

# SOLARNI SUSTAV GRIJANJA VODE ZA OBITELJSKU KUĆU

---

**Marić, Filip**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:244953>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-11**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

# SOLARNI SUSTAV GRIJANJA VODE ZA OBITELJSKU KUĆU

---

**Marić, Filip**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:244953>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2023-02-16**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
*Stručni studij Strojарstva*

Filip Marić

**Solarni sustav grijanja vode za  
obiteljsku kuću**

**Solar water heating system for a  
family house**

Završni rad

Karlovac, 2019.

---

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
*Stručni studij Strojарstva*

Filip Marić

**Solarni sustav grijanja vode za  
obiteljsku kuću**

**Solar water heating system for a  
family house**

Završni rad

Mentor: dr.sc. Radoslav Korbar

Karlovac, 2019.

---

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tokom studija i uz navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svojim roditeljima Zoranu i Biserki na neizmjenoj podršci tokom studija, te isto tako svima ostalima koji su me pratili tokom školovanja.

---

## Sadržaj:

POPIS SLIKA.....	6
POPIS TABLICA.....	7
POPIS OZNAKA.....	8
SAŽETAK.....	9
SUMMARY.....	10
1. UVOD.....	11
2. VRSTE SOLARNIH TOPLOVODNIH KOLEKTORA.....	12
2.1. PLOČASTI KOLEKTORI.....	12
2.2. VAKUMSKI KOLEKTORI.....	13
2.3. KONCENTRIRANI SUNČEVI SUSTAVI.....	15
2.4. PARABOLIČNI KOLEKTORI.....	17
2.5. FRESNELOVI KOLEKTORI.....	19
2.6. SUNČEVI TORNJJEVI.....	21
2.7. SUNČEVI TANJURI.....	24
2.8. OVISNOST KONCENTRIRANIH SOLARNIH SUSTAVA O SUNČEVOM ZRAČENJU.....	26
2.8.1. POVEĆANJE EFIKASNOSTI KONCENTRIRANIH SOLARNIH SUSTAVA.....	26
2.8.2. USPOREDBA KONCENTRIRANIH SUNČEVIH SUSTAVA.....	27
2.9. DIJELOVI SOLARNIH KOLEKTORA.....	28
2.9.1. APSORBER.....	28
2.9.2. SPREMNIK TOPLINSKE ENERGIJE.....	29
2.9.3. FLUID ZA PRIJENOS TOPLINE (RADNI MEDIJ).....	32
2.9.4. PUMPA ZA CIRKULACIJU RADNOG MEDIJA.....	33
2.9.5. IZMJENJIVAČ TOPLINE.....	35
2.9.6. POKRIVNO ZAŠTITNO STAKLO.....	36
2.9.7. KUTIJA SOLARNOG KOLEKTORA.....	36
2.9.8. IMPLEMENTACIJA SOLARNIH KOLEKTORA NA OBITELJSKOJ KUĆI.....	37
3. EKSPERIMENTALNI DIO.....	38
3.1. PRORAČUN I DIMENZIONIRANJE SOLARNOG SUSTAVA ZA KUĆU.....	38
3.2. POTREBNA TOPLINSKA ENERGIJA ZA PTV.....	40

3.3. ODREĐIVANJE VOLUMENA SPREMNIKA.....	40
3.4. INSTALACIJA SOLARNOG SUSTAVA.....	40
4. ZAKLJUČAK.....	43
LITERATURA.....	44

## Popis slika:

SLIKA 1. PRESJEK SOLARNOG KOLEKTORA.....	13
SLIKA 2. PRESJEK APSORBERA VAKUUMSKOG KOLEKTORA.....	14
SLIKA 3. KONSTRUKCIJA "U" CIJEVI.....	14
SLIKA 4. TOPLINSKA CIJEV.....	15
SLIKA 5. SOLARNI KONCENTRIRANI SUSTAV SA TORNJEM.....	16
SLIKA 6. POJEDNOSTAVLJENI PRIKAZ PARABOLIČNIH SOLARNIH SUSTAVA.....	17
SLIKA 7. SHEMA DOBIVANJA EL. ENERGIJE POMOĆU PARABOLIČNIH KOLEKTORA.....	17
SLIKA 8. SHEMATSKI PRINCIP RADA FRESNELOVIH SOLARNIH SUSTAVA.....	20
SLIKA 9. FRESNELOV SOLARNI SUSTAV U PRIMJENI.....	21
SLIKA 10. PRIKAZ ELEKTRANE SA SUNČEVIM TORNJEM.....	22
SLIKA 11. POGLED NA HELIOSTATE U ELEKTRANI SA SUNČEVIM TORNJEM.....	23
SLIKA 12. IZGLED SUNČEVIH TANJURA.....	24
SLIKA 13. SHEMATSKI PRIKAZ KOMPONENTI SUNČEVIH TANJURA.....	25
SLIKA 14. SPREMNIK SA SPIRALNIM IZMJENJIVAČEM.....	30
SLIKA 15. SPREMNIK SA VANJSKIM IZMJENJIVAČEM.....	31
SLIKA 16. POVRŠINE ZA PRIJENOS TOPLINE U SPREMNIKU.....	31
SLIKA 17. PRIKAZ SUSTAVA PUMPE.....	33
SLIKA 18. MODERNA DIFERENCIJALNA PUMPA.....	34
SLIKA 19. PRINCIP PRIJENOSA TOPLINE.....	35
SLIKA 20. IMPLEMENTACIJA SOLARNIH KOLEKTORA NA KUĆI.....	37
SLIKA 21. PLOČASTI SOLARNI KOLEKTORI.....	42

## Popis tablica:

TABLICA 1. USPOREDBA KONCENTRIRANIH SOLARNIH TEHNOLOGIJA.....	26
TABLICA 2. PARAMETRI SOLARNIH SUSTAVA.....	37
TABLICA 3. OSNOVNI PODACI.....	38
TABLICA 4. REZULTATI KALKULATORA.....	38
TABLICA 5. SMANJENJE CO <sub>2</sub> EMISIJE.....	38



## Popis oznaka:

Oznaka	Jedinica	Opis
$T$	°C	Temperatura
$t$	h	Vrijeme
$\dot{m}$	kg/s	Maseni protok
$n$	-	Redni broj dana u godini
$G_{sun}$	W/m <sup>2</sup>	Sunčeva insolacija
$A_{kol}$	m <sup>2</sup>	Površina kolektora
$Vf$	L	Kolicina potrosne vode
$f$	-	Broj korisnika
$\vartheta_{w-de1}$	°C	Ulazna temperatura vode
$\vartheta_0$	°C	Temperatura svježe vode
$\vartheta_t$	°C	Temperatura vode u spremniku
$Q$	kW/h	Toplinska energija
$ESG$	-	Oznaka specijalnog stakla za solarne kolektore

## Sažetak

Solarni kolektori sve su češći izbor u solarnim elektranama i na krovovima obiteljskih kuća zbog svojih brojnih prednosti. Njihova velika koncentrirana energija i malo zauzeće površine kolektorskim jedinicama, daju im veliku prednost u odnosu na solarne fotonaponske panele.

Analizom raznih kolektorskih sustava u kojima je glavni radni medij fluid, utvrđene su razlike između pojedinih sustava, prednosti, karakteristike i prikazan princip rada svakog sustava zasebno. Detaljno su opisani koncentrirani sunčevi sustavi i izrađena je tablica na strani 26. u kojoj su uspoređeni svi parametri ovih sustava te je dan pregled najefikasnijeg sustava. Opisan je i solarni kolektorski sustav za obiteljske kuće, gdje je fokus stavljen na pregled parametara za obiteljsku kuću sa četveročlanom familijom kao i način odabira toplovodnih pločastih solarnih kolektora u odnosu na dostupne sunčane sate na lokaciji objekta. Izračunata je i razlika u uštedi na smanjenju CO<sub>2</sub> te rok otplate cijelo-ukupnog sustava. Dimenzioniran je sustav sa potrebnom površinom kolektora od 3.90 m<sup>2</sup> i spremnikom tople vode od 400 l.

Ključne riječi: Solarni kolektori, sunčevi sustavi.

## Summary

Solar collectors are an increasingly common choice in solar power plants and on the roofs of single-family homes due to their many benefits. Their high concentrated energy and low surface area of collector units give them a big advantage over solar photo-voltage panels.

By analyzing the various collector systems in which the main working medium is fluid, the differences between the individual systems, advantages, characteristics and the principle of operation of each system are determined. Concentrated solar systems are described in detail and a table on page 26. has been created comparing all the parameters of these systems and giving an overview of the most efficient system. A solar collector system for a single-family home is also described, where the focus is on reviewing the parameters for a family home with a four-member family, as well as how to select hot-plate solar collectors in relation to the available sunshine at the location of the facility. The difference in savings on CO<sub>2</sub> reduction and the repayment period of the entire system were also calculated. The system is sized with a required collector area of 3.90 m<sup>2</sup> and a 400 l hot water tank.

Keywords: Solar collectors, solar systems.

## 1.Uvod

Solarni kolektori sve su češći izbor u solarnim elektranama i na krovovima obiteljskih kuća zbog svojih brojnih prednosti. Njihova velika koncentrirana energija i malo zauzeće površine kolektorskim jedinicama, gdje su već tri kolektora na krovu obiteljske kuće dovoljna za sve potrebe potrošne tople vode jedne višechlane obitelji daju im veliku prednost u odnosu na solarne foto-naponske panele.

Njihova instalacija na krovu obiteljske kuće pridonosi i uštedi energije, smanjenju mjesečnih troškova komunalija, a nakon otplate sustava kroz određeni vremenski rok daju nam praktički besplatnu energiju u obliku tople potrošne vode. Osim svega navedenog pridonose i porastu vrijednosti nekretnine kao i boljem energetske certifikatu u slučaju prodaje nekretnine, a uz nove trendove gradnje i težnji k tome da kuća ima što manji energetski otisak na planet, pridonose i očuvanju okoliša kroz manju potrebu za potrošnju električne energije.

U drugom poglavlju ovog rada upoznat ćemo se sa osnovnim pojmovima solarnih sustava i vrstama solarnih elektrana, te isto tako i s prednostima i manama pojedinih sustava u odnosu na druge sustave.

Dijelovi solarnih kolektora kao i važnosti pojedinih komponenata obrađeni su u trećem poglavlju ovog rada. Prikazana je i njihova međusobna ovisnost te je detaljno opisana funkcija svakog elementa pojedinačno.

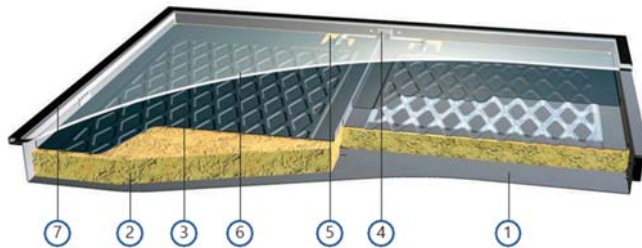
Zadnje poglavlje koncentrirano je na odabir i implementaciju solarnog sustava u obiteljskoj kući sa četvero članova lociranoj u Dalmaciji. Detaljno je opisan način kalkulacije potrebne veličine spremnika za potrošnu toplu vodu kao i način odabira toplovodnih pločastih solarnih kolektora u odnosu na dostupne sunčane sate na lokaciji objekta. Izračunata je i razlika u uštedi na smanjenju CO<sub>2</sub> emisije sa i bez instaliranog solarnog sustava te rok otplate cijelo-ukupnog sustava. Odabrani su pločasti solarni kolektori radi manjih toplinskih gubitaka za vrijeme rada u odnosu na vakuumske kolektore, i radi generalno bolje pouzdanosti pločastih solarnih kolektora u odnosu na ostale sustave.

## 2. Vrste solarnih toplovodnih kolektora

### 2.1. Pločasti kolektori

Pločasti solarni kolektori su najkorištenija vrsta kolektora za zagrijavanje vode. Patentirani 1909. godine u Kaliforniji, započinju sa proizvodnjom u 70-im godinama 20-og stoljeća. Osnovni dijelovi kolektora tada, a i sada su apsorberska ploča s kanalima za radni medij, pokrivno staklo, izolacija i kućište. Apsorberska ploča, kako joj i samo ime kaže, služi za apsoriranje sunčeva zračenja te provođenje topline prema kanalima kroz koje struji radni fluid. Apsorberska ploča na sebi ima selektivni premaz koji ima visoki koeficijent apsorpcije za kratkovalno sunčevo zračenje i mali za dugovalno IC zračenje.

Pokrivno staklo ima visoki koeficijent propusnosti za kratkovalno zračenje te nizak za dugovalno. Selektivnim premazom apsorberske ploče i svojstvima pokrivnog stakla dobiva se vrlo dobra apsorpcija sunčevog zračenja i smanjenje toplinskih gubitaka dugovalnim zračenjem od zagrijane apsorberske ploče. Kolektor je sa stražnje strane izoliran mineralnom vunom ili poliuretanskom pjenom. Gubici kroz izolaciju obično iznose oko 5% ukupnih gubitaka kolektora. Cijevni registar tipa "ljestve" se sastoji od niza cijevi 6-10 mm koje su paralelno napajane iz distribucijskih cijevi. Oblik cijevnog registra može biti i drugog tipa, u obliku takozvane serpentine, onda ima manji protok i veći prirast temperature radnog medija u odnosu na tip "ljestvi". Radi niže prosječne temperature radnog medija u kolektoru, kod ovog tipa kolektora su manji toplinski gubitci, što znači da takav kolektor ima veću efikasnost. Problem kod nižih temperatura je slabija predaja prikupljene topline vodi u spremniku.

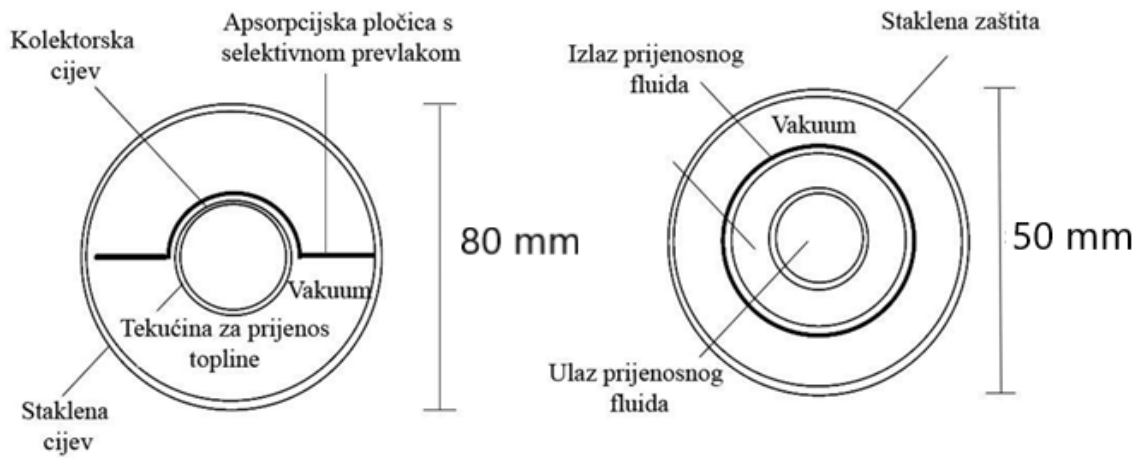


Slika 1. presjek solarnog kolektora [autor izvorno]

1. Aluminijsko kuciste sa ugrađenim nosačima za montazu
2. Termalna izolacija (mineralna vuna)
3. Aluminijski apsorber sa specijalnim kanalima po kojemu putuje radni medij
4. Spojnica 1/2"
5. Ventilacijski otvor (sprječava pojavu kondenzata na staklu)
6. ESG specijalno staklo 3,2 mm debljine
7. Aluminijski rubni profil sa brtvom

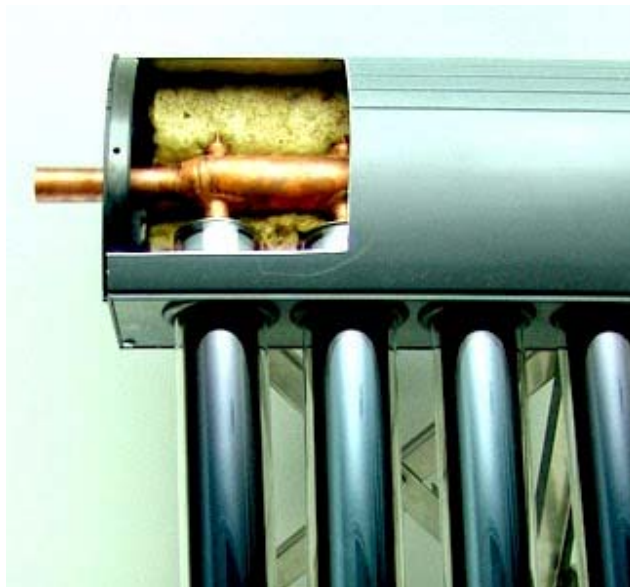
## 2.2. Vakumski kolektori

Vakuumski kolektori svoju popularnost stekli su posljednjih godina radi teoretski manjih gubitaka. Imaju puno manju korisnu površinu apsorbera. Konvektivni gubici smanjeni su tako da je izvučen zrak između apsorbera i okolnog (pokrovnog) stakla. Izvučeni zrak odnosno vakuum osim poboljšanja gubitaka donio im je i ime. Apсорber vakumskog kolektora napravljen je od staklene cijevi unutar koje je metalna cijev u kojoj struji radni medij. Strujanje može biti odozdo prema gore i kružno ako je apsorberska cijev tako izvedena (U cijev). Postoji još jedan način prijenosa topline gdje nema strujanja nego je unutar staklene cijevi stavljen bakreni toplinski vodič koji kontaktно prenosi toplinu na vodu.



Slika 2. Presjek apsorbira vakuumskog kolektora [autor izvorno]

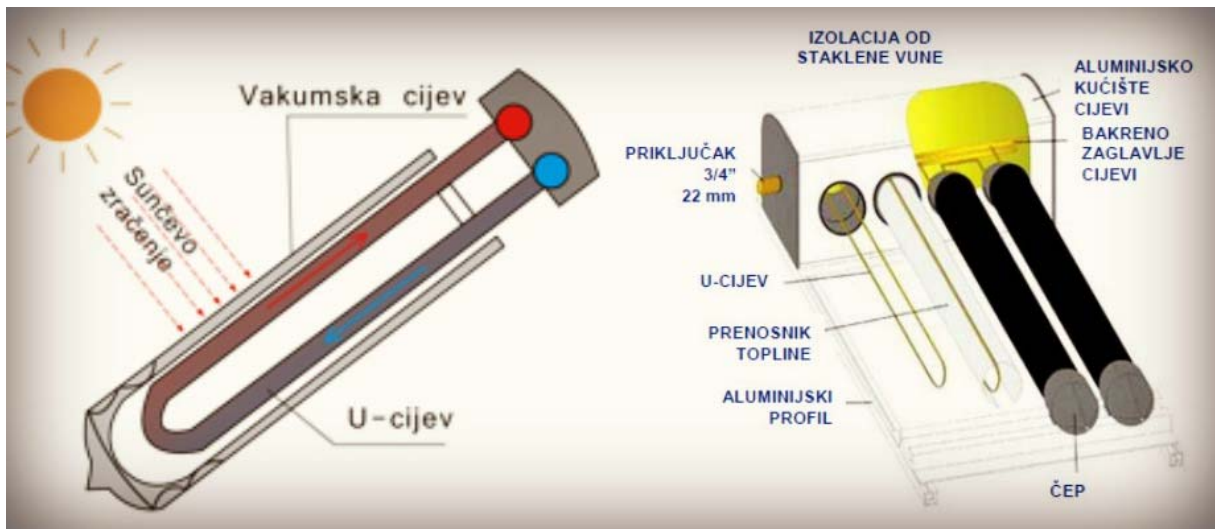
Kod sistema sa "U" cijevi imamo bakrenu cijev, obavijenu oko aluminijskog lima kako bi dobila cilindričan oblik. Svaka cijev "upiknuta" je u izolirani cjevovod gdje se odvija daljni prijenos topline sa "U" cijevi na vodu za uporabu.



Slika 3. Konstrukcija "U" cijevi [1]

Niže prikazana slika 4. pokazuje princip rada toplinske cijevi. Toplinska cijev napunjena je vodom koja se nalazi na sniženom tlaku. U trenu kada voda zakuha počinje se stvarati

para koja popunjava cijev i brzo se kreće prema vrhu cijevi. Para se kondenzira u tekućinu i teče povratno u cijev gdje se ponovno dogrijava. Toplinska cijev, zapravo se ponaša kao dioda u strujnom krugu.



Slika 4. Toplinska cijev [2]

### 2.3. Koncentrirani sunčevi sustavi

Koncentrirani sunčevi sustavi moderna su tehnologija proizvodnje električne energije s pomoću ogledala i leće koja usmjerava sunčeve zrake na malu površinu odnosno prijamnik topline. Unutar prijarnika topline (kolektora) sunčeve zrake zagrijavaju radni fluid (koji može biti voda, ulje, tekući natrij i sl.) koji potom pokreće parnu turbinu ili Stirlingov motor i proizvodi električnu energiju poput konvencionalnih elektrana. Inovativni i ekološki pogled na koncentrirane sunčeve sustave jest iskorištavanje sunčeve energije za proizvodnju električne energije, za razliku od fosilnih goriva ili nuklearne reakcije koji zagađuju okoliš. Jedna od mnogih prednosti ovih sustava je ta da imaju i spremnik za čuvanje topline preko noći ili oblačnog vremena.

U zadnjih 10 godina povećao se interes za ovakav način dobivanja električne energije, posebice u španjolskoj, koja je trenutni lider u proizvodnji električne energije s pomoću koncentriranih sunčevih sustava. Primjer Španjolske slijede i Sjedinjene Američke Države s kontinuiranim rastom u proizvodnji električne energije na ovakav način.



Koncentrirane sunčeve sustave možemo podijeliti u dvije grupe: prva grupa bazirana je na linijski fokusiranim sustavima (parabolični i Fresnelovi kolektori). Druga grupa bazirana je na točkastim, fokusiranim sustavima poput sunčevih tornjeva i tanjura koji imaju dvije osi za praćenje i koncentriranje sunčanih zraka. Radi vrlo velikog stupnja efikasnosti (30-40%) koncentrirani solarni sustavi pogodni su za instalaciju na područja sa vrlo visokim sunčevim zračenjem kao što su npr. pustinje.



Slika 5. Solarni koncentrirani sustav sa tornjem [3]

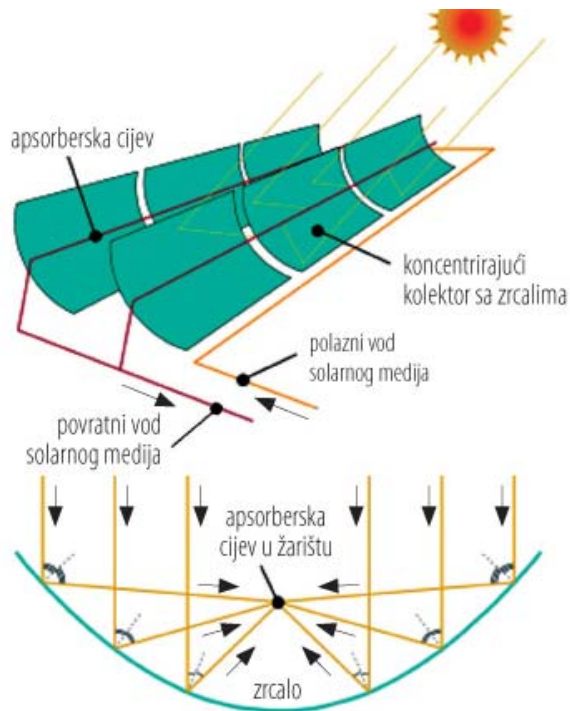
## 2.4. Parabolični kolektori

Glavni dio paraboličnih kolektora su ogledala koja usmjeravaju sunčevu energiju prema kolektoru i prema kojima su i dobili naziv. Sastoje se od ogledala, spremnika za pohranjivanje topline i potpornih struktura koje drže cijeli sustav stabilnim.

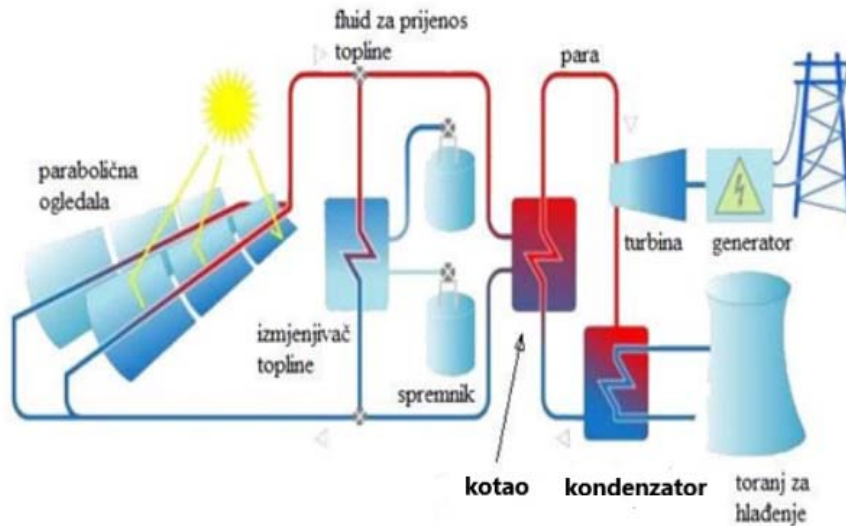
Parabolično oblikovana ogledala konstruirana su tako da se formiraju ploče reflektirajućeg materijala koje usmjeravaju nadolazeće sunčeve zrake u centralnu cijev (apsorber) kolektora. Ogledala mogu biti dugačka 100 metara na više, sa radijusom zakrivljenja od 5 do 6 metara.

Kako bi maksimizirali sunčevu energiju, parabolični kolektori prate putanju sunca. Pozitivna strana ovog sustava jest u činjenici da je pomicanje nužno samo ako sustav nije okrenut prema Suncu, a okretanje se odvija pomoću jedne osi. Apsorber za sakupljanje topline sastoji se od apsorberske metalne cijevi unutar staklene cijevi u kojoj se nalazi vakuum. Apsorpcijska cijev je najčešće napravljena od čelika s premazanom selektivnom prevlakom koja odlično apsorbira sunčevu svjetlost i koja emitira jako malo povratnih infracrvenih zraka, pa se tako minimiziraju toplinski gubici s okolnim zrakom.

Fluid za prijenos topline cirkulira kroz apsorpcijske cijevi da sakupi sunčevu energiju, pri čemu se pretvara u plinovito stanje, i predaje energiju parnom generatoru. Najčešći radni mediji za korištenje u paraboličnim kolektorima su sintetička ulja, zbog svoje iznimne stabilnosti do 400 °C. Moderniji sustavi koriste tekuću sol na 540 °C kao tekućinu za prijenos topline koja tada omogućuje rad na puno većim temperaturama.



Slika 6. Pojednostavljeni prikaz Paraboličnih solarnih sustava [4]



Slika 7. Shema dobivanja el. energije pomoću paraboličnih kolektora [5]

Na slici 7. možemo shematski vidjeti kako sustav paraboličnih kolektora funkcionira u realnoj upotrebi. Sustav se sastoji od dva odvojena sistema sa različitim radnim medijem.

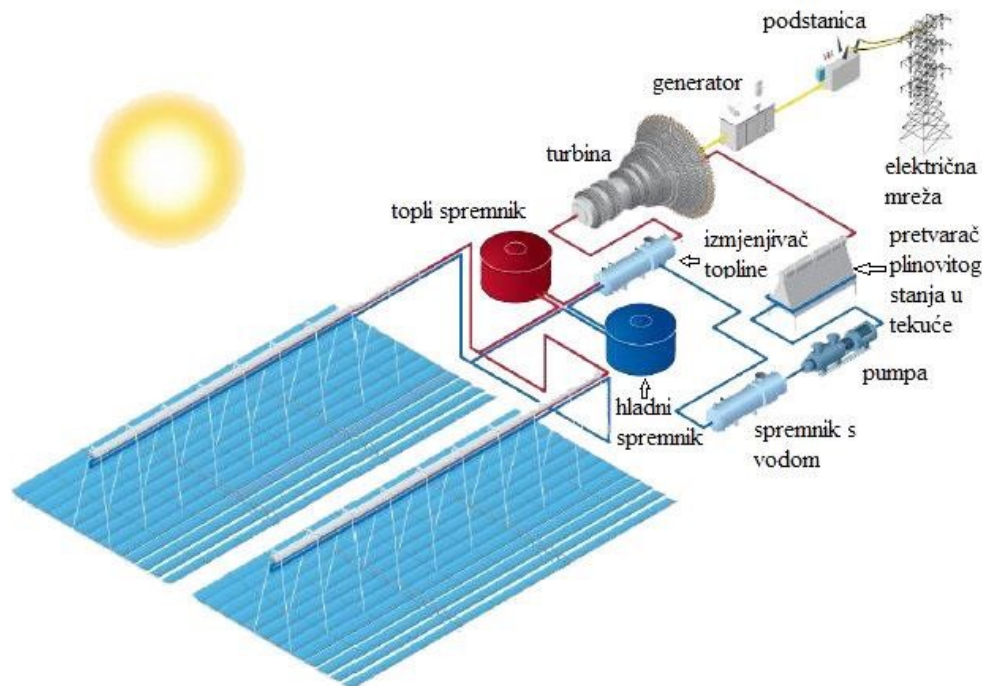
Prilikom upijanja sunčevih zraka unutar apsorpcijske cijevi dolazi do zagrijavanja fluida za prijenos toplinske energije koji može biti sintetičko ulje ili tekuća sol. Sustav se sastoji od dva spremnika: Jedan za topli radni fluid, te drugi za hladni radni fluid kako bi se osigurao nesmetan rad u satima kad nema sunca. Radni fluid iz ovog sustava zagrijava u kotlu tehnološku vodu u drugom odvojenom sustavu, prilikom toga voda se pretvara u paru koja pokreće parnu turbinu. Parna turbina je dalje povezana sa električnim generatorom gdje dolazi do proizvodnje električne energije. Ako sustav ne može proizvesti dovoljno toplinske energije za pogon turbine, koristi se spremnik vruće tekuće soli te se preko izmjenjivača topline prenosi na hladni fluid gdje se cirkulira i pripomaže pri proizvodnji pare potrebne za pogon parne turbine.

## 2.5. Fresnelovi kolektori

Fresnelovi kolektori slični su paraboličnim kolektorima, ali koriste seriju dugačkih, ravnih ili malo zakrivljenih ogledala pod različitim kutevima te koncentriraju sunčevu svjetlost na obje strane fiksiranog apsorbera. Prijamnik ili apsorber nalazi se na nekoliko metara iznad primarnog polja ogledala. Svako ogledalo fiksirano je na jedno-osni sustav za praćenje sunca koji osigurava sunčevim zrakama usmjerenost na prijamnik topline.

Prijamnik topline, odnosno apsorber, premazan je selektivno odabranom prevlakom koja pomaže pri smanjenju rasipanja sunčeva zračenja (povećava efikasnost upijanja sunca). Sekundarno ogledalo koristi se za reflektiranje zraka koje nisu dobro reflektirane od strane primarnih ogledala.

Glavna prednost Fresnelovih kolektora u odnosu na parabolične sustave, jest činjenica da se mogu koristiti i jeftinija ravna ogledala. Stoga nije potrebno korištenje čvrstih materijala za konstrukcije, poput betona ili čelika, jer su Fresnelovi kolektori puno lakši od paraboličnih. Najčešće se koriste jednostavne metalne konstrukcije.



Slika 8. Shematski princip rada Fresnelovih solarnih sustava [5]

Fresnelovi sustavi imaju veliku stabilnost, a ujedno su i smanjeni optički gubitci te mogućnost pucanja ogledala. Problematika kod ovih sustava je u tome što su im prijavnici fiksirani, a to rezultira velikim gubicima u trenu kada zrake sunca nisu u optimalnom položaju (jutarnji i popodnevni sati). Neovisno o tome, relativna jednostavnost ovih sustava omogućuje jednostavniju proizvodnju, instalaciju i puštanje ovih sustava u pogon.

Sustav funkcionira na istom principu kao i sustav sa paraboličnim kolektorima. Iz shematskog prikaza možemo vidjeti da je izvedba ista, osim što se koriste Fresnelovi kolektori za apsorpciju sunčeve energije. Radni medij, odnosno fluid teče od hladnog prema toplom spremniku. Spremnici se koriste za očuvanje topline tijekom noći ili za vrijeme naoblačenja. Dalje fluid automatski cirkulira prema izmjenjivaču topline gdje predaje energiju koja se pretvara u obliku vodene pare koja pokreće parnu turbinu spojena na električni generator.



Slika 9. Fresnelov solarni sustav u primjeni (Elektrana Novatec Australija) [6]

## 2.6. Sunčevi tornjevi

Sunčevi tornjevi sastoje se od velikog broja ogledala koja su instalirana na polje i usmjerena s namjerom da fokusiraju sunčevu zraku na toranj, odnosno prijarnik ili kolektor koji je montiran na visokom centralnom tornju. Na prijarniku fokusirana sunčeva zraka pretvara se u toplinu koja omogućava termodinamički ciklus koji je u većini slučajeva pretvorba vode u vodenu paru i obrnuto, a sa ciljem da bi se generirala električna energija.



Slika 10. Primjer elektrane sa sunčevim tornjem (Ujedinjeni Emirati, snaga 600MW) [7]

Solarno polje sastoji se od velikog broja računalno upravljanih ogledala koji se još nazivaju heliostati, koji mogu pratiti sunce pojedinačno u dvije osi. Ta ogledala mogu reflektirati sunčevu svjetlost u centralni prijamnik gdje se fluid zagrijava. Sunčevi tornjevi mogu ostvariti puno veće temperature, u usporedbi sa parabolničnim i Fresnelovim kolektorima, zato što se puno više sunčeve svjetlosti može koncentrirati na jedan prijamnik. Ovim načinom minimiziraju se gubici topline.

Trenutni sunčevi sustavi koriste vodu/paru, zrak ili tekuću sol kako bi transportirali toplinu do izmjenjivača topline ili parno-turbinskog sustava. Ovisno o izvedbi prijamnika i fluidu koji se koristi za prijenos topline, radne temperature mogu varirati od 250 °C do 1000 °C. Veličina solarnih polja ovisi o tome koliko električne energije želimo proizvesti.

Što su solarna polja veća, to su veći optički gubici, jer su ogledala više udaljena od prijamnika. Osim toga uvijek imamo prisutna odstupanja zbog nepravilnosti kutova

ogledala. Sunčevi tornjevi najčešće koriste sintetička ulja ili tekuću sol kao fluid za prijenos topline. Sintetička ulja ograničavaju radnu temperaturu na 390 °C.

Tekuća sol povećava radnu temperaturu do 650 °C, pri čemu omogućuje veću iskoristivost parnog ciklusa. Sunčevi tornjevi u tome imaju nekoliko prednosti zbog kojih bi mogli uskoro postati preferirana tehnologija koncentriranih sunčevih sustava.

Glavne prednosti su u tome što veće temperature mogu omogućiti veću efektivnost parnog ciklusa, i time maksimizirati količinu proizvedene električne energije. Također se mogu izgraditi u brdovitim područjima i koristiti kada je oblačno vrijeme.

Nedostaci su povećana cijena zato jer se koriste dvije osi za rotaciju i praćenje položaja sunca što rezultira potrebom za češćim održavanjem. Potreban je veliki prostor za instalaciju ovog tipa elektrane jer zahtijevaju velik broj heliostata oko tornja koji su ključan dio ovakvih sustava jer reflektiraju sunčevu svjetlost prema prijammiku.



Slika 11. Pogled na heliostate u elektrani sa sunčevim tornjem (Ethiopia) [8]

Princip dobivanja električne energije malo je drugačiji u odnosu na prethodne metode. Ključni dio u sustavu su računalno upravljani heliostati (zrcala) koji se koriste za usmjeravanje sunčevih zraka na prijammnik. Ovaj način pretvorbe sunčeve energije



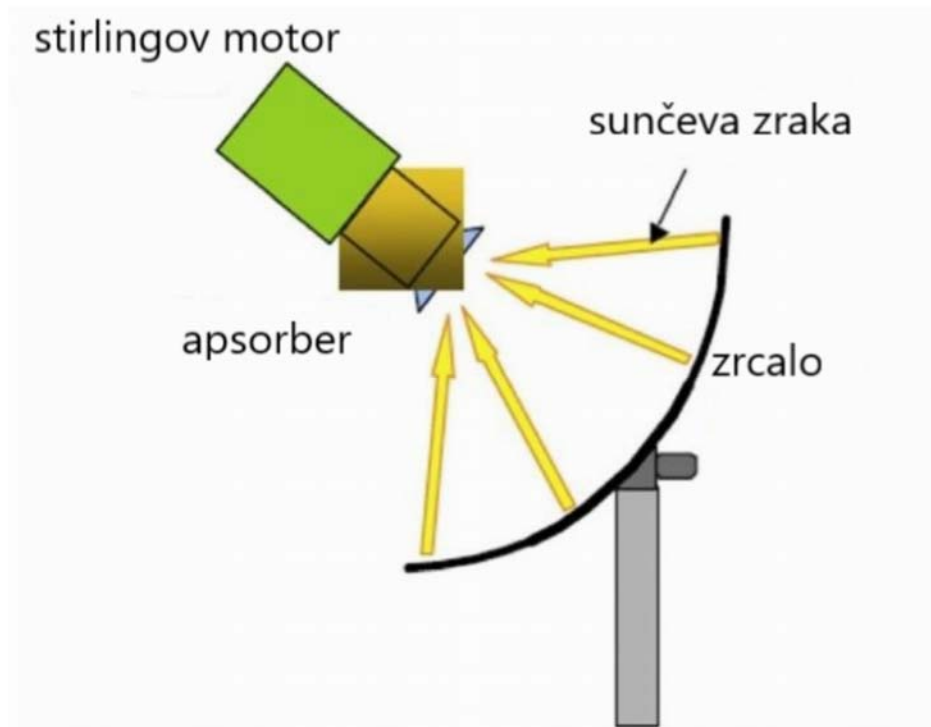
direktno zagrijava tekućinu za prijenos topline koja se zatim koristi za zagrijavanje vode uz pomoć izmjenjivača topline kako bi dobili paru za pokretanje turbine i vrtnju električnog generatora. Termalni spremnik koristi se za pohranu i korištenje toplinske energije za vrijeme oblačnih dana i za vrijeme noći.

## 2.7. Sunčevi tanjuri



Slika 12. Izgled sunčevih tanjura [9]

Sustav sunčevih tanjura temelji se na parabolično oblikovanom koncentratu koji reflektira svjetlost u žarište prijavnika (kolektora). Prijamnik može biti Stirlingov motor ili mikro-turbina. Stirlingovi sunčevi tanjuri zahtijevaju da se Sunce prati u dvije osi, pri tome velika količina sunčeve energije koncentrirana je u jednu točku i može davati vrlo visoke temperature. Sustavi sa sunčevim tanjurima trenutno su najbolji način pretvorbe toplinske energije u električnu. Promjer tanjura iznosi najčešće 10 metara. Današnja istraživanja fokusiraju se na korištenje Stirlingovog motora u kombinaciji s generatorom instaliranom na žarištu tanjura.



Slika 13. Shematski prikaz komponenti sunčevih tanjura

Trenutno su u upotrebi dvije izvedbe Stirlingovih motora: kinematički i motor sa slobodnim klipom. Kinematički motori funkcioniraju sa vodikom kao radnim fluidom. Dok motori sa slobodnim klipom rade s helijem gdje nema pojave trenja tokom rada. Moguća je izvedba s jednim Braytonovim ciklusom, gdje zrak, helij ili neki drugi medij je kompresiran, zagrijan i ekspaniran u mikroturbinu. Glavne prednosti Stirling sunčevih tanjura jest u tome što lokacija generatora unutar prijarnika smanjuje gubitke topline, a izvedba je modularna što je primjereno za distribuiranu proizvodnju električne struje. Mogu postići veliku efikasnost i proizvesti najjeftiniju električnu energiju od svih prethodno navedenih solarnih sustava. Nedostaci su što sustav nema spremnika topline, što znači da toplinu moramo odmah iskoristiti za proizvodnju električne energije.

## 2.8. Ovisnost koncentriranih solarnih sustava o sunčevom zračenju

Koncentrirani solarni sustavi zahtijevaju velike količine direktnog sunčevog zračenja da bi mogli proizvoditi električnu energiju. Radi potrebe za velikom sunčanom radijacijom ovakvi sustavi ograničeni su samo na suha i vruća područja, poput pustinja i polupustinja, gdje nastaju velike količine direktnog sunčevog zračenja na godišnjoj razini. Područja koja su pogodna za gradnju koncentriranih solarnih sustava moraju biti ozračena sa više od 2000 kWh/m<sup>2</sup> godišnje. U protivnom sustav ne bi bio isplativ radi visokih troškova instalacije. Globalna područja pogodna za gradnju ovakvih sustava su područja Sjeverne Afrike, Bliskog Istoka, Južne Afrike, Australije, zapadnog dijela Amerike i nekih dijelova Južne Amerike. Cijena koncentriranih sustava još je uvijek previsoka da bi gradnja bila isplativa i u drugim područjima, s manjom količinom direktnog sunčevog zračenja godišnje.

### 2.8.1. Povećanje efikasnosti koncentriranih solarnih sustava

Određeni dijelovi koncentriranih sustava određuju konačnu efikasnost sustava. Pri tome je važna uloga spremnika termalne energije. Njegovim povećanjem raste i cijena s kojom se onda povećava ukupni kapacitet toplinske energije, koja se može koristiti kada je noć ili za vrijeme naoblake. Također, efikasnost koncentriranih sustava može se povećati tako da se proširi polje s instaliranim kolektorima, gdje se zatim povećava kapacitet toplinske energije koji se tada akumulira tokom dana, ako se pri tome investira novca u proširenje. Veličine sunčevih polja moraju se dobro optimizirati i odrediti da bi se sustav efektivno koristio kroz cijelu godinu. Jedino sa dobro optimiziranim sustavima možemo iskoristiti maksimalni sunčani potencijal nekog područja tokom cijele godine.

## 2.8.2. Usporedba koncentriranih sunčevih tehnologija

Svi sustavi međusobno se razlikuju jedni od drugih po načinu i izvedbi te tehničkim i ekonomskim aspektima. Većina koncentriranih sunčevih tehnologija bazirana je na paraboličnim kolektorima. Parabolični kolektori danas su komercijalno najkorišteniji sustavi, ali još uvijek se očekuju dodatna poboljšanja po pitanju efikasnosti i smanjenju cijena. Sunčani tornjevi i Fresnelovi kolektori danas se počinju sve više razvijati i koristiti radi pada cijena, ali je rizik razvoja sve veći. Velik je interes pokazan prema tehnologiji Sunčanih tornjeva koji rade na visokim temperaturama uz pomoć tekuće soli koja to omogućuje jer se povećava efikasnost cijelog sustava i time smanjuje cijena. Sunčevi tornjevi su budućnost solarnih tehnologija. Kako kod njih nemamo spremnike topline, to ih čini jednim od najboljih rješenja za direktnu proizvodnju električne energije.

	Parabolični kolektori	Sunčani toranj	Fresnelovi kolektori	Sunčevi tanjuri
Kapacitet (MW)	10-300	10-200	10-200	0,01-0,025
Rizik razvoja	Nizak	Srednji	Srednji	Srednji
Radna temperatura (°C)	350-550	250-565	390	550-750
Efikasnost (%)	14-20	23-35	18	30
Efikasnost pretvorbe (toplinska>električna energija) (%)	11-16	7-20	13	12-25
Prijamnik/apsorber	Ugrađen na kolektor, pomiče se s kolektorom	Fiksiran, nepomičan	Fiksiran, nepomičan	Ugrađen na kolektor, pomiče se s kolektorom
Spremnik	Indirektni dvospremnik tekuće soli na 380 °C Direktni dvospremnik tekuće soli na 550 °C	Direktni dvospremnik tekuće soli na 550 °C	Spremnik pare pod tlakom	Nema spremnika
Ciklus	Rankinov parni ciklus	Rankinov parni ciklus	Rankinov parni ciklus	Stirling

Temperatura pare (°C)	380 do 540	540	260	/
Tlak pare (bar)	100	100-160	50	/
Maksimalan nagib (%)	<1-2	<2-4	<4	10 % ili više

Tablica 1. Usporedba koncentriranih solarnih tehnologija

## 2.9 Dijelovi solarnih kolektora

### 2.9.1 Apsorber

Da bi apsorber bio efikasan mora imati slijedeća svojstva:

- Odličan prijenos topline na radni medij
- Visoka mehanička čvrstoća
- Otpornost prema koroziji
- Visoko apsorbirajuću površinu za upijanje sunčeve radijacije, premazanu posebnom prevlakom sa visokim faktorom apsorpcije
- Nizak faktor povratnog emitiranja toplinske energije <5 %

Postoje tri načina na koje je moguće povezati apsorpcijsku ploču s radnim fluidom koji prenosi toplinu. Ovisno o načinu povezivanja apsorpcijske ploče s fluidom ovisi efikasnost prijenosa topline. Prvi način prijenosa topline je prijenos pomoću cijevi.

Ulazna dovodna cijev i izlazna odvodna cijev povezane su pomoću cijevi apsorbera i međusobno su u direktnom kontaktu s apsorpcijskom pločom te na taj način dolazi do direktnog prijenosa topline. Drugi način prijenosa topline je uz pomoć dvije metalne apsorpcijske ploče zavarene u tzv. sendvič spoj pomoću kojeg omogućavamo da tekućina teče preko cijele apsorpcijske ploče. Na ovaj način omogućeno je direktno zagrijavanje tekućine uz pomoć sunčeve energije. Zbog direktnog zagrijavanja povećana je efikasnost cijelog sustava. Treći način prijenosa topline je pomoću cijevnog kolektora kod kojega je cijev namotana naprijed-nazad preko apsorpcijske ploče. Kada voda teče kroz cijev, ona apsorbera toplinu s apsorpcijske pločice pomoću konvekcije.

Jednostavne prevlake poput crne boje funkcioniraju zadovoljavajuće kada je potrebno apsorbirati sunčeve zrake, ali zbog toga, što je temperatura veća, crna boja povratno emitira velike količine topline sa apsorbirane površine. Toplina se povratno emitira kao infracrveno zračenje te prelazi na zaštitno staklo koje predaje toplinu okolišnom zraku niže temperature i tako se javljaju gubitci topline. Zbog tih gubitaka topline sunčani kolektor gubi efikasnost kod zagrijavanja vode. Da bi uspjeli poboljšati efikasnost apsorbira razvijene su posebne prevlake koje se nazivaju selektivne prevlake.

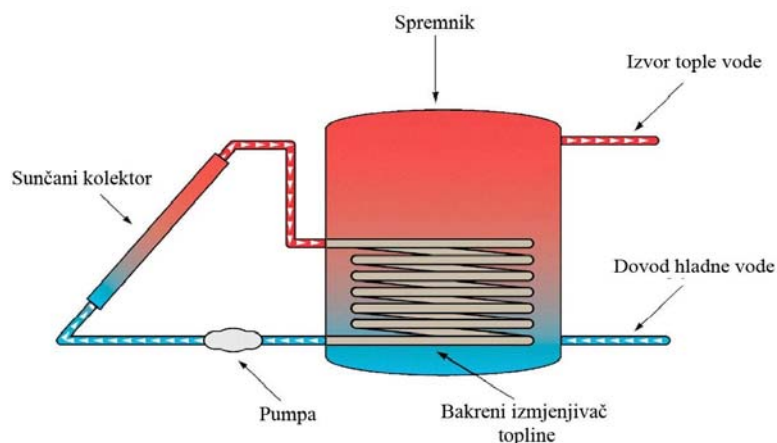
Česte selektivne površine uključuju kromosome, bakrove, niklove ili titanove okside koji su elektrokemijski ili kemijski nanaseni na apsorbirajuću površinu. Oni pružaju skoro idealne karakteristike koje apsorbirajuća ploča mora imati, kao što su visoke količine upijanja sunčevih zraka i mali iznos emitiranja infracrvenih zraka sa vruće površine apsorbirajuće ploče. Selektivne površine poboljšavaju efikasnost upijanja sunčevih zraka i smanjuju gubitke topline s okružujućim zrakom. Najviše su korisne u područjima koje imaju hladniju klimu. Osim toga mogu se koristiti kod komercijalnih sustava gdje su potrebne velike količine tople vode.

## 2.9.2 Spremnik toplinske energije

Spremnik toplinske energije služi za pohranu toplinske energije koja se sakuplja pomoću kolektora tokom dana. Spremnici omogućavaju korištenje toplinske energije tokom noći i za vrijeme oblačnih dana. Spremnici topline imaju najčešći volumen od otprilike 300 litara. Volumen spremnika može varirati od 150 do 440 litara u prosjeku.

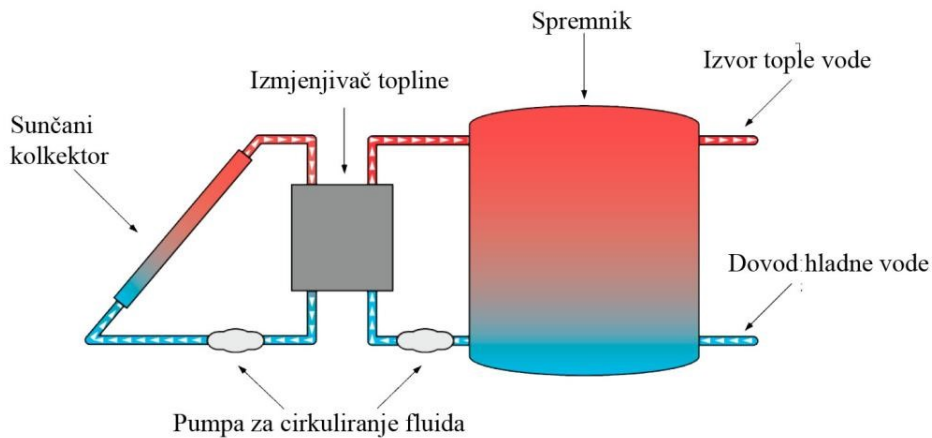
Spremnik toplinske energije sastoji se od izmjenjivača topline uz pomoću kojih se dovodi toplina s izvora do spremnika. Glavni izvor je sunčani kolektor, a dodatni izvori za pripomaganje pripreme fluida za prijenos topline mogu biti električni grijač, kotao na lož ulje ili plin. Spremnici moraju biti jako dobro izolirani da se minimiziraju gubitci toplinske energije s okolnim zrakom. Za izolaciju se koristi poliuretanska pjena visoke gustoće koja se postavlja s vanjske strane spremnika. Materijali korišteni za izradu spremnika pod niskim tlakom su bakar, ABS plastika i poli-etilen, dok su glavni spremnici pod tlakom izrađeni od nehrđajućih čelika. Spremnik mora biti konstruiran tako da je relativno lagan te da ga se može lako prenijeti do određene lokacije bez ikakvih mehaničkih naprava.

Mora imati dobra mehanička svojstva prema bilo kakvim udarcima te prilikom bilo kakvih promjena zbog ekspanzije vode ili toplinskih utjecaja. Također ako je spremnik predviđen da bude izložen vanjskim uvjetima, mora podnijeti ultraljubičaste zrake, raznovrsne vremenske uvjete i koroziju. Ovisno o odabiru materijala od kojeg je napravljen, spremnik ima svoje prednosti i nedostatke. Kod spremnika napravljenih od nehrđajućeg čelika postoji tanki oksida koji je jako otporan na koroziju. Postoji par izvedbi spremnika za zagrijavanje pitke vode: Prvi primjer jest direktno zagrijavanje vode uz pomoć spiralne bakrene cijevi koja služi kao izmjenjivač topline. Toplina apsorbirana od strane sunčanih kolektora prenosi se uz pomoć fluida, za prijenos topline, kroz izmjenjivač topline na pitku (potrošnu) vodu. Pitka voda raspoređuje se u slojevima od toplijeg (vrha) prema hladnijem (dnu). Hladna voda spaja se na dnu spremnika zato što se povećanjem temperature smanjuje njezina gustoća, pa se tada toplija voda kreće prema vrhu spremnika. Sve se to konstruira tako da ne dođe do direktnog miješanja hladne i tople vode, a onda i gubitaka topline.



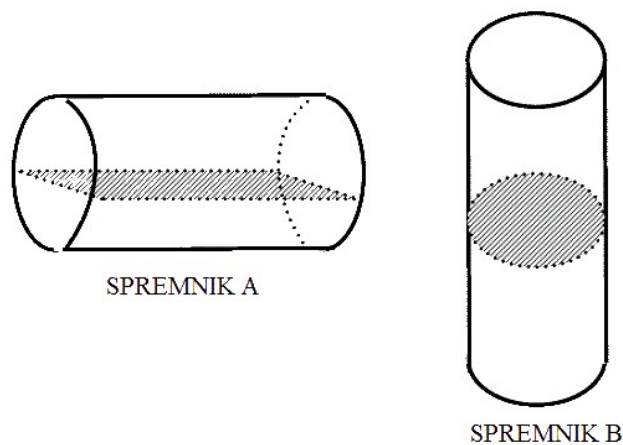
Slika 14. Spremnik sa spiralnim izmjenjivačem [10]

Sljedeći primjer je spremnik topline sa vanjskim izmjenjivačem topline. Izmjenjivač služi za prijenos topline s jednog fluida na drugi bez potrebe njihovog međusobnog kontakta uz pomoć kondukcije i konvekcije. Koristi se da ne bi došlo do miješanja fluida sa tehničkom potrošnom vodom, jer u tom slučaju bi se korisnici mogli otrovati.



Slika 15. Spremnik sa vanjskim izmjenjivačem [10]

Oblik i veličina imaju utjecaj na brzinu kojom se gubi toplinska energija te određuju količinu prijenosa toplinske energije između gornjeg i donjeg sloja. Visoki spremnici imaju puno bolje stvaranje slojeva tople i hladne vode u odnosu na dugačke polegnute spremnike jer je kod visokih spremnika manja površina, kao što se može vidjeti na slici ispod (spremnik B). Pri tome, prijenosi topline između toplog i hladnog sloja su puno manji.



Slika 16. Površine za prijenos topline u spremniku



### 2.9.3. Fluid za prijenos topline (radni medij)

Prijenos topline vrši se pomoću fluida sa apsorbera do spremnika toplinske energije sa integriranim izmjenjivačem. Prilikom odabira fluida, za prijenos toplinske energije, treba uzeti u obzir sljedeće karakteristike.

- Točka isparavanja
- Točka smrzavanja
- Koeficijent ekspanzije
- Viskoznost fluida
- Toplinski kapacitet

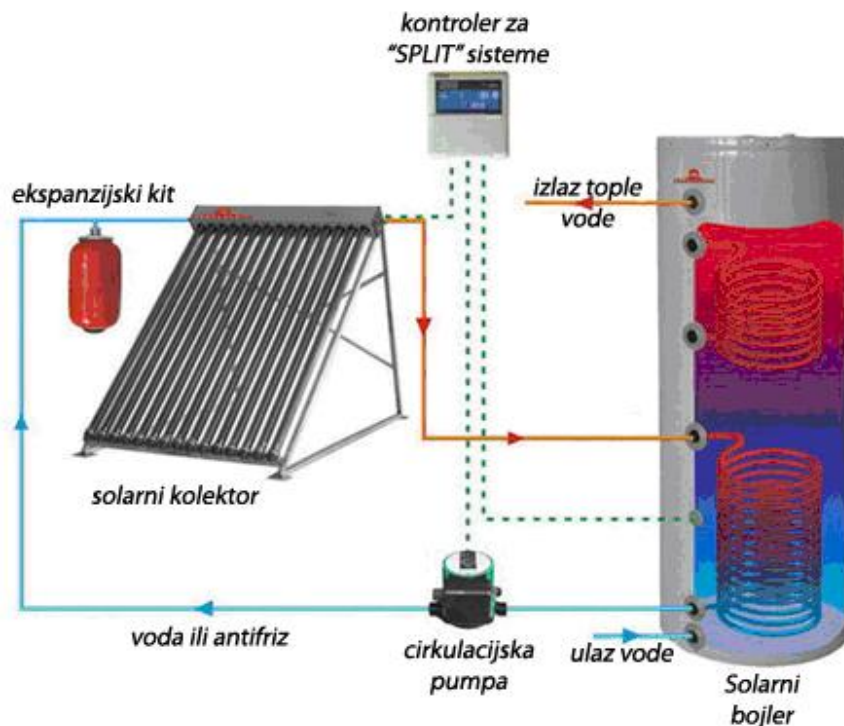
U hladnim klimatskim uvjetima sunčevi solarni sustavi za zagrijavanje vode zahtijevaju fluide s jako niskim točkama smrzavanja. Fluidi koji rade na visokim temperaturama, npr. u pustinjama, trebaju imati visoku točku isparavanja. Viskoznost određuje snagu pumpe koja je potrebna za cirkuliranje fluida u sustavu. Fluid s niskim viskozitetom lakše je cirkulirati kroz cijevi. Toplinski kapacitet ukazuje na količinu topline koju fluid može preuzeti sa solarnog kolektora. Vrste fluida za prijenos toplinske energije:

- a) Zrak – najjednostavniji medij koji se može koristiti (mana nizak toplinski kapacitet)
- b) Voda – lagano se može cirkulirati uz pomoć pumpi, i ima dobar specifični toplinski kapacitet. Nažalost voda ima relativno nisku točku isparavanja i visoku točku smrzavanja. Isto tako radi svoje pH vrijednosti može biti korozivna ako se ne održava na neutralnoj vrijednosti.
- c) Mješavina voda, glikol – Etilen i propilen glikol spadaju u kategoriju antifrizi. Mješavina vode i glikola pruža efektivnu zaštitu protiv smrzavanja tijekom zimskih mjeseci. Potrebna je izmjena svakih 5 godina radi degradacije i gubitka svojstava.
- d) Ugljikovodična ulja – ovakva ulja imaju puno veći viskozitet i manju specifičnu toplinsku vodljivost u usporedbi sa vodom kao radnim medijem. Za cirkulaciju ugljikovodičnih ulja potrebne su i puno snažnije pumpe za cirkulaciju. Cijena ovih ulja nije visoka te su postojana i tijekom zimskih mjeseci u godini. Postoje tri

kategorije ugljikovodičnih ulja: sintetička, parafinska i aromatska ulja. Sintetička ulja su najtrajnija varijanta i nije ih potrebno često mijenjati. Parafinska ulja imaju širi opseg temperatura na kojima mogu funkcionirati, ali su toksična i zahtijevaju ugradnju dvostruko ograđenog izmjenjivača topline radi veće sigurnosti i manjih šansi za zagađenje pitke vode. Aromatska ulja najbolja su opcija od triju navedenih, radi ne-toksičnosti za ljudski organizam, odnosno nemogućnosti za otrovanjem u slučaju kontakta.

## 2.9.4 Pumpa za cirkulaciju radnog medija

Pumpe za cirkuliranje radnog medija koriste se kod sunčevih sustava za cirkulaciju radnog fluida između apsorbera i izmjenjivača topline.



Slika 17. Prikaz sustava i pumpe [11]

Upravljanje rada pumpe može se vršiti na više načina. Prvotni sustavi imali su jednostavni vremenski brojač koji bi prema postavljenom vremenu regulirao rad, odnosno uključivao/isključivao pumpu. Ovakva izvedba je najmanje efikasna jer nema upotrebe

senzora za mjerenje temperature da bi se voda pumpala prema potrebi. Najbolje rješenje je upotreba diferencijalnih pumpi koje rade prema principu prikupljanja informacija. Kada je temperatura u spremniku niža od temperature na kolektoru, sustav se aktivira i radi sve dok razlika nije ujednačena. Sustav isto tako može prepoznati i niske temperature, u tom slučaju cirkulacijska pumpa šalje toplu vodu iz spremnika da ne dođe do smrzavanja cijevi. Kada dođe do porasta temperature sustav gasi pumpu.

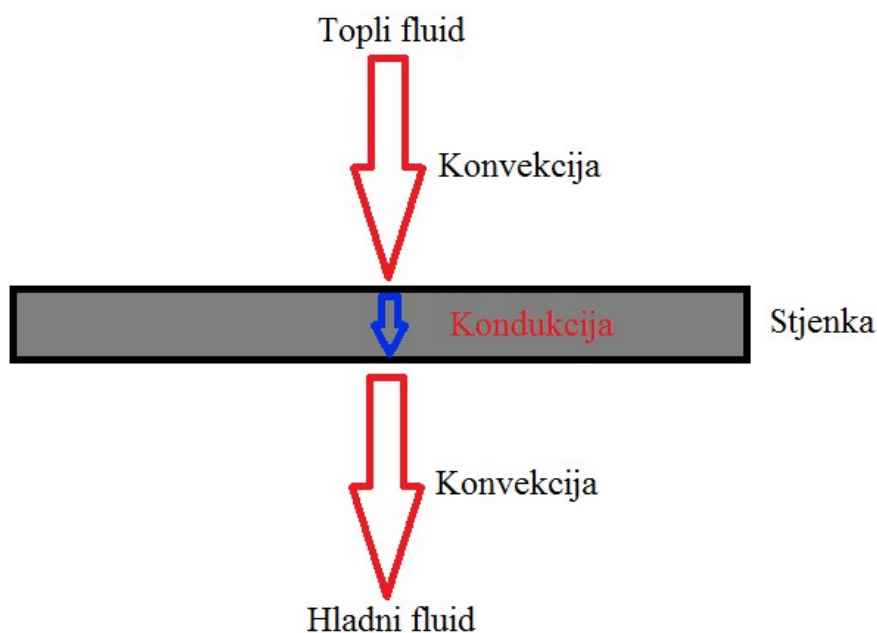
Normalna radna temperatura smatra se oko 60 °C, dok temperatura od 70 °C se smatra povišenom. U tom slučaju sustav cirkulira hladnu vodu kako ne bi došlo do pregrijavanja. Cirkulacijska pumpa može biti instalirana na dnu spremnika ili odvojeno pored spremnika. Pumpe su pogonjene električnom energijom iz električne mreže.



Slika 18. Moderna diferencijalna pumpa (pumpa se upravljanjem) [12]

## 2.9.5 Izmjenjivač topline

Svrha izmjenjivača topline je prijenos toplinske energije između dva fluida koji nisu u međusobnom kontaktu. Mogu se podijeliti na: izmjenjivač topline s obzirom na konstrukciju, smjer kretanja fluida, način prijenosa topline i dovođenja u kontakt s fluidima. Postoje izvedbe spiralnih, cijevnih ili pločastih izmjenjivača topline. Kod sunčanih kolektora koristimo ih za prijenos topline između antifrizu i vode koji kroz apsorber sakuplja toplinu te ju prenosi do spremnika tople vode. Antifriz se koristi kao fluid za sakupljanje topline jer ima dobru specifičnu vodljivost topline i postojan je visokim i niskim temperaturama, što znači da može dobro prenositi toplinu apsorbiranu sa kolektora. Prijenos topline odvija se na način da toplina prelazi sa radnog medija na vodu bez međusobnog miješanja te ju pritom zagrijava. Izmjenjivači topline koriste se zato što je radni fluid (antifriz) štetan za ljude te nikako ne smije doći do miješanja sa pitkom vodom. Radi sigurnosnih mjera preporuka je koristiti izmjenjivač topline sa dvije stjenke, ali tu se javljaju gubici topline, jer fluid mora prenositi toplinu kroz dvije "pregrade".



Slika 19. Princip prijenosa topline

## 2.9.6 Pokrivno zaštitno staklo

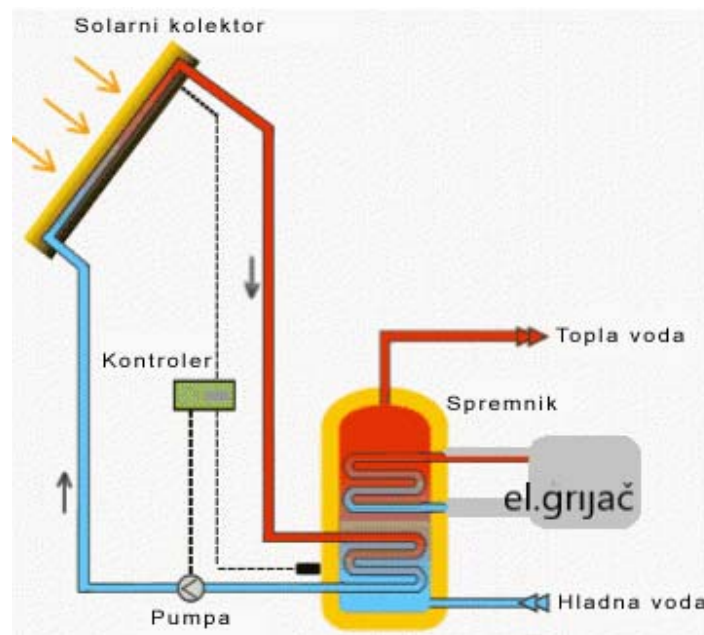
Cilj zaštite kolektora jest prijenos maksimalnog iznosa sunčeva zračenja na apsorber, zadržavanje topline koju emitira apsorber prema pokrivnom staklu, zaštita apsorbera od vanjskih uvjeta, npr. vjetra, itd. Najčešće se koristi kaljeno staklo ili specijalna vrsta plastike. Plastika je u ovom slučaju lošiji izbor radi slabije otpornosti na starenje i zamućivanje radi vanjskih uvjeta. Staklo s niskim postotkom željeza ima izuzetnu čistoću, odlično propušta sunčeve zrake i ne apsorbira puno sunčeve energije. Manje energije gubi se nakon povratnog emitiranja od strane apsorbera prema vanjskom zraku. Čvrsto je, trajno i ima dobru otpornost na habanje.

## 2.9.7 Kutija solarnog kolektora

Kolektorska kutija ima zadaću štiti apsorber od svih vanjskih vremenskih uvjeta i korozije. Mora imati dobra mehanička svojstva, odnosno otpornost na velike temperature, vjetar i UV-zrake. Treba imati ugrađenu izolaciju na bočnim stranama i na pozadini apsorbera. Kutija mora biti čvrsta, lagana i jednostavna za održavanje, sa ugrađenim sustavom protiv kondenzacije, jer ako dođe do zamagljivanja pokrivnog stakla efikasnost kolektora može biti narušena. Aluminijski je često korišten kao materijal za izradu kolektorske kutije.

## 2.9.8 Implementacija solarnih kolektora na obiteljskoj kući

Solarni sustavi efikasan su i relativno povoljan način dobivanja tople potrošne vode uz pomoć sunčevog zračenja. Najjednostavniji sustavi sastoje se od solarnih kolektora, spremnika topline, cijevi, pumpi i fluida za prijenos topline.



Slika 20. Implementacija solarnih kolektora na privatnoj kući [10]

Prednosti ovih sustava jesu da se mogu koristiti praktički u bilo kojim klimatskim uvjetima. Sustav funkcionira tako što je solarni kolektor koji apsorbira sunčevu radijaciju i pretvara ju u toplinsku energiju montiran na krov pod kutom, tako da tokom cijelog dana može sakupljati direktno sunčevo zračenje. Kada kolektor postane dovoljno ugrijan, pumpa počinje cirkulirati radni fluid, odnosno fluid za prijenos topline. Fluid dalje struji kroz izmjenjivač topline unutar spremnika vode gdje predaje toplinu potrošnoj vodi koju ćemo koristiti u kućanstvu. Solarni kolektor, cijevi i spremnik topline moraju biti dobro izolirani da bi se minimizirao gubitak topline. Ponekad se ugrađuje i dodatni konvencionalni izvor energije poput ugljenog kotla ili električni kotao koji se koristi za pripremu hladne vode koja se zagrijava.

### 3. Eksperimentalni dio

#### 3.1. Proračun i dimenzioniranje solarnog sustava za obiteljsku kuću

Temelj proračuna je obiteljska kuća predviđena za obitelj sa četiri člana. Zagrijavanje vode vršit će se pomoću pločastih solarnih kolektora. Obitelj se sastoji od dvije odrasle osobe i dvoje djece. Prosječna potrošnja jedne osobe (u ovoj familiji) iznosi 40 l tople vode dnevno. Iz toga zaključujemo da je ukupni zahtjev za toplom vodom 160 l na dan. Tablica ispod prikazuje nam kategorizaciju potrošnje vode.

	Potrošnja tople vode	Površina sunčanog kolektora	Spremnik
Mala obitelj	80 do 140 l	2 do 4 m <sup>2</sup>	140 do 230 l
Velika obitelj	140 do 200 l	4 do 7 m <sup>2</sup>	230 do 350 l

Tablica 2. Parametri solarnih sustava

Tablica smješta naš slučaj u kategoriju "velike obitelji". Iz toga slijedi da će nam odgovarajuća površina solarnih kolektora biti 4 m<sup>2</sup> za efikasan sustav. Spremnik odabiremo prema tablici veličine 250 litara. Smatra se da je površina kolektora od 2 m<sup>2</sup> dovoljna za dvije osobe te se za svaku dodatnu osobu pridodaje površina od 1,1 do 1,3 m<sup>2</sup> (uz potrošnju oko 40 litara vode dnevno). Ovakav način odabira veličine sustava temelji se na prosječnoj potrošnji tople vode po osobi na dan. Ako je potrošnja veća od 50 l/dan za četveročlanu obitelj, potrebna je površina kolektora od 6 do 7 m<sup>2</sup> da bi se osigurale dostatne količine tople vode. Sa ovakvom konfiguracijom može se osigurati do 50 litara tople vode na dan po pojedinom članu.

Kao primjer lokacije instalacije solarnog sustava koristio sam postojeću obiteljsku vikendicu na otoku Murteru. Potrebna potrošnja tople vode dnevno iznosi 220 litara.

Za proračun je korišten online kalkulator solarnog sustava koji se nalazi na stranici [www.hoval.hr/solarni-kalkulator](http://www.hoval.hr/solarni-kalkulator)

Ulazni podaci	
Solarna energija	1350 kWh/m <sup>2</sup> godišnje
Vrsta kolektora	Pločasti kolektor
Nagib krova	28°
Orijentacija krova	25° od juga
Srednja potrošnja vode	220 l/dan

Tablica 3. Osnovni podaci

Područje otoka Murtera ima godišnje sunčevo zračenje od 1350 kWh/m<sup>2</sup>.

Solarni kalkulator predložio nam je površinu solarnih kolektora od 3.90 m<sup>2</sup>.

Prijedlog površine kolektora	3.90 m <sup>2</sup>
Prijedlog konfiguracije kolektora	2 x 2,3 m <sup>2</sup> = 4,6 m <sup>2</sup>
Prijedlog veličine spremnika tople vode	250 l

Tablica 4. Rezultati kalkulatora

Procijenjena ušteda u potrošnji električne energije u odnosu na ovakav sustav tokom ljetnih mjeseci iznosi 95,26 %. Ušteda na bazi cijele godine iznosi 60 %. Iz ovog proračuna možemo vidjeti da su solarni kolektori isplativa investicija, jer uz rok otplate od prosječno između 7 i 9 godina kroz mjesečne račune za električnu energiju pružaju kvalitetno dugoročno rješenje, koje nakon otplate donosi trajnu uštedu. Ovakvi sustavi uz pravilnu instalaciju generalno su robusni i dugoročni, a i povisuju vrijednost nekretnine, uz ono najbitnije, a to je smanjenje ukupne CO<sub>2</sub> emisije.

	Bez solarnih kolektora	Sa solarnim kolektorima
Ugljični dioksid CO <sub>2</sub> (kg/godišnje)	1462	585
Ugljični monoksid CO (g/godišnje)	450	180
Dušični oksidi NO <sub>x</sub> (g/godišnje)	619	248

Tablica 5. Smanjenje CO<sub>2</sub> emisije



### 3.2. Potrebna toplinska energija za PTV [10]

Jednadžba proračuna preuzeta je iz norme HRN EN 15316-3-1:2008. [10] Potrebna toplinska energija za pripremu potrošne tople vode (jednadžba 1.1) računski je svedena na dnevne vrijednosti radi lakšeg izračuna. Zadano je da se u obiteljskoj kući nalazi četvero članova od kojih svatko potroši oko 50 l tople vode na dan.

Izračun glasi:

$$Q = \frac{4,182 \cdot Vf \cdot f \cdot (\vartheta_{W,del} - \vartheta_W)}{3600} = 9.64 \text{ KWh/dan} \quad (1.1.)$$

Pri čemu je:

$Vf = 50 \text{ l/dan}$  – dnevna potrošnja vode po jedinici

$f$  – broj korisnika

$\vartheta_{W,del} = 55 \text{ °C}$  – temperatura PTV

$\vartheta_W = 13,5 \text{ °C}$  – temperatura svježe vode

### 3.3. Određivanje volumena spremnika vode [10]

Potrošnja PTV nije jednaka kroz dan, već je najveća u popodnevnim, odnosno večernjim satima. Iz tog razloga spremnik mora biti većeg obujma od potrebne dnevne količine vode, kako bi se osiguralo da u uvjetima oblačnih dana, kada nema dovoljno sunca, količina zagrijane vode bude dostatna za sve članove. Volumen spremnika računa se prema slijedećoj jednadžbi (1.2.):

$$V_s = \frac{2 \cdot v_w \cdot f \cdot (\vartheta_{w,del} - \vartheta_0)}{\vartheta_t - \vartheta_0} = 356,98 \text{ l} \quad (1.2.)$$

Gdje su:  $v_w = 50$  l/dan – dnevna potrošnja po osobi

$f$  = broj osoba

$\vartheta_{w-de1} = 55$  °C – temperatura PTV

$\vartheta_0 = 13,5$  °C - temperatura svježe vode

$\vartheta_t = 60$  °C - temperatura tople vode u spremniku

Prilikom izračuna spremnika, dobivena je zapremnina od 356,98 l, što znači da bi nam odgovarajuća zapremnina bila 400 l, odnosno prva iduća standardizirana veličina koju možemo jednostavno nabaviti na tržištu spremnika potrošne tople vode

### 3.4. Instalacija solarnog sustava

Kod instalacije solarnih sustava najbitniji korak je odabir dobrog mjesta za postavljanje kolektora. Osim odgovarajućeg kuta, bitno je da usmjerenje kolektora bude prema jugu ako je to ikako moguće. Isto tako, bitno je da pored kolektora nema pregrada, zidova, dijelova natkrovnih konstrukcija kako ne bi došlo do zasjenjenja kolektora. Odgovarajući kut iznosi 35° za ljetne mjeseci, dok po zimi radi drugačijeg kuta upada zraka on iznosi oko 55°. Uzima se srednja vrijednost ako se kolektori koriste tokom cijele godine. Ukoliko nosivost krova dozvoljava instalaciju, kolektori se povezuju sa krovnom konstrukcijom pomoću specijalnih nosača, kako bi se osigurala stabilnost u svim vremenskim uvjetima.



Slika 21. Pločasti solarni kolektori (instalacija na krovu obiteljske kuće) [autor]

Prilikom izbora cijevi za spajanje solarnog sustava sa spremnikom, treba paziti da ne dođe do reakcija sa radni medijem. Ovisno o vrsti glikola koja je odabrana za sustav prema preporuci proizvođača, mogućnost kemijske korozivne reakcije, primjerice na bakrenu cijev uvijek postoji. Stoga je bitno da odabrane cijevi sustava podnose glikol kako ne bi došlo do korozije i potencijalnog procurivanja sustava. Cijevi se uvijek postavljaju tako da je put do spremnika topline što kraći, radi manjih gubitaka topline.

Spremnik topline odabiremo prema vlastitom izboru, danas je vrlo čest slučaj da proizvođači solarnih kolektora prodaju u kompletu kolektore i spremnik. Spremnik može biti izveden i kao ugradbeni, odnosno ukopani betonski spremnik. U tome slučaju bitno je paziti da građevinari koji izvode takve radove stave odgovarajuću debljinu izolacije oko spremnika.

## 4. Zaključak

Analizom raznih kolektorskih sustava u kojima je glavni radni medij fluid, utvrdile su se razlike između pojedinih sustava, prednosti, karakteristike i prikazali princip rada svakog sustava zasebno. Detaljno su opisani koncentrirani sunčevi sustavi i izrađena je tablica na strani 26. u kojoj su uspoređeni svi parametri ovih sustava te je dan pregled najefikasnijeg. Pišući ovaj rad, upoznao sam se sa načinima iskorištenja energije sunca u sustavima toplovodnih kolektora, kao i sa većim sustavima, npr. Sunčevi tornjevi. Prikazao sam jedan od načina izbora malog solarnog toplovodnog sustava za obiteljsku kuću sa svim pratećim elementima, gdje je dan i pregled potrebne količine tople vode za prosječno četveročlano kućanstvo. Na kraju rada dan je i naputak za ugradnju sustava sa opisom bitnih koraka instalacije i naglašenom pažnjom pri odabiru radnog medija (glikola) kako ne bi došlo do galvanske korozije između inhibitora radnog fluida i apsorberske ploče unutar kolektora, koja je najčešće izrađena od bakra ili legure aluminija. Pomoću proračuna, izabrani je sustav sa solarnim kolektorima površine 3,9 m<sup>2</sup> i kapacitetom spremnika tople potrošne vode od 400 l.

## Literatura:

- [1] <http://energija-sunca.blogspot.com/2015/02/kako-radi-vakumski-solarni-kolektor.html>
- [2] <http://zeelena.com.hr/solaro-grijanje-od-cega-se-sastoji-solarni-sustav-1-dio/>
- [3] <http://www.newagebd.net/article/17615/solar-tower-power-is-on-the-rise>
- [4] <http://www.energetika-net.com/specijali/izdvajamo/energija-iz-pustinje-nevade-13825>
- [5] Majdandžić LJ., Solarne elektrane, časopis Solarna tehnologija, broj 28, Zagreb proljeće 2019.g
- [6] <https://www.pressebox.com/pressrelease/novatec-solar-gmbh/Novatec-Solars-Australian-Fuel-Saver-Commences-Operation/boxid/549539>
- [7] <https://www.sustainability-times.com/low-carbon-energy/dubai-is-busy-embracing-solar-energy/>
- [8] <https://www.alternative-energy-news.info/tulip-solar-ethiopia/>
- [9] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Sun%C4%8Deva\\_toplinska\\_energija](https://hr.wikipedia.org/wiki/Sun%C4%8Deva_toplinska_energija)
- [10] Majdandžić LJ., Solarni sustavi: teorijske osnove, projektiranje, ugradnja i primjeri izvedenih projekata (str. 123-124, 321-322), Zagreb, 2010.g.
- [11] <http://e-elektro.blogspot.com/2010/10/odabir-komponenti-solarnog-sustava.html>
- [12] <https://termometal.hr/solarne-pumpe-i-pumpne-grupe-grupa-534/>