

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Пренос топлоте и масе

Број индекса: 20/2012

Радмила Ј. Радуновић

Соларне термоелектране

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Небојша Лукић-ментор
- 2.
- 3.

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру задате теме, завршни рад треба да садржи следећа поглавља:

- 1 Увод
 - 2 Соларна енергија-основни појмови
 - 3 Подела система за коришћење соларне енергије
 - 4 Соларне термоелектране
 - 5 Соларна термоелектрана са централним сабирником
 - 6 Улагања и цена електричне енергије
 - 7 Закључак
- Литература

Крагујевац, 2015.год

Ментор: Проф. др Небојша Лукић, дипл.инг.

Резиме:

Циљ овог завршног рада је анализа, соларних термоелектрана, њихова подела и карактеристике.

У овом раду је посебно пажња посвећена технолошким процесима и значају производње постројења за коришћење соларне енергије у соларним термоелектранама.

У уводу је дат осврт на ефекат стаклене баште и његовом смањењу увођењем обновљивих извора енергије. Током даљег рада приказани су основни појмови соларне енергије, начин коришћења соларне енергије, соларне термоелектране, историјат, принцип рада, поделе...

Кључне речи: соларна енергија, Сунце, соларне термоелектране, соларни торањ...

Abstract:

The goal of this final work is to analyze solar thermal power plants, their division and characteristics.

In this paper, the attention paid to technological processes and the importance of production facilities for the use of solar energy in solar thermal power plants.

In the introduction, the greenhouse effect and reducing it by introducing renewable energy sources. During further work presents the basic concepts of solar energy, a way of using solar energy, solar thermal power, history, working principle, division ...

Keywords: solar energy, sun, solar thermal power, solar tower ...

Садржај:

1 Увод.....	5
2 Соларна енергија-основни појмови.....	7
2.1 Сунце.....	7
2.2 Соларна константа	8
2.3 Сунчев спектар	8
2.4 Расподела Сунчеве енергије на Земљи. Термодинамичка равнотежа Сунце – Земља.....	9
2.5 Ефекат стаклене баште	11
2.6 Инсолација.....	12
3 Подела система за коришћење соларне енергије.....	14
3.1 Пријемници соларне енергије.....	15
4 Соларне термоелектране	17
4.1 Историјат соларне електране	18
4.2 Принцип рада соларних електрана.....	20
4.3 Системи за складиштење топлотне енергије.....	21
4.4 Енергетска ефикасност соларне електране.....	24
4.5 Подела соларних термоелектрана	25
4.5.1.Електране без концентрисања сунчевог зрачења.....	25
4.5.2 Електране са концентрисањем сунчевог зрачења.....	26
5 Соларна термоелектрана са централним сабирником	31
6 Улагања и цена електричне енергије	43
7 Закључак	44
Литература.....	45

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 сагоревање нафте. 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 већ створена и даље се образује „димна завеса“ од честица угљен-ди-оксида, дима, ситне прашине (аеросоли), и др., насталих вековним сагоревањем фосилних горива. Димна завеса смањује зрачење Сунца које доспева на површину Земље, што има за последицу њено хлађење.

Међутим, угљен-ди-оксид 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), због чега се температура Земље повећава. Од односа ова два ефекта зависи да ли ће на Земљи настати снижавање или повишење средње годишње температуре. [1]



Слика 1 Ефекат стаклене баште.

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 2), што би имало за последицу повећање морског нивоа. [2]

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.



Слике 2 *Топљење арктичког леда*

Израз 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.

У групи обновљивих извора енергије постоје још неки видова обновљивих извора енергије, али су за сада далеко од економске исплативости (енергија плиме и осеке...)

2 Соларна енергија-основни појмови

Енергија Сунца представља један од најзначајнијих обловљивих извора енергије, оних чија се продукција енергије може одвијати истом брзином којом се троши.

Када се каже енергија Сунца мисли се пре свега на директно искоришћавање енергије електромагнетних таласа које оно зрачи.

Уколико се енергија Сунца другачије посматра, може се рећи да, практично, сви извори енергије на Земљи (обновљиви и необновљиви), осим нуклеарне, геотермалне и енергије плиме и осеке, су створени или се остварају зрачењем са Сунцем.

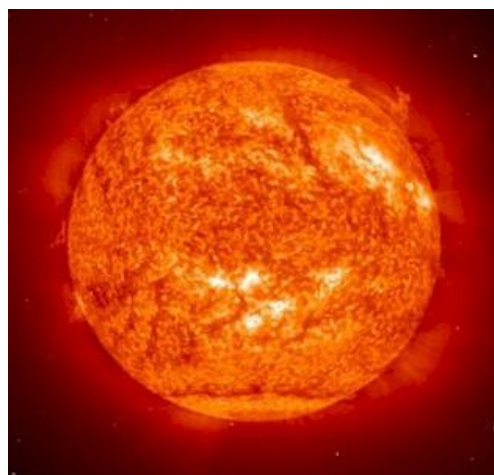
2.1 Сунце

Сунце је Земљи најближа звезда и захваљујући његовој гравитацији, наша планета по елиптичној путањи кружи око њега. Постоје огромне звезде – џинови (слика 3) и мале звезде – патуљци (слика 4). [3]

Сунце је Земљи најближа звезда и по природи је патуљак. [4]



Слика 3 Звездани Џин



Слика 4 Звездани Патуљци.

Неки од података о „нашој најближој звезди“ дати су у следећој табели (табела 1).

Табела 1 Основни подаци о Сунцу.

Удаљеност од Земље [km]	150.000.000	
Хемијски састав спољашњег слоја [$\Sigma=100\%$]	водоник	(75%)
	хелијум	(23%)
	остали усијани гасови	(2%)
Пречник [km]	1.391.980	
Маса [kg]	$1,99 \cdot 10^{30}$	
Густина [kg/m^3]	≈ 1.410	
Запремина [m^3]	$1,41 \cdot 10^{27}$	
Температура [K]	на површини	5800
	у језгру	$>13.600.000$

Сунце је у ствари термонуклеарни реактор у коме се одвијају нуклеарни процеси фузије. Сваке секунде се у језгру Сунца око 600.000.000 t водоника претвори у 596.000.000 t хелијума. Разлика у маси ($m=4.000.000$ t) се према Ајнштановој једначини (*облика 1*) претвара у енергију.

$$(1) \quad E = mc^2$$

где је:

E – енергија која се ослободи у процесу фузије [J];

m – разлика у маси водоника и хелијума [kg];

c – брзина светлости [m/s], ($c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s).

Енергија која се у процесу фузије ослобађа и исијава износи:

$$E = m \cdot c^2 = 4 \cdot 10^6 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1})^2 = 36 \cdot 10^{25} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2} =$$

$$= 360 \cdot 10^{24} \text{ Nm} = 360 \cdot 10^{24} \text{ J}$$

Овој енергији одговара снага од $360 \cdot 10^{24} \text{ W} = 360 \cdot 10^{18} \text{ MW}$ (три стотине шездесет трилиона мегавата).

Према Стефану (Stefan) и Болцману (Boltzmann) 1 cm^2 Сунчеве површине израчи сваке секунде у космос око 6,3 kJ енергије. Утврђено је такође да енергетске резерве Сунца износе $1,8 \cdot 10^{41}$ MJ, а његово годишње одавање енергије је $1,2 \cdot 10^{28}$ MJ. Одатле излази да енергетске залихе на Сунцу износе $1,5 \cdot 10^{13}$ година $= 15 \cdot 10^{12}$ (15 билиона година). [6]

2.2 Соларна константа

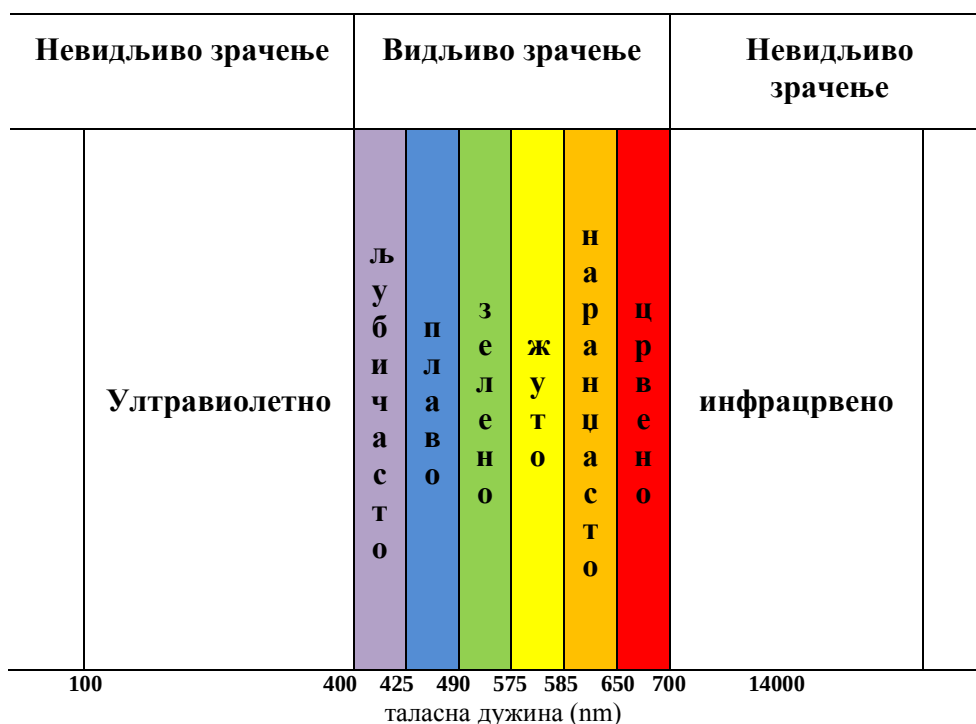
Средњи топлотни флуks Сунчевог зрачења на површини Земљине атмосфере (екстратерестријално зрачење) назива се соларном константом. Соларна константа износи $I_s = 1367 \text{ W/m}^2$. [7]

2.3 Сунчев спектар

Сунчев спектар садржи зрачења таласних дужина мањих од 100 нанометара (nm) па све до 3 микрометара (μm). Основна подела електромагнетног зрачења је на јонизујуће ($\lambda < 100 \text{ nm}$ – гама зраци, xс зраци) и нејонизујуће зрачење ($\lambda > 100 \text{ nm}$). На срећу, разорно јонизујуће зрачење не продире кроз Земљину атмосферу.

Нејонизујуће зрачење са Сунца се може поделити на ултравиолетно, видљиво и инфрацрвено (*табала 2*). [8]

Табела 2 Подела Сунчевог спектра



2.4 Расподела Сунчеве енергије на Земљи. Термодинамичка равнотежа Сунце – Земља

Енергија Сунца коју прима Земља је толико огромна да у току петнаест дана износи онолико колике су заједничке резерве угља и нафте у свету. [6]

Од укупне енергије (100%) која доспева на Земљину површину и њену атмосферу (терестријално зрачење – 343 W/m²) око 30% се рефлектује од атмосфере и Земљине површине назад у космос. Однос између упадне видљиве светлости и дифузно рефлектоване, назива се алbedo. Алbedo неких површина приказан је у следећој табели (табела 3).

Табела 3 Алbedo појединих површина и објеката планете Земље

ПОВРШИНА	АЛБЕДО (α)
вегетација	0,2
светло земљиште	0,3
тамно земљиште	0,1
вода	0,1

Око 22% од укупне енергије троши се на образовање облака испаравањем воде на површини Земље из којих водени талози падају на Земљину површину при чему се ослобођена топлота израчи у космос. На овај начин се обезбеђује кружење воде у природи (испаравање-кондензација-падавина-снаге текуће воде).

Око **48%** од укупног Сунчевог зрачења загрева атмосферу и горњу површину Земље и након тога, невидљивим инфрацрвеним зрачењем као топлота враћа се у космос – **ефекат стаклене баште**.

Један мали део (**<0,1%**) огромне Сунчеве енергије остаје везан на Земљи у облику хемијске енергије (*хем. једначина 1*). Претварање Сунчеве енергије у хемијску енергију се одвија у процесу **фотосинтезе** (сложени био-хемијски и физичко-хемијски процес у коме биљке стварају органска једињења – **глюкоза (биљни шећер)**, а при чему се ослобађа **кисеоник**).



Како су Сунце и Земља у термодинамичкој равнотежи (зрачење које дође на Земљу враћа се у космос), могу да се успоставе следеће математичке релације (*образац 2 и образац 3*):

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

где је:

E_S – енергија коју Земља прима од Сунца [W];
 I_S – соларна константа [W/m²], ($I_S = 1367 \text{ W/m}^2$);
 R_E – Земљин полупречник [m], ($R_E = 6371 \text{ km}$);
 α – Земљин албедо [-].

$$(3) \quad E_S = 4 \cdot \pi \cdot R_E^2 \cdot \sigma \cdot T_E^4$$

где је:

E_S – енергија коју Земља ослобађа (враћа) у васиону [W];
 T_E – температура Земљине површине [K];
 σ – Стефан-Болцманова константа апсолутно црног тела [W/m²K⁴].

На основу термодинамичке равнотеже могу се изједначити обрасци (2) и (3):

$$I_S \cdot \pi \cdot R_E^2 \cdot (1 - \alpha) = 4 \cdot \pi \cdot R_E^2 \cdot \sigma \cdot T_E^4$$

одакле се може израчунати температура на површини Земље како би се одржала термодинамичка равнотежа (*образац 4*).

$$(4) \quad T_E = \left[\frac{I_S \cdot (1 - \alpha)}{4 \sigma} \right]^{1/4} = 255 \text{ K } (-18^\circ\text{C})$$

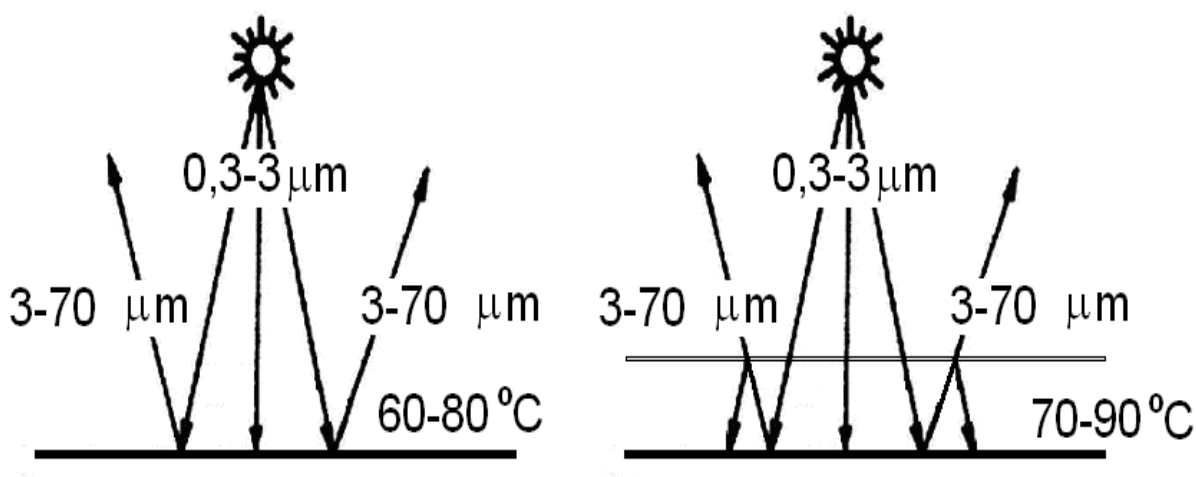
Просечна температура на Земљи износи 288 K (15°C). Ова разлика се може објаснити присуством гасова стаклене баште.

2.5 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, **црним телима**.

Стакло је најпознатији чврст материјал који пропушта Сунчево зрачење (таласне дужине од $0,3\ \mu\text{m}$ до $3\ \mu\text{m}$) и то у просечном износу од 90%. Како се површина иза стаклене плоче загрева, она емитује инфрацрвено дуготаласно зрачење (таласне дужине од $3\ \mu\text{m}$ до $70\ \mu\text{m}$). 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 5). 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 5 Сунчево зрачење на површину (лево) и Сунчево зрачење на површину прекривену стаклом (десно)

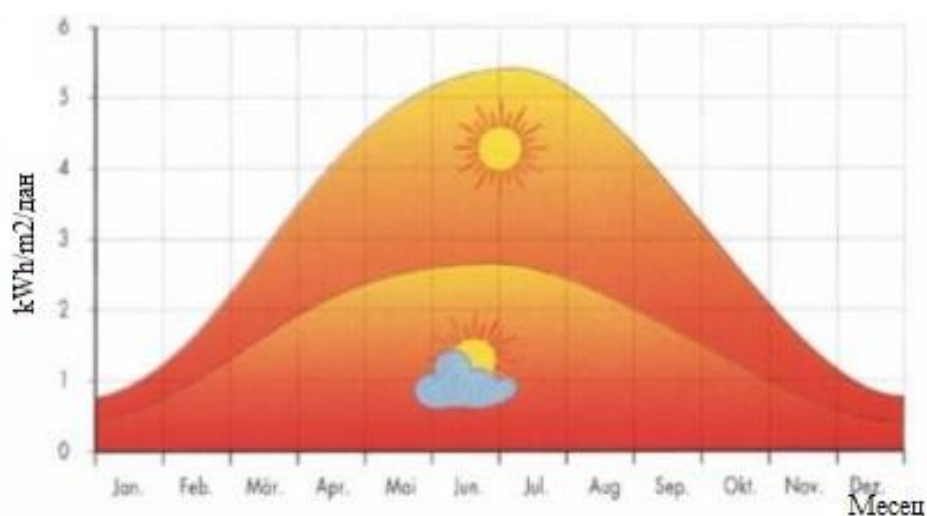
2.6 Инсолација

Количина Сунчевог зрачења на Земљиној површини зависи од много фактора:

- географске ширине места,
- годишњег доба,
- доба дана,
- чистоће атмосфере,
- облачности, оријентације и
- нагиба површне.

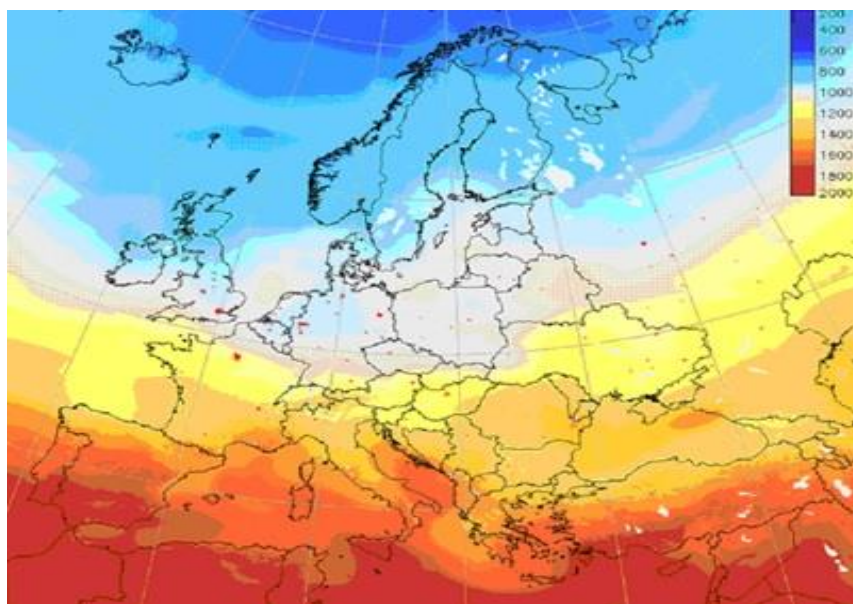
Интензитет сунчевог зрачења на одређеној локацији на површини Земље је често скраћено назива инсолација или ирадијација.

Прецизно речено, просечно Сунчево зрачење, на годишњем нивоу, на јединичну хоризонталну површину назива се инсолација. [9]



Слика 6 Просечне дневне вредности инсолације за средњу Европу

Просечна годишња инсолација у Европи износи 1096 kWh/m^2 (слика 7). [10]

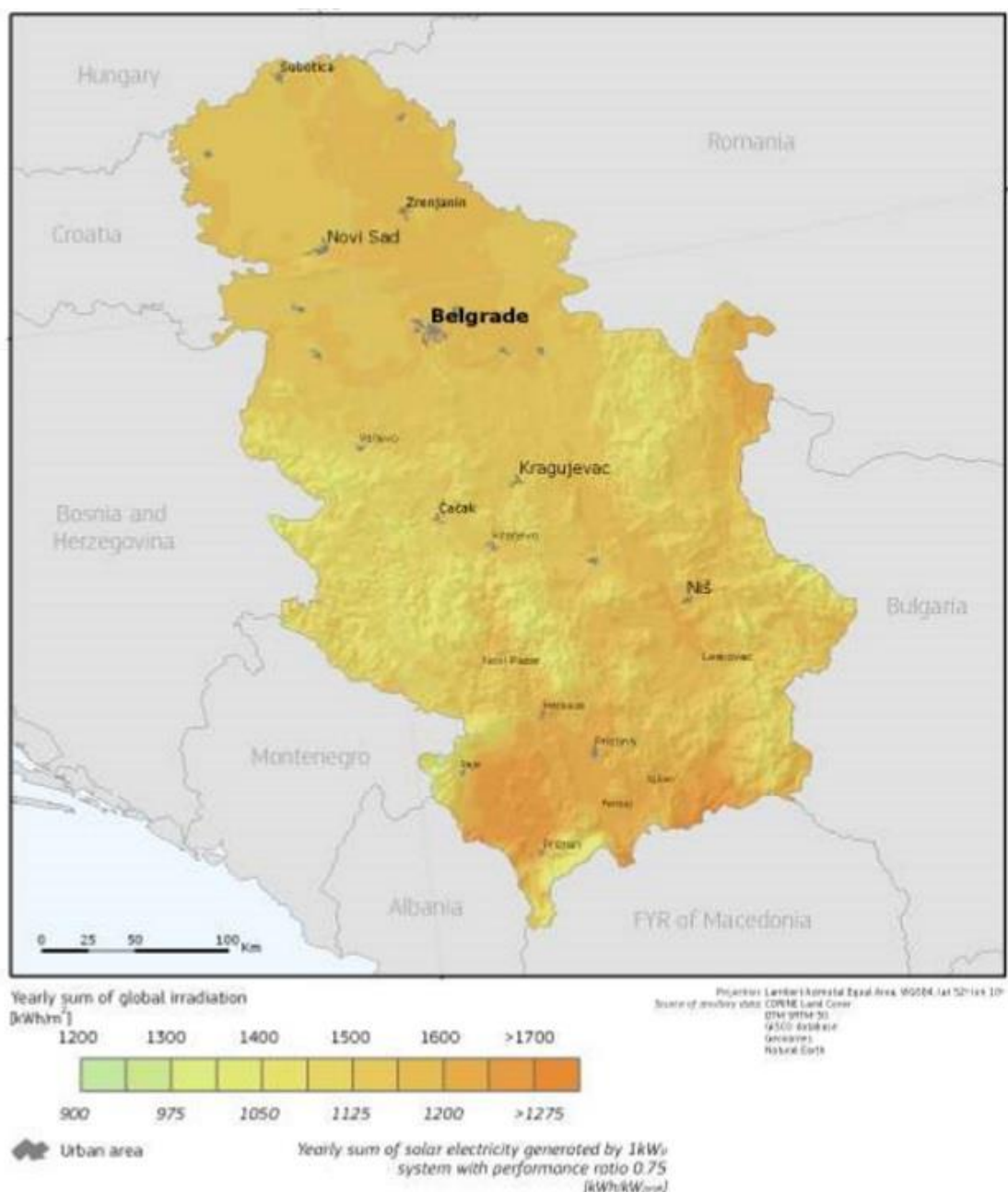


Слика 7 Годишња инсолација на хоризонталној површини за подручје Европе (у kWh/m^2)

Потенцијал искоришћења соларне енергије на подручју Србије креће се од 1.240 до 1.400 kWh/m² површине соларног колектора. Подаци показују да је просечно трајање инсолације 2.071 сат, односно око 270 сунчаних дана, а око 70% се ствара од априла до септембра.

Када се узму у обзир просечне временске прилике, загађење атмосфере и влага, на овим просторима Србије стварна просечна енергија зрачења око 3,5 kWh/m² на дан. Ово су вредности које поуздано осигуравају масовно и економично коришћење соларне енергије.

Годишња сума глобалне ирадијације на оптимално оријентисаним панелима и годишња сума соларног електрицитета генерисаног на оптимално оријентисаном 1kWp систему са степеном искориштења од 75% за Србију приказана је на следећој мапи. (слика 8.) [11]

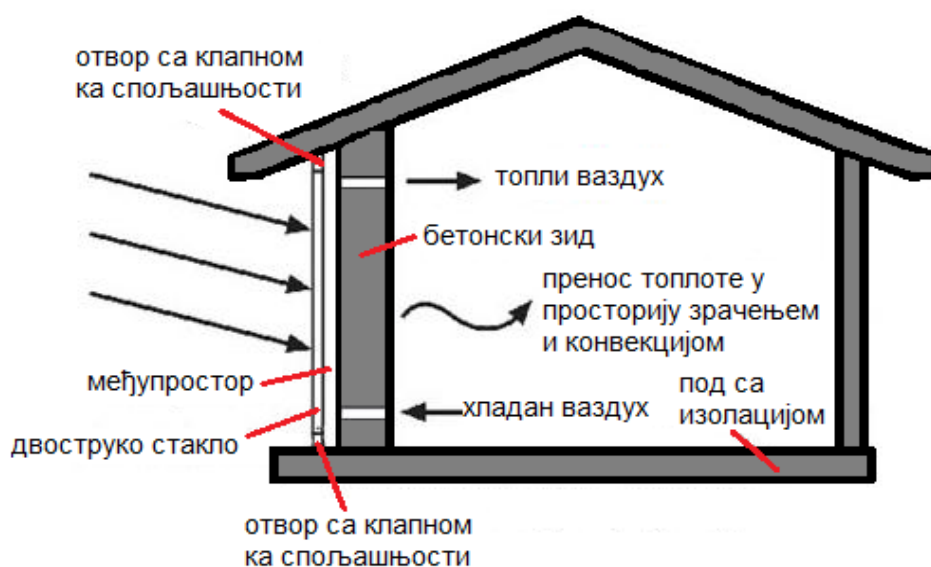


Слика 8 Соларни потенцијал Србије

3 Подела система за коришћење соларне енергије

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

- **Пасивни соларни системи** – представљају саставни део неког већег склопа, који није приоритетно намењен искоришћењу соларне енергије. Класичан пример пасивног соларног система је **Тромбеов зид** (слика 9).



Слика 9 Тромбеов зид [12]

Тромбов зид је изум француског инжењера Феликса Тромба (Félix Trombe) из 1956. године. Овај концепт ради на принципу акумулације сунчеве топлоте и њеног емитовања у унутрашњост објекта и у току ноћи.

На осунчаној страни објекта поставља се зид начињен од материјала који може да се понаша као термичка маса - камен, метал, бетон, опека или резервоар за воду (термичка маса - енг. thermal mass - капацитет материјала да задржава топлоту).

Са спољашње стране тог масивног зида, попут стаклене фасаде поставља се добро изолована стаклена површина (IGU) док између ова два зида, масивног и стакленог, остаје празан ваздушни простор.

Заједно са вентилационим системом овај комплетан систем се понаша као велики соларни колектор. Током дана, сунце сија кроз застакљену површину и загрева масивни зид.

Ноћу би овако сакупљена топлота масивног зида била емитована, већином ка спољашњости објекта, али стаклена опна ово не дозвољава.

Стаклена фасада задржава топлоту масивног зида знатно вишом од спољашње температуре. Уколико је стаклена опна добро изолована, а спољашња температура није превише ниска, температура масивног зида биће виша од температуре унутрашњег простора и преносиће се на њега. [13]

- **Активни соларни системи** – имају превасходну улогу коришћења соларне енергије. Пример активног соларног система је **Соларни систем за коришћење топле воде у домаћинству** (слика 10). [5]



Слика 10 Соларни систем за коришћење топле воде у домаћинству

Пријемник соларне енергије (у овом случају равни соларни колектор) има свој улаз (хлада вода) и излаз (загрејана вода). Пријемник прикупља Сунчеву енергију и трансформише је у топлотну енергију. Затим се кондукцијом и конвекцијом (зрачење је занемарљиво у односу на ова два вида преноса) та топлота преноси на 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 10. 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.

3.1 Пријемници соларне енергије

Подела пријемника соларне енергије према начину трансформисања, дата је у следећој табели (табела 4).

Табела 4 Подела пријемника соларне енергије према начину трансформисања

ПРИЈЕМНИЦИ СОЛАРНЕ ЕНЕРГИЈЕ		
Соларни колектори 	Фотонапонске ћелије 	Хибридни соларни колектори 

Подела соларних колектора може се извршити на више начина и дата је у следећој табели (табела 5.).

Табела 5 Подела соларних колектора

СОЛАРНИ КОЛЕКТОРИ	Према врсти радног флуида	ВОДЕНИ
		ВАЗДУШНИ
		СА ТЕРМИЧКИМ УЉИМА (ДРУГИ ФЛУИДИ)
	Према основној конструкцији	РАВНИ
		КОНЦЕНТРИШУЋИ
	Према покретљивости панела	СА НЕПОКРЕТНИМ ПАНЕЛОМ
		СА ПОКРЕТНИМ ПАНЕЛОМ

Тип колектора који се најчешће примењује је *равни, водени соларни колектор*.

Основне врсте ових типова соларних колектора су:

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

Концентришући соларни колектори се могу поделити на два начина (табела 6).

Табела 6 Подела концентришућих соларних колектора

КОНЦЕНТРИШУЋИ СОЛАРНИ КОЛЕКТОРИ	Према мобилности панела	СА НЕПОКРЕТНИМ ПАНЕЛОМ
		СА ПОКРЕТНИМ ПАНЕЛОМ
	Према конструкцији	РАВНЕ СА РЕФЛЕКТОРИМА
		ВИШЕДЕЛНЕ ПАРАБОЛИЧНЕ
		ЛИНЕАРНИ FRESNEL – ОВ РЕФЛЕКТОР
		ПАРАБОЛИЧНЕ 2Д
		ПАРАБОЛИЧНЕ 3Д
		ЦЕНТРАЛНЕ ПРИЈЕМНИКЕ СА ПОЉЕМ ХЕЛИОСТАТА

4 Соларне термоелектране

Соларне термоелектране су постројења за претварање соларне енергије у електричну. Данас постоји више начина производње електричне енергије из соларне енергије.

Главна подела соларних електрана:

- Соларне термоелектране
- фотонапонске електране

Соларне термоелектране (СЕ) су енергетска постројења која функционишу попут класичних термоенергетских постројења, но за разлику од њих топлотну енергију за потребе кружног процеса не осигуравају сагоревањем фосилних горива већ коришћењем енергије Сунчевог зрачења. [31]

Сунчево зрачење, као извор топлоте, искоришћава се помоћу соларних колектора за загревање радног медија кружног процеса на два начина, директно или индиректно.

Директно загревање одвија се непосредно струјањем радног медија кроз колекторске елементе, за разлику од индиректног загревања где соларни флуид (флуид за пренос топлоте) струји кроз колекторске елементе те потом у размењивачима топлоте, тј. генератору паре, предаје топлоту радном флуиду.

Соларни радни флуид може бити у течном или гасовитом стању, а најчешће је то вода / пара, термичко уље, растопљена со, ваздух, азот или хелијум. Секундарни радни флуид је најчешће вода / пара.

Топлотни машине у СЕ могу бити парне турбине (Ранкинов или органски Ранкинов циклус), гасне турбине (Brayton-ov циклус) или Стирлингови мотори (Stirling-ov циклус).

За разлику од соларних фотонапонских система који могу производити електричну енергију само током дана (интермитентни системи), соларне термоелектране могу радити и током ноћи и за време облачног времена захваљујући топлотним резервоарима или помоћним изворима топлоте, па су због тога погодне као постројења већих снага (до неколико стотина MW).

Соларни колекторски систем могуће је уклопити у комбиновано гасно-парно постројење или у већ постојећу конвенционалну термоелектрану. Такви системи представљају хибридна соларна термоенергетска постројења.

Да би се повећала ефикасност термодинамичка соларног термоенергетског постројења потребно је остварити високе температуре радног флуида. То се постиже употребом концентришућих соларних термичких колектора којима се повећава топлотни флуks тока Сунчевог зрачења, тј. озрачење апсорберске површине.

Системи са нижим радним температурама користе се у случајевима када се техничко-економском оптимизацијом целокупног система успостави да је могуће значајно смањити трошкове производње електричне енергије.

Предности СЕ су очигледне: увек присутно бесплатно гориво, не загађује животну средину, не испуштају CO₂ у атмосферу, не стварају киселе кише (због емисија сумпор-диоксида и азот-диоксида), не ствара се никакав отпад, не трују земљиште и водотокови, уклапају се у “вршно дневно оптерећење” када потрошња расте преко дана. [26]

Додатна корист је отварање радних места, посебно у фази изградње СЕ која траје 3-4 године.

Недостаци су очигледни: енергија се најчешће производи преко дана, када Сунце сија. Ефекти рада СЕ умањени су по облачном и кишовитом времену и зими када је интензитет сунчевог зрачења 4-5 пута мањи у односу на лето.

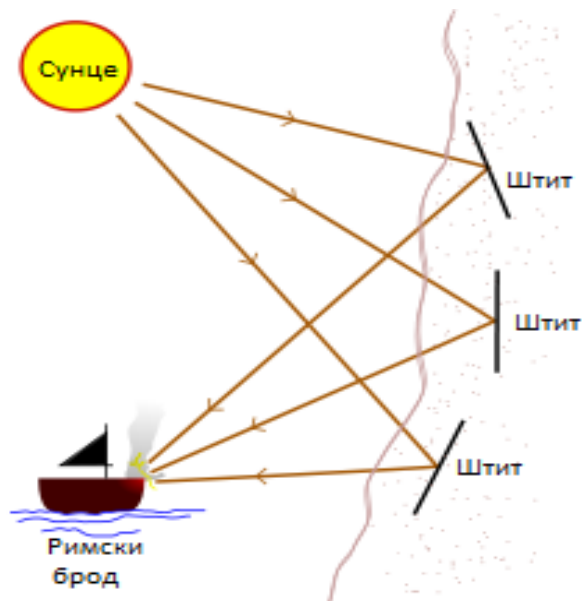
Други велики недостатак је да захватају велике површине земљишта. Примера ради, електрана инсталисане снаге 350 MWp¹ заузима простор од око 25 km².

СЕ од 50 MWp заузима простор од око 200 ha.

¹ Индекс (p) у ознакама за снаге за фотонапонске системе означава електричну снагу (Wp-watt peak), коју тај систем даје, при стандардизованим, максимално повољним временским условима и положају Сунца (I_p=1000W/m², стандардни Сунчев спектар-AM 1.5, температура фотонапонских ћелија 25°C).

4.1 Историјат соларне електране

Легенда каже да је Архимед 212. године п.н.е. користио штитове, исполиране до високог сјаја, да би концентрисане Сунчеве зраке усмерио у правцу римске флоте коју је хтео да спали пошто су Римљани опседали Сиракузу, његов родни град (слика 14.). [24]



Слика 14 Легенда о Архимеду

“Luz International”, америчко-израелска компанија је 1980. изградила девет соларних електрана у Калифорнији, у пустињи Мохаве, инсталисане снаге 354 MWp. Поређења ради, ХЕ “Бердап” има укупну инсталисану снагу 1.200 MWp.



Слика 15 Соларна електрана са параболичним огледалима



Слика 16 Соларна електрана PS10 у Севиљи, Шпанија [21]

Исте године је у Мухава пустињи изграђена СЕ “Solar One” са енергетским торњем и хелиостатским огледалима, снаге око 10 MWp. СЕ је захватала површину од 72.648 m² и имала је 1.818 огледала. Од тада је изградња нових СЕ углавном обустављена. Један од разлога је релативно ниска цене фосилних горива и неусавршена технологија изградње. На плану изградње СЕ наступило је затишје све до почетка 21. века када је у САД, 2003. у пустињи Невада, пуштена у рад СЕ инсталисане снаге 64 MWp. У Шпанији су пуштене у рад 2007. две соларне електране укупне инсталисане снаге 31 MWp.

“Solar Milenium”, немачка компанија за изградњу СЕ, уговорила је са шпанском владом изградњу две соларне електране укупне снаге 2x50 MWp, што треба да задовољи потребе у електричној енергији 50.000 домаћинстава. [24]

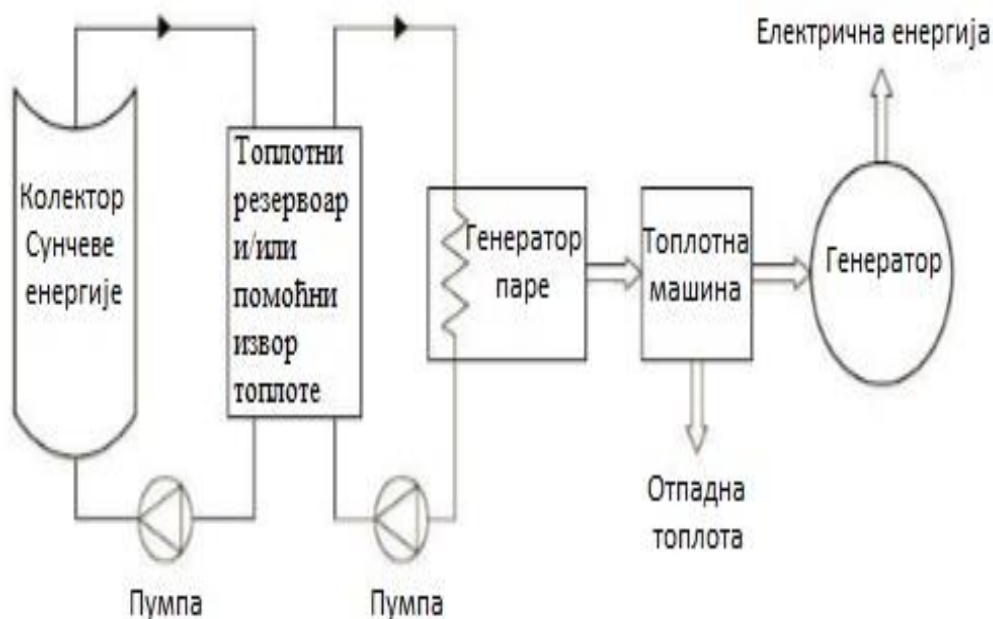
Разлог дуге стагнације изградње СЕ, поред ниске цене фосилних горива, лежи и у чињеници да су пустињска подручја у свету удаљена од градских и индустријских центара тако да су потребна знатна улагања у преносне мреже.

Изградња СЕ, после скоро две деценије, доживљава ренесансу, посебно у Шпанији и југо-западном делу САД. Последњих година искристалисала су се четири техничка решења и сва се заснивају на концентрисаном сунчевом зрачењу

4.2 Принцип рада соларних електрана

Главни делови соларне електране су (Слика 17.):

- Соларни топлотни пријемници (концентришући или неконцентрирајући) - уређаји који претварају дозрачене Сунчеву енергију у корисну топлоту која се предаје радном или соларном медијум (медијум за пренос топлоте)
 - Топлотни резервоар и / или помоћни извор топлоте - уређаји који омогућавају континуални и стабилан рад постројења у условима када се Сунчево зрачење нагло мења (при променљивим временским условима) или када оно уопште није доступно (током ноћи и за време облачног времена).
 - Генератор паре - уређај у којем се топлота соларног медија индиректно предаје радном флуиду, а најчешће се састоји од три рекуперативна размењивача топлоте:
 1. предгрејач - радни медијум загрева се до температуре која је близу темп. кључања
 2. испаривач - радни медијум испарава и прелази у стање сувозасићене паре
 3. прегрејач - сувозасићена пара загрева се до задате пројектне температуре
- у случају да је постројење изведено с међупрегревањем паре, генератор паре садржи и:
4. међупрегрејач - експандирана пара из високо притисног дела турбине додатно се загрева и потом враћа на коначну експанзију у ниским притисном делу.
- Топлотна машина - уређај у којем се топлотна енергија претвара у механичку, најчешће је то парна турбина у Ранкиновом или органском Ранкиновом циклусу, Стирлингов мотор, а могућа је и гасна турбина
 - Електрични генератор - уређај који механичку енергију претвара у електричну енергију. [31]

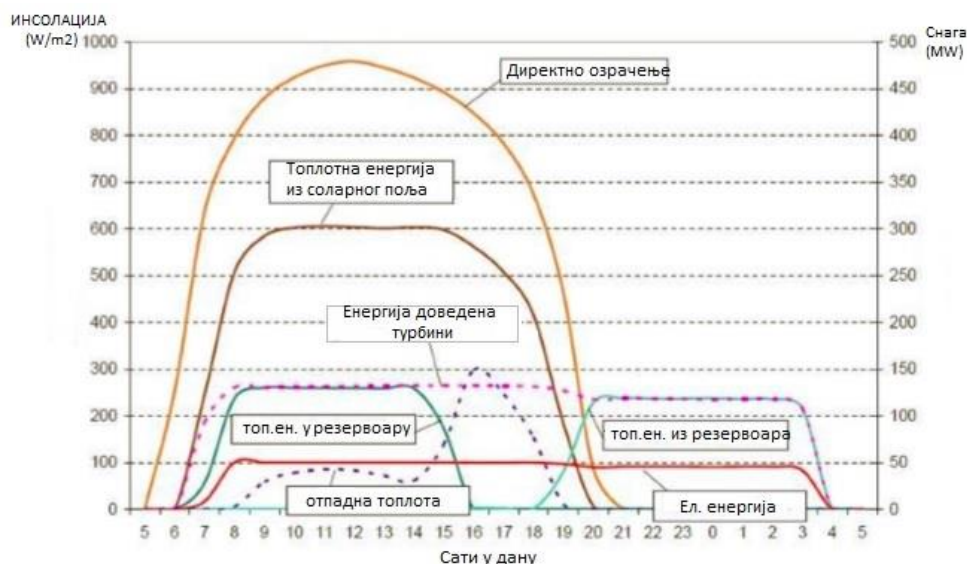


Слика 17 Шема рада соларне електрана

4.3 Системи за складиштење топлотне енергије

Сунчево зрачење је такав извор енергије чији интензитет варира детерминистички, услед Земљине ротације (измена дана и ноћи) и стохастички, као резултат стварних метеоролошких збивања (облаци, аеросоли, итд.). Како такве промене не би негативно утицале на рад постројења, користе се уређаји за складиштење топлотне енергије, тј. топлотни резервоари.

На слици 18. је показан енергетски биланс соларне термоелектране са топлотним резервоаром. [29]



Слика 18 Енергетски биланс соларне термоелектране са топлотним резервоаром

Осим што повећава број погонских радних сати, те доприноси стабилности и поузданости рада постројења, топлотни резервоари такође смањују и трошкове производње електричне енергије (Слика 19.).

Због способности складиштења енергије у резервоарима топлоте, соларне термоелектране издвајају се од већине других система обновљивих извора енергије (ветар, сунчева енергија у фотонапонским системима, итд.). Да би се топлота похранила у топлотном резервоару, потребно је обезбедити додатну површину соларног поља, тј. повећати број сунчаних колектора или хелиостата (огледала). [20]

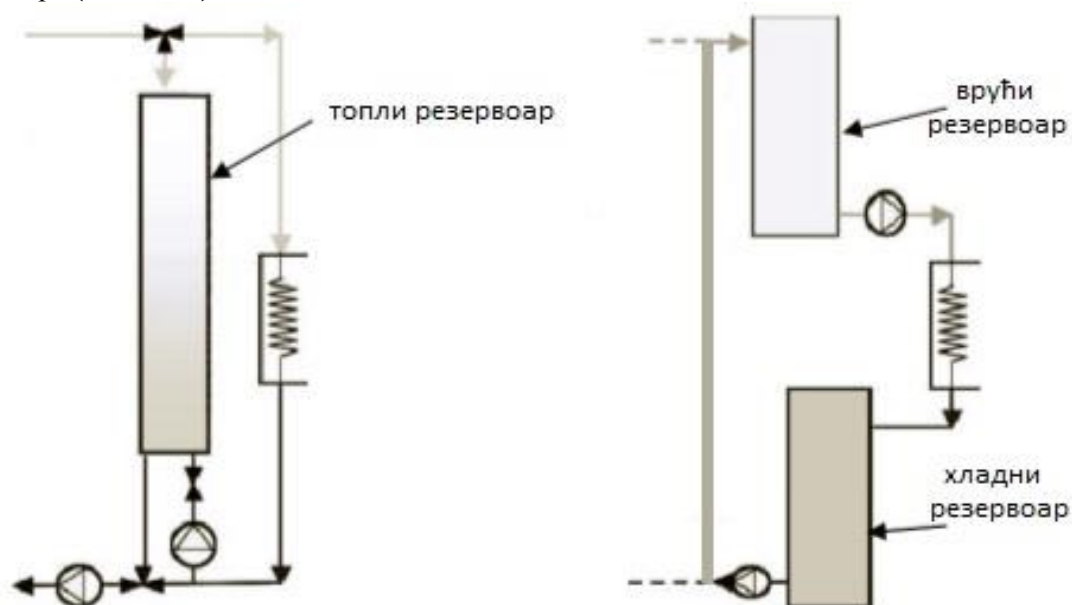


Слика 19 Однос трошкова производње електричне енергије и капацитета топлотног резервоара

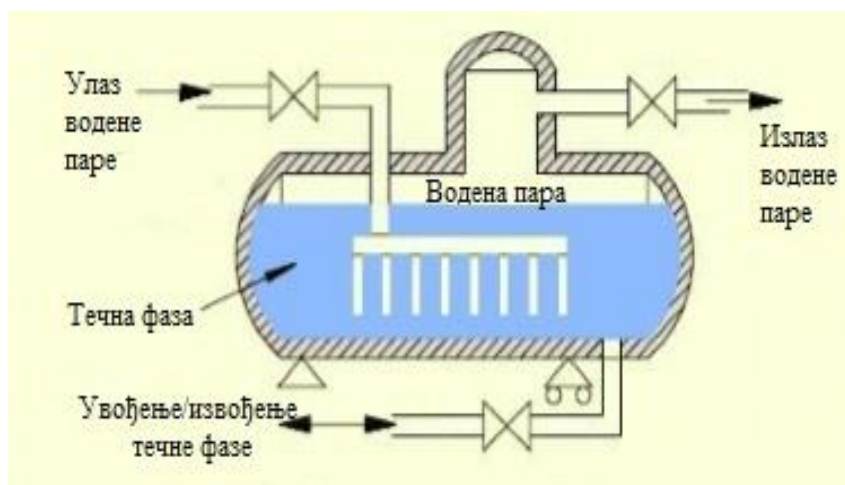
Топлотни резервоари могу бити:

- директни
- индиректни

У директним топлотним резервоарима топлотна енергија похрањује се непосредно акумулацијом соларног флуида (флуида за пренос топлоте). У том случају подразумева се да је соларни флуид релативно јефтин и да има висок специфични топлотни капацитет како би се смањили трошкови резервоара. Тренутно се примењују топлотни резервоари са термичким уљем и растањеној соли, а испитују се и могућности примене резервоара водене паре (Слика 21.). Предност оваквог директног начина складиштења топлоте је у константној температури врућег соларног флуида. Директни топлотни резервоари могу бити изведени са једним или два резервоара (Слика 20.).



Слика 20 Системи соларних термоелектрана са директним топлотним резервоаром (лево: једним резервоаром, десно: два резервоара)



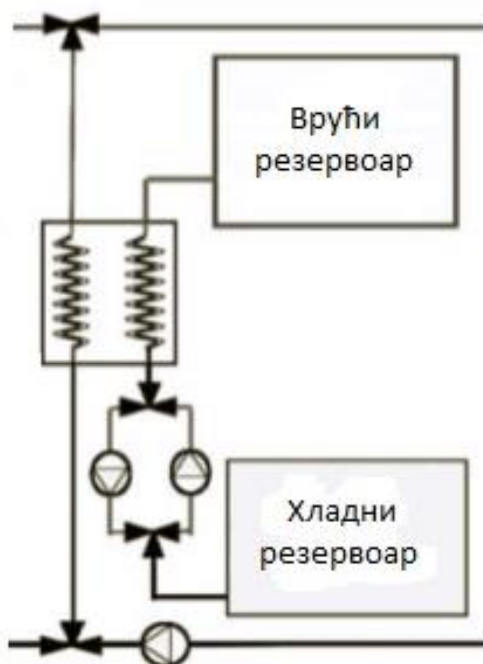
Слика 21 Директни топлотни резервоар водене паре (тзв. „Ruthov“ резервоар)

У индиректним топлотним резервоарима топлотна енергија похрањује се посредно тако да соларни флуид предаје топлоту другом флуиду с високим топлотним капацитетом. У овом случају мора се омогућити добар пренос топлоте (велике површине и високи коефицијент

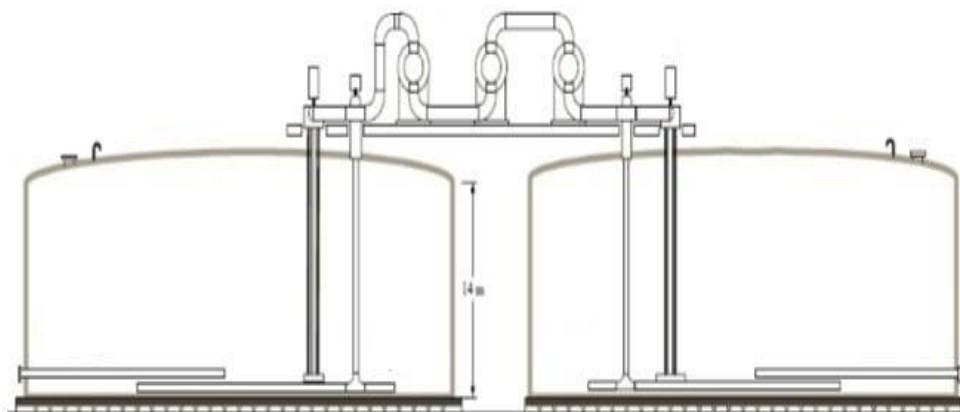
пролаза топлоте) између соларног флуида и флуида у резервоару како би се осигурао потребан температурни градијент и смањили енергетски губици. (Слика22.)

Индиректни топлотни резервоар користи се ако је соларни медиј скуп (нпр. синтетичко термичко уље) или ако га је тешко складиштити (нпр. компримовани ваздух). За овај тип складиштења топлотне енергије најчешће се примењују следеће комбинације медија: термичко уље / бетон, термичко уље / растопљена со, пара / уље-песак, ваздух / керамичка цигла. (Слика 23.).

Предност индиректних топлотних резервоара представља њихова ниска цена, а мана повећани енергетски губици због двоструке размене топлоте при загревању и хлађењу медија у резервоару.



Слика 22 Систем соларних термоелектрана са индиректним топлотним резервоаром



Слика 23 Индиректни топлотни резервоар (термичко уље / растопљена со)

У индиректним топлотним резервоарима с фазно променљивим материјалом, медиј у резервоару (нпр. со, NaCl, NaNO₃, KOH) мења агрегатно стање (талиња / чврста супстанца) уз константну температуру (изотермно), тј. апсорбује или ослобађа латентну топлоту, при чему

соларни флуид (водена пара / вода) кондензује или испарава, такође изотермно. Такве конструкције топлотних резервоара још су развојној фази (Слика 24.). [30]

Storage Medium	Temperature		Average density (kg/m³)	Average heat conduct- ivity (W/mK)	Average heat capacity (kJ/kgK)	Volume specific heat capacity (kWh/m³)	Media costs per kg (\$/kg)	Media costs per kWh _t (\$/kWh _t)
	Cold (°C)	Hot (°C)						
Solid media								
Sand-rock-mineral oil	200	300	1,700	1.0	1.30	60	0.15	4.2
Reinforced concrete	200	400	2,200	1.5	0.85	100	0.05	1.0
NaCl (solid)	200	500	2,160	7.0	0.85	150	0.15	1.5
Cast iron	200	400	7,200	37.0	0.56	160	1.00	32.0
Cast steel	200	700	7,800	40.0	0.60	450	5.00	60.0
Silica fire bricks	200	700	1,820	1.5	1.00	150	1.00	7.0
Magnesia fire bricks	200	1,200	3,000	5.0	1.15	600	2.00	6.0
Liquid media								
Mineral oil	200	300	770	0.12	2.6	55	0.30	4.2
Synthetic oil	250	350	900	0.11	2.3	57	3.00	43.0
Silicone oil	300	400	900	0.10	2.1	52	5.00	80.0
Nitrite salts	250	450	1,825	0.57	1.5	152	1.00	12.0
Nitrate salts	265	565	1,870	0.52	1.6	250	0.70	5.2
Carbonate salts	450	850	2,100	2.0	1.8	430	2.40	11.0
Liquid sodium	270	530	850	71.0	1.3	80	2.00	21.0
Phase change media								
NaNO ₃	308		2,257	0.5	200	125	0.20	3.6
KNO ₃	333		2,110	0.5	267	156	0.30	4.1
KOH	380		2,044	0.5	150	85	1.00	24.0
Salt-ceramics (NaCO ₃ -BaCO ₃ /MgO)	500-850		2,600	5.0	420	300	2.00	17.0
NaCl	802		2,160	5.0	520	280	0.15	1.2
Na ₂ CO ₃	854		2,533	2.0	276	194	0.20	2.6
K ₂ CO ₃	897		2,290	2.0	236	150	0.60	9.1

Слика 24. Карактеристике флуида за складиштење топлоте у топлотним резервоарима СТЕ

4.4 Енергетска ефикасност соларне електране

Под енергетском ефикасношћу (η) соларне електране подразумева се однос електричне енергије која се у одређеном временском интервалу добија помоћу соларне електране и енергије Сунчевог зрачења које пада на соларне рефлекторе електране у истом временском интервалу. Израчунава се помоћу израза:

$$\eta = \frac{E_e}{S \cdot G_{opt}}$$

где је:

E_e - износ електричне енергије која се у одређеном временском интервалу добија помоћу соларне електране (Wh),

G_{opt} - износ енергије глобалног Сунчевог зрачења које је у одређеном временском интервалу доспело на соларне модуле електране (Wh/m²)

S - укупна површина соларних рефлектора електране (m²).

4.5 Подела соларних термоелектрана

Према начину концентрисања Сунчевог зрачења, соларне термоелектране деле се на:

- Електране без концентрисања сунчевог зрачења
- Електране са концентрисањем сунчевог зрачења (Concentrating Solar Power – CSP) [5]

Концентришући системи, као што им сам назив говори, користе соларне колекторе који концентришу Сунчево зрачење на апсорбер и они представљају високотемпературне системе, за разлику од неконцентрирајућих нискотемпературних система који користе велике равне колекторске површине.

4.5.1. Електране без концентрисања сунчевог зрачења

Електране без концентрисања сунчевог зрачења користе енергију слободног струјања медија које настаје због температурне разлике да би произвеле механичку / топлотну, односно на крају електричну енергију. У ово групу спадају соларни димњаци и соларна језера.

- Соларни димњаци (енг. Solar Up-draft Tower) користе велике површине да би загрејали довољне количине ваздуха који се притом због потиска дижу кроз турбине које се налазе у високој вертикално постављеној цеви (димњаку). На *слици 25*. се може видети приказ рада једне такве електране.



Слика 25 Соларни димњак

- Соларна језера (eng. Solar pond) служе у ствари само као колектори сунчевог зрачења. Језера су, како је могуће видети на *слици 26.*, испуњена сланом водом те због градијента сланоће и температуре на врху се концентрише најтоплија вода температуре и до 100°C која се затим може употребити у органском Ранкиновом циклусу. (*слика 26.*) [27]



Слика 26 Соларно језеро.

4.5.2 Електране са концентрисањем сунчевог зрачења

У групу електрана са концентрисањем сунчевог зрачења спадају:

- Соларни торњеви
- Соларни (Stirling) тањери
- Соларне електране са фреснел рефлекторима
- Соларне електране са парабола колекторима. [19]

Електране са концентрисањем сунчевог зрачења се данас у енергетском смислу сматрају најважнијим и представљају групу највећих произвођача електричне енергије из соларне енергије због најмањих просторних захтева по kW инсталисане снаге, највећој енергетској ефикасности, капацитету и осталим техничким параметрима који су приказани у табелама 7. и 8. [18]

Табела 7 Просторни захтеви соларних термоелектрана.

Соларни торњеви	25 - 35 m ² /kW
Електране са фокусирањем у линију	10 - 25 m ² /kW
Електране са параболичним колекторима	15 - 30 m ² /kW
Соларни димњаци	~ 200 m ² /kW
Соларна језера	~ 55 m ² /kW

Табела 8 Концентрациони фактори и технички параметри одабраних соларних термоелектрана

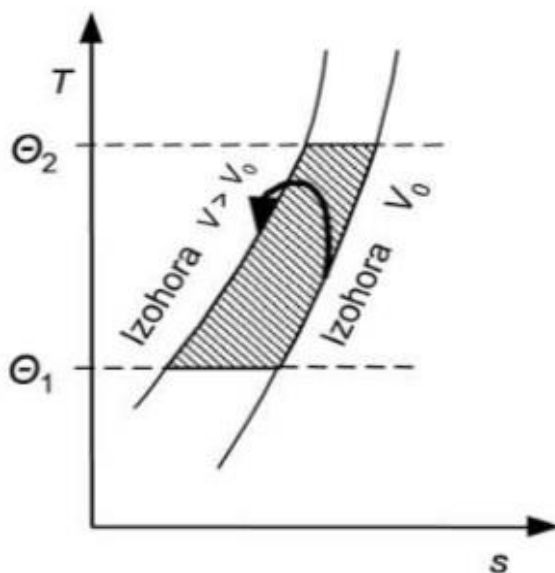
	Соларни торњеви	Соларни тањири	Параболични колектори	Фреснел рефлектори	Соларна језера	Соларни димњаци
Уобичајени капацитет [MW]	30 - 200	0,01 - 1	10 - 200	10 - 200	0,2 - 5	30 - 200
Стварни капацитет [MW]	10	0,025	80	0,3	5	0,05
Фактор концентрације	600 - 1000	до 3000	50 - 90	25 - 50	1	1
Ефикасност [%]	10 - 28	15 - 25	10 - 23	9 - 17	1	0,7 - 1,2
Начин рада	рад на мрежи	мрежни/ острвски	рад на мрежи	рад на мрежи	рад на мрежи	рад на мрежи
Статус даљег развоја	+	+	++	0	+	+

Соларни торњеви (енг. Solar tower power plants) спадају у системе који сву сунчеву енергију сакупљају у једној тачки. Огледала, тзв. хелиостати (грчки израз за "статично сунце") прате положај сунца током дана у две осе и концентришу сунчеву светлост у једну тачку која је централно позиционирана на врху торња. У тој тачки топлотна енергија се предаје радном медију (ваздух, растопљена со, вода / водена пара) те се на тај начин топлота доводи термодинамичком кружном циклусу. Због могућности постизања температура блиских конвенционалним електранама на фосилна горива често је флуид вода / водена пара која се затим директно употребљава као радни флуид у конвенционалном Ранкиновом циклусу. Због промене Сунчевог зрачења могу се употребити топлотни резервоари и / или догревање на фосилна горива или биогорива како би се постигла континуирана производња електричне енергије. (слика 27.)

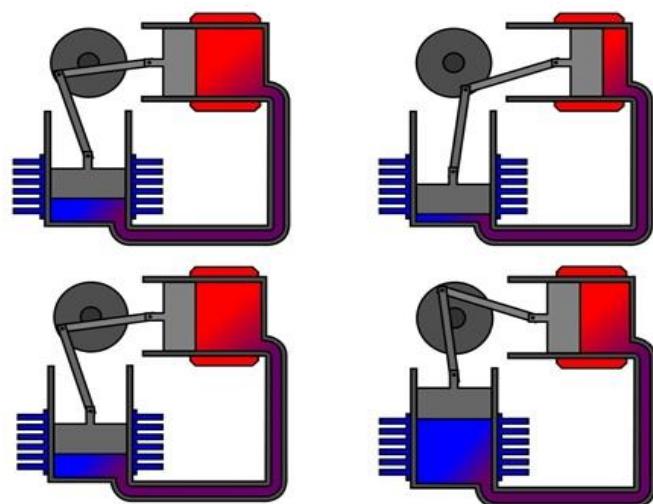


Слика 27 Соларни торањ

Соларни тањери (енг. Dish/Stirling systems) се састоје од параболоидни соларног концентратора (тањира), соларног пријемник топлоте, Стирлинговог топлотног мотора и електричног генератора. Параболоудни соларни концентратор прати сунце у две осе и усмерава сунчево зрачење на соларни пријемник топлоте који се налази у његовом фокусу. Тамо је сунчево зрачење трансформисано у топлотну енергију која се затим предаје Стирлинговим топлотном мотору.



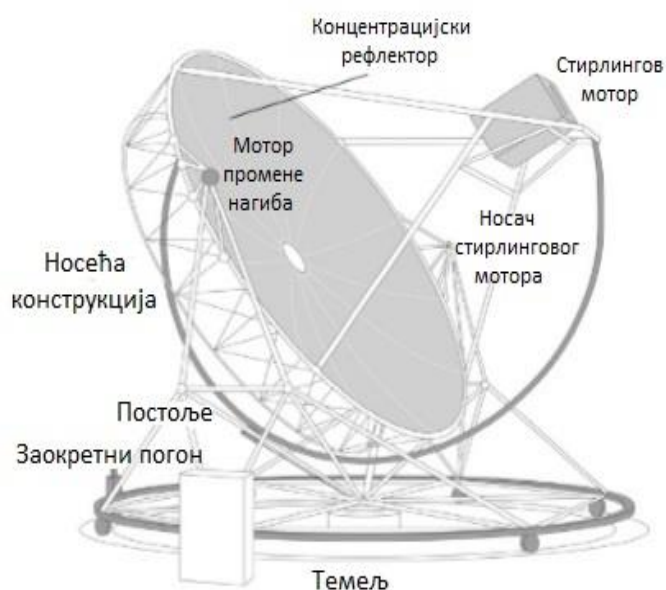
Слика 28 T-s дијаграм рада Стирлинговог топлотног мотора



Слика 29 Шема Стирлинговог мотора

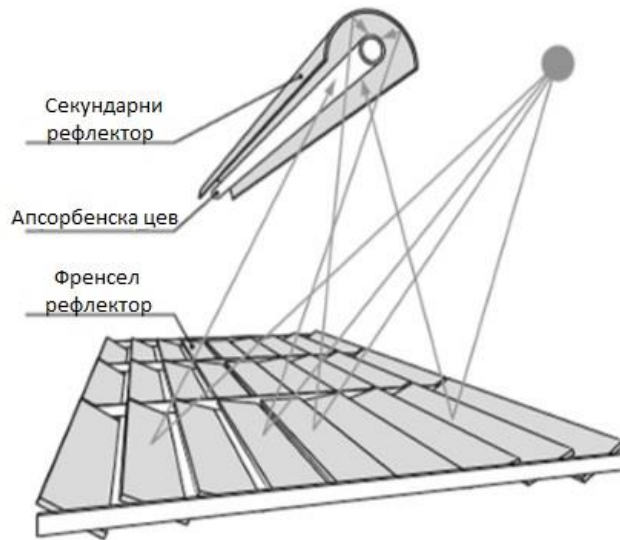
Стирлингов топлотни мотор по деснокретном Стирлинговим циклусу (који је затворен између две изотерме и две изохоре - слика 28.) претвара топлотну енергију у механичку која се у електричном генератору повезаном на мотор претвара у електричну енергију. [28]

У комбинованим системима флуид може се још догревати сагоревањем гаса (земног гаса или биогаса). Делови једног таквог соларног постројења приказани су на слици 30.



Слика 30 Делови соларне термоелектране са соларним тањиром и Стирлинговим топлотним мотором

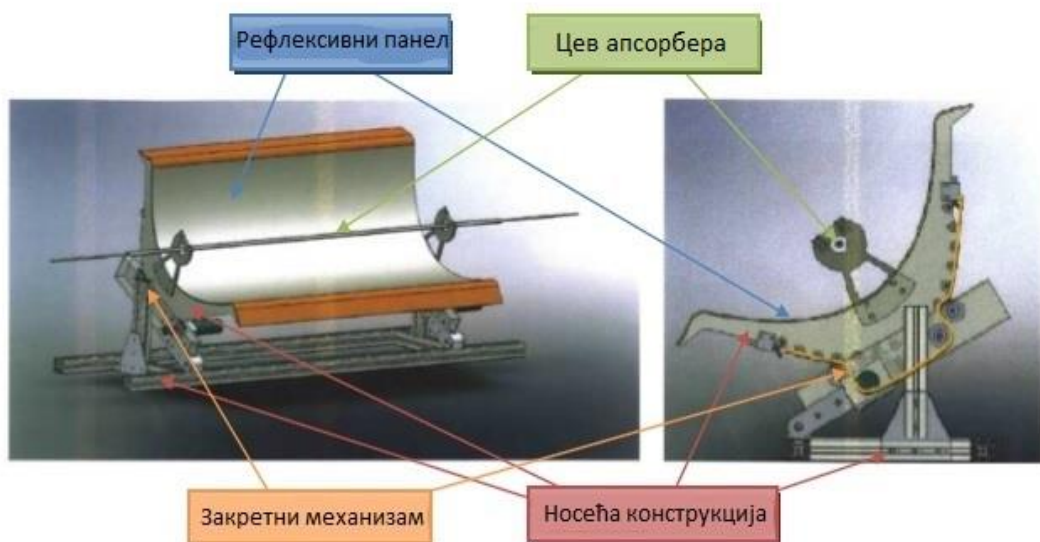
Соларне електране с фреснел рефлекторима (енг. Linear Fresnel power plants) носе име по рефлекторима (слика 31.) којима фокусирају сунчеву светлост. За разлику од соларних тањира и соларних торњева чији концентратори концентришу светлост у тачку концентратори ових електрана концентришу светлост у линију и називају се линеарним фреснел рефлекторима. [22]



Слика 31 Начин фокусирања сунчеве светлости код Френсел колектора

У фокусној линији соларних електрана с френсел рефлекторима налази се цев кроз који тече радни флуид. Због тога што је фокус линија, а не тачка, рефлектори прате Сунце у само једној оси. Сакупљена топлота од Сунца се Ранкиновим циклусом претвара у рад који се у електричном генератору претвара у електричну енергију. У овим електранама, да би се премостио проблем варирања сунчевог зрачења, може се користити догревање медија фосилним горивима и / или се могу користити топлотни резервоари.

Соларне електране са параболичним колекторима (енг. Parabolic trough power plants) се врло мало разликују од соларних електрана с френсел рефлекторима, при чему се уместо френсел рефлектора користи параболични рефлектор. (слика 32.)



Слика 32. Соларне електране са параболичним колекторима

5 Соларна термоелектрана са централним сабирником

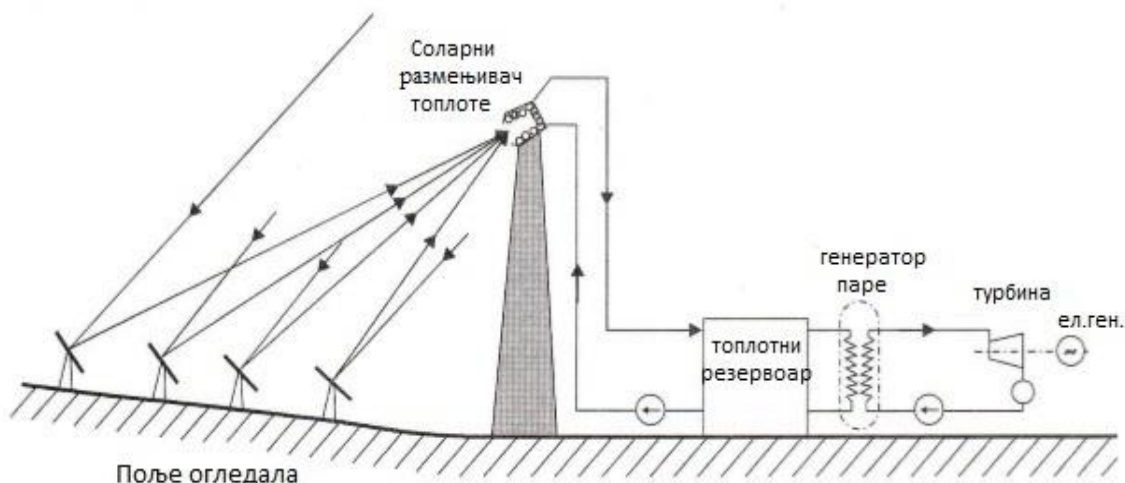
Соларна термоелектрана са централним сабирником (тзв. Соларни торањ) састоји се од стаклених огледала рефлектора (тзв. хелиостати), који прате кретање Сунца и рефлектују директне Сунчеве зраке концентришући их према радијационо-конвекцијску размењивачу топлоте (тзв. соларни сабирник), који се налази на врху торња централно смештеног у односу на хелиостате.

У соларном сабирнику енергија Сунчева зрачења претвара се у топлоту која се предаје примарном флуиду за пренос топлоте (нпр. ваздух, растопљена со, вода / пара) или директно секундарном радном флуиду кружног процеса.

Преузета топлота се потом искоришћава у турбоагрегату за производњу електричне енергије.

Соларна термоелектрана са централним сабирником често садржи и додатне системе као што су топлотни резервоари или допунски извори топлоте, који обезбеђују константне параметре и проток радног флуида за време променљивог Сунчевог зрачења, те повећавају фактор расположивости постројења. [16]

Поједностављена шема соларне електране са централним сабирником приказује *слика 33*.



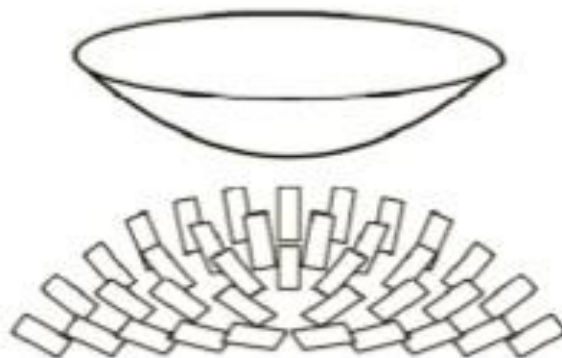
Слика 33 Шема соларне термоелектране са централним сабирником

Соларно поље соларне термоелектране са централним сабирником представља тачкасто концентришући систем, будући да хелиостати чине велико огледало у чијем жаришту се налази соларни сабирник (*Слика 34*). Концентрациони фактор креће се у рангу од 200 до 1000. Величина економски исплативих постројења износи 10-200 MW, али су исплативи и системи мањих снага који се интегришу у високо ефикасне комбиноване циклусе. Високи топлотни флуks Сунчевог зрачења кроз сабирник (између 300 и 1000 KW / m²) омогућава рад при релативно високим температурама (до 1000°C), па се овакви соларни системи могу интегрисати и у циклус са гасном турбином.

Соларни торањ са топлотним резервоаром има могућност годишњег рада преко 4500 сати при номиналној снази.

Највећи део инвестиционог трошка за овакве електране отпада на соларно поље, што осим хелиостата укључује и механизам за двоосни праћење положаја Сунца.

Хелиостати представља поље великог броја равних огледала или благо параболичних огледала, која се постављају тако да им је фокус усмерен ка централном торњу који апсорбује рефлектовано Сунчево зрачење.[25]



Слика 34 Огледало параболоид који рефлектује светлост

Хелиостати се састоје од (слика 35.):

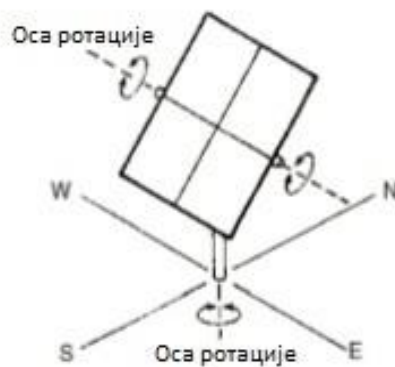
- рефлектујуће површине,
- механизма за праћење Сунца,
- носиве конструкције са темељом и
- управљачке електронике. [17]



Слика 35 Плочасти хелиостат.

Положај сваког хелиостата рачуна се засебно на темељу његове просторне позиције, тренутне позиције Сунца и позиције мете то јест сабирника.

Хелиостат се заокреће у смеру две осе, што представља двоосно (потпуно) праћење Сунца. (слика 36.)



Слика 36 Осе ротације хелиостата.

Позиција мете се електричним путем дојављује хелиостату путем комуникацијске линије. Информације се обављају сваких неколико секунди.

Површина огледала тренутно доступних хелиостата креће се између 20 и 150 m². Тренутно највећи хелиостат има површину од 200 m².

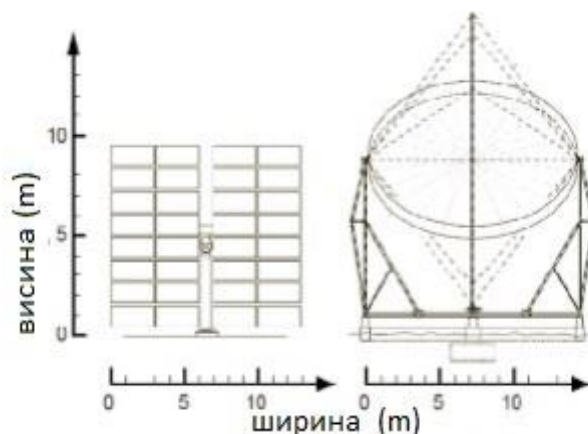
Хелиостати се уобичајно централно управљају и централно напајају електричном енергијом. Као алтернатива, развијени су и аутономни хелиостати који се управљају локално, а електрична енергија за управљачки процесор и покретни механизам добија се путем фотонапонских ћелија смештени паралелно са рефлекторском површином. (слика 37.)



Слика 37 Хелиостат са властитим напајањем са фотонапонском ћелијом

Тренутно постоје две врсте хелиостата (слика 38.):

- Плочасти
- Мембрански [31].



Слика 38 Плочаста (десно) и мембрански (лево) хелиостат

Плочаста хелиостати се састоје од одређеног броја рефлектујућих плоча монтираних на носећу конструкцију (слика 35.). Плоче представљају метална огледала обложена стаклом, величине 2 до 4 m². Положај, односно нагиб, сваког огледала на носећу конструкцију различит је за све хелиостате у соларном пољу. Пратећи положај Сунца, хелиостати се закрећу у две осе које су међусобно вертикалне (вертикални главни стуб и хоризонтална цев на коју су ослоњени носећа огледала).

Како би се смањило подешавање огледала и број заокретних механизма конструишу се хелиостати са великим рефлектујућим плочама. Да би се смањили трошкови производње и монтаже плочастих хелиостата, а и у исто време побољша оптички квалитет развијени су тзв. мембрански хелиостати. (слика 39.)

Рефлектујућу површину чине „бубањ“ који се састоји од металног притисног прстена и напегнутих мембрана са предње и задње стране. Као мембрану користе се плочасте или металне фолије.

У случају металних мембрана, коју карактерише дуг период трајања, предња страна мембране прекривена је танким слојем стакла како би се осигурала жељна рефлектованост.

У унутрашњости бубња низак потпритисак (неколико милибара) којег ствара вентилатор или вакуумска пумпа. Потпритисак деформише огледало мембране обликовајући чвор.

Друга конструкцијска решења за деформацију огледала мембране користе се механичке или хидрауличке уређеје.

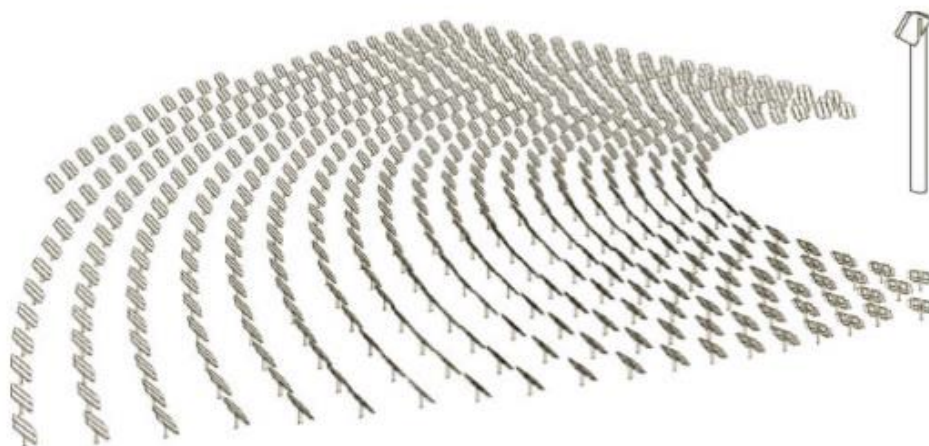
Деформирање мембране омогућује мембранским хелиостатим једноставно подешавање, па чак и мењање фокусне даљине током дана.

Недостатак ових хелиостата представља пад њихове оптичке квалитете под утицајем ветра, те у случају коришћења вентилатора, има потрошња електричне енергије.



Слика 39 Мембрански хелиостат

Распоред хелиостата у соларном пољу прорачунава се сложеним алгоритмима, како и са техничке тако и са економске стране. Хелиосати морају бити размештени што ближе једни другима како би апсорбер био што мањи, а концентрација зрачења висока. (слика 40.)



Слика 40 Соларно поље са торњом

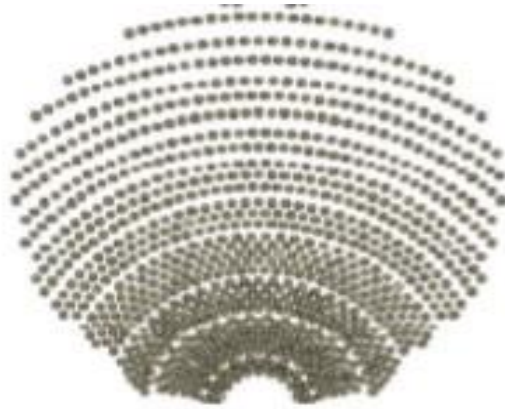
Расподела хелиостата зависи од географског положаја и топлоте снаге постојења, стога соларно поље може бити (слика 43.):

- Кружно поље- примењује се у подручјима ближе екватору, јер се на тај начин се најбоље искоршћава површина и смањује висина торња, користи се код већих постројења ($\leq 500\text{MWp}$). (слика 41.) [14]

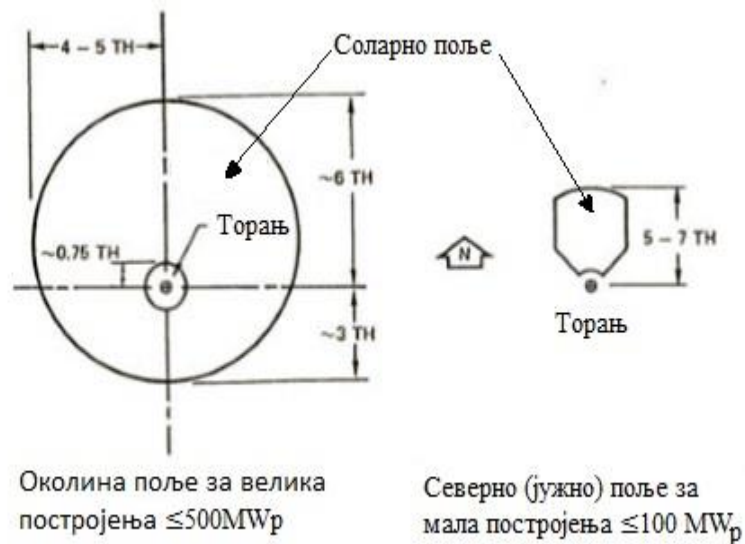


Слика 41 Кружно соларно поље

- Северно (јужно) поље- примењује се код виших северних и јужних географских ширина (северно поље северно од екватора, јужно поље јужно од екватора), користи се код мањих постројења ($\leq 100\text{MWp}$). (слика 42.) [14]



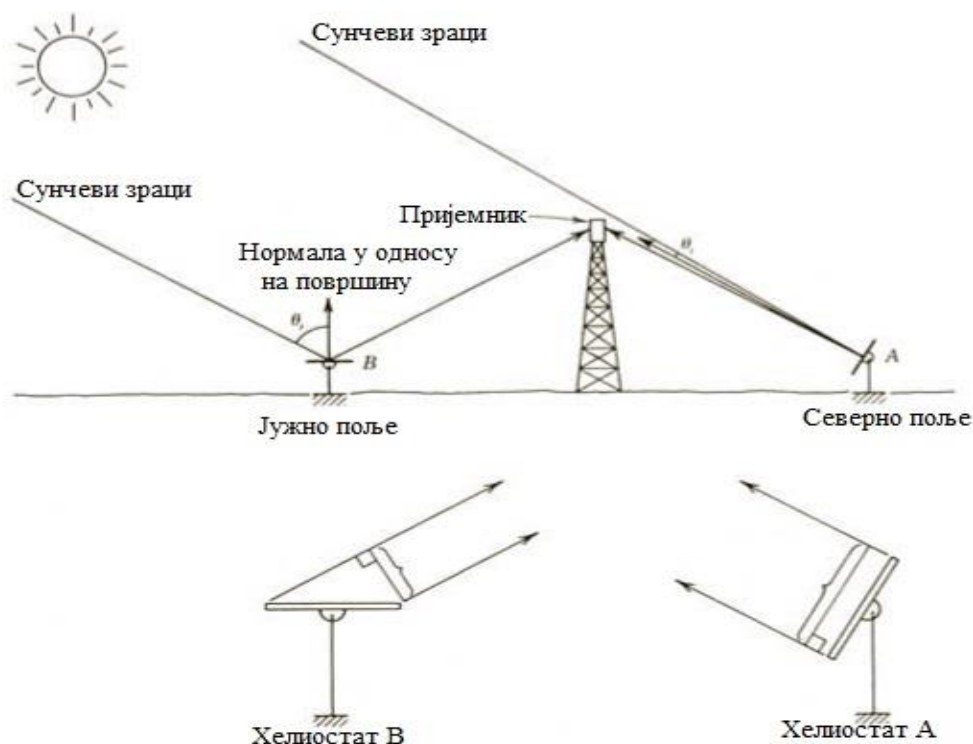
Слика 42 Северно (јужно) соларно поље



Слика 43. Шематски приказ кружног и северног (јужног) соларног поља

Хелиостати који се налазе ближе торњу имају најмање сенчења. Хелиостати који су смештени северно на северној Земљиној полулопти (или јужно на јужној Земљиној полулопти) имају најмање косинусне губитке (Ламбертов закон косинуса) (Слика 44.). [17]

Хелиостати најудаљенији од торња захтевају високо прецизне уређаје за праћење Сунца, те морају бити међусобно удаљенији због ефекта сенчења или блокирања.

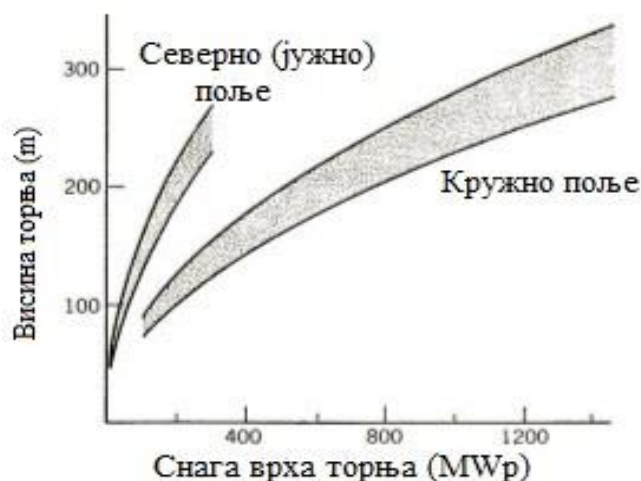


Слика 44. Ефекат косинуса (Ламбертов закон косинуса)

Висина торња на којем је смештен соларни сабирник такође се сагледава са техничке и економске перспективе (Слика 45.). [17]

Пожељни су високи торњеви, будући да већа и гушћа соларна поља карактеришу мањи губици од сенчења. Међутим, високи торњеви захтевају прецизне системе за праћење, те су код њих повећани грађевински трошкови, трошкови цевовода и пумпних уређаја, а јављају се и већи топлотни губици. Уобичајена висина торња износи 80 до 100 m.

Торњеви могу изграђени од бетона или решеткасте металне конструкције.



Слика 45. Зависност висине торња од топлотне снаге постројења и расподеле хелиостата

Погонски механизам хелиостата има важну улогу у соларним електранама са централним сабирником, будући да од њега зависи каква ће бити квалитет концентрисаног Сунчевог зрачења.

Стога погонски механизам мора имати следеће карактеристике:

- мора бити довољно робустан како би могао поднети своју сопствену тежину, покретну конструкцију и ударе ветра, довољно крут како би се избегле нискофреквентне вибрације
- мора омогућити споре покрете, с високим преносним односима (до 40,000: 1)
- мора омогућити прецизно позиционирање без слободних покрета
- мора осигурати релативно брз повратак у сигурну позицију у случају јаких ветрова или осталих опасних временских непогода
- мора бити отпоран на спољне утицаје
- мора се лако одржавати
- трошкови производње и експлоатације морају бити што нижи.

Нејчешће коришћени погонски системи користе механизам са пужним преносницима. Пужни преносници омогућавају високе преносни однос при високим моментима, него, у односу на планетарне преноснике, који захтевају мањи простор, пужни преносници су због већих губитака трења мање ефикасни. Појачано трење код пужних преносника ипак има и позитивну страну јер онемогућава неконтролисано покретање шрафова. У задње време почели су се конструисати хелиостати које покреће роботизовани хидраулични систем (Слика 46).



Слика 46. Роботски хелиостат Array Bot

Соларни сабирник који се налази на врху соларног торња представља размењивач топлоте на којем се концентрише Сунчево зрачење, које се претвара у топлотну енергију и употребљава у термодинамичком циклусу. Енергетски ток зрачења и радне температуре су различите у односу на параболичне коритасте колекторе, стога се конструкција оваквих соларних електрана заснивају на високим технологијама, уз примену високо ефикасних материјала.

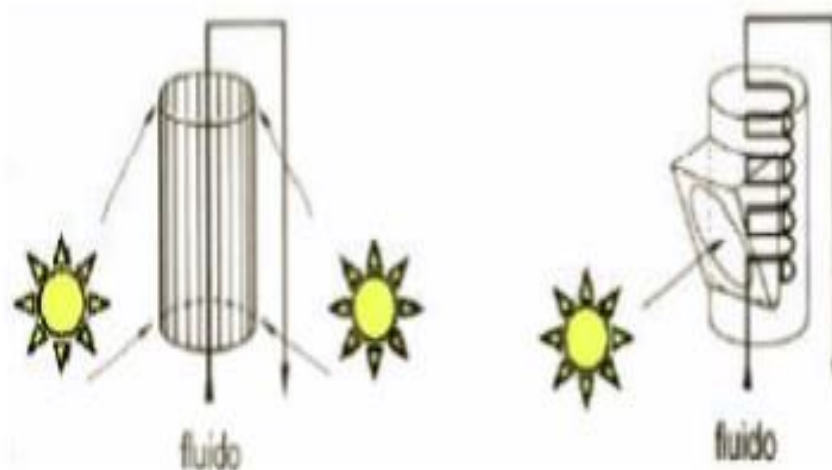
Имитирајући црно тело, соларни сабирник (апсорбер) смањује радијацијске губитке на најмању могућу меру. Стога се смешта у шупљини кућишта торња, размењивачке цеви или порозне апсорберске површине које могу бити црне боје.

Соларни сабирник најчешће се састоји од једног комада у којем се централизује сва енергија сакупљена соларним пољем. Због тога соларни сабирници морају имати што бољу топлотну ефикасност и издржљивост.

Радне температуре сабирника износе од 500 и 1200°C, а коефицијент зрачења од 300 до 1000 kW/m².

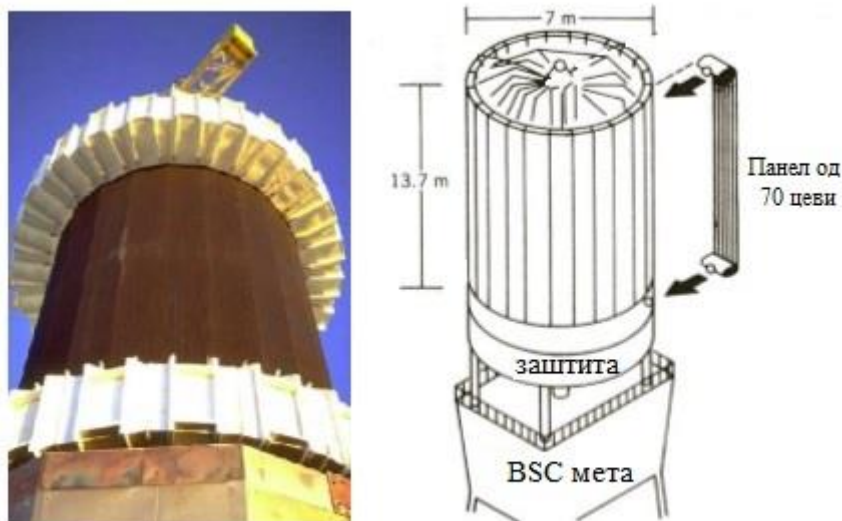
Постоје различите поделе соларних сабирника у зависности од конструкције, апсорберског материјала, радног флуида и механизма преноса топлоте.

Према геометријској конфигурацији, сабирнике у општено деле на отворене (external) и на оне који су смештени у шупљем кућишту (cavity). (Слика 47.)



Слика 47 Геометријска подела сабирника (сабирник на отвореном (десно) и у кућишту (лево))

Отворени сабирници се могу састојати од плочастог цевастог апсорбера или од цилиндричног цевастог апсорбера. (Слика 48.) [17]



Слика 48 Отворени сабирник са цилиндричним цевастим апсорбером.

Код друге геометријске поделе сабирника, зрачење које рефлектује поље хелиостат пролази кроз отвор кућишта на торњу и бива апсорбовано од зида коју чини сноп апсорберских цеву (слика 49.) Овакви сабирници се користе за северни (за јужни) размештај хелиостата у соларном пољу.

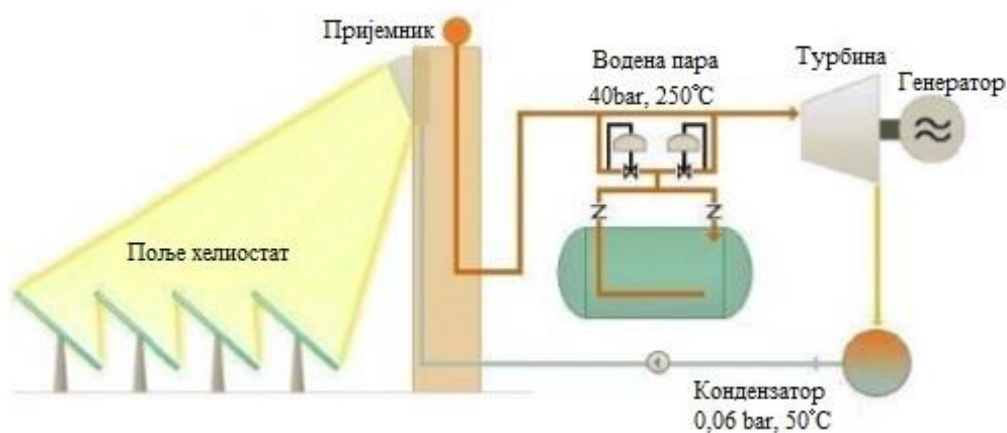


Слика 49 Сабирник смештен у шупљем кућишту торња.

Сабирници се такође могу поделити на цевне (tubular) и волуметричке (volumetric). И код једних и код других, радни флуид загрева се индиректно преко радијацијског-конвекцијског измењивача топлоте.

Код цевног сабирника радни флуид пролази кроз сноп апсорберских цеви преузимајући конвекцијом топлоту са апсорбера. Пренос топлоте се одвија кроз цевни зид стога је отежан рад са топлотним флуksom изнад 600 kW/m^2 . Рад при топлотним флуksom изнад 1 MW/m^2 могуће је остварити са течностима високе топлотне проводљивости (на пример течни натријум). Као радни флуид у цевним сабирницима може се користити вода или пара, натријум и растопљена со, и ваздух.

Код цевних сабирника у раду са водом (слика 50.) највећи проблем представља прегревање сувозасићене водене паре, приликом чега долази до термичких напрезања услед слабог одвођења топлоте. Код рада са растопљеном со постоји опасност од смрзавања соли при релативној високој температури (220°C). Растопљену со могуће је загрејати на радну температуру од 565°C .

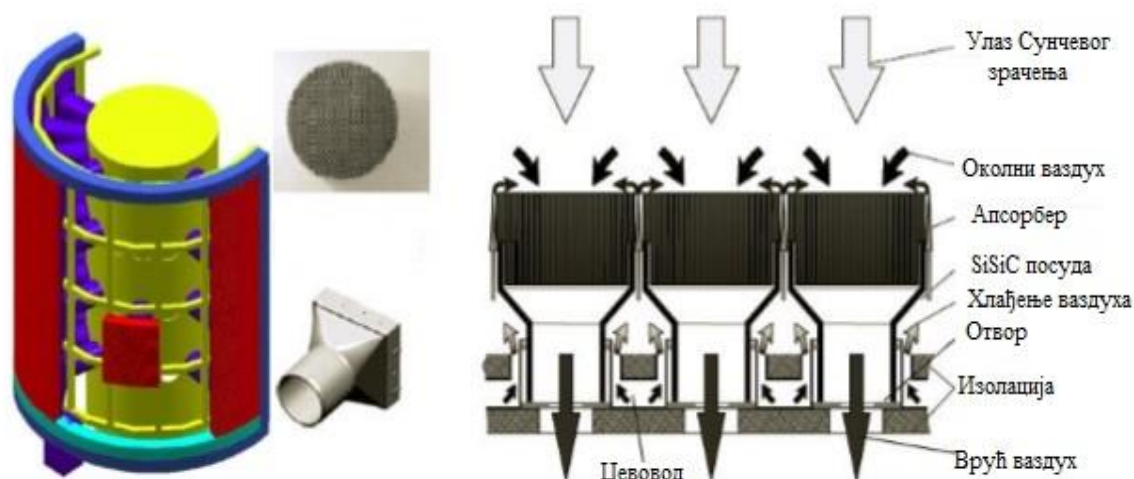


Слика 50 Соларни торањ са цевним сабирником и водом као радни флуид [23]

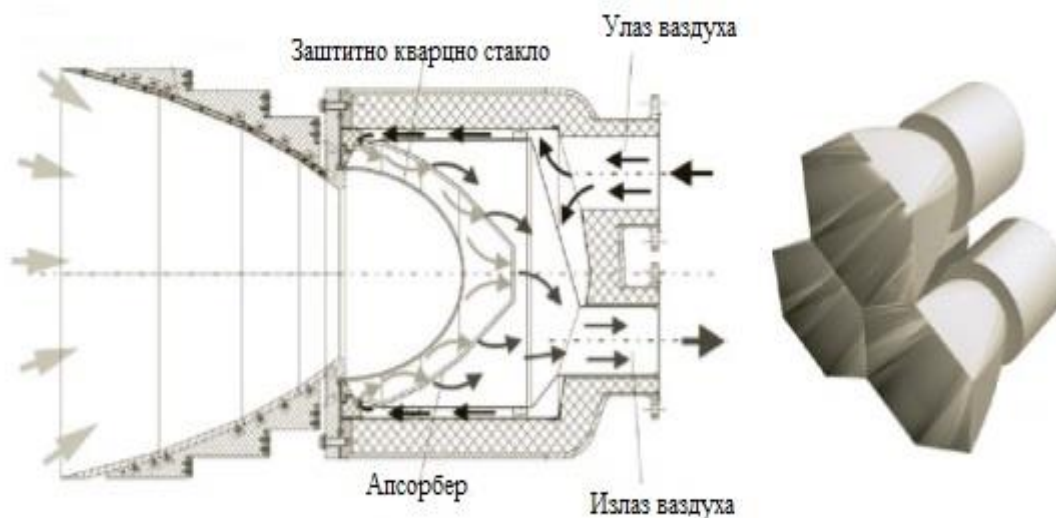
Запремински сабирници састоје се од високо порозне структуре која служи као апсорбер енергије Сунчевог зрачења.

Апсорбер волуметричких сабирника може бити:

- отворен према околина (отворен запремински сабирници) (слика 51.)
- затворен према околина са порозним зидом (затворени запремински сабирници). (слика 52.). [15]



Слика 51 Отворени ваздушни волуметрички сабирник



Слика 52 Затворени ваздушни волуметрички сабирник.

Флуид за пренос топлоте код волуметричких сабирника је ваздух, који може бити под атмосферским притиском (код отворених) или под превеликим притиском (код затворених сабирника). Пошто је за ваздух карактеристичан низак топлотни капацитет, потребни су велики волумни протоци и велика површина апсорбера. Са металним апсорбером може се постигнути температура ваздуха до 850°C , док са керамичким влакнима и пенама температура ваздуха расте и преко 1000°C .

Употребом ваздуха као радни флуид у СЕ са централним сабирником има многе предности у односу на друге флуиде за пренос топлоте, а то су:

- потпуно доступан и бесплатан радни флуид
- нема опасности од смрзавања
- могуће је остварити високе радне температуре
- нема промене агрегатног стања
- једноставни састав
- бржи одазив на промене тока зрачења
- нису потребни посебни сигурносни састави
- нема утицаја на околину.

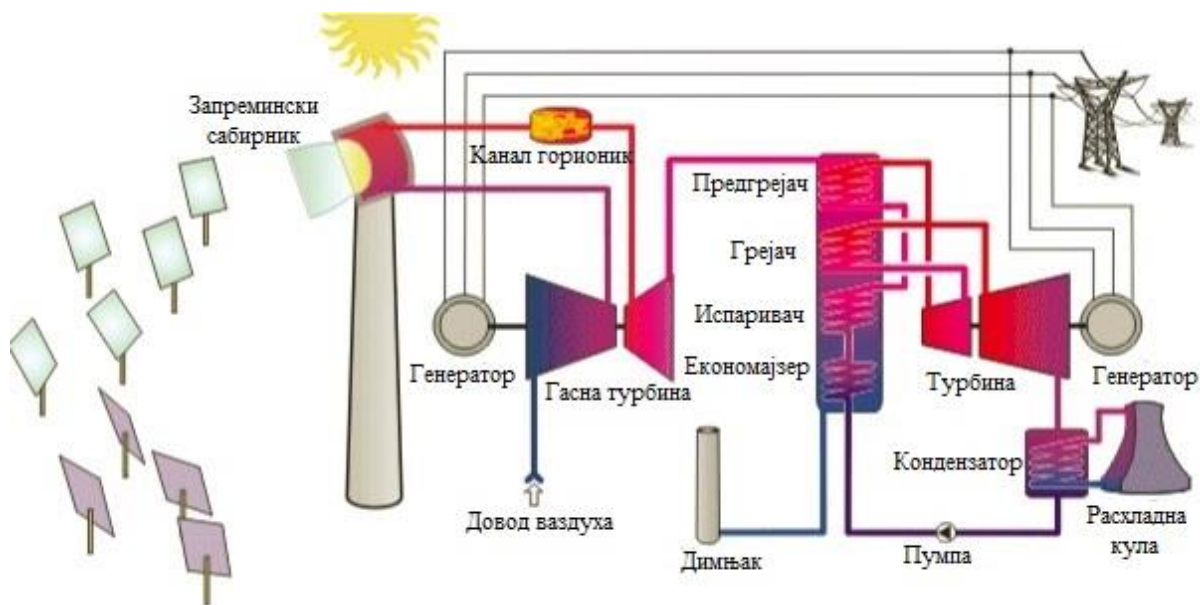
Употреба ваздуха у цевним сабирницима није донела прихватљиве резултате (топлотни флуks зрачења мања је од 200 kW/m^2), него изум волуметричких сабирника нам много обећавао.

Многи волуметрички прототипи тестирани су произволили врућ ваздух при температури од 1000°C и више, и са површинама отвора сличним као и код сабирника са растопљеном со и водом/паром. Резултати су били задовољавајући.

Отворени ваздушни волуметрички сабирник представља обећавајућу технологију за производњу прегрејане паре у Ранкиновом процесу, него умерена топлотна ефикасност (номинална 74% и просечна годишња 64%) мора се додатно побољшати да би се остварила конкурентност са цевним сабирницима.

За разлику од отворених ваздушних сабирника, затворени волуметрички сабирници имају остакљени отвор (заштитно кварцно стакло), који одваја апсорбер и кућиште сабирника од околине. (слика 52.)

На тај начин, као радни флуид у сабирнику, може се користити ваздух под притиском, што омогућује интеграцију соларног састава са гасним процесом. (слика 53.) [28]



Слика 53 Соларни торањ интегриран у отвореном гасном циклус комбинованог постројења

Овакав конструкција поседује значајне предности у односу на остале хибридне соларне концепте, будуће да се Сунчева енергија апсорбована у врућем ваздуха искоришћава високи степен ефикасности комбинованог постројења. Са овиме се смањује величина потребног соларног поља са хелиостатима, што доприноси смањењу укупних инвестиционих трошкова соларног постројења у поређењу са соларним парно турбинским постројењима.

Соларно загревање ваздуха има велики потенцијал у смањењу трошкова соларних термоенергетских постројења, а може се примењивати у широком распону снага (1-100 MWe).

Код постројења мањих снага, уместо комбинованог процеса, могу се користити гасно турбински циклуси с регенеративним размењивачем топлоте. Соларни удео у производњи електричне енергије може се врло флексибилно бирати са излазном температуром ваздуха из сабирника, која може бити знатно виша у односу на друге хибридне концепте (нпр. интегрисано соларно комбиновано постројење са парабола коритастиим колекторима). На *Слици 54* је приказано жариште хелиостата одмакнуто од соларног сабирника.



Слика 54 Жариште хелиостата одмакнуто од соларног сабирника

6 Улагања и цена електричне енергије

Цена инвестиције СЕ са параболичним (коритастиим) колекторима износи око 40-60 €/kWh (евро цент по киловат сату), док је за класичне термоелектране (ТЕ) око 10-120 €/kWh.

Цена електричне енергије произведена у СЕ (термичка) је 27-32 €/kWh, а цена електричне енергије произведене у СЕ (фотонапонска) је 18-25 €/kWh. Засад је електрична енергија произведена у СЕ 3-4 пута скупља од оне произведене у електранама на фосилна горива. Код СЕ са фотонапонским ћелијама (ПВ) разлог високе цене је цена фотонапонских ћелија. У структури трошкова, фотонапонске ћелије учествују са око 50 %.

Цена соларних ПВ ћелија у малопродаји на европском тржишту износи 3-4 €/W, а цена коју нуде кинески произвођачи у великопродаји износи 1,8-2,5 €/W.

Процене су да цена ПВ ћелија треба да падне испод 0,82 €/W да би СЕ постале конкурентне електранама на фосилна горива. [26]

7 Закључак

Енергија је неопходан ресурс за технички и економски развој савременог света и укључена је у све аспекте друштвеног живота.

Управо због тога, рационално управљање енергијом једна је од кључних претпоставки одрживог развоја. Рационално управљање енергијом укључује пре свега максимално искоришћење примарне енергије у свим енергетским процесима.

Електране са обновљивим изворима енергије представљају главни стуб одрживог напретка у енергетици.

Под појам соларне термоелектране спада велика лепеза извора енергије од фотонапонских рефлектора, који директно претварају видљиви спектар Сунчевог зрачења у електричну енергију, преко соларних термоелектрана без концентрисања Сунчевог зрачења, па до соларних термоелектрана са концентрисањем Сунчевог зрачења које су данас најзанимљивије инвеститорима због најмањих просторних захтева по kWp инсталисане снаге, највеће енергетске исплативости, капацитета и осталих техничких параметара.

Соларне термоелектране су почеле да привлаче све већу пажњу сталним падом цене соларних панела као и повољним Feed-in Tariff-ама, тј. субвенцијама државе односно стране која врши откупљивање (процене су да цена ПВ ћелија треба да падне испод 0,82 €/W да би СЕ постале конкурентне електранама на фосилна горива.).

Поред тога савремена дешавања у свету на пољу производње електричне енергије диктирала да се многи нуклеарни погони у наредних 10-15 година замене соларном енергијом. Пример нам даје одлука Немачке која напушта концепт великих нуклеарки и окреће се обновљивим изворима (ОИЕ). Ту је и одлука Владе Јапана да подржи још више FiT за зелене пројекте, док се са друге стране отварају тржишта Кине, Индије и Сједињене Америчке државе као огромни покретачи даљем развоју соларне индустрије.

Пошто је Србија у групи земаља чија потрошња енергије, нарочито електричне, није превише рационална, потребно је повећати интересовање за обновљиве изворе енергије.

Енергетски ресурси Србије у обновљивим изворима су потенцијал који је потребно искористити, како за развој локалне привреде и друштва, тако и енергетске ефикасности у земљи.

У Србији годишње остаје необрађено 600.000 ha земље. За потребе једне СЕ снаге 40-50 MWp потребно је око 160-200 ha.

Три СЕ укупног капацитета 120-150 MWp знатно би поправиле електроенергетски биланс Србије. Оне би покриле простор од око 480-600 ha, што је мање од 0,1% расположивог и необрађеног земљишта.

Корист за Србију су отварање нових радних места и приходи од пореза.

У сваком случају Србији предстоји развој и понуде и потражње за соларним системима. Стратегија изградње нових термоелектрана, релативно краткорочно решава потребе наше земље за енергијом. Развој обновљивих извора енергије, уз перманентно подизање нивоа енергетске ефикасности у свим сферама, утољава глад за енергијом у другом временском периоду, у коме ће живети наши унуци, прауници и неки далеки носитељи нашег унапређеног генетског материјала. [5]

Будимо их достојни.

Литература

- [1] <http://www.verkic.rs/wp-content/uploads/2011/10/efekat-staklene-baste.jpg> (приступљено: 20.04.2015. год.)
- [2] <http://www.mojaladja.com/upload/vesti/topljenje.jpg> (приступљено: 20.04.2015. год.)
- [3] <http://www.da-te-pitam.com/wp-content/uploads/2014/05/395.jpg> (приступљено: 20.04.2015. год.)
- [4] <http://www.korcula.net/tomislav/slike/sunce.jpg> (приступљено: 20.04.2015. год.)
- [5] Nebojsa Lukic, Milun Babic: “Solarna energija – monografija”, Kragujevac, 2008. Godine
- [6] Слободан Зрнић, Живојин Ђулум: “Грејање, климатизација са применом соларне енергије”, Научна књига, Београд, 1980
- [7] WMO-World Metrological Organization (www.wmo.ch) (приступљено: 20.04.2015. год.)
- [8] WHO-World Health Organization (www.who.int) (приступљено: 20.04.2015. год.)
- [9] PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System)- Geographical Assessment of Solar Energy Resource and Photovoltaic Technology (re.jrc.ec.europa.eu/pvgis) (приступљено: 23.05.2015. год.)
- [10] <http://www.solarnipaneli.org/wp-content/uploads/2010/09/SolarGIS-Solar-mapEurope.jpg> (приступљено: 24.07.2014. год.)
- [11] http://www.rasrem.rs/doc/2013/Vodici_za_investitore_OIE/Thermo_Solar_Plants_Detailed_Guide.pdf (приступљено: 27.04.2015. год.)
- [12] <http://ecomeme.net/files/uploads/Trombeov-zid-2.png> (приступљено: 27.04.2015. год.)
- [13] <http://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi/877/820/trombov-zid-preko-pola-veka-deo-pasivne-solarne-arhitekture> (приступљено: 30.04.2015. год.)
- [14] Natalia Kulichenko, Jens Wirth „Concentrating Solar Power in Developing Countries“, World Bank Studies, June 2012.
- [15] Robert Pitz-Paal, Reiner Buck, Manfred Schmitz-Goeb, Gerhard Weinrebe „Solarturm-kraftwerke“, Forschungsverbund sonnenenergie „THEMEN 96/97“. http://www.fvce.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th1996/th1996_02_15.pdf (приступљено: 17.06.2015. год.)
- [16] <http://www.slideshare.net/featured/category/education> (приступљено: 17.06.2015. год.)

- [17] <http://www.powerfromthesun.net/Book/chapter10/chapter10.html> (приступљено: 17.06.2015. год.)
- [18] <https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENAETSAP%20Tech%20Brief%20E10%20Concentrating%20Solar%20Power.pdf> (приступљено: 12.06.2015. год.)
- [19] https://hr.wikipedia.org/wiki/Sun%C4%8Deva_koncentrirana_snaga (приступљено: 12.06.2015. год.)
- [20] https://sh.wikipedia.org/wiki/Solarni_tornjevi (приступљено: 12.06.2015. год.)
- [21] http://www.sener-powerprocess.com/ENERGIA/innovacion_proyectos.html?id=cw4a1e4cdce491e&pag=0&agno=&area=&categoria=ENERGIA_SOLLAR&totalperpage=4&swlang=en (приступљено: 13.06.2015. год.)
- [22] http://www.csp-science.org/images/downloads/article_tunis2.pdf (приступљено: 13.06.2015. год.)
- [23] <http://www.cspworld.org/resources/technology> (приступљено: 14.06.2015. год.)
- [24] <http://www.planeta.rs/42/8%20energija.htm> (приступљено: 14.06.2015. год.)
- [25] http://www.df.uns.ac.rs/files/200/aleksandar_radukin_kosanovi_-_master_rad_www_%28f1-83%29.pdf (приступљено: 14.06.2015. год.)
- [26] <http://www.planeta.rs/52/08%20energija.htm> (приступљено: 14.06.2015. год.)
- [27] <http://www.kathirgugan.com/solar-pond.html> (приступљено: 13.06.2015. год.)
- [28] http://www.volker-quaschning.de/articles/fundamentals2/index_e.php (приступљено: 13.06.2015. год.)
- [29] <https://papundits.wordpress.com/2009/08/28/the-limitations-of-renewable-power-part-4/> (приступљено: 13.06.2015. год.)
- [30] <http://www.builditsolar.com/Projects/Cooking/StoredHeat/StoredHeatSizing.htm> (приступљено: 14.06.2015. год.)
- [31] Dr Ing. Spiros Alexopoulos alexopoulos, Bernhard Hoffschmidt “Concentrating Receiver Systems (Solar Power Tower)”, Springer New York, 2012.