

**Факултет инжењерских наука Универзитета у
Крагујевцу**

Марко З. Јеремиић
Соларни колектори - активни пријемници
соларне енергије

Крагујевац, 2017.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Грејање, климатизација и соларна енергија

Број индекса: 87/2012

Марко З. Јеремић

**Соларни колектори - активни пријемници
соларне енергије**

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Данијела Николић - доцент**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да проучи препоручену и ширу литературу која се односи на соларне колекторе као активне пријемнике соларне енергије и да представи преглед постојећих врста соларних колектора који се данас најчешће користе, са њиховим основним карактеристикама. Такође, потребно је да кандидат опише соларне системе који се користе за грејање санитарне топле воде у домаћинствима.

Препоручена литература:

- [1] S. A. Kalogirou, *Solar thermal collectors and applications*, Progress in Energy and Combustion Science, No 30, (2004) p. 231 – 295.
- [2] Др Небојша Лукић, др Милун Бабић, *Соларна енергија*, Монографија, Машински факултет у Крагујевцу, 2008.
- [3] Duffie J.A and Beckman W.A., *Solar Engineering of Thermal Processes*, Second Edition, Wiley-Interscience, New York, 1991.

Крагујевац, 2017

Ментор:

Др Данијела Николић, доцент

САДРЖАЈ

РЕЗИМЕ.....	3
1. УВОД.....	4
1.1 ИСТОРИЈА КОРИШЋЕЊА СОЛАРНЕ ЕНЕРГИЈЕ	7
2. СОЛАРНА ЕНЕРГИЈА.....	9
2.1 КОРИШЋЕЊЕ СОЛАРНЕ ЕНЕРГИЈЕ.....	10
2.1.1 ФОТОНАПОНСКЕ ЋЕЛИЈЕ	11
3. СОЛАРНИ КОЛЕКТОРИ	13
3.1 НЕЗАСТАКЉЕНИ СОЛАРНИ КОЛЕКТОРИ.....	15
3.2 РАВНИ ВОДЕНИ ЗАСТАКЉЕНИ КОЛЕКТОРИ	15
3.3 БОЛЛЕРСКИ ВОДЕНИ СОЛАРНИ КОЛЕКТОРИ	16
3.4 ВАКУУМСКИ ВОДЕНИ СОЛАРНИ КОЛЕКТОРИ.....	17
3.5 ВАЗДУШНИ СОЛАРНИ КОЛЕКТОРИ.....	18
3.6 КОНЦЕНТРИШУЋИ СОЛАРНИ КОЛЕКТОРИ.....	19
3.7 ПОЛОЖАЈ, УСМЕРЕЊЕ И РАЗМАК КОЛЕКТОРА.....	20
3.8 ПРИМЕРИ ПОСТАВЉАЊА СОЛАРНИХ КОЛЕКТОРА	21
3.9 РАЗМАК ИЗМЕЂУ РЕДОВА КОЛЕКТОРА	22
3.10 ПОСТУПЦИ ОДРЖАВАЊА СОЛАРНИХ КОЛЕКТОРА	23
4. ПЛОЧАСТИ КОЛЕКТОРИ	24
5. ВАКУУМСКИ СОЛАРНИ КОЛЕКТОРИ	31
5.1 ВАКУУМСКЕ ЦЕВИ	32
5.2 ГЛАВНА БАКАРНА ЦЕВ.....	33
5.3 АЛУМИНИЈУМСКО КУЋИШТЕ ОКО ГЛАВНЕ БАКАРНЕ ЦЕВИ	34
5.4 ГРЕЈНЕ ЦЕВИ	35
5.5 СРС ВАКУУМСКИ КОЛЕКТОРИ	36
6. СОЛАРНИ СИСТЕМИ ЗА ГРЕЈАЊЕ ТОПЛЕ ВОДЕ.....	38
6.1 СИСТЕМ СА ТЕРМОСИФОНСКИМ ЕФЕКТОМ	39
6.2 КОЛЕКТОРСКИ СИСТЕМИ СА РЕГУЛАЦИЈОМ	44
6.2.1 СОЛАРНИ БОЛЛЕР	46
6.2.2 СОЛАРНА ПУМПНА ГРУПА.....	48
6.2.3 СОЛАРНА АУТОМАТИКА	51
6.2.4 ЕКСПАНЗИОНА ПОСУДА.....	52
6.2.5 СОЛАРНИ ФЛУИД	53
6.2.6 КРОВНИ НОСАЧИ.....	53
6.2.7 ТЕРМОСТАТСКИ ВЕНТИЛ ЗА МЕШАЊЕ ТОПЛЕ И ХЛАДНЕ ВОДЕ	54
7. ЗАКЉУЧАК	55
ЛИТЕРАТУРА	56

Преглед величина, ознака и јединица

- λ - интензитет зрачења, μm
- ρ - фактор рефлексije
- τ - фактор трансмисије
- α - апсорпцијски фактор
- G - коефицијент апсорпције
- KV - полазни прикључак соларног круга
- KR - повратни прикључак соларног круга
- z - раздаљина између редова колектора, m
- h - висина колектора, m
- α_p - угао висине сунца у подне, $^\circ$
- β - угао нагиба колектора, $^\circ$

РЕЗИМЕ

Соларни колектори се углавном постављају на кровове објеката како би користили Сунчеву енергију за грејање просторија, грејање воде и хлађење просторија. Сунчева енергија је неисцрпан, обновљиви извор енергије. Када се соларни систем једном постави и почне да производи корисну енергију, добијена енергија је бесплатна. Смањење залиха фосилних– исцрпљивих, али и необновљивих горива и повећане концентрације штетних гасова на глобалном нивоу, утицали су на интензиван развој технологија које користе обновљиве изворе енергије. У раду су приказани системи и начини апсорпције сунчеве енергије различитим соларним колекторима, чија је примена у свету сваке године све израженија.

Кључне речи: енергија, сунце, соларни колектори, соларни системи за грејање санитарне воде

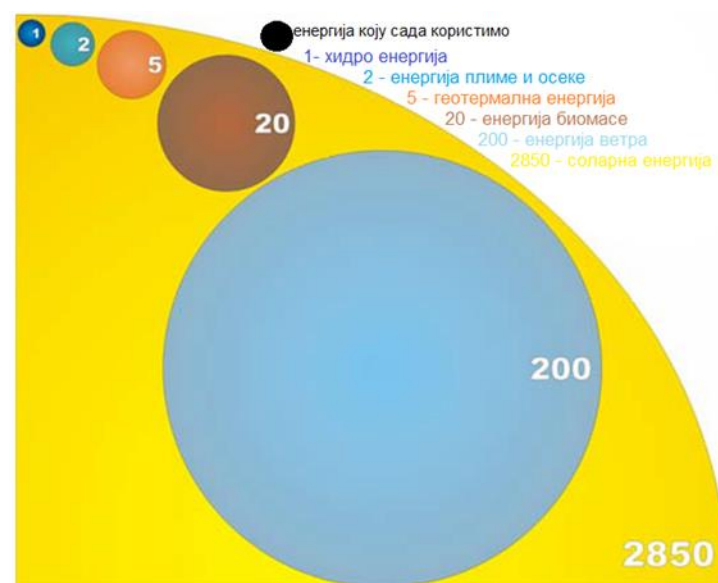
ABSTRACT:

Solar collectors are generally mounted on the roofs of buildings to collect solar energy for space heating, water heating and cooling. Solar energy is inexhaustible and renewable source of energy. When the solar system is set up, it starts to producing usable energy, and the obtain energy is free. Reducing fossil-exhaustible, but also non-renewable, fuels and the increased concentration of greenhouse gases on a global scale, affected the intensive development of technologies which ae using the renewable energy sources. The paper presents the systems and the way the different absorption of solar energy collectors, whose application in the world every year more and more pronounced.

Key words: energy, Sun, solar collectors, solar systems for water heating

1. УВОД

Постоји много примарних извора енергије: нафта, угаљ, природни гас, нуклеарна горива, вода, Сунце, ветар, геотермални извори. Примарни извори енергије се могу поделити на обновљиве и необновљиве. Обновљиви извори енергије су они који се не могу осиромашити коришћењем. Такви су Сунце, вода, ветар, биомаса и геотермални извори енергије.



Слика 1.1 - Енергетски извори

Угаљ, нафта и природни гас називају се још и фосилна горива. Сагоревањем фосилних горива ослобађа се велика количина CO_2 који спада у групу штетних гасова стаклене баште, чија емисија доводи до глобалног пораста температуре на Земљи. Нуклеарна горива нису опасна за атмосферу, али материје настале код нуклеарне реакције остају радиоактивне још дуги низ година и треба да буду правилно ускладиштене у посебним просторијама.

Обновљиви извори енергије некада означавани и као трајни енергетски извори представљају енергетске ресурсе који се користе за производњу електричне или топлотне енергије, чије резерве се константно или циклично обнављају. Сам назив обновљиви, као и трајни, потиче од чињенице да се енергија троши у износу који не премашује брзину којом се ствара у природи. Неки пут се међу обновљиве изворе енергије сврставају и они извори за које се тврди да су резерве толике да се могу експлоатисати милионима година. Ово је у супротности са необновљивим изворима којима су резерве процењене на десетине или стотине година, док је њихово стварање трајало десетинама милиона година [1].

**Развој обновљивих извора енергије (нарочито ветра, воде и Сунца)
важан је из неколико разлога:**

- обновљиви извори енергије имају врло важну улогу у смањењу емисије угљен диоксида (CO_2) у атмосферу. Смањење емисије CO_2 у атмосферу је политика Европске уније, па се може очекивати да ће и Србија морати да прихвати ту политику.
- Повећање удела обновљивих извора енергије повећава енергетску одрживост система. Такође помаже у побољшавању сигурности доставе енергије на начин да смањује зависност о увозу енергетских сировина и електричне енергије.
- Очекује се да ће обновљиви извори енергије постати економски конкурентни конвенционалним изворима енергије у блиској будућности. Потенцијали алтернативних извора енергије су велики, али нам тренутна технолошка развијеност не дозвољава да се ослањамо на њих као једине изворе енергије.

Необновљиви извори енергије су они извори који имају коначан капацитет. Ако наставимо да их користимо, после неког времена ћемо их потрошити. Обновљиви извори енергије, не укључујући хидроенергију, дају мање од 1% укупно потребне енергије. Тај удео у будућности треба знатно повећати јер необновљивих извора енергије има све мање, а и њихов штетни утицај све је израженији у задњих неколико деценија. Са порастом броја становника на планети све више расте и потреба за енергијом. Пошто необновљивих извора има све мање човечанство се у будућности мора окренути обновљивим изворима енергије. У ком степену ће развијене земље улагати у овај сектор у овом тренутку се не зна и биће свакако предмет будућих расправа. Обновљиви извори енергије имају позитивне и негативне особине [2].

Позитивне особине ОИЕ:

- смањују емисију угљен-диоксида (CO_2) у атмосферу а самим тим се смањује ефекат стаклене баште;
- повећавање удела обновљивих извора енергије помаже у побољшању сигурности доставе енергије на тај начин се смањује зависност од увоза енергетских сировина и електричне енергије;
- очекује се да ће обновљиви извори енергије у будућности постати економски конкуренти необновљивим изворима енергије.

Негативне особине обновљивих извора енергије су:

- експлоатација обновљивих извора енергије је скупља и технолошки захтевнија од необновљивих извора енергије;
- количина добијене енергије је неупоредиво на страни необновљивих извора енергије;
- немогуће их је транспортовати у природном облику осим ако их трансформишемо у електричну енергију.

Ефективна решења наведених проблема огледају се у пажљивом планирању и анализи потребних видова и количина енергије на различитим локацијама, у правилној интеграцији процеса са употребом мини и микро производних капацитета путем паметних мрежа (SMART GRID) на либерализованом енергетском тржишту. Почетком 2007. године, Савет Европе је установио свој циљ достизања 20% учешћа обновљивих извора енергије у структури укупне производње енергије до 2020. године. Последњих година у Европској унији су у примени разни подстицајни модели: државне субвенције, смањења пореза на додату вредност, порески кредити, нето размена, зеленасертификација, накнада трошкова итд.. Глобално посматрано, може се рећи да је технолошки развој цивилизације дошао до краја једне епохе, када више фосилна горива, конвенционални или необновљиви извори енергије не могу бити основа за планирање будућег развоја и када се поставља питање – шта даље?

Први одговор је развити методе штедње и ефикасног коришћења постојећих енергетских ресурса а други увођење нових извора енергије и рад на усавршавању, коришћењу и проналажењу нових, како их још називамо "алтернативних", обновљивих извора енергије.

Залихе различитих енергетских ресурса нису неограничене. Резерве урана, угља, нафте и гаса неће трајати заувек, нити ће се вратити саме од себе, а обновљиви енергетски ресурси су надокнадиве руке. Обновљива енергија се добија из природних процеса који се константно обнављају. У својим различитим облицима добија се директно из Сунца или из топлоте која се ствара дубоко у Земљи. То још укључује електричну енергију и топлоту добијену из извора попут сунчеве светлости, ветра, океана, хидроенергије, биомасе и геотермалне енергије те биогорива и водоника добијеног из обновљивих извора.

Вековима су наши преци живели у складу са природом. Нису трошили енергију у мери колико ми данас трошимо, а преживљавали су хиљадама година ослањајући се на природне енергетске изворе који су обновљиви извори. То су енергетски извори који су део токова природних процеса. Сваки од ових извора има јединствене карактеристике које утичу на то како и где су коришћени. Сваке године у свету се потроши енергије колико би се добило сагоревањем 10 000 000 000 t угља (црна лоптица)(Слика 1.1). Све светске реке садрже количину енергије једнаку оној која се потроши током једне године (тамно плави круг), океани садрже дупло више енергије (тиркизно плави круг), из геотермалних извора се може добити 5 пута већа количина енергије од тренутне потрошње (наранџасти круг), биогаз и биоенергија могу осигурати 20 пута више енергије у односу на тренутну потрошњу (смеђи круг), ветар 200 пута већу количину (светло плави круг) док Сунце исија 2850 пута (жути круг) више енергије у односу на наше тренутне потребе. Обновљиви извори енергије не загађују околину у толикој мери као необновљиви, али нису ни они сви потпуно чисти. То се посебно односи на енергију добијену из биомасе која као и фосилна горива приликом сагоревања емитује CO₂. Ако се изузме енергија воде, главни проблеми код обновљивих извора су цена и мала количина добијене енергије. Потенцијали обновљивих извора енергије су велики, али тренутан технолошки развој не допушта ослањање само на њих.

1.1 ИСТОРИЈА КОРИШЋЕЊА СОЛАРНЕ ЕНЕРГИЈЕ

Једна од првих идеја коришћења соларне енергије је била још у праисторији, тачније 212- те године пре нове ере, на коју је дошао научник Архимед. Он је тада осмислио начин да спали римску флоту помоћу импровизованих огледала од полираних штитова. Спојио је стотину штитова у једну целину и тако концентрисао јачину светлости у једну тачку и на тај начин са свог брода запалио противнички. Све до 18. века није било већих открића, до појаве соларне пећи. Захвалност за овај изум има француски научник Antoine Lavoisier. Он је хтео да помоћу енергије Сунца истопи гвожђе, бакар и друге метале, што је и успео, помоћу соларне пећи, у којој је достигао температуру од 1750 °C. Те пећи су биле у употреби широм Европе и Блиског истока. Током 19. века August Mouchot, француски проналазач, је у периоду од 1864. до 1878. дизајнирао соларну парну машину. Нажалост, није прихваћена од стране француске владе јер су сматрали да је превише скупа израда. Занимљиво је да су ти први покушаји разматрали системе концентрисаног сунчевог зрачења, што је знатно компликованије од неконцентрујућих система, при чему је за рефлексију сунчевог зрачења коришћено сребро.

Раних 1960.-их година почиње производња соларних бојлера која се брзо ширила у свету. Такви соларни бојлери су били типа термосифон

(природна циркулација воде, без додатка пумпе) и састојали су се од два равна соларна плочаста колектора површина 3-4 m², резервоара за складиштење топле воде запремине између 150 и 180 l и резервоара хладне воде који се налазио непосредно код колектора. За зимски период у бојлеру је био уграђен грејач или размењивач топлоте који је догревао воду услед недостатка сунчеве светлости. Нешто касније, усавршавањем је добијен други важан тип соларних колектора – циркулациони колектори. У овом систему су само соларни панели видљиви на крову, резервоар топле воде се налази у затвореном простору. Овај систем је имао већу потражњу из естетских разлога, али је био нешто скупљи за инсталацију. Исте године је усавршен и фотонапонски ефекат, који је француски физичар Бекерел открио 1839.године. Ефикасност силиконских ћелија је била 11%, али је цена била висока – 1000\$ по инсталираном W електричне снаге. Истраживањима је откривено још фотонапонских материјала као што је галијум-арсенид (GaAs). Он може радити на вишим температурама од силицијума али је много скупљи. У том периоду највећи пројекат постављања фотонапонских панела је био 2002. године и износио је скоро 2GW[3].

Код нас је 2010. године млада српска компанија (Strawberry energy), сачињена од студената, изуемела први на свету јавни соларни пуњач за мобилне телефоне (Strawberry Tree) који је постављен у Обреновцу. Наредне године у Бриселу су освојили прво место на такмичењу у категорији смањења јавне потрошње. Први соларни пуњачи у Србији су постављени у Обреновцу, Београду (Звездара и Ташмајдан), Новом Саду, Врању, Кикинди, Бору и Ваљеву, док их сада има широм света.

Соларна енергија смањује зависност од фосилних горива, њена употреба смањује загађење ваздуха и на тај начин се бори против глобалног загревања. У неким земљама субвенције државе значајно утичу на пораст коришћења соларне енергије, што је један вид смањења загађивања животне средине.

2. СОЛАРНА ЕНЕРГИЈА

Реч енергија настала је од грчке речи *energos* што значи активност. Енергија је способност вршења рада. Ова општа дефиниција је део основних дефиниција савремене физике, и то у оном делу који треба да одговори на питање о узроку и пореклу природних феномена акције, дејства и силе. Сваки физички систем поседује енергију у извесној количини. Важно својство енергије је то да се енергија не може ни створити ни уништити, већ само може прећи у други облик и увек је константна. Ово својство енергије назива се закон о одржању енергије, и он је први пут настао у деветнаестом веку. У суштини промена енергије је једнака извршеном раду, па се стога изражавају истом мерном јединицом- Џул (J), у част енглеског физичара James Prescott Joule.

Соларна енергија је енергија сунчевог зрачења коју примећујемо у облику светла и топлоте којом нас наша звезда свакодневно обасипа. Сунце је највећи извор енергије на Земљи. Сем непосредног зрачења које греје Земљину површину и ствара климатске услове у свим појасевима, ово зрачење је одговорно и за стално обнављање енергије ветра, морских струја, таласа, водних токова и термалног градијента у океанима.

Живот на земљи настао је и опстао милионима година захваљујући повољним климатским приликама. Клима се може посматрати као обновљиви ресурс чија је енергетска компонента енергија Сунца, а материјална компонента су океани као резервоари за воду. Енергија сунца подстиче кружење воде на Земљи и тиме омогућава живот. Тамо где нема воде, нема ни квалитетног живота, нпр. у пустињама. Климатске промене на Земљи су доживеле такав ниво да можемо говорити о климатској кризи. Визија изласка из те кризе је веома јасна, а то је прелазак на мање штетне изворе енергије[2].

Сунце је звезда у чијем језгру се као у фузионом реактору дешава нуклеарна фузија, процес у коме се сваке секунде око 3 тоне масе претвара у енергију зрачења која се потом емитује у околни простор. Током овог претварања водоника у хелијум се ослобађа $3,86 \cdot 10^{20}$ MW. Интензитет овог зрачења опада са квадратом удаљености од Сунца.

У активне технологије се сврставају соларни панели и соларни колектори, док се у пасивне сврставају оријентација кућа или објеката приликом градње како би се побољшала циркулација ваздуха или повећало искоришћење сунчеве светлости за осветљење. Соларна енергија је енергија будућности.

Предности соларне енергије:

- Сунце је неисцрпан извор енергије
- Не загађује воду и ваздух ни на који начин

Недостаци соларне енергије:

- Уређаји који су потребни за коришћење сунчеве енергије су још увек прескупи
- Количина колектоване енергије зависи од тога колико имамо сунчевих дана

2.1 КОРИШЋЕЊЕ СОЛАРНЕ ЕНЕРГИЈЕ

Сунце је нама најближа звезда, па је непосредно или посредно извор готово све расположиве енергије на Земљи. Соларна енергија је назив за врсту енергије која се добија из сунчевог зрачења. Та енергија се може искористити на много начина. Најједноставнији начин је сакупљање топлотне енергије, помоћу соларних колектора који дају топлу воду или топао ваздух који се могу користити за грејање топле воде за домаћинство, базене, радијаторе или подно грејање. Напредни начин је непосредна производња електричне енергије фотонапонским панелима. Зелене биљке одувек фотосинтезом претварају сунчеву енергију у хемијску, прављењем целулозе и других угљених хидрата.

Соларна енергија је у последње време стекла велику популарност као обновљиви извор енергије који са собом не доноси загађење повезано с фосилним горивима [4].

Основни принципи директног искоришћавања Сунца су:

- Соларни колектори - за загревање воде и просторија
- Соларни зидови - загревање простора
- Фотонапонске ћелије - директно претварање сунчеве енергије у електричну енергију.
- Фокусирање сунчеве енергије - употреба у великим енергетским постројењима



Слика 2.1 Фокусирање сунчеве енергије

Концентрисање сунчеве енергије употребљава се за погон великих генератора или топлотних погона. Концентрисање (фокусирање) се постиже са бројним сочивима или чешће са огледалима у конфигурацији плоче или торња (Слика 2.1). На сликама су приказане конфигурације типа "Power Tower" и "Dish". "Power Tower" конфигурације, користе компјутерски контролисано поље светлости за фокусирање сунчевог зрачења на централни торањ, који онда покреће главни генератор. До сада су направљени демонстрациони системи који имају излазну снагу изнад 10 MW. Ти нови системи имају и могућност рада преко ноћи и по врло лошем времену, тако да чувају врућу течност у врло ефикасном резервоару. „Dish“ систем прати кретање Сунца и на тај начин фокусира сунчево зрачење. Када нема довољно енергије од Сунца, системи који фокусирају сунчево зрачење могу се врло лако пребацити на природни гас или неки други извор енергије.

2.1.1 Фотонапонске ћелије

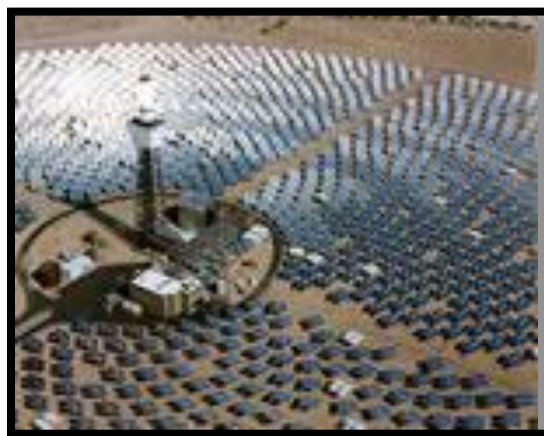


Слика 2.2 Соларне ћелије - ПАНОРАМА

Фотонапонске ћелије су полупроводнички елементи који директно претварају соларну у електричну енергију. За сада су још увек економски нерентабилне јер им је цена висока. На (слици 2.3), приказан је принцип израде фотонапонских ћелија. Фотонапонске ћелије могу се користити као самостални извори енергије или као додатни извор енергије. Као самостални извор енергије користе се нпр. на сателитима, друмским знаковима, калкулаторима и удаљеним објектима који захтевају дуготрајни извор енергије. У свемиру је снага сунчевог зрачења много већа јер Земљина атмосфера упија велики део зрачења па је и добијена енергија мања. Као додатни извори енергије фотонапонске ћелије могу се прикључити на електричну мрежу, али је то за сада неисплативо.



Слика 2.3 Фотонапонска ћелија



Слика 2.4 Соларна електрана са ротирајућим огледалима

3. СОЛАРНИ КОЛЕКТОРИ

Главна компонента сваког соларног система је соларни колектор. Соларни колектори претварају сунчеву енергију у топлотну енергију воде (или неке друге течности). Системи за грејање воде могу бити или отворени, у којима вода коју треба загрејати пролази директно кроз колектор на крову, или затворени, у којима су колектори попуњени течностју која се не смрзава (нпр. антифриз). Затворени системи могу се користити било где, чак и када је пољашња температура испод нуле. Током дана, ако је лепо време, вода може бити грејана само у колекторима, а ако време није лепо, колектори помажу у грејању воде и тиме смањују потрошњу електричне енергије. Соларни колектори су врло корисни и код грејања базена. У том случају температура воде је ниска и једноставније је одржавати температуру помоћу отворених система грејања. На такав начин оптимална температура базена одржава се неколико недеља више у години него без система грејања воде. Постоје и колектори који директно греју ваздух. Код њих циркулише ваздух кроз колекторе и на тај начин преноси велики део енергије на ваздух. Тај ваздух се враћа у грејану просторију и на тај начин се одржава температура у просторији. Комбинацијом грејања ваздуха и грејања воде може се постићи врло велика уштеда.

Табела 3.1 Типови соларних колектора

Кретање	Тип колектора	Тип апсорбера	Концентрациони однос	Индикативни температурни опсег (°C)
Стационарни	Плочасти колектор (FPC)	Равни	1	30-80
	Вакуумски колектор (ETC)	Равни	1	50-200
	Параболични колектор (CPC)	Цевни	1-5	60-240
Једно-осно праћење	Линеарни Fresnel рефлектор (LFR)	Цевни	10-40	60-250
	Параболични колектор (PTC)	Цевни	15-45	60-300
	Цилиндрични колектор (CTC)	Цевни	10-50	60-300
		Цевни		
Дво-осно праћење	Параблично огледало (PDR)	Тачкасти	100-1000	100-500
	Хелиостатички колектор (HFC)	Тачкасти	100-1500	150-2000

Према врсти радног флуида који користе, соларни колектори се деле на:

- водене,
- ваздушне,
- који користе друге течне флуиде (термичка уља).

Соларни колектори се у основи разликују по свом кретању, тј. постоје стационарни, са једно-осним праћењем и двоосним праћењем.

Највећу примену имају **стационарни колектори**. Они су трајно фиксни и не прате Сунце. У ову категорију спадају три врсте колектора а то су:

- Плочасти колектор (FPC)
- Вакуумски колектор (ETC)
- Параболични колектор (CPC)

Према покретљивости панела соларни колектори се деле на:

- колектореса непокретним панелом и
- колекторе са покретним панелом, који прате привидно кретање Сунца.

Основне врсте равних, водених соларних колектора су:

- незастакљени соларни колектори,
- застакљени соларни колектори,
- бојлерски соларни колектори и
- вакуумски соларни колектори

3.1 Незастакљени соларни колектори

Незастакљени водени соларни колектори су најједноставније и најјефтиније конструкције колектора. Практично, састављени су само од апсорбера кроз који струји вода, загревавајући се. Најчешће се израђују од црне пластике, отпорне на старење под ултравиолетним зрачењем (Слика 3.1).

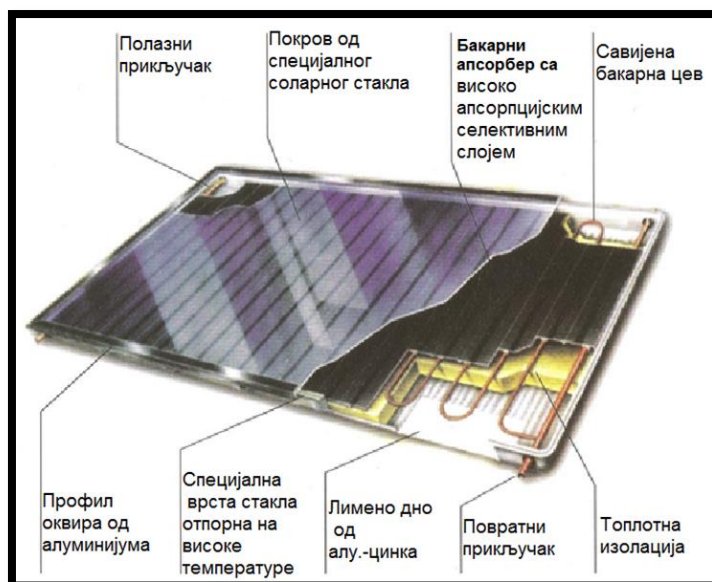


Слика 3.1 Незастакљени водени колектори за загревање базена

Како је апсорбер у директном контакту са околним ваздухом, без стакленог покривача, апсорпција је максимална, али и емисија такође, као и конвективни губици. Ови колектори имају високу почетну ефикасност која брзо опада са повећањем разлике температуре радног флуида и околине, као и смањењем инсолације. Ефикасност им нарочито опада при нижим спољним температурама и ветровитом времену. Зато се ови колектори користе за максималне температуре радног флуида до 30°C[5].

3.2 Равни водени застакљени колектори

Овај тип колектора би се могао назвати класичним. Састоји се од стаклене плоче, апсорбера, изолације и кутије колектора, (Слика 3.2). Цевни систем је интегрисан (спојен) са телом апсорбера на различите конструктивне начине[5].



Слика 3.2 Раван водени соларни колектор

3.3 Бојлерски водени соларни колектори

Ради се о специфичној конструкцији чији је основни циљ да редукује трошкове соларног система. Бојлерски колектор је, уствари, резервоар воде смештен у кутију затворену стаклом са осунчане стране (Слика 3.3). Површина резервоара је премазана апсорпционом бојом, селективном или не. Оваква конструкција је ређе у употреби, јер поред ниже цене система има мању ефикасност, а постоје проблеми са постављањем бојлерског воденог колектора на крову стамбеног објекта са техничке и естетске стране[5].



Слика 3.3 Соларни систем са бојлерским соларним колектором

3.4 Вакуумски водени соларни колектори

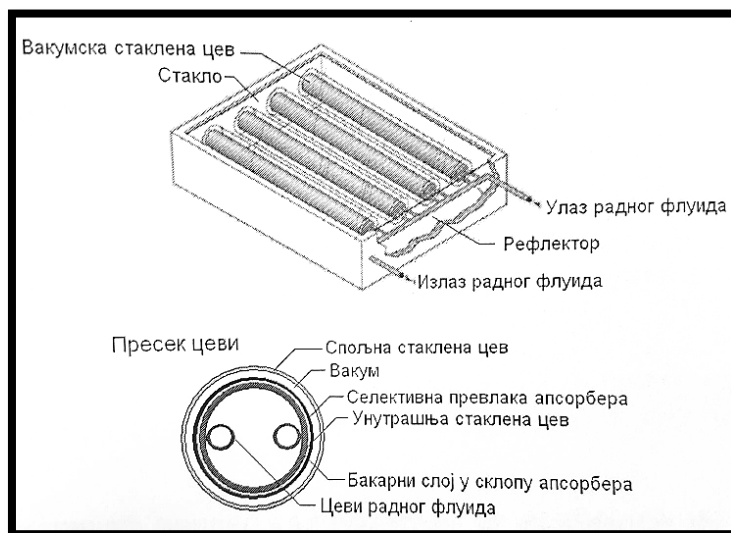
Постоји више различитих конструкција вакуумских соларних колектора (Evacuated tube collectors - ETC). Заједничко им је то да између стаклене површине и апсорбера постоји безваздушни (вакуумски) слој, који је постављен ради смањења губитака соларног колектора на вишим радним температурама. Вакуумске водене колекторе можемо поделити на:

- вакуумске соларне колекторе са директним током и
- вакуумске колекторе са топлотним цевима.

Што се тиче конструкције ових колектора, могу се поделити на:

- вакуумске соларне колекторе стакло-метал са заједничким улазом и излазом радног флуида
- вакуумске соларне колекторе стакло-метал са одвојеним улазом и излазом радног флуида
- вакуумске колекторе стакло-стакло(Слика 3.4) и
- равне вакуумске соларне колекторе.

Овде се мора нагласити да постоји велики број варијација и комбинованих конструкција водених вакуумских соларних колектора, па су могуће и другачије поделе. Због малих топлотних губитака ови колектори имају високе ефикасности на вишим радним температурама ($70-170^{\circ}\text{C}$), па се користе у индустријским апликацијама или домаћинствима, где је мало сунчаних дана, пуно облачности и ниских спољних температура [5].



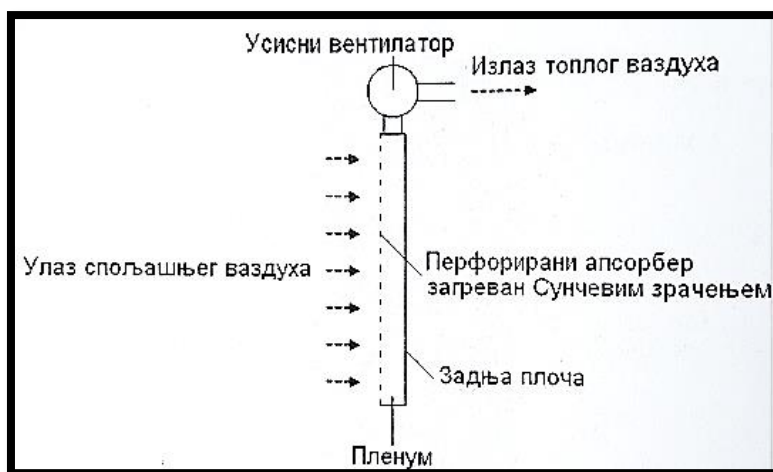
Слика 3.4 Вакуумски колектор (ЕТС) стакло-стакло са директним током

3.5 Ваздушни соларни колектори

Група равних ваздушних соларних колектора може се поделити на:

- незастакљене и
- застакљене ваздушне колекторе.

Основни проблем са ваздухом као радним флуидом је у томе што он има знатно лошије карактеристике при размени топлоте са плочом апсорбера у односу на воду (коэффициент прелаза топлоте). Из поменутог разлога мора се прибећи увећању контактне површине између ваздуха и апсорбера.



Слика 3.5 Перфорирани ваздушни колектор

Перфорирани ваздушни колектор (Слика 3.5) се састоји од вертикалне или под углом перфориране апсорберске металне плоче, високог коэффицијента апсорпције и задње плоче која са апсорбером и бочним зидовима чини пленум, простор у коме се ваздух загрева и стужи. Вентилатор усисава спољашњи ваздух кроз отворе на апсорберу, при чему се он загрева струјећи, такође кроз пленум. Подешавањем брзине струјања мења се и подешава излазна температура ваздуха. Висина (дебљина) пленума је у границама 10-15 см, пречници отвора на апсорберској плочи су у границама 0,5-2 mm, размак између ових отвора креће се од 10-30 mm [5].

3.6 Концентришући соларни колектори

Основна разлика између концентришућих и равних соларних колектора је та што је код концентришућих колектора површина прикупљања Сунчевог зрачења увек већа од површине његовог пријема (апсорпције). Код равних соларних колектора ове две површине су увек једнаке.

Постоји више могућности поделе концентришућих соларних колектора. Као и соларни колектори, концентришући се према мобилности панела могу поделити на оне са:

- непокретним панелом и
- покретним панелом по једној или две осе.

Како на релативно малој површини концентришу велику количину Сунчевог зрачења, концентришући соларни колектори могу достизати радне температуре од 50°C, па до неколико хиљада степени Целзијуса. Из овог разлога радни флуид у њима није ваздух, већ вода, термичко уље или неки други флуид погодних физичких карактеристика (као што су топлотна проводљивост и температура кључања)Слика 3.6)[5].

Према конструкцији, концентришући соларни колектори се деле на:

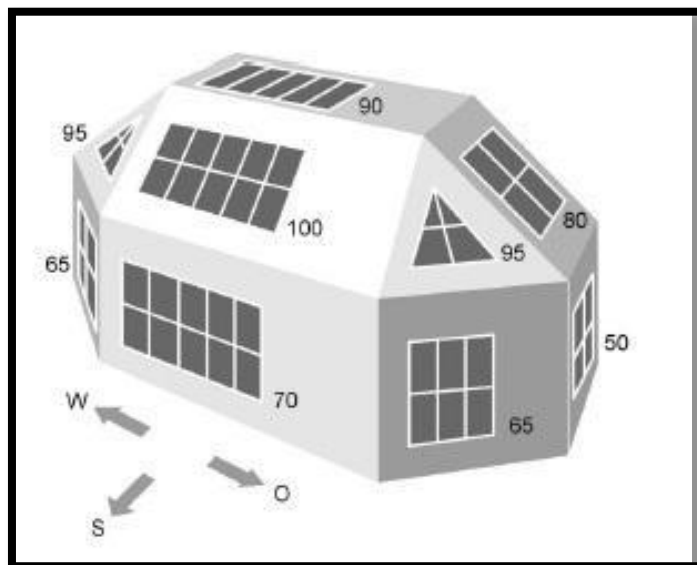
- равне соларне колекторе са рефлекторима,
- вишеделне параболичне колекторе,
- параболичне 2Д колекторе,
- параболичне 3Д колекторе,
- линеарне Fresnel-ове рефлекторе и
- централне пријемнике са пољем хелиостата.



Слика 3.6 Концентришући параболични 2Д соларни колектор

3.7 Положај, усмерење и размак колектора

У зависности како и где су постављени колектори (усмеравање, нагиб и врста монтаже) мења се и соларни допринос соларног система. Највећи топлотни допринос имају соларни колектори постављени на коси кров са јужне стране објекта. Колектори са источне или западне стране објекта доприносе само са око 80% енергије, док колектори постављени на фасаду дају само око 70% енергије(Слика 3.7).

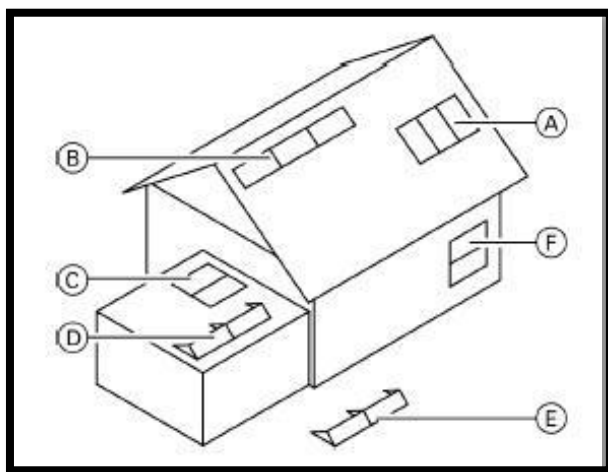


Слика 3.7 Соларни допринос у зависности од положаја соларних колектора

Такође сенка смањује добитак енергије, па се колекторско поље треба поставити и димензионирати тако да остане мали утицај сенки суседних зграда, дрвећа итд. Код монтаже на фасаде или у летећем положају на равне кровове препорука је да се увећа димензионисана површина колектора за 20 до 30% [6].

3.8 Примери постављања соларних колектора

Плочасти колектори (вертикални или хоризонтални) могу се поставити у положај А и В на кров или интегрисани кров, те у положај D и E. У положај F могу се поставити само плочасти хоризонтални колектори (Слика 3.8). Пример положаја А (Слика 3.9). Пример положаја В (Слика 3.10). Пример положаја D (Слика 3.11).



Слика 3.8 Постављања соларних колектора



Слика 3.9 Плочасти колектор у вертикалном положају



**Слика 3.10 Плочасти колектори
хоризонталном положају**



**Слика 3.11 Плочасти колектори
на бетонској плочи**

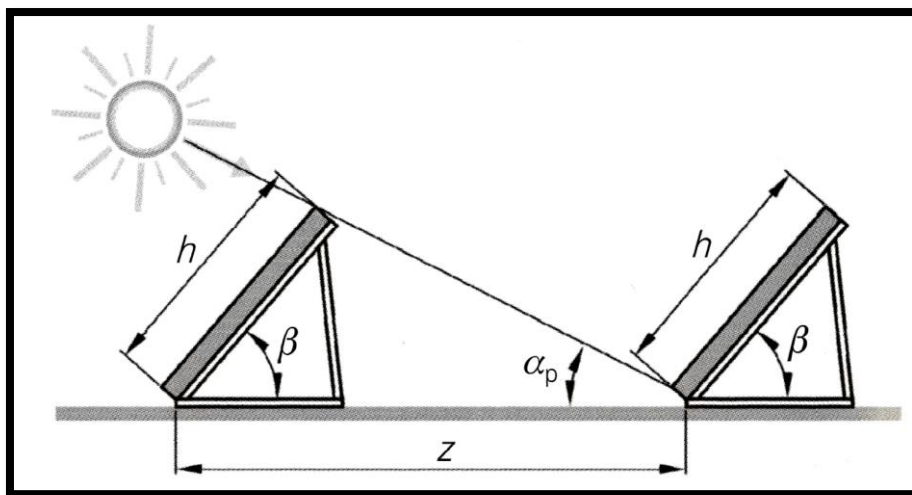
3.9 Размак између редова колектора

Ако се колектори уграђују на равне кровове или на слободну монтажу, треба одредити размак између редова колектора. Размак је потребан како би се избегла нежељена сенка код монтаже више редова колектора један иза другог, (слика 3.12).

За размак између редова колектора важи:

$$\frac{z}{h} = \frac{\sin(180^\circ - (\alpha p + \beta))}{\sin \alpha p}$$

- z - размак између редова колектора, mm
- h - висина колектора, mm
- αp - угао висине сунца у подне, °
- β - угао нагиба колектора, °



Слика 3.12 Параметри размака између редова колектора

3.10 Поступци одржавања соларних колектора

Соларни колектори предвиђени су да раде на отвореном простору у свимвременским приликама. Пошто немају покретне делове, соларни колектори се ретко квареали је ипак потребно периодично и превентивно одржавање због продужетка експлоатацијеи ефикасности целог система [6].

У основне поступке превентивног одржавања колектора спадају:

- Основно одржавање од стране руковаоца,
- Превентивни периодични прегледи,
- Техничка дијагностика,
- Тражење и отклањање слабих места,
- Превентивне замене делова,
- Превентивне периодичне оправке,
- Поправљање и обнављање делова колектора и др.

4. ПЛОЧАСТИ КОЛЕКТОРИ

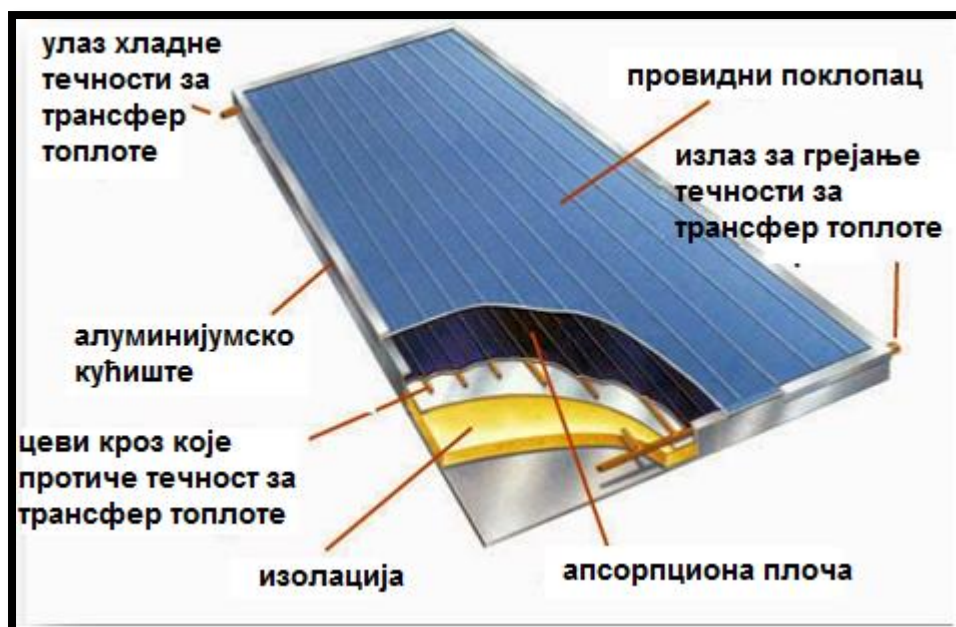
Плочасти (равни) колектори углавном се користе у системима за припрему потрошне топле воде и грејање простора. Обично се инсталирају на кров зграде окренути према југу и нагнути према хоризонтали. Угао нагиба колектора према хоризонтали потребно је изабрати тако да колектор буде најучинковитији у оном делу године кад је најпотребнија енергија коју колектор даје.

Обично се у нашим географским ширинама бира нагиб колектора од 35° до 45° и тако чини компромис којим се постиже да од пролећа до јесени колектор прима сунчеву енергију просечно 7 до 8 сати дневно. Ако је потребно да колектор буде учинковитији зими, а мање учинковит лети, треба га поставити стрмије. Чак и вертикално постављен колектор (нпр. на јужни зид зграде) може зими добро деловати. Ипак је најбоље према задатим условима прорачунати оптималан нагиб колектора. При избору врсте колектора не сме се заборавити економичност, па је потребно наћи компромис између учинковитости и цене колектора. При томе је потребно узети у обзир не само цену колектора него и цену читавог система. Соларни колектор је један од најважнијих делова соларног система за припрему потрошне топле воде и/или грејања. Соларни колектор је најједноставнији уређај за претварање сунчеве енергије у топлотну. Технологија израде колектора већ је потпуно усвојена, аутоматизована и колектори се производе у великим серијама широм света.

Главни саставни део плочастог колектора је бакарни апсорбер обложен решетком титаном који гарантује високо упијање краткоталасног сунчевог зрачења и ниску емисију дуготаласног топлотног зрачења. На апсорберу се налази бакарна савијена цев са интегрисаним сабирним водовима кроз коју струји топлотни флуид.

Топлотни флуид преузима топлоту од апсорбера преко бакарне цеви и одводи је до резервоара. Апсорбер је окружен добро изолованим кућиштем колектора чиме се постижу минимални топлотни губици колектора. Топлотна изолација високог степена квалитета отпорна је на високе температуре. Колектор се покрива стакленом плочом с малим садржајем челика, чиме се повећава трансмисија сунчевог зрачења.

Слика 4.1 детаљно приказује саставне делове плочастог колектора код његове монтаже односно демонтаже. Та слика можеда послужи и при самосталној градњи соларних колектора, на пример ако се жели показати које су то главне компоненте соларног плочастог (равног) колектора и како то соларни колектор загрева воду, односно радни флуид који преноси топлотну енергију до резервоара топлоте[7].



Слика 4.1 Саставни делови колектора

Саставни делови равног застакљеног колектора су:

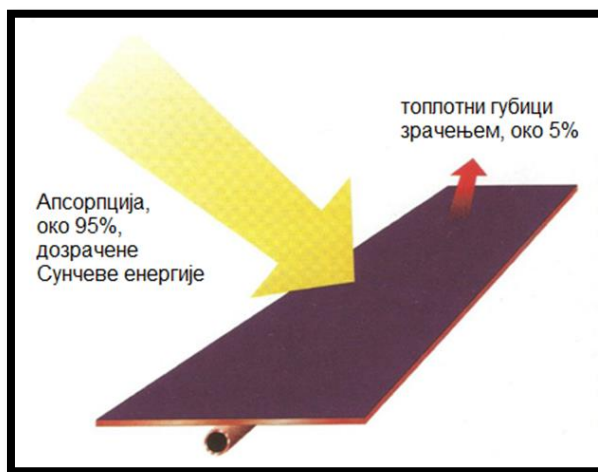
- кућиште (од AL профила),
- термоизолација (минерална вуна дебљине 50mm),
- апсорбер (од AL лемела кроз које су провучене бакарне цеви),
- стаклени покривач дебљине 4mm и
- рам колектора (од AL профила).

Плочасти колектори имају трајно заптивање и високу стабилност због околног алуминијумског оквира и директно изведеног заптивања плоче. Задња страна је сигурна од пробоја и отпорна на корозију. Брзо и сигурно прикључење плочастих колектора омогућава флексибилни утични конектор од спиралне цеви која је од племенитог челика и заптивена О-прстеновима.

Прикључни сет причвршћеног спојницама са прстеном омогућава једноставан спој колекторског поља са цевоводом соларног круга. У улазни вод соларног круга преко сета урањајућих чаура монтира се сензор температуре колектора.

Улога колектора боље речено апсорбера је обављање неколико важних функција. Прво и најважније да апсорбер што боље апсорбује соларну

енергију, да има што мање топлотне губитке и што бољи пренос топлоте са апсорбера на радни флуид (Слика 4.2).



Слика 4.2 Апсорпција и губици код соларног колектора

Да би се смањили топлотни губици апсорбера, он се мора покрити. Најједноставнији материјал за покров је стакло, а осим стакла могу се користити и неке врсте пластичних материјала. Углавном колектори који се данас израђују имају стаклени поклопац, од 3 до 5mm дебљине. Обично би прозорско стакло нпр. дебљине 3 mm било најједноставније решење. Међутим ради смањења апсорпције, која је у прозорском стаклу релативно велика, за соларне плочасте топлотне колекторе користи се посебна врста стакла.

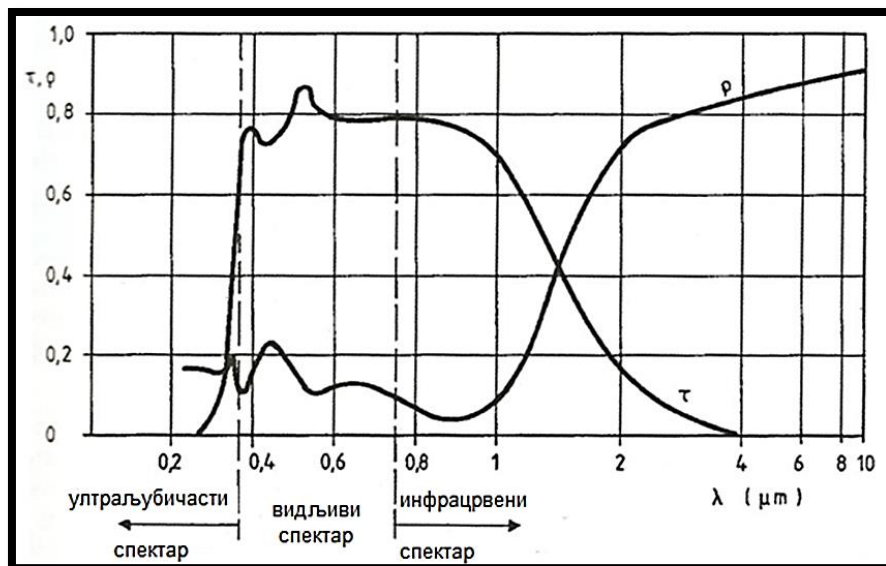
Материјал покрова треба имати што већи трансмисиони фактор за подручје сунчевог спектра, ($0,3 \mu\text{m} < \lambda < 2 \mu\text{m}$), а што мањи за топлотно зрачење које емитује апсорбер ($\lambda > 2 \mu\text{m}$). Стакло има управо таква својства, оно је пропусно (трансмисиони фактор τ око 0,9) за готово цео сунчев спектар, а непропусно (0) за инфрацрвено зрачење. Због тога сунчево зрачење на путу до апсорбера лако продире кроз стаклени поклопац, а инфрацрвено (топлотно) зрачење које емитује угрејани апсорбер не може изаћи из колектора него се апсорбује и рефлектује на стакленом покрову [9].

Трансмисиони фактор стакла у подручју сунчевог спектра ($0,3 \mu\text{m} < \lambda < 2 \mu\text{m}$) углавном је константан и износи око 0,8 - 0,9 (зависно од врсте и дебљине стакла). У инфрацрвеном подручју ($\lambda > 3 \mu\text{m}$) трансмисиони фактор је врло мали, па је стакло непропусно за инфрацрвено зрачење што повећава ефикасност колектора са стакленим поклопцем. За разлику од стакла пластична фолија обично нема тако добра оптичка својства и њен инфрацрвени трансмисионим фактор се мења зависно од таласне дужине. Слична својства имају и неки други пластични материјали.

Будући да је трансмисиони фактор $\tau = 1 - \rho - \alpha$, материјал за поклопце треба имати што мањи рефлексни фактор ρ и што мањи апсорпцијски

фактор α . Рефлексиони фактор зависи од индекса лома и он је мањи што је индекс преламања мањи.

Ради осигурања довољне механичке чврстоће обично се узима мало дебље стакло, нпр. 4 до 5 mm, међутим оно тада смањује трансмисију. Слика 4.3 приказује зависност фактора рефлексије и фактора трансмисије од таласне дужине зрачења за покров колектора од стакла.

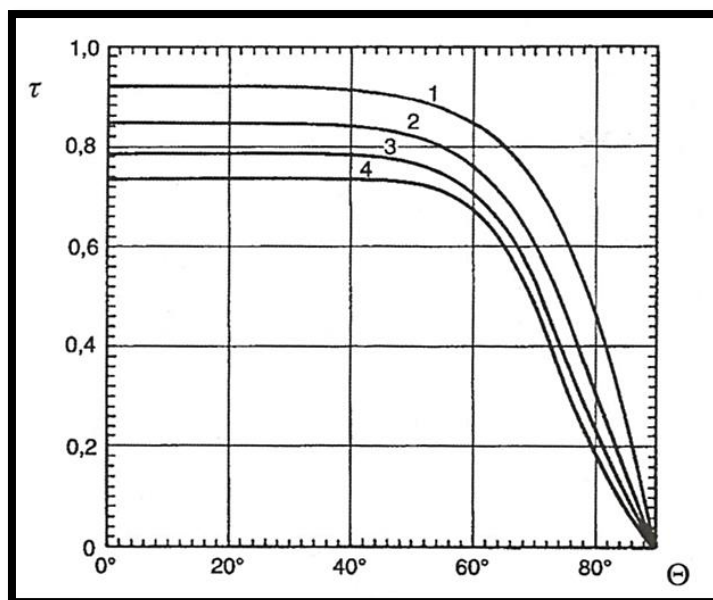


Слика 4.3 Зависност фактора рефлексије и фактора трансмисије од таласне дужине зрачења за покров стакленог колектора

Сунчево зрачење након пролаза кроз поклопац уз претпоставку да нема апсорпције износи τG . Коефицијент трансмисије стакла зависи од угла упада сунчевог зрачења. Слика 4.4 приказује зависност коефицијента трансмисије од угла упада за стакло индекса рефлексије 1,526 уз занемарујућу апсорпцију стакла.

Апсорбер упија део тока сунчевог зрачења $\tau \alpha G$ (коефицијент апсорпције практично је независан од угла упада сунчевих зрака) док се остали део $(1 - \alpha)\tau G$ поново враћа на стакло под већим упадним угловима ради расејања на површини апсорбера.

Апсорпција у стаклу зависи од врсте (састава) стакла и од дужине пута сунчевог зрака кроз стакло. При томе је посебно важан садржај гвожђе (III) - оксида (Fe_2O_3) у стаклу. Обично прозорско стакло дебљине 2 mm има коефицијент апсорпције око 3%, а 5% ако је дебело 3 mm. Стакло с врло малим процентом гвожђа има врло малу апсорпцију, па трансмисија готово не зависи од дебљине. Укупни трансмисијски фактор двоструког покрива умножак је трансмисионих фактора за сваки поклопац (стакло) [15].



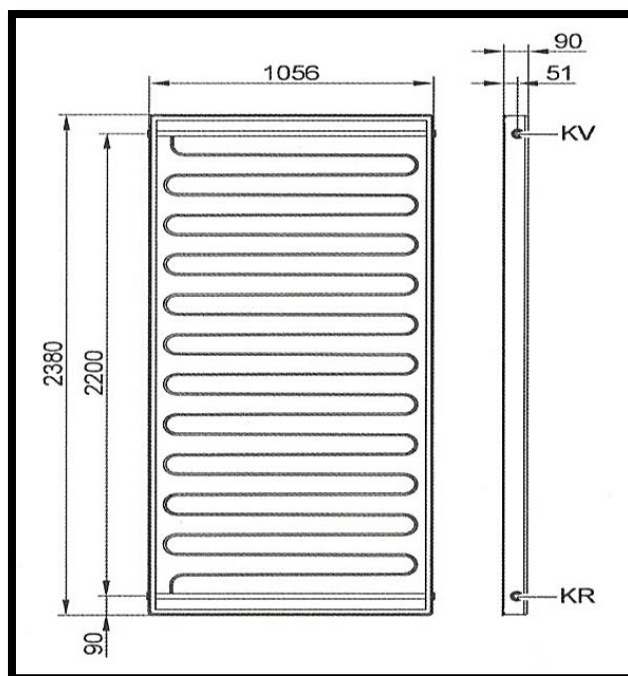
Слика 4.4 Зависност фактора трансмисије стакла од упадног угла зрачења за покров колектора са једним до четири стакла

Апсорбер је најлакше направити тако да се метална плоча нпр. челична, бакарна или алуминијумска премаже одговарајућом црном бојом. С друге стране плоче налазе се бакарне цеви кроз које струји грејни флуид који преузима топлоту из колектора. Топлотни контакт између цеви и плоче треба бити што бољи да би се пренос топлоте остварио што лакше и брже.

Ефикасност колектора може се повећати употребом селективних апсорбера који добро апсорбују краће таласне дужине (тј. оне које преовлађују у сунчевом зрачењу), а слабо емитују дуже (инфрацрвене) таласне дужине које емитује загрејани апсорбер. Тако се једнаком озраченошћу постиже јаче загревање него код неселективних апсорбера.

Пренос топлоте из апсорбера зависи од израде колектора, врсте и брзине струјања радног флуида. Типична је брзина струјања у колекторима са течномшћу 0,01-0,03 kg/s, а у ваздушним колекторима 10 - 20 kg/s по m^2 колектора [9].

Бруто површина колектора је површина коју добијемо када спољну дужину помножимо са ширином колектора. Та је површина одлучујућа код многих развојних програма и код захтева за подстицајна средства. Површина апсорбера означава селективно напуњену површину, тј. активну површину размене топлоте. Отворена површина највећа је пројектована површина кроз коју може проћи сунчево зрачење.

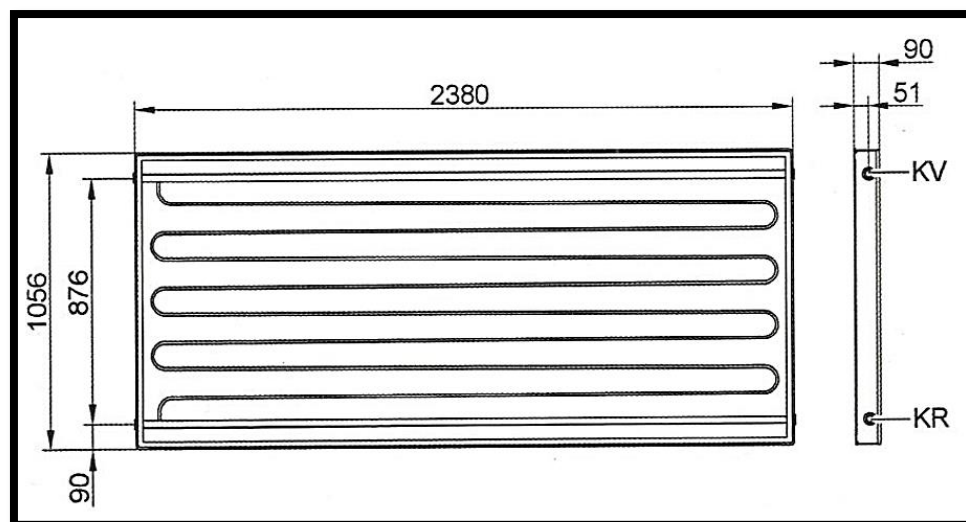


Слика 4.5 Повратни (KR) и полазни (KV) прикључак код вертикалног плочастог колектора

Плочасти су колектори високоефикасни колектори који се користе за загревање потрошне топле воде, воде за грејање и воде базена преко размењивача топлоте. Такође се користе за производњу процесне топлоте. У новије време плочасти колектори дају топлотну енергију генератору апсорпцијског расхладног уређаја за десорпцију радне материје.

Слика 4.5 приказује положај полазног (KV) прикључка соларног круга односно загрејаног топлотног медија или топле воде, као и повратног (KR) прикључка односно охлађеног топлотног флуида или топле воде након предаје топлотне енергије резервоару топлоте код вертикалног плочастог колектора.

Слика 4.6 приказује положај прикључака код хоризонталног плочастог колектора. Обично се може спојити до 10 колектора паралелно у једно колекторско поље.



Слика 4.6 Повратни (KR) и полазни (KV) прикључак код водоравнога плочастог колектора

5. ВАКУУМСКИ СОЛАРНИ КОЛЕКТОРИ

Вакуумски соларни колектори превазилазе плочасте соларне колекторе при готово свакој употреби за грејање воде. Разлика заиста долази до изражаја када се користе за климатизацију, грејање или индустријску употребу. За потребе у домаћинствима вакуумски соларни колектори се најчешће користе за грејање санитарне воде или испомоћ грејању (Слика 5.1).

Вакуумски соларни колектори могу много лакше достићи високе температуре које су потребне од равних плочастих колектора, они могу да сакупе и задрже топлоту чак и када је веома хладно напољу, а због своје високо ефикасне конструкције сакупљају сунчеву топлоту знатно равномерније током дана. Вакуумски соларни колектори се састоје из: вакуумских цеви, бакарне главне цеви, бакарних грејних цеви, алуминијумског кућишта, изолације од стаклене вуне, и рама од нерђајућег челика.



Слика 5.1 Вакуумски соларни колектор

5.1 Вакуумске цеви

Вакуумске цеви се праве од ниско емисионог боросиликатног стакла (стакла са веома ниским садржајем гвожђа које има супериорну дуговечност и отпорност на топлоту) и пресвучени су AL/N или AL слојем, који омогућава искоришћење комплетног спектра сунчевог зрачења за генерисање топлоте.



Слика 5.2 Двослојно изолована вакуумска цев

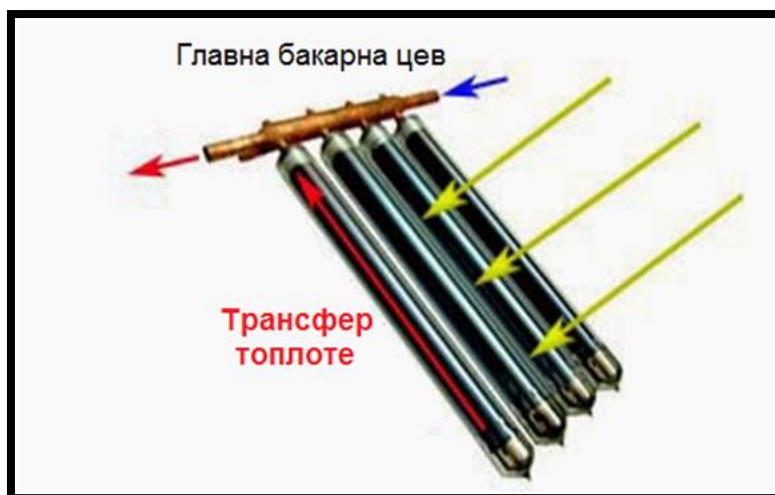
На тај начин се добија већа топлотна искоришћеност током сунчаних дана али такође се добија и висока ефикасност и по облачним и полуоблачним временским условима. Цеви се састоје од два слоја стакла и вакуума између њих. Кружни пресек вакуумске цеви омогућава да Сунце, на свом путу од истока ка западу, увек греје половину површине цеви. То значи да сунчеви зраци падају под истим углом на површину цеви на изласку, у подне и на заласку Сунца. Температура у цеви може бити 250°C , а цев ће бити хладна на додир (имаће температуру средине у којој се налази). Из овог произилази да вакуумски колектори одлично раде и при хладном времену, што плочасти колектори нису у могућности због великих топлотних губитака. На дну вакуумске цеви, између зида унутрашње и спољне цеви, налази се баријумски чеп сребрне боје. Сребрна боја је индикатор да је цев неоштећена и да је вакуум присутан (слика 5.3). Уколико је дно цеви беле боје, то значи да је цев оштећена и да је између зидова ваздух а не вакуум. Ово омогућава да се лако и једноставно примети оштећена цев и треба је заменити. Замена цеви не подразумева прекид функционисања колектора [8].



Слика 5.3 Разлика исправне и неисправне вакуумске цеви

5.2 Главна бакарна цев

Цев је направљена од бакра јер је бакар одличан проводник топлоте а отпоран је на корозију. Вакуумске цеви се лако и једноставно уграђују у главну бакарну цев, што саму монтажу чини брзом и једноставном (Слика 5.4) [9].



Слика 5.4 Главна бакарна цев

5.3 Алуминијумско кућиште око главне бакарне цеви

Кућиште око главне бакарне цеви прави се од алуминијума како би се повећала издржљивост и одржала мала тежина соларног колектора (Слика 5.5)[9].

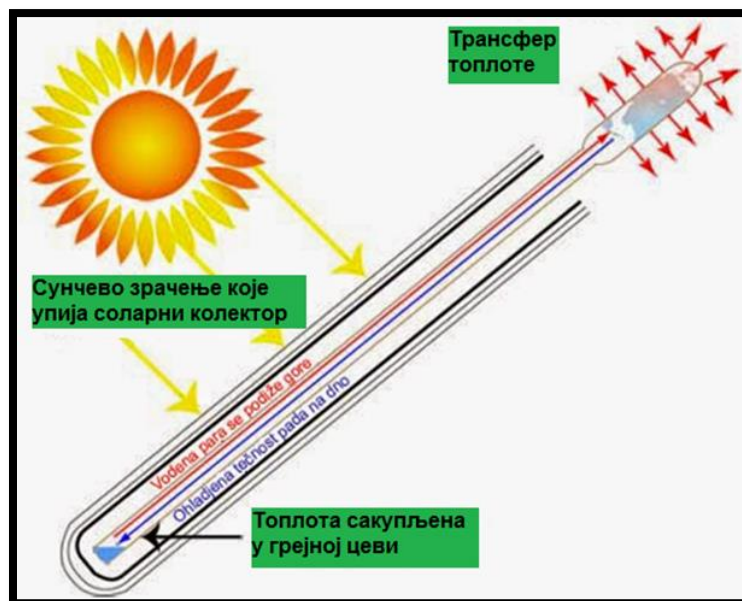


Слика 5.5 Алуминијумско кућиште

Мала тежина соларног колектора је битна због лакоће инсталације и смањења збирног притиска који треба кровна конструкција да издржи, ово посебно долази до изражаја када се монтира више соларних колектора. Главна бакарна цев обмотана је стакленом вуном и заштићена специјалном силиконском гумом, које могу издржати температуру и до 250°C.

5.4 Грејне цеви

Грејне цеви дозвољавају бржи трансфер топлоте. Сама грејна цев је од бакра, садржи вакуум и малу количину течности (Слика 5.6)[9].



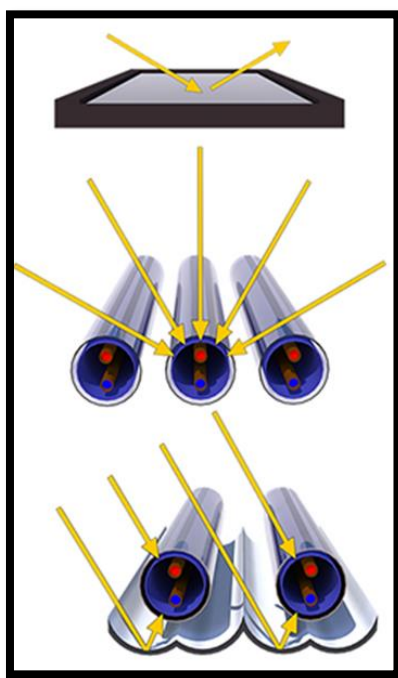
Слика 5.6 Грејна цев

Ввакуум у бакарној цеви значи да течност кључа на ниској температури (око 30°C), испарава и преноси топлоту на главну бакарну цев кроз коју протиче течност за трансфер топлоте. Потом се поново кондензује течност, враћа се на дно грејне цеви и процес се понавља. Грејне цеви се праве од бакра у коме нема кисеоника, бакра велике чистоће, а ово је битно да би се осигурала дуговечност грејних цеви[9].

5.5 CPC Вакуумски колектори

У новије време, да би се додатно повећала ефикасност вакуумских колектора, производе се CPC вакуумски колектори (Слика 5.7) који у полеђини имају огледало (рефлектор) које усмерава сунчеве зраке ка цеви. CPC колектори омогућавају ефикасније коришћење сунчевог зрачења и, у односу на класичне вакуумске колекторе, имају и до 30% већу ефикасност [10].

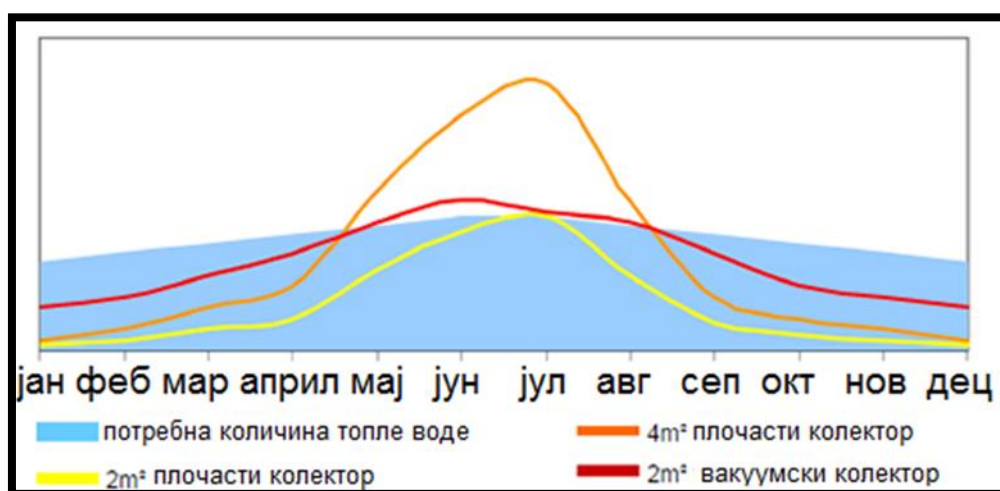
Овај колектор омогућава топлотне приносе и са задње стране колектора, а истовремено има мање губитке енергије. Вакуумски CPC колектори (Слика 5.8) мање зависе од оријентације соларног колектора пошто преко цеви и CPC огледала усмеравају сунчеву енергију директно на апсорбер. Тако ако се вакуумске CPC колекторе инсталирају на исток или запад они ће произвести око 80% енергије у односу на јужну оријентацију, док ће плочасти колектори произвести око 60% енергије [7].



Слика 5.7 CPC рефлектор



Слика 5.8 Вакуумски колектор са CPC рефлектором



Слика 5.9 Производња топлотне енергије плочастих и вакуумских колектора у току читаве године

На графикону (Слика 5.9) се види однос производње топлотне енергије плочастих и вакуумских соларних колектора у току читаве године. Соларни вакуумски колектор ће покрити потребе за топлотном енергијом у већем делу године. Плочасти колектор ће произвести довољно енергије лети, док ће производња у пролеће, јесен, а нарочито зими, бити значајно мања од вакуумског колектора.

6. СОЛАРНИ СИСТЕМИ ЗА ГРЕЈАЊЕ ТОПЛЕ ВОДЕ

Соларни систем за загревање воде састоји се од соларног колектора (или више њих), резервоара топлоте (топлотно изоловани бојлер са регулаторима топлоте) и остале опреме (пумпе, термостата, цеви, итд.).

Соларни колектор енергију сунчевог зрачења претвара у топлотну енергију која се преноси на цеви и греје воду која пролази кроз њих. Загрејану воду притисак одводи у резервоар где се топлотна енергија акумулира. Важно је да резервоар буде добро изолован и на топлијем месту јер се тако смањује губитак енергије. Температура у колектору зависи од годишњег доба и количине сунчевог зрачења на том подручју. Током просечног сунчаног летњег дана температура у колектору достиже од 60°C до 80° C. За време хладног, али сунчаног зимског дана температура буде од 50° C до 65° C, док током топлог и облачног дана буде од 20° C до 30° C, а облачног и хладног од 10° C до 15° C. Док је температура у колектору већа од температуре која долази у колектор, штеди се енергија. Топла вода загрејана у колектору користи се у домаћинству уобичајено за прање посуђа, веша, купање и туширање.

За потребе једног домаћинства довољан је мањи соларни систем који се састоји од колектора површине 2 m² - 6 m² и резервоара за воду запремине 200 - 300 L. Међутим, исплати се инсталирати и већи систем од нпр. 10 m² до 12 m² површине колектора са резервоаром од 750 до 1000 L. Такав систем може и зими акумулирати довољно енергије да се може спојити на систем централног грејања тако да је могуће загревати и простор, нарочито ако је објект добро изолован и постоји додатни енергент нпр. дрво (биомаса), гас или слично. Овакав начин грејања зове се активно соларно грејање и знатно може смањити рачун за грејање.

Табела 6.1 Оптимална величина система за соларно грејање према величини објекта.

Величина куће	100 m ²	150 m ²	200 m ²	300 m ²
Површина колектора	16 m ²	20 m ²	24 m ²	32 m ²
Запремина бојлера	300 l	500 l	500 l	1000 l
Цена опреме €	3720	5292	5892	8280

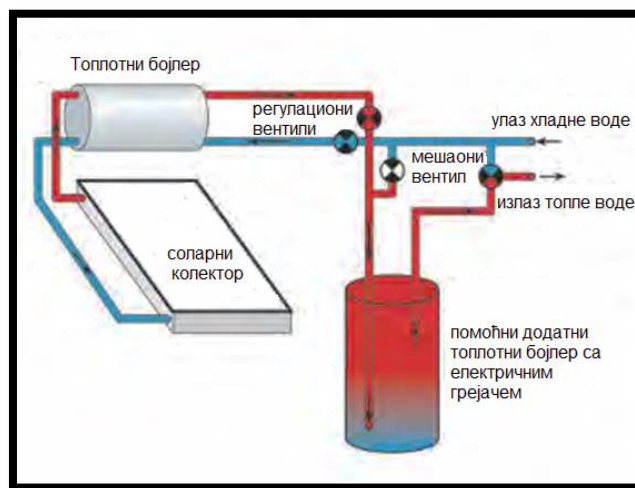
Постоје два основна типа соларних система за грејање топле воде и то су:

- Систем са термосифонским ефектом
- Колекторски систем са регулацијом

6.1 Систем са термосифонским ефектом

Најјефтинији соларни системи раде на принципу пасивног система без пумпи или других покретних делова, користећи феномен познат као термосифонски ефекат (Слика 6.1). Ток течности за провођење топлоте се ствара уз помоћ природних температурских разлика. У систему се уводи хладна вода која пуни цеви и резервоар до врха. Сунце загрева воду која је унутар цеви плочастог колектора, а како се температура повећава, топла вода се природно креће до врха, где излази из колектора и пење се до резервоара са водом. С обзиром на то да вакуум не може настати у цевима, топла вода која је напустила панел замењује се хладном водом из резервоара. Целокупни процес ствара прилично елики проток од око 60 l/h. Овај ефекат се наставља све док је спољна температура виша од оне у резервоару и колектору. Када су спољне температуре ниже, нпр. током ноћи или када је облачно, долази до обрнутог ефекта [11].

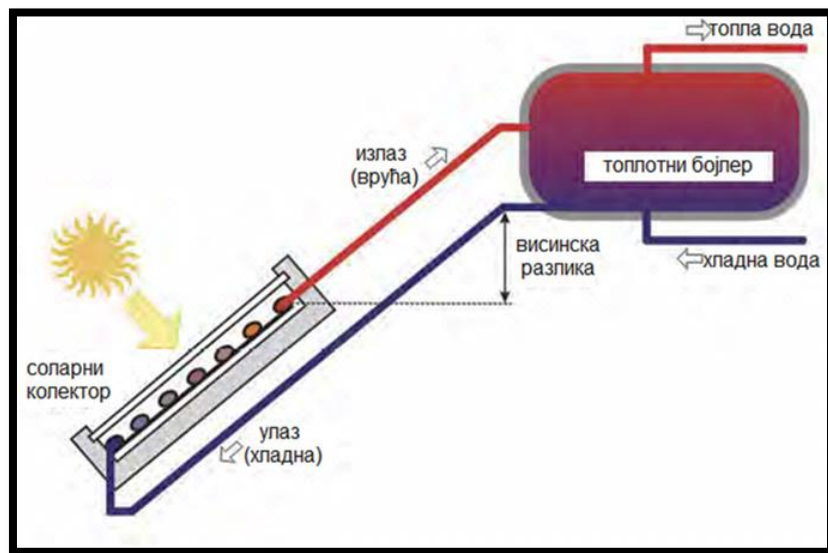
И поред губитака, термосифонски систем може да нас задовољи и са више него довољно топле воде при одговарајућим условима, а кружење радне течности између соларног колектора и резервоара (бојлера), обавља се уз природну циркулацију, тј. не постоје пумпе нити било какви други покретни механички делови.



Слика 6.1 Принципи термосифонског ефекта

Постоје два типа соларног термосифонског система:

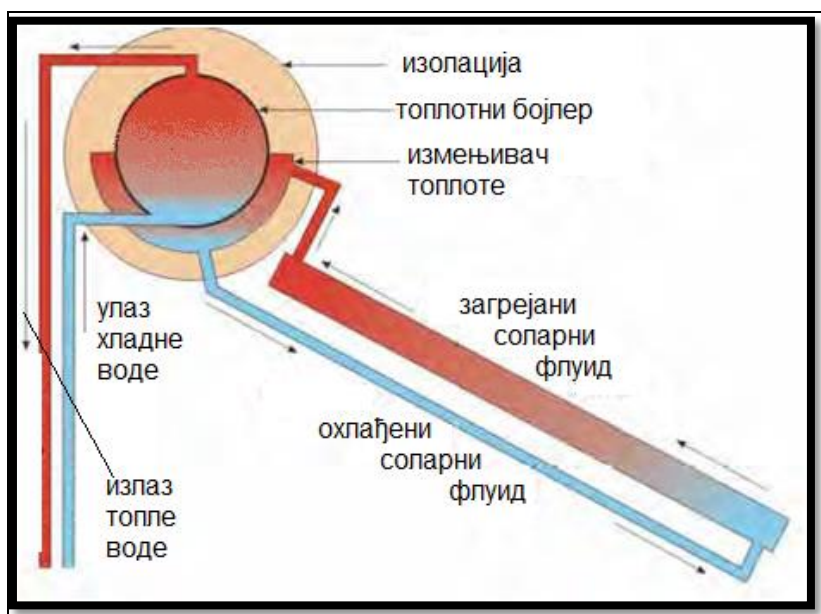
- отворени или директан систем - у систему се налази само вода (слика 6.2)
- затворени или индиректни систем - у систему се налази и вода и радни медијум, тзв. „соларни флуид“ (слика 6.3).



Слика 6.2 Директни-отворени термосифонски систем

Принцип рада за директни систем је следећи: тежа хладна вода се услед гравитације из резервоара спушта до соларног колектора, где се онда постепено греје, услед чега јој се смањује густина и постаје лакша и полако се подиже на горе, док истовремено на њено место долази хладнија вода из резервоара. Загрејана вода одлази у резервоар где делом своје топлоте греје и хладну воду у резервоару. Због разлике у густини, најтоплија вода се налази на врху, док се најхладније вода налази на дну. Теоријски, вода ће у систему кружити онолико дуго док се температура воде у резервоару не изједначи са температуром воде у соларном колектору. Ако се вода из резервоара троши онда у њега пристиже свежа количина воде из спољног извора (нпр. водовод, резервоар кишнице...).

Код директног система резервоар мора обавезно да се налази изнад соларног колектора, на одговарајућој висини, како би се избегло да систем током ноћних сати ради у „другом смеру“ и хлади воду из резервоара. Системи могу бити изведени са изолованим, али и са неизолованим топлотним резервоаром. Директни системи са неизолованим резервоаром обично се налазе на подручју где се не очекује смрзавање.



Слика 6.3 Индиректни - затворени термосифонски систем

У случају индиректног система, једина разлика је у томе што се у соларном кругу налази соларни флуид, који се загрејан у колектору диже до топлотног резервоара, где преко размењивача предаје топлоту води, при чему се хлади и поново враћа у колектор. Као соларна течност користи се гликол јер је неразградив и при високим температурама па не повећава притисак у систему. Код индиректног система, у односу на директни, осим што је отпоран на смрзавање, такође нема ризика од накупљања каменца или корозије, што код директног система може довести и до зачепљења колектора. Али, индиректни системи су скупљи, првенствено због компликованог извођења резервоара са размењивачем.

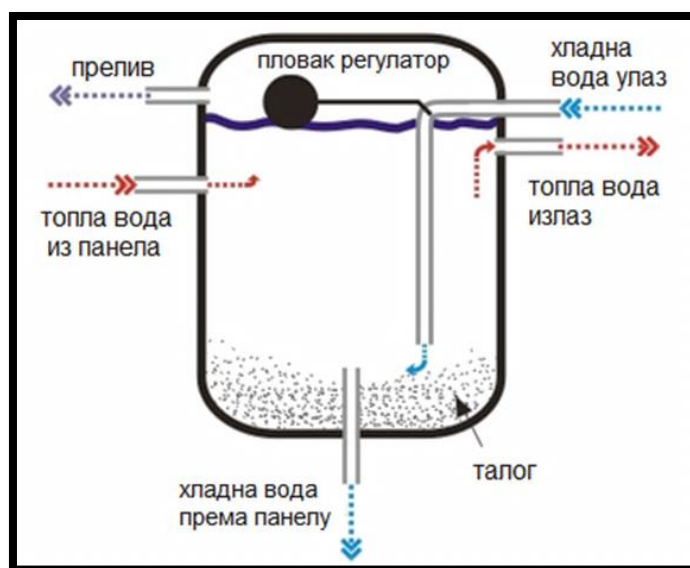
Основна предност соларног термосифонског система је та што за рад истог није потребан додатни спољни извор енергије, што га чини врло добрим решењем на местима где је вода доступна али не и присуство електричне струје или плинске мреже [11].

Ако се потроши већа количина загрејане воде из резервоара, при чему ће на њено место доћи хладна вода и укупна температура воде у резервоару ће опасти, па је потребно поново причекати неко време да се вода загреје. Како би се оваква ситуација избегла, могућа је комбинација са електричним грејачем, с којим се вода догрева на жељену температуру. Електрична енергија за електрични грејач, у потпуно аутономном систему, може се добити из фотонапонског или ветрогенераторског система.

При коришћењу било каквог система са природном циркулацијом постоји проблем расположивог пада притиска, односно, расположиви пад

притиска је мали. Зато, ако се базира цео систем само на природној циркулацији, исти мора бити пажљиво пројектован и изведен, тј. без пуно вентила, регулационих елемената и са одговарајућим пресеком цеви, у супротном систем неће исправно радити. Такође, недостаци који могу утицати на одлуку о улагању су и визуелни изглед објекта и ограничења при нижим температурама.

Друга важна ствар је знати како се управља термосифонским системом без употребе електронских уређаја. Изгледа прилично бескорисно имати систем без извора за воду која би га покретала. Морало би се константно систем пунити кантама воде, сваки пут када је потребна топла вода. Један од начина помоћу кога се може избећи пуњење резервоара сваки дан јесте да се споји са главним водоводним цевима које водом снабдевају домаћинство. Наравно, такав систем мора бити регуларан, да не би константно улазила хладна вода у резервоар и хладила топлу воду загрејану соларном енергијом. Најлакши начин регулисања је путем простог пловка регулатора. Овај регулатор минимизира доток хладне воде из главних водоводних цеви, а она помоћу њега одлази у доње делове резервоара, када је ниво воде посебно низак, како је приказано на слици (Слика 6.4).

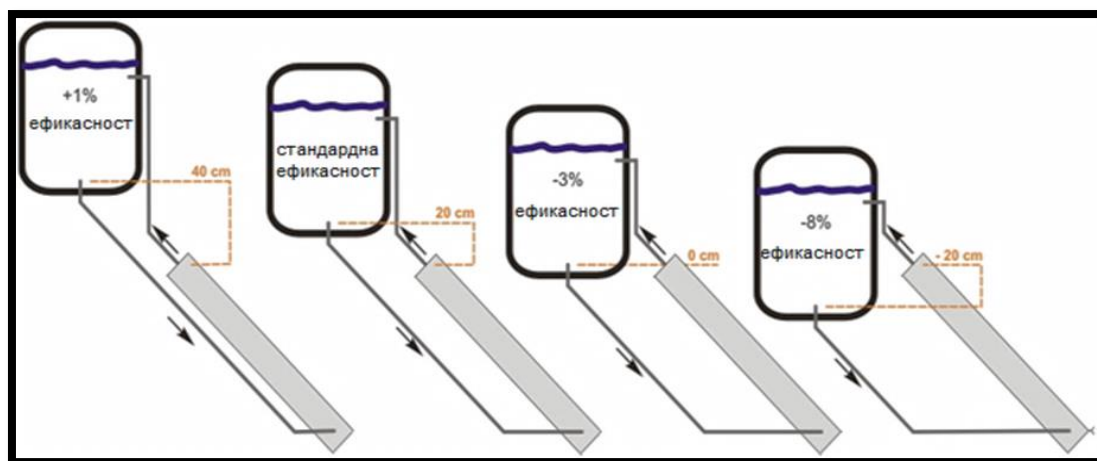


Слика 6.4 Пловак-регулатор за хладну воду

Када једном уђе у резервоар, хладна вода се задржава близу дна, а сав талог остаје на самом дну. Хладна вода из најнижих слојева може тећи ван резервоара у панел, док загрејана вода из панелног колектора улази при самом врху. Ако се у резервоару налази сувише воде, потребно је уградити цев да би та сувишна вода на безбедан начин отекла. Коначно, када се користи топла вода из резервоара, ниво воде опада, спуштајући пловак регулатор и омогућава доток нове, хладне воде у резервоар, тиме стартујући нови циклус.

За исправно инсталирање термосифонских соларних система треба водити рачуна и о следећем:

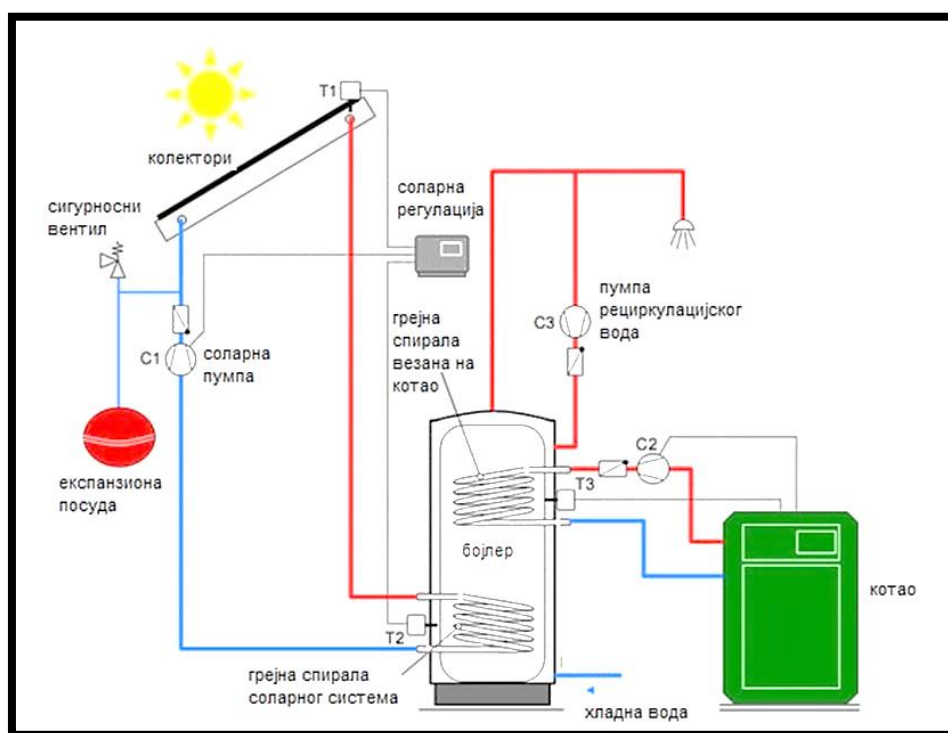
- Соларне системе је најбоље поставити према југу, непосредно испод бојлера за воду. Могућа је и западна или источна орјентација али ће се смањити ефикасност система за око 20%.
- Резервоар за топлу воду мора увек бити инсталиран изнад соларних колектора ради ефикасности као на слици 6.5.
- Средство против смрзавања (пропилен гликол) треба припремити тако да буде издржљив на -30°C.
- Ако резервоар за воду има електрични грејач, који по потреби аутоматски догрева воду, тада је тешко уочити евентуалне кварове у функционисању соларног система. Зато треба током лета периодично искључивати електрични грејач и проверити исправност система.
- Ако се рад електричног грејача на тајмеру ограничи на 17:00-23:00 сата, имаћемо додатну уштеду.
- Цеви које одводе топлу воду из колектора до бојлера морају бити изоловане да би умањили губитак топлоте до које ће доћи током 24 сата.
- Препоручује се коришћење пластичних цеви, које су отпорне на ниске температуре. Такође их је потребно изоловати због смањења топлотних губитака и додатне заштите од смрзавања.
- Четири недеље након инсталирања система мора бити урађена контрола функционисања соларних система, а после тога је неопходно вршити контролу једном годишње.
- Приликом инсталирања резервоара за топлу воду испод крова, мора се осигурати да нема грешака на спојевима и оштећења цевида не би дошло до цурења воде.
- Код ових система се не уграђује аутоматски вентил (одзрачно лонче)
- Сви цевоводи између соларних колектора и резервоара за воду морају се увек постављати без кривина на доле, иначе неће функционисати термосифонски систем.



Слика 6.5 *Побољшана ефикасност система се постиже издизањем резервоара*

6.2 Колекторски системи са регулацијом

Колекторски системи са регулацијом омогућавају аутономан рад, без учешћа човека, контролисан електронским додацима за аутоматску регулацију, опремљен пумпом, експанзионом посудом и резервоаром за топлу воду одговарајућег капацитета. Да би било јасније дат је шематски приказ на следећој слици (Слика 6.6).



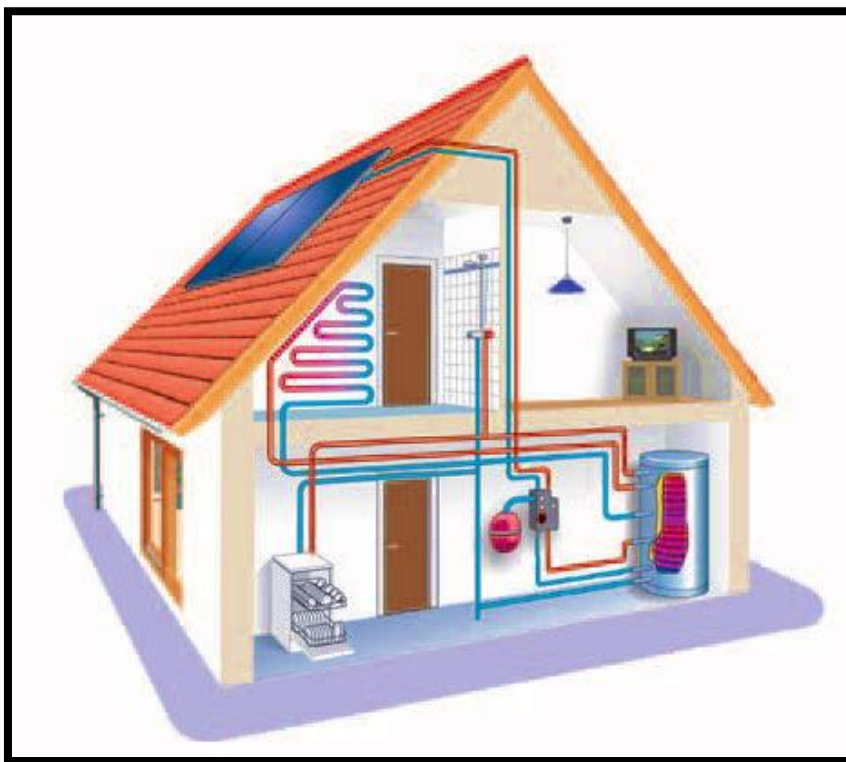
Слика 6.6 *Соларни систем за добијање топле воде са аутоматском регулацијом*

Бојлер је запремине 300 l (или више, до 2000 l) и има две грејне спирале (размењивача топлоте). Доња спирала је у систему соларног грејања, а горња у грејном систему централног грејања. Поред тога, бојлер има и могућност грејања воде електричним грејачем[18].

Мерење температуре у бојлеру се врши термоелементом T2 и T3. Када разлика температура термоелемената T1 (на колектору) и T2 (на спирали - размењивачу топлоте система) порасте на 12°C систем за аутоматску регулацију и контролу (соларна регулација) укључује пумпу и покреће се течност у цевоводима соларног грејања. Ова пумпа јетробрзинска и регулацијом рада пумпе подешава се проток преносног флуида кроз систем и усклађује се са препорученом брзином струјања.

Контролер соларне регулације се може поставити поред бојлера или неком другом месту погодном за очитавање и контролу, нпр. у купатилу или ходницима.

Најбоље место за постављање бојлера велике запремине је у близини водоводних инсталација и поред постојећег система централног грејања. На тај начин се смањују губици на цевоводима и могуће је комбиновати соларно и грејање, било на чврсто гориво, електричну енергију, пелет или гас [12].



Слика 6.7 Систем грејања помоћу соларних колектора

Главне компоненте једног соларног система за грејање воде су:

- соларни колектор (плочасти или вакуумски)
- соларни бојлер
- соларна пумпна група
- соларна аутоматика

Остале компоненте:

- експанзиона посуда
- соларни флуид
- кровни носачи
- термостатски вентил за мешање топле и хладне воде
- флексибилне прикључне изолиране цеви

6.2.1 Соларни бојлер**Соларни бојлери се деле на:**

- моновалентне - са једним размењивачем топлоте и
- бивалентне - са два размењивача топлоте.

Бивалентни се такође назива комбиновани соларни бојлер, јер садржи комбинацију коришћења соларне енергије, електричне енергије и енергије која се користи за покретање грејног система куће (топлотна пумпа, гасно гориво, чврсто гориво, пелет, течно гориво...).

Комбиновани соларни бојлери са комбинацијом коришћења више врста енергија, код којих је соларна енергија главни вид енергије, представља веома

савремен и штедљив начин за грејање и складиштење топле санитарне воде, елиминишући на тај начин постојање више мањих класичних бојлера, такође доносећи уштеду због могућности грејања санитарне воде само на једном месту. Такође, исти соларни бојлер, пружа могућност за коришћењем неке од других конвенционалних енергија повезивањем на централни грејни систем, задржавајући и даље могућност електро догревања у веома ниском проценту.

Као изолација, користи се полиуретанска пена. На пример на бојлеру од 300 l дебљина пене је 75 mm. Размењивачи су емајлирани висококвалитетном бојом и на тај начин ефикасно заштићени од корозије. У бојлеру се такође налази и анода као додатна заштита против корозије. Запремина оваквих бојлера је најчешће од 150-2000 l.

Табела 6.2 Запремина комбиновани соларни бојлери

Запремина	300 l	400 l	600 l
Тежина	154 kg	187 kg	260 kg
Потрошња енергије у мировању 24 h pri 65 °C	1,9 kWh	2,2 kWh	2,9 kWh
Категорија енергетске ефикасности	C	C	C
Макс.препоручена површина отвора за колектор	6 m ²	8 m ²	12m ²
Површина размењивача горњи	1,1 m ²	1,3 m ²	1,8 m ²
Површина размењивача доњи	1,5 m ²	1,7 m ²	2,5 m ²
Запремина размењивача горњи	6,7 l	8 l	14,8 l
Запремина размењивача доњи	9,2 l	10,4 l	21,2 l
Пречник прирубнице	210 mm	210 mm	210 mm
Висина уређаја када је нагнут	1820 mm	1995 mm	1965 mm
Дебљина топлотне изолације	75 mm	75 mm	80 mm

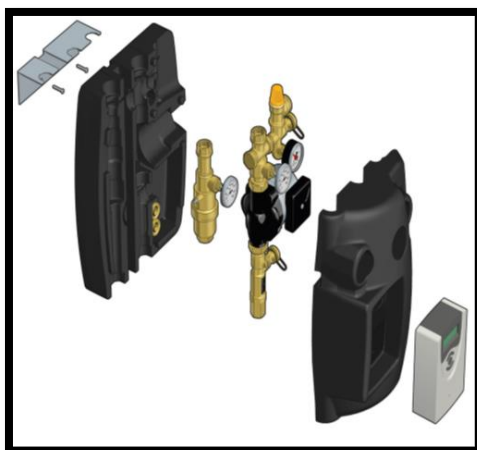
6.2.2 Соларна пумпна група

Соларна пумпна група обједињује више битних елемената и задужена је за проток топлотног медија унутар соларног круга.

Циркулацијске групе се користе у примарним круговима соларних система за регулацију температуре унутар соларних бојлера. Пумпа унутар циркулацијске групе се активира сигналом из регулатора. Осим тога, у групи се налазе и сигурносни уређаји, те уређаји који се брину за оптимално функционисање соларног круга. Групе се раде у изведби за спајање на полазни и повратни вод и у изведби само на повратни вод. Неке изведбе група су опремљене с дигиталним регулатором за соларне системе, који је погодан за управљање и контролу над 9 различитих типова соларних система(Слика 6.8 и Слика 6.9)[14].

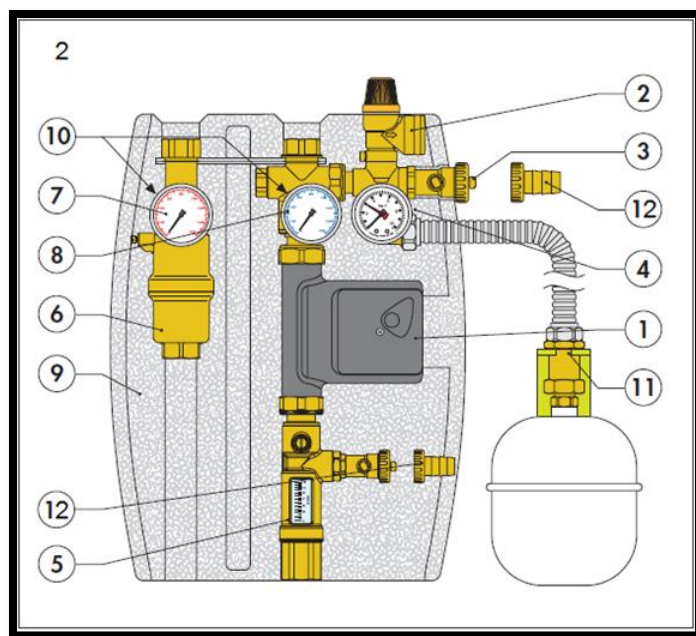


Слика 6.8 Различити типови соларних пумпних група



Слика 6.9 Растављена пумпна група

Материјал које преовладава у овој компоненти је месинг. Препоручене течности су вода и гликол (максимална густина 50%). Максимална радна температура: -110 до 160°C. Максимални радни притисак: 10 бара. Подручје радне температуре сигурносног вентила: -30 до 160°C. Подручје радне температуре неповратног вентила: 30 до 160°C. Подручје радне температуре показивача протока: -10 до 110°C. Тело показивача протока: 1-13 l/min. Прецизност показивача протока: $\pm 10\%$. Скала манометра: 0 до 10 bar. Скала термометра: 0 до 160°C.

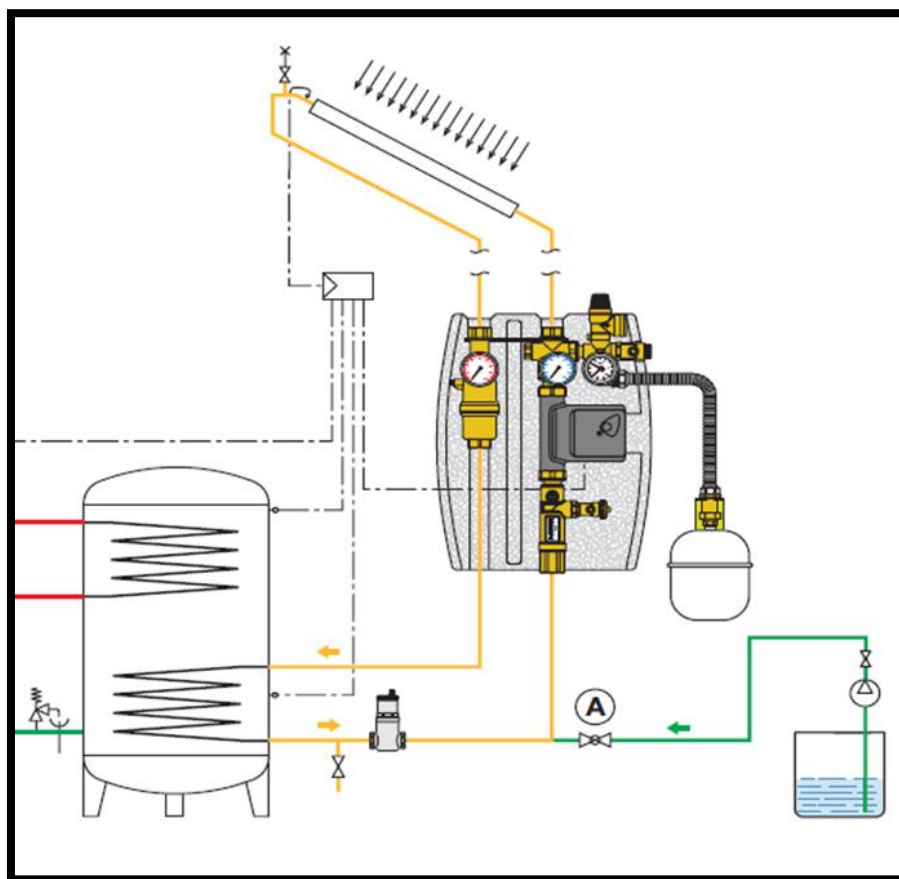


Слика 6.10 Карактеристичне компоненте

Соларна пумпна група се састоји од (Слика 6.10):

- Циркулациона пумпа
- Сигурносни вентил за соларне системе с подесивим изливом
- Славина за пуњење/пражњење
- Спојни прикључак с манометром
- Регулатор протока с мерачем
- Ручни одзрачни вентил

- Термометар на полазу
- Термометар на поврату
- Изолација
- Запорни вентил с уграђеном неповратном клапном
- Прикључак за спајање експанзионе посуде (опција)
- Наставак за црево



Слика 6.11 Шематски приказ пуњења инсталације

6.2.3 Соларна аутоматика

Један од основних задатака аутоматике је праћење температуре у колектору и бојлеру. Када постоји довољна количина соларног зрачења аутоматика укључује циркулациону пумпу за пуњење бојлера. У супротном, на основу аутоматике се одређује када је потребан додатни извор топлоте. Она је неопходна за правилан и самосталан рад система. Упореджује температуре воде у колекторима и соларном бојлеру и само ако је температура воде у колекторима виша од температуре воде у бојлеру систем ради. На овај начин се акумулира топла вода у соларном бојлеру. У случају да нема Сунца или ноћу, систем не треба да ради јер би се на тај начин охладила загрејана вода у соларном бојлеру. Овим начином систем ради аутономно и поуздано, тј. без интервенције човека (Слика 6.12)[14].

Соларни топлотни системи морају се опремити елементима за аутоматску регулацију због:

- исправног рада целог система,
- прилагођавања задатим условима.



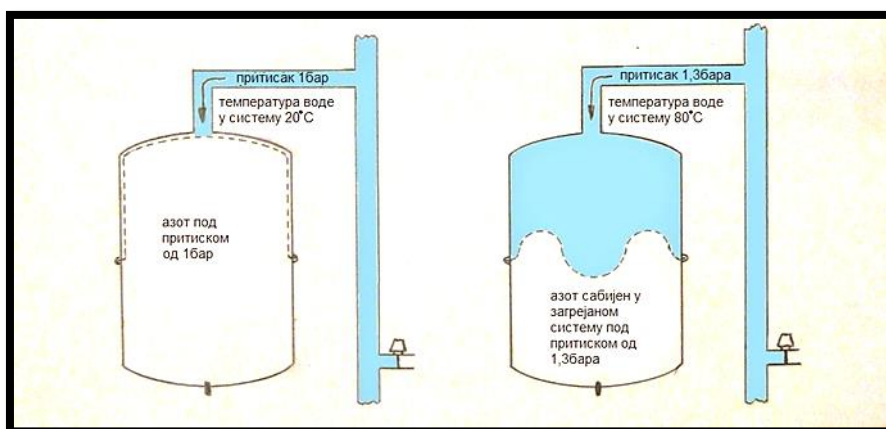
Слика 6.12 Соларна аутоматика-Диференцијални термостат

6.2.4 Експанзиона посуда

Експанзиона посуда служи као сигурносни вентил система. У систему се може развити висок притисак и температура. Експанзионе посуде намењене су преузимању вишка притиска у затвореном систему централног грејања, систему санитарне воде или соларном систему. Приликом загревања течности у затвореним системима, течност повећава своју запремину. То ширење за последицу има повећање притиска у систему те долази до преливања течности из система у експанзиону посуду. Посуда садржи мембрану, а с друге стране је напуњена азотом. Пошто се притисак шири, делује на мембрану, која се потискује и тако држи изједначен притисак воде у цевима система на који је инсталирана. Хлађењем течности, притисак попушта, а азот се декомпримира и тако тера воду назад у цев. Све се то дешава без присуства ваздуха, па се спречава корозија унутар експанзионе посуде. На слици 6.13 су приказане разне експанзионе посуде, док је на слици 6.14 приказан пример рада експанзионе посуде [19].



Слика 6.13 Разне експанзионе посуде



Слика 6.14 Пример рада експанзионе посуде

6.2.5 Соларни флуид

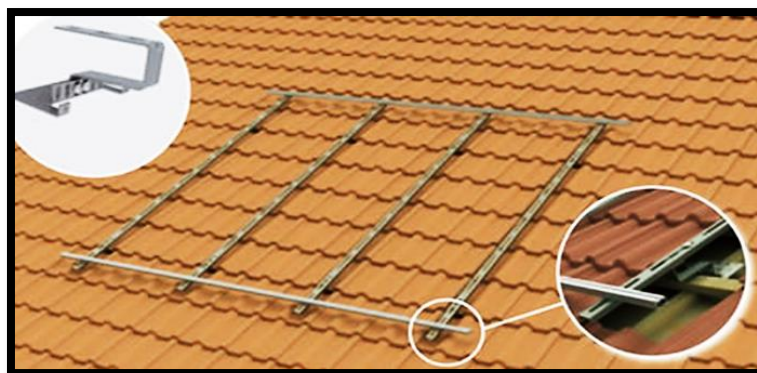
Соларни системи су намењени за целогодишњи рад те се томе морају прилагодити сви делови система. Да би се соларни систем зими заштитио од смрзавања, обавезно је уместо воде у систем ставити мешавину воде и пропилен-гликола (неотровног антифриза). Ту мешавину називамо још и соларни флуид. Пре се користио етилен-гликол, а сада све више мешавине пропилен-гликола ради његових еколошких својстава. Однос мешања гликола и воде треба прочитати на сваком паковању гликола, те према томе заштити инсталацију до жељене температуре [14].

6.2.6 Кровни носачи

Приликом монтаже на коси кров (слика 6.15) колектор се поставља без икаквих измена на постојећем крову, уз помоћ одговарајућих кровних носача. Кровни носачи се учвршћују на кровну конструкцију затим се на њих постављају колекторске шине за постављање плочастог или цевног колектора. Само спајање врло је једноставно и флексибилно захваљујући систему учвршћења „опруга-вијак”.

Постоји више врста кровних носача:

- тип Р за стандардни цреп
- тип S за цреп бибер, таласасти цреп и теголу
- кровни носач са продужним вијком за остале типове кровова



Слика 6.15 Пример постављања носача на крову

6.2.7 Термостатски вентил за мешање топле и хладне воде

У зависности од соларног зрачења, температура у резервоару у соларним системима може значајно варирати, и може достићи врло високе вредности током дужег временског периода. У лето, у случају мале потрошње, топла вода на излазу резервоара заправо може постићи температуру од око 90 °C. При тим температурама, топла вода се не може директно користити због опасности од опекотина.

Термостатски вентил (Слика 6.16) за мешање топле и хладне воде користи се за заштиту од опекотина при производњи и коришћењу потрошне топле воде. Дизајниран је да одржава задату температуру мешане воде која се испоручује кориснику, када постоје варијације у температури и притиску долазне топле и хладне воде. Може радити при врло високим температурама долазне топле воде из соларног резервоара [14].



Слика 6.16 Мешаони вентил

7. Закључак

Човечанство ће у блиској будућности морати да пронађе еколошки прихватљивије изворе енергије којима ће покривати своје енергетске потребе. Тренутно се као еколошки прихватљиво решење нуде обновљиви извори енергије, али ипак није реално очекивати да ће се ти извори енергије довољно развити и комерцијализовати да у некој већој мери задовоље растуће енергетске потребе човечанства.

Соларна енергија смањује зависност од фосилних горива, њеном применом се смањује загађење ваздуха и тако се бори против глобалног загревања. У неким земљама субвенције државе значајно утичу на пораст коришћења соларне енергије, што је један вид смањења загађивања животне средине.

Соларни системи за грејање топле воде су веома исплативи. Цена опреме соларног система за породичну кућу креће се од 1 500 € па навише, а зависи од намене система и постојећег стања. Уз тренутни тренд раста цена енергената, обрачун потрошене енергије у домаћинству све више ће ићи у прилог коришћењу енергије сунца коришћењем соларних колектора.

Што се тиче исплативости система, бројке којима баратамо су од 4 до 8 година. Ако се узме у обзир да је век трајања соларног система више од 25 година, онај ко се одлучи да већ данас угради соларни систем наћи ће се на правој страни, како у еколошком тако и економском смислу.

Литература

- [1] http://www.appropedia.org/Compound_parabolic_concentrators [Преузето 15.7.2017.]
- [2] Милош Николић.: "Обновљиви извори енергије", Природно математички факултет, Универзитет у Нишу, 2004.
- [3] S. A. Kaligirou, Solar Thermal Collectors and Applications, Progress in Energy and Combustion Science 30 (2004) 231-295
- [4] Наталија Диковић. "Енергија сунца", pptx [Преузето 15.8.2017.]
- [5] Др Небојша Лукић, др Милун Бабић, *Соларна енергија*, Монографија, Машински факултет у Крагујевцу, 2008
- [6] <file:///C:/Users/Private/Desktop/rad/SOLARNA%20ENERGIJA%20%20SEMINARSKI%20RAD%20IZ%20ELEKTRONIKE%20%20ELEKTROTEHNIKE.html> [Преузето 14.08.2017]
- [7] <http://energija-sunca.blogspot.rs/2015/02/kako-rade-plocasti-solarni-kolektori.html> [Преузето 14.08.2017]
- [8] <http://www.solarni-kolektori.net/vakuumske-cevi/> [Преузето 18.7.2017.]
- [9] <http://energija-sunca.blogspot.rs/2015/02/kako-radi-vakumski-solarni-kolektor.html> [Преузето 14.08.2017]
- [10] <http://www.solarni-kolektori.co.rs/> [Преузето 14.6.2017.]
- [11] <http://www.zelenaenergija.org/clanak/sto-je-to-solarni-termosifon-sustav/4417> [Преузето 12.08.2017]
- [12] <http://www.feman.co.rs/solarni-kolektor> [Преузето 14.08.2017]
- [13] Duffie J.A and Beckman W.A., *Solar Engineering of Thermal Processes*, Second Edition, Wiley-Interscience, New York, 1991.
- [14] <http://www.centrometal.hr/wp-content/uploads/2012/05/SOLARNI-SUSTAVI-2013.pdf> [Преузето 13.08.2017]
- [15] Focus Technology Company Ltd, China (2012): "Evacuated Tube Collector". focussolar.en.made-in-china.com/China-Solar-Water-Heater
- [16] https://sr.wikipedia.org/sr/Соларна_енергија [Преузето 15.7.2017.]
- [17] http://www.appropedia.org/Compound_parabolic_concentrators [Преузето 15.7.2017.]
- [18] <http://ekologija.ba/userfiles/file/Solarni%20kolektori%20i%20fotonaponski%20sistemi.pdf> [Преузето 20.7.2017.]
- [19] <http://www.centrometal.hr/wp-content/uploads/2012/05/SOLARNI-SUSTAVI-2013.pdf> [Преузето 13.08.2017]