

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Дипломске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Грејање, климатизација и соларна енергија

Број индекса: 38/2004

Лазар Д. Секулић

**Соларни колектори и њихова примена у
соларним системима**

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Данијела Николић – ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да проучи препоручену и ширу литературу која се односи на соларне колекторе као пријемнике соларне енергије и да представи преглед свих врста соларних колектора који се данас користе, са њиховим основним карактеристикама. На бази усвојених знања, у раду је потребно описати методологију прорачуна соларних колектора почев од модела прорачуна соларног зрачења. На крају, потребно је описати примену соларних колектора у различитим системима.

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] A. Fernandez-Garcia, E. Zarza, L. Valenzuela, M. Perez, *Parabolic trough solar collectors and their applications*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, No 14, (2010), p. 1695-1721.
- [4] S. A. Kalogirou, *Environmental benefits of domestic solar energy systems*, Energy Conversion and Management, No 45, (2004), p. 3075–3092

Крагујевац, датум

Ментор:
др Данијела Николић

Резиме

У оквиру овог рада анализирана је литература која се односи на соларне колекторе као пријемнике соларне енергије. Најпре је представљен преглед свих врста соларних колектора који се данас користе заједно са њиховим основним карактеристикама.

Након тога описана је методологија прорачуна соларних колектора почев од модела прорачуна соларног зрачења. На крају, описана је примена соларних колектора у различитим системима.

Кључне речи: соларна енергија, соларни колектор, ефикасност соларних колектора, соларни системи

Abstact:

In this paper it was analyzed the literature relating to solar collectors as solar energy receivers. First presented in thesis it is an overview of all types of solar collectors that are used today, along with their main characteristics.

After that, it is described the methodology for calculating solar collectors starting from models of the solar radiation calculation. Finally, the application of of solar collectors in different systems are described.

Keywords: solar energy, solar collector, solar collector's efficiency, solar water systems

Садржај:

1. Увод	7
2. Соларна енергија	9
2.1 Сунце	9
2.2 Сунчева енергија на земљи	9
2.3 Земљин сјај	12
2.4 Ефекат стаклене баште	13
2.5 Инсолација	14
3. Системи за коришћење Сунчеве енергије	16
3.1 Пасивни соларни системи	17
3.2 Активни соларни системи	17
4. Врсте пријемника соларне енергије	21
4.1 Равни водени непокретни соларни колектори	22
4.1.1 Незастакљени равни водени непокретни соларни колектори	22
4.1.2 Застакљени равни водени непокретни соларни колектори	22
4.1.2.1 Принцип рада застакљених равних водених непокретних соларних колектора	23
4.1.2.2 Покривне плоче соларних колектора	23
4.1.2.3 Апсорбери соларних колектора	24
4.1.2.4 Изолација соларних колектора	26
4.1.2.5 Материјали кутија соларних колектора	26
4.2 Бојлерски соларни колектори	26
4.3 Вакуумски водени соларни колектори	27
4.3.1 Вакуумски водени соларни колектори са директним током	27
4.3.2 Вакуумски водени соларни колектори са топлотним цевима	28
4.4 Ваздушни равни соларни колектори	30
4.4.1 Незастакљени ваздушни равни соларни колектори	30
4.4.2 Застакљени ваздушни равни соларни колектори	31
4.5 Концентришући соларни колектори	32
4.5.1 Равни соларни колектори са рефлекторима	33
4.5.2 Вишеделни параболични соларни колектори	33
4.5.3 Параболични 2Д соларни колектори	34
4.5.4 Параболични 3Д соларни колектори	35
4.5.5 Линеарни Fresnel-оби рефлектори	36
4.5.6 Централни пријемници са пољем хелиостата	37

5. Методологија прорачуна равних соларних колектора	39
5.1 <i>Одређивање положаја Сунца</i>	39
5.2 <i>Сунчево зрачење на хоризонталну површину</i>	41
5.3 <i>Сунчево зрачење на нагнуту површину</i>	42
5.4 <i>Апсорпција Сунчевог зрачења у соларним колекторима</i>	43
5.5 <i>Топлотни губици у соларним колекторима</i>	43
5.6 <i>Ефикасност равних соларних колектора</i>	45
5.7 <i>Оптимална оријентација соларних колектора</i>	48
5.8 <i>Топлотна снага соларних колектора</i>	49
5.9 <i>Соларни колектори као размењивачи топлоте</i>	51
6. Примена соларних колектора	53
6.1 <i>Историја коришћења Сунчеве енергије</i>	53
6.2 <i>Соларни бојлери</i>	55
6.3 <i>Акумулатори топлоте</i>	58
6.4 <i>Грејање просторија коришћењем соларних колектора</i>	61
6.5 <i>Примена соларних колектора у системима вентилације и климатизације</i>	63
6.5.1 <i>Примена соларних колектора у системима вентилације</i>	63
6.5.2 <i>Примена соларних колектора у системима климатизације</i>	67
6.6 <i>Соларне пећи</i>	68
6.7 <i>Соларни торњеви</i>	70
6.8 <i>Соларни системи за загревање базена</i>	71
6.8.1 <i>Пластични апсорбери за загревање базена</i>	72
6.8.2 <i>Колекторски системи за загревање базена</i>	73
6.9 <i>Соларне сушаре</i>	74
6.10 <i>Соларни дестилатори воде</i>	75
7. Закључак	77
Литература	78

1. Увод

Енергетски ембарго у новембру 1973. године подсетио је човечанство на светску енергетску кризу чији корени потичу из ранијих епоха. Отпочела су истраживања светских резерви фосилних горива и утврђено је да ће резерве угља, нафте и земног гаса врло брзо нестати.

Енергетска криза данас постаје све већа услед нерационалног трошења наведених исцрпљивих извора енергије, нарочито сагоревања нафте (уље за ложење, мазут). Сем исцрпљивања нафте која је неопходна за друмски и ваздушни саобраћај, за добијање синтетичких лекова, хране и др., њено сагоревање и сагоревање осталих фосилних горива довело је до критичног загађивања животне средине.

Настанак овог загађивања може да има тешке последице за опстанак живота на Земљи. Изнад Земље је створена и даље се образује „димна завеса“ од честица, дима, аеросола, угљен-диоксида и других материја, насталих вековним сагоревањем фосилних горива. Димна завеса смањује зрачење Сунца које доспева на површину Земље, што има за последицу њено хлађење.

Међутим, угљен-диоксид у димној завеси пропушта краткоталасно Сунчево зрачење према Земљи, али не пропушта дуготаласно зрачење које Земља зрачи у космос. На тај начин између површине Земље и димне завесе ствара се ефекат стаклене баште (Слика 1.1), због чега се температура Земље повећава. Од односа ова два ефекта зависи да ли ће на Земљи настати смањење или повећање средње годишње температуре.



Слика 1.1 Ефекат стаклене баште [1]

Досадашња истраживања показују да је средња годишња температура од почетка XX века до 1940. године опала у просеку за $0,3^{\circ}\text{C}$, а да је од 1940. године до данас порасла у просеку за око $0,5^{\circ}\text{C}$. Утврђено је да би пораст средње годишње температуре за 1°C довео до топљења арктичког леда (Слика 1.2), што би имало за последицу повећање нивоа мора за неколико десетина метара. Разумљиво је да би ово изазвало катастрофалне поплаве у свету и стање из кога нема назад.

Као што се види, сагоревањем фосилних горива поремећен је природни однос између зрачења Сунца према Земљи и Земље према Сунцу, односно космосу. Стога се при решавању проблема енергетске кризе мора обратити пажња и на поменути однос ради заштите животне средине.



Слика 1.2 Топљење арктичког леда [2]

Излаз из светске кризе види се у штедњи конвенционалне класичне енергије добијене сагоревањем фосилних горива и налажењу нових неконвенционалних извора енергије.

Нови неконвенционални извори енергије су обновљиви извори енергије.

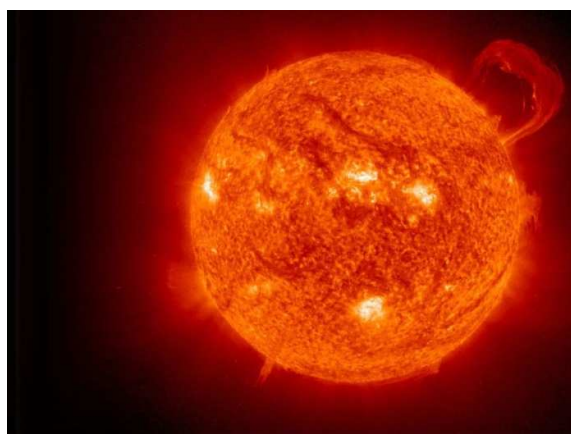
У обновљиве изворе енергије спадају:

- енергија Сунца (соларна енергија);
- енергија воде (хидро енергија);
- енергија биомасе;
- енергија ветра;
- геотермална енергија.

2. Соларна енергија

2.1 Сунце

Сунце (Слика 2.1) је Земљи најближа звезда и захваљујући његовој гравитацији, наша планета по елиптичној путањи кружи око њега. Сунце се око своје осе окрене за 25 дана (екватор), односно 23 дана (на половима), што указује на њено флуидно стање (заправо стање плазме).



Слика 2.1 Сунце [3]

Сунце је ужарена лопта, масе $1,99 \cdot 10^{30}$ kg, средње густине од $1\,400\text{ kg/m}^3$ и пречника $1\,391\,980\text{ km}$, која у спољашњем слоју садржи око 75% водоника (H), који се у унутрашњости, под високим притиском и температуром која достиже десетине милиона Келвина, у току процеса термонуклеарне фузије претвара у хелијум (He). Та термонуклеарна фузија производи огромну количину енергије која се зрачи у космос. Сунчева луминисценција¹⁾ износи $3,83 \cdot 10^{20}\text{ MW}$. Средња температура површине Сунца износи $5\,800\text{ K}$ [4].

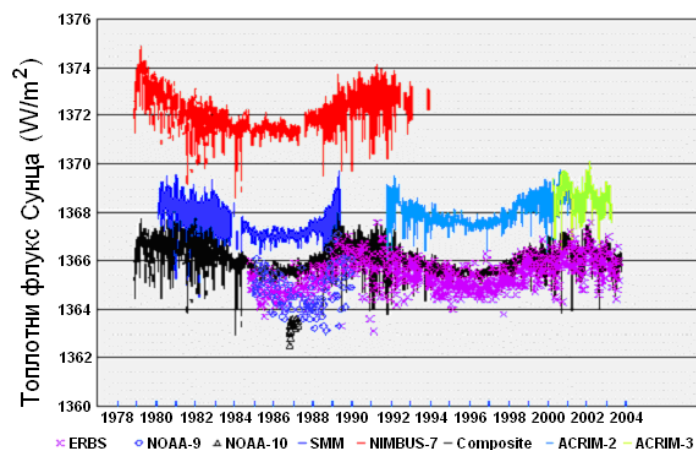
Светлосна енергија израчена у космос, веома малим делом долази до Земље. Након што Сунчеви зраци пређу пут од $149\,597\,892\text{ km}$ (колико износи средње растојање Сунца од Земље) крећући се брзином од око $300\,000\text{ km/s}$ (брзином светлости) на површину Земљине атмосфере стигне $174,3 \cdot 10^9\text{ MW}^2)$ [4].

2.2 Сунчева енергија на Земљи

Велики број истраживачких сателита (NOAA-9, NOAA-10, NIMBUS-7, ERBS, UARS, SMM) прикупља податке о Сунчевом зрачењу на површини Земљине атмосфере. Толотни флукс на површини Земљине атмосфере измерен од стране горе поменутих сателита приказан је на Слици 2.2.

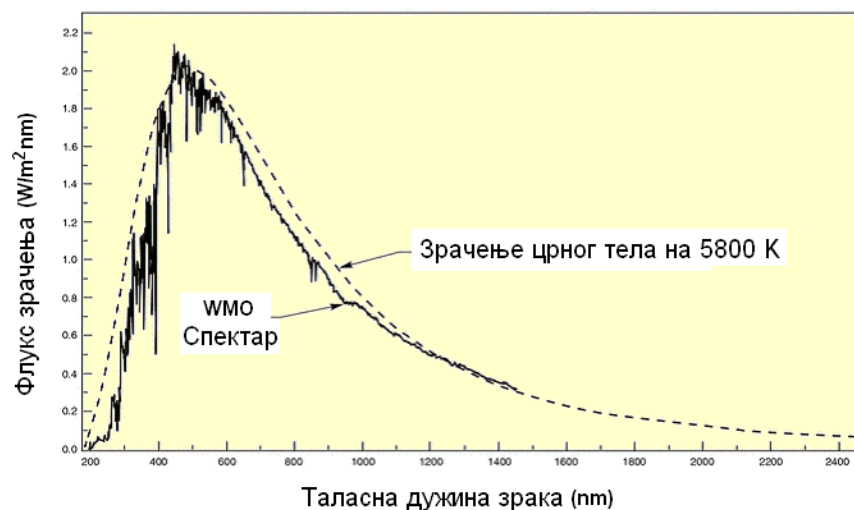
¹⁾ Исијавање.

²⁾ $4,55 \cdot 10^{10}$ део укупне Сунчеве енергије.



Слика 2.2 Топлотни флуks Сунца на површини Земљине атмосфере [5]

Средњи топлотни флуks Сунчевог зрачења на површини Земљине атмосфере (екстратерестријално зрачење) назива се соларном константом I_S ³⁾. Сунчев спектар екстратерестријалног зрачења приказан је на Слици 2.3.



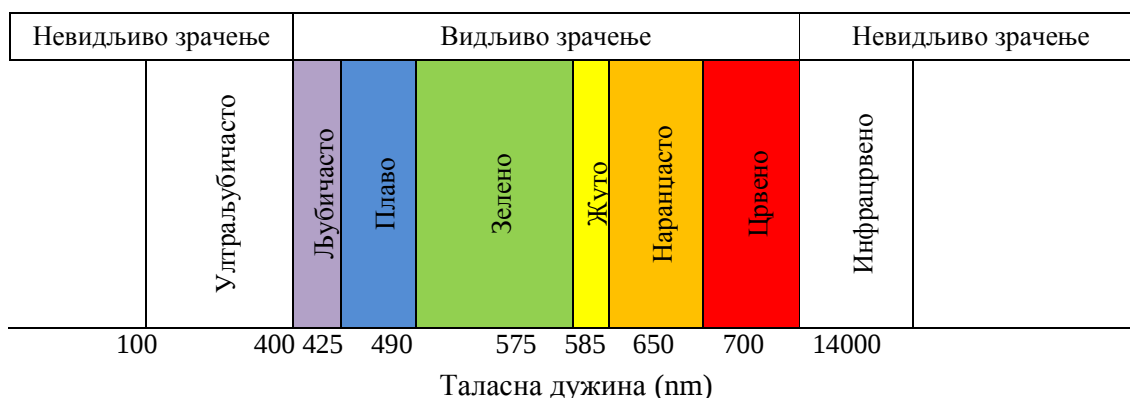
Слика 2.3 Екстратерестријални Сунчев спектар [6]

Сунчев спектар садржи зрачења таласних дужина мањих од 100 nm, па све до 3 μm . Основна подела електромагнетног зрачења је на јонизујуће ($\lambda < 100 \text{ nm}$)⁴⁾ и нејонизујуће ($\lambda > 100 \text{ nm}$)⁵⁾. Разорно јонизујуће зрачење не продире кроз Земљину атмосферу. Нејонизујуће зрачење приказано је на Слици 2.4.

³⁾ $I_S = 1367 \text{ W/m}^2$.

⁴⁾ Гама и xс зраци.

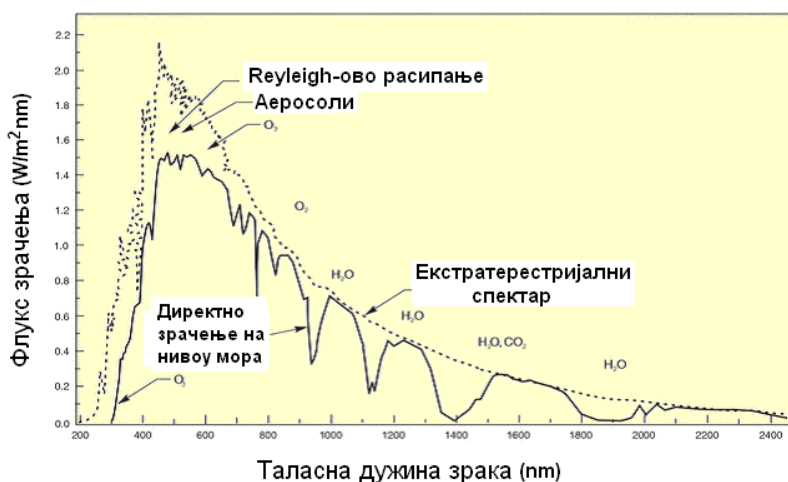
⁵⁾ Ултраљубичасто, видљиво и инфрацрвено зрачење.



Слика 2.4 Подела Сунчевог спектра [6]

Када Сунчево Зрачење доспе на Земљину површину (терестријално зрачење), због присуства троатомних гасова у атмосфери, аеросола, као и ефекта расипања светлости, долази до смањења енергије зрачења, као и недостатка појединих таласних дужина (карактеристика апсорпције зрачења у гасним срединама). На наредној слици (Слика 2.5) приказан је Сунчев спектар на нивоу мора (терестријално зрачење). Основни троатомни гасови који апсорбују поједине таласне дужине Сунчевог зрачења су: озон (O_3), водена пара (H_2O) и угљен-диоксид (CO_2). Посебно је значајна активност озона у области апсорпције ултраљубичастиог спектра. Максимум терестријалног зрачења припада таласним дужинама око $0,5 \mu m$. Преко 90% укупно дозрачене енергије са Сунца на површину Земље припада таласним дужинама од $0,3$ до $1,5 \mu m$.

Од соларне константе, колико износи екстратерестријално зрачење, до Земље у идеалном случају стиже $1\,120\, W/m^2$ (директно и дифузно). Реално и мање.



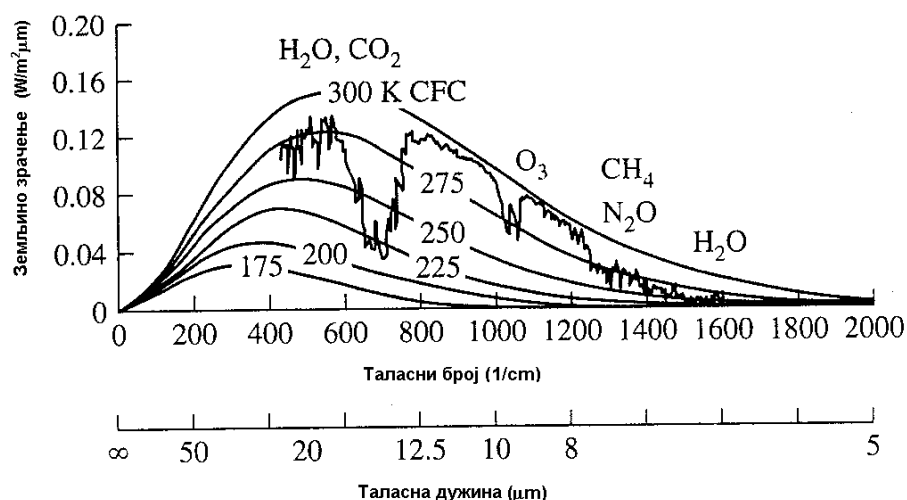
Слика 2.5 Терестријални Сунчев спектар [6]

2.3 Земљин сјај

Јасно је да сву енергију коју прими са Сунца, Земља мора да врати назад у космос. Једино занемарљиви део⁶⁾ Сунчевог зрачења остаје везан на Земљи у процесу фотосинтезе (у виду хемијске енергије).

Фосилна горива нису ништа друго него милионима година акумулирана Сунчева енергија у биљкама, посредно у животињама. Свако тело које има температуру вишу од 0 К зрачи енергију електромагнетних таласа; што је температура нижа, нижи је и износ израчене енергије, али је и таласна дужина зрака већа.

Земљин сјај⁷⁾ приказан је на слици 2.6.



Слика 2.6 Земљин сјај [7]

Максимум Земљиног сјаја налази се на таласној дужини зрака од $18 \mu\text{m}$. На слици 2.6 примећује се „крзубост“ електромагнетног спектра, што је условљено апсорпцијом Земљиног дуготаласног зрачења од стране гасова стаклене баште (H_2O , O_3 , CO_2 , CH_4 , N_2O итд.).

Од укупног годишњег Сунчевог терестријалног зрачења⁸⁾, 30% се рефлектује назад са облака и земљине површине⁹⁾, 11,7% израчи се директно са Земљине површине, 10,2% израче облаци (део апсорбованог зрачења), а за 48,1% Земљиног сјаја су одговорни гасови стаклене баште. Овај део зрачења се поново враћа на Земљу и након њеног загревања, напушта је. Распоред Сунчевог зрачења на Земљи се може дати и на следећи начин: 30% отпада на Земљин алbedo, 25% апсорбују гасови и аеросоли (облаци), а 45% загрева Земљину површину (водене и копнене површине) [5].

Алbedo неких површина приказан је у следећој табели (Табела 2.1).

⁶⁾ Око 0,1%.

⁷⁾ Укупно израчена енергија са Земље (сопствена и рефлектована).

⁸⁾ 343 W/m^2 .

⁹⁾ Земљин алbedo.

Табела 2.1 Алbedo појединих површина и објеката планете Земље [5]

Површина	Алbedo (α)
Вегетација	0,2
Светло земљиште	0,3
Тамно земљиште	0,1
Вода	0,1

Од стране Сунца, на површини атмосфере Земља прими E_S (W):

$$E_S = I_S \pi R_E^2 (1 - \alpha) \quad (2.1)$$

где је R_E (m) - Земљин полупречник који износи 6 371 km. Са друге стране, у стационарном стању, Земља мора да израчи у космос исту количину енергије:

$$E_S = 4\pi R_E^2 \sigma T_E^4 \quad (2.2)$$

где су:

- $\sigma = 5,67 \text{ (W/m}^2\text{K}^4\text{)}$ Стефан-Болцманова константа апсолутно црног тела,
- T_E (K) - еквивалентна температура Земље као апсолутно црног тела.

Како се у једначинама (2.1) и (2.2) ради о истим величинама, може се израчунати потребна температура Земљине површине T_E (K), да би она вратила у космос дозрачену Сунчеву енергију:

$$T_E = \left[\frac{I_S (1 - \alpha)}{4\sigma} \right]^{1/4} = 225 \text{ K} = -18^\circ\text{C} \quad (2.3)$$

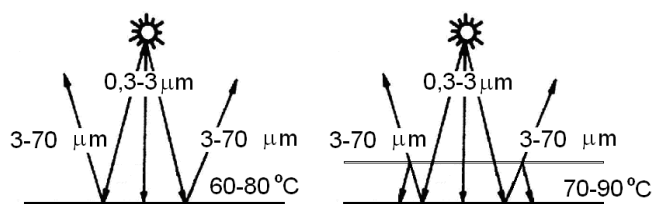
Познато је да је просечна температура Земљине површине 288 K (15°C). Ова разлика се објашњава присуством гасова стаклене баште у Земљиној атмосфери [7].

2.4 Ефекат стаклене баште

Познато је да неко тело може да одбија (рефлектује), пропушта и упија (апсорбује) Сунчеве зраке. Тела која пропуштају светлосне зраке називају се транспарентна, а која упијају светлосне зраке – црна тела [8] [9].

Стакло је најпознатији чврст материјал који пропушта Сунчево зрачење (таласне дужине од 0,3 μm до 3 μm) и то у просечном износу од 90%. Како се површина иза стаклене плоче загрева, она емитује инфрацрвено дуготаласно зрачење (таласне дужине од 3 μm до 70 μm). За разлику од видљиве светлости и краткоталасног инфрацрвеног зрачења, ово зрачење стакло апсорбује и потом емитује назад на површину (делом и у околину). Другим речима, топлотни зрак може ући али не и изаћи из стаклене замке.

Ефектом стаклене баште може се значајно увећати температура површине на којој се успоставља термичка равнотежа (примљена количина топлоте једнака је предатој). Тако, на пример, тамна метална површина се на мирној атмосфери, изложена Сунцу, може загрејати и од 60°C до 80°C (Слика 2.7). Коришћењем стакленог прекривача, иако се губи 10% Сунчевог зрачења, температура површине се може загрејати до 90°C . Ако би се користила два слоја стакла, површина испод ових слојева (она коју грејемо) могла би да се загреје и до 120°C .



Слика 2.7 Сунчево зрачење на површину (лево) и Сунчево зрачење на површину прекривену стаклом (десно) [8] [9]

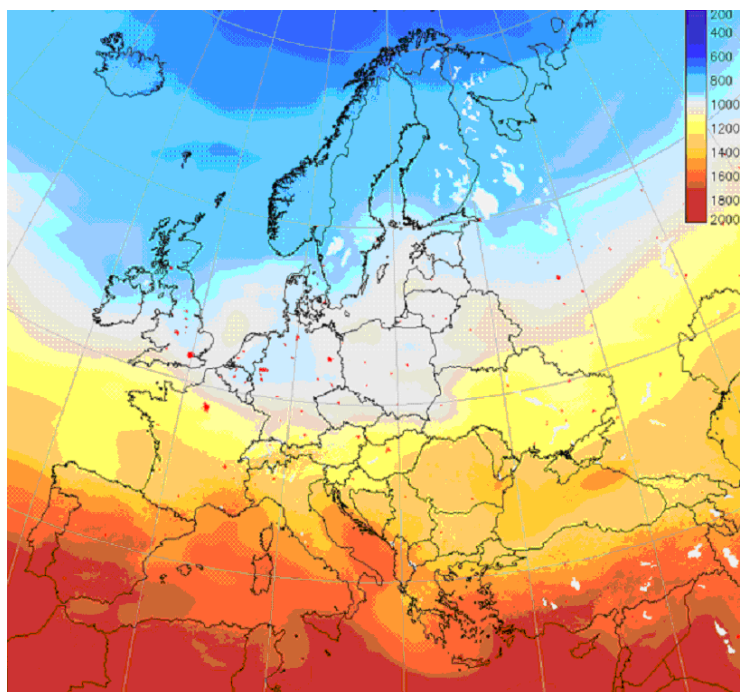
2.5 Инсолација

Количина Сунчевог зрачења на Земљиној површини зависи од много фактора: географске ширине места, годишњег доба, доба дана, чистоће атмосфере, облачности, оријентације и нагиба површне.

Просечно Сунчево зрачење, на годишњем нивоу, на јединичну хоризонталну површину назива се инсолација.

Просечна годишња инсолација у Европи износи $1\,096 \text{ kWh/m}^2$ [5] [6] и приказана је на Слици 2.8.

У Србији инсолација на годишњем нивоу износи око $1\,400 \text{ kWh/m}^2$ [5] [6] [10].



Слика 2.8 Годишња инсолација на хоризонталној површини за подручје Европе (kWh/m^2) [10]

У Табели 2.2 приказани су подаци о средњој годишњој инсолацији за неке градове у Србији, по месецима и збирно на годишњем нивоу.

Табела 2.2 Средња дневна (по месецима) и годишња инсолација
у (kWh/m²) за поједине градове у Србији [11]

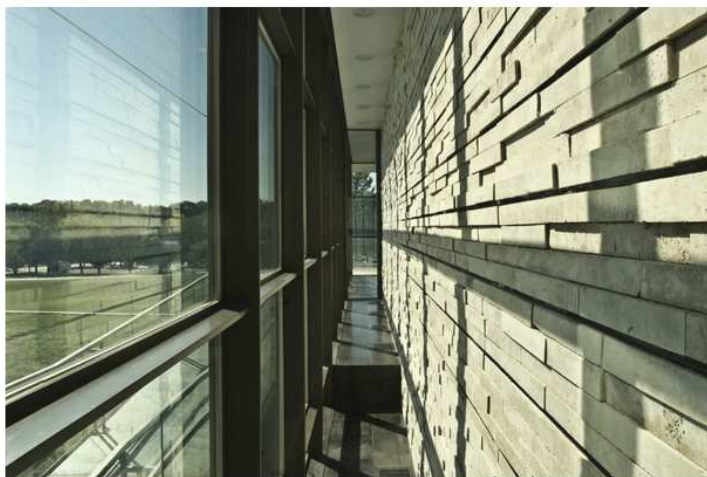
Месец	Београд	Нови Сад	Крагујевац	Ниш
Јануар	1,4	1,45	1,5	1,75
Фебруар	2,2	2,35	2,4	2,6
Март	3,35	3,2	3,35	3,45
Април	4,85	4,65	4,8	5
Мај	6	5,8	5,85	6,1
Јун	6,45	6,2	6,1	6,35
Јул	6,75	6,35	6,45	6,7
Август	6	5,75	5,9	6,15
Септембар	4,65	4,4	4,85	5,35
Октобар	3,05	2,9	3,3	3,45
Новембар	1,6	1,45	1,7	1,85
Децембар	1,15	1,2	1,3	1,5
Годишње	1446,8	1392,64	1447,85	1531,4
Средња дневна	3,96	3,82	3,98	4,2

3. Системи за коришћење Сунчеве енергије

Соларни системи представљају заокружене инсталације за дефинисани вид коришћења соларне енергије. Разликују се:

- пасивни соларни системи;
- активни соларни системи.

Пасивни соларни системи представљају саставни део неког већег склопа, који није приоритетно намењен искоришћењу соларне енергије (Слика 3.1). За разлику од њих, активни соларни системи имају превасходну улогу коришћења соларне енергије (Слика 3.2).



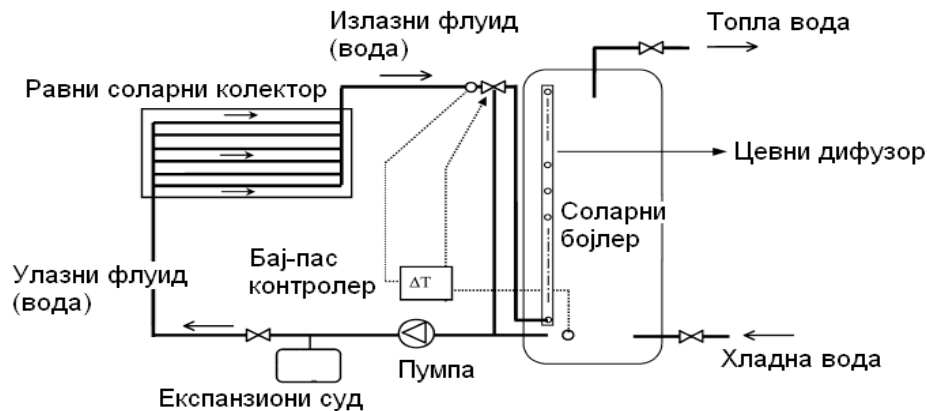
Слика 3.1 Тромбеов зид [12]



Слика 3.2 Фотонапонски панел [13]

У случају припреме топле потрошне воде, систем који активно користи Сунчеву енергију чине следећи елементи (Слика 3.4) [5] [14]:

- пријемник – уједно и трансформатор енергије;
- бојлер;
- циркулациона пумпа;
- експанзиони суд;
- цевни систем;
- вентили;
- контролер (јединица за праћење и контролу функционисања система).



Слика 3.4 Соларни систем за припрему топле воде у домаћинству [5] [14]

Пријемник соларне енергије (у овом случају равни соларни колектор) има свој улаз (хлада вода) и излаз (загрејана вода). Пријемник, како сама реч каже, прикупља Сунчеву енергију и трансформише је у топлотну енергију. Прикупљена топлотна енергија се механизмима простирања топлоте¹⁰⁾ преноси на хладну воду која се загрева и као таква напушта пријемник Сунчеве енергије. Загрејана вода одлази у бојлер који акумулира топлотну енергију и ставља је на располагање. На Слици 3.4 приказан је најједноставнији случај код кога постоји само један флуид који се креће кроз систем (вода). Овакав систем је и најјефтинији и карактеристичан је за земље где не постоји опасност од замрзавања воде у систему.

Тамо где су температуре довољно високе, кретање воде се одвија термосифонским ефектом, па се за инсталирање система издвајају новчана средства умањена за цену циркулационе пумпе. Код оваквих система загрејана вода има мању густину (лакша је), и услед разлике густина загрејана вода иде „на горе“, што значи да се бојлер у оваквом случају поставља изнад соларних колектора.

Кретање воде кроз систем обезбеђује циркулациона пумпа уколико вода не може да савлада пад притиска који се јавља у систему.

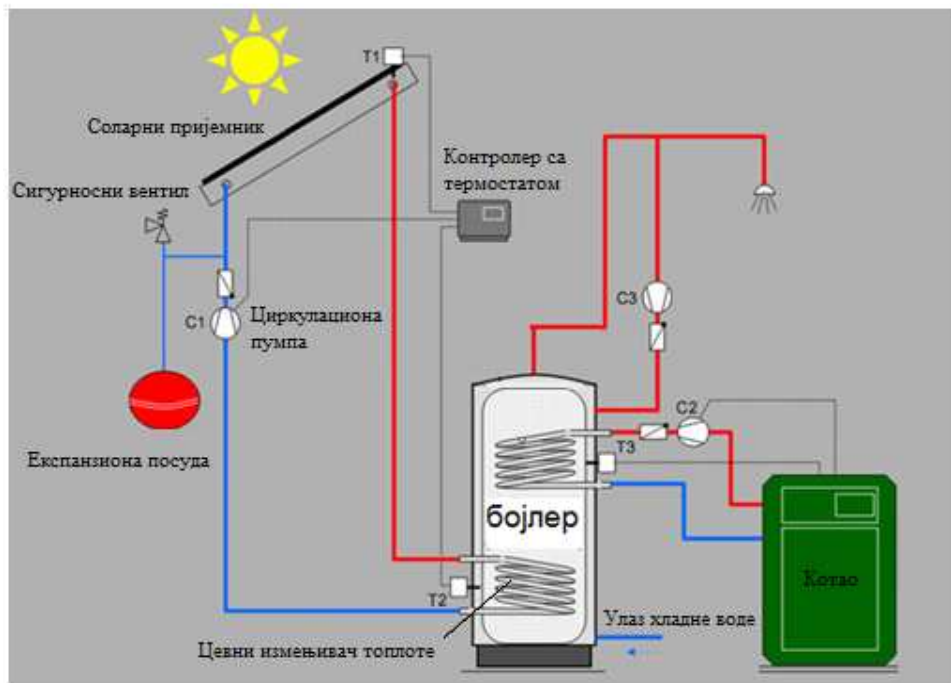
Експанзиони суд је неопходан у оваквим системима јер треба да обезбеди промену запремине воде и до највиших температура, чиме се уједно одржава и потребан притисак у систему.

Код система за грејање топле потрошне воде (Слика 3.4) неопходо је присуство и контролера са термостатом. Он мери температуру топле воде непосредно пре уласка у

¹⁰⁾ Кондукција, конвекција и зрачење.

бојлер као и температуру воде у бојлеру (потребна температура). Када је температура воде пре непосредног уласка у бојлер нижа од оне у бојлеру, вода се поново враћа у циркулациони круг бај-пас водом на поновно загревање (догревање), тј. поново се шаље ка соларном колектору. Циклус се понавља док се не постигне жељена температура воде.

У крајевима где су зимске температуре испод 0°C , користе се соларни системи са два флуида (примарни и секундарни). Примарни флуид је несмрзавајућа течност (вода са додатком одговарајуће компоненте). Примарни флуид загрева се у колектору а потом шаље у бојлер где преко змијастог (цевног) размењивача топлоте размењује топлоту са секундарним флуидом (вода која се користи). На тај начин се вода за употребу загрева, а примарни флуид (сада охлађен) шаље поново у колектор на поновно загревање. Овакав систем је приказан са следећој слици (Слика 3.5).



Слика 3.5 Активни соларни систем за загревање топле потрошне воде са примарним и секундарним флуидом [15]

Како у појединим периодима године соларна енергија није довољна да задовољи топлотне потребе потрошача, соларном бојлеру се, најчешће, додају грејачи покретани неком другом врстом енергије (Слика 3.5). И ови системи поседују контролере са термостатима. Када је температура воде у бојлеру нижа од потребне, онда се активирају додатни извори енергије (котао или електрогрејачи) који ће „дотерати“ температуру воде до жељене температуре.

Активни водени соларни системи за грејање објекта (Слика 3.6) увек поседују примарни и секундарни ток и увек раде у комбинацији са додатним извором топлоте. Функционисање оваквих система је идентично са функционисањем соларних система за грејање топле потрошне воде (Слика 3.5). Једина је разлика у томе што радни флуид у систему грејања никада не напушта секундарни ток.



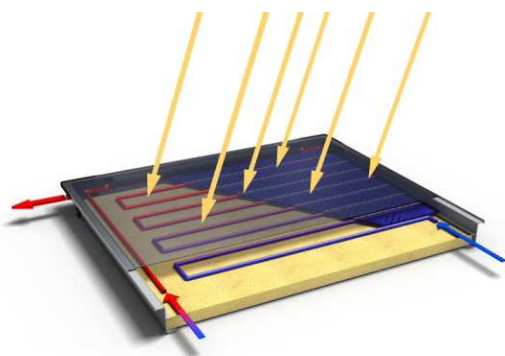
Слика 3.6 Активни водени соларни систем за загревање просторија [15]

4. Врсте пријемника соларне енергије

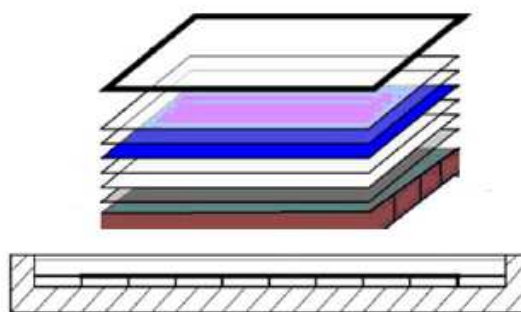
Најбитнији елемент у активним соларним системима је пријемник соларне енергије. Подела пријемника соларне енергије може се извршити према начину трансформације исте, и то на [5] [9] [14]:

- соларне колекторе (трансформишу соларну енергију у топлотну енергију);
- фотонапонке панеле (трансформишу соларну енергију у електричну енергију);
- хибридне соларне колекторе (једним делом соларну енергију трансформишу у топлотну, другим делом у електричну енергију).

Соларни колектор је приказан на Слици 4.1, фотонапонски панел на Слици 3.2, док је хибридни соларни колектор приказан на Слици 4.2.



Слика 4.1 Соларни колектор [16]



4.2 Хибридни соларни колектор [5]

Соларни колектори трансформишу Сунчеву енергију у топлотну енергију, тј. у унутрашњу енергију радног флуида.

Према врсти радног флуида којег користе, соларни колектори могу бити [5] [9] [14]:

- водени;
- ваздушни;
- соларни колектори који користе друге радне флуиде (нпр: термичка уља).

Према основној конструкцији, соларни колектори могу бити [5] [9] [14]:

- равни соларни колектори;
- концентришући соларни колектори.

Према покретљивости, разликују се следеће врсте соларних колектора [5] [9] [14]:

- са непокретним панелом;
- са покретним панелом (привидно прате кретање Сунца)¹¹⁾.

Основне врсте равних, водених и непокретних соларних колектора су [5] [9] [14]:

- незастакљени соларни колектори;
- застакљени соларни колектори;
- бојлерски соларни колектори;
- вакуумски соларни колектори.

¹¹⁾ Могу бити покретни око једне или две осе.

4.1 Равни водени непокретни соларни колектори

4.1.1 Незастакљени равни водени непокретни соларни колектори

Ови соларни колектори су најједноставнији тип колектора, и уједно и најјефтинији. Практично, састављени су само од апсорбера, кроз који струји вода, загревајући се. Најчешће се израђују од црне пластике, отпорне на старење под ултраљубичастим зрачењем [5] [9] [14].



Слика 4.3 Незастакљени равни водени непокретни соларни колектори [5] [14]

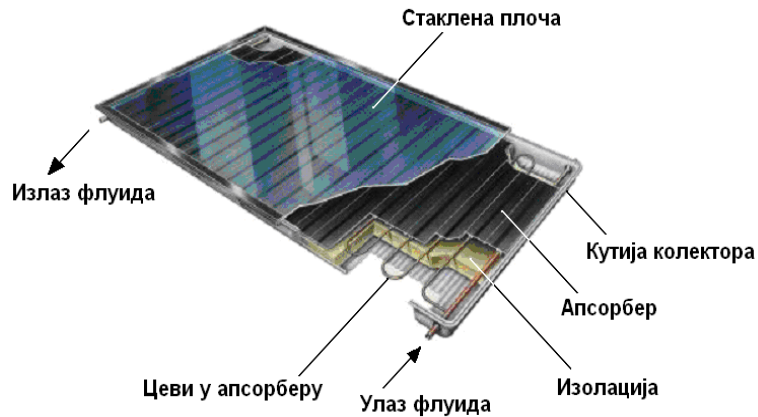
Како је апсорбер у директном контакту са околним ваздухом, без стакленог покривача, апсорпција је максимална, али и емисија такође, као и конвективни губици. Сходно томе, незастакљени водени соларни колектор (Слика 4.3) има високу почетну ефикасност која брзо опада са повећањем разлике температуре радног флуида и околине, као и смањењем инсолације [17]. Ефикасност им нарочито опада при нижим спољним температурама и ветровитом времену. Зато се ови колектори користе за максималне температуре радног флуида до 30°C.

4.1.2 Застакљени равни водени непокретни соларни колектори

Овај тип соларног колектора могао би се назвати класичним. Један такав колектор приказан је на следећој слици (Слика 4.4).

Са Сlike 4.4 може се видети да класичан соларни колектор чине следећи елементи:

- кутија колектора;
- стаклена плоча;
- апсорбер;
- цеви у апсорберу (са улазом и излазом);
- изолација.



Слика 4.4 Застакљени равни водени непокретни соларни колектори [5] [14]

4.1.2.1 Принцип рада застакљених равних водених непокретних соларних колектора

Принцип функционисања је једноставан. Сунчево зрачење које пада на колектор, пролази својим највећим делом кроз стаклену плочу и апсорбује се, највећим делом, на површини апсорбера. Провођењем кроз апсорбер и конвекцијом у интегрисаним цевима вода преузима топлотну енергију, на одговарајућем температурском нивоу. Што је радна температура виша, виши су и топлотни губици у околину, што се делимично умањује добром изолацијом која се налази у кутији колектора иза апсорберске плоче. Изолација не належе са доње стране на плочу апсорбера, већ постоји додатни изолациони ваздушни слој између њих. Природном или принудном циркулацијом вода односи апсорбовану количину топлоте и одржава радну температуру колектора, наравно у условима стационарног зрачења.

Равни соларни колектори (FPC) су најкоришћенија врста колектора, која је, такође, најприсутнија на тржишту. Уобичајене радне температуре код ових колектора иду до 100°C. Код напредних и специјалних класичних колектора, радне температуре могу достићи вредности и до 200°C.

4.1.2.2 Покривне плоче соларних колектора

Класично стакло се масовно користи при изради равних соларних колектора, јер поседује висок коефицијент дијатермије (високу транспарентност) за краткоталасно Сунчево зрачење. За стакла са малим садржајем гвожђа, коефицијент дијатермије износи од 0,85 до 0,95 при упадном углу зрака од 90° [5] [14]. С друге стране, стакло је практично непрпусно за дуготаласна нискотемпературска зрачења таласних дужина од 3 до 70 μm . У дефинисаном таласном опсегу (дуготаласно инфрацрвено зрачење), стакло се практично понаша као апсолутно црно тело.

Стакло има и своје лоше карактеристике, као покривна површина равних соларних колектора. Стакло има велику густину, што знатно увећава укупну масу колектора. Скупо је и ломљиво, што ствара проблеме при евентуалним ударима у плочу колектора. Апсорбујући дуготаласно зрачење, стакло се загрева и емитује исто делом у околину, што повећава топлотне губитке соларног колектора.

У пракси се користе и пластични материјали за покривне површине равних соларних колектора. Пластични материјали су знатно јефтинији од стакла, нису крти и ломљиви, веома су лаки (десет пута мање густине од стакла). Међутим, ови материјали имају релативно велику пропустљивост дуготаласног зрачења, непостојани су при дугом излагању ултраљубичастом зрачењу и високим температурама [5] [14].

4.1.2.3 Апсорбери соларних колектора

Материјал апсорбера соларног колектора треба да има следеће карактеристике: што је могуће већи коефицијент апсорпције за краткоталасно зрачење (Сунчево зрачење), што је могуће мањи коефицијент емисије за дуготаласно зрачење, одличну топлотну проводљивост, малу масу, трајност, отпорност на корозију и високе температуре и малу цену.

Јако је тешко задовољити све ове захтеве у једном материјалу, али се увек проналазе оптимална решења. Апсорберске плоче се најчешће деле у две групе: неселективне апсорберске плоче и селективне апсорберске плоче. Неселективни апсорбер има, практично, идентичне вредности коефицијента апсорпције краткоталасног и емисије дуготаласног зрачења. Основни материјал апсорбера је метал високе топлотне проводљивости, бакар, алуминијум или нерђајући челик (који има значајно мању топлотну проводљивост у односу на Cu и Al). Као материјал апсорбера ређе се користе пластични материјали и то само за нискотемпературне соларне колекторе. Страна апсорбера изложена Сунчевом зрачењу је најчешће премазана црном апсорбујућом бојом. Неселективни апсорбери одлично апсорбују Сунчево зрачење, али и интензивно зраче краткоталасно зрачење што повећава топлотне губитке соларног колектора.

Да би се ова појава елиминисала, нарочито у соларним колекторима који раде на високим радним температурама, примењују се селективни апсорбери, који су ефикаснији, али имају и знатно вишу цену.

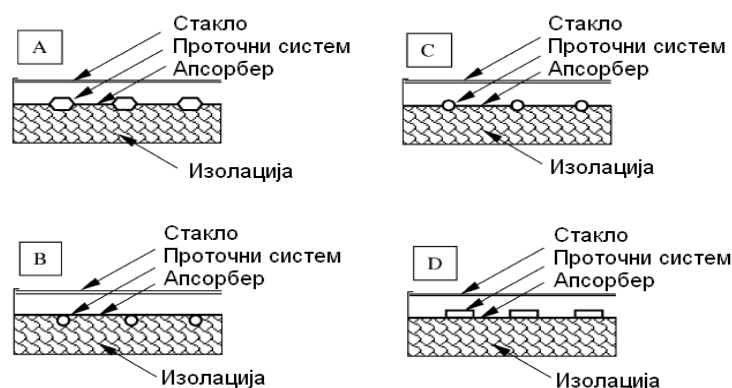
Класични селективни апсорбер састоји се од горњег врло танког слоја, филма материјала (који се мери микрометрима) који одлично апсорбује краткоталасно зрачење (кз), а минимално емитује дуготаласно зрачење (дз). Ово зрачење површински филм апсорбера пропушта, најчешће, до рефлектујуће металне површине апсорбера, која има висок коефицијент рефлексије. Могућа је и варијанта са коришћењем неселективне апсорбујуће површине апсорбера и огледала постављеног изнад апсорбера, које пропушта дуготаласно, а рефлектује краткоталасно зрачење [5].

У Табели 4.1 дате су најчешће коришћене превлаке селективних апсорбера и њихове карактеристике.

Положај и начин везивања цеви или канала којим протиче радни флуид са апсорберском плочом је веома важан и технолошки захтеван. На Слици 4.5 приказани су најчешћи положаји цеви и транспортних канала са апсорбером.

Табела 4.1 Врсте и карактеристике селективних превлака за апсорбере [5]

Превлака	Основа	Апсорпција Сунчевог зрачења (-)	Емисија дт. зрачења (-)	Макс. радна темп. (°C)	Постојаност
Црни никл	Fe, Cu,Zn/Al	0,85-0,96	0,05-0,15	288	Осредња
Црни хром	Ni/Al, Cu, Fe	0,82-0,96	0,04-0,15	427	Врло добра
Црни бакар	Cu	0,85-0,95	0,10-0,15	316	
Бакар оксид	Cu, Fe, Al	0,87-0,90	0,08-0,16	-	-
Анодни алуминијум	Al	0,90-0,96	0,10-0,23	-	-
Метал карбид	Cu, Стакло	0,82-0,93	0,02-0,05	-	-
PbS боја	Било која	0,9	0,3	-	-
Селективна боја	Већина	0,93	0,3	-	-
Црна боја	Било која	0,95-0,97	0,95-0,97	-	-



Слика 4.5 Најчешће конструктивне везе између апсорбера и транспортног система радног флуида за водене соларне колекторе [5] [14]

Пример А приказује апсорбер и транспортне канале израђене из једна. На овај начин је остварен одличан контакт између флуида и загрејане плоче апсорбера. Примери В и С приказују апсорберску плочу и цеви (најчешће се користе бакарне цеви) спојене са горње или доње стране плоче. Методе спајања могу бити различите, меко или тврдо лемљење, коришћење термичког цемента, металних спојки (ради појефтинјења технологије израде). Пример D приказује правоугаоне транспортне канале спојене са апсорбером. На овај начин се постиже бољи контакт флуида и апсорбера у односу на

претходна два примера. Како апсорбери раде на високим температурама, за овај систем пожељно је применити сигурнији начин везивања (тврди лем, на пример).

4.1.2.4 Изолација соларних колектора

Зависно од карактеристика и намене (радне температуре) равног воденог соларног колектора, разликује се и примењена изолација. За колекторе који раде на вишим температурама обично се користи изолација од минералне или стаклене вуне, јер је она постојана у таквим условима. На нижим температурама могу се користити компактнији изолациони материјали (стиропор). Компактни изолациони материјали знатно су отпорнији на влагу од минералне вуне. Најчешће се користи комбинација ове две врсте изолације, при чему се према апсорберској плочи поставља минерална вуна, а до доњег дела кутије полистирен. Уобичајене дебљине се крећу до 40-60 mm укупне изолације.

4.1.2.5 Материјали кутија соларних колектора

Материјали кутије равног, воденог, непокретног соларног колектора треба да поседују одређену чврстину, трајност, отпорност на корозију и остале временске утицаје, малу масу и наравно, прихватљиву цену. Ради се углавном, о нерђајућем челику и алуминијумским легурама, које имају задовољавајућу чврстину, а малу масу и добру отпорност према корозији.

Пластични материјали су јефтинији од алуминијума али постоји велики проблем са њиховом трајношћу и постојаношћу карактеристика на вишим температурама и под разним метеоролошким утицајима, нарочито ултравиолетним зрачењем.

4.2 Бојлерски водени соларни колектори

Ради се о специјалној конструкцији чији је основни циљ да редукује трошкове соларног система. Бојлерски колектор је, у ствари, резервоар воде смештен у кутију затворену стаклом са осунчане стране.



Слика 4.6 Бојлерски водени соларни колектор [5] [14]

Површина резервоара је премазана апсорпционом бојом, селективном или не. Оваква конструкција је ређе у примени, јер поред ниске цене има мању ефикасност, а постоје и проблеми са постављањем бојлерског воденог колектора на крову стамбеног објекта са техничке и естетске стране.

4.3 Вакуумски водени соларни колектори

Вакуумски водени соларни колектори се могу поделити на [5] [9] [14]:

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

Према конструкцији, вакуумски водени колектори се могу поделити на [5] [9] [14]:

- вакуумске соларне колекторе стакло-метал са заједничким улазом и излазом радног флуида;
- вакуумске соларне колекторе стакло-метал са одвојеним улазом и излазом;
- вакуумске колекторе стакло-стакло;
- равне вакуумске соларне колекторе.

Радне температуре ових колектора крећу се у опсегу од 70°C до 170°C.

4.3.1 Вакуумски водени соларни колектори са директним током

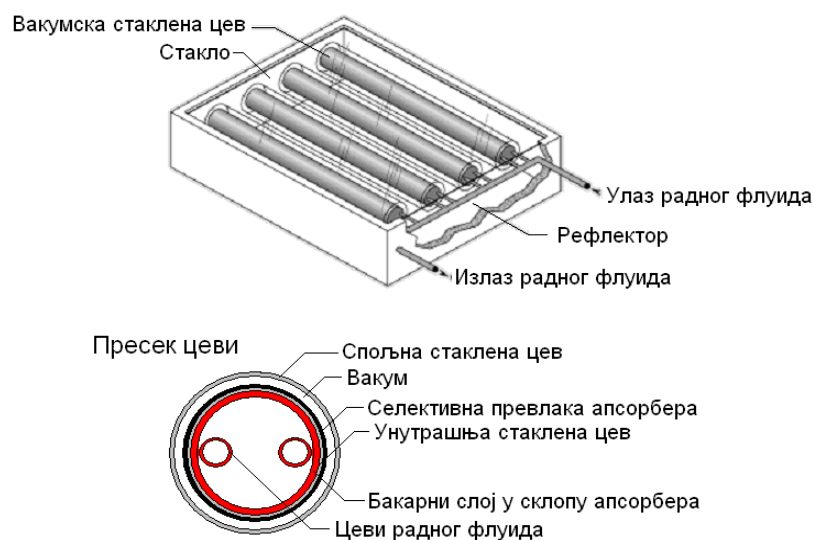
Код овакве конструкције, колектор се састоји од кутије са изолацијом и рефлексним слојем, равног стакла и вакуумских цеви. Равно застакљење има смисла уколико апсорбер није строго селективан, већ емитује значајан износ дуготаласног зрачења. Рефлексни слој усмерава на површину апсорбера зраке који не погоде директно апсорбер, као и дуготаласно зрачење.

У новије време се више примењују системи стакло-стакло (Слика 4.7) од система стакло-метал.

Код система стакло-стакло постоји спољашња и унутрашња стаклена цев између којих је вакуум. На површину унутрашње цеви нанесен је селективни апсорпциони слој, а са унутрашње стране бакарни слој у склопу апсорбера. На тај слој су спојене цеви радног флуида које су најчешће бакарне (Слика 4.7).

У случају система стакло-метал, унутар спољне стаклене цеви налази се ребро металног апсорбера са цевима радног флуида. Улази и излази радног флуида, као што је већ речено, могу бити заједнички и одвојени [5].

Основни проблем система стакло-метал је њихов спој на излазу-улазу радног флуида због различитих коефицијената термичког ширења материјала који улазе у састав ових колектора. Код система стакло-стакло овај проблем не постоји, јер су обе цеви стаклене и стопљене једна са другом.



Слика 4.7 Вакуумски соларни колектори са директним током [5] [14]

4.3.2 Вакуумски водени соларни колектори са топлотним цевима

Код овог типа колектора искомбинована је соларна технологија са технологијом топлотних цеви.

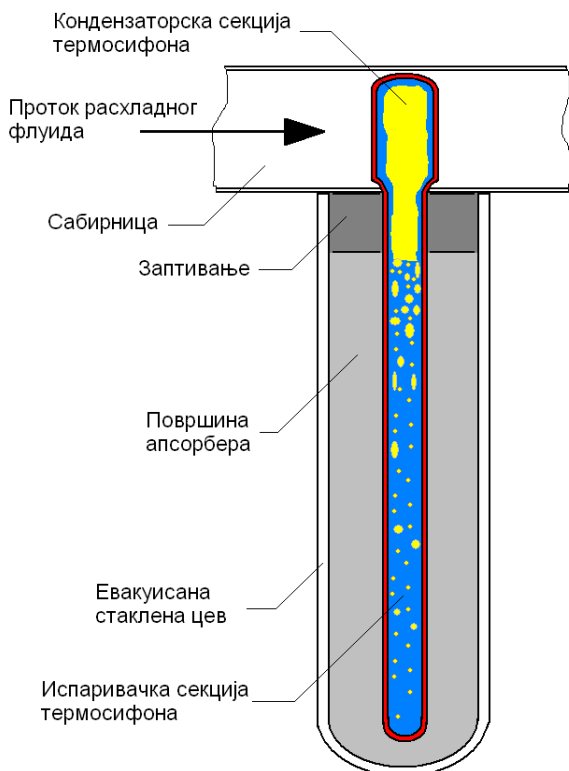
Сваку топлотну цев чини следеће [5] [14] [18]:

- тело топлотне цеви;
- радни флуид;
- фитиљ.

У једном делу топлотне цеви радијално се доводи топлота, и радни флуид под одређеним условима (притисак и температура) испарава. Ова секција је испаривачка секција. Пара радног флуида струји до другог краја топлотне цеви (транспортни део топлотне цеви се назива адијабатска секција), где се она радијално хлади, а радни флуид кондензује. Тај део представља кондензаторску секцију топлотне цеви. Кондензат се враћа у испаривачку секцију уз помоћ капиларних сила које се јављају у фитиљу, специјалном порозном унутрашњем омотачу топлотне цеви. На овај начин се кондензат може слати у испаривач, без обзира на положај топлотне цеви (супротно од смера деловања гравитационих сила). У случају да се кондензат у испаривачку секцију враћа само уз помоћ гравитационих сила, положај топлотне цеви у односу на смер силе земљине теже је ограничен и тада се ради о најједноставнијој конструкцији топлотне цеви, тј. термосифону.

Вакуумски соларни колектори са топлотном цевима углавном раде на принципу термосифонског ефекта, па се и називају термосифонима.

Принцип функционисања оваквог соларног колектора приказана је на Слици 4.8.



Слика 4.8 Вакуумски соларни колектори са топлотном цевом [5] [14] [18]

Испаривачка секција термосифона се поставља у вакуумску (евакуисану) стаклену цев соларног колектора, у јединственој конструкцији са ламелом високо-селективног апсорбера. Како је тело термосифона најчешће израђено од бакра, технологија спајања апсорбера и цеви термосифона није компликована.

Највећи проблем код вакуумских колектора је излазни спој спољне стаклене цеви, тела апсорбера и излазне цеви (Слика 4.8), јер је потребно одржавати вакуум током читавог радног века.

Кондензаторска секција се смешта са кондензаторима осталих термосифона у заједничку цев (сабирницу), где се радни флуид у термосифону хлади, најчешће водом или гликолом (због повишених радних температура). Иначе, радни флуид самог термосифона у овом случају је најчешће вода или етанол.

Топлотне цеви и термосифони не могу радити на произвољним температурама у испаривачу и кондензатору. Сваки од ових уређаја има своју радну област, ограничену минималним и максималним радним температурама и топлотним флуксима. Из сигурносних разлога, ови системи поседују и посебне вентиле са опругама који блокирају рад термосифона, ако дође до плављења кондензатора или прегоривања испаривача.

Због гравитационог враћања кондензата у испаривач термосифона, минимални нагиб ових колектора је 25° .

4.4 Ваздушни равни соларни колектори

У групу ваздушних равних соларних колектора спадају [5] [14]:

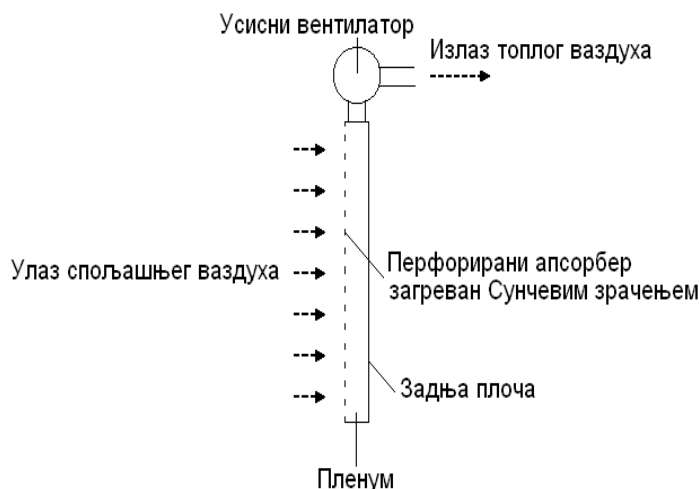
- незастакљени соларни колектори;
- застакљени соларни колектори.

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

4.4.1 Незастакљени ваздушни равни соларни колектори

Ови ваздушни соларни колектори познати су и као перфорирани соларни колектори.

На следећој слици (Слика 4.9) приказан је један овакав тип колектора.



Слика 4.9 Перфорирани ваздушни равни соларни колектор [5]

Перфорирани ваздушни равни соларни колектор састоји се од вертикале или под углом перфориране апсорберске металне плоче, високог коефицијента апсорпције, и задње плоче која са апсорбером и бочним зидовима чини пленум, простор у коме се ваздух загрева и струји.

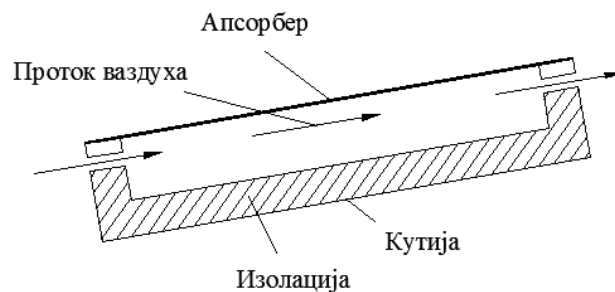
Вентилатор (Слика 4.9) усисава спољашњи ваздух кроз отворе на апсорберу, при чему се он загрева струјећи, такође кроз пленум. Подешавањем брзине струјања мења се и подешава излазна температура ваздуха. Висина (дебљина) пленума је у границама од 10 до 15 cm, пречници отвора на апсорберској плочи су у границама од 0,5 до 2 mm. Размак између ових отвора креће се од 10 до 30 mm.

Ефикасност ових соларних колектора може имати високе вредности. Она зависи од [19]:

- температуре ваздуха на излазу из колектора (виша температура смањује ефикасност колектора);

- протока ваздуха (у одређеном опсегу ефикасност колектора значајно расте са повећањем протока);
- пречника ваздушних отвора (мањи пречници повећавају ефикасност колектора);
- размака отвора (мањи размаци повећавају ефикасност колектора).
- брзине ветра (спољашњи атмосферски услови).

Код класичних равних незастакљених соларних колектора (Слика 4.10) плоча апсорбера није перфорирана. Иако у старту имају за око 10% већу оптичку ефикасност, код ове врсте ваздушних колектора, у случајевима када је радна температура виша од 10°C у односу на температуру околине, топлотни губици су велики и препоручене брзине ваздуха у пленуму су око 5 m/s [20], што значи да ови соларни колектори раде на ниским радним температурама, како би се одржала њихова задовољавајућа ефикасност. Њихова ниска ефикасност може се, једино оправдати малим инвестиционим трошковима.



Слика 4.10 Класични незастакљени равни ваздушни соларни колектор [5]

4.4.2 Застакљени ваздушни равни соларни колектори

Као што је већ речено, ваздух није радни флуид са идеалним карактеристикама за пренос топлоте (у многим варијантама се користи и као изолатор), али његова примена, пре свега у вентилацији и климатизацији, условљава његово коришћење као радног флуида. Конструкција плоче апсорбера код ваздушних, застакљених соларних колектора је различита у односу на водене.

На наредној слици (Слика 4.11) приказане су најчешће конструкције апсорбера застакљених, равних, ваздушних соларних колектора



Слика 4.11 Најчешћа конструкцијска решења апсорбера застакљеног ваздушног соларног колектора [5] [14]

Пример А (Слика 4.11) представља апсорбер ваздушног застакљеног соларног колектора са сетом канала испод (у виду правоугаоника, саћа...).

Пример В (Слика 4.11) је пример апсорбера у виду специфичне матрице, металне мреже или лавиринта кроз који струји ваздух и загрева се.

Трећа конструкција (Пример С) је пример набораног апсорбера, чиме се увећава специфична додирна површина са ваздухом.

4.5 Концентришући соларни колектори

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

Постоји више врста подела концентришућих соларних колектора. Као и соларни колектори, концентришући соларни колектори се према мобилности поделити на:

- концентришуће соларне колекторе са непокретним панелом;
- концентришуће соларне колекторе са 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 до неколико хиљада Целзијуса [14]. Из овог разлога, радни флуид у њима није ваздух, већ вода, термичко уље или неки други флуид погодних физичких карактеристика¹²⁾.

Предности концентришућих соларних колектора у односу на равне соларне колекторе су [5] [14]:

- постизање виших радних температура;
- већа термичка ефикасност;
- могућност повезивања у друге системе (соларне електране, и сл.).

Мане концентришућих соларних колектора су [5] [14]:

- прикупљају мало дифузног зрачења;
- неки соларни колектори из групе концентришућих колектора захтевају померање целокупног колектора;
- рефлектујуће особине временом губе своје карактеристике (прљају се);
- технологија израде доста сложенија;
- простор за смештање;
- цена.

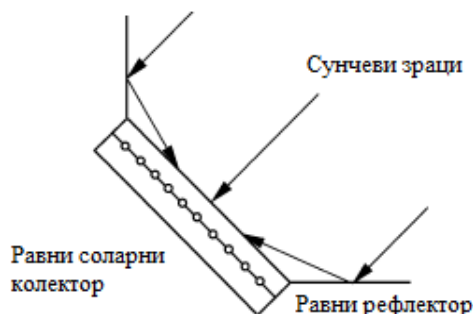
Према конструкцији, концентришући соларни колектори се могу поделити на [5] [14]:

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

¹²⁾ Топлотна проводљивост, топлотни капацитет, специфична топлота, температура кључања.

4.5.1 Равни соларни колектори са рефлекторима

Ови колектори, у ствари, представљају модификоване класичне равне соларне колекторе. Практично су равном соларном колектору придружени рефлектори који усмеравају додатно зрачење на његов апсорбер (Слика 4.12).



Слика 4.12 Равни соларни колектор са рефлекторима [5] [14]

У суштини, то су колектори са непокретним панелом. Површина пријема Сунчевог зрачења је већа од површине његове апсорпције.

Постоји и варијанта постављања рефлектора у слободан међупростор између равних соларних колектора (Слика 4.13). Овом варијантом се може значајно побољшати ефикасност соларних колектора. На годишњем нивоу, топлотни добици су процењени у рангу од 19% до 29% у односу на колектор без рефлектора [14].

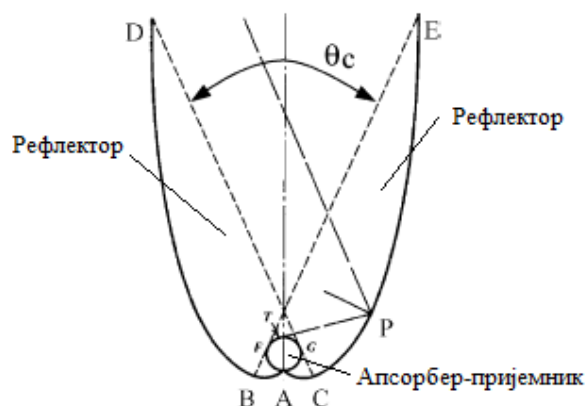


Слика 4.13 Равни соларни колектори са рефлекторском плочом између њих [5] [14]

4.5.2 Вишеделни параболични соларни колектори

Ова група соларних колектора сврстава се и у групу колектора са фиксним панелом, и у групу са покретним панелом.

Вишеделни параболични соларни колектор приказан је на Слици 4.14.



Слика 4.14 Вишеделни параболични симетрични соларни колектор [5] [14]

Како су вишеделни параболични соларни колектори најчешће са фиксним панелом, овај недостатак немобилности надокнађују својим дводелним, или вишеделним рефлектујућим површинама, које вишеструким рефлектовањем доводе до апсорбера сваки зрак који падне у оквиру њиховог пријемног угла θ_c .

Вишеделни параболични соларни колектор приказан на Слици 4.14 често се прекрива стаклом, које спречава продирање прашине и страних тела у колектор, али се тиме и редукује ефикасност рефлектора.

Пријемни угао θ_c (Слика 4.14) је дефинисан тако да у сваком тренуту „ухвати“ директни Сунчев зрак. Мана вишеделних параболичних соларних колектора је прикупљање дифузног зрачења у малим износима.

Уколико се ради о колектору са покретним панелима, тј. рефлекторима, они су увек покретни само по једној оси, и то по подужној оси око цилиндричног апсорбера [14]. Ако је подужна оса постављена у правцу север-југ, тада колектор мора пратити кретање Сунца непрестано (од истока до запада). Уколико је пријемни угао довољно велики, сезонска подешавања нису потребна.

Положај подужне осе у правцу исток-запад је повољније решење за фиксни панел, јер колектор може прихватити директно Сунчево зрачење током целог дана. Минимални пријемни угао у овом случају је двоструки деклинацијски угао ($2 \times 23,5^\circ = 47^\circ$) [14]. Већи пријемни угао помаже прихватању дифузног зрачења.

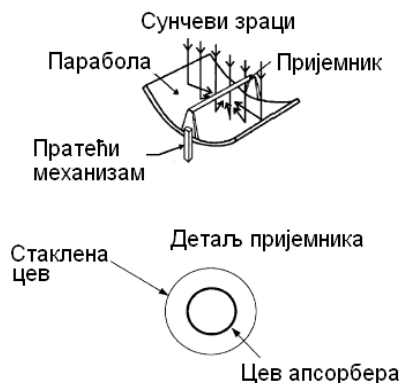
У зависности од симетричности рефлектора, вишеделни параболични соларни колектори су подељени у две групе [5] [14]:

- вишеделни параболични са симетричним рефлекторима;
- вишеделни параболични са несиметричним рефлекторима.

4.5.3 Параболични 2Д соларни колектори

Параболични 2Д колектори представљају јефтино и ефикасно решење за радне температуре до 400°C . Састављени су само од подужног параболичног рефлектора, који у својој фокалној линији има постављен цилиндрични апсорбер смештен у стакленој цеви, ради смањења топлотних губитака. Ово су, искључиво, колектори са покретним панелом, и то најчешће само око једне (подужне) осе [14].

На Слици 4.15 приказан је параболични 2Д соларни колектор.



Слика 4.15 Параболични 2Д соларни колектор [5] [14]

Уколико је парабола рефлектора правилно усмерена према Сунцу, зрак пада на површину рефлектора и одбија се у правцу фокуса параболе где је смештен цилиндрични апсорбер са радним флуидом у себи (Слика 4.15).

Уколико је подужна оса колектора постављена у правцу исток-запад, колектор прати Сунце од севера до југа. Померања су мала, а максимално повољан положај рефлектора је у подне, али у јутарњим и касно поподневним часовима косинусни губитак је велики (Ламбертов закон), пошто је упадни угао зрака велики.

Уколико се колектор постави подужном осом у правцу север-југ, он прати Сунце од истока до запада и померање је интензивније од претходног система. Највећи косинусни губитак код овог система је у подне, а најмањи у јутарњим и касно поподневним часовима.

На годишњем нивоу, хоризонтални 2Д параболични север-југ соларни колектор прикупља нешто више енергије од хоризонталног 2Д параболичног исток-запад соларног колектора [5]. Први систем је ефикаснији у летњем периоду, а други у зимском периоду.

Системи за праћење кретања Сунца (исток-запад и север-југ 2Д параболичних соларних колектора) се могу поделити на [5] [14]:

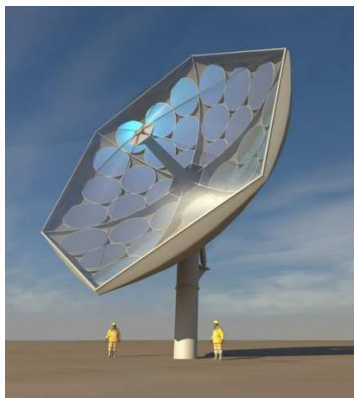
- механичке;
- електрично/електронске.

Прва група представља једноставне механизме покретане према предвиђеном кретању Сунца. Друга група представља знатно савршеније и ефикасније уређаје, који се могу поделити на:

- електронски вођене моторе према измереном просечном Сунчевом зрачењу;
- компјутерски вођене моторе према константно мереном соларном флуксу.

4.5.4 Параболични 3Д соларни колектори

На Слици 4.16 приказан је 3Д параболични соларни колектор.



Слика 4.16 Параболични 3Д соларни колектор [5] [14]

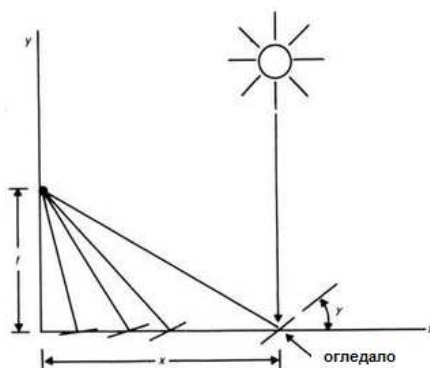
Код ове конструкције жижа рефлектора се не налази у једној линији, већ само у једној тачки. Ова врста концентришућих колектора захтева непрекидно праћење Сунца механизмом са две покретне осе, како би рефлектовани зраци увек доспевали у жижу, односно у пријемник-апсорбер.

Предности ових колектора су следеће [5] [14]:

- постижу највишу ефикасност јер увек заузимају најбољи положај што је обезбеђено праћењем у две осе;
- достижу јако високе температуре (до $1\,500^{\circ}\text{C}$);
- колектори су модуларни, па се могу уклапати у веће целине (системе).

4.5.5 Линеарни Fresnel-ови рефлектори

На самој површини земље, најчешће се прави поље од равних огледала, која својим кретањем и праћењем кретања Сунца рефлектују зрачење увек према једној тачки, месту где се налази фиксни апсорбер, обично смештен у кулу високо изнад земље (Слика 4.17).

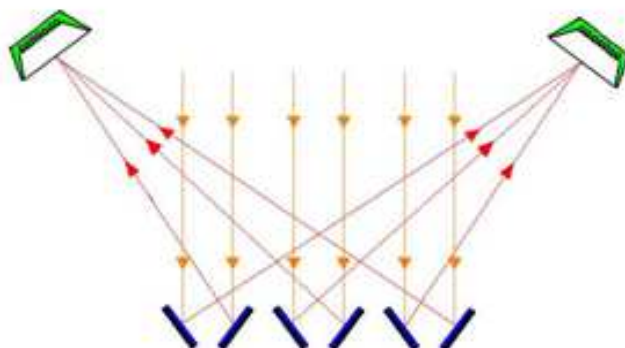


Слика 4.17 Линеарни Fresnel-ови рефлектори [5] [14]

Предност оваквог система је у коришћењу јефтиних равних огледала и непокретног заједничког апсорбера.

Основни проблем у реализацији инсталирања и постављања оваквих система је прављење сенке једног огледала у односу на друго, што зависи од њиховог међусобног

положаја. Овај проблем се у пракси решава постављањем модификованих Fresnel-ових рефлектора (Слика 4.18).



Слика 4.18 Модификовани линеарни Fresnel-ови рефлектори [5] [14]

4.5.6 Централни пријемници са пољем хелиостата

Ови соларни системи састављени су од централног пријемника који је смештен високо изнад земље и великог броја хелиостата (велика површина прикупљања Сунчевог зрачења), који рефлектују Сунчеву енергију право у жижу, тј. кулу-апсорбер у којој је смештен и систем за производњу електричне енергије, најчешће гасна турбина (Слика 4.19).



Слика 4.19 Централни пријемник са пољем хелиостата [5] [14]

Укупна површина прикупљања Сунчеве енергије (површина свих хелиостата) најчешће се креће у границама од 50 до 150 m². Снага гасних турбина у оквиру ових система је преко 10 MW. Куле су, такође, у стању да акумулирају топлотну енергију [14].

Уобичајено се примењују три система постављања централног пријемника и хелиостата [14]:

- пријемник је потпуно окружен хелиостатима, а апсорбер је спољни, кружни;
- хелиостати су смештени на северној страни куле (северна хемисфера), а кула носи затворени апсорбер;
- хелиостати су смештени на северној страни куле, а пријемник је раван и окренут северу.

Код оваквих система јавља се проблем избора радног флуида (водена пара, течни натријум, истопљена со...) јер радне температуре премашују вредности од 1 500°C.

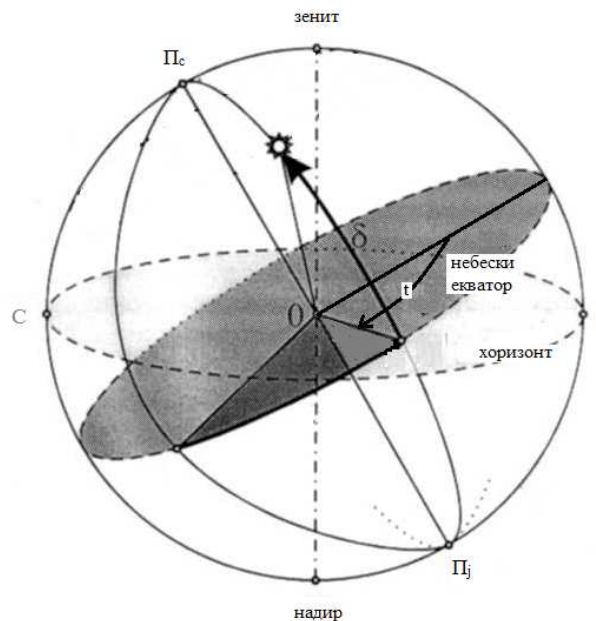
5. Методологија прорачуна равних соларних колектора

5.1 Одређивање положаја Сунца

За одређивање положаја Сунца у односу на Земљу користе се два координатна система: екваторски и хоризонтски.

Екваторски координатни систем приказан је на Слици 5.1. Координате Сунца у дефинисаном систему су деклинација δ и часовни угао t . Координатни почетак се налази у посматрачевом оку, а основна равна је равна небеског екватора. Небески екватор је велики круг небеске сфере (замишљена сфера по којој се крећу сва посматрана небеска тела), нормалан на осу Земљине ротације (светску осовину Π_c - Π_j). Зенит и надир представљају места где вертикала (нормална на хоризонт) сече небеску сферу.

Деклинација представља угао у равни деклинацијског (часовног) круга Сунца (велики круг небеске сфере који садржи светску осовину и Сунце), који се мери од равни небеског екватора до правца који спаја посматрача и Сунце (Слика 5.1).



Слика 5.1 Екваторски координатни систем

За положаје Сунца северно од небеског екватора, деклинација има позитивне вредности, а јужно негативне. Максимална вредност деклинације је $\delta = +23^\circ 27'$ (летња дугодневница на северној хемисфери), а минимална $\delta = -23^\circ 27'$ (летња дугодневница на јужној хемисфери). За време равнодневница (пролећне и јесење), деклинација је једнака нули. Деклинација је непромењива у зависности од места посматрања и привидног дневног кретања Сунца.

Деклинација се са задовољавајућом тачношћу може израчунати као [5] [14]:

$$\delta = \left(23 + \frac{27}{60} \right) \sin \left(\frac{2\pi brd_{21}}{365,25} \right) \frac{\pi}{180} \quad (5.1)$$

где је brd_{21} (-) - број дана протеклих од пролећне равнодневнице на северној хемисфери.

Часовни угао је дефинисан као угаоно растојање између часовног (деклинацијског) круга и меридијана посматрача, мерено у равни небеског екватора, у ретроградном смеру. Изражава се у степенима, радијанима или часовима. Један час је једнак $360^\circ/24=15^\circ$. Часовни угао се мења са променом места посматрања, као и са привидним дневним кретањем Сунца.

Часовни угао t одређује право Сунчано време, а разликује се од светског времена које се читава на часовнику t_0 [5] [14]:

$$t = \left(t_0 - 12 - TZ + \frac{\lambda}{15} \right) \frac{\pi}{12} \quad (5.2)$$

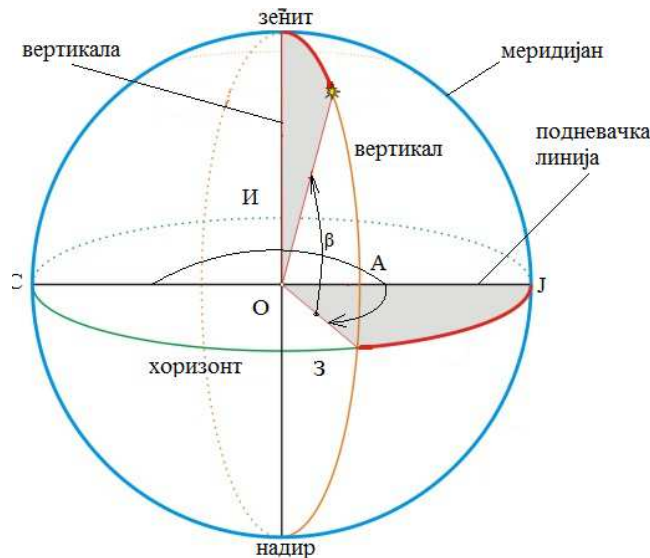
где су: t (rad) - право сунчано време,

t_0 (h) - светско време,

TZ - временска зона (-12 до 12),

λ ($^\circ$) - географска дужина места.

Хоризонтски координатни систем је приказан на Слици 5.2. Координате Сунца у дефинисаном систему су соларна амплитуда β и азимут A . Координатни почетак се налази у посматрачевом оку, а основна раван је раван хоризонта.



Слика 5.2 Хоризонтски координатни систем [5] [14]

Соларна алтитуда је угао у вертикалној равни, који се мери од хоризонта до визууре ка Сунцу. Узима позитивне (Сунце изнад хоризонта) и негативне вредности. Познавајући координате Сунца у екваторском координатном систему, могуће је одредити угао соларне алтитуде [5] [14]:

$$\sin\beta = \sin\delta\sin\varphi + \cos\delta\cos\varphi \quad (5.3)$$

где је $\varphi(^{\circ})$ - географска ширина места.

Азимут је угао у хоризонтској равни, који се мери од северне тачке хоризонта до пројекције правца Сунца у ретроградном смеру (у смеру казаљке на сату). Узима вредности од 0° до 360° и израчунава се као [5] [14]:

$$\sin A = -\frac{\sin\delta\cos\varphi}{\cos\beta} \quad (5.4)$$

$$\cos A = \frac{\sin\delta - \sin\beta\sin\varphi}{\cos\beta\cos\varphi} \quad (5.5)$$

Хоризонтске координате су различите уколико се мере на два различита места и у различито доба дана.

Време изласка $t_{iz} = -t$, односно време заласка Сунца $t_{za} = t$, се може израчунати [5] [14]:

$$t = \arccos(-\tan\delta\tan\varphi) \quad (5.6)$$

5.2 Сунчево зрачење на хоризонталну површину

Просечно дневно зрачење Сунца на врху атмосфере (просечно екстратерестријално зрачење) H_0 (W/m^2), може се израчунати као [5] [14]:

$$H_0 = \frac{I_s}{\pi} [1 + 0,033\cos(0,0172142brd)](\cos\varphi\cos\delta\sin t_{za} + t_{za}\sin\varphi\sin\delta) \quad (5.7)$$

где је brd (-) - редни број дана у години (почев од 01.01.).

Ј. А. Prescott је 1940. године предложио опште прихваћену везу између средњег екстратерестријалног зрачења H_0 и средњег дневног терестријалног зрачења (на површини Земље) H (W/m^2), као [5] [14]:

$$\frac{H}{H_0} = a + b\frac{S}{Z} \quad (5.8)$$

где су: a , b (-) - коефицијенти, S/Z (-) - удео јасних Сунчаних сати у току обданице (S -број јасних сунчаних сати, Z -обданица).

Коефицијенти a и b су усвојени према [21]:

$$a = -0,309 + 0,539\cos\varphi - 0,0693h + 0,29\frac{S}{Z} \quad (5.9)$$

$$b = 1,527 - 1,027\cos\varphi - 0,0926h - 0,359\frac{S}{Z} \quad (5.10)$$

где је h (km) - надморска висина места.

Однос часовне (H'_0 , H') и дневне екстратерестријалне и терестријалне (H_0 , H) инсолације усвојен је на основу једначине (5.11) коју су предложили М. Collares-Pereira и А. Rabl у The Average Distribution of Solar Radiation, 1979.:

$$\frac{H'}{H} = (a_1 + b_1 \cos t) \frac{H'_0}{H_0} \quad (5.11)$$

где су a_1, b_1 (-) - коефицијенти који се израчунавају као [5] [14]:

$$a_1 = 0,409 + 0,5016 \sin \left(t_{za} - \frac{\pi}{3} \right) \quad (5.12)$$

$$b_1 = 0,6609 - 0,4767 \sin \left(t_{za} - \frac{\pi}{3} \right) \quad (5.13)$$

Часовно (тренутно) зрачење на врху атмосфере H'_0 (W/m²) може се израчунати као [5] [14]:

$$H'_0 = I_0 [1 + 0,033 \cos(0,0172142 brd)] (\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t) \quad (5.14)$$

Израчунавање односа дневног директног H_{dir} (W/m²) и дифузног H_{dif} (W/m²) зрачења може се вршити према следећој једначини [5] [14]:

$$\frac{H_{dif}}{H} = 0,974 + 0,693 \frac{H}{H_0} - 6,067 \left(\frac{H}{H_0} \right)^2 + 6,416 \left(\frac{H}{H_0} \right)^3 - 1,931 \left(\frac{H}{H_0} \right)^4 \quad (5.15)$$

при чему је:

$$H_{dir} = H - H_{dif} \quad (5.16)$$

Различити аутори користе различите коефицијенте у једначини (5.15), у зависности од локалних метеоролошких података. Једначина (5.15) важи за средње дневно зрачење, али се приближно може користити и за израчунавање тренутног (часовног) зрачења H'_0, H' .

5.3 Сунчево зрачење на нагнуту површину

Према Ламбертовом закону интензитет зрачења на површину зависи од косинуса упадног угла (угао између зрака и нормале површине), па је од посебног значаја за пријем Сунчевог зрачења, податак, како је пријемна површина оријентисана и нагнута у простору.

У општем случају угао између зрака и нормале произвољно постављене површине i (°) може се израчунати као [5] [14]:

$$\begin{aligned} \cos i = & [\cos G \sin \varphi - \sin G \cos \varphi \cos(\pi - \alpha)] \sin \delta + \\ & + [\cos G \cos \varphi + \sin G \sin \varphi \cos(\pi - \alpha)] \cos \delta \cos t + \\ & + \sin G \sin(\pi - \alpha) \cos \delta \sin t \end{aligned} \quad (5.17)$$

где су: G (°) - нагиб посматране површине у односу на хоризонталу, α (°) - оријентација посматране нагнуте површине, која представља угао између смера севера и пројекције нормале површине на хоризонталу, мерено од смера севера супротно од кретања казаљке на часовнику.

Укупно Сунчево зрачење на произвољно оријентисану и нагнуту површину I_p (W/m²) се израчунава као [5] [14]:

$$I_p = H'_{dir} \frac{\cos i}{\sin \beta} + \frac{H'_{dif}(1 + \cos G)}{2} + \frac{g_r H'(1 - \cos G)}{2} \quad (5.18)$$

где је g_r (-) - Земљин албедо.

У већем броју сличних једначина Земљин алbedo се занемарује, па једначина (5.18) постаје [5] [14]:

$$I_p = H'_{dir} \frac{\cos i}{\sin \beta} + \frac{H'_{dif}(1 + \cos G)}{2} \quad (5.19)$$

5.4 Апсорпција Сунчевог зрачења у соларним колекторима

Када Сунчево зрачење доспе на стаклену плочу соларног колектора (мисли се на равне застакљене водене соларне колекторе, тј. класичне соларне колекторе) под неким дефинисаним углом i (°), иако стакло у највећој мери пропушта ово зрачење, то ипак није стопроцентно. У Табели 5.1 дата је зависност пропустљивости стакла соларног колектора, типичне дебљине (коэффициент дијатермије), од нападног угла зрачења i (°).

Табела 5.1 Пропустљивост стакла соларног колектора зависно од нападног угла [14]

i (°)	0	60	70	80	90
τ (-)	0,9	0,8	0,65	0,35	0

Када зрак прође кроз стакло он неће бити, у општем случају, потпуно апсорбован на плочи апсорбера. Плоча апсорбера има свој коэффициент апсорпције α (-) и своју оптичку ефикасност $\gamma = \alpha \tau$ (-). Коэффициенти апсорпције и коэффициенти оптичке ефикасности равног воденог застакљеног соларног колектора у зависности од нападног угла i (°) приказани су у Табели 5.2.

Табела 5.2 Коэффициенти апсорпције апсорбера и оптичка ефикасност соларног колектора [5] [14]

i (°)	0	60	70	80	90
α (-)	0,92	0,85	0,75	0,6	0
$\gamma = \alpha \cdot \tau$ (-)	0,83	0,68	0,49	0,21	0

5.5 Топлотни губици у соларним колекторима

Губици у соларном колектору су тројаки:

- губици зрачењем преко стаклене плоче q_{gs} (W/m²);
- губици конвекцијом преко стаклене плоче q_{gks} (W/m²);
- губици конвекцијом преко кутије соларног колектора q_{gk} (W/m²).

Стакло се за дуготаласно инфрацрвено зрачење практично понаша као црно тело (поглавље 2.4). За стандардно стакло коэффициент емисије (апсорпције) дуготаласног зрачења ε_s (-) износи око 0,95. С друге стране, апсорбер је тај који емитује дуготаласно инфрацрвено зрачење. Коэффициент емисије апсорбера ε_a (-) у дефинисаном таласном опсегу зависи од тога да ли је апсорбер неселективан ($\varepsilon_a=0,92$) или селективан ($\varepsilon_a=0,1$).

Количина топлоте која се зрачењем размењује између апсорбера и стаклене плоче q_{as} (W/m²) унутар колектора износи [5] [14]:

$$q_{as} = \frac{c_c \left[\left(\frac{T_a}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_s}{100} \right)^4 \right]}{\frac{1}{\varepsilon_a} + \frac{1}{\varepsilon_s} - 1} = c_{as} \left[\left(\frac{T_a}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_s}{100} \right)^4 \right] \quad (5.20)$$

где су:

- c_c (W/m²K⁴) - константа зрачења апсолутно црног тела,
- c_{as} (W/m²K⁴) - ефективна константа зрачења између стакла и апсорбера,
- T_a (K) - температура апсорбера,
- T_s (K) - температура стакла.

Количина топлоте која се конвекцијом размењује између апсорбера и стаклене плоче q_{kas} (W/m²), израчунава се на следећи начин [5] [14]:

$$q_{kas} = h_{as}(T_a - T_s) \quad (5.21)$$

где је h_{as} (W/m²K) - коефицијент прелаза топлоте са апсорбера на стаклену плочу колектора, који се може одредити на два начина у зависности од положаја колектора [5] [14]:

$$h_{as} = \frac{Nu k_{air}}{L} = 0,152 \frac{k_{air}}{L} Gr^{0,281}, \text{ за хоризонтални положај} \quad (5.22)$$

$$h_{as} = \frac{Nu k_{air}}{L} = 0,093 \frac{k_{air}}{L} Gr^{0,310}, \text{ за нагиб колектора од } 45^\circ \quad (5.23)$$

где су:

- Gr (-) - Грасхофов број ваздуха смештеног између стакла и апсорбера,
- Nu (-) - Нуселтов број за дату размену топлоте,
- k_{air} (W/mK) - топлотна проводљивост ваздуха на датој температури,
- L (m) - геометријска карактеристика соларног колектора (у овом случају дебљина ваздушног слоја која се креће у границама од 30 до 50 mm).

Једначине (5.22) и (5.23) важе за Грасхофове бројеве у границама $1 \cdot 10^4$ и $1 \cdot 10^7$.

Топлотни губитак соларног колектора конвекцијом са кутије q_{gk} (W/m²) рачуна се [5] [14]:

$$q_{gk} = K_{ak}(T_a - T_o) \quad (5.24)$$

где су: $K_{ak}=0,3$ (W/m²K) - коефицијент пролаза топлоте од апсорбера ка околини (кроз тело кутије), T_o (K) - температура околине.

Количина топлоте која се губи конвекцијом са стаклене плоче q_{gks} (W/m²) једнака је [5] [14]:

$$q_{gks} = h_{so}(T_s - T_o) \quad (5.25)$$

где је h_{so} (W/m²K) - коефицијент прелаза топлоте са стакла на околину. Овај коефицијент се приближно може одредити из следећег израза [5] [14]:

$$h_{as} = 2,8 + 3,0W \quad (5.26)$$

где је W (m/s) - брзина ветра преко стаклене плоче соларног колектора.

Количина топлоте која се зрачењем губи са стаклене плоче износи [5] [14]:

$$q_{gs} = \varepsilon_s c_c \left(\frac{T_s}{100} \right)^4 - \varepsilon_s - q_{z-dt} \quad (5.27)$$

где је q_{z-dt} (W/m^2) - топлота дуготаласног зрачења која из околине доспева на стаклену плочу.

Како топлотни губици апсорбера према стакленој плочи, у стационарном случају, морају бити једнаки губицима стаклене плоче према околини, следи да је:

$$\begin{aligned} h_{as}(T_a - T_s) + c_{as} \left[\left(\frac{T_a}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_s}{100} \right)^4 \right] = \\ = h_{so}(T_s - T_o) + \varepsilon_s \cdot c_c \left(\frac{T_s}{100} \right)^4 - \varepsilon_s - q_{z-dt} \end{aligned} \quad (5.28)$$

Укупни топлотни губици равног застакљеног соларног колектора q_{gsk} (W/m^2) једнаки су [5] [14]:

$$q_{gsk} = K_{ak}(T_a - T_o) + h_{as}(T_a - T_s) + c_{as} \left[\left(\frac{T_a}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_s}{100} \right)^4 \right] \quad (5.29)$$

5.6 Ефикасност равних соларних колектора

Укупно дозрачена енергија апсорберу соларног колектора q_{ap} (W/m^2) се даље предаје радном флуиду q_{sk} (W/m^2), а остатак представљају топлотни губици [5] [14]:

$$q_{ap} = q_{sk} + q_{gsk} \quad (5.30)$$

Ефикасност соларног колектора η_{sk} (-) која је у највећој мери функција дозраченог флукса I_p и температура апсорбера T_a , израчунава се на следећи начин [5] [14]:

$$\eta_{sk} = \frac{q_{sk}}{I_p} \quad (5.31)$$

Укупно дозрачени топлотни флуks на стакленој плочи не стиже до апсорбера, већ је умањен због постојања оптичке ефикасности γ (-) [5] [14]:

$$q_{ap} = \gamma I_p \quad (5.32)$$

Корисни топлотни флуks соларног колектора се може представити као [5] [14]:

$$q_{sk} = \gamma I_p - K_g(T_a - T_o) \quad (5.33)$$

где је K_g (W/m^2K) - укупни коефицијент пролаза топлотних губитака соларног колектора.

Коначно, добија се тражени израз за израчунавање степена корисности соларног колектора

$$\eta_{sk} = \frac{q_{sk}}{I_p} = \gamma - \frac{K_g(T_a - T_o)}{I_p} \quad (5.34)$$

Из једначине (5.34) се види да када је температура апсорбера једнака околини, тада је ефикасност соларног колектора једнака његовој оптичкој ефикасности.

Са друге стране, ефикасност соларног колектора ће бити једнака нули, када је задовољен услов [5] [14]:

$$T_a = T_{a \max} = T_o + \gamma \frac{I_p}{K_g} \quad (5.35)$$

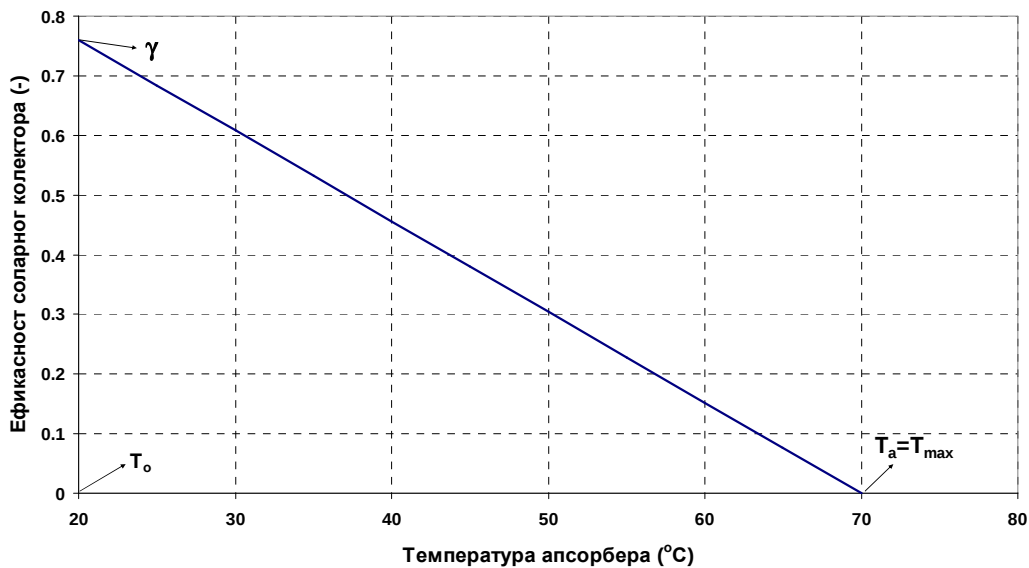
Температура $T_{a \max}$ (К) представља температуру прекида функционисања соларног колектора, односно максималну температуру на којој соларни колектор, при датим условима може радити.

У реалним условима због нелинеарне зависности између топлотних губитака и разлике температура апсорбера и околине, може се написати [5] [14]:

$$\eta_{sk} = \frac{q_{sk}}{I_p} = \gamma - \frac{K_{g1}(T_a - T_o)}{I_p} - \frac{K_{g2}(T_a - T_o)^2}{I_p} \quad (5.36)$$

где су: K_{g1} , K_{g2} (W/m²K) - одговарајући коефицијенти губитака соларног колектора.

Коефицијент K_{g2} је значајно мањи од K_{g1} , али се на дијаграму зависности ефикасности соларног колектора од температуре апсорбера (Слика 5.3), добија крива уместо праве линије.



Слика 5.3 Зависност ефикасности соларног колектора од радне температуре [14]

За разлику од стационарних услова рада соларног колектора, при сталним променама дозраченог флукса (пролаз облака), његову ефикасност није лако израчунати и предвидети.

У Табели 5.3 дате су оквирне карактеристике равних соларних колектора. Ваздушни и незастакљени водени колектори раде на најнижим радним температурама и имају највеће топлотне губитке.

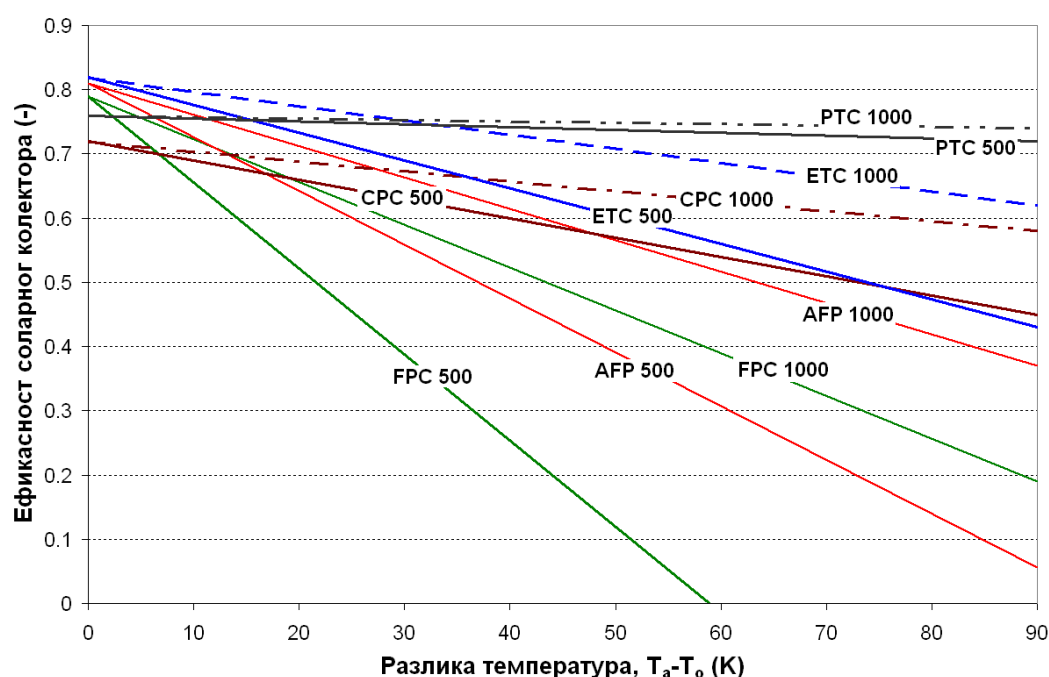
Класични равни водени соларни колектори у зависности од конструкције покривају велико подручје радних температура.

Вакуумски су намењени високим радним температурама и зато имају мале топлотне губитке.

Табела 5.3 Оквирне карактеристике равних соларних колектора

Тип колектора	γ (-)	K_g (W/m ² °C)	Радна температура (°C)
Незастакљени водени	0,82-0,87	10-30	До 40
Равни застакљени водени	0,66	2,9-5,3	20-80
Вакуумски 1	0,81-0,83	2,6-4,3	20-120
Вакуумски 2	0,62-0,84	0,7-2	50-120
Бојлерски	Око 0,55	Око 2,4	20-70
Ваздушни	0,75-0,9	8-30	20-50

На Слици 5.4 приказане су ефикасности разних типова соларних колектора у зависности од разлике температура радни флуид-околина [14].



Слика 5.4 Зависност ефикасности различитих соларних колектора од разлике температура радни флуид-околина [14]

500 – Сунчево зрачење од 500 W/m²; 1000 – Сунчево зрачење од 1000 W/m²

FPC – равни соларни колектор;

AFP – напредни равни соларни колектор;

CPC – вишеделни параболични соларни колектор;

ETC – вакуумски соларни колектор;

PTC – параболични 2Д соларни колектор

Положену криву ефикасности имају параболични 2Д соларни колектори, који раде на високим температурама и имају нешто нижу оптичку ефикасност.

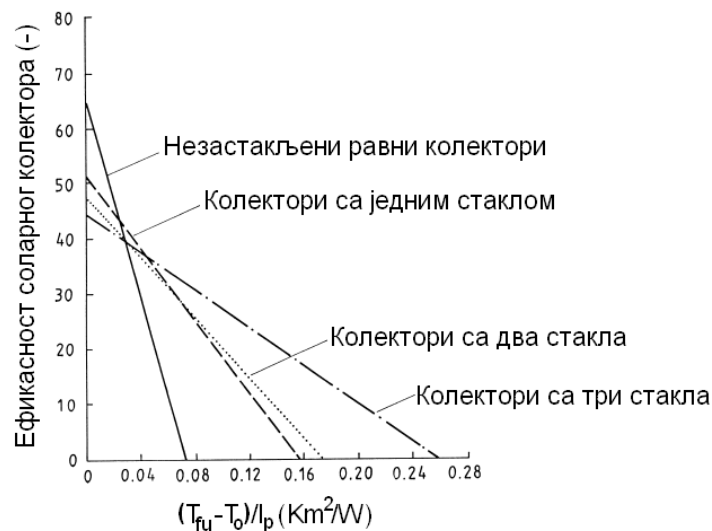
Вишеделни параболични соларни колектори имају добре карактеристике и могу се користити за високе радне температуре. Такође поседују нижу оптичку ефикасност.

Вакуумски соларни колектори су најефикаснији у групи равних колектора и користе се за више радне температуре у свим временским условима.

Напредни равни соларни колектори подразумевају селективне апсорбере и смањене топлотне губитке. Њихове карактеристике се налазе негде између вакуумских и класичних равних соларних колектора. Са порастом температуре, њихова ефикасност брже опада од претходно описаних.

Класични равни соларни колектори представљају велику групу колектора за просечне радне температуре. Њихова ефикасност брзо опада у неповољним условима (при ниским спољним температурама и смањеним интензитетом зрачења).

На Слици 5.5 приказане су уобичајене ефикасности ваздушних соларних колектора [5] [14] [22].



Слика 5.4 Уобичајене ефикасности ваздушних соларних колектора у зависности од редуковане температуре [14] [22]

Ваздушни колектори раде на значајно нижим радним температурама од водених колектора и зато могу, у тим условима, имати коректне вредности степена корисности (ефикасности). Како се смањују топлотни губици у колектору, тако криве ефикасности смањују свој нагим.

Најлошије карактеристике имају незастакљени ваздушни колектори, боље једноструко застакљени. Вишеструко застакљени ваздушни соларни колектори ретко су у примени, а имају мању оптичку ефикасност од једноструко застакљених соларних колектора, али положенију криву ефикасности [5] [14] [23].

5.7 Оптимална оријентација соларних колектора

Постизање задате ефикасности соларног колектора подразумева да он заузима такав положај у простору, да прима највећу могућу количину Сунчевог зрачења, односно да је угао нормале његове површине и правца Сунчевог зрака што мањи, по могућству једнак нули. Тада се практично и добија максимална оптичка ефикасност (о којој је већ било речи).

Уколико се ради о фиксном соларном колектору, његова оријентација је одређена смером југа (северна хемисфера), а нагиб се одређује тако, да у току године панел прими максимално могућу количину зрачења.

Постоје три приступа одређивању оптималног нагиба соларног колектора [23]:

- одређивање оптималног нагиба равног соларног колектора према географској ширини;
- одређивање оптималног нагиба равног соларног колектора према индексу прозрачности атмосфере;
- одређивање оптималног нагиба равног соларног колектора према деклинацијском кругу.

Одређивање оптималног нагиба соларног колектора према географској ширини φ је најстарији и најприменљивији метод. Углавном се препоруке групишу око нагиба панела који је једнак $G = \varphi + (10^\circ \div 30^\circ)$ [14]. Уколико се једном годишње мења нагиб панела препоруке су $G = \varphi \pm 20^\circ$ [24]; где се знак плус примењује у зимском (Сунце ниско на небу), а знак минус у летњем периоду (Сунце високо на небу).

Према компјутерски спроведеним симулацијама у [25], годишњи, непроменљиви, оптимални нагиб панела соларног колектора се (готово) поклапа са географском ширином позиције на којој се налази.

Одређивање оптималног нагиба панела соларног колектора G_{opt} према индексу прозрачности атмосфере, врши се према једначини [26]:

$$G_{opt} = f(\varphi, N, i, K_I, g_r) \quad (5.37)$$

где су: N (-) - дан у години,

i ($^\circ$) - већ вефинисана оријентација површине панела (азимута),

K_I (-) - индекс прозрачности атмосфере,

g_r (-) - алbedo Земље (који је такође већ дефинисан).

Одређивање оптималног нагиба равног соларног колектора према деклинацијском углу δ , врши се којишћењем следеће једначине [27]:

$$G_{opt} = 35,15 - 1,37\delta - 0,007\delta^2 \quad (5.38)$$

5.8 Топлотна снага соларних колектора

У пракси је уобичајено да се уместо температуре апсорбера T_a (К) користи средња температура радног флуида [5] [14]:

$$Q_{sk} = AF'[\gamma I_p - K_g(T_{fsr} - T_o)] \quad (5.39)$$

где су: T_{fsr} (К) - средња температура радног флуида,

Q_{sk} (W) - топлотна снага соларног колектора,

A (m^2) - површина соларног колектора,

F' (-) - фактор ефикасности соларног колектора.

За ефикасне конструкције соларних колектора вредност фактора F' је блиска јединици. Производ $\gamma F'$ представља ефективну оптичку ефикасност, а производ $F'K_g$ представља коефицијент губитака топлоте између радног флуида и околине.

Даље се може дефинисати отпор преноса топлоте од апсорбера ка радном флуиду R_{af} (Km^2/W) [5] [14]:

$$q_{sk} = \frac{(T_{fsr} - T_o)}{R_{af}} \quad (5.40)$$

Повезивањем једначина (5.33), (5.39) и (5.40) добија се једнакост:

$$F' = \frac{1}{1 + R_{uf}K_g} \quad (5.41)$$

Посматрајући флуид који струји кроз апсорбер, његово загревање се може изразити на следећи начин [14]:

$$m_f c_f \frac{dT(x)}{dx} = \frac{AF'}{L_{sk}} \cdot [\gamma I_p - K_g(T_f(x) - T_o)] \quad (5.42)$$

где су: m_f (kg/s) - масени проток радног флуида,

c_f (J/kgK) - специфична топлота радног флуида,

L_{sk} (m) - укупна дужина пута флуида кроз апсорбер,

x (m) - тренутна дужина,

$T_f(x)$ (K) - температура флуида на дужини x .

Уколико се усвоји да је K_g константа, онда ће једначина (5.42) бити нехомогена линеарна диференцијална једначина, чије решење даје везу између улазне T_{fu} (K) и излазне T_{fi} (K) температуре радног флуида [5]:

$$[\gamma I_p - K_g(T_{fu} - T_o)]e^{-\frac{AF'K_g}{m_f c_f}} = \gamma I_p - K_g(T_{fi} - T_{fu}) \quad (5.43)$$

Најчешће се топлотна снага соларног колектора изражава преко улазне температуре радног флуида T_{fu} (K) и фактора преноса топлоте F_R (-) [14]:

$$Q_{sk} = AF_R[\gamma I_p - K_g(T_{fu} - T_o)] \quad (5.44)$$

Ефикасност соларног колектора се сада може изразити преко фактора преноса топлоте као:

$$\eta_{sk} = F_R \gamma - \frac{K_{g1}(T_{fu} - T_o)}{I_p} - \frac{K_{g2}(T_{fu} - T_o)^2}{I_p} \quad (5.45)$$

За концентришуће соларне колекторе, ефикасност изражена преко фактора преноса топлоте гласи:

$$\eta_{sk} = F_R \gamma - \frac{K_{g1}(T_{fu} - T_o)}{CI_p} - \frac{K_{g2}(T_{fu} - T_o)^2}{CI_p} \quad (5.46)$$

У једначини (5.46) величина C (-) представља концентрациони однос колектора:

$$C = \frac{A_r}{A_a} \quad (5.47)$$

где су: A_r (m²) - површина пријема Сунчевог зрачења (пријемника), A_a (m²) - површина апсорбера концентришућег соларног колектора.

За равне соларне колекторе величина C је увек једнака јединици, док је за концентришуће колекторе увек већа од јединице и може износити чак и више (десетина) хиљада.

Као што је показано у Табели 5.1 и Табели 5.2 оптичка ефикасност γ није константна и зависи од упадног угла зрака, па се може увести величина названа модификатор угла k_γ (-) која је једнака [14]:

$$k_\gamma = 1 - b_0 \left(\frac{1}{\cos i} - 1 \right) - b_1 \left(\frac{1}{\cos i} - 1 \right)^2 \quad (5.48)$$

где су: b_0 , b_1 (-) - коефицијенти. За једноструко стакло ови коефицијенти износе редом: -0,1 и 0 [14]. У том случају, израз за ефикасност равног соларног колектора износи [14]:

$$\eta_{sk} = F_R \gamma_n k_\gamma - \frac{K_{g1}(T_{fu} - T_o)}{I_p} - \frac{K_{g2}(T_{fu} - T_o)^2}{I_p} \quad (5.49)$$

где је γ_n (-) - маскимална оптичка ефикасност при нормалном Сунчевом зраку на нормалну површину колектора.

Снага соларног колектора се може изразити и као:

$$Q_{sk} = m_f c_f (T_{fi} - T_{fu}) \quad (5.50)$$

Ако се T_{fi} елиминише, а притом користећи једначину (5.44), добија се:

$$F_R = \frac{m_f c_f}{A K_g} \left(1 - e^{-\frac{AF' K_g}{m_f c_f}} \right) \quad (5.51)$$

За мале протоке радног флуида, вредност F_R је мала, а излазна температура тежи максимуму T_{amax} . У супротном, вредност F_R је велика, али је пораст температуре радног флуида мали.

5.9 Соларни колектори као размењивачи топлоте

Ако би се соларни колектор посматрао као класичан размењивач топлоте, једна (хладнија) страна би била радни флуид, а друга (топлија) привидни флуид константне температуре T_{amax} (маскимална температура коју радни флуид може достићи под дефинисаним условима у соларном колектору).

Промена температуре у соларном колектору приказана је на Слици 5.5.

Средња логаритамска разлика температура Δt_m (К) за случај соларног колектора гласи:

$$\Delta t_m = \frac{T_{fi} - T_{fu}}{\ln \frac{T_{amax} - T_{fu}}{T_{amax} - T_{fi}}} \quad (5.52)$$

Кобинацијом једначина (5.35), (5.43) и (5.50), добија се:

$$Q_{sk} = AF' K_g \Delta t_m \quad (5.53)$$

Уколико се примени релација за ефикасност размењивача топлоте η_E (-) на соларни колектор, добија се следећи израз [5]:

$$\eta_E = \frac{Q_{sk}}{Q_{max}} \quad (5.54)$$

где је Q_{max} (W) - теоријска, маскимална, толотна снага соларног колектора.

Коришћењем израза (5.35), (5.43) и (5.50) и њиховом комбинацијом, добија се:

$$\eta_E = 1 - e^{-\frac{AF'K_g}{m_f c_f}} \quad (5.55)$$

Упрошћавањем израза (5.55) добија се:

$$\eta_E = 1 - e^{-N} \quad (5.56)$$

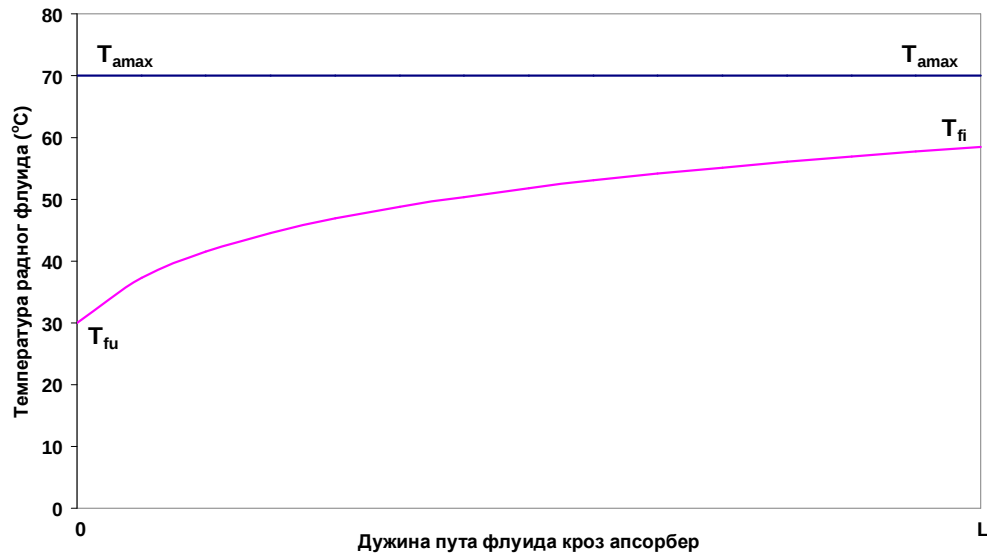
где је N (-) - број јединица преноса топлоте ($N=AK/mfc_f$).

За соларни колектор број јединица преноса топлоте представља [14]:

$$N = \frac{AF'K_g}{m_f c_f} \quad (5.57)$$

Комбинацијом једначина (5.51), (5.56) и (5.57) може се добити веза између F_R и F' [5] [14]:

$$F_R N = F' \eta_E \quad (5.58)$$

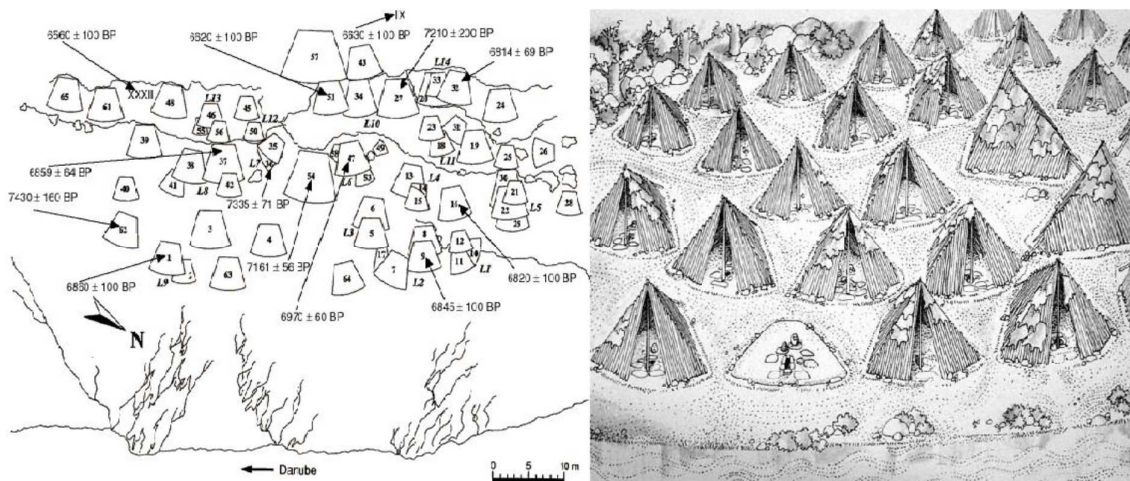


Слика 5.5 Промена температуре радног флуида дуж соларног колектора [14]

6. Примена соларних колектора

6.1 Историја коришћења Сунчеве енергије

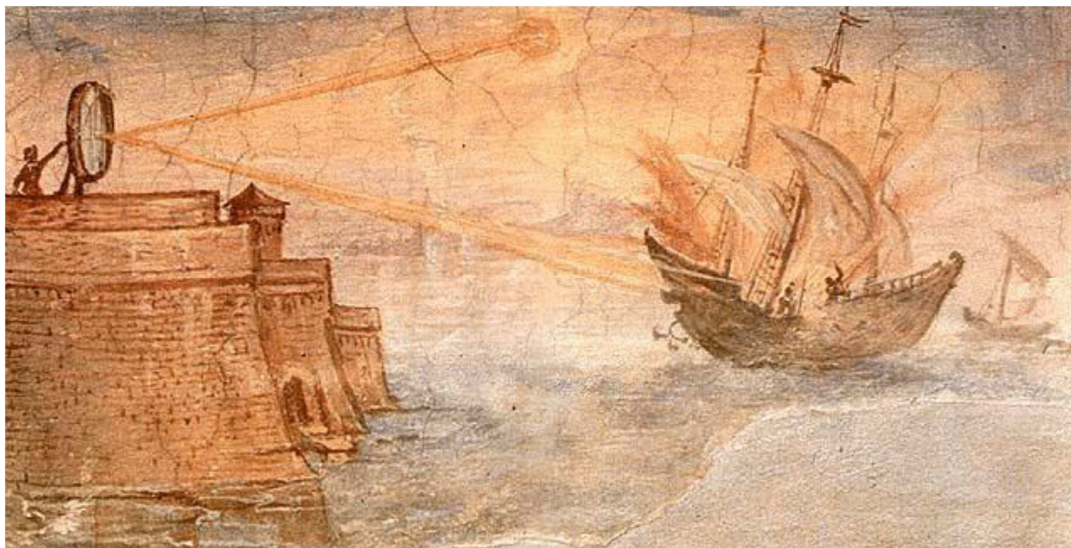
Да би опстао и створио погодне животне услове, човек је још на почетку цивилизације морао правилно да оријентише своје место боравка према Сунцу. Од најстарије познате архитектуре Лепенског вира (Слика 6.1) 6500-5500 г.п.н.е. људи су се трудили да "ухвате" јутарње Сунце, а да поподне остану у сенци. Шира страна њихове трапезасте куће била је окренута ка истоку тј. Дунаву и јутарњем Сунцу.



Слика 6.1 Шематски и графички приказ оријентације кућа на археолошком налазишту Лепенски вир [28]

Прво писано правило о соларним принципима грађења и коришћења соларне енергије дао је старогрчки филозоф Сократ 469-399 г.п.н.е. (записао ученик Ксенофонт "Успомене о Сократу") : ... "У кућама које гледају према југу, зими Сунце сија у тремове, а лети се креће изнад нас и кровова, те чини хладовину", па препоручује градњу са вишом страном према југу и нижом страном према хладним ветровима севера.

Постоје писани подаци (грчки историчар Плутарх, 46-120. г.н.е) о случају паљења римске флоте на домаку грчке обале (212. г.п.н.е) од стране Архимеда, који је познавајући оптику, употребио мноштво полираних грчких штитова да направи конкавно огледало и да усмери концентрисани Сунчев зрак у римски брод (Слика 6.2). Архимед је после тога наводно написао књигу о горећим огледалима али нема опипљивог трага томе [14].



Слика 6.2 Архимедов „зрак смрти“ [29]

Куће старих Римљана нису имале јужну, већ западну оријентацију, да би искористили Сунце у вечерњим сатима када користе своја чувена купатила. Предња фасада од стакла пропуштала је Сунчево зрачење у унутрашњост. Римска купатила су била позната по топлоти унутрашњих просторија.

Много векова касније А. Kircher (1601-1680) реализовао је низ експеримената да упали пиљевину са даљине попут Архимеда, али нема сачуваних писаних трагова о његовим резултатима [14].

Током XVIII века у Европи и на Средњем истоку граде се соларне пећи састављене од концентрисаних колектора (полирани метал, сочива и огледала), које су могле да топе метал (гвожђе, бакар ...). У истом веку француски научник Лавоазје комбинацијом примарног и секундарног сочица, користећи Сунчеве зраке достиже температуру од 1750°C [14].

У деветнаестом веку крећу покушаји да се покрену парне турбине користећи концентрисано Сунчево зрачење. Проблеми настају када се испостави да су такви пројекти врло неисплативи. Занимљиво је да су ти први покушаји разматрали системе концентрисаног Сунчевог зрачења, што је компликованије од неконцентришућих система [14].

Године 1912. Shuman и В.С. Boys започињу градњу највећег соларног пумпног постројења у Меади (Етипат). Пројекат је успешно реализован 1913. године, а радило се о $1\,200\text{ m}^2$ параболичних цилиндара (сваки 62 m дужине) фокусираних у пратеће апсорпционе цеви. Ова соларна „машина“ је сваког дана у трајању од 5 часова давала снагу од 37 до 45 kW. Престала је са радом 1915. године, а јефтина фосилна горива су била сигурно и већи разлог томе од почетка Првог светског рата [28].

Током двадесетог века користе се углавном два принципа за концентрацију Сунчевог зрачења, са централним и дистрибутивним пријемницима. Системи постижу од 100, па све до $1\,500^{\circ}\text{C}$ [14].

Идеја да се Сунчева енергија користи за загревање нискотемпературне воде која би се користила у домаћинствима, јавља се 30-тих година двадесетог века (равни соларни панели). Индустриска производња соларних водених грејача започиње раних 60-тих

година двадесетог века и у непрестаном је успону. Прво су развијени јефтини термосифонски системи са резервоаром изнад колектора. Међутим, системи са принудном циркулацијом (иако скупљи) преузимају примат, пре свега, због архитектонских и естетских захтева [14].

Године 1839. Бекерел открива фотонапонски (ФН) ефекат у селенијуму. Нове силицијумске ФН ћелије, произведене 1958. године, имале су ефикасност од 11%, али и цену од 1 000 долара по инсталисаном вату електричне снаге [14].

Касније (1960.) бивају откривени и други материјали са сличним карактеристикама, попут галијум арсенида. До краја 2002. године, у свету је инсталисано 2 GW_p (снага која се добија при стандардизованим, максимално повољним условима Сунчевог зрачења) и тај тренд експоненцијално расте, уз пад цене оваквог начина производње електричне енергије [14].

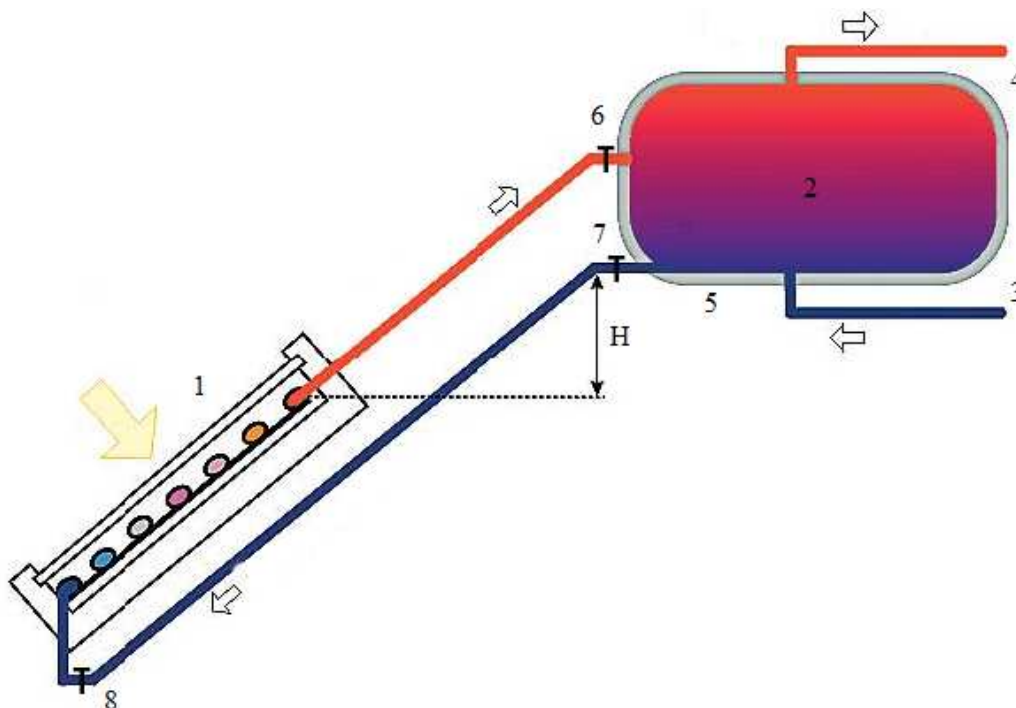
6.2. Соларни бојлери

Уређаји за добијање топле потрошне (хигијенске, тј. санитарне) и технолошке воде помоћу Сунчеве енергије, називају се соларни бојлери [5] [9] [14].

Подела соларних бојлера може се извршити према различитим критеријумима. Према првом критеријуму, соларни бојлери се могу поделити на бојлере са природном циркулацијом радног флуида и на бојлере са принудном циркулацијом радног флуида. Према другом критеријуму, соларни бојлери се могу поделити на оне да директним током радног флуида (отворени, тј. проточни) и на оне са индиректним протоком флуида (затворени, тј. циркулациони). Могуће су и комбинације наведених типова [5] [9] [14].

Директни соларни бојлер са природном циркулацијом радног флуида (Слика 6.3) је најједноставнији тип соларног бојлера, јер нема нити размењивач, нити посебан акумулатор, па је и најјефтинији.

Састоји се из два основна елемента: равног соларног колектора (1) и резервоара (2) са изолацијом (5) кроз који циркулише вода. Вода у овом резервоару може да остане 2-3 дана. Рад соларног колектора у овом соларном систему одвија се спонтано природном циркулацијом радног флуида (термосифонским ефектом). Загревањем воде у соларном колектору настаје разлика у температури воде, а тиме и у њеној густини између колектора и осталих делова бојлера. Топла вода мање густине пење се навише, а хладнија и гушћа пада на дно резервоара све до поновног улаза у колектор. Тиме се успоставља циркулација флуида која се одржава у бојлеру све док је температура колектора виша од температуре осталих делова бојлера, тј. док има Сунца. Систем се спонтано искључује чим се изједначи температура воде у колектору са температуром воде у свим деловима бојлера. У случају када температура воде у резервоару постане виша од оне у колектору (током облачних дана и ноћу), колектор почиње да функционише као хладњак, што се спречава прекидом везе између колектора и резервоара славинама (6) и (7). У оваквим соларним системима, на бојлеру се налази цев за допуњавање воде (3), као и цев за коришћење топле воде (4). У најнижој тачки инсталације, поставља се и славина (8) за принудно пражњење флуида (из сигурносних разлога) [9].



Слика 6.3 Директни соларни бојлер са природном циркулацијом [30]

1 – соларни колектор; 2 – соларни бојлер; 3 – улаз хладне воде; 4 – излаз топле воде;
5 – топлотна изолација бојлера; 6, 7, 8 – славине

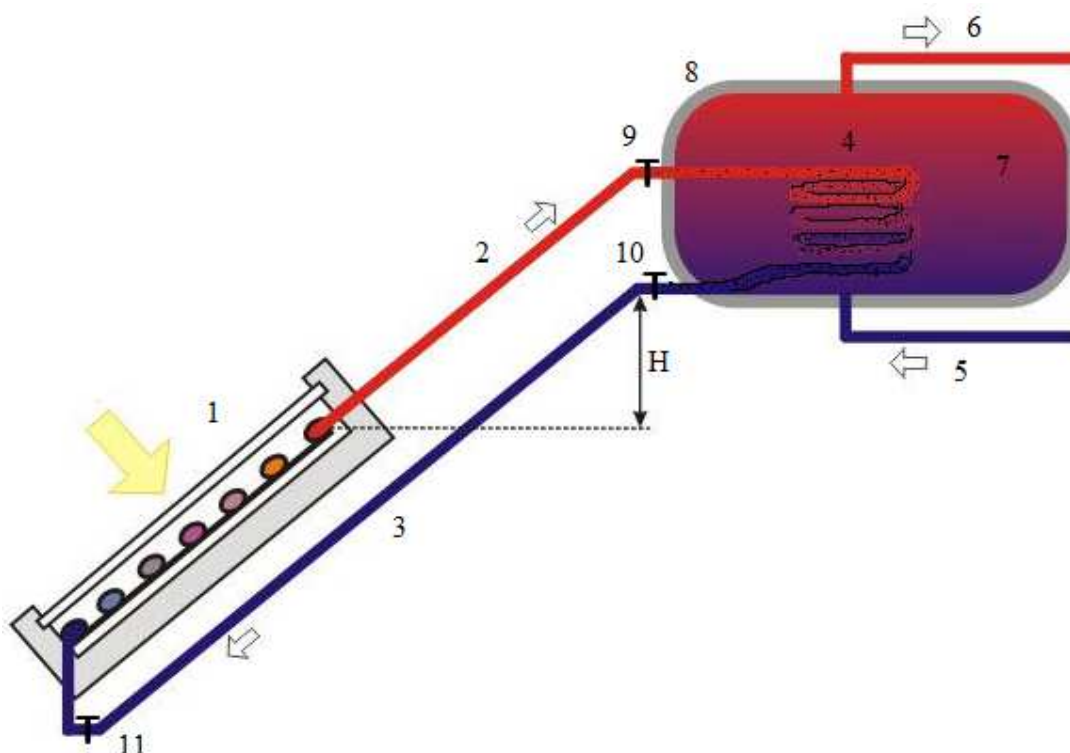
Радни флуид код соларног бојлера (пored хигијенске и технолошке воде) може бити уље или нафта. Радна температура се креће у границама од 40°C до 80°C , па постоји опасност од настајања каменца. Каменац који се таложи у каналима соларног колектора смањује његову ефикасност и негативно утиче на коефицијент пролаза топлоте са апсорбера на воду. Каменац може довести и до зачепљења канала соларног колектора чиме се прекида проток радног флуида, тј. воде. У том случају је потребно принудно пражњење система коришћењем вентила (8).

Треба имати у виду да постоји опасност од замрзавања воде, што се може десити и на неколико степени изнад нуле, због сопственог зрачења црне плоче апсорбера [14].

Индиректни соларни бојлер (Слика 6.4) са природном циркулацијом флуида је нешто сложенији и скупљи због постојања размењивача топлоте.

Овакав соларни систем је сигурнији јер поседује два независна кружна тока: примарни и секундарни. Примарни кружни ток воде (кога чине соларни колектор и размењивач топлоте у соларном бојлеру) омогућава да се избегну замрзавања услед мраза (коришћењем мешавине воде и нпр: антифриза) и настанак каменца [5].

Директни соларни бојлер са принудном циркулацијом радног флуида приказан је раније (поглавље 3.3) на Слици 3.4, док је индиректни соларни бојлер са принудном циркулацијом радног флуида приказан на Слици 3.5.



Слика 6.4 Индиректни соларни бојлер са природном циркулацијом [31]

- 1 – соларни колектор; 2, 3 – цеви трансмисије флуида;
 4 – цевни размењивач топлоте; 5 – улаз хладне воде; 6 – излаз топле воде;
 7 – соларни бојлер; 8 – топлотна изолација бојлера; 9, 10, 11 – славине

Главна предност соларних бојлера са принудном циркулацијом (како директних, тако и индиректних) је могућност постављања колектора и резервоара (бојлера) на већа међусобна растојања, као и могућност аутоматске контроле температуре воде у резервоару.

У пределима са умереном и оштријом климом, соларни бојлери (поред батерије соларних колектора, размењивача топлоте, циркулационих пумпи, резервоара и електронске аутоматике за контролу радног флуида) поседују и додатне грејаче за догревање, за случај када у колектору и резервоару нема довољно топле воде. Додатно загревање воде у бојлеру врши се најчешће помоћу електричне енергије или помоћу горионика у коме се сагорева угаљ, нафта, земни гас, мазут, дрво или разни пољопривредни отпади (Слика 3.5) [5] [9].

Савремене конструкције соларних бојлера приказане су на наредним сликама (Слика 6.5, Слика 6.6, Слика 6.7, Слика 6.8)



Слика 6.5 REHAU-ов соларни бојлер [32]



Слика 6.6 BOSCH-ов соларни бојлер [33]



Слика 6.7 Соларни бојлер фирме
MIKROMONT [34]



Слика 6.8 EZNIC-ов соларни бојлер [35]

6.3 Акумулатори топлоте

Пријем Сунчеве енергије је највећи у летњем периоду, када је потреба за топлотом најмања. Зими, када је потреба за топлотом највећа, због ниског положаја Сунца и кратког времена његовог сијања, пријем Сунчевог зрачења је најмањи. Овај раскорак између интензитета Сунчевог зрачења и потребне топлотне енергије, отежава примену Сунчеве енергије. Сем тога, ноћ и метеоролошки услови имају за последицу неравномерну расподелу Сунчевог зрачења у току године, месеци и дана. Раскорак између пријема и потребне Сунчеве енергије може се уклонити уштедом примљене Сунчеве енергије, догревањем помоћу других енергетских извора или комбиновањем уштеде и догревања [9].

Уштеда или складиштење примљене топлоте врши се помоћу уређаја за складиштење топлоте, тзв. акумулатора топлоте.

Акумулатор топлоте је уређај помоћу кога се радном флуиду водених (поглавље 4.1.2) или ваздушних (поглавље 4.4) соларних колектора одузима топлота и акумулира уз најмање губитке, тако да буде на располагању у време потрошње.

У оваквим системима, поред соларног пријемника (колектора), најважнији елемент је акумулатор топлоте.

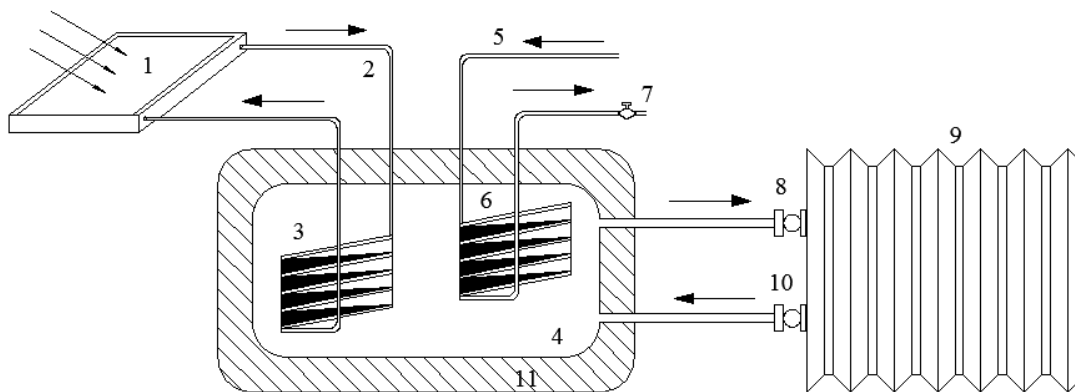
Треба разликовати нискотемпературне соларне акумулаторе топлотне енергије за акумулирање топлоте до 100°C и високотемпературне соларне акумулаторе топлотне енергије за акумулирање топлоте преко 100°C . Врсте и димензије акумулатора топлоте зависе од његове намене, типа соларног система коме се прикључују, расположивог простора, метеоролошких услова, итд [9].

Акумулатор за чување топлоте у току неколико дана, недеља, или месеци захтева веће димензије од оног који чува топлоту један дан. Сем тога, акумулатори топлоте за дуготрајније чување топлоте су компликованији и скупљи.

С обзиром на примењене физичке и хемијске појаве, разликују се углавном две врсте акумулатора топлоте: осетни и латентни. Код осетних акумулатора топлоте може се медијуму доведена топлота, занемаривши губитке, преузети у истој количини и користити у одређеном тренутку. У латентним акумулаторима се физичко-хемијским променама акумулирана топлота ослобађа и користи. За ово се најчешће користе фазни прелази материјала из једног стања у друго, као што је топљење и очвршћавање погодних материјала [9] [14].

Као медијум осетних акумулатора топлоте, користе се: вода, шљунак, песак, бетон, шамот, цигла и земља.

Вода као медијум акумулатора топлоте, користи се најчешће код соларних система са воденим соларним колекторима. Ове акумулаторе топлоте чине у ствари резервоари или базени са водом укључени у систем соларног грејања (Слика 6.9).



Слика 6.9 Акумулатор топлоте у систему воденог соларног грејања [9]

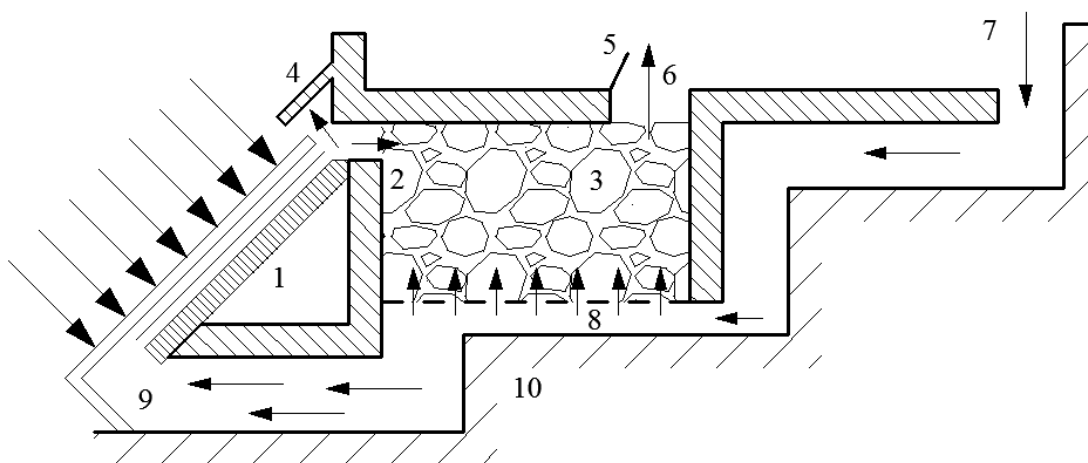
- 1 – соларни колектор; 2 – примарни кружни ток; 3 – размењивач топлоте;
- 4 – резервоар са водом; 5 – улаз хладне воде у секундарни кружни ток;
- 6 – размењивач топлоте; 7 – славина за топлу воду; 8 – улаз топле воде у радијатор;
- 9 – радијатор; 10 – излаз хладне воде из радијатора;
- 11 – топлотна и хидро изолација резервоара

Примарни кружни ток (2) снабдевен је средством против замрзавања (нпр: антифриз) за време хладних дана или ноћи. Топлотну енергију Сунчевог зрачења соларни колектор (1) преко размењивача топлоте (3) предаје води у акумулатору топлоте (4) [9].

Разумљиво је да се мора успоставити однос између димензија акумулатора топлоте и соларних колектора. У великим акумулаторима, вода се споро загрева и остаје млака. Стога је боље да се повежу у систем 2-3 акумулатора разних димензија који се могу посебно укључивати у соларни систем у зависности од потребе и интензитета Сунчевог зрачења. За брзо добијање топле воде до 90°C укључује се најмањи акумулатор, затим средњи, и на крају највећи [9] [14].

Хладна вода у систему за грејање (5) загрева се преко размењивача топлоте (6) у секундарном кругу и преко славине (7) се користи као санитарна вода. Топла вода из акумулатора (8) улази у радијаторе (9) за загревање просторија. Након загревања просторија, сада охлађена вода (10) враћа се у акумулатор на поновно загревање, тј догревање. Акумулатор топлоте је обавезно изолован слојем квалитетног изолационог материјала (11) [9].

Најједноставнији и најјефтинији акумулатори топлоте за медијуме користе чврсте материјале (најчешће се користи туцани камен у приближно једнаким димензијама) кроз које струји топао ваздух из ваздушних соларних колектора (Слика 6.10).



Слика 6.10 Употреба акумулатора топлоте у системима ваздушног грејања просторија у комбинацији са ваздушним соларним колектором [9]

- 1 – ваздушни соларни колектор; 2 – улаз топлот ваздуха у акумулатор;
- 3 – слој камења (акумулатор топлоте);
- 4 – капак за испуштање вишка топлот ваздуха у летњем периоду;
- 5 – капак за регулисање довода ваздуха просторији;
- 6 – улаз топлот ваздуха у просторију; 7 – отвор за поврат топлот ваздуха;
- 8 – улаз ваздуха у акумулатор кроз решетку;
- 9 – поновни улазак ваздуха у ваздушни колектор;
- 10 – зидови са топлотном изолацијом

Акумулатор топлоте приказан на Слици 6.10 може да се испуни са неколико десетина тона камена и тако акумулира топлоту довољну за подмиривање грејања

просторија у току неколико дана без Сунца. Због својих великих димензија акумулатори топлоте се најчешће стављају у подруме или гараже. На тај начин могу да послуже као подно или панелно (бочно) грејање [5].

На сличан начин функционишу и топлотни акумулатори испуњени шљаком, песком, бетоном, шамотом, печеном циглом и сувом земљом. Акумулирање топлоте се (пored ваздушних колектора) може вршити и воденим соларни колекторима. Тада топла вода из соларног колектора протиче цевима уграђеним у материјалима којим је испуњен акумулатор [9].

Соларна електрана капацитета 50 kW са посебним акумулатором за складиштење топлотне енергије у близини Крагујевца приказана је на наредној слици (Слика 6.11).



Слика 6.11 Соларна електрана капацитета 50 kW са посебним акумулатором за складиштење топлотне енергије у Бадњевцу [36]

6.4 Грејање просторија коришћењем соларних колектора

Грејање просторија индивидуалних и друштвених зграда био је увек значајни проблем, а нарочито у време енергетске кризе. И пре енергетске кризе постојао је проблем набавке подесних извора енергије за загревање просторија у којима живе и бораве људи, нарочито с обзиром на заштиту животне средине од загађења. У садашњој енергетској кризи, када необновљиви извори енергије пресушују, проблем грејања просторија постаје све тежи.

Загревање појединих станова у згради уљем, нафтом и гасом је неподесно и немогуће јер ови извори пресушују. Електричном енергијом је грејање нерационално, несигурно и неодрживо с обзиром на услове добијања електричне енергије.

Стога се у целом свету проблем добијања топле потрошне воде и грејање просторија решава заменом класичних извора енергије применом обновљивих, у првом реду Сунчеве енергије.

За грејање просторија у зградама Сунчевом енергијом користе се активни и пасивни соларни системи. Када се поред грејања просторија жели истовремено решити и проблем добијања топле потрошне воде помоћу соларне енергије, онда се користе комбинације ова два система, односно мешовити соларни системи.

Активни соларни системи за грејање зграда заснивају се на принципу вода-вода, вода-ваздух и вазду-ваздух.

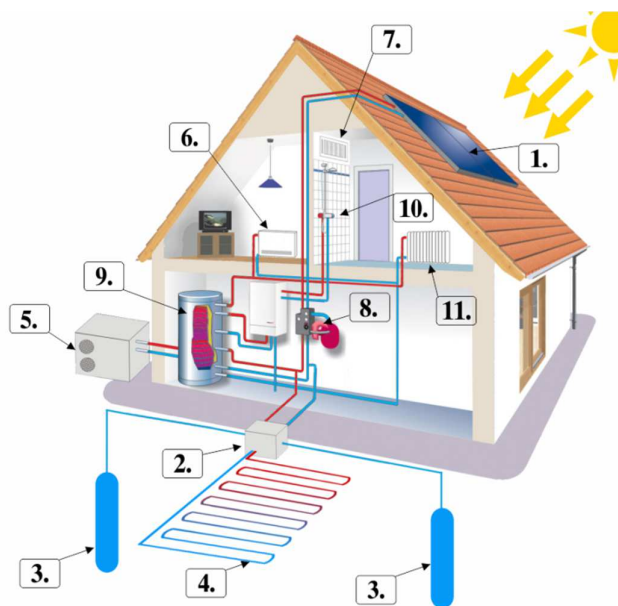
Принцип вода-вода је исти као код добијања топле потрошне воде помоћу соларне енергије, само се овде топла вода из соларних колектора (односно акумулатора топлоте) спроводи у радијаторе или цеви подног грејања, за грејање просторија према принципу вода-ваздух. Овај принцип грејања је детаљно обрађен у поглављу 3.2, поглављу 6.2 и поглављу 6.3.

Принцип ваздух-ваздух се заснива на примени ваздушних соларних колектора при чему се кроз соларни колектор пропушта ваздух који се потом убацује у дате просторије. Убацивањем топлог ваздуха у просторије врши се њено загревање. Принцип ваздух-ваздух детаљно је обрађен у поглављу 6.3.

Битно је напоменути да се соларни колектори као специјални размењивачи топлоте никада не користе индивидуално у системима грејања, већ увек у комбинацији са другим извором топлотне енергије (Слика 3.6).

Постоје најразличитије варијанте повезивања соларних колектора у системе грејања просторија. Посебно је занимљиво грејање објекта комбиновањем водених соларних колектора и топлотне пумпе.

Једна од могућих варијати везивања соларних колектора и топлотне пумпе приказана је на Слици 6.12.



Слика 6.12 Соларни колектори и топлотна пумпа у систему грејања просторија објекта [37]

- 1 – соларни колектор; 2 – сабирник и разделник;
 3 – вертикални геотермални колектор; 4 – хоризонтални геотермални колектор;
 5 – топлотна пумпа ваздух-вода; 6 – радијатор-конвектор; 7 – калорифер вода-ваздух;
 8 – циркулациона пумпа; 9 – акумулатор топле воде;
 10 – славина топле потрошне воде; 11 – алуминијумски чланкасти ливени радијатор

6.5 Примена соларних колектора у системима вентилације и климатизације

Средина у којој људи бораве и раде мора да испуни одређене услове како би се они пријатније у њој осећали. Такође је и доказано да продуктивност људи зависи од степена угодности (комфора) у датој просторији [38]. Да би се обезбедио термички комфор, троше се значајни износи енергије. Како услови у којима се борави и ради великим делом зависе и од стања ваздуха, посебна пажња се мора посветити његовом квалитету.

За добијања ваздуха одређеног квалитета користе се два поступка. Први је вентилација, други је климатизација.

6.5.1 Примена соларних колектора у системима вентилације

Вентилација може бити [9] [38]:

- природна (настаје услед разлике притисака и температуре спољашњег и унутрашњег ваздуха);
- вештачка (коришћењем вентилатора).

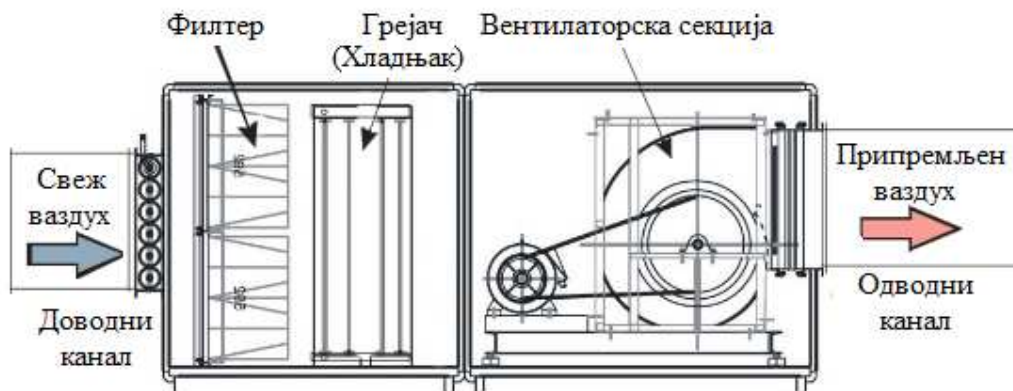
Ефикасност измене ваздуха извођене механичким путем помоћу вентилатора не зависи од атмосферских прилика. Притисак струјања, односно снага вентилатора, може се бирати према потреби па се ваздух може подвргнути третирању као што је пречишћавање пропуштањем кроз различите филтере. Ваздух се може још испирати, влажити или сушити и излагати другим поступцима чиме се постиже бољи квалитет ваздуха. Повећањем количине ваздуха, односно његовог протока, могу се смањити разлике температура између доведеног и собног ваздуха што измену ваздуха чини ефикаснијом и пријатнијом. Пропуштањем ваздушне струје преко одговарајућих грејача и хладњака, просторија се може загревати, односно хладити [9] [38].

Најједноставнији облик механичке вентилације је коришћење вентилатора, најчешће аксијалног, у неки од спољних зидова. За веће просторије, сале, дворане или ако је потребно проветрити више просторија онда се вентилатори постављају у одвојене просторије у које се ваздух доводи до вентилатора и од њега одводи нарочито израђеним каналима. Међутим, ако је потребно ваздух третирати разним (горе поменутим) поступцима, онда се за то користе специјалне вентилационе коморе (Слика 6.13) у којима су смештени, поред вентилатора и сви остали уређаји који обављају ове функције [9] [38].

У просторију се може [9] [38] [39]:

- само доводити ваздух (просторија је под извесним надпритиском);
- само одводити ваздух (просторија је под депресијом);
- истовремено доводити и одводити ваздух (жељени притисак се може контролисати).

Први и други случај се односе на мање просторије, с тим што се први случај примењује за просторије у којима бораве људи, да се ваздух из суседних просторија не би увлачио, док се други случај односи на лабораторије, перионице, радионице, кухиње, када се ваздух загађује изнад дозвољене мере. Трећи случај је комбиновани начин усисавања и исисавања ваздуха, па представља уједно и најбоље решење [38].



Слика 6.13 Вентилациона комора [39]

Ваздух за проветравање (вентилацију) може да буде [9] [38] [39]:

- само спољашњи;
- само кружни (рецикулациони);
- делимично спољашњи, а делимично унутрашњи.

Први начин се примењује само у специјалним случајевима и врло је неекономичан, поготово када се овакве инсталације користе у зимском периоду када је ваздух потребно и загревати. Кружни ваздух представља најјекономичније решење, али најлошије делује на здравље људи, па се из тог разлога он мора пречишћавати, евентуално и влажити, односно сушити или загревати. Трећи случај се најчешће примењује, а количина свежег, односно кружног, ваздуха зависи од намене просторије, хигијенских захтева [9] [38] [39].

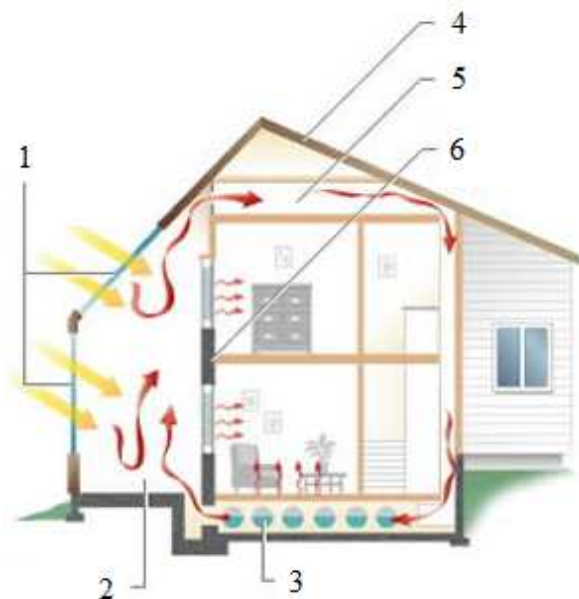
Када се говори о примени Сунчеве енергије у системима вентилације, обично се мисли на његову примену у зимском периоду, када је ваздух потребно загрејати до неке оптималне температуре пре његовог убацивања у просторије. У оваквим случајевима, пре се прибегава коришћењу пасивних соларних система у системима вентилације од активних соларних система (соларних колектора).

На Слици 6.14 приказано је пасивно (соларно) грејање просторија путем природне конвекције, док је на Слици 6.15 приказана употреба Тромбеовог зида у систему принудне (механичке) вентилације.

Од соларних колектора у системима вентилације (како природне, тако и принудне) могу се примењивати ваздушни (поглавље 4.4) и водени (поглавље 4.1) соларни колектори.

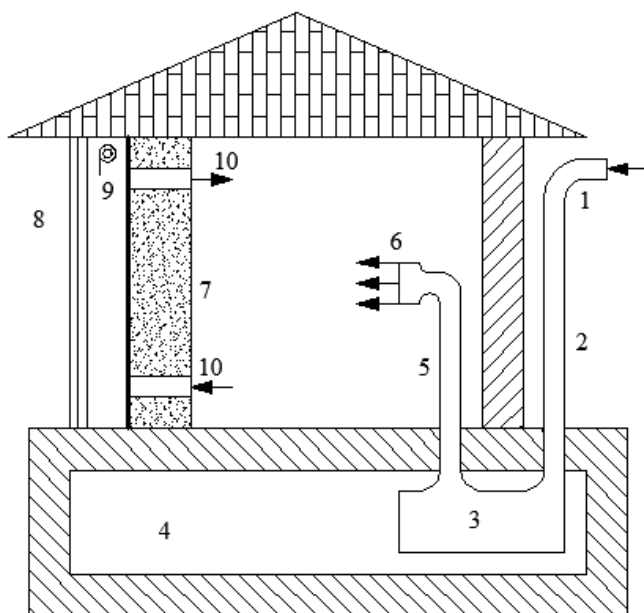
Могућност примене ваздушних соларних колектора у системима принудне вентилације приказана је на Слици 6.16. Могућност примене водених соларних колектора у системима вентилације приказана је на Слици 6.17.

Ваздушни соларни колектори у систему принудне вентилације смештају се напољу, тј. ван вентилационе коморе. Спољни ваздух усисан од стране вентилатора пролази кроз ваздушни соларни колектор у коме се греје до неке температуре, и као такав се доводним каналима допрема до вентилационе коморе у којој се пречишћава и догрева до жељене температуре, након чега се одводним каналима, сада припремљен, шаље у одговарајуће просторије.



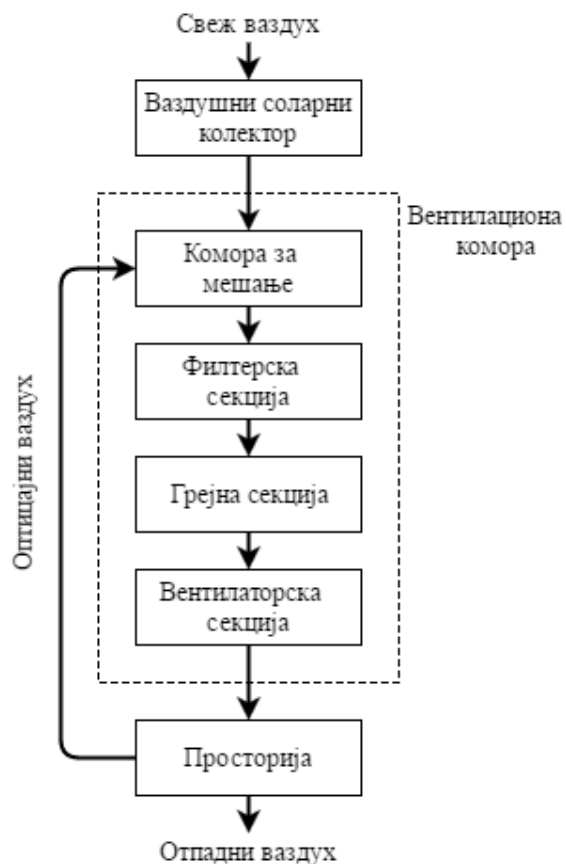
6.14 Пасивно грејање просторија путем природне конвекције [40]

1 – застакљење; 2 – проток загрејаног ваздуха; 3 – акумулатор топлоте;
4 – изолација; 5 – поткровље; 6 – масиван зид премазан мат црном бојом

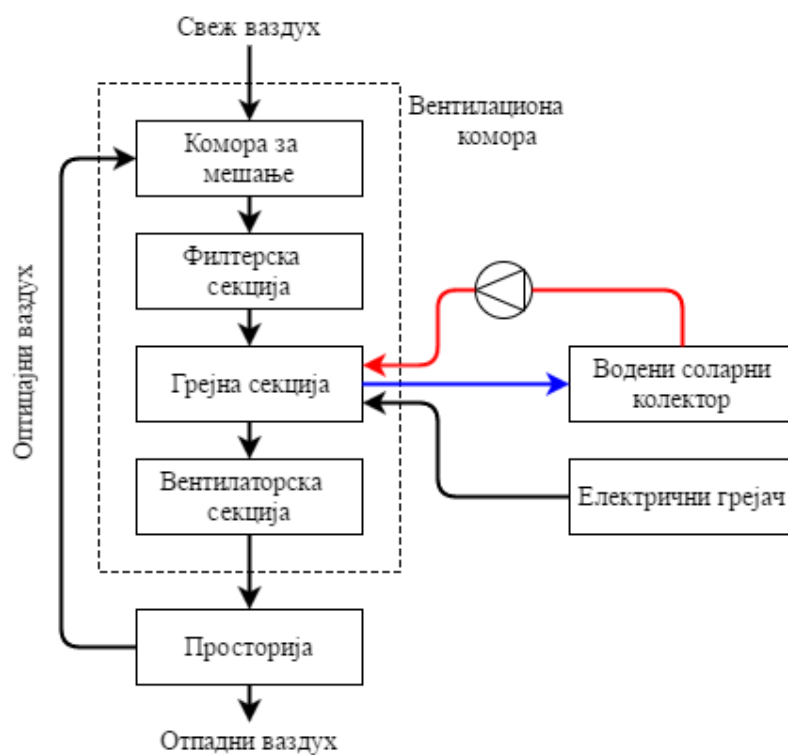


Слика 6.15 Тромбеов зид у систему (механичке) вентилације објекта

1 – улаз свежег ваздуха; 2 – доводни канал свежег ваздуха; 3 – вентилациона комора;
4 – подрум; 5 – дистрибутивни канали припремљеног ваздуха;
6 – елементи за дистрибуцију ваздуха; 7 – масиван зид премазан мат црном бојом;
8 – застакљење испред масивног зида; 9 – завеса; 10 – отвори за циркулацију ваздуха



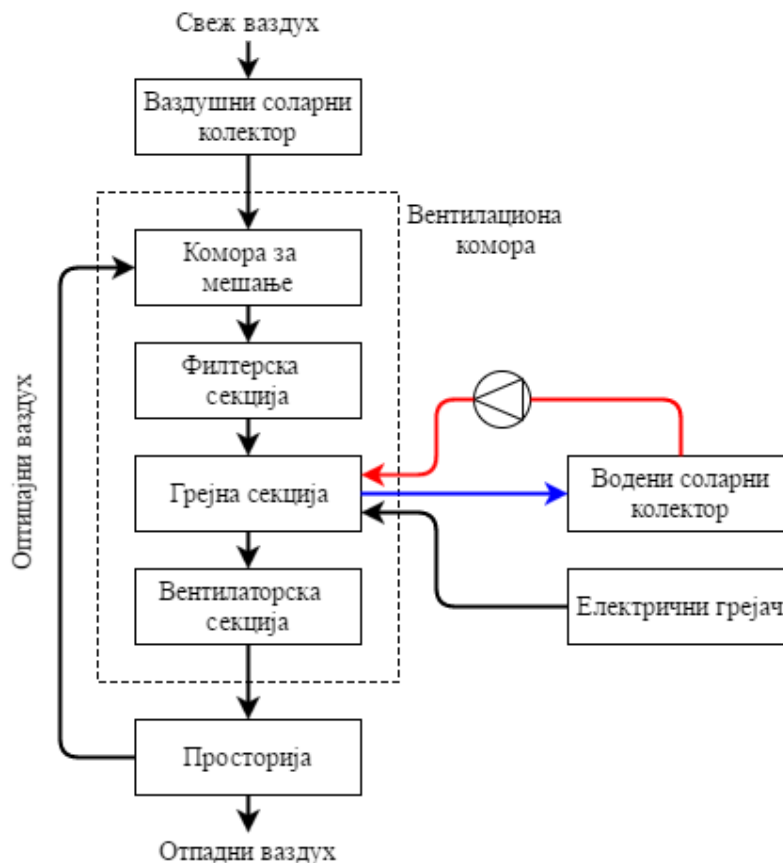
Слика 6.16 Ваздушни соларни колектор у систему (механичке) вентилације



Слика 6.17 Водени соларни колектор у систему (механичке) вентилације

Водени соларни колектори у системима принудне вентилације најчешће су повезани са вентилационом комором, тј. са грејном секцијом. Водени соларни колектор поседује сопствени циркулациони (затворен, пумпни) круг који се завршава цевастим размењивачем топлоте смештеним у грејној секцији. Ваздух пролазећи кроз грејну секцију, најпре се предгрева пролазећи преко цевастог размењивача топлоте, а потом и догрева, струјећи преко додатног грејача (најчешће електричног), чиме се постиже жељена температура. Након тога се вентилаторском секцијом ваздух удувава у жељене просторије.

Постоји и трећа варијанта коришћења активних соларних система у системима механичке вентилације, а то је примена и ваздушних и водених соларних колектора, што представља комбинацију претходна два типа (Слика 6.18).



Слика 6.18 Комбиновање разних типова соларних колектора у систему механичке вентилације

Применом соларних колектора у системима вентилације могу се остварити значајне уштеде.

6.5.2 Примена соларних колектора у системима климатизације

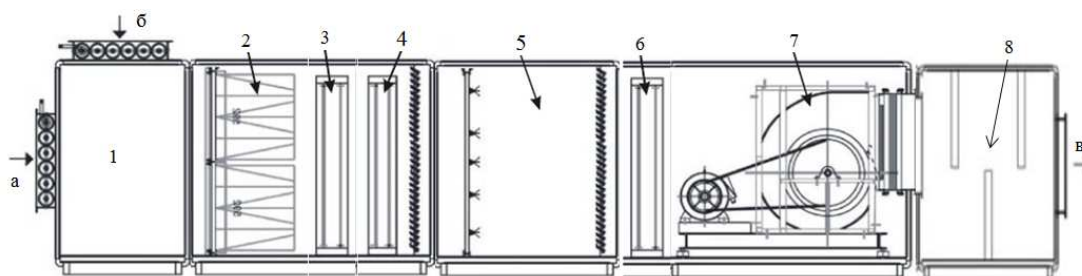
Уколико се ваздух третира комплексом разних поступака (грејање, хлађење, влажење, сушење, филтрирање, итд.) ради постизања жељеног стања ваздуха у строго дефинисаним границама, тада се ради о климатизацији [9] [38].

Параметри ваздуха који се третирају поступком климатизације су [9] [38]:

- температура;
- влажност;
- атмосферски притисак;
- брзина струјања (промаја);
- количина микроба;
- разни мириси;
- појава звука, итд.

У циљу постизања поменутих параметара, ваздух се излаже третирању у агрегатима за климатизацију (преносни уређаји који се користе за мање просторије и лако се монтирају), клима-коморама (посебне просторије у којима су смештени сви потребни елементи за припремање ваздуха) и клима-централама (спој више мањих просторија са посебним клима-коморама у случајевима када се врши климатизација огромних објеката различитих потреба).

Шема клима коморе са основним елементима приказана је на Слици 6.19.



Слика 6.19 Клима комора [39]

а – улаз свежег ваздуха; *б* – улаз рецикулационог ваздуха;

в – излаз припремљеног ваздуха;

1 – комора за мешање; 2 – филтер; 3 – предгрејач; 4 – хладњак; 5 – маглена комора;

6 – догрејач; 7 – вентилаторска секција; 8 – пригушивање буке и вибрције

Могућност примене Сунчеве енергије у системима климатизације је иста као и у системима вентилације. Разлика је у замени вентилационе коморе клима комором.

Ваздушни соларни колектори се постављају на исто место и у систему климатизације (ван клима коморе), док би се водени соларни колектори могли повезивати једино са секцијом у којој се врши предгревање ваздуха (једини ту има смисла).

6.6 Соларне пећи

Соларне пећи, почев од мањих за примену у домаћинствима до огромних индустријских пећи, конструисане су и помоћу полуплочастих огледала.

Марија Телкес је у Њујорку направила Сунчев штедњак чији се концентратор састоји од четири равна огледала постављена изнад термички изоловане кутије (Слика 6.20).



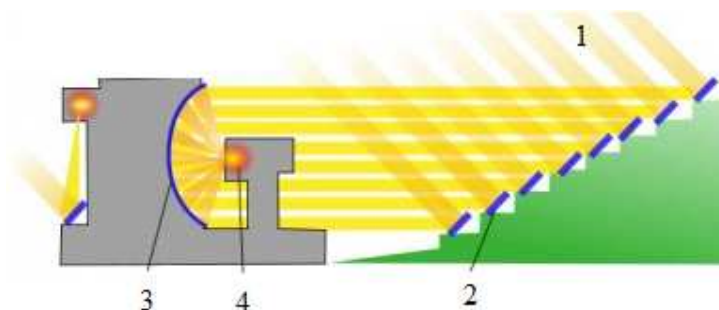
Слика 6.20 Сунчев штедњак [41]

Изолација кутије је изведена стиропором дебљине 5 cm постављеним у два слоја између којих се налази рефлексни слој од алуминијумске фолије. Унутрашњост кутије је начињена од картона обложеног алуминијумском фолијом са унутрашње стране. Нагиб концентратора је раван географској ширини места у коме се налази соларни штедњак. Рефлексне површине су учвршћене у дрвени рам кутије која се затвара стакленим поклопцем.

Приликом употребе, судови за кување се стављају у кутију, а затим се кутија поклапа стакленим поклопцем. Приликом преношења, концентратор се скида са кутије.

Са овим соларним штедњаком су вршене практичне пробе загревања воде и припремања хране и резултати су задовољавајући. У току 3 часа 5 литара воде загрејано је до 70°C , односно 80°C , што је зависило од спољашњих услова (облачност, јачина ветар). Празна кутија штедњака се загреје и до температуре до 150°C у року од пола часа. У току 1-2 часа постижу се и више температуре. Највиша температура која је постигнута у кутији соларног штедњака износила је 180°C [9].

На Слици 6.21 дат је шематски приказ индустријске соларне пећи која је направљена 1946. године у француском граду Одеју.



Слика 6.21 Принцип функционисања соларне пећи [42]

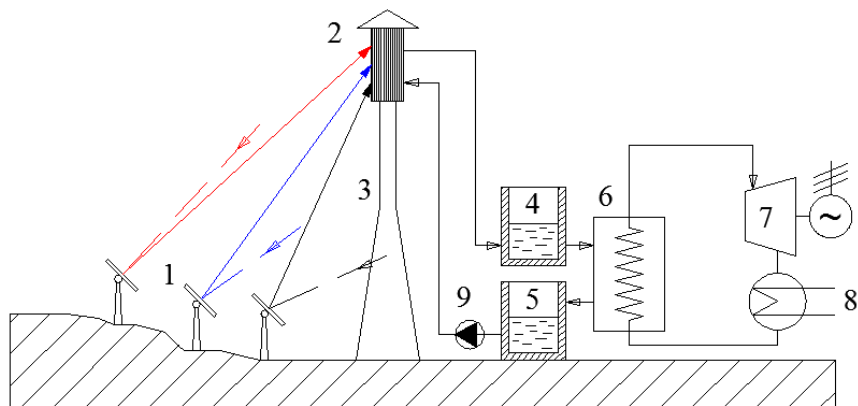
Светлосни зраци (1) падају на систем паралелних равних огледала (2) и одбијени се паралелно усмеравају у циновско параболично огледало (3). Одбијени од параболичног огледала, светлосни зраци падају на објекат постављен у жижи огледала (4).

Од 1946. године, када је проф. Феликс Тромбе конструисао соларну пећ у Одеју, она је стално усавршавана, тако да је 1970. године, са снагом од 1 000 kW била највећа на свету. Огромно параболично огледало високо је 39 m, широко 54 m, а жижина даљина му је 18 m. Састављено је од 9 500 хиљада обрађених равних огледала величине 45x45 cm.

6.7 Соларни торњеви

У последње време у целом свету је отпочела изградња соларних торњева (кула) за добијање електричне енергије помоћу Сунчеве енергије.

Принципијелна шема оваквог постројења дата је на следећим сликама (Слика 6.22, Слика 6.23, Слика 6.24).



Слика 6.22 Соларна електрана [9]

1 – поље хелиостата; 2 – соларни резервоар; 3 – торањ; 4 – топли акумулатор;
5 – хладни акумулатор; 6 – парогенератор; 7 – парна турбина; 8 – кондензатор;
9 – циркулациона пумпа



Слика 6.23 Приказ соларне електране [43]



Слика 6.24 Приказ соларне електране са пољем хелиостата [40]

Одбијени од хелиостата (1), Сунчеви зраци се концентришу на соларном резервоару (2) са специјалним радним медијумом (нпр: термално уље). Након загревања термалног уља на веома високе температурае, оно се шаље у топли акумулатор (4). Из топлог акумулатора, термално уље одлази у парогенератор (6) где вода испарава на рачун његовог хлађења. Водена пара иде на парну турбину (7), а сада охлађено термално уље у хладни акумулатор (5), одакле се циркулационом пумпом (9) шаље у соларни резервоар на поновно загревање. У турбини пара експандира до вакума у кондензатору (8) и приликом ове експанзије, турбина преко вратила погони генератор електричне струје где се добија квалитетна електрична енергија, која се потом шаље у мрежу.

6.8 Соларни системи за загревање базена

За загревање воде у базенима углавном постоје два различита соларна система [5] [9] [14]:

- апсорберски соларни систем;
- колекторски соларни систем.

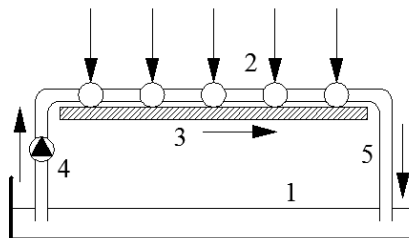
У апсорберском систему вода базена протиче између апсорбера и загрева се Сунчевом енергијом у свом кружном току. Овај систем је веома једноставан и јефтин, тако да све више преовлађује [9].

Колекторски соларни систем за загревање базена је исти онај који се користи уопште за добијање топле потрошне воде (о чему је већ било речи) и грејање просторија. Батерија равних водених соларних колектора везана је са цевастим размењивачем топлоте постављеним у базен, тако да базен представља у ствари акумулатор топле воде [9].

6.8.1 Пластични апсорбери за загревање базена

Најједноставнији пластични апсорбери за загревање базена су гумени или пластични душеци који се користе на плажама, само треба да буду обојени мат црном бојом ради бољег апсорбовања Сунчевог зрачења [9].

На Слици 6.25 приказан је попречни пресек соларног базена (1) са гуменим или пластичним апсорбером (2) и термичком изолацијом (3).



Слика 6.25 Попречни пресек соларног базена са пластичним апсорбером за загревање воде [9]

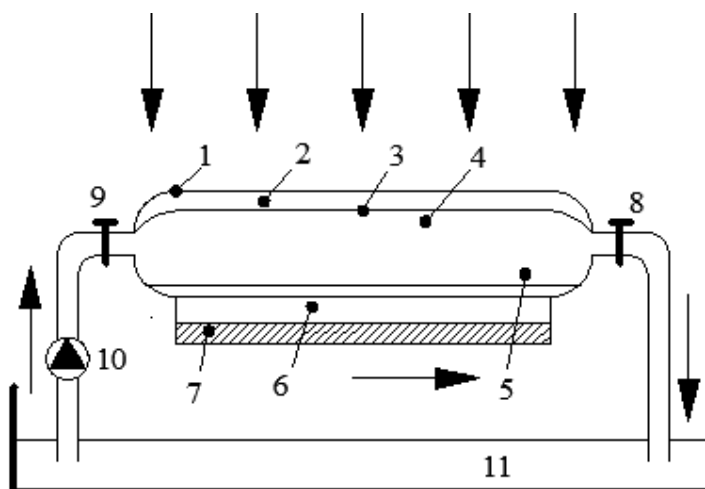
1 – соларни базен; 2 – пластични апсорбер; 3 – термичка изолација;
4 – циркулациона пумпа; 5 – спусне цеви загрејане воде

Начин загревања базена помоћу апсорбера је једноставан. Циркулационом пумпом (4), вода се узима из базена и спроводи између плоча или кроз цеви апсорбера танких зидова обојених у црно. Плоче и цеви апсорбују Сунчево зрачење и апсорбовану топлоту предају води из базена. Загрејана вода се враћа у базен слободним падом (5). Тако се само једним пролазом воде кроз апсорбер, температура воде у базену повиси за 4°C. Вода се оваквим поступком може загрејати и до 30°C [14].

Компликованији, али ефектнији пластични апсорбер са отвореним кружним током воде загревања базена приказан је на Слици 6.26.

Две провидне фолије (1) и (2) су на ивицама састављене тако да се између њих може удувати ваздух (3). Вода из базена (11) помоћу циркулационе пумпе (10) доспева у пластичну врећу (4) чија је основа од црне добро изоловане пластике (5), која апсорбује Сунчево зрачење. Испод пластичне вреће налази се ваздушни мадрац (6) и изолаторска подлога (7) [9].

Вода која из базена доспе у пластичну врећу загрева се са горње стране директо Сунчевом енергијом, јер Сунчеви зраци пролазе кроз горње површине фолије. Сем тога, ова вода се се загрева и индиректно Сунчевом енергијом коју је апсорбовала црна подлога пластичне вреће. Када температура воде у апсорберу постане виша од температуре околине, између фолија (1) и (2) се аутоматски удува ваздух и прекине веза воде у апсорберу са околином. На тај начин се чува топлота воде у апсорберу. Улазном славином (8) и излазном славином (9) може се регулисати количина воде у апсорберу. Загрејана вода из апсорбера се враћа у базен [9] [14].

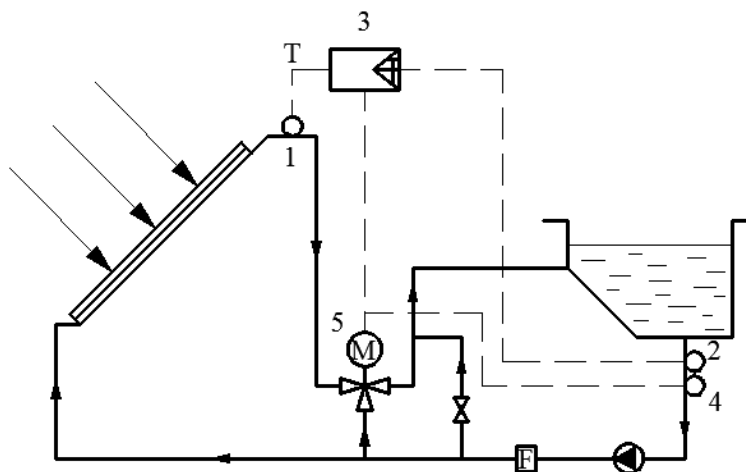


Слика 6.26 Ефектније решење соларног базена са пластичним апсорбером за загревање воде [9]

- 1, 2 – провидне фолије; 3 – ваздушни простор; 4 – пластична врећа;
5 – црна пластика; 6 – ваздушни матрац; 7 – изолаторска подлога;
8, 9 – вентили (славине); 10 – циркулациона пумпа; 11 – резервоар воде (базен)

6.8.2 Колекторски системи за загревање базена

Загревање воде у базенима помоћу батерије соларних колектора коришћењем циркулационе пумпе и аутоматске регулације приказано је са следећим сликама (Слика 6.27, Слика 6.28).



Слика 6.27 Колекторски систем за загревање базена [9]

- 1, 2, 4 – температурски сензори; 3 – температурни диференцијални регулатор;
5 – трокраки електромоторни регулациони вентил; F – филтер

Температурски сензори за течност (1) мере температуру воде у соларним колекторима, а сензор (2) температуру воде на излазу из базена. Разлика ових температура појављује се на температурном диференцијалном регулатору (3). Када температура у соларним колекторима постане виша од температуре воде у базену за

температурску разлику, температурни диференцијални регулатор отвара трокраки електромоторни регулациони вентил (5) док се не достигне потребна температурна разлика. Топлотна енергија се на тај начин преноси из колектора у базен. Када температура у соларним колекторима постане нижа од температуре воде у базену због одавања топлоте базену или облачности, температурни диференцијални регулатор преко везе затвара трокраки електромоторни регулацијски вентил, све док се не постигне одговарајућа температурска разлика. Регулатор (4) спречава прегревање воде у базену. У систем је укључена циркулациона пумпа (ЦП) и филтер (F).



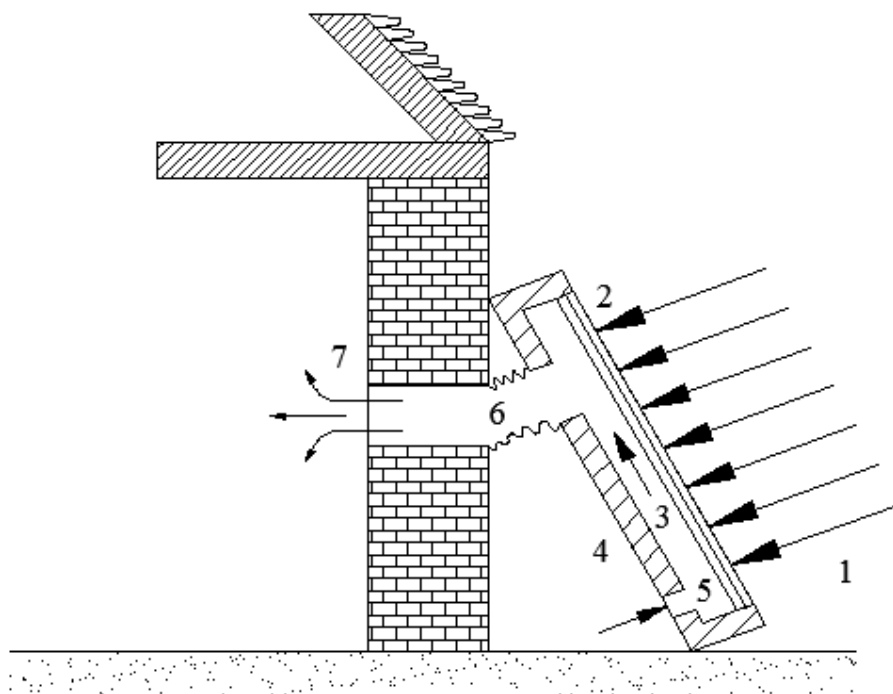
Слика 6.28 Загревање кућног базена коришћењем соларних колектора [44]

6.9 Соларне сушаре

Сунчева енергија може да се користи и у технолозији сушења свежег воћа, поврћа, меса, житарица, дувана и других прехранбених производа. Коришћењем Сунчеве енергије у сушарама могу се значајно редуковати трошкови производње.

Соларне сушаре су најчешће мањих капацитета и као такве налазе примену у домаћинствима. Веће соларне сушаре могу се наћи и у индустријским системима, али се у ове системе поред батерије соларних колектора, инсталирају и додатни извори топлотне енергије (електрични грејачи или котлови на разна горива), тј. извори топлог ваздуха.

Једноставна соларна сушара за сушење житарица приказана је на Слици 6.29.



Слика 6.29 Соларна сушара [9]

- 1 – Сунчеви зраци; 2 – застакљење; 3 – ваздушни међупростор;
4 – термоизолација кутије; 5 – улаз хладног ваздуха у ваздушни колектор;
6 – излаз топлог ваздуха из соларног колектора;
7 – улаз топлог ваздуха у простор сушаре

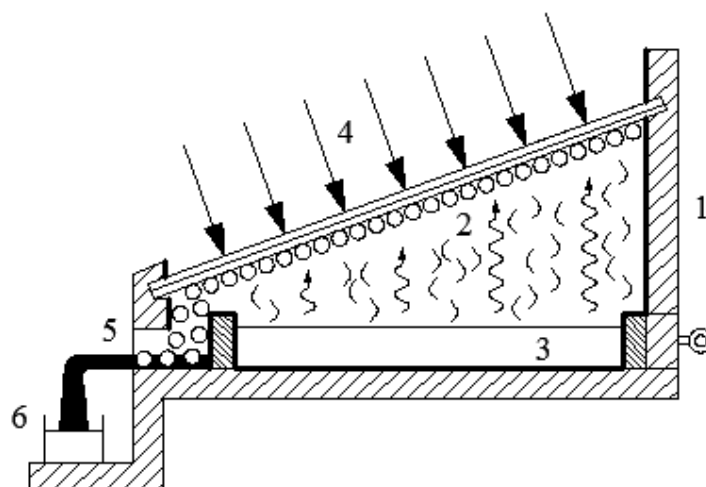
Сунчеви зраци (1) падају на стаклену или пластичну провидну површину (2), којом је покривена једна страна дрвеног сандука (4). Између провидног покривача и дна сандука је међупростор (3) у којима се вентилатором (5) удувава свеж ваздух. Дно дрвене кутије је обојено мат црном бојом, тако да се у међупростору ствара ефекат стаклене баште. Загрејани ваздух кроз ширу гумену или пластичну цев (6) улази у просторију (7) и суши житарице.

6.10 Соларни дестилатори воде

Недостатак пијаће воде у топлим сувим пределима, нарочито пустињама, толико забрињава људе који живе у тим пределима, да се води „рат за пијаћу воду“. Стога је настао проблем да се из воде бара, канала, река и језера, као и слане морске воде добије чиста пијаћа вода. Овај проблем се решава дестилацијом надземне и подземне воде, као и слане морске воде.

Дестилација се врши коришћењем електричне енергије, а у последње време се све више користи и Сунчева енергије. Ово је разумљиво, јер крајеви са сувом климом и пустиње су сиромашне пијаћом водом, а имају доста сунчаних дана.

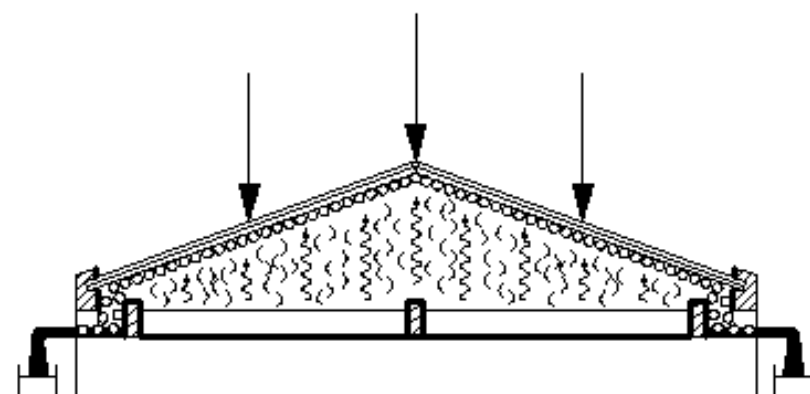
Упрошћена шема соларног дестилатора воде приказана је на Слици 6.30.



Слика 6.30 Соларни дестилатор воде [9]

- 1 – црно обојена метална кутија; 2 – стаклена плоча; 3 – посуда са водом;
 4 – Сунчеви зраци; 5 – излаз дестиловане воде;
 6 – посуда за прикупљање дестиловане воде

Црно обојена метална кутија (1) висине свега неколико центиметара чије је дно добро термички изоловано, покривена је косо постављеном стакленом плочом (2). На дну кутије постављена је плитка тамно обојена посуда (3) са водом. Сунчеви зраци (4) пролазе кроз стаклену плочу и у кутији стварају ефекат стаклене баште, тако да се вода у посуду загреје од 60°C до 80°C . Вода тада испарава и на хладнијој стакленој плочи се кондензује. Водене капљице тада клизе дуж нагнуте стаклене плоче, чији нагиб према хоризонталној равни треба да буде најмање 10° . Капљице воде падају на дно кутије и дестилована вода доспева у посуду (6) за коришћење. Чврсти отпаци континенталне воде, односно со морске воде, таложе се на дно кутије у посуду и извлачењем посуде могу се одстранити, а со употребити. Ефекат соларног дестилатора може се повећати, ако се споје два оваква дестилатора и тако омогући излаз дестиловане воде на две стране (Слика 6.31).



Слика 6.23 Модификовани соларни дестилатор воде [9]

7. Закључак

Кроз овај дат је преглед свих врста соларних колектора који се данас користе. Представљени су соларни колектори који користе ваздух као радни флуид, потом воду, а на крају и они најсложенији, који су у саставу комплексних соларних система, а који као радне флуиде могу да користе и друге радне флуиде, попут термалних уља и сл.

Након тога је изложена методологија прорачуна соларних колектора почев од модела прорачуна соларног зрачења, што представља предуслов за прорачун било ког типа соларног колектора.

На крају, описана је примена соларних колектора у различитим системима, заснованих на најновијим техничко-технолошким решењима. Евидентан је континуалан развој технологија и идеја на овом пољу који се одвија првенствено у развијеним земљама које придодају значај алтернативним изворима енергије (у првом реду соларној енергији) и њиховим предностима. Константно се унапређују постојећи соларни системи у погледу облика, димензија, коришћених радних флуида, материјала за израду, анализа њиховог рада, а све у циљу повећања степена корисног дејства и смањења трошкова израде, одржавања и експлоатације, што даље доводи до смањења јединичне цене произведене топлоте, односно електричне енергије.

У наредном периоду може се очекивати да соларна енергија нађе још ширу примену у људском животу (како у грађевинарству и архитектури, тако и новим системима за генерисање топлотне и електричне енергије).

Литература

- [1] http://www.popwebdesign.net/popart_blog/slike/global-warming-time.jpg (приступљено 09.09.2016. год.)
- [2] http://www.zvezdarnica.com/ps_photo/1188170862/normal_1349142021-1.jpg (приступљено 11.09.2016. год.)
- [3] http://www.bojanke.com/images/sunce_1024x768.jpg (приступљено 11.09.2016. год.)
- [4] <https://sohowww.nascom.nasa.gov/> (приступљено 12.09.2016. год.)
- [5] Лукић, Н., Бабић, М.: *Соларна енергија – Монографија*, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, 2008. год.
- [6] http://www.wmo.int/pages/index_en.html (приступљено 15.09.2016. год.)
- [7] Fay, J.A., Golomb, D.S.: *Energy and Environment*, Oxford University Press, New York, 2002.
- [8] Бојић, М.: *Термодинамика*, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, 2011
- [9] Zrnić, S., Ćulum, Ž.: *Grejanje i klimatizacija sa primenom solarne energije*, Naučna knjiga, Beograd, 1966.
- [10] re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/ (приступљено 15.09.2016. год.)
- [11] SHZM – Savezni hidro-meteoroloski zavod (do 1987. god.)
- [12] http://ecomeme.info/files/uploads/rsz_1modern1.jpg (приступљено 19.09.2016. год.)
- [13] <http://www.solarni.rs/slike/Solar%20panel%20module.jpg> (приступљено 19.09.2016. год.)
- [14] Kalogirou, S.A.: *Solar thermal collectors and applications*, Department of Mechanical Engineering, Higher Technical Institute, P.O. Box 20423, Nicosia 2152, Cyprus, 2004.
- [15] http://www.conseko.rs/gfx/soalna_energija_grejanje1.gif (приступљено 19.09.2016. год.)
- [16] <http://www.solarni-sistemi.co.rs/images/picture/kolektor04.jpg> (приступљено 19.09.2016. год.)
- [17] Sopian, K., Zulkifli, R., Sahari, J., Othman, M.Y.: *Thermal performance of thermoplastic natural rubber solar collector*, Journal of Materials Processing Technology, 123 (2002) 179-184.
- [18] Лукић, Н.: Скрипта, *Термоенергетски уређаји и постројења*, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, 2014.
- [19] Leon, M.A., Kumar, S.: *Mathematical modeling and thermal performance analysis of unglazed transpired solar collectors*, Solar Energy 81 (2007) 62-75.
- [20] Brenndorfer, B., Kennedy, L., Bateman, C.O.O., Mrema, G.C., Wreko-Brobby, C.: *Solar dryers-their role in post-harvest processing*, Commonwealth Science Council, Commonwealth Secretariat Publications, London, 1985.
- [21] Gopinathan, K.K.: *A general formula for computing the coefficients of the correlation connecting global solar radiation to sunshine duration*, Solar Energy, Volume 41, No 6, 1998.
- [22] Ekechukwu, O.V., Norton, B.: *Rewiewof solar-energy drying system III: low temperature air-heating solar collectors for crop drying applications*, Energy Conversion &

- Management 40 (1999) 657-667.
- [23] Elminir, H.K., Ghitass, A.E., El-Hussainy, F., Hamid, R., Abdel-Moneim, K.M., Beheary, M.M.: *Optimum solar flat-plate collector slope: Case stud from Helwan, Egypt*, Energy Conversion and Management, 47 (2006) 624-637.
- [24] Yellott, H.: *Utiliyation of sun and sky radiation for heating and cooling of buildings*, ASHRAE J 1973; 15.
- [25] El-Kassaby, M.: *The optimum seasonal and yearly tilt angle for south-facing solar collectors*, ISES Solar World Congress, Hamburg, Germany, 1987.
- [26] Elsayed. M.: *Optimum orientation of absorber plates*, Solar Energy, 1989; 42.
- [27] Tiris, M., Tiris, C.: *Optimum collector slope and model evaluation: case study for Gebze, Turkey*, Energy Conversion and Management, 1997; 39.
- [28] <http://www.donsmaps.com/lepeniski.html> (приступљено 21.09.2016. год.)
- [29] <http://www.srbijadotokija.com> (приступљено 21.09.2016. год.)
- [30] <http://www.gradimo.hr/blobs/cb204f23-0e70-493a-aadf-d04b836d804e.jpg> (приступљено 23.09.2016. год.)
- [31] <http://217.26.67.168/uploads/2/3/2375782/Termosifon1.jpeg> (приступљено 26.09.2016. год.)
- [32] <http://www.etazgrejanje.com/katalog/solarni-i-kombinovani-bojleri-solect/> (приступљено 26.09.2016. год.)
- [33] <http://ultraterm.rs/proizvod/solarni-bojleri-bosch/> (приступљено 26.09.2016. год.)
- [34] <http://www.mikromont.co.me/product-category/solarni-sistemi/solarni-bojleri/> (приступљено 26.09.2016. год.)
- [35] <http://portal-doo.eu/portalwps/ponuda/solarni-bojleri/ezinc/> (приступљено 05.10.2016. год.)
- [36] <https://www.butobu.rs/details/light/index.php?r=1778&usr=greengroup> (приступљено 05.10.2016. год.)
- [37] <http://www.feman.co.rs/wp-content/uploads/2015/05/02.png> (приступљено 07.10.2016. год.)
- [38] Todorović, B.: *Klimatizacija*, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2005.
- [39] <http://enerese.np.ac.rs/documents/tm/klm.pdf> (приступљено 08.10.2016. год.)
- [40] http://ekospark.com/info/05_energija/solarna_energija_2/solarna_energija_2.html (приступљено 10.10.2016. год.)
- [41] http://www.pres.org.pk/wp-content/uploads/2011/08/225856624_80cc0fa297.jpg (приступљено 12.10.2016. год.)
- [42] http://www.solartechnika.sk/application_data/solartechnika/uploads/Image/616px-four_svg-80a11c.jpg (приступљено 14.10.2016. год.)
- [43] <http://www.croenergo.eu/Corvus/Media/MediaThumbnailHandler.ashx?type=0&Id=10504&flag=104&crop=1> (приступљено 15.10.2016. год.)
- [44] <http://www.bazeni24.rs/cs/image/large/694.jpg> (приступљено 15.10.2016. год.)