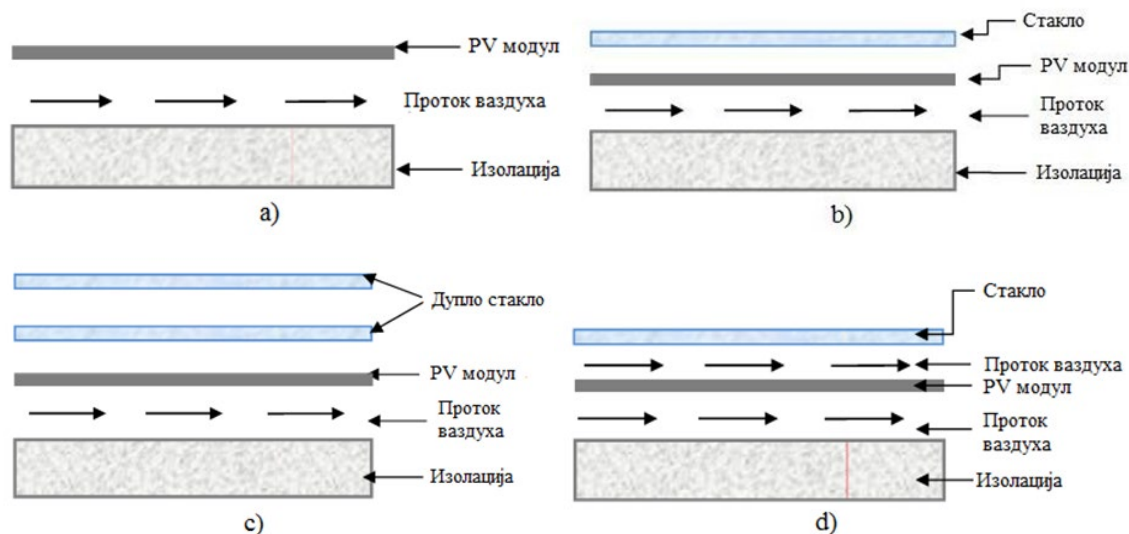
Топлотна ефикасност водених PV/T пријемника се креће у границама између 50 – 60%, а годишња електрична ефикасност се креће у границама од 7 – 15%. [9][10]

4.3.4.2. Начин функционисања ваздушних хибридних соларних пријемника

Ваздушни PV/T пријемници користе ваздух као радни медијум за пренос енергије. Ови пријемници су једноставне конструкције и захтевају мало одржавања. Шта више, они су мање подложни цурењу и корозији у поређењу са течним системима. Међутим, мали топлотни капацитет и коефицијент преноса топлоте ваздуха чине ваздушне PV/T пријемнике мање ефикаснијим од водених PV/T пријемника. [9][10]

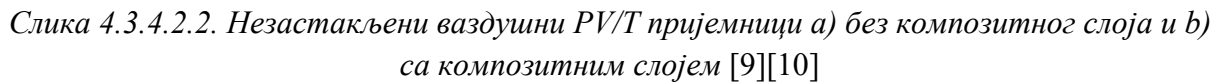
Ваздух може да циркулише природним или принудним путем, а принудна циркулација има бољи конвективни пренос топлоте али захтева употребу вентилатора. Коефицијент прелаза топлоте у ваздушним пријемницима је знатно нижи од оног у водним системима, тако да дизајн канала има велики значаја за брзину прелаза топлоте у пријемницима типа ваздуха. Вредности топлотне ефикасности ваздушних PV/T пријемник се крећу у границама од 38 – 75%. [9][10]

Постоје различита конструкциона решења ваздушних PV/T пријемника као што су незастакљени једно – пролазни ваздушни PV/T пријемници (а), застакљени једно-пролазни ваздушни PV/T пријемници (б), двоструко застакљени једно – пролазни ваздушни PV/T пријемници (с) и застакљени дво-пролазни ваздушни PV/T пријемници (д), који су приказана на слици 4.3.4.2.1. [9][10]



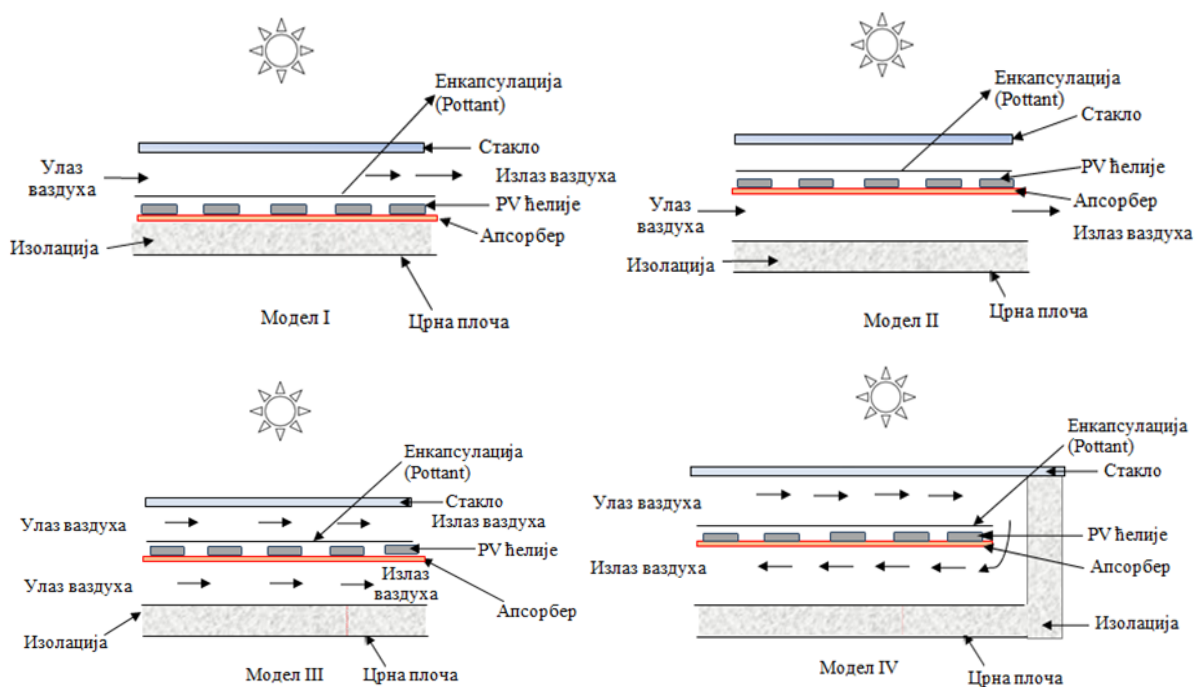
Слика 4.3.4.2.1. Различите конструкције ваздушних PV/T пријемник [9][10]

Употреба једног или дуплог стакла код ваздушних PV/T пријемника зависи од пројектованог температурног опсега. Уочено је да пријемник са једним стаклом акумулира више топлоте него пријемник са дуплим стаклом изнад критичне температуре. Поред претходно напоменутих конструкција постоје и конструкције које су *Tiwari & Sodha* направили ради експерименталног истраживања ефикасности ваздушних PV/T пријемника, који су приказани на сликама 4.3.4.2.2. и 4.3.4.2.3. [9][10]



а) б)

На основу броја пролаза ваздуха кроз ваздушни PV/T пријемник они се могу класификовани на једно – пролазне и дво-пролазне пријемнике. На слици 4.3.4.2.4. су приказани једно-пролазни и дво-пролазни ваздушни PV/T пријемници. Прва три модела имају циркулисање у режиму једноструког пролаза док четврти модел има режим двоструког пролаза. Код модела I ваздух циркулише преко апсорбера, док код модела II ваздух протиче испод апсорбера. Код Модела III ваздух циркулише са обе стране апсорбера. У моделу IV ваздух циркулише у режиму двоструког пролаза. Конструкција једно – пролазног ваздушног пријемника која се најчешће користи је модел II иако модел I нуди најједноставнију конструкцију. [9][10]



Слика 4.3.4.2.4. Једно-пролазни и дво-пролазни ваздушни PV/T пријемници [9][10]

Перформансе двопролазних ваздушних PV/T пријемника су боље од конвенционалног дизајна једнопролазних и осим соларног сушења, двопролазни ваздушни (PV/T) пријемници се могу користити као пријемници интегрисани у омотач зграде. [9][10]

Табела 4.3.4.2. Поређење ваздуха и воде као радног флуида за пренос топлоте у PV/T пријемницима [9][10][13]

HTF	Предности	Недостаци
Ваздух	- Без замрзавања или стагнације, - Једноставан у дизајну и повољније цене уз минималну употребу материјала, - Погодан за предгревање ваздуха код грађевинске примене, - Нема ризика од оштећења кад дође до цурења, - Безопасан по животну средину и здравље људи.	- Низак пренос топлоте због ниског топлотног капацитета, - Већи канали су неопходни за постизање значајних перформанси због ниске густине ваздуха, - За системе са затвореном петљом потребан је други соларни круг, - Код отворених система нижи је распон температуре и јавља се бука због употребе вентилатора.
Вода	- Најједноставнији начин за изградњу PV/T пријемника, - Одличан медијум за пренос топлоте због топлотног капацитета и вискозности, - Нижи трошкови.	- Проблем замрзавања у хладнијим регионима, - Непрекидни пораст температуре воде током рада која утиче на ефикасност и смањење преноса топлоте, - Повећани губици топлоте усред испаравања, - Проблеми са испаравањем на високим температурама.

Водени и ваздушни *PV/T* пријемници имају своје предности и недостатке. Предности и недостаци ових *PV/T* пријемника су приказани у табели 4.4.4.2.

4.4. Предности и недостаци хибридних соларних пријемника у односу на *PV* и *T* пријемнике

Као и сваки уређај и *PV/T* пријемници имају своје предности и недостатке. У наставку следи табеларни приказ предности и недостатака *PV/T* пријемника у однос на *PV* и *T* пријемнике.

Табела 4.4. Табеларни приказ предности и недостатака *PV/T* пријемника у односу на *PV* и *T* пријемнике [9][10][13]

Предности	Недостаци
• Већа искоришћеност простора у односу на <i>PV</i> и <i>T</i> пријемнике, • Једноставна инсталација, • Естетска предност у односу на друге системе, • Задовољавање енергетских потреба за електричном и топлотном енергијом (један систем за све), • Једноставно одржавање, • Чист извор енергије.	• Поузданост још увек није оптимизована, • Смањена ефикасност топлотног пријемника на име добијања електричне енергије, • Укљученост државе је веома мала (нема одговарајућих субвенција), • Недостају стандарди, свест о новим системима па се практична искуства остварују експерименталним пројектима, • Овакав систем може да задовољи свега 10-20% енергетских потреба, па је неопходно овај систем повезати са другим, • Ови системи имају мање тржиште у односу на <i>PV</i> и <i>T</i> пријемнике, • Висока инвестициона улагања.

PV/T пријемници још увек немају велику заступљеност код нас, шта више ови системи су практично незаступљени на нашем тржишту. Док када говоримо о глобалној употреби ових пријемника они су мање заступљенији у односу на *PV* и *T* пријемнике. Још увек се врше велика истраживања како би се ефикасност ових пријемника унапредила, међутим већина истраживача верује да ови пријемници имају велики потенцијал који још увек није искоришћен.

4.5. SWOT анализа хибричних PV/T пријемника у односу на PV и T пријемнике

У овом делу рада ће бити представљена *SWOT* анализа (снаге, слабости, шансе и претње) хибричних *PV/T* пријемника у односу на *PV* и *T* пријемнике.

Табела 4.5. *SWOT* анализа хибричних *PV/T* пријемника у односу на *PV* и *T* пријемнике [9][10][13]

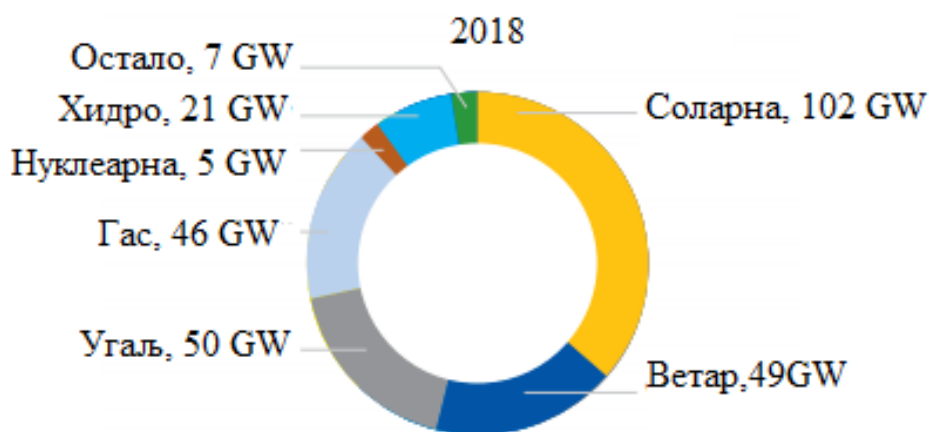
СНАГЕ	СЛАБОСТИ
- Ефикасније коришћење простора - Естетска предност - Једноставна примена једног пријемника - Лакша инсталација - Раст потрошње енергије	- Висока цена пријемника - Високи трошкови инсталације - Повезивање две различите потребе - Треба побољшати топлотну ефикасност - Треба побољшати дуготрајност - Недостатак знања и едукованости становништва
ШАНСЕ	ПРЕТЊЕ
- Повећање ефикасности <i>PV</i>-а - Побољшати дизајн - Већа заинтересованост тржишта - Стимулативне субвенције	- Учешће у индустрији је мало - Недостају стандарди - Финансијска криза

Из приказане матрице и њеног садржаја може се закључити да су ови пријемници изложени утицајима разноврсних фактора, који стварају и шансе и претње, као што изражавају снаге и слабости. Требало би смањити утицаје претњи, а повећати утицаје шанси. Такође, требало би отклањати слабости, а даље развијати снаге ових пријемника. Будућа производња *PV/T* пријемника треба бити фокусирана на *taxi* – *taxi* опцију, односно кориштење сопствених снага у циљу кориштења повољних тржишних прилика.

5. АНАЛИЗА ГЛОБАЛНОГ ТРЖИШТА ХИБРИДНИХ СОЛАРНИХ ПАНЕЛА

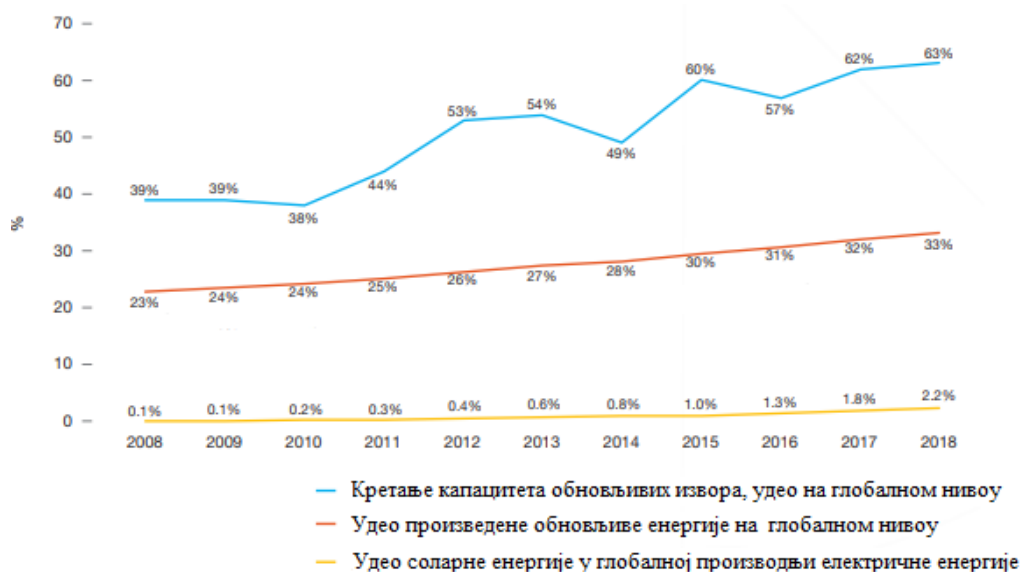
Глобално тржиште хибридных соларних панела расте бржим темпом са знатним стопама раста у последњих неколико година и процењује се да ће тржиште значајно порасти у предвиђеном периоду, па све до 2027. године. [14]

Соларна енергија је 2018. године направила малу паузу од огромних стопа раста виђених претходних година. Иако је соларно тржиште скромно порасло за само 4%, било је довољно да поново надмаши било коју другу технологију за производњу електричне енергије 2017. године. Више соларних *PV* је било распоређено од свих фосилних горива и нуклеарних извора енергије, заједно. Солар је имао већи капацитет од свих обновљивих извора, заједно – укључујући хидро и имао дупло више инсталисане снаге од снаге ветра (видети слику 5.1.). [14]



Слика 5.1. Удео соларне енергије на тржишту у 2018. години [14]

Удео соларне енергије достигао је 36% од укупног енергетских капацитета у 2018. години, у поређењу са 38% остварених годину дана раније. Иако импресивно на први поглед, „стагнација“ и соларног и ветровног раста у 2018. години значила је то да су обновљиви капацитети допринели само 63% укупним додацима снаге (слика 5.2.). Када се посматра удео укупних инсталираних капацитета производње електричне енергије, обновљиви извори су у 2018. години допринели 33%, а у погледу излазне снаге 26%. Све соларне *PV* електране заједно су произвеле само 2,2% светске извезене електричне енергије. То показује да упркос недавној доминантној улози соларне енергије у годишњим додацима за производњу електричне енергије, постоји огроман неискоришћени потенцијал за соларну енергију и њене обновљиве вршњаке.



Слика 5.2. Генерација и капацитет обновљиве снаге као удела светске снаге у периоду од 2008-2018 године [14]

Тржиште хибридних соларних панела се шири због пораста популације и повећања потражње за енергијом широм света. Хибридни соларни панели помажу у смањењу загађења и зависности од електричне енергије за производњу топлоте. Такође се предвиђа да ће пораст владиних иницијатива у вези са хибридним соларним панелима у руралним областима повећати потражњу за тим панелима у блиској будућности.

Глобално тржиште хибридних соларних панела експоненцијално је порасло у великом обиму и неки покретачи тржишта као што су узводне сировине, растућа популација, процват потражње и понуде, проширење региона и технолошки напредак резултирали су значајним приходима. Поред тога, историја тржишта, стално мењање тржишних сценарија, флукутирајућа потражња и понуда, као и технолошка кретања су други значајни фактори, имају велику улогу што се глобалног тржишта тиче. [15]

IHS Markit је 2014. године објавио извештај о водећим светским произвођачима соларних панела и компоненти за њихову производњу. На листи највиших компанија било је 15 компанија – лидера у изградњи соларних панела које су они произвели 2013. године. [15]

Како се испоставило, главни соларни фотонапонски производни погони за производњу хибридних *PV/T* пријемника налазе се у Кини. Међутим, треба напоменути да се у Јапану производња хибридних *PV/T* пријемника у *Plants Sharp* и *Kyocera* повећава. Доприноси развоју производње соларних панела у Јапану, преференцијалних тарифа које су поставиле Јапанске власти за развој соларног тржишта обновљиве енергије. А преференција потрошача јапанских производа на домаћем тржишту Јапана очигледно је играла значајну улогу у овом успону.

Али, као и претходних година, *Yingli Green Energy* (звани *Yingli Solar*) заузео је прво место на листи најмоћнијих произвођача *PV/T* пријемника, а седам од десет компанија је основано и радило у Кини. Ипак, у 2013. години укупан тржишни удео кинеске

производње *PV/T* пријемника смањен је за 1% у односу на претходну 2012. годину и чинио је 58% глобалне производње. [15]

Према речима Џесике Џин, аналитичарке у *PV/T* пријемницима *IHS*-а, 2013. године, на кинеском тржишту повећана је потражња за обновљивим изворима, које су користили локални кинески произвођачи, иста ствар се догодила и у Јапану, где је производња такође порасла. Кинеско тржиште је 2013. године чинило више од четвртине соларних електрана. Као резултат тога, Кина је заузела водећу позицију у развоју соларне енергије у свету. [15]

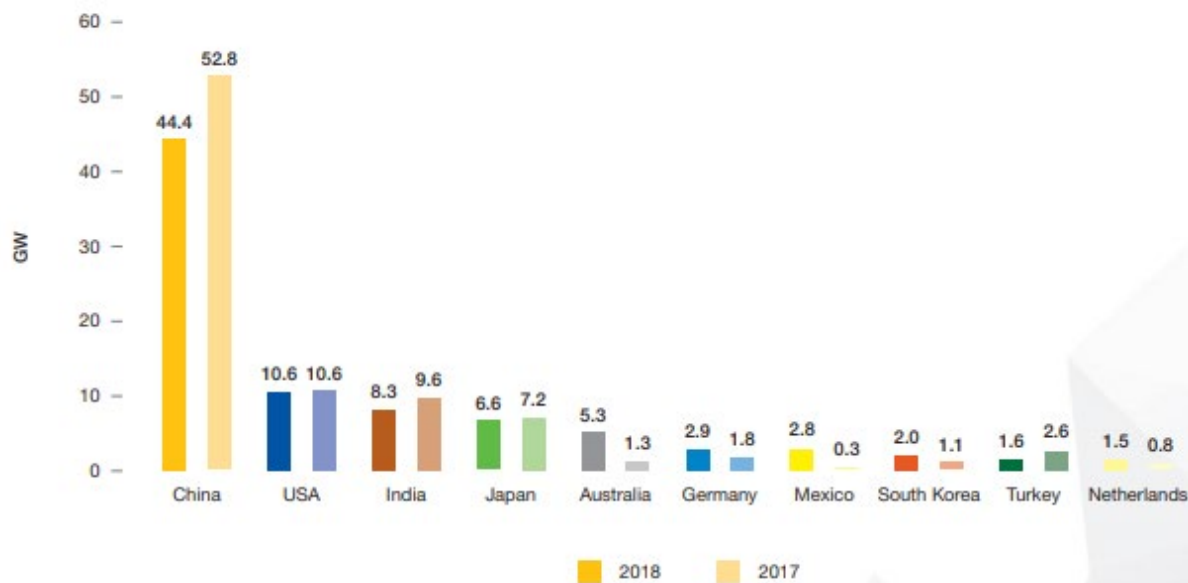
Данас су Кинески произвођачи и даље лидери глобалног фотонапонског тржишта, али постоје предуслови који указују на успоравање раста. Док су последњих година Кинески произвођачи самоуверено на врху листа највећег произвођача фотонапонских модула другу годину заредом не показују значајан раст производње. Кинеске електране су 2011. заузеле 57% глобалног соларног тржишта, у 2012. години су заузеле 58% док у 2013. години долазе до 59%. [15]

Европа, с друге стране, има стабилан удео на фотонапонском тржишту у 2013. години од 13%, што је готово стабилан показатељ од 2011. године. Међутим, Јапан је повећао производњу фотонапонских модула, раст у 2013. години био је 15% у односу на 2011. годину и до 12% глобалне производње. У међувремену, Амерички добављачи заостају јер је њихов удео пао на 9 % у односу на 13% у 2011. години. [15]

Међу првих 15 компанија произвођача соларних пријемника, заједно са Шарпом и Кјоцером, које су доживеле значајан раст у 2013. години, био је још један Јапански фирма – продуцент соларних пријемника танког филма – *Solar Frontier*, повећавајући продају за више од 60%, што је релативно висока цифра. [15]

У извештају *IHS* – а се такође истиче да је врхунац укупне светске залихе хибридних *PV/T* пријемника у 2013. години износио 38,7 GW – око 24% више него претходне године. Занимљиво је да су највећи удео раста тржишта погона и производње обезбедиле компаније са листе лидера фотонапонске индустрије. То јасно указује на консолидацију индустрије. Топ 15 произвођача *PV/T* пријемника имало је 59% тржишта у 2013. години. [15]

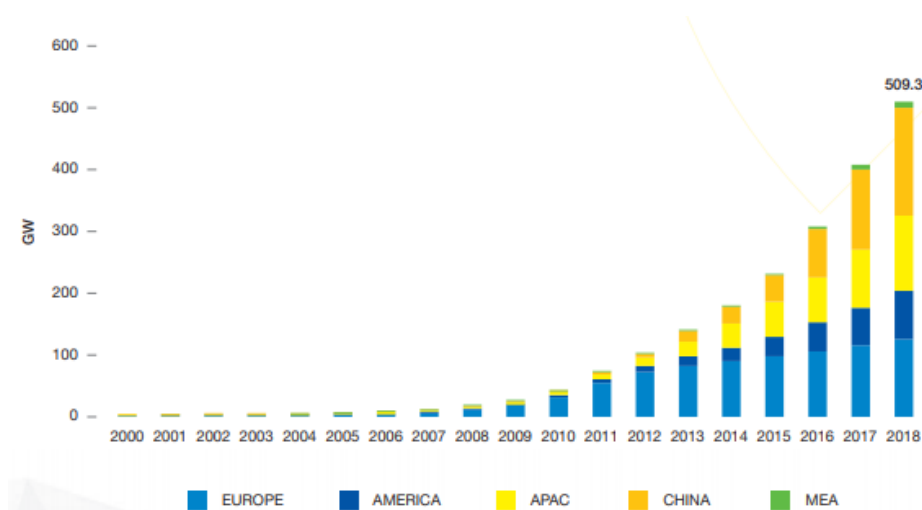
Иако је годишња потражња за соларном енергијом у Кини опала први пут од 2014. године, наставила је да доминира у 2018. години (Слика 5.3.).



Слика 5.3. Топ 10 тржишта соларне енергије у 2018. години [14]

На слици 5.3. примећујемо да после кинеског тржишта, највећи број GW електричне енергије је произведено у САД, затим Индији и Јапану, Аустралији, Немачкој итд.

Ако посматрамо период од 2000. до 2018. године, примећује се раст укупне инсталисане снаге (у GW) *PV* и *PV/T* пријемника, почев од 2008. године, а 2013. године премашује вредност од 100 GW укупно инсталисане снаге. Пет година касније (2018) укупно инсталисана снага *PV* и *PV/T* пријемника на глобалном нивоу премашује 500 GW. У посматраном периоду, највећи капацитет инсталисане снаге *PV* и *PV/T* пријемника је у Кини. [14]



Слика 5.4. Кретање инсталисане снаге *PV* и *PV/T* пријемника у периоду од 2000. до 2018. године [14]

С обзиром на континуирану консолидацију соларне индустрије и малу подршку држава тј. владе, што је у многим случајевима велики економски стимуланс, ова ситуација ће се вероватно наставити још неко време. Управо то се сада дешава са енергетском ефикасношћу у Кини. Недавна пресуда кинеског министарства индустрије

и информативне технологије за чишћење индустрије вероватно ће погоршати ситуацију више од 75 % произвођача соларних панела и сродних компоненти земље. Мало је вероватно да ће морати дуго да се чека да би се видели резултати таквог корака, мада, и није лоше – то је само природан процес развоја индустрије.

У студији коју је наручио *Energie Switzerland*, *SPF* је испитао како климатске промене и реално понашање корисника утичу на профитабилност соларних система. Климатске промене узрокују повећање температуре и вероватно нешто већу залиху сунчевог зрачења. Као резултат тога, стамбене зграде ће у будућности морати више да се расхладе током лета, а зими је потребно мање грејања простора. Укупно гледано, промењено снабдевање радијацијом доводи до већих приноса и благо повећане профитабилности *PV/T* пријемника у 2050. години у односу на данас. [16]

Међутим, као што показује студија *SPF-a SolSimCC*, други фактори су много важнији за профитабилност соларне топлотне енергије. Данас симулације и прорачуни често користе идеализовано понашање корисника на основу собне температуре од 21°C. Поред тога, идеализовано понашање вентилације и сенчења доводи до релативно ниске потражње за грејањем у прелазним месецима. Међутим, теренске студије су показале да то не одговара стварној измереној потражњи за топлотом. На пример, Швајцарци воле 23°C топле просторије, а нарочито у прелазним месецима више отварају прозоре и проветравају – свесно или несвесно – чак и више него што се раније мислило. Ако се користи реалније понашање корисника уместо идеализованих образаца понашања који су до сада коришћени, то резултира већом потражњом за грађевинским грејањем у транзиционим месецима, што заузврат повећава принос и профитабилност соларне топлотне просторне топлотне подршке. Још један одлучујући фактор за профитабилност *PV/T* пријемника је престанак коришћења фосилних горива. Соларна енергија је очигледно у предности, у смислу трошкова, осталих обновљивих извора. [16]

Тржиште *PV/T* пријемника је и даље врло мало у поређењу са тржиштима чистих фотонапонских или соларних термалних система, али у последњој деценији може се утврдити пораст броја комерцијално доступних производа. Повећано интересовање за *PV/T* вероватно је, барем донекле, вођено све већим интересовањем за енергетски ефикасне зграде широм света. По оштрени енергетски захтеви за зграде, попут циља Европске комисије да све нове зграде до 2020. буду „готово нулте енергетске зграде“, врше притисак на грађевинску индустрију да пронађе решења за производњу обновљивих извора енергије на лицу места. [17]

Истраживање тржишта објављено у *Task 35* 2007. године пронашло је десет произвођача комерцијалних *PV/T* производа и шест који су изашли са тржишта. Поред тога, студија је пронашла 25 концепата који су били у фази развоја. Недавна студија у пројекту *PVT-Norm* у Немачкој пронашла је 41 произвођача *PV/T* пријемника, што показује значајан пораст комерцијално доступних производа. Велика већина њих, око 80%, били су непокривени *PV/T* пријемници. [17]

Task 35 такође је објавио студију у којој су интервјуисане архитекте, инжењери, власници зграда и продавци соларне енергије у Канади, Немачкој, Данској, Шведској, Италији и Шпанији. Један закључак из анкете био је да су тржишта била специфична за поједину земљу и да су у великој мери зависила од састава постојећих тржишта *PV* и

соларне термалне енергије. Утврђено је да зрелост тржишта *PV/T* зависи углавном од тога у којој је мери *PV* био део претходног тржишта. [17]

Такође, утврђено је да је тип *PV/T* система који је доминирао на тржишту специфичан за поједину земљу. У Канади је утврђено да *Conserval Engineering* који производи транспириране соларне пријемнике и *PV/T* – ваздушне пријемнике доминира тржиштем са својим *SolarWall*-ом. Шведска традиционално има стабилно тржиште соларних термалних пријемника на бази течности, а испитаници су са скептицизмом оценили *PV/T* пријемнике засноване на ваздуху, иако је клима у Шведској и Канади релативно слична. Међутим, број *PV/T* пријемника инсталираних у Шведској до данас је веома мали.

Кина је убедљиво највеће тржиште соларне топлотне енергије на свету са 86% тржишта и 64% укупног инсталираног капацитета. Већина соларних термалних система у Кини су евакуисани цевни пријемници за загревање воде, док остакљени пријемници са равним плочама доминирају у остатку света. *PV/T* – ваздушни системи нису у фокусу истраживања и развоја у Кини, али већи интерес је дат за *PV/T* системе за загревање воде и са директном везом на топлотне пумпе. Очекује се да ће *PV/T* системи топле воде постати један од главних соларних система у зградама у Кини. [17]

Повољне владине политике и економски подстицаји вероватно су највећи покретачи свих врста соларних инсталација. Међутим, пошто *PV/T* пријемник испоручује и електричну и топлотну енергију, може доћи до забуне у вези са начином на који га треба класификовати. У различитим земљама се виде различити приступи. У Великој Британији, власници *PV/T* пријемника имају право да добију повратне тарифе од извоза електричне енергије, али нису подобни за економску подршку путем подстицаја за обновљиву топлотну енергију (*RHI*). Као још један пример у Норвешкој, *PV/T* системи могу добити средства као *PV* пријемници, али нису доступни подстицаји за *PV* модуле. [17]

Као што је горе поменуто, такође недостаје одговарајућа терминологија за описивање *PV/T* пријемника, што такође може утицати на подстицаје. Хибридни *PV/T* пријемник не испуњава услове за финансирање у оквиру Немачког програма подстицаја за соларне пријемнике, који искључује непокривене пријемнике за базене. Међутим, опис у програму је потом ажуриран на „панеле без прозирног поклопца на предњој плочи“, што значи да би непокривени *PV/T* пријемници сада могли да испуњавају услове.

Однос између стандарда и иновација и ефекта на развој тржишта анализирали су Крамер и Хелмерс. Сматрају да недостатак стандарда и сертификата представља снажну препреку развоју тржишта. То доводи до недостатка техничких информација о производима, ограничења у владиним подстицајима и несигурности међу потрошачима. Стога се може очекивати да ће недавни развој у сертификацијама посебно за хибридне *PV/T* пријемнике, као што је *Solar Keimark*, имати позитиван утицај на тржиште. [17]

6. ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА ХИБРИДНИХ СОЛАРНИХ ПРИЈЕМНИКА У ЗГРАДАРСТВУ

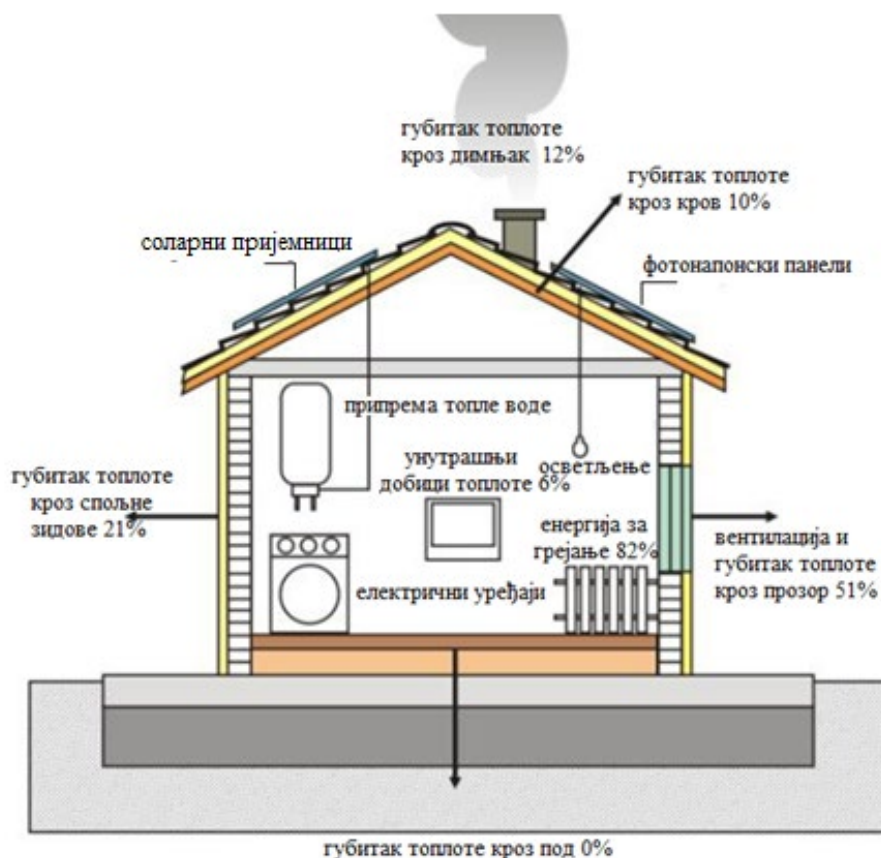
6.1. Енергетска ефикасност и значај примене соларне енергије у зградарству

Енергетске, еколошке и економске кризе последњих деценија прошлог века имају значајан утицај на урбанизам, грађевинарство и архитектуру. У погледу вишеструког повећања цена енергије и јачања еколошког покрета, архитектура је одговорила проучавањем традиционално познатих метода градње у складу са природом и традицијом и анализирала могућности коришћења обновљивих извора енергије. Тимови истраживача проучавају постојеће објекте како би открили: како објекат прима енергију, како се могу смањити губици енергије у новим објектима, шта се може учинити да се смање губици енергије у постојећим зградама. Резултати су показали могућности смањења потрошње енергије у зградама и у раној фази су ти резултати утицали на пројектовање енергетски ефикасних зграда, енергетски ефикасних зграда које штеде енергију, смањују емисију CO₂, што је веома важно за очување животне средине. [18]

Модерна архитектура треба да размотри све мере које доприносе повећању енергетске ефикасности, коришћењу обновљиве енергије, даљинском грејању и хлађењу, смањењу употребе фосилних горива и загађењу животне средине. Зграде су значајан потрошач енергије. Статистике показују да у развијеним земљама зграде троше око 40% укупне енергије, а самим тим одговорне су за 40% емисије стакленичких гасова у атмосферу. Укупне годишње потребе за енергијом у зградама једнаке су потребама за енергијом за грејање и потрошну топлу воду, хлађење, вентилацију и климатизацију, осветљење и системе за подршку раду. Може се рећи да укупне енергетске потребе зграда зависе од следећих енергетских система:

- 1) омотач зграде (зидови, под, плафон, кров, прозори, врата и припадајућа топлотна заштита);
- 2) систем грејања;
- 3) системи вентилације и/или климатизације;
- 4) системи за топлу воду;
- 5) систем електричног осветљења. [19][20]

Од укупне годишње испоручене енергије у зградама, око 60% се троши на грејање у згради. Због тога је важно дизајнирати објекат који ће имати мање губитке топлоте. Правилним пројектовањем и изградњом објеката, губици топлоте у кући могу се значајно смањити, а биће и мања потреба за надокнадом изгубљене енергије и финансијски и енергетски захтеви за додатном топлотом.



Слика 6.1. Технички системи у згради који одређују потрошњу енергије у згради [20]

Све обухватне енергетски ефикасне, еколошки позитивне и економски прихватљиве мере усмерене на стварање услова за систематску рехабилитацију и реконструкцију постојећих зграда и повећање потребне термичке заштите за нове зграде. Просечна стара кућа троши $200 - 300 \text{ kWh/m}^2$ енергије за грејање, стандардно изоловане куће троше око 100 kWh/m^2 , модерне нискоенергетске куће троше око 40 kWh/m^2 , пасивна кућа 15 kWh/m^2 или мање. Енергија која се данас троши у просечном дому у Србији може да загреје 3 – 4 нискоенергетске куће или чак 8 – 10 пасивних кућа. [20]

Поред смањења потрошње енергије побољшаном енергетском ефикасношћу у свим областима, данас би требало развити независнији, виталнији и отпорнији енергетски систем у којем ће обновљива енергија играти важну улогу у задовољавању енергетских потреба. У том смислу треба промовисати употребу обновљиве енергије, попут соларне енергије (активни и пасивни системи), енергије ветра, енергије биомасе, геотермалне енергије, хидроенергије и употребе „отпадне“ топлоте.

Енергетски ефикасне зграде имају малу потрошњу енергије за грејање, хлађење, потрошну топлу воду, вентилацију и осветљење.

Просечни станови у Србији су класе енергетске ефикасности F и G , што указује да се овом питању у Србији поклања мало пажње. Концепт нискоенергетских и пасивних кућа веома је популаран у ЕУ, а такође га финансијски подржавају владе и у Србији постоје пилот пројекти. [20]

Потрошњу енергије у зградама треба свести на минимум како не би дошло до кршења услова комфора, што значи да је неопходно током целе године одржавати топлотне параметре унутрашњег окружења, квалитет ваздуха, потребан ниво осветљености, довољну количину топле воде. [20]

Осавремењивањем састава грејања и припреме топле воде и замене електричне енергије природним плином, укапљеним нафтним плином или евентуално биомасом, отворио би се велики потенцијал за смањење потрошње електричне енергије. Енергију пре свега треба штедети због све опште енергетске кризе коју описују два процеса:

- 1) велико повећање потрошње,
- 2) успореније проналажење нових енергетских извора.

Раскорак се сваким даном продубљује и тај јаз има глобалне размере. Количина расположиве енергије је још увек ограничена и зато је треба штедети. У ствари, треба је штедљиво трошити. Некада доминантни облици механичке енергије данас су замењени ефикаснијим, а пре свега електричном енергијом. [21][22]

Електрична енергија је кључни енергетски облик и извор од којег зависи највећи део људских активности у производњи, саобраћају, становању, забави, и слично. Читав свет, а то значи и сви људи, морају схватити да је најсигурнији пут за обезбеђење електричне енергије – штедња. Штедња је увек рационалан приступ у трошењу било ког ресурса, без обзира на његову издашност. Штедња и уштеде су вид изабраног понашања у стању када то није изнуђено. О штедњи се не може говорити у стању кад неког ресурса, из било ког разлога, понестане, или га није ни било. Тад се у ствари ради о несташици, сиромаштву, док је штедња рационалан облик избегавања, ако не свих нежељених стања, онда свакако несташице. Подручје рационалне употребе енергије је свакако најбоље подручје на коме се може испољити култура штедње сваког појединца и његове примарне заједнице – породице и домаћинства. [21][22]

Примена обновљивих извора енергије заузима важно место у биоекономији развијених земаља. У циљу регулисања употребе обновљивих извора енергије, у Европској унији донете су бројне регулативе које се баве изазовима успостављања биоекономије.

Људи су, још од древних времена, користили топлоту Сунца за загревање појединачних објеката, с обзиром на то да старе културе нису располагале нити познавале електричну енергију, нису ни тежиле претварању Сунчеве енергије у електричну, већ су је користили за задовољавање основних потреба човека – у топлој води и за грејање домова зими. Како би створио ваљане животне услове, човек је морао да правилно оријентише место боравка према Сунцу. Протеклих деценија развијене су технологије којима се енергија Сунца трансформише у електричну или топлотну енергију, и те технологије се данас користе, са значајно више ангажовања у укупној производњи корисне енергије. У овом тренутку, мали проценат електричне енергије се производи коришћењем соларне енергије, премда је инсталисани капацитет фотонапонских електрана направио скок са мање од 1000 MW у 2000. години на преко 70000 MW у 2012. години, према подацима Европског удружења фотонапонске индустрије. [23]

Коришћење соларне енергије само је једна од области употребе обновљивих извора енергије. Самим тим, коришћење соларне енергије одраз је и део светског, глобалног процеса, важног на пољу заштите и очувања животне средине. Овај процес има како хуману тако и комерцијалну сврху, самим тим што је део и један од алата технолошке револуције, али је и одраз појачаних напора за унапређење енергетске ефикасности и примени концепта одрживог развоја, на глобалном нивоу.

У даљем тексту биће приказано како све наведено остварити применом обновљивих извора енергије, нарочито соларне енергије, кроз примену хибридних соларних пријемника односно њихову имплементацију у зградарству.

6.2. Пројектовање интегрисаних фотонапонских топлотних система у зградарству

Интегрисани фотонапонски топлотни системи или *BIPV/T* (енг. *Building Integrated Photovoltaic Thermal Systems*) представљају технологију која обећава, а у служби одрживе изградње, при чему се омотач грађевине користи за производњу електричне енергије уз помоћ фотонапонских (*FN*) ћелија (соларних ћелија), као и за коришћење топлотне енергије која се генерише из система за друге домаће примене, истовремено смањујући укупну потрошњу енергије у стамбеним објектима. Другим речима, ова технологија је примена хибридног соларног пријемника. [24]

Иако су *BIPV/T* системи новији концепт, идеја коришћења соларне енергије родила се још 70-их година 20-ог века. Током 90-их година се све више радило на томе, да би 2000-те године порасло интересовање за исте због њиховог потенцијала и улоге соларних система у примени истих као грађевинских материјала, у изградњи енергетски ефикасних стамбених објеката. [24]

BIPV/T системи први пут су примењени у Северној Каролини у Сједињеним Америчким Државама, а соларни панели монтирани су на крову ресторана за обезбеђење напајања електричном енергијом и топлим водом, и у *Aerni Fenster* фабрици у Швајцарској, где су први пут у Европи коришћени фасадни *BIPV/T* системи. Поврх тога, иако се много говорило о технологији соларне енергије, као и категоријама *FN* система, о самој технологији и специфичној употреби *BIPV/T* система, посебно фасадних, има јако мало стручних радова на ову тему, те о конфигурацији истих и начину имплементације у грађевинском омотачу (стамбеног објекта), потешкоћама при уградњи и сл. [24]

Што се имплементације интегрисаних фотонапонских топлотних система тиче неопходно их је интегрисати са зградом, тако да се они трансформишу у свесну технику пројектовања, која се примењује са одабраном опремом и системима, са циљем да се уклопи са зградом, у сваком смислу. Поред тога, трошкови се морају пратити током животног циклуса ћелија да би се утврдили укупни трошкови, који се могу смањити избегавањем трошкова, која се односе на за грађевински материјал, или смањити трошкове везане за радну снагу. [24]

Фазе пројектовања интегрисаних соларних ћелија са зградом укључују: [25]

- 1) Примену енергетски ефикасног дизајна или мере енергетске ефикасности, како би се минимизирали захтеви зграде за енергијом.
- 2) Одабир интерактивног система соларних ћелија са зградом, или независни систем соларних ћелија.
- 3) Обезбеђивање адекватне вентилације, јер ефикасност рефлексије ћелија се смањује са растом радне температуре.
- 4) Процена коришћења хибридног система соларних ћелија, као избора за побољшање ефикасности система.
- 5) Проучавање процеса интеграције дневне светлости и соларни склоп користећи полупрозрачни полупроводни модел или кристални модел са размакнутим ћелијама између два стаклена слоја. Дизајнери могу користити ћелије за конфигурисање јединствених дневних осветљења са фасадом, кровом и системима соларне целије у кровним прозорима, такође, уз помоћ овог система они могу помоћи у смањењу непожељног хлађења, или грејања.
- 6) Интегрисати ћелијске моделе у уређајима за сенчење, поред тога, ћелијски редови, се називају стаклене видне зоне зграде, које могу пружити одговарајуће негативне сунчане нијансе.
- 7) Упутити дизајнере на утицаје климе и околине, у производњи енергије.
- 8) Осврнути се на тему планирања локације и смерница, на почетку фазе пројектовања.
- 9) Коришћење ћелијских система је релативно ново, и важно је бити сигуран да су они који раде у пројектима добро обучени кадар, и да имају искуства са радом са соларним ћелијама и њиховим уређајима.

6.2.1. Разматрања приликом дизајнирања кућишта хибридних соларних пријемника

Равнотежа између процеса пројектовања и инсталирања хибридног соларног система, ће се знатно разликовати у зависности од околности сваког пројекта, што захтева да се води рачуна о бројним дизајнерским разматрањима, приликом дизајнирања соларних пријемника, и то: [25][26]

- 1) Соларна разматрања – максимизација перформансе соларних пријемника склопова зидова зграде, као и на врху зграде, како би се прилагодили идеалним правцима сунца, соларни пријемници могу да обезбеде огромни енергетски потенцијал. Коси соларни склопови (*Solar Inclinations*) инсталирани као отвори на прозорима, или као оквир за горње отворе ће засенчити унутрашње шупљине од директне сунчеве светлости, док ће истовремено сакупљати енергију добијену од сунцеве светлости, а то значи да се може смањити, или елиминисати потреба за електричним осветљењем током дана путем снабдевања, са индиректним дневним светлом.

- 2) Разматрање дизајна – презентација и приказивање, естетика, економија, инжењерски аспекти и развој производа.
- 3) Разматрање локације – високоградња се често ствара у урбаним срединама где су цене некретнина високе, а околина густа, а сене високих зграда смањују ефикасност соларних пријемника, због тога се, само горњи спратови могу прекрити соларним ћелијама, за разлику од објекта који повећавају простор између њих, што хибридни соларни системи могу у потпуности искористити.
- 4) Разматрање окружења – локација и клима, изолација, вода, оптерећења ветром, ледом и земљотресима.
- 5) Структурна разматрања – за нове и старе конструкције, начин инсталације је важан за економичност система, на пример, уградња стакла из унутрашњости, не захтева монтажне конструкције спољне скеле, а уградња унутрашњег стакла, представља уобичајен метод савремених завеса у уградњи зидова, који се примењује кроз поделу спољних елемената, на одвојене делове.
- 6) Механичка и електрична разматрања - вентилација зграде, електрична питања.
- 7) Разматрање одржавања – чишћење, ремонт.
- 8) Разматрање животне средине – процена искоришћености соларних ћелија у животној средини није ограничена на обиму њиховог смањења за потрошњу традиционалне електричне енергије, али овде су укључени и други фактори, који, укључују поново употребу, и проблем који се односи на загађење.

Хибридни соларни пријемници се уграђују и интегришу у зграду помоћу два дела који се налазе у њиховом саставу, преко којих се приказују формирање ћелија на крову зграде, исто тако се приказују на плафону и на фасади. Постоје бројни начини за њихову на крововима и фасадама, било на равне или косе кровове, или фасаде свих врста. Начин уградње код сваког типа крова и фасада се разликује у зависности од угла инсталације и конструкције, од једносмерних затворених до отворених слојева и двосмерних отворених слојева код равних кровова. Што се тиче начина уградње хибридних соларних пријемника, код косих кровова су подељене на ћелије монтиране „крова од црепа“, и на широко распрострањене кровове, а постоје затворене и отворене фасаде. [25]

6.2.2. Предности имплементације хибридних соларних пријемника у зградарству

Постоји низ карактеристика и предности овог система и то: [27]

- 1) Ови системи раде са високом ефикасношћу и неограниченим капацитетом.
- 2) Ови системи имају разне архитектонске предности, било да се ради о конфигурацији или конструкцији, или у домену иновације и креативности у изградњи, што омогућава искоришћавање ових система, за одређене самосталне уређаје, без инсталирања интегрисане мреже у згради.

- 3) Смањују трошкове струје.
- 4) Смањују употребу горива и штетних емисија по озонски омотач.
- 5) Традиционални материјали за изградњу се могу заменити системима соларних ћелија, као што су стакло и друго.
- 6) Када се повећава количина произведене електричне енергије може се вратити у мрежу и поново користити.
- 7) На крају, овај начин имплементације хибридних соларних пријемника повећава вредност зграде.

6.3. Положај и методе имплементације хибридних соларних пријемника у зградарству

Овај део се бави односом хибридних соларних пријемника као техничког система са спољном конструкцијом зграде и то као спољни завршни материјал, јер интегрисани дизајн зграде почиње када се размишља о пројектовању зграде као целине – зграде, као интегрисани систем. У суштини то значи, да се не треба одвојено бавити дизајном различитих елемената, укључујући и спољне завршне материјале. Поред тога, зграде садрже вишеструке и разноврсне системе, који су међусобно повезани у односима који се разликују по степену преклапања и њиховој компатибилности, на основу типа система и његове локације у згради.

Интеграциони однос соларних система и архитектонског облика, је под утицајем следећих фактора: [28]

- 1) Инсталационе локације соларних система.
- 2) Формални нивои интеграције између соларних и архитектонских система.
- 3) Функционална разноликост соларних система, као спољних завршних материјала у архитектонском облику.

Локација и простор соларних система који се користе у зградама зависи од облика и оријентације зграде, а пожељно је да кровови нису освенчени. Постоје пет главних локација, у згради, који се могу интегрисати са соларним системима: [29]

- 1) Хоризонтални кровови,
- 2) Коси кровови,
- 3) Закривљени кровови,
- 4) Фасаде зграда,
- 5) Грађевински детаљи.

Концепт *BIPV/T* система је од двоструке важности у грађевинарству. Прво, битни су у архитектонском смислу, њиховом применом замењују се конвенционалне грађевинске компоненте, било делимично или у потпуности, а онда и због њихових механичких

својстава и функционалности, због чега се све више користе као део енергетског система стамбеног објекта. Интегрисање FN топлотних система на стамбени објекат (омотач зграде) није једноставно и пре уградње захтева одговарајућу анализу и адекватно пројектовање. Технологија уградње соларних топлотних система у омотач стамбеног објекта односи се најчешће на побољшање омотача додавањем соларних панела, уградњом истих на кров или фасаду зграде. Фасадне апликације као што су вертикални, коси или степенести завесе зидови обично су додатак фасади грађевине, док су примери кровне примене углавном коси кровови или кровни светларници. [24]

Интегрисани фасадни системи обезбеђују енергију, у којој мери зависи од потреба зграде и функције која се жели побољшати (грејање, хлађење, вентилација). Такође је битно који материјали ће се користити за потискивање односно ширење топлоте, јер то у великој мери утиче на дизајн самог система, као и на место и сврху примене. Ипак, већином се примењују системи на бази ваздуха због потешкоћа одржавања система на бази течности. [24]

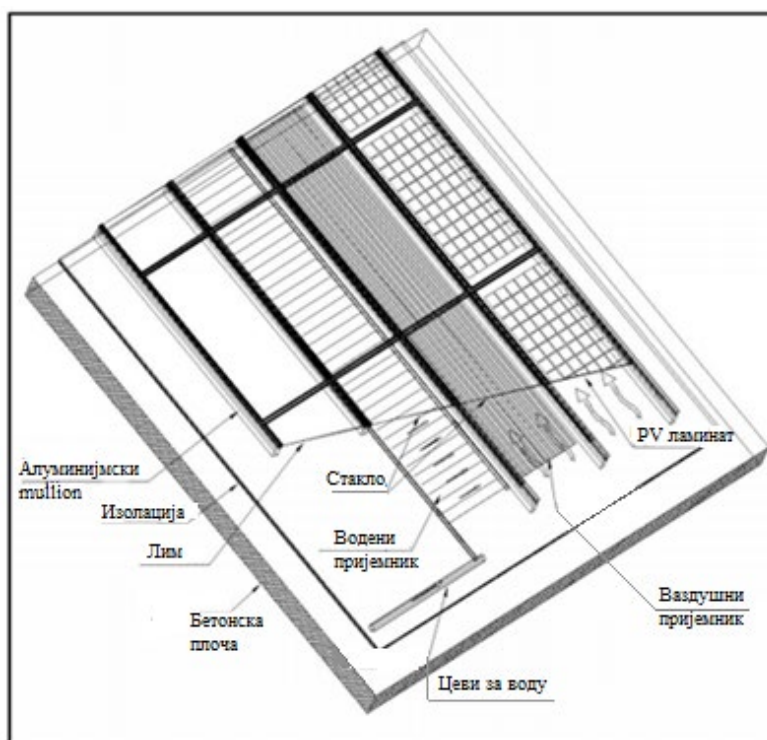
Додатно, применом $BIPV/T$ система делимично се прекрива омотач грађевине, што утиче на ефикасност исте. Због додавања нових слојева материјала на омотач грађевине U – фактор истог (енергетска ефикасност) се мења (смањује), посебно ако је прекривеност омотача већа (много слојева). Стога трансфер топлоте између унутрашњег простора и спољашње средине се мења, те утиче на распоређивање топлотног фронта објекта. Шта више, употреба конвенционалних непрозирних (црних) соларних панела спречава да сунчево зрачење допре до изолационог омотача грађевине, делујући као расхладни омотач исте. Са делимично прозирним соларним панелима ова појава је реткост, али утиче на светлосну пропустљивост, те на пасивно осветљавање грађевине. При примени технологије соларне енергије, и одабиру $BIPV/T$ система, треба имати у виду све ове параметре. Међутим, недавне студије и анализа примене за фокус имају само ефикасност система, занемарујући ефекте које систем изазива на саме перформансе грађевине (зграде). У наставку су наведени примери реалних примена кровних и фасадних система. [24]

6.3.1. Кровна имплементација хибридног соларног пријемника

Кровови се састоје од горњих делова грађевине и представљају највише делове исте, и већина су хоризонталног типа и равни, или коси. Шта више, $BIPV/T$ системи углавном се примењују на косим крововима због повећања фотонапонске ефикасности система и бољег прикупљања енергије. Систем је сличан фасадним системима и исто се дели на системе ваздушне и водене системе. [29]

Систем TIS (Интегрисани соларни кров) настао је као резултат експерименталног и теоријског истраживачког рада, спроведеног у *Politecnico di Milano*, на развоју соларних система као комерцијалних грађевинских компонената. У ствари, 2000. године, *SeccoSistemi Spa*, компанија за производњу соларне енергије, под координацијом *Politecnico di Milano*, развила је модуларни систем омотача зграда, у

који је могуће увести различите врсте соларних пријемника, првенствено хибридних PV/T пријемника, T пријемника на ваздух и T пријемника на воду. Могу се користити различите типологије и величине према избору и захтевима, а све заједно могу у потпуности заменити фасаду/кров зграде. Разне компоненте основног TIS система приказане су на слици 6.3.1.1. [30]



Слика 6.3.1.1. Систем TIS [30]

Пример кровне апликације за истовремено топао ваздух и воду развили су *Assoa* и сарадници, где је хибридни соларни систем опремљен пријемницима за истовремено два флуида, а који се уграђују на ребрасту структуру и постижу 80% топлотне ефикасности. 2013. године представљен је још један дизајн система за топао ваздух и воду истовремено. Ради се о незастакљеном (неглазираном) топлотном систему предвиђеном за генерисање високих излазних температура при стабилном протоку воде и одговарајућој брзини протока ваздуха, а који би се могао користити и у друге сврхе као за рецимо пољопривредно исушивање, загревање свежег ваздуха, или врело водно грејање у домаћинствима. Експериментални рад на пријемнику за воду система на крову истражује утицај повратне топлоте на ефикасност система напајања сунчевом енергијом, и процењује успешност система као соларног пријемника за воду. [24]

Corbin, Zhai, Yin и сарадници су проучавали сложени кровни систем на бази воде са пријемником унутар стамбене просторије (сунчана просторија). На овај начин главни део система интегрисан је са кровном површином што доприноси додатној заштити кровне конструкције од продирања воде, а истовремено служи и као структурни елемент. [24]

Хоризонтални кровови у зградама изложени су сунчевом зрачењу лети, више од вертикалних зидова зграде. Често, интегрисани хибридни соларни пријемници са хоризонталном површином нису видљиви у спољном облику, али њиховим утицајем могу да се осунчавају унутрашње просторије, када се користе полу прозирни соларни панели у простору крова, или у назубљеној површини. Хоризонталне површине могу да пружају добру могућност да се обезбеди простор потребан за инсталацију соларних система. [29]



Слика 6.3.1.2. Кровна имплементација хибридног соларног пријемника [29]

Постоје различити начини за интеграцију соларних модула са косим крововима.

Додавање соларних модула на косу површину у облику јединица, који замењују материјал који покривају кров. Соларни модули који се користе у овом типу, имају исте карактеристике конвенционалних завршних материјала у погледу отпорност на временске услове, звучну изолацију и водоотпорност поред производње енергије, а задњи део соларних модула је окренут према унутрашњем делу зграде, што у суштини представља унутрашњи део крова у том простору, због тога, је неопходно водити рачуна о изгледу делова, који покривају унутрашњи простор. Ови панели су лагани и могу бити типа полупрозрачне ћелије, које дозвољавају продор природног светла до просторије, а могу бити и непрозирни-затамњени. Соларни модули понекад захтевају инсталирање вентилационих уређаја на унутрашњем делу крова, ради смањења температуре околине, због тога се, поједине методе интеграција са соларним системима заснивају на начин, да се та температура искористи у хладном периоду. [29]

Пре додавања јединица, додају се сегменти гвожђа или алуминијума, да би се формирала мрежа на којој ће се инсталирати, а електрични прикључци су скривени унутар носача конструкцијских секција. Коси соларни панели су подељени у две врсте у зависности од методе градње, кров је или изграђен на локацији па затим су на њега инсталирани соларни модули, или је кров инсталиран претходно са соларним модулима. [29]

Коришћење соларних система као модула за спољну завршну обраду крова зграде, је у

складу са стратегијом смањења трошкова за енергетски ефикасне зграде, како је приказано на слици 6.3.1.3.



Слика 6.3.1.3. Соларни систем као модул за спољну завршну обраду крова зграде [29]

Инсталирање соларних јединица на косим крововима изнад спољних завршних материјала подразумева да се затамњени соларни модули инсталирају на завршним материјалима који уједно представљају кров унутарњег простора, и на тај начин он представља основу на којој се ослањају јединице. [29]

Постоје два начина интеграције, први начин је директно монтирање соларних модула на панеле, а други начин је остављање растојања између кровних панела и соларних модула, а то се постиже постављањем соларних модула, у оквиру од алуминијума или гвожђа. Други начин обезбеђује вентилацију соларних модула са дна, јер монокристализоване соларне ћелије раде ефикасније када је вентилација доступна, тако да је пожељно одвојити их од крова, како би побољшали своје перформансе, слика 6.3.1.4. [29]



Слика 6.3.1.4. Соларне ћелије као алтернатива традиционалним завршним материјалима у косим ојачаним модулима [29]

6.3.2. Фасадна имплементација хибридног соларног пријемника

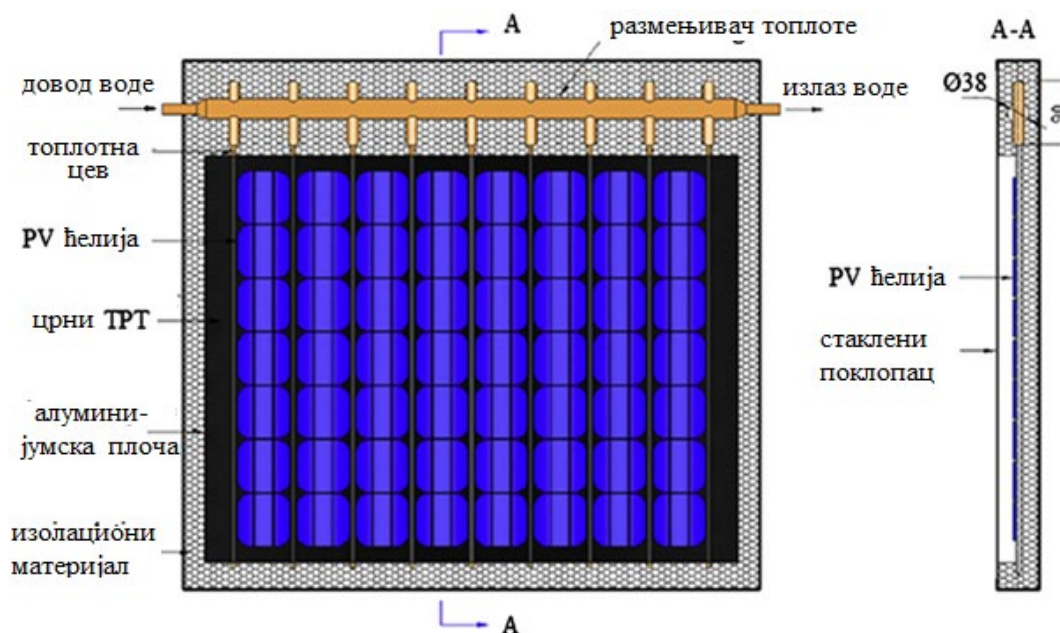
У овом случају, интегрисани хибридни соларни панели инсталирани на фасадама зграда су видљивији од других типова интеграција, док се велике површине ових фасада могу искористити у производњу електричне енергије, када су усмерени на прави начин. [29]

Фасаде су понекад изложене засенчењу дуже него што су остале површине изложене, па се процес и користи од инсталираног система, а зависи од количине расположивог простора фасада зграде усмерене ка различитим смеровима, и количини добијеног сунчевог зрачења, у оквиру регионалне климе.

Соларни модули могу заменити спољне завршне материјале који се користе у фасадама и да се интегришу са њима, због тога, међу битним спецификацијама соларних јединица које се користе у фасадама су општи изглед, који мора бити естетски прихватљиви. Поред тога, јединице које се користе на фасадама треба да буду отпорне на високу температуру, чврсте са високом издржљивости ради заштите од евентуалног оштећења, и у оквирене јединице предност се да је лаганим материјалима, направљеним од издржљивог материјала. [29]

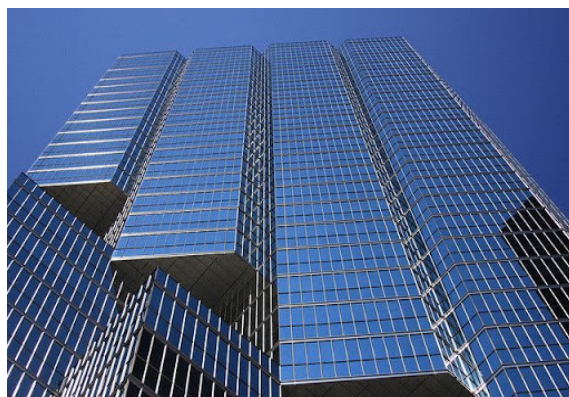
Опције фасадних *PV* топлотних система углавном су додатне промене на грађевини, и имају функцију спољашњег слоја топлотних омотача грађевине (зграде). Иако је тешко повезати фасадне системе са постојећим системима грађевине (кућне инсталације), свеједно се уграђују, од система на ваздух, система на воду до система на материјале са променом фазе. У вези са тим спроведена је важна теоријска студија, а на тему коришћења воде као радне течности у *PV* системима, а аутор студије су *Chow* и сарадници. *Ji* и сарадници су успели да израде и примене зидни водени *PV* топлотни систем. Ова студија говори о применама и перформансама система *PV* испаривача у комбинацији са топлотном пумпом у стварним условима, а закључено је да је овај систем у великој мери побољшава коефицијент учинка топлотне пумпе. На слици 6.3.2.1. приказан је дизајн фасадног *BIPV/T* система за производњу електричне енергије и топле воде. Спирални апсорбер протока монтиран иза панела апсорбује топлоту и загрева воду. [24]

Водени *PV* топлотни системи се уграђују или сами, као систем облога, или у комбинацији са Тромбеовим зидом.



Слика 6.3.2.1 Шема типичног цевног топлотног PV/T система [24]

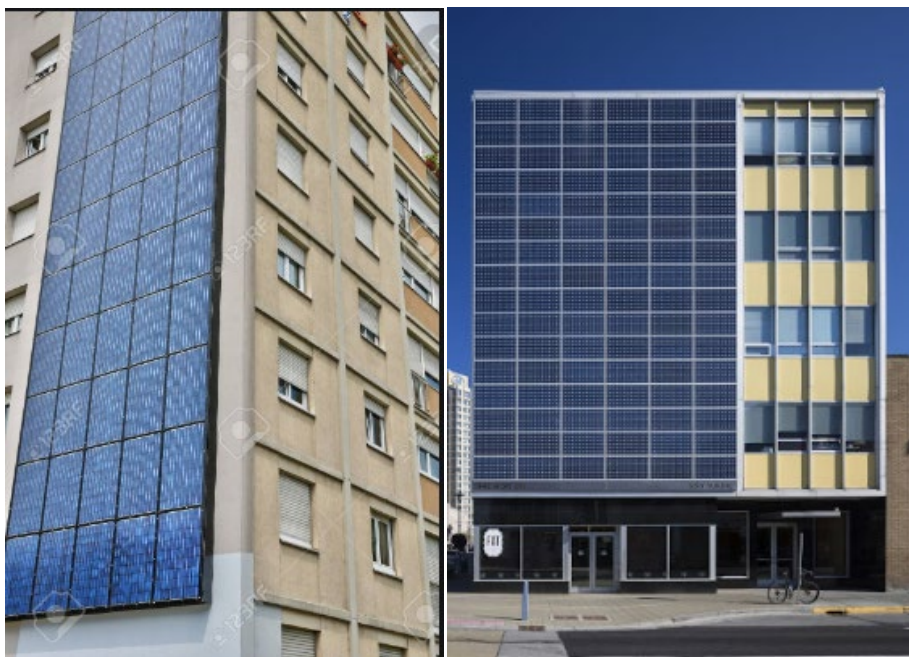
Зидне завесе су интегрисане фасаде са соларним модулима и обично су подвргнути вентилацији, погодне су за интегрисана дизајнерска решења са монокристалним силиконским соларним модулима, конструкције се могу извршити помоћу високо развијених система паковања и могу се уградити у различите типове панела, као што су соларни застаклени модули, или оквирни соларни модули. У ту сврху користе се и везни материјали (пуњење), између простора за затварање празнина, а зидне завесе могу бити прозирне или затамњене, слика 6.3.2.2. [29]



Слика 6.3.2.2. Соларне зидне завесе [26]

Вертикални зидови са спољном соларном облогом су опције где соларни панели покривају целу или део фасаде зграде, а понекад се инсталирају на начин да изгледају као други слој уграђен преко унутрашњег првог слоја, који садржи изолациони материјал, и овде се води рачуна да коришћени материјал мора бити хидроизолациони, за спречавање кондензације. Овај слој треба да буде затворен и ваздушни простори у њему треба да буде затворен, а фасаде које нису изложене вентилацији, зависе од типова целија које могу да издрже високе температуре у том окружењу, као што су аморфнисиликон и поликристални силикон. То је један од начина облагања фасада

постављањем алуминијумске секције на фасаду на којој се ослања соларни модул, а понекад се секције унапред инсталирају на модуле, и у овом случају соларне јединице су изложене вентилацији као на слици 6.3.2.3. [29]



Слика 6.3.2.3. Вертикални зидови као слој изнад унутрашњег слоја [26]

Криви (нагибни) зид је завесни зид који је додат, или је зид самог објекта нагнут, а соларне јединице су фиксиране на зиду, као спољна облога. Примена ове врсте, представља један од најпрактичнијих решења за постизање највеће могуће површине, и оно утиче на облик унутрашњег простора, слика 6.3.2.4.

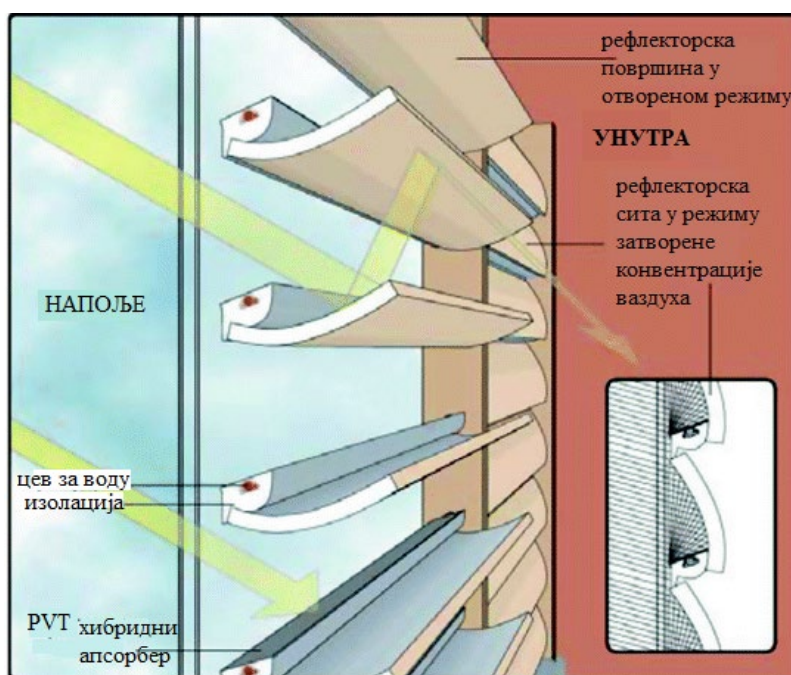


Слика 6.3.2.4. Фасаде са кривим зидовима [26]

У новијим приступима, соларни зидови су представљени као потпорни део активног система или других система обновљиве енергије зграде интегрисаних у хибридни система зграде. То је зато што соларни зид, будући да његов рад углавном зависи од климатских услова, не могу бити аутономни системи. Због тога не могу да замене механички систем климатизације, али могу пресудно да смање њихову употребу. [29]

6.3.3. Други облици имплементације соларних пријемника у зградарству

Колектор за хлађење *BIPV/T* система дизајнирали су *Chemisana* и сарадници 2013. године, са идејом да се смањи претерано загревање тропратне зграде у Барселони током лета. Предложен дизајн користи Фреснелове рефлекторе, чија је улога да спречавају директно сунчево зрачење и контролишу осветљавање зграде. Пројектом је предвиђена покривеност од 540 m² што је 39% укупне потребе за хлађењем зграде. Године 2010. *Davidsson* је са својим сарадницима развио иновативни и сложен систем интегрисан у прозорска окна, са различитим применама. Систем се користи за застакљивање, као генератор електричне енергије и за загревање воде, и за замрачивање простора (попут ролетни). Предлог дизајна овог система приказан је на слици 6.3.3.1. [20]



Слика 6.3.3.1 Шематски приказ *BIPV/T* система за концентрисање енергије [20]

Хоризонтални рефлектори су покретни и када је систем у вертикалном положају служе за замрачивање зарад хлађења, или када је у хоризонталном положају као рефлектори сунчеве топлоте која се користи за загревање. Резултат истраживања показује да 40% укупне произведене електричне енергије је од дифузног зрачења, а да систем на годишњем нивоу смањује помоћну енергију за 600 kW. Штавише, кроз предњи део рефлектујућег дела пролазе топлотне цеви за грејање воде (слика 6.3.3.1). [24]



Слика 6.3.3.2. Колектор за хлађење BIPV/T система [26]

Athienitis и сарадници су 2011. године урадили студију за потребе пословне зграде, и представили прототип по систему отворене петље у природној величини, и веома ефикасан нестакљени транспирајући пријемник (*UTC*). Као што се може видети на слици 6.3.3.2., систем чине тамне порозне облоге кроз које се усисава природни ваздух и загрева уз помоћ апсорбованог сунчевог зрачења, и тамни алуминијумски оквир за максимално прикупљање топлоте, али и због естетике. [24]



Слика 6.3.3.3. Шематски приказ и фотографија BIPV/T са интегрисаним UTC-ом [24]

Такође, соларни капацитет *UTC*-а заснива се на потребама зграде за вентилацијом и електричном енергијом, у овом случају не предлаже се примена фасадног система, већ спајање са зидом објекта стварајући систем за вентилацију којим би се загрејани ваздух распоређивао кроз зграду. Иако је у поређењу са стандардним *PV* системом овај иновативни систем нешто мање ефикасан, овај концепт је ипак примењен као додатак фасади зграде Пословне школе *John Molson* Универзитета Конкордија Монтреал у Канади, и обезбеђује од 24.5 kW до 75 kW подједнако и електричну и топлотну енергију. [17]

Као што смо до сада могли да видимо, постоји неколико врста PV/T пријемника, и да се, генерално, може разликовати PV/T пријемници са течним медијем за пренос топлоте (PV/T – течност), PV/T пријемнике са ваздухом као средством за пренос топлоте (PV/T – ваздух) и концентрисани PV/T пријемници. Поред тога, пријемници се могу израђивати помоћу PV технологија као што је кристални танкослојни PV и различитих соларних термалних технологија. [17]

За PV/T модуле са равним плочама (са течностима или ваздухом као медијумом за пренос топлоте) разликује се покривени и непокривени пријемник (који се понекад називају застакљени и неглазирани). Номенклатура је у овом случају донекле збуњујућа, јер су обе врсте заправо прекривене заштитним стакленим лимом попут оног који се користи за PV модуле. Покривени или застакљени PV/T пријемници имају додатни прозирни поклопац на удаљености од површине апсорбера за топлотну изолацију.

Као што смо могли да видимо, основна идеја PV/T пријемника је да искористе отпадну топлоту из соларних ћелија, али постоји и дилема: излаз соларних ћелија је највећи када су модули хладни, док би температура требала бити висока како би се максимализовала топлотна снага. Висока температура, такође, може оштетити материјале у PV модулу, што доводи до нпр. деламинација. Излазна топлотна снага плочастих пријемника PV/T – течности нижа је од топлотне снаге чистих соларних пријемника, посебно за неглазиране PV/T пријемнике где су губици топлоте у околини велики. Дизајн и интеграција PV/T у остатак енергетског система зграде је стога од велике важности како би се постигла добра ефикасност. До сада су покривени PV/T пријемници релативно ретки на тржишту. [17]

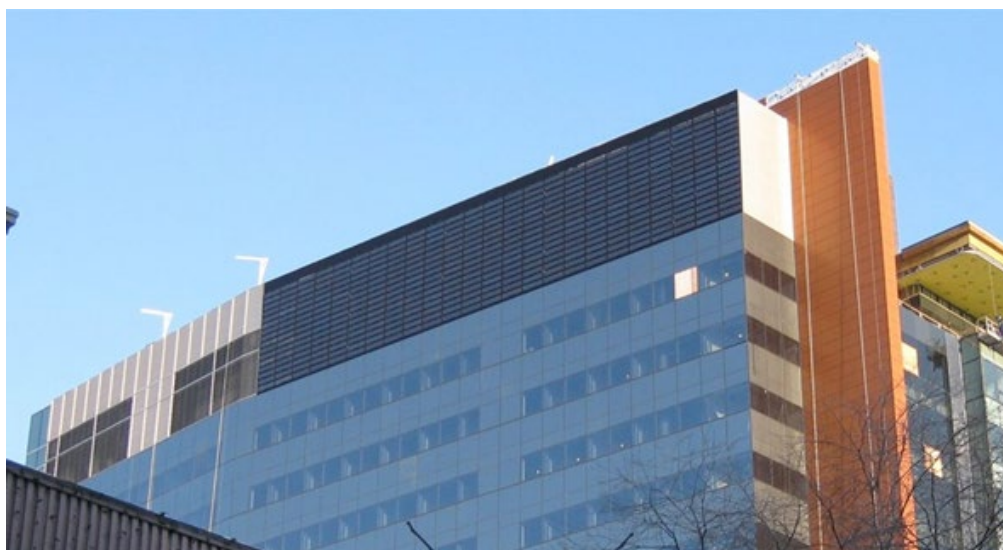
Сумирајући сва анализирана истраживања импликације хибридних PV/T пријемника у здрадарству, долази се до закључка да су PV/T пријемници „на ваздух“ популарнији од PV/T пријемника на бази воде. Преглед пројеката које је 2007. године објавио *Task 35* наводи око 20 пројеката код којих су хибридни PV/T пријемници развијени као део енергетског система. PV/T пријемници засновани на ваздуху били су најчешћи тип у овим пројектима, а само два PV/T пријемника користили су течни медијум за пренос топлоте. [17]

Један од разлога за релативно богатство пројеката заснованих на ваздуху може бити тај што је то прилично једноставан корак према импликацији хибридних PV/T пријемника. Ваздушни размак се обично налази иза инсталација PV пријемника како би се осигурало правилно проветравање и хлађење модула. Активна употреба овог загрејаног ваздуха у тако вентилираном PV систему претвара га у PV/T систем. Један од раних примера овог типа је библиотека *Mataro* у Шпанији, која има вентилисану PV фасаду од 20 kW са соларним пријемницима на бази ваздуха за предгревање вентилационог ваздуха (слика 6.3.3.4). [17]



Слика 6.3.3.4. Библиотека Mataro у Шпанији [17][26]

Канадска компанија *Conserval Engineering* специјализовала се за транспиране соларне пријемнике, врсту соларног ваздушног пријемника. Компанија је такође развила *PV/T* систем на бази ваздуха (*SolarVall PVT*) и направила је неколико великих инсталација широм света са интегрисаним фасадним системима и системима монтираним на крову са ваздушним каналима. [17]



Слика 6.3.3.5. Фасада SolarWall PV/T на Универзитету Concordia у Монтреалу [17]

Концепт *PV/T* развијен је на Универзитету *Concordia* у Монтреалу, а демонстрациони систем (слика 6.3.3.5.) инсталиран је на универзитету 2007. године. Бруто површина је скоро 300 m² и процењена је на 24,5 kW електричне и 75 kW топлотне снаге. Инсталација обезбеђује грејање, а перформансе система надгледа универзитет. [17]

Пример каналске врсте инсталације је систем у олимпијском селу у Пекингу. Систем од 50 m², приказан на слици 6.3.3.6., процењен је на 10 kW електричне и 20 kW топлотне снаге, а направљен је да прикаже обновљиву енергију током Олимпијских игара у Пекингу. Топлота из *PV* модула одводи се до вентилационог система зграде. [17]



Слика 6.3.3.6. Инсталација *SolarWall PV/T* у олимпијском селу у Пекингу [17][26]

Иако имају предност јер су једноставнији, *PV/T* пријемници заснованим на ваздуху се генерално утврђује да су мање ефикасни од оних на течној бази, а новији пројекти у већој мери укључују системе на бази течности. Од прегледа задатка 35 из 2007. године, забележено је велико повећање броја имплементација *PV/T* пријемника. Такође се чини да је дошло до померања у типу инсталација, од углавном вентилисаних или *PV/T* – ваздушних система до сада, укључујући и велики удео пројеката са *PV/T* пријемницима који у свом систему користе радни флуид – течности. Међутим, чини се да су тржишта и даље прилично специфична и да у неким земљама понекад доминира један произвођач или инсталатер. [17]

Коришћење *PV/T* пријемника на бази течности омогућава интегрисање *PV/T* система у хидрауличке системе грејања у зградама, који се могу прилагодити нискотемпературним изворима топлоте. Хибридни *PV/T* пријемници се могу повезати са резервоаром и комбиновати са другим изворима топлоте, попут различитих типова топлотних пумпи или котлова на биомасу. Системи се могу користити за грејање простора, припрему топле воде за домаћинство или обоје. Примери ових врста система налазе се у неколико земаља. [17]

У Великој Британији, број импликација *PV/T* пријемника се брзо повећавао у последњој деценији. Компанија *Newform Energy* тврди да има стотине инсталација широм земље, од малих система до сложених енергетских инсталација са више извора. На основу доступних студија случаја, већина система је повезана мрежом у опсегу

2 – 10 kWp, а већина је инсталирана на стамбеним зградама. Користе се и покривени и непокривени *PV/T* пријемници, понекад заједно у истом систему. [17]

У Француској *PV/T startup DualSun* има око 30 надгледаних инсталација широм земље. Већина је у опсегу од 6 до 12 модула (1,5 – 2 kWp), али постоје и веће инсталације. Мањи стамбени системи обично укључују равне *PV/T* пријемнике и *PV* модуле. Систем од 6 модула и резервоар за складиштење од 300 литара, приказан на слици 6.3.3.7., покрива око 65% потреба за топлотом водом за једну породичну зграду у Марсеју у јужној Француској. [17]



Слика 6.3.3.7. Кровни интегрисани хибридни *PV/T* пријемници у Марсеју у јужној Француској [26]

Неколико пронађених малих и средњих инсталација користе топлотне пумпе за помоћно грејање као део система за снабдевање енергијом. Fang и сар., такође извештавају да су *PV/T* системи топле воде и *PV/T* топлотне пумпе најчешће проучавани системи у Кини. Тип система који се проучава је *PV/T* соларна топлотна пумпа (*SAHP*), где је *PV/T* модул интегрисан у топлотну пумпу и користи се директно као испаривач. Према *REN21*, постоји 80 хибридних система соларних топлотних топлотних пумпи доступних од 80 произвођача, и садрже хибридне *PV/T* пријемнике. [17]

Параболични коритни концентратор (*Parabolic Trough Concentrator* – *PTC*) је најзрелија технологија међу технологијама соларних концентратора и широко се користи широм света. *Absolicon* је шведска компанија за соларну енергију која је специјализована за концентрисано соларно грејање. Ова компанија има јединствену технологију засновану на двадесето годишњем истраживању. Параболични коритни концентратор, односно *Absolicon* соларни пријемник, *T160* има највећу оптичку ефикасност икад измерену. Овај *PV/T* пријемник може помоћи у смањењу производних трошкова и производњи топлоте и паре температуре од 160°C. Корита прате сунце у једној оси (у оријентацији север – југ или исток-запад). Компонента за апсорпцију сунчеве топлоте (пријемник или апсорбер) постављена је дуж корита у линији фокуса који чине одбијени зраци. Способност постизања високих температура помоћу овог пријемника чини овај систем подложним индустријским применама. [17]

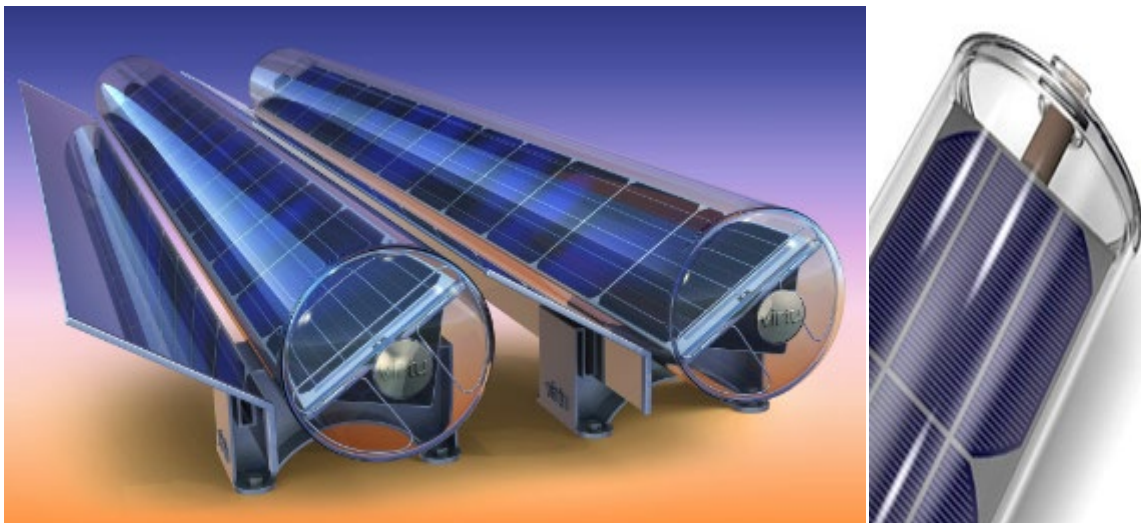
Заједно са соларним пријемником, компанија *Absolicon* је развила комплетну производну линију за *T160 PV/T* пријемник, са капацитетом производње једног *PV/T* пријемника сваких 6 минута. [31]

Absolicon PV/T пријемници концентришу сунчеве зраке, што је техника која пружа многе предности. Ова компанија у својој понуди нуди три подела ових пријемника, а сваки инсталирани систем прилагођен је специфичним енергетским потребама корисника. *Absolicon PV/T* пријемници су прилагођени већим зградама, индустријским апликацијама и предузећима са великим енергетским потребама током целе године. На слици 6.3.3.8. приказана је инсталација *Absolicon PV/T* пријемника на крову локалне болнице у *Harnosand*-у, у Шведској. [31]



Слика 6.3.3.8. Инсталација *Absolicon PV/T* пријемника на крову локалне болнице у *Harnosand*-у, Шведска [26][31]

Virtu хибридни *PV/T* пријемник омогућава већу снагу по квадратном метру него што самостални соларни *PV* или соларна топлота могу да постигну. [32]



Слика 6.3.3.9. *Virtu* хибридни *PV/T* пријемник [32]

Не само да се укупна соларна *PV* производња повећава само одржавањем соларних ћелија на уједначеној температури, већ се производе и велике количине топле воде. Извлачећи толико снаге по квадратном метру из Сунчевих зрака, *Virtu* ће учинити практичним да домови са малим крововима имају значајну соларну инсталацију која

генерише велику топлу воду и струју. С обзиром на то да је *Vitru* истовремено и соларна фотонапонска и соларна топлотна инсталација, у Великој Британији се, поред смањених рачуна за струју и грејање на воду, може тврдити и гарантовани повраћај инвестиције за 25 година. [32]

Користећи *Virtu* систем за управљање топлотом, крајњи корисник ће моћи да измени равнотежу система како би створио више електричне енергије или више топле воде у зависности од њихових одређених потреба. [32]



Слика 6.3.3.10. Имплементација *Virtu* хибридног PV/T пријемника у зградарству [26][33]

Хибридни *Virtu PV/T* пријемник замењује два одвојена конвенционална панела (термална и *PV*) у једну компактну вакуумску цев, драматично смањујући време инсталације и трошкове док максимално користи област инсталације. Могућност рада на вишим температурама отвара широк спектар примене, као што су: хотели, одмаралишта, велнес и спа центри, стамбене зграде и велики стамбени пројекти, комерцијални и индустријски процеси којима је потребна велика количина топлоте, установе (болнице, старачки домови и затвори).

Предности у односу на друге производе на тржишту: [33]

- 1) Највиши кров на свету инсталирао је соларну технологију енергетске густине,
- 2) Патентирана технологија вакуумских цеви високе ефикасности,
- 3) Патентирани систем преноса топлоте, висока топлотна ефикасност.
- 4) Кориснија енергија по квадратном метру,
- 5) До 50% уштеда простора,
- 6) Једноставна инсталација,
- 7) Неке апликације, као што је соларно хлађење, захтевају много веће излазне температуре.
- 8) Висока топлота се може користити за соларно хлађење.

6.4. Студија случаја – хибридна фасада ФИАТ-овог истраживачког центра

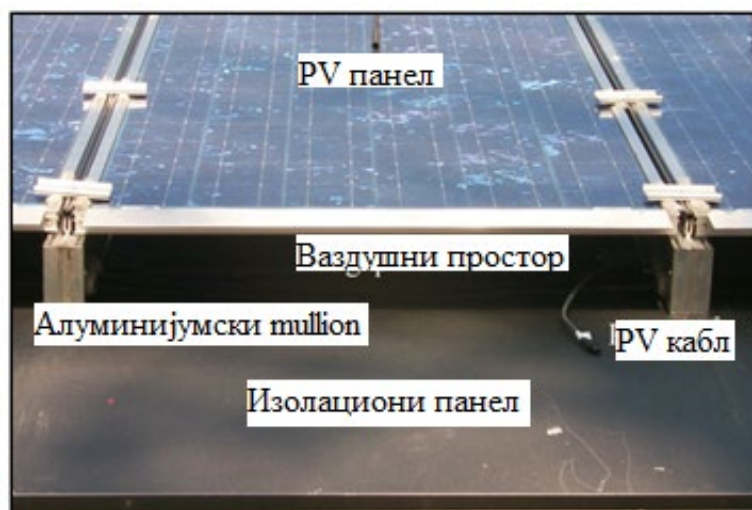
Хибридна *PV/T* фасада Фиат-овог истраживачког центра (*CRF*) у *Orbassanu* у Италији представља прву комерцијалну реализацију система *TIS*. 2001. године, поводом првог регионалног позива за финансирање у оквиру програма фотонапонских кровова, који је промовисало Министарство животне средине. [30]



Слика 6.4.1. Соларна фасада у Фиат-овом истраживачком центру (*CRF*) [30]

Пројекат подразумева прекривање крова системом *TIS*, оспособљеног за производњу сунчеве енергије и побољшање топлотних карактеристика омотача зграде. Соларни кров, приказан на слици 6.4.1, заузима средишњи део косог зида укупне површине од око 426 m². Састоји се од хибридног *PV/T* пријемника укупне површине 160 m², који се састоји углавном од 130 модула, који садрже силицијум-поликристалне ћелије, постављеног на фасади тако да се стварају паралелни канали са непрекидним ваздушним простором за вентилацију. Фотонапонски елементи производе електричну енергију, док циркулација ваздуха испод пријемника обнавља топлотни део заробљеног сунчевог зрачења и такође хлади ћелије, што утиче на повећање ефикасности конверзије система. Хибридни *PV/T* пријемници су додатно допуњени појачивачима (соларни пријемници ваздуха без *PV* елемената), укупне површине 32 m², како би се омогућило накнадно загревање излазног ваздуха пријемника за употребу у вишим опсезима температура ваздуха. [30]

Сви соларни пријемници у основи имају вентилациони простор и топлотну изолацију. Ваздух унутар вентилисане фасаде циркулише споља кроз канал опремљен решеткама, а затим се транспортује до горњих канала уграђених унутар зграде који се користе за климатизацију. Детаљи дизајна хибридног *PV/T* пријемника приказани су на слици 6.4.2.



Слика 6.4.2. Детаљи дизајна хибридног PV/T пријемника [30]

Фотонапонско постројење, које има укупну снагу од 19,5 kWp, састоји се од 130 PV модула типа *BP SKS 150 L*, који имају одговарајући оквир за интеграцију у *TIS* систем. Номинална снага сваког модула је 150 Wp. Пријемници су конфигурисани у 22 низа спојена у серију, 21 се састоји од 6 модула, а 1 од 4 модула. Претварачи (2 јединице) су инсталирани унутар зграде за претварање једносмерне струје у наизменичну; један је снаге 18 kW који опслужује 21 жицу, а други од 700 W који опслужује једну жицу од 4 модула. Оба претварача су изолованог типа трансформатора, који раде на тачки максималне снаге и стварају наизменичну струју на излазу техником *PWM (Pulse Width Modulation)*. У централном делу фасаде соларни панели су замењени металним каналом у који су уграђени сви електрични каблови за повезивање PV модула са инвертером, електричном подстанцом и системом за надзор. Монитор приказа података повезан са соларном фасадом приказан је на слици 6.4.3. [30]

Термички рад фасаде обезбеђен је системом присилне вентилације која ради са протоком ваздуха од 9000 m³/h. Ваздух се загрева унутар хибридних пријемника и достиже температуре до 60°C, у складу са специфичним климатским условима. Клима уређај у кухињи користи произведену топлоту: зими за предгревање ваздуха за обнављање, а лети за напајање система одvlaживања. [30]



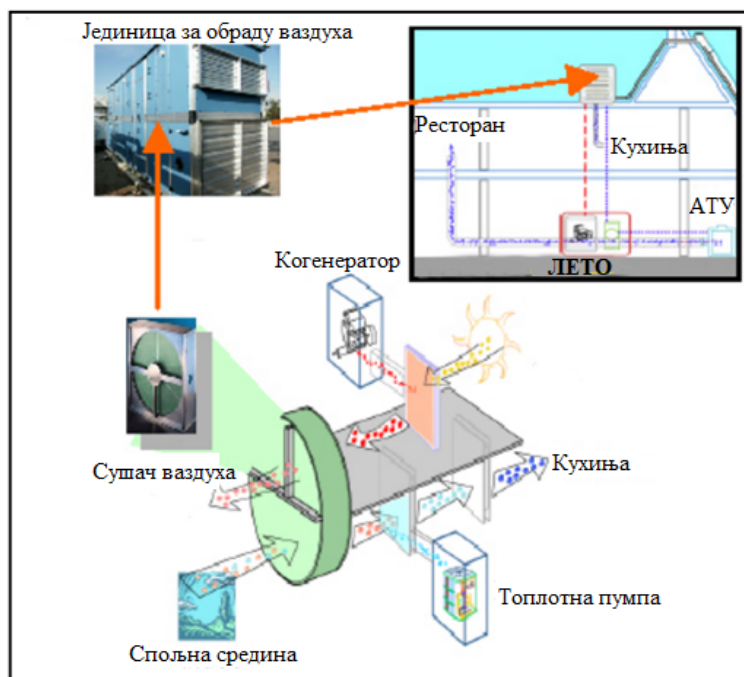
Слика 6.4.3. Систем за надзор - приказ података [30]

Технолошки демонстрациони пројекат *Ecomensa*, развијен у Фијатовом истраживачком центру, представља хибридну фасаду на пространији и артикулисанији начин. Овај пројекат представља сложену фабрику, фокусирану на енергетску ефикасност различитих иновативних енергетских технологија за простор канцеларијске мензе *CRF*.

Помоћу интелигентног контролног система, који истовремено управља радом и оптимизује енергетске перформансе различитих подкомпонената. Симулацијски модел заснован на оптимизованим стратегијама управљања за предвиђање перформанси соларног система за хлађење сушачем пројекта *Ecomensa* развио је *Politecnico di Milano*. [30]

Систем приказан на слици 6.4.4. се састоји од хибридног *PV/T* пријемника, система когенерације комбинованог система за грејање и напајање (*CHP*), реверзибилне топлотне пумпе и постројења за одvlaживање ваздуха са сушачем, повезаних са електричном мрежом и климатизационим постројењем зграда. [30]

Током целе године *PV* и когенерацијска постројења напајају топлотну пумпу и унутрашње електричне уређаје. Током летњих месеци топлота из хибридног *PV/T* пријемника користи се за одvlaживање ваздуха за обнављање, док се топлотна пумпа користи за примену хлађења. Зими, међутим, топлота која се добија из хибридног *PV/T* пријемника користи се за грејање. [30]



Слика 6.4.4. Пројекат *Ecomensa*, Фиат-ов истраживачки центар [30]

Надгледани подаци соларне фасаде укључују метеоролошке податке нпр. температура околине, релативна влажност, брзина ветра и сунчево зрачење; термички подаци фасаде нпр. температура улазног и излазног ваздуха пријемника на различитим тачкама унутар канала (ваздушни размак); фасадни електрични подаци нпр. излаз струје, напона, снаге и фреквенције. Тренутно су подаци о перформансама система

доступни више од годину дана. Слика 6.4.5. приказује месечну излазну електричну енергију хибридног *PV/T* пријемника за период мај 2003. – јун 2004. године. Овде треба напоменути да је током августа 2003. године хибридни *PV/T* пријемник радио само 10 дана. [30]

Може се видети да током целог посматраног периода (мај 2003. – јун 2004.) хибридни *PV/T* пријемник производи електричну енергију око 22,1 MWh са годишњом електричном производњом већом од 20 MWh. [30]



Слика 6.4.5. Месечна производња електричне енергије [30]



Слика 6.4.6. Месечна максимална електрична снага [30]

Процењује се да су у овом случају перформансе око 10% веће у односу на традиционалну *PV* инсталацију, захваљујући повећању електричне ефикасности због вентилације хибридног *PV/T* пријемника и циркулисајућег ваздуха испод *PV* ћелија. Приказана је максимална месечна излазна снага хибридног *PV/T* пријемника на слици 6.4.6. Из слике је видљиво да хибридни *PV/T* пријемник функционише веома добро и много пута достиже и највећу снагу (март 2004.). Подаци о праћењу топлотних перформанси система овде нису представљени. Чини се да сензори температуре за надзор температуре излаза из пријемника понекад дају нетачне вредности. Због тога се мора извршити анализа грешке пре него што се изврши детаљна анализа података. Међутим, извршена је процена, користећи симулациони модел који је развио

Politecnico di Milano, за топлотне и електричне перформансе хибридног *PV/T* пријемника, а месечни резултати су приказани на слици 6.4.7. [30]



Слика 6.4.7. Процењена месечна производња топлотне и електричне енергије [30]

Процењује се да хибридна фасада на *CRF* може да произведе око 20 MWh електричне енергије и 100 MWh топлотне енергије годишње. Прорачун производње електричне енергије хибридног *PV/T* пријемника узима у обзир ефикасност претварача од 95%. Модел, такође, узима у обзир све електричне и топлотне губитке у систему у односу на претходно спроведене студије. [30]

7. ЗАКЉУЧАК

Технологије соларне енергије користе сунчеву енергију да произведу топлоту, светлост, топлу воду, електричну енергију, а примену имају у стамбеним објектима, пословним објектима, установама и индустријским погонима. Постоји низ технологија које су развијене са циљем искоришћавања соларне енергије, а ми смо се у раду бавили анализом дизајна хибридних *PV/T* пријемника као и њихове имплементације у зградарству.

Хибридни *PV/T* пријемници су практично незаступљени на нашем тржишту, али када говоримо о глобалној употреби ових пријемника они су мање заступљени у односу на *PV* и *T* пријемнике. Глобално тржиште хибридних соларних панела расте бржим темпом са знатним стопама раста у последњих неколико година и процењује се да ће тржиште значајно порасти до 2027. године. Тржиште хибридних соларних панела се шири због пораста популације и повећања потражње за енергијом широм света. Главни соларни фотонапонски производни погони за производњу хибридних *PV/T* пријемника налазе се у Кини.

Многе су предности примене хибридних *PV/T* пријемника: једноставна инсталација, естетска предност у односу на друге системе, задовољавање енергетских потреба за електричном и топлотном енергијом (један систем за све), једноставно одржавање, чист извор енергије итд.

Што се тиче импликација хибридних *PV/T* пријемника у зградарству постоје различите варијанте ових пријемника, у зависности од места њихове импликације на згради. Начин уградње код сваког типа крова и фасада се разликује у зависности од угла инсталације и конструкције, од једносмерних затворених до отворених слојева и двосмерних отворених слојева код равних кровова.

Хибридни *PV/T* пријемници за имплементацију у зградарству су релативно нов производ и нова технологија која се појавила протеклих деценија. Очекивано је у блиској будућности информисање и едукација становништва, смањење њихове цене и масовнија употреба, с обзиром на све већи удео коришћења обновљивих извора енергије и пад цена уређаја који користе соларну конверзију.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] John Conti, International Energy Outlook 2016, Управа за енергетске информације (EIA), Вашингтон, Округ Колумбија (DC), Сједињене Америчке Државе (USA), 2016.
- [2] Bob Dudley, BP Energy Outlook 2016 edition, Британска нафтна компанија (BPC) Лондон, Енглеска, Уједињено краљевство, 2016.
- [3] Janet L. Sawin, Kristin Seyboth и Freyr Sverrisson, Renewables 2016 Global Status Report, Мрежа обновљивих извора енергије за 21 век (REN 21), Париз, Француска, 2016.
- [4] Стратегија развоја енергетике Републике Србије до 2025. године са пројекцијама до 2030. године, *Службени гласник РС*, бр.101/2015.
- [5] Саша Илић, Бранислава Лепотић, Изградња соларних грејних система у Републици Србији–Водич за инвеститоре, Министарство Енергетике, Развоја и Заштите животне средине, Београд, Србија, 2013
- [6] Љубисав Стаменић, Коришћење соларне фотонапонске енергије у Србији, Jefferson Instiute, Београд, Србија, 2009.
- [7] Ilaria Guarracino, Hybrid photovoltaic and solar thermal (PVT) systems for solar combined heat and power, Imperial College London, Лондон, Енглеска, Уједињено краљевство 2017.
- [8] Suming Guo, A Hybrid Photovoltaic-thermal Energy Solar System, Master's Thesis, Lehigh University, Бетлехем, Пенсилванија, Сједињене Америчке Државе (USA), 2012.
- [9] Afroza Nahar, Numerical investigation and modelling of solar photovoltaic/thermal systems, Institute of graduate studies, Куала Лумпур, Малезија 2017.
- [10] Erdem Cuce, Erman Kadir Oztekin и Pinar Mert Cuce, Hybrid Photovoltaic/Thermal (HPV/T) Systems: From Theory to Applications, Faculty of Engineering, Бајбурт, Турска, 2018.
- [11] Станко Станков, Напајање индивидуалних потрошача хибридним системима, Универзитет у Нишу, Електронски факултет, 2017.
- [12] Небојша Лукић, Милун Бабић, Соларна енергија, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, Србија, 2008.
- [13] Matija Zelenc, Fotonaponska–Toplinska (PV/T) Tehnologija, Završni rad, Međimursko Veleučilište u Čakovcu, Чаковец, Хрватска, 2016.
- [14] Global Market Outlook For Solar Power / 2019 – 2023, доступно на:
https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2019/07/SolarPower-Europe_Global-Market-Outlook-2019-2023.pdf

- [15] Солнечные панели - конструкция, состояние рынка, перспективы развития, доступно на: <https://220v.com.ua/articles/9.html>
- [16] Solarthermie wird profitabel, доступно на: https://www.spf.ch/index.php?id=17743&tx_ttnews%5btt_news%5d=3406&cHash=3c9758cc27176a832f47a8e2ab6b8c51
- [17] Clara Good, Jinfeng Chen, Yanjun Dai, Anne Grete Hestnes, (2015). Hybrid Photovoltaic-thermal Systems in Buildings – A Review, Energy Procedia, Volume 70, Pages 683-690, ISSN 1876-6102, доступно на: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215002982>
- [18] Radosavljevic, J., et al.: *Thermodynamic behavior of solar building with a glass porch and thermo accumulative partition wall made of concrete*, Energy Technology, Vol. 3, pp.1-3, 2005th .
- [19] Dragicevic, S., Lambic, M., Radosavljevic J., and Raos, M.: *Estimation of the Effect of Environmental Conditions on the Efficiency of Solar Active Wall Air Heating System*, J. Energy Eng., 10.1061 / (ASCE) EY, 1943-7897.0000156, 2013th
- [20] Radosavljevic, J. et al.: *The function of windows in buildings that are passively cooled*, Energy Technology, Vol. 2, No. 1-2, pp. 39-41, 2005th
- [21] Водич кроз соларне панеле, преузето 17.09.2019. са <https://www.suncica.co.rs/blog/solarni-paneli-vodic/>
- [22] Соларна енергија, преузето 17.09.2019. са <https://freeonplate.com/sr/solarnaenergija/>
- [23] J. Бошковић, К. Ђурић, Д. Турњанин, Соларни извори енергије у функцији одрживог развоја, Економија Теорија и пракса, 4, (10), 2017, 49 - 64.
- [24] Pr Dr Andy van den Dobbelsteen, Dr Regina M. J. Bokel, Zokeir Haghighi: *Investigation and implementation of the PV – Chimnez system on Building envelopes*, Antri Lysandrou, 2018.
- [25] Robert Farrington, *Building-Integrated Photovoltaics*, John Wiley & Sons Ltd., New Jersey, 1993.
- [26] Hybrid solar collectors images , преузето 02.01.2021. доступно на: https://www.google.com/search?q=Hybrid+solar+collectors&sxsrf=ALeKk02xwmlv8v4uXhntvbNbYIsNf-s2pA:1612884564615&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwin8qWcj93uAhXIAxAIHRuZC28Q_AUoAXoECAIQAw&biw=1571&bih=695
- [27] Vaziri, Jahja: *Ekološki arhitektonski prijateljski dizajn prema zelenoj arhitekturi*, prvo izdanje, Madbouli Librari, Kairo, 2016.
- [28] Salingeros, Nikos, *Architectural Theory and the Work of Bernard Tschumi*, Architectural publishers, London, 2004.

- [29] Al-Jadri Ihsan Ali i Junis Mahmoud M. Selim, *Uticaј primene tehnologije solarnog sistema u arhitektonskoj proizvodnji*, Dar al-tibaah, Tripoli, 2016.
- [30] Hybrid Photovoltaic-Thermal Technology and Solar Cooling: The CRF Solar Façade Case Study, доступно на: http://www.pvdatabase.org/projects_view_details.php?ID=398
- [31] Investment benefits hospital in two ways, доступно на: https://absolicon.com/wp-content/uploads/2012/09/absolicon_magazine_eng.pdf
- [32] Collettore solare ibrido per produrre elettricità e calore, доступно на: https://www.casaclima.com/ar_25597_TECH-Innovazioni-fotovoltaico-collettori-solari-Collettore-solare-ibrido-per-produrre-elettricit-e-calore.html
- [33] What is Virtu?, доступно на: <https://venfeld.com/product/virtu/>