



Соларна енергетика и климатске промјене

Драгољуб Мирјанић, Томислав Павловић, Ивана Радоњић,
Галина Сажко

Сажетак: *Савремена соларна енергетика заснива се на фототермалној, фотонапонској и хибридној конверзији Сунчевог зрачења и на пасивном захвату Сунчевог зрачења. Фототермална конверзија Сунчевог зрачења одвија се на нискотемпературним, средњетемпературним и високотемпературним фотоконверзионим системима. За нискотемпературну конверзију Сунчевог зрачења користе се равни колектори са водом и ваздухом, док се за средњетемпературну конверзију Сунчевог зрачења користе концентратори Сунчевог зрачења. За високотемпературну конверзију Сунчевог зрачења користе се концентратори са хелиостатским пољима и параболичним рефлекторима Сунчевог зрачења. За фотонапонску конверзију Сунчевог зрачења користе се соларне ћелије од различитих материјала. За снабдијевање потрошача електричном енергијом користе се самостални и фотонапонски системи везани за електродистрибутивну мрежу. За добијање већег износа електричне енергије користе се стационарне, једноосно и двоосно ротационе соларне електране.*

Цитирање: Мирјанић Д, Павловић Т, Радоњић И, Сажко Г (2023) Соларна енергетика и климатске промјене. У: Трбић Г, Попов Т, Мирјанић Д (уредници) Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LIV:41–78

Cite as: Mirjanić D, Pavlović T, Radonjić I, Sazhko G (2023) Solar Energy and Climate Change. In: Trbić G, Popov T, Mirjanić D (eds) Natural Resources Management in a Changing Climate. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LIV:41–78

За истовремену конверзију Сунчевог зрачења у топлотну и електричну енергију користе се хибридни колектори Сунчевог зрачења. За пасиван захват Сунчевог зрачења користе се индивидуални стамбени и други објекти који су изграђени у складу са принципима соларне архитектуре. У соларној енергетици се углавном користе материјали који нису штетни за околину, осим токсичних As и Cd, који се налазе у GaAs и CdTe соларним ћелијама. Уређаји који се користе у соларној енергетици не емитују штетне материје и немају негативан утицај на климатске промјене.

Кључне ријечи: Соларна енергетика, климатске промјене, фототермална, фотонапонска, хибридна и пасивна конверзија Сунчевог зрачења

2.1. Увод

Под соларном енергетиком се подразумејива савремена област енергетике у којој се енергија Сунчевог зрачења помоћу одређених уређаја претвара у топлотну и електричну енергију. Бројне радове из области соларне енергетике објавили су и истраживачи из Републике Српске и региона (Павловић и Чабрић 2007; Pavlović et al. 2012a, 2012b; 2015; Pantić et al. 2016; Radonjić et al. 2018; Radonjić et al. 2017, 2021; Mirjanić et al. 2019, 2020, 2021).

За претварање Сунчевог зрачења у топлотну енергију користе се топлотни колектори без концентратора и са концентраторима Сунчевог зрачења. За нискотемпературну конверзију Сунчевог зрачења (до 100 °C) користе се равни колектори са водом и ваздухом. За средњетемпературну конверзију Сунчевог зрачења (100–400 °C) користе се колектори са концентраторима Сунчевог зрачења. За високотемпературну конверзију Сунчевог зрачења (400–4.000 °C) користе се хелиостати и параболични концентратори Сунчевог зрачења.

За претварање Сунчевог зрачења у електричну енергију користе се фотонапонски системи који се састоје од соларних ћелија, акумулатора, претварача једносмјерног у наизмјенични напон итд. Данас се у свијету соларне ћелије углавном праве од монокристалног и поликристалног силицијума и нешто мање од аморфног силицијума, CdTe, GaAs и других материјала. Сваким даном се у свијету фотонапонски системи све више користе за добијање електричне енергије у приватним домаћинствима и соларним електранама. За истовремено претварање Сунчевог зрачења у топлотну и електричну енергију користе се хибридни колектори (Павловић и

сар. 2018). За пасиван захват Сунчевог зрачења користе се стамбени и други објекти који су изграђени у складу са принципима соларне архитектуре.

2.2. Фототермална конверзија Сунчевог зрачења

Топлотна конверзија Сунчевог зрачења врши се на активним и пасивним фотоконверзионим системима. Активни фототермални конверзиони системи дијеле се на: нискотемпературне, средњетемпературне, високотемпературне и хибридне. Пасиван захват Сунчевог зрачења врши се на стамбеним и другим објектима који су грађени у складу са принципима соларне архитектуре.

2.2.1. Нискотемпературна конверзија Сунчевог зрачења

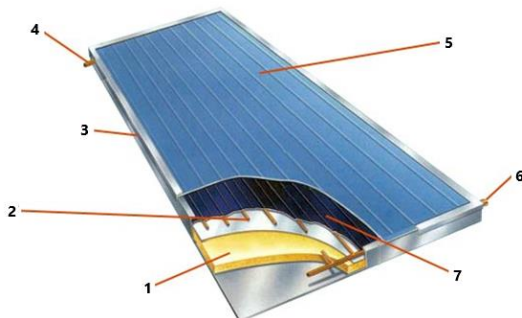
За нискотемпературну конверзију Сунчевог зрачења (температура < 100 °C) користе се равни колектори, који се у зависности од радног флуида дијеле на колекторе са водом (водени колектори) и колекторе са ваздухом (ваздушни колектори). Равни колектори Сунчевог зрачења састоје се од кутије, предњег и задњег покривача, апсорбера и термоизолације. Наведени дијелови колектора добијају се помоћу савремених технологија пресовања, ваљања и извлачења металних материјала, бојења апсорбера, добијања предњег и задњег покривача и термоизолације. Имајући у виду да су равни колектори у току свог рада изложени различитим атмосферским утицајима, сваки дио колектора треба да буде направљен од квалитетних материјала и помоћу савремених технологија. Помоћу равних колектора врши се топлотна конверзија директног и дифузног Сунчевог зрачења до 100 °C (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013).

2.2.1.1. Колектори са водом

Код колектора са водом (Сл. 2.1) као радни флуид користи се вода са антифризом као додатком против замрзавања. У зависности од конструкционих карактеристика равни колектори са водом могу да се подијеле на:

- колекторе без прозирних покривача и термоизолације, који су једноставни за производњу и користе се за загријавање воде у пливачким базенима,
- колекторе са једним покривачем и јефтином термоизолацијом, који се користе за загријавање воде до 60 °C,

- колекторе са двоструким покривачем и добром термоизолацијом, који се користе за загријавање воде до 100 °С.



Сл. 2.1. Попречни пресјек колектора са течношћу: 1) термоизолација, 2) цијеви за воду, 3) рам, 4) улазни отвор за воду, 5) предњи покривач, 6) излазни отвор за воду, 7) апсорбер (Павловић и сар. 2015)

Fig. 2.1. Liquid collector cross-section: 1) thermal insulation, 2) water pipes, 3) frame, 4) water inlet, 5) front cover, 6) water outlet, 7) absorber (Павловић и сар. 2015)

Кутија. Кутије равних колектора најчешће се израђују од елоксираног алуминијума, рјеђе од поцинкованог челичног лима и пластичних материјала. Кутија штити унутрашње дијелове колектора од механичких оштећења, топлотних губитака и атмосферских утицаја.

Предњи покривач. Предњи покривач налази се на предњој страни колектора, транспарентан је за Сунчево зрачење, смањује топлотне губитке колектора и штити апсорбер од атмосферских утицаја. За предњи покривач користи се стакло дебљине 3–4 мм или пластична фолија дебљине 0,1–0,2 мм. Код колектора са два стакла предње стакло је дебље од унутрашњег. Стакло је пропусно за Сунчево зрачење у области таласних дужина 0,3–3 μm . Захваљујући овоме, стакло добро пропушта Сунчево зрачење ка апсорберу и не дозвољава да топлотно зрачење са апсорбера оде ван колектора. Од пластичних материјала за предњи покривач колектора користе се тедлар фолија, фиберглас и тефлон. Недостаци пластичних фолија као предњих покривача огледају се у њиховој осјетљивости на ултраљубичасто зрачење и више температуре.

Апсорбер. Апсорбер представља најважнији дио колектора Сунчевог зрачења. На апсорберу се врши топлотна конверзија Сунчевог зрачења. Апсорбована топлота се са апсорбера до потрошача преноси помоћу радног флуида (течности или ваздуха). Апсорбери се израђују од материјала који имају добру топлотну проводљивост као што су бакар и алуминијум. У циљу што боље

апсорпције Сунчевог зрачења апсорбери треба да буду спектрално селективни, односно да имају коефицијент апсорпције Сунчевог зрачења већи од 0,9 и коефицијент емисије топлотног зрачења (емисивности) мањи од 0,2 ($\alpha > 0,9$, $\epsilon < 0,2$).

У погледу конструкције, апсорбери могу да имају различите облике:

- апсорбер који се добија увлачењем бакарне цијеве у доњи дио испресованог Al профила,
- апсорбер који се добија увлачењем бакарне цијеве у отвор који се налази у средини испресоване Al ламеле,
- апсорбер који се добија причвршћивањем бакарне цијеве за доњи дио испресованог Al профила,
- апсорбер који се добија лемљењем бакарне цијеве за погодно профилисану металну плочу,
- апсорбер који се добија пресовањем или ваљањем Al лима и уметањем бакарне цијеве у образовано удубљење,
- апсорбер формиран *roll-bond* поступком итд.

Апсорбери могу да се боје у црно премазивањем црном бојом, електрохемијским бојењем, вакуумским напаравањем итд. Апсорбери могу да буду спектрално неселективни и спектрално селективни. У спектрално селективне апсорбере спада Al/Al₂O₃-Ni апсорбер, који се добија електрохемијским бојењем анодно оксидованог алуминијума у раствору NiSO₄. Ефикасност равног колектора са спектрално селективним апсорбером је за око 30% већа од ефикасности термалног колектора са спектрално неселективним апсорбером.

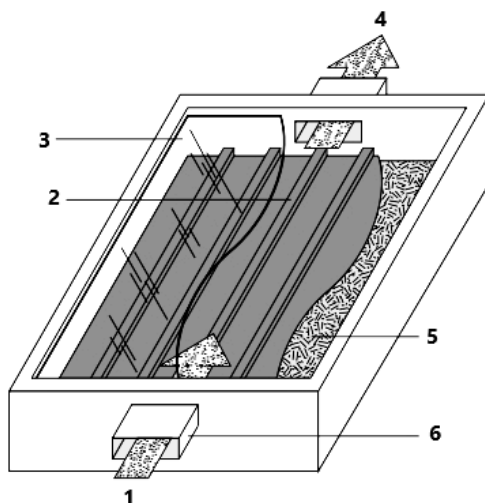
Термоизолација. Термоизолација колектора се врши помоћу предњег покривача, бочне изолације и изолације са задње стране апсорбера. Унутрашња изолација колектора треба да буде механички и хемијски стабилна на температури стагнације колектора. Унутрашња изолација колектора не смије да испарава или емитује гасове који би могли да прекрију унутрашњу страну покровног стакла и смање пролаз Сунчевог зрачења до апсорбера. Поред овога, унутрашња изолација не смије да се топи, шири или скупља у условима рада колектора. За унутрашњу изолацију често се користи стаклена вуна која је без органских везива бијела, а са органским везивима љубичаста, жута или оранж боје. Код равних колектора за термоизолацију се користе и пјене које се уливају у колектор и имају добру механичку чврстоћу. Недостаци термоизолационих пјена су у њиховом топљењу и испаравању на температурама од 160 до 220 °C.

Задњи покривач. Као задњи покривач равних колектора најчешће се користе Al или поцинковани лим (Павловић и Чабрић 2007).

2.2.1.2. Ваздушни колектор

Ваздушни колектори се разликују од колектора са течношћу по конструкцији апсорбера (Сл. 2.2). Принцип рада ових колектора састоји се у сљедећем: у простор између задње стране апсорбера и кутије колектора улази хладан ваздух, који се загријава у додиру са апсорбером. Принудна циркулација ваздуха у систему који користи ваздушне колекторе за загријавање просторија одржава се помоћу вентилатора.

Код ваздушних колектора не постоји могућност замрзавања радног флуида. Ваздушни колектори су једноставнији и јефтинији од колектора са течношћу. Користе се за загријавање просторија помоћу топлог ваздуха, у сушарама за сушење љековитог биља, дувана итд. (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013).



Сл. 2.2. Шематски приказ ваздушног колектора: 1) хладан ваздух, 2) апсорбер, 3) стакло, 4) топао ваздух, 5) изолација, 6) улаз за хладан ваздух (Pavlovic et al. 2008)

Fig. 2.2. Schematic representation of the air collector: 1) cold air, 2) absorber, 3) glass, 4) hot air, 5) insulation, 6) cold air inlet (Pavlovic et al. 2008)

2.2.1.3. Соларни систем са природном циркулацијом воде

Соларни систем са природном циркулацијом воде (термосифонски систем) састоји се од равног колектора и соларног бојлера изнад њега (Сл. 2.3).



Сл. 2.3. Соларни систем са природном циркулацијом воде (Solarni sistemi 2021)

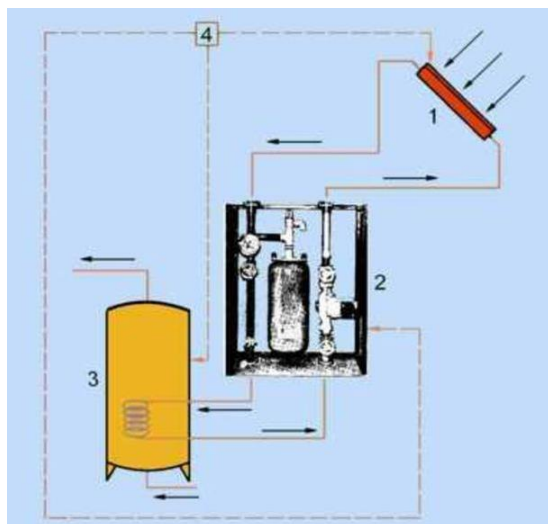
Fig. 2.3. Solar system with natural water circulation (Solarni sistemi 2021)

Код овог система топлотни измјењивач соларног бојлера директно је повезан са улазном и излазном цијеви колектора. Након пуњења водом затвореног соларног система соларни колектор – соларни бојлер, циркулација воде се одвија природним путем. Загријана вода из колектора као специфично лакша одлази у топлотни измјењивач соларног бојлера, а расхлађена вода из топлотног измјењивача соларног бојлера као специфично тежа враћа се у колектор. Природна циркулација воде у термосифонском систему одржаваће се све док постоји разлика температуре између воде у бојлеру и воде у колектору, односно све док Сунце загријава колектор (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013).

2.2.1.4. Соларни систем са принудном циркулацијом воде

Соларни систем са принудном циркулацијом воде састоји се од колектора, соларног модула, соларног бојлера и диференцијалног термостата (Сл. 2.4). Соларни модул се састоји од циркулационе пумпе, експанзионог суда, манометра, термометра и одговарајућих вентила. Циркулациона пумпа може да се укључује аутоматски или ручно. Користи се за одржавање принудне циркулације воде у соларном систему. Помоћу експанзионог суда одржава се одговарајући притисак воде у затвореном циркулационом кругу. У случају

да у њему опадне притисак, соларном систему се додаје вода из водоводне мреже преко одговарајућег прикључка на соларном модулу. Диференцијални термостат се користи за контролисање температуре воде у соларном бојлеру и колектору и укључивање циркулационе пумпе. Циркулациона пумпа се аутоматски укључује када разлика температуре воде у колектору и бојлеру достигне задату вриједност ΔT (обично 5–15 °C) (Павловић и Чабрић 2007).



Сл. 2.4. Соларни систем са принудном циркулацијом воде: 1) колектор, 2) соларни модул који садржи циркулациону пумпу, експанзиони суд, манометар, термометар, прикључак за довођење воде у затворени циркулациони круг соларног система, 3) соларни бојлер, 4) диференцијални термостат (Павловић 2008)

Fig. 2.4. Solar system with forced water circulation: 1) collector, 2) solar module containing circulating pump, expansion dish, manometer, thermometer, connection for bringing water into the closed circulation circuit of the solar system, 3) solar boiler, 4) differential thermostat (Павловић 2008)

2.2.2. Средњетемпературна конверзија Сунчевог зрачења

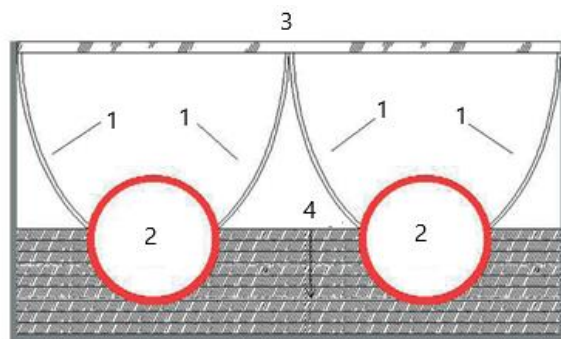
За средњетемпературну конверзију Сунчевог зрачења (100–400 °C) користе се вакуумски колектори са концентраторима Сунчевог зрачења (фокусирајући колектори) и соларне пећнице. У колекторе са концентраторима Сунчевог зрачења спадају: Винстонов параболични, цилиндрично-параболични, цијевно-вакуумски, спирално-фокусирајући и трапезоидно-фокусирајући колектор.

Колектори са концентраторима за загријавање радног флуида користе само директно Сунчево зрачење и усмјеравају се према Сунцу. За вријеме облачних дана ови колектори не врше фототермалну конверзију Сунчевог зрачења. Концентратори могу бити у виду равних или закривљених рефлектора и могу вршити тачкасто или линијско концентрисање Сунчевог зрачења.

Концентратори примају Сунчево зрачење великом површином и концентришу га на малу површину. Фактор концентрације (С) представља однос између површине отвора концентратора и површине апсорбера који прима концентрисано Сунчево зрачење. За равне колекторе фактор концентрације је 1. Код линеарно-фокусирајућих колектора фактор концентрације се креће до 50, а код тачкасто-фокусирајућих концентратора до 1.000. Колекторе са $C \leq 10$ потребно је повремено, а са $C > 10$ потребно је стално усмјеравати према Сунцу (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013).

2.2.2.1. Винстонов параболични колектор

Винстонов параболични колектор је стационарни колектор чији се апсорбер састоји од више паралелних параболичних рефлектора, у чијим се жижмама налазе апсорпционе цијеве кроз које протиче радни флуид (Сл. 2.5). Први такав колектор направио је 1974. године Роланд Винстон (енгл. *Roland Winston*) у САД, по коме је и добио име.



Сл. 2.5. Шематски приказ Винстоновог параболичног колектора: 1) параболични рефлектор, 2) апсорпциона цијев, 3) стакло, 4) термоизолација (Павловић и сар. 2013)

Fig. 2.5. Schematic representation of Winston's parabolic collector: 1) parabolic reflector, 2) absorption tube, 3) glass, 4) thermal insulation (Павловић и сар. 2013)

Кућиште, термоизолација и покривно стакло код Винстоновог параболичног колектора исти су као и код класичних термалних колектора. Зидови апсорбера Винстоновог колектора направљени су од термоотпорне пластике, која је са унутрашње стране обложена високорефлектујућом алуминијумском фолијом (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013).

2.2.2.2. Цилиндрично-параболични колектор

Цилиндрично-параболични колектор (Сл. 2.6) састоји се од цилиндрично-параболичног рефлектора у чијој се жижи налази вакуумирана стаклена цијев. У унутрашњости стаклене цијеве налази се апсорпциона цијев, кроз коју протиче радни флуид. Апсорпциона цијев је обојена спектрално селективно. Високи коефицијент апсорпције металне цијеве и њен положај у жижи параболичног рефлектора обезбјеђује ефикасну апсорпцију Сунчевог зрачења. Захваљујући ниској емисивности апсорпционе цијеве, топлотни губици ових колектора сведени су на најмању могућу мјеру.



Сл. 2.6. Цилиндрично-параболични колектор (Sopogy 2011)

Fig. 2.6. Cylindrical parabolic collector (Sopogy 2011)

Цилиндрично-параболични колектори постављају се према југу усправно или хоризонтално. Када се поставе усправно, помоћу ротационог носача прате промјену положаја Сунца у смјеру исток–запад. При хоризонталном постављању мијењају нагиб ради праћења промјене висине Сунца у току дана. Помоћу цилиндрично-параболичних колектора могу да се постигну температуре 300–400 °С (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013).

2.2.2.3. Цијевно-вакуумски колектор

Цијевно-вакуумски колектор (Сл. 2.7) спада у групу стационарних фокусирајућих колектора који са ефикасношћу од 40% загријавају воду од 80 до 200 °С. У главни дио цијевно-вакуумског колектора спада вакуумирана стаклена цијев дужине око 1 м, пречника око 5 цм са притиском од 0,0133 Ра, дуж чије осе је постављена метална апсорпциона цијев, кроз коју протиче радни флуид (уље). Апсорбери цијевно-вакуумских колектора могу да се подијеле на апсорбере са рефлектором и апсорбере са директним захватом Сунчевог зрачења. Код цијевно-вакуумских колектора са рефлектором у стакленој цијеву се као рефлектор користи алуминијумска фолија. Изнад рефлектора се налазе двије спектрално селективно обојене апсорпционе цијеву, кроз које протиче радни флуид (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013).



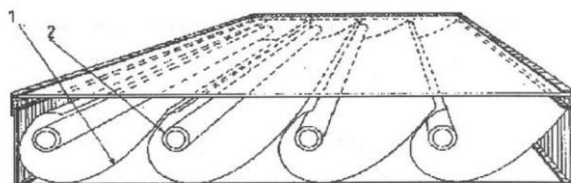
Сл. 2.7. Цијевно-вакуумски колектор (Centrometal 2022)

Fig. 2.7. Vacuum tubes collector (Centrometal 2022)

2.2.2.4. Спирално-фокусирајући колектор

Спирално-фокусирајући колектор (Сл. 2.8) састоји се од кућишта, спиралних рефлектора, апсорпционих цијеву и покривног стакла. Апсорпционе цијеву, кроз које протиче радни флуид, налазе се у линијским жижама спиралних рефлектора. Након рефлексије на спиралним рефлекторима Сунчево зрачење пада на апсорпционе цијеву, загријавајући воду у њима.

Аутори спирално-фокусирајућег колектора су на сајму соларне технике 1973. године у Аустралији добили награду за његово конструкционо рјешење (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013).



Сл. 2.8. Спирално-фокусирајући колектор: 1) рефлектор, 2) вакуумска цијев (Павловић и сар. 2013)

Fig. 2.8. Spiral focusing collector: 1) reflector, 2) vacuum tube (Павловић и сар. 2013)

2.2.2.5. Трапезоидно-фокусирајући колектор

Апсорбер трапезоидно-фокусирајућег колектора састоји се од серије дугих паралелних трапезоидних елемената, код којих су нагнуте стране трапеза рефлектори, а основа трапеза апсорбер Сунчевог зрачења (Сл. 2.9). Помоћу наведеног колектора врши се захват директног и дифузног Сунчевог зрачења (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013).



Сл. 2.9. Трапезоидно-фокусирајући колектор (Павловић и сар. 2013)

Fig. 2.9. Trapezoid focusing collector (Павловић и сар. 2013)

2.2.2.6. Соларне пећнице

За спремање јела помоћу Сунчевог зрачења користе се соларне пећнице. У пракси је присутан већи број соларних пећница различитих конструкција и намјена, и то: семицилиндрична соларна пећница, соларна пећница са огледалом, параболична пећница итд.

Семицилиндрична соларна пећница. Семицилиндрична соларна пећница (Сл. 2.10) састоји се од семицилиндричне спољашње кутије од дрвета и унутрашње кутије од алуминијума са термоизолацијом између њих. Кутија семицилиндричне соларне пећнице прекривена је двоструким стаклом са међусобним растојањем од 2,5 цм. За рефлектор је коришћено 8 огледала, од којих су 4 квадратног, а 4 троугаоног облика. Концентрациони фактор огледала је 3,5. Помоћу покретног држача соларна пећ може континуирано да се усмјерава према Сунцу. У унутрашњости пећи се налази држач, помоћу кога се посуда са храном одржава у хоризонталном положају. У овој пећи је у току лjeta у Индији постигнута температура од 350 °С, а у току зиме од 250 °С. Помоћу описане пећи 1 кг кромпира може да се скува за 50 минута (Павловић и Чабрић 2007).



Сл. 2.10. Семицилиндрична соларна пећница (Pinterest 2021)

Fig. 2.10. Semi-cylindrical type solar cooker (Pinterest 2021)

Соларне пећнице са огледалима. Соларне пећнице са огледалима (Сл. 2.11) састоје се од кутије са двоструким зидом и покретних огледала, која усмјеравају Сунчево зрачење на посуду за спремање јела, а она се налази у кутији покривеној двоструким стаклом (Павловић и Чабрић 2007).



Сл. 2.11. Соларна пећница са равним огледалима (Gosun 2021)
Fig. 2.11. Solar cooker with plane mirrors (Gosun 2021)

Параболична пећница. Параболична пећница се састоји од параболичног огледала, у чијој се жижи налази црно обојена посуда за спремање јела (Сл. 2.12). Ефикасност параболичне пећнице зависи од атмосферских услова. Са повећањем облачности и вјетра смањује се њена ефикасност. Поред овога, параболичну пећницу треба усмјеравати према Сунцу континуирано (Павловић и Чабрић 2007).



Сл. 2.12. Параболична соларна пећница са посудом за спремање јела (Eco-Business 2021)
Fig. 2.12. Parabolic solar oven with cooking utensil (Eco-Business 2021)

2.2.3. Високотемпературна конверзија Сунчевог зрачења

За високотемпературну конверзију Сунчевог зрачења (400–4.000 °C) користе се соларни системи са концентраторима Сунчевог зрачења, који се морају подешавати према Сунцу. У погледу конструкције високотемпературни концентратори се могу подијелити на: сферне, параболичне, фокусирајуће колекторе са Френеловим сочивима и Френелов концентратор са огледалима. У погледу намјене концентратори се могу подијелити на: хелиостате, соларне пећи и соларне термоелектране. Основне карактеристике неких концентратора Сунчевог зрачења приказане су у Таб. 2.1, а рефлексивне карактеристике материјала који се користе код концентратора Сунчевог зрачења у Таб. 2.2.

Таб. 2.1. Основне карактеристике концентратора Сунчевог зрачења (Павловић и Чабрић 2007)

Table 2.1. Basic characteristics of solar radiation concentrators (Павловић и Чабрић 2007)

Тип концентратора	Приближна вриједност концентрације	Приближна максимална радна температура (°C)
Концентратор са непокретним огледалом и покретним апсорбером	50–150	300–500
Френелово сочиво	100–1.000	300–1.000
Параболични концентратор	500–3.000	500–2.000
Макро концентратор	1.000–3.000	500–2.000

Таб. 2.2. Рефлексија са материјала који се користе за концентраторе Сунчевог зрачења (Павловић и Чабрић 2007)

Table 2.2. Reflection from materials used for solar concentrators (Павловић и Чабрић 2007)

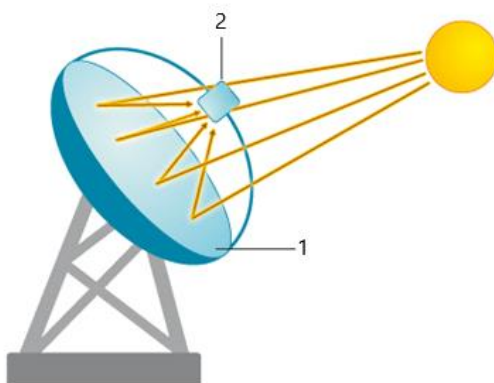
Материјал огледала	Рефлексија (%)
Сребро	94 ± 2
Злато	76 ± 3
Алуминизиран акрил	86
Анодно оксидован алуминијум	82 ± 5
Различите алуминијумске површине	82–92
Бакар	75
Стакло са слојем сребра	88

2.2.3.1. Сферни концентратор

Сферни концентратор се састоји од великог броја малих равних огледала, која су постављена на унутрашњем дијелу полусфере, чији је отвор окренут према Сунцу. Сферни концентратор може бити покретан или непокретан. Уколико је покретан, у његовој жижи се налази апсорберска посуда. Код непокретног сферног концентратора апсорберска посуда се креће пратећи помјерање његове жиже. У зависности од упадног угла Сунчевог зрачења, фактор концентрације сферног концентратора се креће од 50 до 150, а радна температура од 300 до 500 °C (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013).

2.2.3.2. Параболични концентратор

Параболични концентратор је нестационарни фокусирајући колектор у облику параболоида, у чијој се жижи налази апсорбер Сунчевог зрачења (Сл. 2.13).



Сл. 2.13. Параболични концентратор: 1) рефлектор, 2) апсорпциона посуда (Mohasin 2012)

Fig. 2.13. Parabolic concentrator: 1) reflector, 2) absorption dish (Mohasin 2012)

Помоћу параболичног концентратора врши се захват директног Сунчевог зрачења. Фактор концентрације расте са повећањем пречника концентратора, а тиме и температура у његовој елипсоидној жижи. Повећање димензија параболичног концентратора ограничено је издржљивошћу носеће конструкције и механичког система за његово покретање. Фактор концентрације параболичног концентратора креће се од 500 до 3.000, а радна температура од 500 до 2.000 °C (Павловић и Чабрић 2007).

2.2.3.3. Хелиостати

Под хелиостатом (Сл. 2.14) подразумева се систем већег броја огледала која рефлектују Сунчево зрачење у заједничку жижу у којој се налази апсорберска посуда. Код хелиостата се обично користе равна или благо закривљена огледала. Помоћу хелиостата је могуће у њиховој жижи постићи температуру до 3.500 °C. Код савремених хелиостата свако се огледало независно оријентише према Сунцу помоћу компјутерски вођеног носећег система.



Сл. 2.14. Хелиостатско поље са равним огледалима (Helioscsp 2015)
Fig. 2.14. Heliostatic field with flat mirrors (Helioscsp 2015)

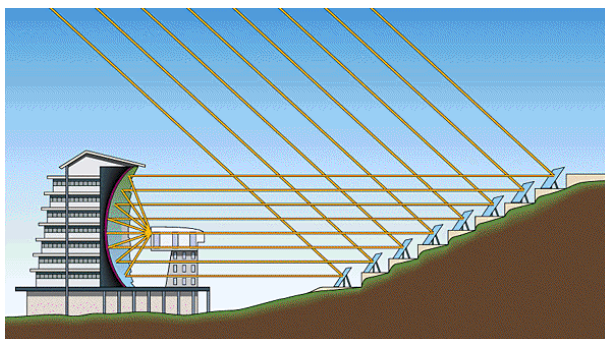
У пракси су присутна четири типа хелиостатских система, односно поља: Боингов (*Boeing*), Ханивелов (*Honeywell*), Мартин Маријета (*Martin Marietta*) и Мекдоналд-Дагласов (*McDonald-Douglas*) тип. Боингово хелиостатско поље састоји се од семицилиндричног алуминизираниог Миларовог рефлектора, који је заштићен помоћу пластичне тедлар фолије. У центру хелиостатског поља на стубу се налази покретни пријемник, на који се фокусира рефлектовано Сунчево зрачење. Ханивелово хелиостатско поље састоји се од четири механички повезана рефлектора на покретном систему са два степена слободе кретања. Мартин Маријета хелиостатско поље састоји се од девет фокусирајућих огледала, која су причвршћена за хелиостатски рам. Мекдоналд-Дагласово хелиостатско поље састоји се од октагоналних огледала, која су заштићена акрилним материјалом. Хелиостати се користе код соларних пећи и соларних термоелектрана (Павловић и Чабрић 2007).

2.2.3.4. Соларна пећ

У зависности од конструкције, разликују се три типа соларних пећи:

- соларна пећ са хелиостатским пољем равних огледала и торњем, на коме се налази апсорпциона посуда,
- соларна пећ са хелиостатским пољем равних огледала, која усмјеравају Сунчево зрачење на велико параболично огледало, у чијој се жижи налази апсорпциона посуда,
- соларна пећ код које се апсорпциона посуда налази у жижи више сферних или параболичних огледала.

Шематски приказ соларне пећи са параболичним огледалом у чијој се жижи налази апсорберска посуда дат је на Сл. 2.15. Код оваквих пећи се помоћу компјутерски вођених равних огледала Сунчево зрачење усмјерава на параболично огледало, у чијој се жижи достижу температуре до 4.000 °C (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013).



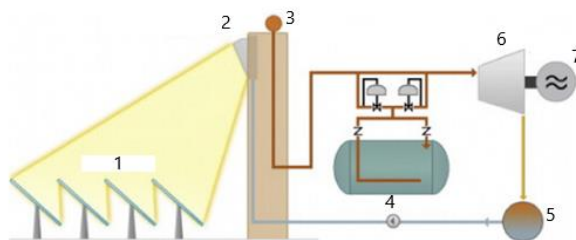
Сл. 2.15. Шематски приказ соларне пећи са параболичним огледалима (Павловић и сар. 2013)

Fig. 2.15. Schematic representation of a solar furnace with parabolic mirrors (Павловић и сар. 2013)

2.2.3.5. Соларне термоелектране

Соларне термоелектране са равним огледалима. Соларне термоелектране се састоје од хелиостатског поља, торња на коме се налази апсорберска посуда и система за претварање механичког рада загријане водене паре у електричну енергију (Сл. 2.16). Хелиостатско поље рефлектује Сунчево зрачење ка апсорберској посуди, у којој се вода претвара у пару. Водена пара под високим притиском експандира у парној турбини, гдје се механички рад

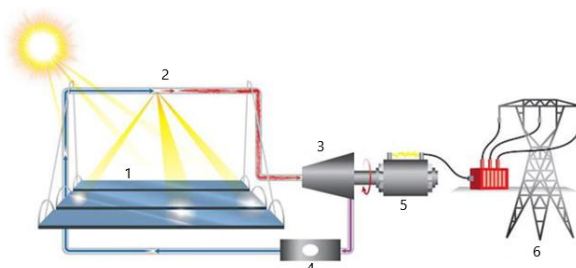
претвара у електричну енергију, која се предаје електродистрибутивној мрежи и потрошачима на коришћење.



Сл. 2.16. Шематски приказ соларне термоелектране: 1) хелиостатско поље, 2) пријемник, 3) водена пара, 4) посуда са воденом паром, 5) кондензатор водене паре, 6) турбина, 7) генератор електричне енергије (Павловић и сар. 2013)

Fig. 2.16. Schematic representation of a solar thermal power plant: 1) heliostatic field, 2) receiver, 3) water vapor, 4) water vapor dish, 5) water vapor condenser, 6) turbine, 7. electricity generator (Павловић и сар. 2013)

Соларне термоелектране са Френеловим огледалима. Ове термоелектране састоје се од равних или благо закривљених Френелових огледала, пријемника концентрисаног Сунчевог зрачења, цилиндрично-параболичних огледала, парне турбине и генератора електричне енергије (Сл. 2.17).



Сл. 2.17. Шематски приказ соларне термоелектране са Френеловим огледалима: 1) Френелова огледала, 2) цијеви са воденом паром, 3) парна турбина, 4) кондензатор водене паре, 5) генератор електричне енергије, 6) електродистрибутивна мрежа (Pavlović et al. 2012a)

Fig. 2.17. Schematic representation of a solar thermal power plant with Fresnel mirrors: 1) Fresnel mirrors, 2) steam pipes, 3) steam turbine, 4) water vapor condenser, 5) electricity generator, 6) electricity distribution network (Pavlović et al. 2012a)

У току дана се Френелова огледала аутоматски усмјеравају према Сунцу и рефлектују Сунчево зрачење ка цилиндрично-параболичном рефлектору, у чијој се жижи налази пријемник у виду дугих цијеви, кроз које протиче вода. Под дејством рефлектованог Сунчевог зрачења вода у пријемним цијевима испарава и под притиском прелази у парну турбину, која покреће генератор електричне енергије (Павловић и сар. 2013).

Соларне термоелектране са параболичним огледалима. Ове термоелектране се састоје од параболичних рефлектора у виду тањира, Стирлинговог мотора, који се налази у жижи тањира, и генератора електричне енергије (Сл. 2.18). У току дана соларни тањира се аутоматски усмјеравају према Сунцу и рефлектују Сунчево зрачење према Стирлинговом мотору. Помоћу параболичних тањира са фактором концентрације Сунчевог зрачења око 2.000, у њиховој жижи се постиже температура од 700 °С и притисци радног флуида (водоник или хелијум) од 200 bar (Павловић и сар. 2013). У Стирлинговом мотору загријани флуид пролази кроз клипове и омогућава ротационо кретање вратила, које покреће генератор електричне енергије, који производи електричну струју (US Department of Energy 2022).



Сл. 2.18. Соларна термоелектрана са Стирлинговим мотором (Reuters Events 2014)

Fig. 2.18. Solar thermal power plant with Stirling engine (Reuters Events 2014)

2.3. Фотонапонска конверзија Сунчевог зрачења

Под фотонапонском конверзијом Сунчевог зрачења подразумева се претварање енергије Сунчевог зрачења у електричну енергију. Фотонапонска конверзија Сунчевог зрачења врши се на соларним ћелијама, које се израђују од полупроводничких материјала, једноставне су грађе, немају покретне

дијелове, не загађују животну средину и имају различит вијек трајања у зависности од материјала од кога су израђене.

Развој соларних ћелија започео је 1839. године, када је Бекерел (франц. *Antoine Henri Becquerel*) примијетио да се јачина струје између двије електроде у електролиту повећава приликом освјетљавања електрода. Исти ефекат на чврстом тијелу (селену) први су примијетили Адамс (енгл. *William Grylls Adams*) и Деј (енгл. *R. E. Day*) 1877. године. Захваљујући овоме, убрзо је направљен уређај за мјерење интензитета свјетлости. Одмах затим, истраживачи су се окренули рјешавању проблема коришћења соларних ћелија као комерцијалних извора електричне енергије. Нагли развој соларних ћелија почео је 1954. године, када су Џералд Пирсон (енгл. *Gerald Pearson*), Калвин Фулер (енгл. *Calvin Fuller*) и Дерил Чепен (енгл. *Daryl Chapin*) направили прву соларну ћелију од монокристалног силицијума. Почев од лансирања првог сателита 1958. године, соларне ћелије представљају незамјенљив извор електричне енергије на сателитима, свемирским бродовима и станицама. У земаљским условима, од самог почетка развоја, соларне ћелије нашле су примјену на усамљеним објектима, свјетионицима, аеродромима, истраживачким платформама на мору, стамбеним и индустријским објектима, камповима, јахтама и на другим мјестима (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013).

2.3.1. Материјали и технологије за израду соларних ћелија

Данас се у свијету за израду соларних ћелија користе монокристални (с-Si), поликристални (р-Si) и аморфни (а-Si) силицијум, галијум-арсенид (GaAs), кадмијум-телурид (CdTe), Cu_2InSe_2 (CIS соларне ћелије), кадмијум-сулфид (CdS) и други материјали. При овоме се користи р-п спој на основу једног и више полупроводничких материјала од којих се формирају хетерогени спојеви као што је, на примјер, спој $\text{Cu}_2\text{InS}/\text{CdS}$. Поред овога, користи се и комбинација полупроводника р или п типа са металом, такозвана Шотки баријера, као што је на примјер Au/Si. У литератури се могу наћи подаци о особинама неколико десетина различитих лабораторијских соларних ћелија. Међутим, данас се комерцијалне соларне ћелије најчешће производе од монокристалног и поликристалног силицијума, галијум-арсенида, кадмијум-селенида и Cu_2InSe_2 . У посљедње вријеме се чине покушаји да се направе органске и перовските соларне ћелије.

За израду соларних ћелија користе се полупроводнички монокристални, поликристални и танкослојни материјали високе чистоће, који се добијају помоћу савремених технологија.

За допирање полупроводника сап (фосфор) и р донорима користи се дифузија из гасне фазе, дифузија из чврстог стања, епитаксијални раст допирајућег слоја, јонска инплантација итд. (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013; Pavlović et al. 2015; Pavlovic 2019).

2.3.2. Врсте соларних ћелија

2.3.2.1. Соларне ћелије од монокристалног силицијума

Соларне ћелије од монокристалног силицијума (с-Si) израђују се на плочицама од монокристалног силицијума полупроводничке чистоће (Сл. 2.19). За добијање монокристала силицијума користи се метода Чохралског и метода лебдеће зоне.



Сл. 2.19. Соларна ћелија од монокристалног силицијума (Pavlovic 2019)

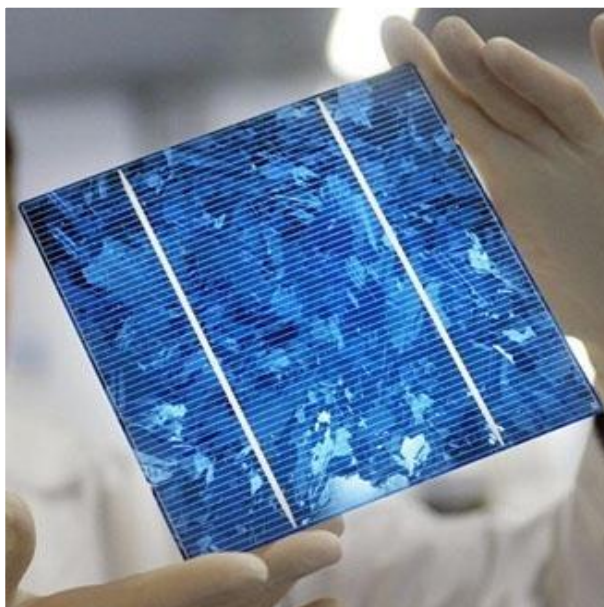
Fig. 2.19. Monocrystalline silicon solar cell (Pavlovic 2019)

Соларне ћелије од монокристалног силицијума осјетљиве су у области таласних дужина 0,4–1,1 μm . Максимум осјетљивости соларних ћелија од монокристалног силицијума налази се на таласним дужинама између 0,8–0,9 μm . Максимум осјетљивости соларних ћелија од монокристалног силицијума не поклапа се са максимумом интензитета терестријалног Сунчевог зрачења. На основу овога може да се закључи да монокристални силицијум није идеалан материјал за формирање соларних ћелија. Дебљина с-Si соларних ћелија је 300–400 μm .

У 2020. години ефикасност најбољих лабораторијских соларних ћелија од монокристалног силицијума износила је 26,7%, а најбољих лабораторијских соларних модула 24,4%. У 2020. години комерцијални соларни модули са с-Si соларним ћелијама имали су ефикасност око 17% (Pavlović et al. 2021).

2.3.2.2. Соларне ћелије од поликристалног силицијума

Соларна ћелија од поликристалног силицијума приказана је на Сл. 2.20. Соларне ћелије од поликристалног силицијума (p-Si) производе се од силицијума полупроводничке чистоће у облику траке, које је могуће добити на више различитих начина: методом раста траке са дефинисаном ивицом, методом дендритног умрежавања, методом хоризонталног, вертикалног и косог извлачења траке, растом силицијума на керамици, методом ротирајућег калупа итд. Дебљина p-Si соларних ћелија је око 1 мм. Соларне ћелије од монокристалног и поликристалног силицијума не могу дуго и правилно да раде на температури од 200 °С. Соларне ћелије од поликристалног силицијума производе се у разним облицима и димензијама.



Сл. 2.20. Соларна ћелија од поликристалног силицијума (Pavlović et al. 2015)
Fig. 2.20. Polycrystalline silicon solar cell (Pavlović et al. 2015)

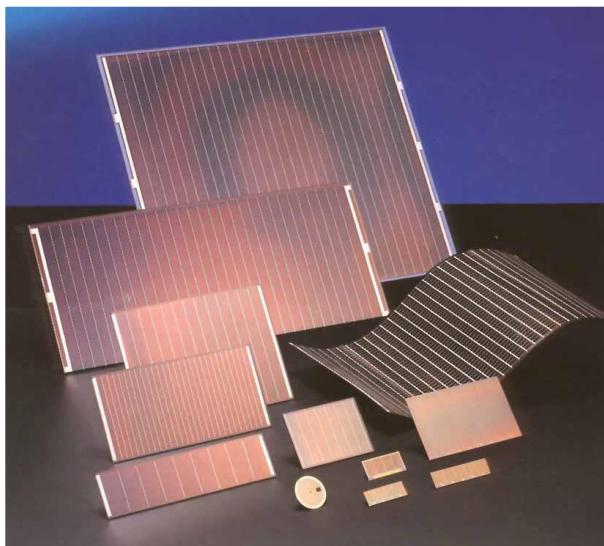
У 2020. години ефикасност најбољих лабораторијских соларних ћелија од поликристалног силицијума износила је 22,3%, а најбољих лабораторијских соларних модула 19,9%. У 2020. години комерцијални соларни модули са р-Si соларним ћелијама имали су ефикасност око 14% (Pavlović et al. 2021).

2.3.2.3. Соларне ћелије од аморфног силицијума

Аморфни силицијум (а-Si) добија се термичким разлагањем силана (SiH_4) у тињавом пражњењу. Соларне ћелије од аморфног силицијума имају дебљину око 1 μm .

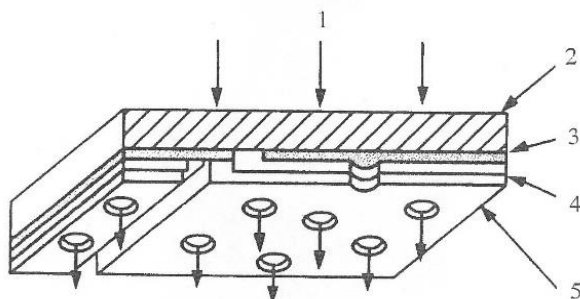
Нетранспарентне а-Si соларне ћелије на стаклу. Нетранспарентне а-Si соларне ћелије на стаклу формирају се капацитивно-радиофреквентним пражњењем силана (SiH_4) са дибораном (B_2H_6) као извором р-донора и фосфином (PH_4) као извором п-донора (Сл. 2.21).

Семитранспарентне а-Si соларне ћелије. У свијету се данас производе семитранспарентне соларне ћелије на стаклу, које пропуштају одређени проценат Сунчевог зрачења и производе електричну енергију (Сл. 2.22).



Сл. 2.21. Соларне ћелије од аморфног силицијума на стаклу и пластичној фолији (Pavlovic 2019)

Fig. 2.21. Amorphous silicon solar cells on glass and plastic foil (Pavlovic 2019)



Сл. 2.22. Семитранспарентне a-Si соларне ћелије: 1) Сунчево зрачење, 2) стакло, 3) транспарентна електрода, 4) a-Si слојеви, 5) метална електрода (Павловић и Чабрић 2007)

Fig. 2.22. Semi-transparent a-Si solar cells: 1) solar radiation, 2) glass, 3) transparent electrode, 4) a-Si layers, 5) metal electrode (Павловић и Чабрић 2007)

Соларне ћелије од аморфног силицијума на пластичној фолији. Прва a-Si соларна ћелија на пластичној фолији формирана је 1987. године. Соларне ћелије од аморфног силицијума на пластичној фолији су флексибилне, лаке и могу без оштећења да се савију у ролну најмањег пречника од 5 цм. Ефикасност комерцијалних a-Si соларних модула на стаклу и пластичној фолији је 5–8% (Павловић и Чабрић 2007; Павловић и сар. 2013; Pavlović et al. 2015; Pavlović 2019).

2.3.2.4. GaAs соларне ћелије

GaAs соларне ћелије производе се од монокристалног и поликристалног GaAs. Монокристални GaAs се добија од поликристалног GaAs Бриџмановом методом или методом Чохралског. Кристална структура GaAs слична је кристалној структури силицијума. Поликристалне GaAs соларне ћелије формирају се од поликристалног GaAs дебљине 2 μm . Данас се комерцијалне GaAs соларне ћелије формирају на два начина – допирањем GaAs и хетероепитаксијалном депозицијом AlAs или Al_xGa_{1-x}As из течне или парне фазе на монокристални GaAs. GaAs танкослојне соларне ћелије су лагане, флексибилне, отпорне на ултраљубичасто зрачење, Сунчево зрачење и влагу, и термостабилне на температурама до 250 °C.

Пошто су GaAs соларне ћелије термостабилне на вишим температурама, често се користе код фотонапонских система са концентраторима Сунчевог зрачења. Галијум је риједак и лако ломљив материјал, док је As токсичан.

Због високе цијене производње, GaAs соларне ћелије су знатно скупље од соларних ћелија од монокристалног и поликристалног силицијума. У 2020. години ефикасност GaAs соларних ћелија са концентраторима Сунчевог зрачења била је 38,9% (Pavlović et al. 2021).

2.3.2.5. CdTe соларне ћелије

CdTe са енергетским процјепом од приближно 1,5 eV, коефицијентом апсорпције приближно 105 cm^{-1} и могућношћу да са дебљином од неколико микрометара апсорбује приближно 90% упадног Сунчевог зрачења, представља скоро идеалан материјал за израду соларних ћелија. Танкослојне CdTe соларне ћелије осјетљиве су на таласне дужине 0,3–0,95 μm . CdTe соларне ћелије су максимално осјетљиве у области таласних дужина 0,7–0,8 μm .

Кадмијум и телур су веома токсични и канцерогени елементи. CdTe кристална структура је стабилна и за неколико редова величине мање токсична од чистог кадмијума. Велика токсичност Cd и Te и њихове ограничене природне резерве доводе у питање перспективе развоја и примјену CdTe соларних ћелија.

У 2020. години ефикасност најбољих лабораторијских CdTe соларних ћелија била је 21%, а најбољих лабораторијских CdTe соларних модула 19%. У 2020. години комерцијални CdTe соларни модули имали су ефикасност око 16% (Pavlović et al. 2021).

2.3.2.6. CIGS соларне ћелије

CIGS танкослојне соларне ћелије добијају се наношењем $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$ на стакло или пластичну основу. Ефикасност најбољих лабораторијских CIGS соларних ћелија у 2020. години била је 23,4%, а најбољих лабораторијских CIGS соларних модула 19,2%. У 2020. години комерцијални CIGS соларни модули имали су ефикасност око 10% (Pavlović et al. 2021).

2.3.2.7. CIS соларне ћелије

CIS танкослојне соларне ћелије добијају се наношењем CuInSe_2 на стакло или пластичну основу. CuInSe_2 са коефицијентом апсорпције Сунчевог зрачења $3 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ на таласним дужинама мањим од 1 μm , и енергетским процјепом 0,95–1,2 eV погодан је материјал за израду соларних ћелија.

CIS соларне ћелије осјетљиве су на Сунчево зрачење у области таласних дужина 0,4–1,3 μm . Максимална осјетљивост CIS соларних ћелија је на таласним дужинама 0,7–0,8 μm . У 2020. години ефикасност комерцијалних CIS соларних модула била је око 7,5–9% (Pavlović et al. 2021).

2.3.2.8. Органске соларне ћелије

Органске соларне ћелије састоје се од органских полупроводника р и п типа. Код оваквих органских соларних ћелија органски полимери се користе као р-полупроводници, а фулерени као п-полупроводници. Органске соларне ћелије су осјетљиве на влагу, под чијим се дејством у њима формирају мјехурићи и шупљине, термостабилне су и деградирају под дејством Сунчевог зрачења. Трајност соларних ћелија од монокристалног силицијума процјењује се на 25 година, а органских соларних ћелија на годину дана. У 2018. години тандем органске соларне ћелије имале су ефикасност 17,3%.

У циљу шире комерцијалне примјене органских соларних ћелија треба да се ријеши проблем њихове ефикасности, стабилности у експлоатационим условима и дужина трајања (Pavlović et al. 2015; Pavlovic 2019).

2.3.2.9. Перовските соларне ћелије

Перовските соларне ћелије састоје се од хибридних органско-неорганских олово или калај халидних материјала као апсорбера Сунчевог зрачења. Материјали за перовските соларне ћелије, као што су металамонијум, олово халиди и сви неоргански цезијум олово халиди су јефтине и једноставне за производњу. Перовските соларне ћелије механички су нестабилне, осјетљиве су на промјену температуре, утицај атмосферелија и ултраљубичастиг зрачења.

У 2020. години ефикасност најбољих лабораторијских перовските соларних ћелија износила је 21,6%, а најбољих лабораторијских перовските соларних модула 16,1% (Pavlović et al. 2021).

2.3.3. Фотонапонски соларни системи

Под фотонапонским соларним системима подразумевају се системи помоћу којих се електрична енергија добијена помоћу соларних ћелија предаје потрошачима у виду једносмјерне или наизмјеничне струје.

У погледу намјене фотонапонски системи се могу подијелити на самосталне системе и системе везане за електродистрибутивну мрежу. У самосталне фотонапонске системе, који се користе за снабдијевање потрошача једносмјерном струјом, спадају системи који се састоје од соларних ћелија (соларних модула), регулатора пуњења акумулатора и акумулатора. У самосталне фотонапонске системе, који се користе за снабдијевање потрошача наизмјеничном струјом, спадају системи који се састоје од соларних ћелија (модула), регулатора пуњења акумулатора, акумулатора и претварача једносмјерног у наизмјенични напон (инвертора). Самостални фотонапонски системи користе се на индивидуалним стамбеним објектима који су удаљени од електродистрибутивне мреже, код метеоролошких станица, свјетионика, ријечних и морских пловила, уличне сигнализације, уличних пуњача мобилних телефона итд.

Фотонапонски системи везани за електродистрибутивну мрежу састоје се од соларних ћелија, претварача једносмјерног у наизмјенични напон и двосмјерног електричног бројила. Помоћу овог бројила се региструје износ електричне енергије из фотонапонског система предат електродистрибутивној мрежи и износ електричне енергије који се узима из електродистрибутивне мреже. Фотонапонски системи везани за градску мрежу користе се за предавање електричне енергије електродистрибутивној мрежи (Pavlović et al. 2015; Павловић и сар. 2018).

2.3.4. Соларне електране

Под соларним електранама подразумевају се фотонапонски системи који се састоје од: соларних модула, претварача једносмјерног у наизмјенични напон, компјутерског система за контролу рада соларне електране, трафо-станице, метеоролошке станице и прикључака за електродистрибутивну мрежу.

У погледу конструкције разликују се три типа соларних електрана: стационарне, једноосно и двоосно ротационе соларне електране. Код стационарних соларних електрана соларни модули су стационарни и окренути према југу. Код једноосно ротационих соларних електрана соларни модули се окрећу према Сунцу око једне осе. Код двоосно ротационих соларних електрана соларни модули се подешавају према Сунцу помјерањем око двије осе. Помоћу ротационих соларних електрана добија се око 20–30% више електричне енергије у односу на стационарне соларне електране (Stevović et al. 2019).

У пракси је примијећено да се ефикасност соларних модула смањује са повећањем њихове задрљаности. Чишћење соларних модула врши се ручно

или аутоматски помоћу одговарајућих система са прскалицама (Pavlović et al. 2015; Павловић и сар. 2018).

У свијету је до сада инсталирано 515 GW р фотонапонских система у виду соларних електрана, на крововима и фасадама постојећих стамбених и других објеката. За коришћење фотонапонских система нису неопходне велике површине обрадивог земљишта. У градским и руралним срединама фотонапонски системи могу да се инсталирају на постојећим стамбеним и другим објектима. Соларни модули као фасадни елементи могу да допринесу естетском изгледу и функционалности постојећих и нових стамбених и других објеката. На наведени начин инсталирани фотонапонски соларни системи представљају диверзификоване изворе електричне енергије, који доприносе енергетској независности земље. Поред овога, фотонапонски системи могу да допринесу обезбјеђивању електричне енергије у случају војне агресије или акциденталног или намјерног рушења великих електроенергетских система у земљи.

У свијету се константно повећава број соларних електрана и интегрисаних фотонапонских система. Такав тренд примјене фотонапонских система слиједи Србија и Република Српска, у којима има довољно Сунца за исплативу производњу електричне енергије помоћу фотонапонских система. У погледу развоја фотонапонске конверзије Сунчевог зрачења перспективе Србије и Републике Српске су јако добре.

2.4. Хибридна конверзија Сунчевог зрачења

2.4.1. Хибридни колектор Сунчевог зрачења

Под хибридном конверзијом Сунчевог зрачења подразумијева се истовремено претварање Сунчевог зрачења у топлотну и електричну енергију у хибридном колектору. Хибридни колектор се састоји од: кутије, хибридног апсорбера, термоизолације и заштитног стакла (Сл. 2.23). Хибридни апсорбер се састоји од носеће металне конструкције са цијевима за проток воде и соларних ћелија, које се налазе на његовој предњој страни. Хибридни колектори могу да се користе код приватних кућа, стамбених зграда, туристичких објеката, болница, школа, намјенских и других објеката за загријавање санитарне воде и добијање електричне енергије. Загријана вода се термосифонским путем или помоћу циркулационе пумпе одводи до соларног бојлера. Електрична енергија се преко регулатора пуњења акумулатора одводи до акумулатора, а затим се директно или преко DC/AC инвертора предаје потрошачима.



Сл. 2.23. Хибридни колектор Сунчевог зрачења (Pavlović et al. 2021)

Fig. 2.23. Hybrid collector of solar radiation (Pavlović et al. 2021)

Хибридни колектори омогућавају боље искоришћење простора, уштеде приликом израде носеће конструкције и истовремену конверзију Сунчевог зрачења у топлотну и електричну енергију у једном уређају (Павловић и Чабрић 2007).

2.5. Пасиван захват Сунчевог зрачења

Под директним (пасивним) захватом Сунчевог зрачења подразумејева се захват који се одвија помоћу датог објекта без додатних уређаја за захват Сунчевог зрачења и његову трансформацију у друге облике енергије. Основни елементи соларне архитектуре су: правилна оријентација објекта, надстрешница, прозори, топлотни застори, боја зидова и намјештаја, Тромбов зид, водени зид, стаклена веранда, подно складиште топлоте итд.

2.5.1. Оријентација објекта

Код директног захвата Сунчевог зрачења објекат треба оријентисати према југу, са могућим одступањем од 20° према истоку и 30° према западу. За наведена одступања објекат ће примити до 10% мање енергије од енергије коју би примио када би био оријентисан строго према југу. Приликом одступања оријентације објекта у односу на југ за 45° долази до умањења пасивног захвата Сунчевог зрачења до 20%.

2.5.2. Надстрешница

Надстрешница треба да буде таквих димензија да у току љета спријечи а у току зиме омогући продор Сунчевог зрачења у објекат за становање. За ту сврху се користе непокретне и покретне надстрешнице. Са покретним може да се постигне оптимални захват Сунчевог зрачења у току цијеле године.

2.5.3. Прозори

У соларној архитектури прозори заузимају 60–90% јужне фасаде објекта за становање. Величина прозора на објекту зависи од врсте и намјене објекта, односно просторија на којима се налазе, величине надстрешнице, масе зидова, топлотних застора итд. Ограничавајући фактор приликом димензионисања прозора представља могуће прегријавање просторија под дејством Сунчевог зрачења. Број стакала на прозорима зависи од климатских услова у којима се налази дати објекат. На примјер, у приморју су довољни једноструки прозори, у континенталним дијеловима двоструки, а у сјеверним дијеловима троструки.

2.5.4. Топлотни застори

Топлотни застори се користе за заштиту од прегријавања и за спречавање топлотних губитака из просторија. Топлотни застори су покретни и могу да се налазе са унутрашње или спољашње стране прозора. Топлотни застори за спречавање прегријавања свјетлије су боје и ефикаснији су уколико се налазе са спољашње стране прозора. Топлотни застори за спречавање топлотних губитака обично се налазе са унутрашње стране прозора.

2.5.5. Боје зидова и намјештаја

На захват Сунчевог зрачења утиче боја зидова. Зидови тамнијих боја више апсорбују Сунчево зрачење од зидова свјетлијих боја. У соларној архитектури прихватљиви су обојени зидови са коефицијентом апсорпције 0,5–0,8. Поред зидова, Сунчево зрачење пада и на намјештај у просторијама. При директном упаду Сунчевог зрачења намјештај се више загријава од зидова зато што за исту површину има мању масу, тако да доприноси повећању температуре у просторијама. У пракси се показало да је са становишта соларне архитектуре дозвољено да намјештај апсорбује 20–30% упадног Сунчевог зрачења.

2.5.6. Тромбов зид

У мјесту Одеју у Пиринејима (Француска) Феликс Тромб (франц. *Félix Trombe*) 1965. године саградио је кућу са тамним зидом на јужној страни, који је по њему добио назив Тромбов зид. Помоћу овог зида Тромб је демонстрирао могућност ефикасне пасивне топлотне конверзије Сунчевог зрачења. Зид је истовремено служио као апсорбер, као складиште топлоте и као гријно тијело за загријавање унутрашњих просторија. Тромбов зид се обично израђује од цигле или бетона дебљине 20–40 цм. На растојању 2–10 цм испред зида налази се стакло. У пракси се користе двије конструкционе варијанте Тромбовог зида – без отвора и са отворима према унутрашњим просторијама при основи и врху зида.

2.5.7. Стаклена веранда

Коришћење стаклене веранде као саставног дијела стамбеног објекта познато је од давнина. Стаклена веранда као незаобилазан дио соларне архитектуре поставља се на јужну страну стамбеног објекта. Помоћу стаклене веранде се врши захват директног и дифузног Сунчевог зрачења.

2.5.8. Подно складиште топлоте

Као подно складиште топлоте најчешће се користи ријечни шљунак, који се депонује испод пода куће. Топао ваздух се из стаклене веранде помоћу вентилатора преноси до шљунка испод пода просторије. Топао шљунак зрачењем загријава просторију, док хладан ваздух из шљунка у току ноћи одлази у стаклену веранду (Павловић и Чабрић 2007).

2.6. Утицај соларне енергетике на климатске промјене

2.6.1. Утицај фототермалне конверзије Сунчевог зрачења на климатске промјене

У нискотемпературној конверзији Сунчевог зрачења за израду равних колектора са водом и ваздухом користе се алуминијум, бакар, стакло, гума, полиуретан итд. и технологије које не загађују животну средину. У току

експлоатације равни колектори са водом и ваздухом не загађују околину и немају негативан утицај на климатске промјене.

У средњетемпературној конверзији Сунчевог зрачења користи се: Винстонов параболични, цилиндрично-параболични, цијевно-вакуумски, трапезоидно-фокусирајући и спирално-фокусирајући колектор, те соларне пећнице, за чију израду се користе гвожђе, алуминијум, стакло итд. Наведени колектори Сунчевог зрачења у току експлоатације не загађују околину и немају негативан утицај на климатске промјене.

За високотемпературну конверзију Сунчевог зрачења користе се сферни и параболични концентратори Сунчевог зрачења, хелиостати, соларне пећи и соларне термоелектране. Концентратори за високотемпературну конверзију Сунчевог зрачења израђују се од материјала који не загађују околину и немају негативан утицај на климатске промјене.

Послије употребе од 20 до 30 година системи за фототермалну конверзију Сунчевог зрачења се рециклирају технологијама које немају негативан утицај на животну средину и климатске промјене.

2.6.2. Утицај фотонапонске конверзије Сунчевог зрачења на климатске промјене

Данас се у свијету код фотонапонских система углавном користе соларне ћелије од монокристалног и поликристалног силицијума добијене технологијама које не загађују животну средину. GaAs и CdTe соларне ћелије се у мањој мјери користе због њиховог могућег токсичног дејства на животну средину. У посљедње вријеме у свијету се улажу велики напори да се пронађу ефикасне, дуготрајне и еколошки прихватљиве органске и перовските соларне ћелије.

Соларне ћелије немају покретне дијелове, бешумно производе електричну енергију и не емитују штетне материје у околину. Послије истека радног вијека од 25 до 30 година, соларне ћелије се рециклирају технологијама које немају негативан утицај на животну средину.

Код самосталних фотонапонских система најосјетљивији дио представљају акумулатори, који се послје истека радног вијека искључују из рада и рециклирају. Оловни, NiCd и слични акумулатори у себи садрже токсичне материје које у току њиховог рада и рециклирања могу да имају негативан утицај на животну средину. У посљедње вријеме се код фотонапонских система све више користе Li-јонски акумулатори, који имају дужи радни вијек и мање неповољан утицај на животну средину.

2.6.3. Утицај хибридне конверзије Сунчевог зрачења на климатске промјене

За израду хибридних колектора Сунчевог зрачења користи се: бакар, алуминијум, стакло, гума, полиуретан и соларне ћелије од различитих материјала. Наведени материјали и технологије за производњу соларних ћелија нису штетни за околину и немају негативан утицај на климатске промјене. Хибридни колектор је стационарни фотоконверзиони систем који у току експлоатације не емитује штетне материје у околину и нема негативан утицај на климатске промјене.

2.6.4. Утицај пасивног захвата Сунчевог зрачења на климатске промјене

За израду стамбених и других објеката за пасиван захват Сунчевог зрачења помоћу надстрешница, прозора, топлотних застора, боје зидова и намјештаја, Тромбовог зида, фазно промјенљивог и подног складишта топлоте и стаклене веранде користе се материјали који не загађују животну средину (камен, цигла, бетон, гвозђе, алуминијум, стакло итд.). Наведени материјали и системи немају штетно дејство на околину и немају негативан утицај на климатске промјене.

2.7. Закључак

На основу изнијетог може да се закључи да се данас у свијету све више користе фотоконверзиони системи за загријавање воде и добијање електричне енергије. За загријавање воде и ваздуха до 100 °C користе се равни колектори Сунчевог зрачења. За загријавање радног флуида (уља) од 100 до 400 °C користе се средњетемпературни колектори са концентраторима Сунчевог зрачења. За загријавање апсорпционе посуде од 400 до 4.000 °C користе се високотемпературни концентратори Сунчевог зрачења. Фотоконверзиони системи израђују се од материјала који у току експлоатације и рециклаже не загађују околину и немају негативан утицај на климатске промјене.

За израду соларних ћелија користе се монокристални (с-Si, GaAs), поликристални (p-Si, GaAs) и танкослојни полупроводнички материјали (CdTe, CIS, CIGS, органске, перовските). Од наведених материјала токсични су As и Cd. Соларне ћелије се производе и рециклирају помоћу савремених технологија које не загађују околину.

Фотонапонски системи састоје се од соларних ћелија, регулатора пуњења акумулатора, акумулатора, претварача једносмјерног у наизмјенични напон, контролног компјутерског система, метеоролошке станице итд. Од наведених компонената, акумулатори у себи имају хемијске елементе који би у акциденталним ситуацијама могли да имају штетно дејство на околину.

За истовремено претварање Сунчевог зрачења у топлотну и електричну енергију користе се хибридни колектори, који се израђују од материјала који се користе за израду равних колектора и соларних ћелија.

За пасиван захват Сунчевог зрачења користе се класични грађевински материјали (камен, цигла, бетон, цријеп, стакло, гвожђе итд.) који не загађују животну средину.

У савременој соларној енергетици користе се материјали и системи који не загађују околину и немају негативан утицај на климатске промјене.

Литература

- Gosun (2021) Box Solar Oven: Advantages and Disadvantages. Доступно на: <https://gosun.co/blogs/news/box-solar-oven-advantages-and-disadvantages>, Приступљено: 22. децембар 2021
- Eco-Business (2021) First Solar Bread Oven Takes a Bow. Доступно на: <https://www.eco-business.com/news/first-solar-bread-oven-takes-bow/>, Приступљено: 15. октобар 2021
- Mirjanić DLj, Pavlović TM, Radonjić Mitić I, Piršl DS, Sazhko G, Marić Stanković A (2019) Renewable Energy Sources in Society. Proceedings of International Conference „APPROACHING 20?? YEAR“, May 16 – 18 2019, Podgorica, Montenegrin Academy of Sciences and Arts, Book of Proceedings, Volume 153, pp 183–189
- Mirjanić DLj, Pavlović TM, Radonjić IS, Pantić LS, Marić AV, Sazhko GI (2020) Solar Radiation Atlas in Trebinje in the Republic of Srpska”, Proceedings of International Scientific Conference UNITECH 2020, November 20 – 21, 2020, Gabrovo, Technical University of Gabrovo, Book of Proceedings, pp I-33–I-38
- Mirjanić DLj, Pavlović TM, Radonjić IS, Pantić LS, Sazhko GI (2021) Solar Radiation Atlas in Banja Luka in the Republic of Srpska. Contemporary Materials 12(1):39–49. doi.10.7251/COMEN2101039M
- Mohasin (2012) Parabolic Dish System. Доступно на: <https://shaikmohasin.wordpress.com/2012/08/25/parabolic-dish->, Приступљено: 15. октобар 2021
- Pavlovic T (ed) (2019) The Sun and Photovoltaic Technologies. Springer, Cham, pp 416
- Павловић ТМ, Чабрић БД (2007) Физика и техника соларне енергетике. Грађевинска књига, Београд, стр 342

- Павловић Т (2008) Савремена достигнућа у савременој енергетици. Доступно на: <https://slideplayer.gr/slide/13988769/>, Приступљено: 22. децембар 2021
- Pavlović T, Radonjić I, Milosavljević D, Pantić L (2012a) A Review of Concentrating Solarpower Plants in the World and Their Potential Use in Serbia. *Renewable and SustainableEnergy Reviews* 16(6):3891–3902. doi.10.1016/j.rser.2012.03.042
- Pavlović T, Radonjić I, Milosavljević D, Pantić L, Piršl D (2012b) Assessment and Potential Use of Concentrating Solar Power Plants in Serbia and Republic of Srpska. *Thermal Science* 16(3):931–945. doi.10.2298/TSCI111027100P
- Павловић ТМ, Милосављевић ДД, Мирјанић ДЉ (2013) Обновљиви извори енергије. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, стр 364
- Pavlović TM, Tripanagnostopoulos Y, Mirjanić DLj, Milosavljević DD (2015) Solar Energy in Serbia, Greece and the Republic of Srpska. *Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka*, pp 694
- Павловић ТМ, Мирјанић ДЉ, Милосављевић ДД (2018) Електроенергетика у Србији и Републици Српској. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, стр 527
- Pavlović TM, Mirjanić DLj, Radonjić IS, Divnić D, Sazhko GI (2021) Renewable Energy and Climate Change in Serbia and the Republic of Srpska. *Contemporary Materials* 12(2):151–165. doi.10.7251/COMEN2102151P
- Pantić LS, Pavlović TM, Milosavljević DD, Radonjić IS, Radović MK, Sazhko G (2016) The Assessment of Different Models to Predict Solar Module Temperature, Output Power and Efficiency for Nis, Serbia. *Energy* 109(2016):38–48. doi.10.1016/j.energy.2016.04.090
- Pinterest (2021) Using the Sun. Доступно на: <https://www.pinterest.com/pin/143341200612023954/?autologin=true>, Приступљено: 22. децембар 2021
- Radonjić IS, Pavlović TM, Mirjanić DLj, Radović MK, Milosavljević DD, Pantić LS (2017) Investigation of the Impact of Atmospheric Pollutants on Solar Module Energy Efficiency. *Thermal Science* 21(5):2021–2030. doi.10.2298/TSCI160408176R
- Radonjić IS, Pavlović TM, Mirjanić DLj, Radović MK, Sazhko G (2018) Soiling Influence on the Short-Circuit Current of Solar Module Mounted at the Optimal Angle. *Proceedings of International Scientific Conference „UNITECH 2018“, November 16 – 17, 2018, Gabrovo, Technical University of Gabrovo, Book of Proceedings, Volume I*, pp I-28–I-31
- Radonjić I, Pavlović T, Mirjanić D, Pantić L (2021) Investigation of Fly Ash Soiling Effects on Solar Modules Performances. *Solar Energy* 220(2021):144–151. doi.10.1016/j.solener.2021.03.046
- Reuters Events (2014) Dish Stirling for Dubai? Доступно на: <https://www.reutersevents.com/renewables/csp-today/markets/dish-stirling-dubai>, Приступљено: 18. октобар 2021
- Solarni sistemi (2021) Secutherm – termosifonski sistem. Доступно на: http://solarni-sistemi-wagner.si/soncna_energija/solarno_ogrevanje_

- in_topla_voda/solarni_paketi/paketi_za_toplo_vodo/secutherm_termosifonski_sistem/page-all/, Приступљено: 20. децембар 2021
- Sopogy (2011) Sopogy Launches Next Generation of Concentrating Solar Thermal Collector. Доступно на: <https://www.sopogy.org/blog/tag/concentrated-solar-power/>, Приступљено: 22. децембар 2021
- Stevović I, Mirjanić D, Stevović S (2019) Possibilities for Wider Investment in Solar Energy Implementation. Energy 180:495–510. doi.10.1016/j.energy.2019.04.194
- US Department of Energy (2022) Dish/Engine System Concentrating Solar-Thermal Power Basics. Доступно на: <https://www.energy.gov/eere/solar/dishengine-system-concentrating-solar-thermal-power-basics>, Приступљено: 12. април 2022
- Helioscsp (2015) Concentrated Solar Power SolarReserve Receives Edison Award for Innovation in Energy & Sustainability. Доступно на: <https://helioscsp.com/concentrated-solar-power-solarreserve-receives-edison-award-for-innovation-in-energy-sustainability/>, Приступљено: 15. октобар 2021
- Centrometal (2022) CVSKC-10 (vacuum tube solar collector). Доступно на: https://www.centrometal.hr/en/portfolio/cvskc-10-vacuum-tube-solar-collector_en/, Приступљено: 12. април 2022

Solar Energy and Climate Change

Dragoljub Mirjanić, Tomislav Pavlović, Ivana Radonjić, Galina Sazhko

Summary

Modern solar energy is based on photothermal, photovoltaic and hybrid solar radiation conversion and passive capture of solar radiation. Photothermal conversion of solar radiation takes place in low-temperature, medium-temperature, and high-temperature photoconversion systems. Flat collectors with water and air are used for low-temperature conversion of solar radiation. Solar concentrators are used for medium-temperature conversion of solar radiation. Concentrators with heliostatic fields and parabolic reflectors of solar radiation are used for high-temperature conversion of solar radiation. Solar cells made of different materials are utilized for the photovoltaic conversion of solar radiation. Stand-alone and photovoltaic systems connected to the electricity distribution network are used to supply consumers with electricity. Fixed tilt, single or dual-axis tracking solar power plants are designed with the aim to generate a larger amount of electricity. Hybrid solar collectors are used for the simultaneous conversion of solar radiation into heat and electricity. For passive capture of solar radiation, individual residential and other buildings are used, which are built in accordance with the principles of solar architecture. Solar energy uses mainly environment-friendly materials, except toxic As and Cd in GaAs and CdTe solar cells. Devices used in solar energy do not emit harmful substances and do not have an adversary impact on climate change.

Keywords: Solar energy, climate change, photothermal, photovoltaic, hybrid and passive solar radiation conversion