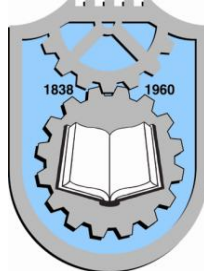


**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**

**Горан З. Бојовић
СОЛАРНЕ КУЛЕ
завршни рад**

Крагујевац 2012.

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Пренис масе и топлоте

Број индекса: 70/2006

Горан З. Бојовић
СОЛАРНЕ КУЛЕ
завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Небојша Лукић, ред. проф. - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да да потребне информације о коришћењу соларне енергије преко соларних кула.

Препоручена литература:

[1] Милун Бабић , Небојша Лукић : “Соларна енергија – монографија”
Машински факултет у крагујевцу, Крагујевац 2008

[2] Ламбић М., Стојићевић Д., Соларна техника, Друштво за Сунчеву енергију
“Србија Солар”, Зрењанин 2004.

Крагујевац, 01. 10. 2012

ментор:

Др.Небојша Лукић ред.проф.

Резиме:

Соларне електране су постројења у којима се соларна енергија претвара у електричну. Генерисање електричне енергије може бити директно из сунчевих зрака, у фотонапонским електранама, или у соларним термалним електранама, које користе концентрисану соларну енергију, где се соларна енергија претходно генерише у топлотну, када се достижу изузетно високе температуре (преко 1000 °C), која се преноси на радни флуид, који погони турбину, или покреће топлотни мотор који генерише електричну енергију. Соларна кула је управо једно такво постројење о чему је детаљније говорено у оквиру овог завршног рада.

Кључне речи : *Соларна кула, Концентрисана соларна енергија, Хелиостат, Соларни колектор.*

Abstract:

Solar power plants are plants in which solar energy is converted into electricity. Generating electricity can be done directly from sunlight, like in the photovoltaic power plants or in solar thermal power plants, with concentrating solar power, where solar energy is the previously generated in heat, when extremely high temperatures are reached (over 1000 °C), and which is transferred to a fluid that drives a turbine or heat engine that generates electricity. Solar Tower is just one such plant which is spoken of in the details of this final work.

Key words: *solar tower, concentrating solar, Heliostat, solar collector.*

САДРЖАЈ

1	УВОД	1
2	СУНЦЕ КАО ИЗВОР ЕНЕРГИЈЕ	4
2.1	Сунце.....	4
2.2	Кратка историја коришћења Сунчеве енергије.....	8
2.3	Привидно кретање Сунца	10
2.4	Терестијално зрачење (соларна константа).....	12
2.5	Сунчево зрачење на површину Земље	13
2.6	Сунчево зрачење на косу плочу	15
3	СОЛАРНЕ ЕЛЕКТРАНЕ.....	17
3.1	Концентрирана соларна термална електрана	17
3.2	Врсте.....	18
3.2.1	Параболични колектори.....	19
3.2.2	Соларни торњеви.....	20
3.2.3	Соларни тањери	23
3.2.4	Фреснел рефлектори	24
3.2.5	Соларне потисне електране	25
3.3	Складиштење и трансформација енергије	26
3.4	Цена електричне енергије.....	26
3.5	Прикупљање соларне енергије	27
4	ХЕЛИОСТАТ.....	28
4.1	Велики пројекти	29
4.2	Мали пројекти	30
4.3	Конструкција	31
4.4	Алтернативе праћења кретања Сунца	32
5	СТИРЛИНГОВ МОТОР	34
5.1	Назив и дефиниција	34
5.2	Функција и делови	35

5.3 Извор топлоте	35
5.4 Грејач.....	36
5.5 Хладњак	36
5.6 Регенератор (регенеративни измењивач топлоте)	36
5.7 Примач топлоте (околина).....	37
6 СОЛАРНИ КОЛЕКТОРИ.....	38
6.1 Соларни неконцентрисани колектори	38
6.2 Соларни незастакљени колектори	38
6.3 Плочасти соларни колектор.....	39
6.4 Вакуумски соларни колектор	40
6.5 Соларни зид.....	42
7 ЗАКЉУЧАК.....	43
8 ЛИТЕРАТУРА.....	45

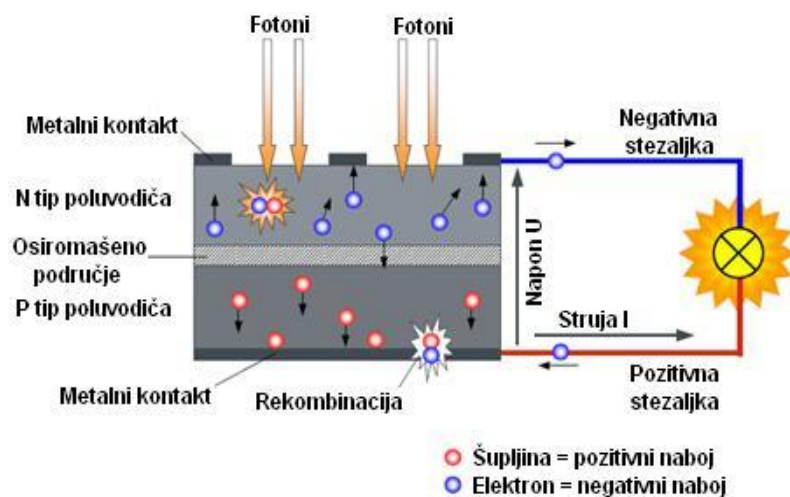
1 УВОД

Висока цена нафте и поскупљење природног гаса за више од 50% и све скупља електрична енергија само су врх леденог брега у односу на светске енергетске кризе у којој су мале земље, попут Србије, колатерална штета глобалних енергетских вођа који диктирају правила, и одлучују колико ће коме припасти од „енергетског колача“. Да би се ослободили зависности енергије фосилних горива многе земље се орјентишу ка алтернативним изворима енергије, посебно ка Сунчевој енергији. Практично сва енергија, коју човек користи, осим нуклеарне, и геотермалне, потиче од сунца. Термоелектране, возила, па и животиње биљоједи користе енергију Сунца, коју су биљке фотосинтезом претвориле у хемијску. Ветар који се данас све више и више користи као извор енергије, постоји због Сунчеве енергије, која се у атмосфери претвара у кинетичку. Две најчешће примењиване методе коришћења соларне енергије за добијање електричне енергије су соларне фотонапонске електране, и соларне концентрисане електране. Основна разлика ових двеју метода је у начину добијања електричне енергије.

Код фотонапонских електрана принцип рада је тај да се сунчева енергија претвара у електричну директном конверзијом. Соларна фотонапонска енергија (FN) је метода директног претварања енергије сунца у једносмерну електричну енергију помоћу полупроводника који имају фотонапонски ефекат, такозваних соларних ћелија. Соларни панели, састоје се од великог броја малих ћелија (вафер) које имају површине од фотонапонских материјала. Материјали који се тренутно користе за производњу фотонапонских ћелија су : Монокристални силицијум (Монокристалне Si ћелије), Поликристални силицијум (Поликристалне Si ћелије), Аморфни силицијум (Аморфне Si ћелије), Кадмијум телеурид (Кадмијум телуријеве CdTe) ћелије, Галијум арсенид (Галијум арсенидне GaAs ћелије) и Бакар-индијум-галијум-селенијум-сулфид. С обзиром на растућу потражњу за обновљивим изворима енергије, број произвођача соларних ћелија и фотонапонских компоненти напредних технологија, знатно се повећао посљедњих деценија.

Соларни фотонапонски уређаји за производњу електричне енергије у 2010. години , били су инсталирани у више од 100 држава свијета, али још увек производе мали део од укупно 4800 GW укупне произведене ел. енергије у свету. Но то је најбрже растућа технологија за производњу ел. енергије. Између 2004. и 2009., број соларних електрана и соларних уређаја укључених у електричну мрежу, повећавао се годишње по просечној стопи од 60 %, до данашњих 21 GW. Погони за фотонапонску енергију могу бити изведени као соларне електране на земљи, (понекад складно уклопљене с ратарством и сточарством) или уграђени по крововима и зидовима зграда, такозваних Зграда с интегрисаним фотонапонским ћелијама. Рачуна се да изван електричне мреже има инсталирано око додатних 3-4 GW.

Вођени технолошким иновацијама и повећавши ефикасност у производњи, произвођачи соларних уређаја снижили су радикално цену соларних уређаја у односу на прве произведене соларне ћелије. Финансијски подстицаји за уградњу таквих уређаја и повлаштене тарифе повећале су производњу и инсталацију таквих уређаја у многим земљама. На сликама 1.1 и 1.2 су приказане шема фотоелектричног ефекта, директне конверзије соларне енергије у електричну, и изглед фотонапонске електране.



Слика 1.1 Шематски приказ директна конверзија соларне енергије у електричну

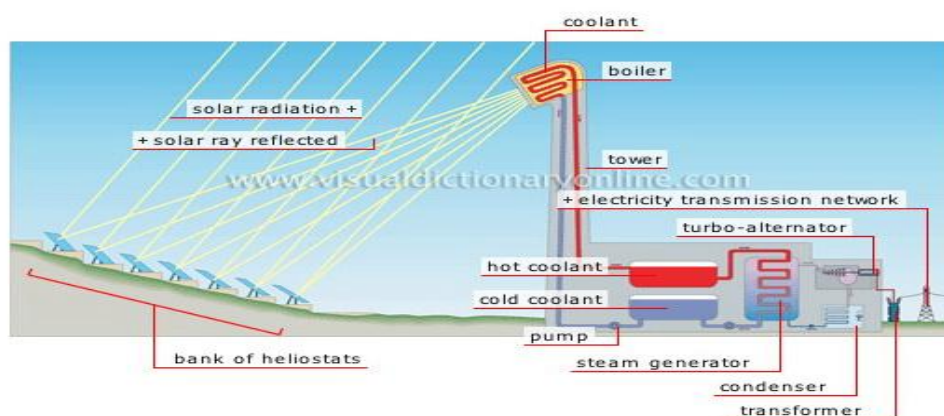


Слика 1.2 фотонапонска електрана

Концентрисане соларне електране – су електране где се производи електрична енергија, најчешће на комбиновани погон (уз соларни, имају још и додатни извор на фосилна горива, најчешће природни гас). У њима се Сунчева енергија прво претвара у топлотну, те потом у електричну. Успркос чињеници да је у том процесу претварања један поступак више, степен искоришћења им је завидан (20-40%), а негативан утицај на околину занемарив. Подручја с пуно сунчаних сати (попут пустиња и полупустиња) изразито су погодна за изградњу оваквих електрана. Тренутно у свету ради неколико соларних концентрисаних топлотних електрана. У њима се помоћу система огледала (равних или параболичних), комбинованог са системом за праћење положаја Сунца на небеском своду, Сунчево зрачење фокусира на колекторе са неким флуидом (вода, уље, течни натријум и сл.) који се загрева, те се његовим проласком кроз парне турбине или Стирлинг (топлотне) моторе производи електрична енергија. У том процесу настају врло високе температуре, па су овакви системи уједно погодни за производњу топлоте и паре за друге намене (когенерација). За примену оваквих система потребна је дневна ведрина, те у подручјима са значајнијом облачношћу имају ограничену примену. Једна од неколико врста концентрисаних соларних електрана јесте соларна електрана са централном кулом.

Соларна електрана соларна кула, такође позната и као „Централна кула“ електрана или електрана са хелиостатима или енергетска кула, је врста соларне електране која за добијање електричне енергије користи кулу да прими фокусиран сунчеву светлост. Она користи поље равних, покретних огледала (који се зову хелиостати) да фокусира зраке сунца на колектор куле (мету). Концентрисани сунчеви топлотни зраци се посматрају као једно одрживо решење за обновљиве незагађујуће изворе енергије.

Рани пројекти користили су ове фокусиране зраке за загревање воде, и користили добијену пару за покретање турбине. Сада су у употреби нови пројекти који користе течни натријум, и системи који користе растопљене соли (40% калијум нитрата, 60% натријум-нитрат) као радни флуид. Ове радне течности имају висок топлотни капацитет, које се могу користити за складиштење енергије пре него што је искористе за загревање воде и генерисање паре за покретање турбине. Ови пројекти такође омогућавају да генерисање енергије и када сунце не сија. На слици 1.3 приказана је шема једног таквог постројење



Слика 1.3 Шема једног соларног концентрисаног постројења

2 СУНЦЕ КАО ИЗВОР ЕНЕРГИЈЕ

2.1 Сунце

Сунце се као небеско тело формирало пре око 4.6 милијарди година. У васиони то је обично небеско тело – звезда која је по маси неколико пута мања од звезде средње величине. Међутим, оно што Сунце чини јединственим је чињеница да је оно око 300 000 пута ближе земљи у односу на прву суседну звезду. Средње растојање Земље од Сунца износи око $1.5 \cdot 10^8$ километара. Притом практично сва енергија коју Земља добије извана и која је извор атмосферских кретања долази од Сунца. У табели 2.1. су дати неки основни подаци о Сунцу.

Пречник	1 392 000 km
Маса	$1,9891 \times 10^{30}$ kg
Просечна густина	$1,411 \text{ g/cm}^3$
Укупан сјај	$3.89 \cdot 10^{26}$ W
Површинска температура	5780 K
Време обиласка око средишта галактике	$2,2 \times 10^8$ година

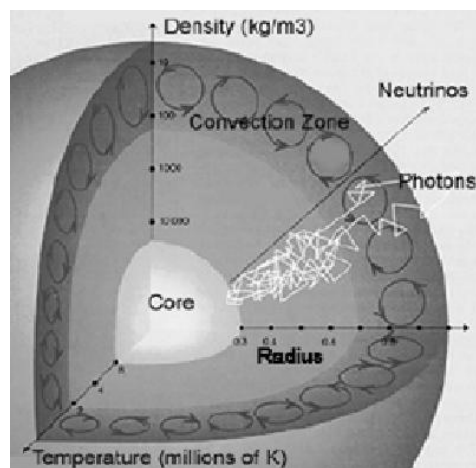
Табела 2.1 Основни подаци о сунцу

Сунце је гасовита сфера полупречника $6.96 \cdot 10^5$ km и масе од приближно $1.99 \cdot 10^{30}$ kg. Основу његове грађе чине два елемента – водоник и хелијум. Присутни су и неки тежи елементи (гвожђе, силицијум, неон, угљеник..) али у врло малим количинама. Водоник је присутан у износу од око 75% док осталих 25% практично одлази на хелијум. До хемијског састава Сунца долази се анализом његових спектралних линија. Температура Сунца се мења у опсегу од око 10 милиона °K у унутрашњости до 5780°K на површини. Густина му брзо опада од центра ка спољашности. Последица овакве расподеле густине је чињеница да је око 90% масе Сунца распоређено у првој половини полупречника. У табели 2.2 је приказан хемијски састав Сунца.

Елемент	Проценат од укупног број атома	Проценат од укупне масе Сунца
Водоник	92	73.4
Хелијум	7.8	25
Угљеник	0.03	0.3
Азот	0.008	0.1
Кисеоник	0.06	0.8
Неон	0.008	0.1
Магнезијум	0.002	0.05
Силицијум	0.003	0.07
Сумпор	0.002	0.04
гвожђе	0.004	0.2

Табела 2.2 хемијског састава Сунца

Извор огромне количине енергије са којом Сунце располаже јесте термонуклеарна фузија која се при температури од десетак милиона Celzijus-ових степени одиграва у дубоким слојевима. Том приликом механизмом фузије у сваком тренутку 4 атома водоника се спајају у атом хелијума при чему се ослобађа велика количина енергије. Ослобађање енергије при термонуклеарној фузији, сагласно Einsten-овој једначини доводи до смањења масе Сунца. Међутим, то смањење је незнатно, јер по неким прорачунима услед термонуклеарне реакције, Сунце је, од свог настанка до сада утрошило око 5% своје масе. Као последица термонуклеарних реакција у структури Сунца спољашни слојеви се састоје од хладнијег гаса који се налази на језгру високе температуре. Спољашни хладнији слојеви се загревају од ужареног језгра потом се шире и доспевају на површину да би се охладили излучивањем и спустили у ниже слојеве. Област на Сунцу у којој се велике количине загрејаног гаса уздижу а хладног спуштају назива се зона конвекције (слика2.1).

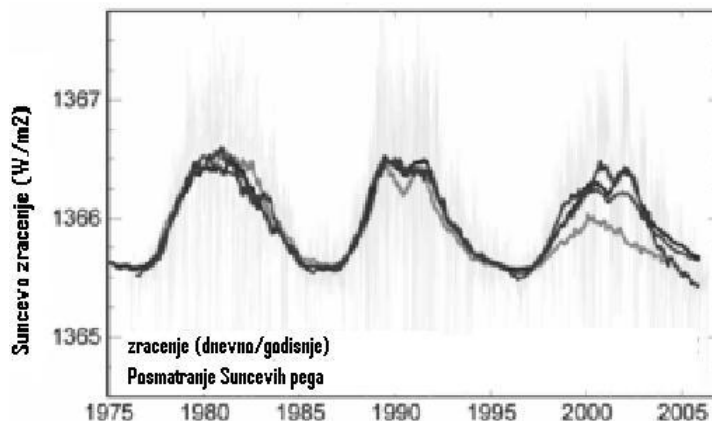


Слика 2.1 зоне конвекције

Највећи део енергије која у виду електромагнетног зрачења доспева на земљу генерише се у видљивој области Сунца- фотосфери. Међутим, знатан део фотосфере је неправилно осветљен и састављен је од тамнијих (хладнијих) подручја - сунчевих пега и светлијих (топлијих) подручја - факула. Фотосфера је, у поређењу са димензијама Сунца, релативно танак слој дебљине од око 500km у ком се температура мења од 4000°K у вишим до 8000°K у нижим слојевима. Област изнад фотосфере назива се сунчева атмосфера и састоји се од хромосфере и короне

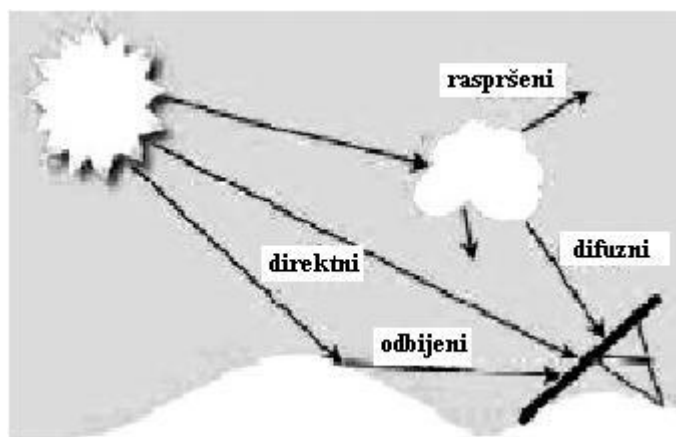
Хромосфера се састоји од водоника и хелијума који су под ниским притиском. Изнад хромосфере налази се корона. Она је сребрнасто беле боје а састоји се од разређених гасова који се простиру до удаљености од неколико милиона километара. Понекад се у хромосфери може опазити и пораст Сунчеве активности. Она се уочава у повезаности поља факула с групама Сунчевих пега која доводи до нагле промене у изгледу, сјају и простирању. Сунчеве пеге је открио Галилеј са сарадницима 1609.године а системски се пребројавају од 1749.године. Јављају се у скоро једнаком броју на јужном и северном делу фотосфере. Сунчеве пеге поседују магнетна поља индукције до 5T.

На основу посматрања дошло се до дозакључка да се број сунчевих пега периодично мења тако да се период када се не виде, назива период без Сунчеве активности. Шема сунчеве активности приказана је на слици 2.2



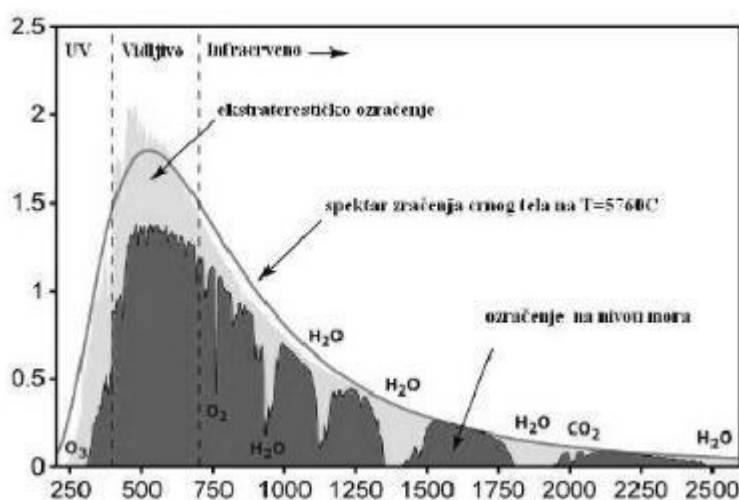
Слика 2.2 Шема сунчеве активности

Период између минимума и максимума активности траје 11.2 године и назива се Сунчев циклус. Сунчево зрачење састоји се од директне и дифузне (распршене) компоненте. Директно је зрачење које до уређаја допире директно из привидног смера Сунца. Распршено зрачење је зрачење које настаје распршивањем Сунчевих зрака у атмосферу и долази на уређај из свих смерова неба. Нагнута плоча осим директног и распршеног зрачења прима и зрачење рефлектовано од околних површина. Укупно зрачење која упада на нагнуту плочу састоји се од 3 дела : директног, дифузног, и одбијеног зрачења. Шема расипања сунчевих зрака је на слици 2.3



Слика 2.3 шематски приказ сунчевих зрака који падају на нагнуту површину

Снага зрачења коју Сунце одашиље износи $3.8 \cdot 10^{23}$ KW , односно годишње око $3.3 \cdot 10^{27}$ KWh , од чега до Земље допре око $1.7 \cdot 10^{14}$ KW или тек милијардити део израчене енергије, односно $1.5 \cdot 10^{18}$ KWh годишње. Спектар Сунца приближно одговара спектру црног тела загрејаног на 5780°K . Рекли смо да се температура Сунца мења од унутрашњости (где је око 10 милиона K) према површини, али и у слојевима саме површине. Температуру 5780°K можемо одредити и као ефективну температуру Сунчеве површине помоћу које применом Stefan-Boltzman-овог, Wiener-овог и Planck-овог закона може се израчунати енергијски спектар Сунчевог зрачења. Спектар сунчевог зрачења приказан је на слици 2.4



Слика 2.4 спектрална дистрибуција екстрастерестијалног, зрачења црног тела, и зрачења на нивоу мора

Спектар Сунчевог зрачења може да се подели на три области : ултраљубичасту ($0.01\mu\text{m} < \lambda < 0.39\mu\text{m}$) , видљиву ($0.40\mu\text{m} < \lambda < 0.76\mu\text{m}$), и инфрацрвену ($0.76\mu\text{m} < \lambda < 4.0\mu\text{m}$) . Од укупне енергије која се генерише на Сунцу, 50% одлази на инфрацрвену, 40% на видљиву и око 10% на ултраљубичасту област. Максимум зрачења је на таласној дужини од $\lambda = 0.476\mu\text{m}$. Осматрањима је уочено да се интензитети Сунчевог зрачења разликују у еквивалентним температурама апсолутно црног тела, које одговарају зрачењу у ултраљубичастој области, видљивој, и инфрацрвеној области спектра. Дакле, исправније је говорити о некој ефективној температури Сунца.

2.2 Кратка историја коришћења Сунчеве енергије

Постоје писани подаци (грчки историчар Plutarh) о случају паљења брода римске флоте на домаку Грчке обале од стране Архимеда, који је познавајући оптику употребио мноштво полираних грчких штитова да направи конкавно огледало и да усмери концентрисане Сунчеве зраке у римски брод. Архимед је после тога наводно написао књигу о горећим огледалима али нема опипљивог трага о томе.

Много векова касније А.Kircher (1601-1680) реализовао је низ експеримената да упали пиљевину са даљине попут Архимеда, али нема опипљивог трага ни о његовим резултатима.

Током 18-ог века у Европи и на Средњем истоку граде се соларне пећи састављене од концентрисаних колектора (полирани метал, сочива и огледала), која су могла да топе метал (гвожђе, бакар...). У истом веку француски научник Luvazije комбинацијом примарног и секундарног сочива, користећи Сунчеве зраке достиже температуру од 1750°C.

У 19-ом 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 први покушаји разматрали системе концентрисаног Сунчевог зрачења, што је знатно компликованије од неконцентрисаних система.

Године 1912. Schuman и В.С. Boys започињу градњу највећег соларног пумпног постројења у Меади, Египту. Пројекат је успешно реализован 1913. Године, радило се о 1200 m² параболичних цилиндара (сваки по 62m дужине) фокусираних у пратеће апсорпционе цеви. Ова соларна „машина“ је сваког дана у трајању од 5 часова давала снагу од 37 – 45 KW. Престала је са радом 1915. године а јефтина фосилна горива су била сигурно већи разлог томе, него почетак Првог светског рата.

Током двадесетог века користе се углавном два принципа за концентрацију Сунчевог зрачења, са централним и дистрибуираним пријемницима. Системи постижу од 100 па све до 1500 °C.

Идеја да се Сунчева енергија за загревање нискотемпературске воде, која се користи у домаћинствима, јавља се 30-их година прошлог века (равни соларни колектори). Индустријска производња соларних водених грејача почиње раних 60-их година прошлог века и у сталном је успону. Прво су развијени јефтини термосифонски системи са резервоарем изнад колектора. Међутим, системи са принудном циркулацијом иако скупљи, преузимају примат, пре свега, због архитектонских и естетских захтева.

Године 1839. Векерел открива фотонапонски (ФН) ефекат у селенијуму. Нове силицијумске ФН ћелије произведене 1958. Имале су ефекат од 11% али и цену од 1000 долара по инсталисаном вату електричне снаге.

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

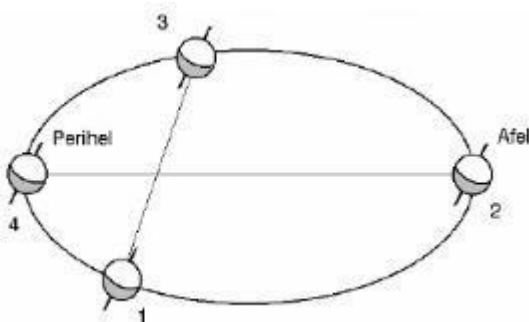
Развој фотонапонских ћелија почиње 1839. Године када је Bekerel приметио да се јачина струје између две електроде у електролиту повећава приликом осветљивања електрода. Исти ефекат на чврстом телу (селену) први су приметили W.G. Adams и R.E. Day 1877.године. Захваљујући овоме убрзо је направљен уређај за мерење интензитета светлости. Одмах затим истраживачи су се окренули решавању проблема коришћења фотонапонских ћелија као комерцијалних извора енергије.

Нагли развој фотонапонских ћелија креће 1954.године када су Pearson, Fuller и Charin направили прву фотонапонску ћелију од монокристалног силицијума.

Почев од лансирања првог сателита 1958.године фотонапонске ћелије представљају незамењив извор електричне енергије на сателитима, и свемирским бродовима и станицама. У земаљским условима од самог почетка развоја, фотонапонске ћелије су нашле примену на усамљеним објектима, светионицима, аеродромима, истраживачким платформама на мору, стамбеним и индустријским објектима итд.

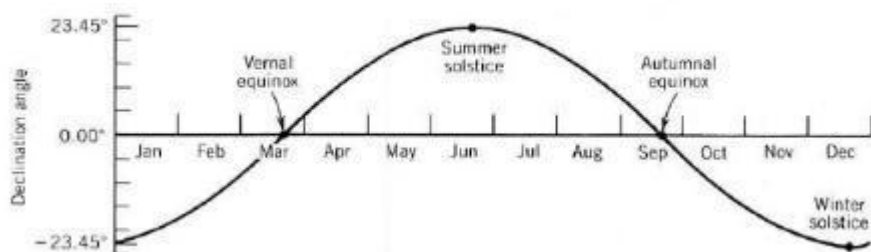
2.3 Привидно кретање Сунца

За проучавање могућности енергетског искоришћења Сунчевог зрачења треба се упознати са положајем Сунца током целе године. За период од једне године Земља обиђе један круг по елиптичној орбити (слика 2.5) чији ексцентритет износи 0.01673. Међутим, гледано са Земље то кретање се опажа као кретање Сунца по небеском своду по путањи познатој као еклиптика. Њена раван са равни екватора заклапа угао од $23^{\circ}26'24''$. Крећући се по еклиптици Сунце 21.марта (пролећна равнодневница) пресеца раван екватора прелатећи са јужне на северну полулопту (обележен тачком 1 на слици). Крећући се даље Сунце се подиже све „више“ гладајући са тачке гледишта посматрача, да би 21. Јуна достигао угаону висину од $23^{\circ} 27'$ над еклиптиком (тачка 2) што одговара летњој дугодневници. Од овог положаја Сунце почиње да се „спушта“ пресецајући екватор 23.септембра што одговара јесењој равнодневници (тачка 3). Коначно оно се 21.децембра спушта на $23^{\circ} 27'$ јужно од еклиптика (тачка 4). Овај положај Сунца је познат под именом зимске краткодневнице. Рецимо још ово да је Земља Сунцу најближа 6.јануара, а најудаљенија од њега 6.јула .



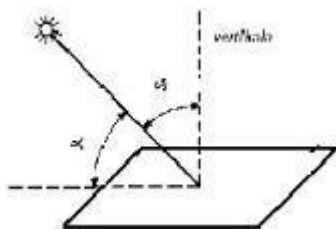
Слика 2.5 Орбита земље при њеном кретању око сунца

Деклинација сунца (δ) је угао између дужи која иде из средишта Земље у средиште Сунца и равни у којој лежи екватор. Раван екватора захвата угао од 23.45° са равни Земљине путање. Деклинација Сунца зависи од дана у години и мења се од -23.45° (21.децембар) до $+23.45^{\circ}$ (21.јун), и приказана је на слици 2.6.



Слика 2.6 Годишњи ход деклинације сунца

Сатни угао Сунца (ω) је време изражено уз помоћ угла, а рачуна се почевши од сунчаног поднева. То је доба дана када је Сунце у највишем положају и тај тренутак одговара углу $\omega=0^\circ$. Сатни угао Сунца одређује се тако да се временски интервал од сунчаног поднева у сатима помножи са 15° . Висина Сунца (α) је угао између Сунчевих зрака и хоризонталне плоче. Висина Сунца приказана је на слици 2.7



Слика 2.7 Шематски приказ висине сунца

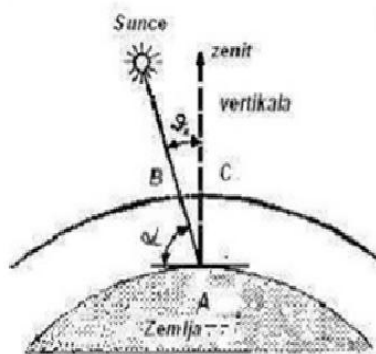
Сунчев азимут (ψ) је угао између пројекције Сунчевих зрака на хоризонталну плочу и правца север-југ у хоризонталној равни. Обично се узима да је за $\psi = 0$ када је Сунце на југу, позитиван је према истоку, а негативан према западу. Сатни угао изласка Сунца негативан је, а заласка Сунца позитиван. Сунчево зрачење на улазу у Земљину атмосферу називамо екстратерестијалним зрачењем. То зрачење описујемо густином енергијског флуksа који упада на одређену површину нормалну на смер сунчевих зрака, и називамо озрачењем, означавамо знаком E и изражавамо јединицом ват по метру квадратном (W/m^2)

2.4 Терестијално зрачење (соларна константа)

Како се удаљеност Земље од Сунца мења током године, мења се и екстратерестијално зрачење, а мења се од најмање вредности 1307 W/m^2 до највеће 1399 W/m^2 . Његова средња вредност назива се соларна константа. Соларна константа дефинише се као ток Сунчевог зрачења кроз јединичну површину, нормалну на смер Сунчевих зрака на средњој удаљености Земље од Сунца ($r=1.5 \cdot 10^{11} \text{ m}$), али изван Земљине атмосфере тако да нема слабљења због апсорпције и распршења у атмосферу. Измерена средња вредност ове константе је $\approx 1367 \text{ W/m}^2$

2.5 Сунчево зрачење на површину Земље

На путу кроз земљину атмосферу Сунчево зрачење слаби јер се распршује на молекулима гаса, на честицама прашине и диму, апсорбује се и распршује на облацима. Зрачење појединих таласних дужина се више апсорбује него других па се и спектрални састав мења. При проласку кроз атмосферу изгуби се око 25% до 50% енергије због распршивања и апсорпције. Пут Сунчевих зрака кроз атмосферу (слика 2.8) описује се помоћу оптичке ваздушне масе зрака.

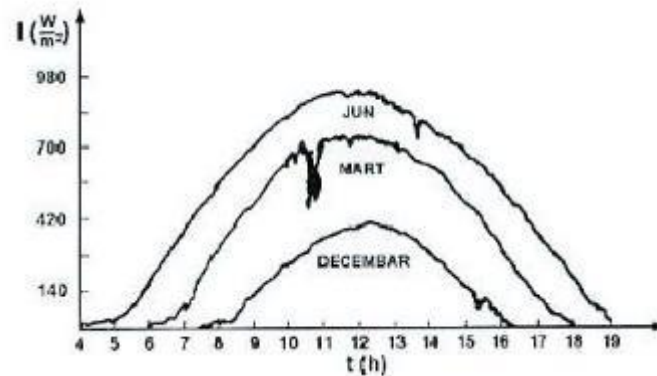


Слика 2.8 оптичке ваздушне масе сунчевих зрака

λ	AM0	AM2	λ	AM0	AM2
nm	W/m ²	W/m ²	nm	W/m ²	W/m ²
350	1093	200	710	1344	1070
360	1086	210	720	1314	1050
370	1181	250	730	1290	1030
380	1120	350	740	1260	1020
390	1098	420	750	1235	1007
400	1429	432	760	1211	995
410	1751	550	770	1185	990
420	1747	633	780	1159	980
430	1639	700	790	1134	975
440	1810	800	800	1109	969
450	2006	879	810	1085	950
460	2066	1000	820	1060	935
470	2033	1070	830	1036	925
480	2074	1125	840	1013	650
490	1950	1140	850	990	640
500	1942	1148	900	891	361
510	1882	1160	950	837	273
520	1833	1155	1000	748	364
530	1842	1150	1050	668	524
540	1873	1140	1100	593	503
550	1725	1138	1150	535	300
560	1695	1132	1200	485	263
570	1712	1130	1300	397	310
580	1715	1135	1400	337	26
590	1700	1134	1500	288	86
600	1666	1139	1600	245	217
610	1635	1138	1700	202	177
620	1602	1139	1800	159	118
630	1570	1138	1900	126	15
640	1544	1138	2000	103	44
650	1511	1138	2100	90	43
660	1486	1137	2200	79	42
670	1456	1125	2300	69	40
680	1427	1120	2400	62	39
690	1402	1115	2500	55	38
700	1369	1112			

Табела 2.3 спектралне дистрибуције интензитета сунчевог зрачења за AM0 и AM2

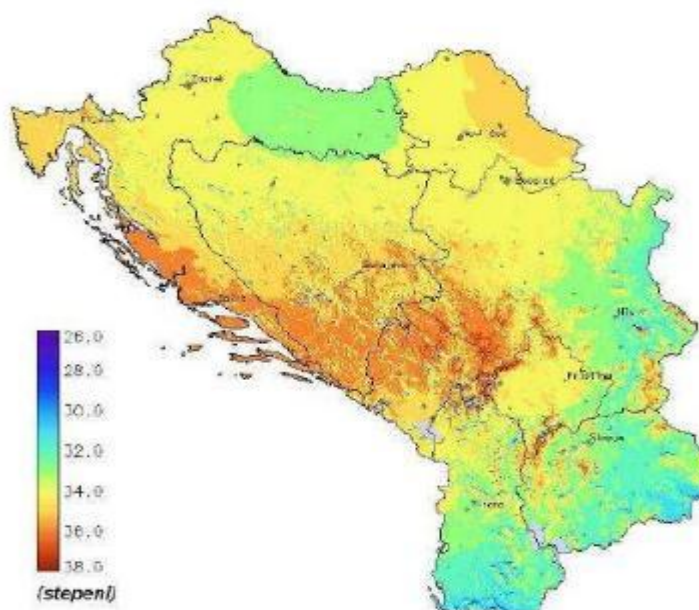
Као номинално приземно Сунчево зрачење при фотонапонским мерењима предложена је AM1.5 расподела зрачења по процедури Европске комисије (енгл. Commission of the European Communities). То је зрачење које долази до површине мора ако је зенитни угао 48.2° . Сунчево зрачење које доспева на површину Земље (43° северне географске ширине) приказано је на слици 2.9.



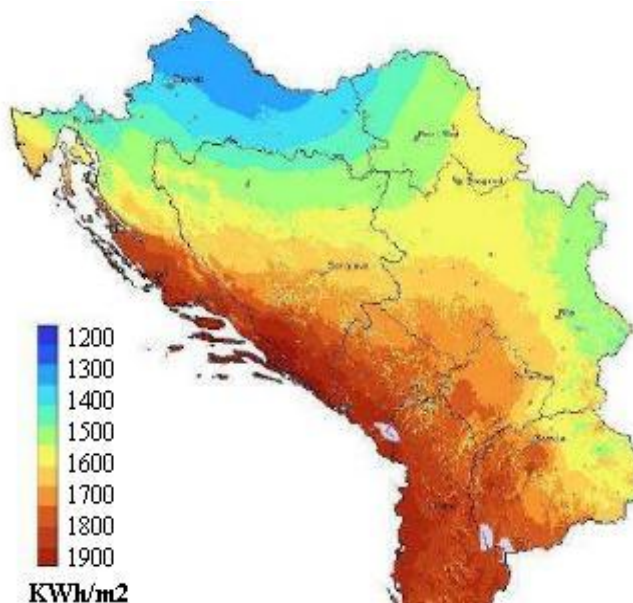
Слика 2.9 сунчево зрачење на земљу у различитим годишњим добима за 43°

2.6 Сунчево зрачење на косу плочу

Укупна енергија која падне на нагнуту плочу E_{β} састоји се од три компоненте: прва је од директног Сунчевог зрачења које пада на плочу, друга је од распршеног зрачења неба изнад плоче, и треће је зрачење одбијено од Земље и других околних предмета. На слици 2.10 приказана је мапа са оптималним углом нагиба соларног панела. Слика 2.11 приказује мапу инсолације.

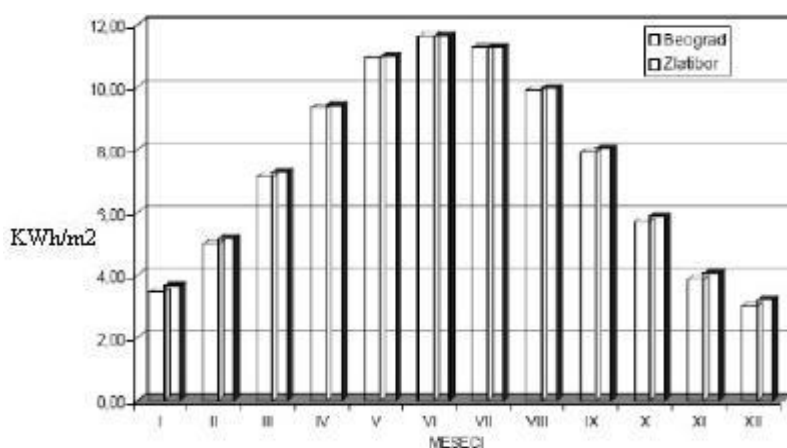


Слика 2.10. Мапа балкана са оптималним углом нагиба соларног панела

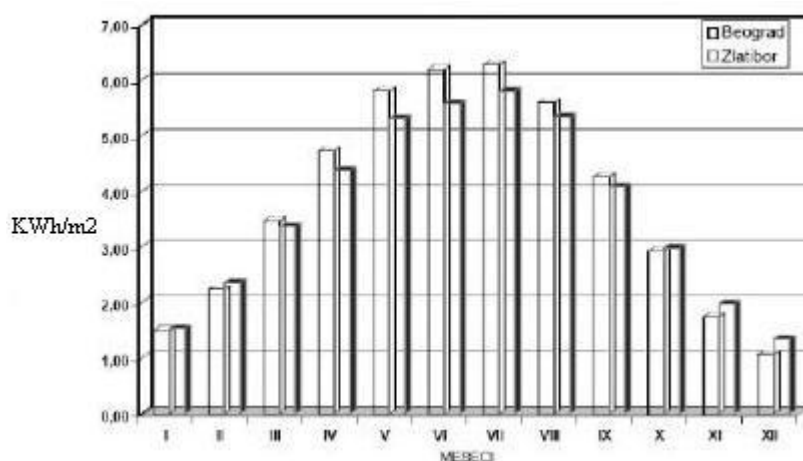


Слика 2.11 Мапа балкана са просечном соларном инсолацијом

Вредности природног енергетског потенцијала Сунца приказане у претходним сликама представљају средње вредности за одређена подручја, а мерења је вршио хидрометеоролошки завод Србије. Просторна расподела показује значајне разлике између појединих локалитета. Због тога је неопходно утврдити специфичност свих релевантних локалитета. Ово се постиже мерењима и одговарајућим хидродинамичким и статичким моделима. Овде су приказана два пара локалитета, на којима се анализирају неке карактеристике просторне и временске расподеле енергије Сунца у Србији. Као пример за сагледавање просторно - временских профила сунчеве енергије узет је пар Београд – Златибор. На слици 2.12 приказан је годишњи ход енергије сунчевог зрачења на горњој граници атмосфере (екстратерестијално зрачење). На Златибору је то незнатно интензивније, због чињенице да се златибор налази јужније од Београда. На слици 2.13 упоређени су интензитети глобалног (реалног укупног сунчевог зрачења на земљино тло) у Београду и Златибору. Зрачење је у Београду у летњим месецима изразито јаче иако се према соларној геометрији (утицај географске ширине и надморске висине) добијају веће вредности на Златибору. Ово је последица веће летње облачности на Златибору у току лета, дакле типичан утицај микроклиме.



Слика 2.12 Екстратерестијално зрачење по месецима на земљино тло



Слика 2.13 Интензитет реалног укупног зрачења на земљино тло

3 СОЛАРНЕ ЕЛЕКТРАНЕ

Соларне термалне електране су извори електричне струје добијене претварањем Сунчеве енергије у топлотну (за разлику од фотоволтаика код којих се електрична енергија добија директно). С обзиром да немају штетних продуката приликом производње електричне енергије, а имају сразмерно добру ефикасност (20 - 40%), представљају значајан потенцијал за будућност. Како је количина енергија која пада на површину изузетно велика, изградњом таквих електрана на сунчаним подручјима (нпр. Сахара) могао би се енергијом снабевати велики број корисника.

3.1 Концентрована соларна термална електрана

Због потребе за високим температурама, готово сви облици соларних термалних електрана морају користити некакав облик концентровања Сунчевих зрака са великог простора на малу површину. Како се током дана положај Сунца на небу мења, тако се стално мења и најповољнији угао под којим падају Сунчеви зраци на огледала. Зато је потребно уградити механизам који ће стално прилагођавати њихов положај. Ти механизми су неопходни како би се добила што већа ефикасност, мада значајно утичу на повећање ионако високих цена соларних термалних електрана. Смањења у цени су могућа складиштењем топлоте, а не струје, будући да је таква технологија данас јефтинија, а производња топлоте је ионако неопходна за функционисање оваквог типа електрана. Тиме је могуће добијати електричну енергију и онда када то иначе не би било могуће (за време смањене инсолације - мера енергије соларне радијације примљене или предане од стране одређене површине у одређеном времену).

Сунчева концентрисана снага или **CSP** (engl. *Concentrated Solar Power*) се користи у соларним електранама, где се производи електрична енергија, најчешће на комбиновани погон (уз соларни, имају још и додатни извор на фосилна горива, најчешће природни гас). У њима се Сунчева енергија прво претвара у топлотну, те потом у електричну. Успркос чињеници да је у том процесу претварања један поступак више, степен искоришћења им је завидан (20-40%), а негативан утицај на околину занемарив. Тренутно у свету ради неколико соларних концентрисаних топлотних електрана. У њима се помоћу система огледала (равних или параболичних), комбинованог са системом за праћење положаја Сунца на небеском своду, Сунчево зрачење фокусира на колекторе са неким флуидом (вода, уље, течни натријум и сл.) који се загрева, те се његовим проласком кроз парне турбине или Стирлинг (топлотне) моторе производи електрична енергија. У том процесу настају врло високе температуре, па су овакви системи уједно погодни за производњу топлоте и паре за друге намене (когенерација). За примену оваквих системаа потребна је дневна ведрина, те у подручјима са значајнијом облачношћу имају ограничену примену.

3.2 Врсте

Данас се користе концентроване соларне термалне електране, које се састоје од огледала и резервоара флуида који се загрева и такав пролази кроз турбине или топлотне моторе (нпр. *Стрлингов* мотор). С обзиром на различитост међу огледалима и целокупној конструкцији можемо их поделити у следеће категорије:

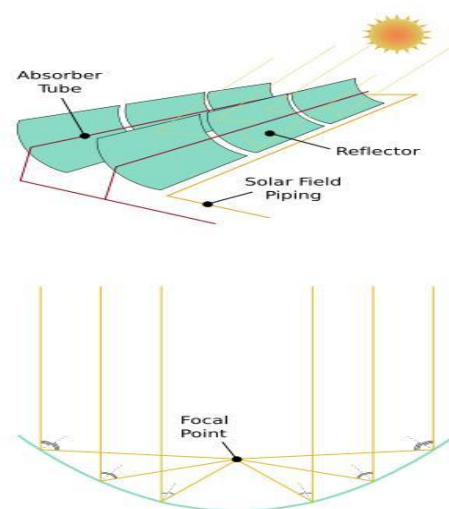
- Параболични колектори
- Соларни торњеви
- Соларни тањери
- Ферсел рефлектори
- Соларне потисне електране

3.2.1 Параболични колектори

Састоје се од дугих низова параболичних огледала (закривљених око само једне осе) и колектора који се налази изнад њих. Њихова је предност што је потребно помицање огледала само када је промена положаја Сунца у ортогоналном смеру, док приликом паралелног помака то није потребно јер светлост и даље пада на колекторе. Кроз колекторе струје синтетичко уље, растопљена со или пара под притиском који се под утицајем Сунчевих ваздуха загревају. Колекторе је могуће извести у вакуумираном стаклу тако да се спрече губици топлоте кондукцијом и конвекцијом, а постижу ефикасност од 20%. На сликама 3.1 и 3.2 су приказани примери параболичних колектора.



Слика 3.1 Соларна електрана са параболичним колектори



Слика 3.2 шематски приказ параболичних колектора

3.2.2 Соларни торњеви

Соларне куле су врста соларних термалних електрана, енергетско постројење које користи Сунчеву топлотну енергију за добијање електричне енергије. Овакав тип електране усмерава сунчеве зраке уз помоћ више стотина или хиљада огледала (хелиостата) на измењивач топлоте (колектор) који се налази на врху куле. Измењивач топлоте служи за пренос топлотне енергије Сунца на радни флуид (то може бити вода, растопљена со, или ваздух) који се након загревања користи у неком од термодинамичких процеса чији је крајњи циљ производња електричне енергије. Куле електране (такође познате као "Централна кула електрана или 'електране са хелиостатима) сакупљају и фокусирају сунчеву топлотну енергију помоћу хиљадама праћених огледала (који се називају хелиостати) у отприлике пољу од две миље квадратне. Кула се налази у центру поља хелиостата. Хелиостати фокусирају концентрисану сунчеву светлост на колектору који се налази на врху торња. У пријемнику концентрисана сунчева светлост загрева растопљену со на преко 1000 °Ф (538 °С). Загрејана истопљена со а затим улати у термалне резервоаре где се складишти, одржавајући 98% топлотне ефикасности , и на крају упумпава до генератора паре. Пара покреће стандардну турбину за производњу струје. Овај процес, познат као "*Rankine* циклус" је сличан стандардним термоелектранама на угаљ, осим што је покретан чистом и бесплатном сунчевом енергијом. Такође поред "*Rankine*" циклуса, генерисање електричне енергије могуће је и помоћу Стирлинг (топлотних) мотора.

Предност ове конструкције у односу на конструкције параболичних корита је виша температура. Топлотна енергија на вишим температурама може се конвертовати у електричну енергију ефикасније и могу се много јефтиније сачувати за каснију употребу. Осим тога, постоји мања потреба да се изравна подручје земље где ће бити постављена. У принципу торањ електрана може да се гради и на брдовитој земљи. Огледала могу бити равна и цевне инсталације су концентрисане у кули. Недостатак је да свако огледало има своју двоосну контролу управљања , док код конструкције параболичних корита једноосна контрола управљања може да се постави на велики низ огледала.

У јуну 2008, *eSolar*, Пасадена, Калифорнија фирма основана од стране *Idealab CEO Bil Gros* уз финансирање из *Google-a*, најавила моћан уговор о куповини са предузећем *Southern California Edison* да произведе 245 мегавата снаге. Такође, у фебруару 2009, *eSolar* објавила је да је своју технологију лиценцирала двома развојним партнерима, *Princeton, N.J.-based NRG Energy, Inc.*, и *the India-based ACME* група. У споразуму са *NRG*, компаније су најавила планове да заједно изграде 500 мегавата концентрисаних соларних термоелектрана широм Сједињених Држава. Циљ за *ACME* групу био је двоструки; *ACME* планира да започне изградњу своје прве *eSolar* електране ове године, и да ће изградити укупно 1 гигават снаге током наредних 10 година.

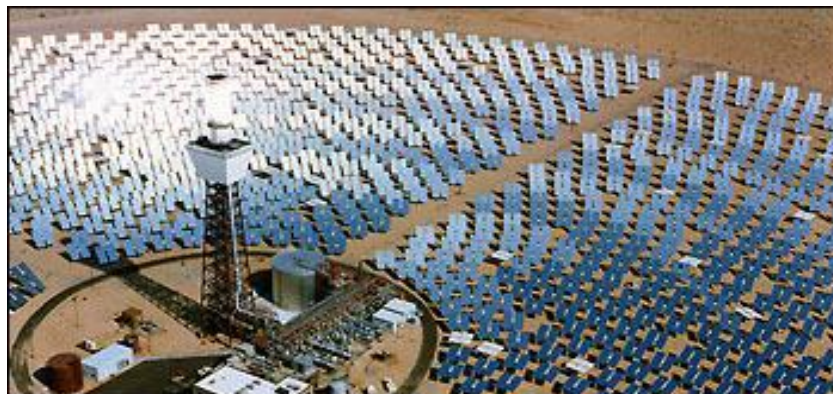
Софтвер за праћење сунца у власништву *eSolar* управља кретањем 24.000 огледала површине 1 m^2 по једном торњу помоћу оптичких сензора да прилагоде и калибрирају огледала у реалном времену. Ово дозвољава велику густину рефлективног материјала, који омогућава развој модларне концентрисане соларне електрана у јединицама од 46 мегавата на површини земље од око π квадратних миља, што је довело до односа земљишта према снази од 4 јутара (16.000 m^2) за 1 мегават.

BrightSource Energy је ушао у серију куповине моћних споразума са *Pacific Gas and Electric* компанијом у марту 2008 у укупном износу од 900 мегавата електричне енергије, што је највећа посвећеност соларној енергији икада направљена од стране приватне компаније. *BrightSource* тренутно развија низ постројења соларне енергије у јужној Калифорнији, а изградња првог постројења планирана је да почне у 2009.

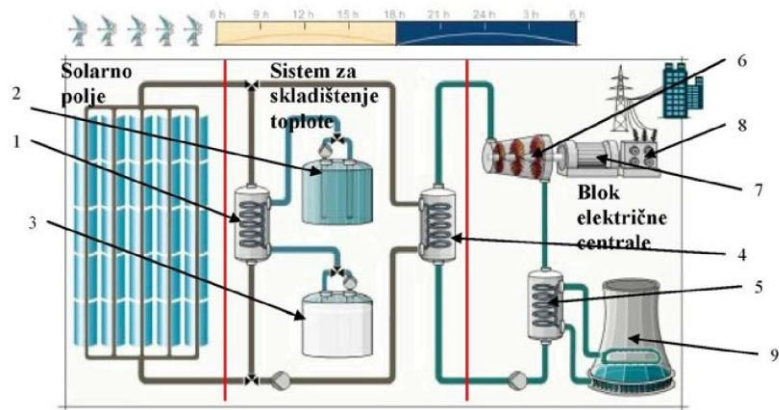
У јуну 2008, *BrightSource Energy* посветио свој 4-6 MW Центар за развој Соларне енергије у пустињи Негев у Израелу. Место, који се налази у Индустијском парку Ротем, има више од 1.600 хелиостата који прате сунце и рефлектује светлост на 60-метара високи торањ. Концентрована енергија се потом користи за загревање котла на врху торња на 550 степени Целзијуса, производећи тако прегрејану пару.

Solar Tres постројење са складиштењем топлоте снаге 15 MW се гради у Шпанији. У Јужној Африци је планирана соларна електрана снаге 100 MW са 4000 до 5000 хелиостатских огледала, свако има површину од 140 m^2 . Мароко је у изградњи пет соларних термоелектрана око Оуасарзате. Објекти ће производити око 2000 MW до 2012. Преко десет хиљада хектара земљишта ће бити потребно да се изграде сви објекти.

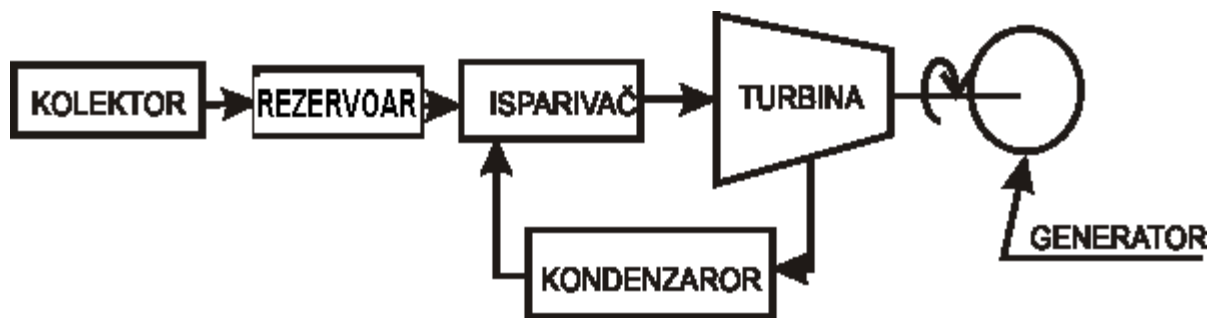
Поређење у односу цена/перформансе између куле електране и параболичних корита концентратора дао је NREL који процењује да ће до 2020 електрична енергија бити произведена из торњева електрана за 5,47 центи / kWh, а за 6.21 центи / kWh из параболичних корита. Степен искоришћења за куле електране је процењен на 72,9% и 56,2% за параболична корита. Постоји нада да би развој јефтиних, издржљивих, продуктивнијих компонената електрана са хелиостатима могао да ову цену још смањи. На сликама 3.3, 3.4, и 3.5 је приказан изглед соларног постројења са торњем, односно шематски приказ.



Слика 3.3 Изглед постројења соларне термалне електране са торњем



Слика 3.4 Шематски приказ соларног постројења: 1.измењивач топлоте (уље/растопљена со); 2.резервоар топлог флуида (соли); 3.резервоар хладног флуида (соли); 4.измењивач топлоте(уље/пара); 5.измењивач топлоте; 6.парна турбина; 7.generator; 8.transformator; 9.rashladna kula.



Слика 3.5 Упроишћен шематски приказ постројења

3.2.3 Соларни тањири

Због параболичног изгледа подсећају на сателитске тањире, али су значајно већи. Зраци светлости, одбијајући се од огледала, падају у једну тачку (колектор) који се налази параболичног изгледа подсећају на сателитске тањире, али су значајно већи. Зраци светлости, одбијајући се од огледала, падају у једну тачку (колектор) који се налази изнад њих. Ту се развијају врло високе температуре, а за добијање електричне енергије се користи Стирлингов или парни мотор. Због покретних механизма потребна су честа сервисирања, а цели механизам захтева ротацију око две осе и скупа параболична огледала, што се на крају одражава на укупној исплативости оваквог склопа. Изглед једног оваквог постројења приказан је на слици 3.6.



Слика 3.6 Изглед постројења са тањирастим колекторима

3.2.4 Фреснел рефлектори

Користе низове дугих мало закривљених или потпуно равних огледала, а изгледом подсећају на параболичне колекторе. Конструисани су тако да више низова огледала циља у исти колектор што доводи до финансијских уштеда, а и сама огледала се okreћу око само једне осе. Циљањем огледала у различите колекторе у различито доба дана могуће је поставити густ распоред огледала, чиме се добија више енергије упркос ефикасности мањој од 20%. Читав пројекат је засада још на бази прототипа који су изграђени у Белгији и Аустралији .На слици 3.7 је приказано једно такво постројење.



Слика 3.7 Соларно постројење са фреснеловим рефлекторима

3.2.5 Соларне потисне електране

Не користе огледала, него велику застакљену површину (само одозго), испод које се загрева ваздух, у чијем је средишту торањ. Због нагиба те стаклене површине, ваздух иде према торњу где се окрећу турбине. Сама конструкција захтева изразито велике димензије те фактор претварања соларне енергије у топлотну није нарочито добар, но то је компензирано ниским инвестиционим трошковима. Прототип средње величине је био изграђен у Шпанији 1982. где су се скупљали подаци следећих 7 година, све до намерног рушења торња због проблема с вртложењем ваздуха. На слици 3.8 видимо како је то постројење изгледало.



Слика 3.8 Соларно постројење са потисном кулом

3.3 Складиштење и трансформација енергије

С обзиром да инсолацију не можемо контролисати, поставља се потреба за складиштењем довољне количине топлотне енергије како би постројење функционисало и у условима смањене концентracије сунчевог зрачења нпр. неповољних метеоролошких услова или чак и преко ноћи. Постоји неколико технологија за складиштење топлотне енергије. У раној фази развоја соларних торњева користило се складиштење воде при температури од 280°C и притиску од 50 bar. Та је технологија омогућавала складиштење на свега сат времена. Сада се погони базирају на складиштењу топлотне енергије у материјал велике енергетске густине. Тренутно се као такав материјал користи растопљена со, чији је саставни елемент натријум - метал велике енергетске густине. Она се на врху торња загрева на температуру од 565°C и након тога складишти у резервоар за “врућу” со. По потреби се из резервоара шаље у размењивач топлоте у којем предаје топлотну енергију пари која учествује у конвенционалном *Rankineovom* циклусу. Након изласка из измењивача соли су на температури од 290°C (изнад њиховог топљења) и складиште се у резервоар за “хладну” со. На овај начин се топлотна енергија планира складиштити и до 15h што би омогућило производњу струје 24h дневно.

3.4 Цена електричне енергије

Економска исплативост оваквих пројеката се тек почиње постизати. Иако сам концепт соларних торњева постоји још од 1970-тих година, ове технологије би већи пробој на тржиште могле остварити тек у надолazeћим деценијама, захваљујући окретању обновљивим итворима енергије. Исплативост је функција величине пројекта, тако да ће са грдњом све већих шпостројења ова технологија остваривати боље резултате. Највеће редукције трошкова су оствариве на самим хелиостатима у виду смањења дебљине стакла, повећања рефлексивности и бољег система одржавања рефлектујућих површина. Такође ће даљњи развој бити усмерен на смањење губитака енергије на колектору, где се осим рефлексије зрачења догађа и хлађење измењивача због конвекције (ветар дува и хлади површину колектора).

Данас се цена електричне енергије из соларних торњева процењује на 7-8 cent/kWh што се до 2020.године планира смањити на 4-5 cent/KWh.

3.5 Прикупљање соларне енергије

Огледала која су распоређена на простору око торња налазе се на механизованим носачима који се још називају и хелиостати. У носаче су уграђени мотори који ротирају огледала око две осе. Овакав систем за позиционирање је потребан јер колектор може искористити светлост само која на њега пада вертикално, што значи да ако сунчева светлост падне на површину колектора под углом, једино компонента зрака нормална на површину колектора бива искориштена. Хелиостати су компјутерски управљани тако да свакодневно прате промену положаја сунца од истока ка западу, али и да анулирају промене угла сунчеве светлости које седешавају током године, односно сменом годишњих доба.

4 ХЕЛИОСТАТ

Хелиостат (од Хелиоса, грчка реч за сунце, и стат, као стационарни) је уређај који садржи огледало, најчешће равно огледало, које се окреће како би одржало рефлектујућу сунчеву светлост ка задатом циљу, и компензује очигледно сунчево кретања на небу. Циљ може бити физички објекат удаљен од хелиостата, или пак правац у простору. Да би се то постигло, рефлектујуће површине огледала одржавају управно симетралу угла између правца сунца и правца циља ка огледалу. У скоро сваком случају, циљ мирује у односу на хелиостат, тако да се светлост рефлектује у фиксном правцу.

Данас, већина хелиостата се користе за Сунчеву светлости или за производњу концентроване соларне енергије, обично за генерисање електричне енергије. Они се такође понекад користе у соларном кувању. Поједини хелиостати су коришћени експериментално, или да рефлектују непомичне зраке сунца ка соларним телескопима. Пре доступности ласера и других електричних светиљки хелиостати су били у широкој употреби за производњу интензивних, стационарних светлосних снопова за научне и друге сврхе.

Већину модерних хелиостата контролишу рачунари. Рачунар задаје географску ширину и дужину положаја хелиостата на земљи, и време и датум. Од тих података, коришћењем астрономних теорија, рачунар израчунава правац сунца ка огледалу, на пример његов положај компаса и угао елевације. Затим, с обзиром на правац циља, компјутер израчунава правац потребне симетрале угла и шаље контролне сигнале моторима, често степер моторима, па окрећу огледала на одговарајуће поравнање. Овај редослед операција се често понавља да би огледало било правилно оријентисано.

Велике инсталације попут соларних термоелектрана обухватају области хелиостата коју чине много огледала. Обично, сва огледала у таквом пољу контролишу се једним рачунаром. Изглед једног хелиостата приказан је на слици 4.1.



Слика 4.1 Хелиостат

Постоје старији типови хелиостата који не користе рачунаре, укључујући и оне који се делимично или у потпуности управљају ручно или сатни механизмом, или су под контролом светлосних сензора. Они су сада прилично ретки. Хелиостате треба разликовати од соларних пратилаца- то су примаоци који указују директно на сунце на небу. Међутим, неки старији типови хелиостата имају припојене соларне трагаче, заједно са додатним компонентама да полове угао између сунца , огледала и циља. Сидеростат је сличан уређај који је дизајниран да прати блеђу звезду, пре него сунце.

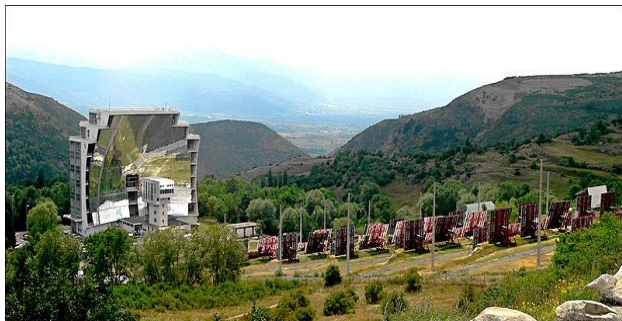
4.1 Велики пројекти

У соларним термоелектранама, као оне соларног пројекта или PS10 постројења у Шпанији, широка област хелиостата фокусира енергију сунца на једном колектору за загревање медијума као што су вода или растопљена со. Медијум путује кроз размењивач топлоте и загрева воду, производи пару, а онда генерише струју кроз парне турбине. На слици 4.2 се види једно такво постројење



Слика 4.2 „11MW PS10“ близу Севиље у Шпанији. Када је ова слика снимљена, прашина у ваздуху је направила конвергирано светло видљивим.

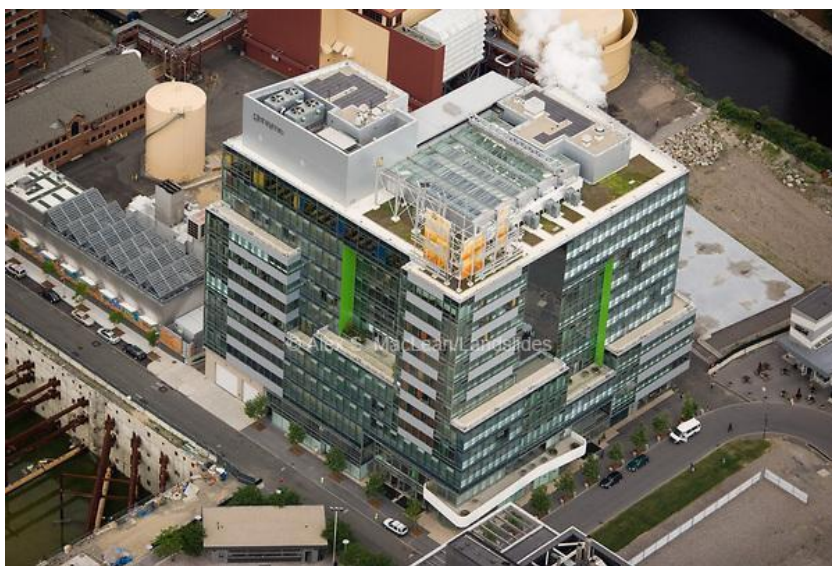
Нешто другачији распоред хелиостата у пољу се користи у експерименталним соларним пећима, као што је онај на „*Odeillo*“, у Француској. Сва огледала хелиостата шаљу прецизно паралелне зраке светлости ка великом параболичном рефлектору који их доводи до прецизног фокуса. Огледала морају бити лоцирана довољно близу осе параболоида да рефлектују сунчеву светлост у њу дуж линије паралелне на осу, тако да поље хелиостата мора да буде уско. Користи се систем контроле са затвореном петљом. Сензори утврђују да ли је неки од хелиостата иоле неизравнан , и ако је тако, они шаљу сигнале да се то исправи. На слици 4.3 је то и приказано.



Слика 4.3 Соларне пећи на Одеиљо у Источним Пиринејима у Француској може достићи температуру до 3.500°C (6.330°F)

4.2 Мали пројекти

Мањи хелиостати се користе за дневно осветљење и грејање. Уместо много великих хелиостата фокусираних на један циљ да се концентрише сунчева енергија (као у соларним електранама кулама), један хелиостат обично око 1 или 2 квадратна метара величине рефлектује неконцентрисану Сунчеву светлост кроз прозор или светларник. Мали хелиостат, инсталиран напољу, на терену или на грађевине попут крова, креће у две осе (горе / доле и лево / десно) да би надоместило губитке услед сталног кретање сунца. На овај начин, рефлектујућа сунчева светлост остаје фокусирана на мету (нпр. Прозор, или светларник). На слици 4.4 је приказан пример примене једног таквог пројекта.



Слика 4.4 **Genzyme** центар, корпоративно седиште у *Genzyme Corp.* у Кембриџу, у Масачусетсу, користи хелиостате на крову за директну сунчеву светлост на свом атријуму на 12-ом спрату

У чланку 2009, **Bruce Rohr** сугерисао је да би мале хелиостате могли користити као систем соларног напајања куле. „Уместо да заузима стотине хектара, систем би се могао уклопити на много мањем простору, као на пример на равном крову једне комерцијалне зграде.“, рекао је он. Предложени систем ће користити енергију Сунчеве светлости за грејање и хлађење зграде, или да обезбеди инсталацију термалних индустријских процеса као што је прерада хране. Хлађење ће се спровести уз апсорпционе расхладне уређаје. **Mr. Rohr** је предложио да би систем био "поузданији и економичнији по квадратном метру рефлективне површине" од великих соларних електрана кули, делом зато што не би жртвовали 80 одсто прикупљене енергије у процесу претварања у електричну енергију.

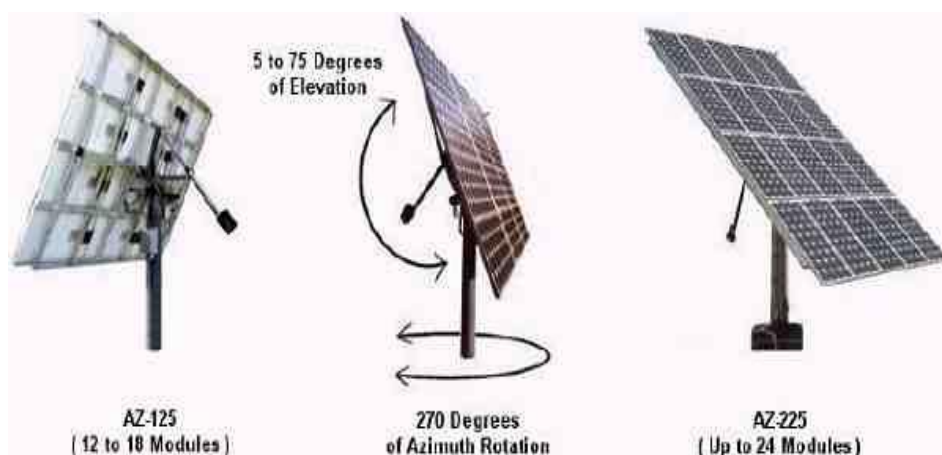
4.3 Конструкција

Трошкови хелиостата представљају 30-50% од иницијалне капиталне инвестиције за соларне електране куле у зависности од енергетске политике и економског оквира у лоцираној земљи. Од интереса је да се конструишу јефтинији хелиостати за велики обим производње, тако да соларни торањ електране производе електричну енергију по конкурентнијим трошковима у односу на трошкове конвенционалног угља или нуклеарних електрана. Поред трошкова, проценат соларне рефлективности (тј. Алbedo) и еколошка издржљивост су фактори које треба размотрити када се упореде конструкције хелиостата.

Један од начина да инжењери и истраживачи покушају да смање трошкове хелиостата је заменом конвенционалних конструкција хелиостата са конструкцијом које користе мање, лакше материјале. Конвенционална конструкција рефлектујућих компонената хелиостата користи огледала друге површине. Огледало структуре „Сендвич-као“ углавном се састоји од челичне структурне потпоре, лепљивог слоја, заштитног слоја бакра, слоја рефлектујућег сребра, као и горњег заштитног слоја од дебелог стакла. Овакав конвенционални хелиостат се често назива стаклено-метални хелиостат. Алтернативне конструкције укључују најновији лепак, композите и танак филм, истраживане да се смање маса и трошкови материјала. Неки примери конструкција алтернативних рефлектора су посребрени полимер - рефлектори, ојачани стакленим влакнима од полиестер *сендвича* (ОСВПС) и алуминијумски рефлектори. Проблеми ових новијих пројеката укључују деламинацију заштитних премаза, смањење процента соларне рефлективности током дугог периода изложености сунцу, као и високи трошкови производње.

4.4 Алтернативе праћења кретања Сунца

Покретање већине најсавременијих хелиостата омогућава моторизовани „двоосни“ систем, контролисан од стране рачунара као што је претходно наведено. Готово увек, примарна оса ротације је вертикална, а хоризонтална оса је секундарна, па је огледало на „*alt-azimuth*“ носачу. На слици 4.5 су приказани примери таквих носача.



Слика 4.5 „*alt-azimuth*“ носач

Једна једноставна алтернатива је да огледало ротира око поларне осе, управљано механичким, најчешће сатним механизмом, (то је механизам подешен на 15 степени на сат), који надокнађује ротацију Земље у односу на Сунце. Огледало је усклађено тако да одржава сунчеву светлост дуж исте поларне осе у правцу једног од небеских полова. Нормала секундарне осе дозвољава повремено ручно подешавање огледала (дневно или ређе, зависи колико је потребно) да компензује померања у деклинацији Сунца са годишњим добима. Подешавање погонског сата може бити повремено прилагођено да надокнади промене у једначини времена. Циљ може да се налази на истој поларној оси која је и примарна оса ротације огледала; или друго, стационарно огледало може да се користи да рефлектује светлост од поларне осе ка циљу, где год да се налази. Ова врста носача огледала и управљање се често користи са „соларним Шпоретима“, као што су *Scheffler* (**Шефлер**) рефлектори. За ову примену, огледало може бити конкавно, тако да концентрише сунчеву светлост на посуду за кување.

Алт-азимут и поларно-осно поравнавање су два од три усмерења за двоосне носаче који се, или су се, најчешће користила за огледала хелиостата. Трећи је циљ-оса аранжман у коме се главна оса усмерава ка циљу на коме се Сунце огледа. Секундарна оса је нормална на примарну осу. Хелиостати контролом светлосних сензора користе ову оријентацију. Мала рука носи сензоре који контролишу моторе да покрећу руку око две осе, тако да се упућује ка сунцу. (тако ова конструкција обухвата соларне локаторе).

Једноставни механички аранжман полови угао између примарне осе, која је усмерена ка мети, и руке, која је усмерена ка Сунцу. Огледало се монтира тако да је његова рефлективна површина је нормална над овом средишњицом. Овај тип хелиостат је коришћен за дневно осветљење пре доступности јефтиних рачунара, али након првих доступности сензорски контролисаних хардвера.

Постоје конструкције хелиостата које не захтевају ротацију осе да би имали тачну оријентацију. На пример, могу постојати светлосни сензори блиски циљу који шаљу сигнале до мотора, тако да коригују трасу огледала кад год се сноп рефлектујуће светлости помери од циља. Довољно је да правци оса буду само приближно познати, јер је систем суштински самокоригујући. Међутим, постоје недостаци, као што су то да огледало мора бити ручно преподешено свако јутро и после сваког продуженог облачног периода, јер рефлектујући сноп, када се појављује, не проналази сензоре, тако да систем не може да коригује оријентацију огледала. Ту су геометријски проблеми који ограничавају функционисање хелиостата када су правци сунца и циља веома различити гледано од огледала. Због недостатака, ова конструкција никада није била често коришћена, али људи раде експерименте са њом.

Многи други типови хелиостат су се такође повремено користили. Најраније хелиостате, на пример, који су коришћени за дневно осветљење у древном Египту, слуге или робови стално су ручно одржавали правац огледала, без употребе било каквог механизма. (Постоје места у Египту, где је ово може радити и данас, зарад забаве туриста.) Елаборат хелиостата са сатним механизмом је изграђен током 19. века који би рефлектовао сунчеве зраке до циља у било ком смеру користећи само једно огледало, смањивајући светлосне губитке, а који притом аутоматски компензује Сунчево сезонско кретање. Неки од тих уређаја се и даље могу видети у музејима, али они се више не користе у практичне сврхе. Аматери понекад долази до *ad hoc* пројеката који раде отприлике, у некој посебној локацији, без икаквог теоријског оправдања. Суштински, могућ је неограничен број таквих пројеката.

5 СТИРЛИНГОВ МОТОР

Стирлингов мотор је врста топлотног мотора који ради са цикличном компресијом и експанзијом ваздуха или другог гаса на разним температурама, тако да долази до претварања топлоте у механички рад.

Мотор спада у врсту мотора са спољашним сагоревањем, пошто се гориво које производи топлоту не налази унутар мотора, као код обичних мотора са унутрашњим сагоревањем. У томе је сличан парној машини, али не користи пару за радни медијум већ гас, обично ваздух. Радни гас је стално затворен у мотору и није предвиђена његова размена са околином. Као у свим топлотним моторима, циклус се састоји од компресије хладног гаса, загревања гаса, експанзије гаса, и на крају хлађења гаса пре понављања циклуса.

Оригинално замишљен 1816. као мотор за индустрију и такмац парне машине, углавном је коришћен за мање снаге и у мањој мери од парне машине. Стирлингов мотор се одликује високим степеном искоришћења, тихим радом, и могућношћу коришћења најразличитијих облика топлоте за рад. Погодност за употребу са алтернативним и обновљивим изворима енергије постаје све значајнија са обзиром на исцрпљивање фосилних горива, и очување природне околине. Овај мотор стога поново побуђује занимање као главна компонента комбинованих постројења за производњу струје и топлоте, и у тој улози је ефикаснији и сигурнији при раду него парне машине сличне снаге.

5.1 Назив и дефиниција

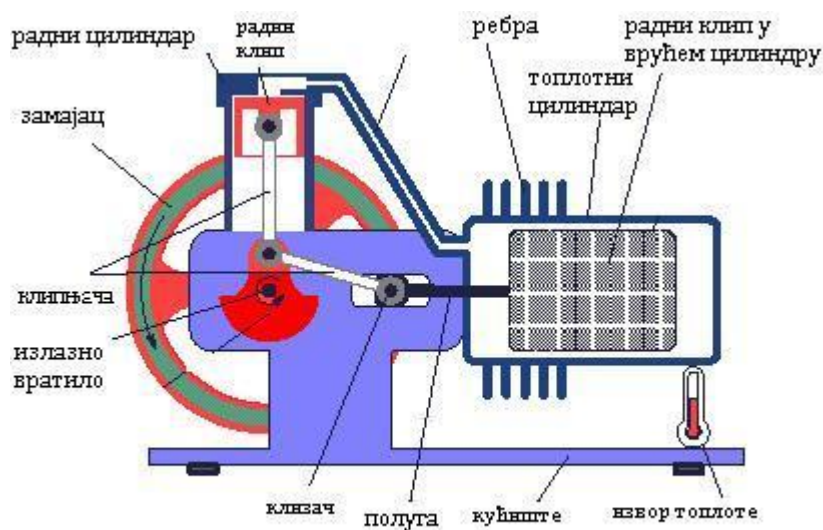
Роберт Стирлинг је био изумитељ првог практичног мотора на врући ваздух 1816. Разни типови мотора на врући ваздух су даље најчешће називани именима својих дизајнера. Током 1940-их година фирма Филипс је тражила погодно име за своју верзију ваздушног мотора, и на крају се одлучила за назив Стирлингов мотор 1945. Године.

Међутим, термини ваздушни мотор и Стирлингов мотор су настављени да се користе успоредно. Ситуација је сада понешто јаснија, нарочито у академској литератури. Данас се сматра да се термин Стирлингов мотор треба односити искључиво на регенеративни топлотни мотор са затвореним циклусом са сталним гасовитим радним флуидом. Мотор који ради на истом принципу али користи течни флуид (течност) уместо гаса је патентиран 1931. под именом Малонеов топлотни мотор.

5.2 Функција и делови

Мотор је направљен тако да се радни гас компресује у хладом делу мотора и експандира у врућем делу мотора. Ово доводи до претварања топлоте у механичку енергију (рад). Унутрашњи регенеративни измењивач топлоте повећава термалну ефикасност Стирлинговог мотора у поређењу са једноставнијим моторима на врући ваздух који немају овај додатак.

Стирлингов мотор има бар један извор топлоте и један хладњак (примач топлоте), и до пет измењивача топлоте. Број измјењивача топлоте је минимално два, по један за врући и хладни простор. Шема једног Стирлинг мотора је приказана на слици 5.1.



Слика 5.1 Шема Стирлинг мотора

5.3 Извор топлоте

Извор топлоте може бити сагоревање фосилног горива, а пошто је процес сагоревања изван мотора, Стирлингов мотор може радити на горива која су неподесна за motore са унутрашњим сагоревањем, као што је нерафинисани земни гас, дрво, угаљ итд.

Најзначајније је то што може да ради са обновљивим изворима енергије као што су соларна енергија, геотермална енергија, нуклеарна енергија, вишак топлотне енергије од других индустријских процеса итд. Соларна енергија се концентрише параболичним или помичним равним огледалима на врући део мотора. Соларни Стирлинг мотори постају све популарнији због тога што су потпуно чисте опције за производњу електричне енергије.

5.4 Грејач

У малим моторима ово су зидови врућег цилиндра. За веће инсталације потребно је имати одговарајуће измењиваче топлоте за ефикаснији пренос топлоте у врући цилиндар.

5.5 Хладњак

У малим моторима ово могу бити зидови хладног цилиндра код алфа конфигурације, или хладног простора код бета конфигурације. За веће снаге потребан је хладњак за одвођење топлоте, који може да користи воду за хлађење.

5.6 Регенератор (регенеративни измењивач топлоте)

У Стирлинговом мотору, регенератор је унутрашњи измењивач топлоте и привремено складиште топлотне енергије смештен између хладног и врућег простора мотора. Кроз њега протиче радни гас прво у једном па у другом смеру. Његова функција је да задржи топлоту која би иначе била изгубљена у околину, и с тиме се омогућава да се термална ефикасност мотора приближи највећој ефикасности могућој за Карноов циклус.

Примарни ефект регенерације топлоте у Стирлинговом мотору је велико повећање термичке ефикасности са поновним коришћењем (рециклажом) унутрашње топлоте која би иначе била неповратно изгубљена. Уз то, повећана ефикасност даје већу снагу за исту величину мотора и измењивача топлоте.

Регенератор ради као нека врста термичког кондензатора. Идеално, има што виши термални капацитет, што нижу термалну кондуктивност у смеру проласка гаса, и што већу у смеру супротном од смера проласка гаса. Уз то има минималну запремину, и пружа минимално трење за пролаз гаса. Што се ближе прилази овом идеалу, повећава се ефикасност мотора.

Циљ конструкције регенератора треба да буде да омогући довољан топлотни капацитет и капацитет преноса топлоте, а у исто време да смањи што је више могуће унутрашњу запремину и отпор току гаса. Ови конфликтни захтеви су једни од фактора који утичу на границу степена искоришћења практичног Стирлинговог мотора. Типична конструкција користи слојеве fine металне мрежице са ниском порозношћу да смањи запремину. Осе мрежице су супротне у односу на смер тока гаса да се смањи проводност у том смеру и да се повећа пренос топлоте конвекцијом.

Регенератор, чији је изумитељ Роберт Стирлинг, је главна компонента која одваја Стирлингов мотор од обичних мотора на врући ваздух са затвореним циклусом. Ипак, понекад се и мотори без регенератора класифицирају као Стирлингови мотори. Ово је зато што ће у бета и гама конфигурацијама са клипом за померање ваздуха, површине клипа померача и цилиндра периодично размењивати топлоту са радним гасом, тиме обезбјеђујући регенеративни ефект. Исту улогу има и пролаз који спаја врући и хладни цилиндар у алфа конфигурацији Стирлинговог мотора.

5.7 Примач топлоте (околина)

Примач топлоте је обично околина. За јаче снаге потребан је радијатор за пренос топлоте у околину. Бродски Стирлинг мотори могу користити воду за хлађење. У комбинованим системима за производњу топлоте за греање и струје, вода за хлађење се и сама загрева одвођењем топлоте са хладњака, па се може даље употребити за грејање објеката у систему топловода.

Занимљива опција је и да се врући цилиндар може држати на температури амбијента, а хладни се држати на нижој температури. Мотор ће и даље радити, све док постоји одређена разлика у температури цилиндара.

6 СОЛАРНИ КОЛЕКТОРИ

Соларни колектор је део сунчевог топловодног система, који директно претвара сунчеву енергију у топлотну енергију воде или неке друге радне материје. Системи за сунчево грејање могу бити отворени, у којима вода која се загрева пролази директно кроз колектор на крову (термосифон) или затворени у којима су колектори попуњени течномшћу, која се не смрзава (гликол, антифриз) и могу се користити код спољних температура испод 0°C . Сунчеви колектори су врло корисни извори топлотне енергије код базенске технике, где се користи нижа температура воде, те се оптимална температура базена одржава неколико недеља дуже у години него без сунчевог топловодног система за грејање воде. У Европској Унији знатно се повећава количина уграђених сунчевог система за грејање потрошне воде и просторија. Током 2000. инсталирано је $1.046.140\text{ m}^2$ нових соларних колектора. И при овој технологији соларног грејања Немачка и Аустрија су европски лидери. Тако је у односу на целу Европу у Немачкој те године инсталирано више од 60% сунчевих топловодних система. План је Европске уније био уградити око $100.000.000\text{ m}^2$ до 2010.године, но показатељи кажу да су успели уградити око $80.000.000\text{ m}^2$.

6.1 Соларни неконцентрисани колектори

Соларни неконцентрисани колектори се најчешће појављују у облику плочастих соларних колектора. Користе се углавном у системима грејања и припреме потрошне топле воде. Састоје се од површинског апсорбера, радног медијума, кућишта колектора и покривача. Радни медијум претвараача може достићи температуру од око 200°C .

6.2 Соларни незастакљени колектори

Најједноставнији тип соларног топловодног колектора су колектори без застакљења. Као што име каже, такви колектори нису застакљење, нити имају изоловану колекторску кутију, тако да се састоје само од апсорбера. Најчешћи примери су “уради-сам” резервоари топле воде, који су окренути према Сунцу и обојени у црно. Највећи недостаци таквих система су велики губитци акумулиране топлотне енергије (нпр. преко ноћи или по облачном времену) и могућност замрзавања система зими.

6.3 Плочасти соларни колектор

Плочасти соларни колектор има искоришћења сунчеве енергије 50-80%, те је основни део соларног топловодног система. Колектор је прекривен соларним стаклом, те је отпоран на ударце и лом. Цevi колектора се ласерски спајају на бакарни лим колектора. Колектор се може постављати на коси кров, равни кров или се може уклопити у конструкцију. Колектори се могу постављати положени на кров, па до кута од 60° у односу на тло. Апсорбери су премазани селективним премазом високе ефикасности. Оквир колектора је направљен од црног анодизованог алуминија. Препорука је да се димензионишу за летње топловодне системе и углове постављања од $20 - 30^\circ$.

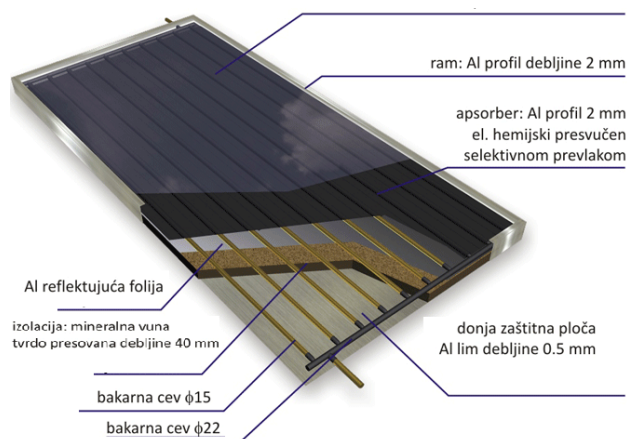
Плочасти соларни колектори су високотемпературни, конструктивно изведени као равне плоче и користе се тамо, где задовољавајућа температура радног флуида (вода) не прелази 95°C , углавном за загревање потрошне топле воде и базенске технике. Средњетемпературни колектори се најчешће посредно користе при производњи вруће воде за стамбену и комерцијалну употребу, те непосредно за кување, дезинфекцију и десалинацију.

Сам колектор је у ствари термички изолирана кутија с једном прозирном страницом, у којој се налазе цевии кроз које пролази вода. На цевима се налазе лимена крилца која су обојена у црну боју. На тај начин сунчево светло улази кроз прозирну страницу и удара о црну лимену површину, те се претвара у топлотну енергију. Притом се лим загрева, а како је физички спојен с цевима, загревају се и саме цевии, грејајући тако воду која пролази кроз њих. Загрејана вода се затим одводи у резервоар соларне топлоте, где се енергија акумулира. Ако се соларни систем налази у поднебљу где зими температуре падају испод 0°C , уместо воде кроз колекторе пролази мешавина са средством против замрзавања. Затим се та мешавина одводи у резервоар, где помоћу измењивача топлоте предаје енергију води унутар резервоара. Охлађена мешавина се пумпа назад у колектор где се поново загрева.

За потребе једног домаћинства довољан је мањи соларни топловодни систем, који се састоји од 2 до 4 m^2 површине колектора и резервоара за воду од око 200 до 300 литара. Међутим исплати се уградити и већи систем од нпр. 10 до 12 m^2 површине колектора са резервоаром од 750 до 1000 литара. Такав систем може и зими акумулирати довољно енергије да се може спојити на централно гријање, те на тај начин смањити рачун за грејање. Овакав начин грејања зовемо активним соларним грејањем.

Сунчева опрема је засад још увек прескупа за просечног човека. Високе цене су највероватније и главни разлог зашто се ова технологија не користи у складу са својим могућностима. У другим државама је могуће добити порезне олакшице приликом куповине соларне опреме, што је право чудо с обзиром на то да су нафтни лобији изузетно снажни, а нафтној индустрији никако није у интересу да људи мање користе фосилна горива. На нама је да се и у нашој земљи изборимо за подстицаје на куповиху соларне опреме. У комбинацији са едукацијом ова технологија би могла напокон заживети.

Други начин да се заобиђе проблем скупоће је самоизградња соларне опреме. Наиме, људи који знају користити основне столарске алате без већих тешкоћа се могу упустити у градњу властитог соларног система. На тај начин може се уштедети знатна количина новца, а израђена опрема не мора нужно бити лошија од тржишне. На сликама 6.1 и 6.2 су приказани примери неких плочастих соларних колектора.



Слика 6.1 Шема плочастог соларног колектора



Слика 6.2 плочасти соларни колектор

6.4 Вакуумски соларни колектор

Вакуумски соларни колектор користи сличан начин рада као и термос боца (*Dewarova* посуда). У сврху смањења топлотних губитака у колектору, апсорбери се налазе у стакленим цилиндрима у којима је вакуум, на притиску мањем од 0,01 бара. Апсорбер који се уграђује у вакуумске цеви је пласнута трака или премаз који се наноси на унутрашњу страну стаклене вакуумске цеви. Како је потребна површина коју заузимају вакуумски колектори за 1/3 мања од равних колектора, погодни су за кровове који немају довољно места за уградњу плочастих соларних колектора.

Вакуумски соларни колектори на годишњем нивоу дају 5 - 8% више енергије, те се примењују за зимско загревање воде, те током лета могу брзо прегрејати воду на високе температуре преко 130 °C. Колектори имају високи ступањ апсорпције захваљујући апсорберу с прекривком од алуминијског нитрита. Свака цев колектора се може посебно заменити без потребе пражњења система. Користе се у системима припреме потрошне топле воде, те у системима помоћи у грејању. Могу се уградити на косе, равне кровове, те уклопити у кров. Препорука је да се димензионишу за зимске системе и углове постављања 50 - 60°. Постоје модели вакуумских колектора који се могу израђивати од елемената и може се саградити колектор који има и до 150 вакуумских цеви.

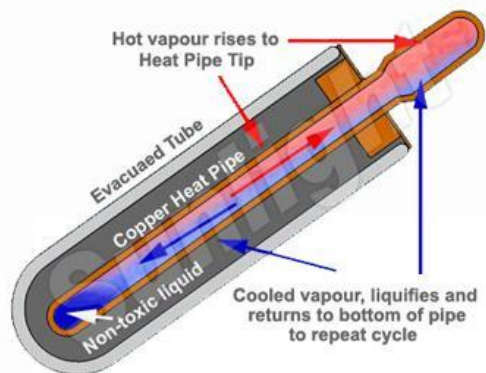
Основна разлика плочастих и вакуумских колектора је у различитом степену искоришћења, зависно од годишњег доба, а та разлика произилази од зависности од спољашње температуре ваздуха, која директно делује на ефикасност колектора. Плочасти колектори су бољи у летњем периоду, док су вакуумски бољи у зимском

периоду. По цени су вакуумски колектори знатно скупљи, те се претежно примењују у изразито хладним климама северне Еуропе. 80% соларних система се користи првенствено за загревање потрошне топле воде, а такви системи се димензионишу за летње оптерећење. Како су плочасти колектори предвиђени за летњи период, долази се до закључка да је једини оптимални избор плочасти колектор за подручје југоисточне Европе, која има релативно топлу климу.

Соларни колектори директно претварају сунчеву енергију у топлотну енергију, а ефикасност претварања зависи од врсти колектора. Како опада спољашња температура ваздуха, повећава се разлика температуре између колектора и спољашњег ваздуха, те долази до опадања укупне ефикасности колектора. Средња годишња ефикасност колектора је око 50 - 60% (око 500 - 800 KWh/m² колектора годишње), док је степен искориштења система око 30-50% за правилно димензионисани систем. Током зиме колекторски системи најбоље учинке дају у комбинацији с м, јер се могу остварити температуре од 40 до 50 °C у колектору, које ће бити довољне за рад подног грејања. На сликама 6.3 и 6.4 су приказани вакуумски колектор, и сема вакуумске цеви.



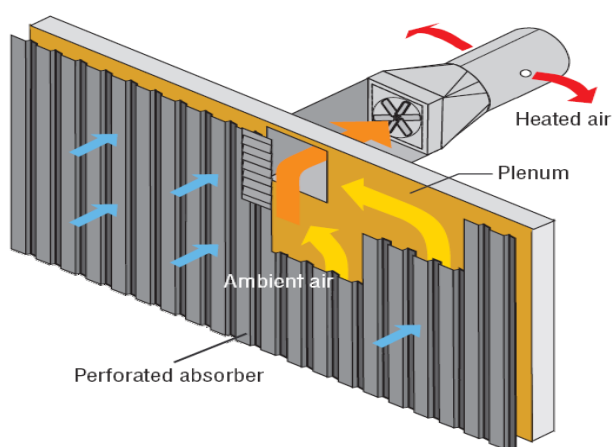
Слика 6.3 Соларни колактор са вакуумским цевима



Слика 6. 4 шема вакуумске цеви соларног колектора

6.5 Соларни зид

Соларни зид је систем соларног грејања ваздуха, који је посебно осмишљено решење и садржи многе унутрашње и спољашње делове. Користи соларну енергију за грејање и вентилацију унутрашњих простора у новим и санираним одговарајућим применама. Конструкција система је прилагођена како би осигурали највећу доставу енергије с најмањом количином статичког притиска у ваздушном простору. Постоје многи облици технологије сунчевог зида темељене на потребама енергије у зградама или према корисничким потребама. Највидљивија компонента система је спољашња метална облога, али значајна количина опреме соларног зида налази се у унутршњим обликованим деловима. На слици 6.5 приказан је један такав соларни зид.



Слика 6.5 соларни зид

7 ЗАКЉУЧАК

Рад представља приказ соларних технологија и постројења, заснованих на најновијим техничко – технолошким решењима. Евидентан је континуални развој технологија и идеја на овом пољу који се одвија првенствено у развијеним земљама које придају значај алтернативним изворима енергије и њиховим предностима.

Константно се унапређују постојећи соларни системи, врши се њихова анализа рада, смањују трошкови изградње, одржавања и експлоатације, што доводи до смањења јединичне цене произведене топлоте, односно електричне енергије.

У априлу 2009. године пуштена је у рад највећа соларна електрана у историји - PS20. Постојење је за време тестирања постигло већу ефикасност од очекиване и од априла снабдева чак 10 хиљада домаћинстава електричном енергијом!

Соларну кулу су пројектовали и изградили инжињери компаније Абенгоа Солар, специјализоване за искоришћавање соларне енергије.

Иако су до сада бележени покушаји сличног начина употребе чисте сунчеве енергије, технологија и њена примена у случају соларне куле код Севиље се, без претеривања, могу окарактерисати као револуционарни.

Постоји и могућност употребе ове технологије у симбиози са конвенционалним начинима добијања енергије у ком случају би соларна енергија била помоћни извор енергије који би доприносио већем степену искоришћености фосилних горива и самим тим мањем загађењу.

Потребни услови за инсталацију електрана које користе технологију соларних кула :

Клима. Економска исплативост соларних термалних пројеката је директно зависна од интензитета и трајања соларног зрачења на годишњем нивоу на територији која се планира за место изградње једне овакве електране.

Орографија. Површина терена са погодном орографијом условљава радове у изградњи и одржавању соларног поља. Куле-електране се могу прилагодити орографски разноврсном терену, и благе неравнине као што је то случај код PS20, па и комплексније случајеве уколико су обронци долина одговарајуће окренути ка југу (у случају држава на северној хемисфери).

Територија неопходна за електрану снаге 20 MW износи 96 хектара у распореду да дужина износи 3.3km а ширина 0,95km. Шпанија неумољиво вуче напред на терену експлоатације чисте соларне енергије путем CSP sistema (Concentrated Solar Power - концентрација соларне енергије). Широм Шпаније одобрена је изградња преко 50 соларних постројења која ће до 2015. године производити више од 2GW ел. енергије што је знатно више од жељеног циља. CSP технологија се тренутно извози у Алжир, Мароко и Сједињене Државе.

Соларне електране са концентрисаним колекторима представљају технологију која се успешно примењује од већ неколико деценија уназад. О успешном коришћењу ове технологије довољно указује податак да су у комерцијалној употреби девет соларних електрана постројења SEGS I, које су лоциране у пустињи Мохаве, Калифорнија (SAD), као и прва соларна електрана у Европи (Андасол) пуштена у погон почетком новембра 2008. год. До сада је на овај начин генерисано преко 12 милијарди kWh електричне енергије, што је довољно за снабдевање електричном енергијом 12 милиона људи.

Према подацима Америчке организације SECO (State Energy Conservation Office) (Fact Sheet No.8) мање од 3% површине Сахаре покривене системима са концентрисањем Сунчевог зрачења би било довољно да задовољи светске потребе за електричном енергијом. Главни проблем овог концепта је наравно, дистрибутивна мрежа, па се предлаже улагање у јединствену европску мрежу која би била способна да енергију из обновљивих извора пренесе до свих земаља ЕУ. Предвиђа се да би за остварење овог амбициозног циља Европска Унија требала до 2050. год. издвајати око милијарду евра сваке године.

8 ЛИТЕРАТУРА

- [1] Лукић Н., Бабић М., : “Соларна енергија – монографија” Машински факултет у крагујевцу, Крагујевац 2008
- [2] Ламбић М., Стојићевић Д., Соларна техника, Друштво за Сунчеву енергију “Србија Солар”, Зрењанин 2004.
- [3] Ламбић М., Соларни уређаји, Техничка књига, Београд 1987.
- [4] Сања Марковић : “Могућност добијања енергије коришћењем параболичних соларних колектора”, научни рад, Факултет за индустријски менаџмент, Крушевац, 2010.
- [5] Урош Јеремић : Фотонапонско претварање енергије – дипломски рад ; Природно - математички факултет , одсек физика , Универзитет у Приштини 2007
- [6] Стојићевић, Д., Равни топлотни пријемници сунчеве енергије, Србија Солар, Зрењанин, 2007.
- [7] <http://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/1451-1975/2008/1451-19750802041S.pdf> (преузето новембар 2012)
- [8] <http://en.wikipedia.org/wiki/Heliostat> (преузето октобар 2012)
- [9] http://hr.wikipedia.org/wiki/Suncev_toplovodni_kolektor (преузето октобар 2012)
- [10] http://hr.wikipedia.org/wiki/Solarne_termalne_elektrane (преузето октобар 2012)
- [11] http://sr.wikipedia.org/sr/стурлингов_мотор (преузето новембар 2012)
- [12] http://hr.wikipedia.org/wiki/Solarni_tornjevi (преузето октобар 2012)
- [13] http://www.zivotinjsko-carstvo.com/ekologija/solarna_kula_u_sevilji.php (преузето октобар 2012.)