

# Proračun i izvedba solarnog sustava za PTV za obiteljsku kuću

---

Podravec, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:684598>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-01**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





# Sveučilište Sjever

Završni rad br. 423/PS/2023

## Proračun i izvedba solarnog sustava za PTV za obiteljsku kuću

Ivan Podravec, 4192/336





# Sveučilište Sjever

Odjel za strojarstvo

Završni rad br. 423/PS/2023

## Proračun i izvedba solarnog sustava za PTV za obiteljsku kuću

**Student**

Ivan Podravec, 4192/336

**Mentor**

Dr.sc. Damir Mađerić

Varaždin, studeni 2023. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za strojarstvo

STUDIJ preddiplomski stručni studij Proizvodno strojarstvo

PRISTUPNIK Ivan Podravec

JMBAG 4192/336

DATUM 14.09.2023.

KOLEGIJ Termodinamika

NASLOV RADA Proračun i izvedba solarnog sustava za PTV za obiteljsku kuću

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Design and Implementation of a Solar System for DHW for a Family House

MENTOR dr.sc. Damir Mađerčić

ZVANJE viši predavač

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. Doc. dr. sc. Zlatko Botak, predsjednik povjerenstva
2. dr. sc. Damir Mađerčić, mentor, član
3. Doc. dr. sc. Tomislav Veliki, član
4. Prof. dr. sc. Ante Čikić, zamjenski član
- 5.

## Zadatak završnog rada

BROJ 423/PS/2023

OPIS

U radu je potrebno obraditi slijedeća područja:

1. Općenito o solarnoj energiji i potencijalu korištenja na lokaciji
2. Analiza načina prijenosa topline u instalacijama PTV
3. Proračun komponenti sustava da bi se zadovoljile potrebe za PTV za traženu lokaciju
4. Opis komponenti sustava sa dokazom da zadovoljavaju veličine prema proračunu

Izračunati period povrata za sustav u odnosu na konvencionalni način grijanja.

U eksperimentalnom dijelu potrebno je opisati i dokumentirati postupak ugradnje proračunatog sustava, te navesti i komentirati eventualna odstupanja od projektiranog sustava.

ZADATAK URUČEN

14.09.2023.

POTPIS MENTORA

SVEUČILIŠTE  
SJEVER

## **Predgovor**

Na početku se zahvaljujem mentoru, dr.sc. Damiru Mađeriću na prihvaćanju teme, sudjelovanju i pomoći u izradi završnog rada. Odabir teme je bio na temelju moje zainteresiranosti za područje solarnog sustava. Isto tako bi se zahvalio svim profesorima sa Sveučilišta Sjever uz pomoć kojih sam proširio svoje znanje i stekao razne vještine. Zahvaljujem se i obitelji jer su mi na sve načine omogućili studiranje na Sveučilištu Sjever i koji su mi bili najveća podrška i motivacija.

## Sažetak

U ovom završnom radu opisani je postupak odabira i načina ugradnje solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode. Ideja ovog rada je iskorištavanje obnovljivih izvora energije u svrhu dobivanja tople potrošne vode za obiteljsku kuću, zamjena alternativnih načina grijanja potrošne tople vode sa modernijim i ekološki prihvatljivijim načinom grijanja.

Opisane su metode proračuna koje se koriste prije odabira solarnog sustava u svrhu potrošne tople vode za obiteljsku kuću, kao i odabir solarnog sustava na temelju potrebne količine tople vode i količine sisanja sunca na području Međimurja. Uspoređene su i karakteristike pločastih i vakuumskih kolektora koji prikupljaju sunčevu energiju. Na temelju tih podataka, odabran je najisplativiji i najpogodniji sustav za grijanje potrošne tople vode peteročlane obitelji.

Nakon proračuna opisani je i praktični dio koji je povezan sa samom instalacijom i montažom solarnih vakuumskih kolektora, solarnog spremnika i ostalih neophodnih komponenata na obiteljsku kuću. Isto tako opisani su načini i mogućnosti nadogradnje grijanja vanjskog bazena uz pomoć solarnog sustava.

Ključne riječi: Solarni sustav, potrošna topla voda, obnovljivi izvori energije, obiteljska kuća, solarni kolektori, grijanje vode u bazenu

## Abstract

This final paper describes the procedure for selecting and installing a solar system for the preparation of hot water consumption. The idea of this work is to use renewable energy sources for the purpose of obtaining hot water consumption for a family house, replacing alternative heating methods of hot water consumption with a more modern and environmentally friendly heating method.

Calculation methods are described that are used before choosing a solar system for the purpose of hot water consumption for a family home, as well as choosing a solar system based on the required amount of hot water and the amount of sunshine in the area of Međimurje. The characteristics of plate and vacuum collectors that collect solar energy were also compared. Based on these data, the most cost-effective and suitable system for heating the hot water consumption of a family of five was selected.

After the calculation, the practical part related to the actual installation and assembly of solar vacuum collectors, solar tank and other necessary components on the family house is described. The ways and possibilities of upgrading the heating of the outdoor pool with the help of a solar system are also described.

Key words: Solar system, domestic hot water, renewable energy sources, family house, solar collectors, pool water heating

## **Popis korištenih kratica**

<b>PTV</b>	Potrošna topla voda
<b>Itđ.</b>	I tako dalje
<b>Npr.</b>	Na primjer



# Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Obnovljivi izvori energije .....	2
2.1.	Sunčeva energija .....	3
2.1.1.	Prijenos topline kondukcijom.....	4
2.1.2.	Prijenos topline konvekcijom .....	5
2.1.3.	Prijenos topline zračenjem.....	5
2.2.	Energija vode.....	7
3.	Potrošna topla voda.....	8
3.1.	Priprema PTV-a električnom energijom .....	8
3.2.	Priprema PTV-a plinskim kotlovima .....	9
3.3.	Priprema PTV-a solarnim sustavom .....	10
3.4.	Priprema PTV-a dizalicama topline .....	10
4.	Neophodne komponente za pripremu PTV-a uz pomoć solarnog kolektora .....	13
4.1.	Solarni kolektori .....	13
4.1.1.	Vakumski kolektor .....	14
4.1.2.	Pločasti kolektor.....	18
4.2.	Toplinski spremnik vode .....	21
4.3.	Izmjenjivač topline .....	23
4.4.	Ekspanzijska posuda .....	25
4.5.	Radni medij za prijenos topline.....	27
4.6.	Solarna regulacija .....	29
4.6.1.	Cirkulacijska pumpa za radni medij.....	29
4.6.2.	Solarni regulator.....	30
5.	Proračun solarnog sustava za kuću .....	31
5.1.	Potrebna energija topline (količina sunca u godini).....	31
5.2.	Potrebna količina potrošne vode i volumena spremnika.....	32
5.3.	Odabir vrste i broja kolektora.....	35
5.4.	Troškovi projekt .....	37
6.	Ekperimentalni dio (odabir i ugradnja sustava) .....	38
7.	Nadogradnja grajanja vode vanjskog bazena (mogućnost daljnjeg istraživanja) .....	48
8.	Zaključak.....	50
9.	Literatura.....	51
	Popis slika .....	53
	Popis tablica .....	54

# 1. Uvod

Rastući problem globalnog zagrijavanja na Zemljinoj površini potaknut je emisijama stakleničkih plinova u atmosferu. Korištenje obnovljivih izvora energije, poput sunčeve, vjetrove, hidro i geotermalne energije, nije samo način da se smanje te emisije i zaustavi napredovanje globalnog zagrijavanja, već i strategija za održivu budućnost. Ti izvori energije obiluju, neprestano dostupni, te njihova upotreba pridonosi smanjenju naše ovisnosti o ograničenim zalihama fosilnih goriva. Ulaganje u obnovljive izvore energije također može imati pozitivan učinak na gospodarstvo, stvarajući nova radna mjesta i potičući inovacije u tehnologiji. [1]

Voda predstavlja jedan od temeljnih preduvjeta za postojanje života na Zemlji, bez nje bi život bio neizvodljiv. Ona se koristi i troši na svakom koraku i u različite svrhe. Jedna od tih svrha je i osobna higijena koju svaki pojedinac treba svakodnevno. Hladna potrošna voda ne zahtijeva nikakve prijašnje obrade ili pripreme kako bi bila iskorištena, međutim topla voda je ona koja predstavlja neke obrade te nije dostupna bez prethodnog zagrijavanja iste. Potrošnu vodu možemo u današnje vrijeme zagrijati na više načina samo je pitanje koji od tih načina je ekonomski prihvatljiv, najjednostavniji i ekološki prihvatljiv. Dobro poznati načini grijanja vode kao što su na primjer grijanje plinom ili električnom energiju, postaju sve više ekonomski neprihvatljivi i zastarjeli. Cilj je odabrati odgovarajući solarni sustav koji nakon određenog vremena rezultira besplatnom energijom i lako dostupnom toplom potrošnom vodom. [2]

Solarni kolektori postaju sve popularniji izbor za proizvodnju toplinske energije na ekološki prihvatljiv način, često se instaliraju na krovovima obiteljskih kuća. Ugradnja solarnog sustava povećava vrijednost nekretnine i poboljšava energetske certifikate, što može biti korisno u slučaju prodaje. Uz sve to nakon određenog vremena izvor su besplatne energije u obliku tople vode. Korištenje solarnih kolektora za proizvodnju tople vode ne samo da pomaže u smanjenju troškova energije za obitelj, već također doprinosi smanjenju emisija stakleničkih plinova i pomaže u očuvanju okoliša. [3]

Upoznat ćemo se sa neophodnim komponentama koje su potrebne za pripremu potrošne tople vode solarnom energijom. Uz pomoć odgovarajućih proračuna lako se mogu odrediti količine, vrsta i kapaciteti potrebnih komponenti iste. Biti će prikazan redoslijed i postupak ugradnje vakuumskog kolektora na krovnište, spajanje kolektora sa odabranim spremnikom topline kapaciteta 300 litara te spajanje istog sa ostalim dijelovima za siguran i pouzdan rad solarnog sustava kao što su pumpna stanica i ekspanzijska posuda. U današnje vrijeme sve više domova želi ili ima vanjski bazen za uživanje i kupanje, a solarni sustav može biti odličan izbor za grijanje hladne vode u bazenu.

## 2. Obnovljivi izvori energije

Energija dolazi od Grčke riječi „*energos*“ što znači aktivnost. Energija predstavlja svojstvo sustava koje opisuje njegovu sposobnost da obavi rad, a mjera jedinica za energiju je džul (J). Ključna karakteristika energije je da se ne može stvoriti niti uništiti, ali se može transformirati iz jedne forme u drugu, što se temelji na zakonu o očuvanju energije. Izvori energije se dijele na neobnovljive i obnovljive. Obnovljivi izvori energije manje štete okolišu u usporedbi s fosilnim gorivima, no upotreba obnovljivih izvora energije suočava se s izazovom ekonomske isplativosti, osobito zbog trenutno niske tehnološke razvijenosti. Kao članica Europske unije, Republika Hrvatska se obvezala na implementaciju europskog klimatsko-energetskog paketa, koji uključuje i Direktivu 2009/28/EZ o poticanju korištenja energije iz obnovljivih izvora. [4]

U obnovljive izvore energije spadaju:

- Solarna energija - korištenjem solarnih panela se prikuplja sunčeva energija i pretvara u električnu energiju.
- Vodena energija - energija se proizvodi korištenjem snage vode koja pokreće turbine u hidroelektranama.
- Vjetroenergija - energija se proizvodi korištenjem vjetra koji pokreće turbine vjetroelektrana.
- Geotermalna energija - energija se proizvodi korištenjem toplote iz zemljine kore, koja se pretvara u električnu energiju.
- Biomasa - energija se proizvodi korištenjem biljnih ili životinjskih materijala, poput drveta, biomase iz poljoprivrede, ostataka hrane i sl.
- Plima i oseka - energija se proizvodi korištenjem plime i oseke, korištenjem morskih turbina.

Neobnovljivi izvori energije su izvori energije koji se nalaze u prirodi u ograničenim količinama i ne mogu se obnoviti u kratkom vremenskom periodu. Korištenje ovih izvora energije ima štetne utjecaje na okoliš, a dugoročno je neodrživo. Fosilna goriva su također poznata kao neobnovljivi izvori energije. Proizvodnja, prijevoz i korištenje energije, zajedno s tehnologijama za eksploataciju i proizvodnju tih goriva (izvora energije), značajno negativno utječu na okoliš i ekosisteme. Posljedice na okoliš obuhvaćaju raznolike probleme, počevši od direktnih ekoloških tragedija poput velikih izljeva nafte, pojave kiselih kiša i izloženosti radioaktivnom zračenju, pa sve do neizravnih posljedica, uključujući globalno zatopljenje. Stoga se potiče tranzicija prema obnovljivim izvorima energije, jer su ekološki čisti, održivi na dugi rok i obnovljivi. [5]

U najčešće korištene obnovljive izvore energije ubrajaju se:

- Fosilna goriva - uključujući naftu, ugljen i plin. Ovi se izvori energije dobivaju iz fosilnih ostataka i postaju sve teže dostupni i skupi za eksploataciju.
- Nuklearna energija - energija se proizvodi razgradnjom radioaktivnih elemenata, što stvara velike količine nuklearnog otpada.

## 2.1. Sunčeva energija

Sunce je zvijezda koja se nalazi u središtu Sunčevog sustava i predstavlja izvor energije i svjetlosti za Zemlju i sve ostale planete u Sunčevom sustavu. Sunce je gotovo idealna sfera plina, dominirajući sastojcima vodikom i helijem, dok sadrži manje količine drugih elemenata kao što su kisik, ugljik, neon i željezo. Sunce ima ogromnu masu i gravitacijsku privlačnost, što ga drži u stabilnoj orbiti zajedno s planetima. Sunce isporučuje Zemlji 15 tisuća puta više energije nego što čovječanstvo u sadašnjoj fazi uspijeva potrošiti, ali usprkos tome neki ljudi na Zemlji se smrzavaju. Očito je da trebamo aktivnije koristiti obnovljive izvore energije i ne moramo se brinuti o opskrbi energijom nakon razdoblja fosilnih goriva. Sunčeva energija je zaista nevjerojatno važan izvor energije za život na Zemlji, koji se može koristiti na mnogo načina. Jedna od glavnih prednosti sunčeve energije je njezina održivost, jer se neprestano obnavlja i ne iscrpljuje se kao fosilna goriva. Upotreba sunčeve energije ne rezultira emisijom štetnih plinova koji onečišćuju okoliš, što je česta situacija s fosilnim gorivima.[1]

Nedostatak korištenja sunčeve energije je njena oscilirajuća dostupnost, jer se sunčeva svjetlost mijenja tijekom dana i sezona. Međutim, moderna tehnologija omogućuje pohranjivanje viška energije proizvedene tijekom sunčanih razdoblja u baterije, što se može koristiti kada je manje sunčeve svjetlosti. Uz sve to, investiranje u solarnu tehnologiju može biti isplativo dugoročno, jer se cijena solarnih panela smanjuje dok se tehnologija poboljšava, a troškovi fosilnih goriva rastu. Sunce je i dalje predmet mnogih istraživanja i studija, kako bi se bolje razumjela njegova uloga u svemiru i kako bi se razvile nove tehnologije koje bi mogle koristiti njegovu energiju u budućnosti.

Osnovni načini izravne upotrebe energije Sunca uključuju:

- solarni kolektori

Solarni kolektor iskorištava energiju sunca kako bi je pretvorbu u toplinsku energiju, bilo vode ili neke druge radne tvari. Da, kombinacija solarnih kolektora za grijanje vode i zraka može biti

vrlo učinkovita u smanjenju potrošnje energije. Na taj način se može koristiti jedan sustav za zagrijavanje vode i prostorija umjesto dvaju različitih sustava, što može dovesti do uštede novca i energije. Također, solarni kolektori za grijanje zraka mogu biti korisni u prostorijama koje se rijetko koriste ili su manje veličine, dok se solarni kolektori za grijanje vode obično koriste za opskrbu toplom vodom u kućanstvu ili industriji. [6]

- fotonaponske ćelije

Fotonaponski sustav pretvara sunčevu energiju u električnu energiju za razne načine upotrebe. Fotonaponske ćelije sastoje se od dva različito nabijena poluvodiča, a kada su izloženi sunčevoj energiji, proizvode električnu energiju putem fotoelektričnog efekta. Ovaj efekt omogućava pretvaranje energije svjetlosti (fotona) u električnu energiju. Kada foton s dovoljnom energijom udari u površinu materijala, može izbaciti elektrone iz atoma tog materijala. Ovi oslobođeni elektroni nazivaju se fotoelektronima. Fotoelektrični efekt ovisi o frekvenciji svjetla, a ne o njegovom intenzitetu, odnosno jakosti. To implicira da se za izazivanje fotoelektričnog efekta zahtijeva svjetlost određene frekvencije (energije). Ako svjetlo nema dovoljno energije, neće doći do izbacivanja elektrona, bez obzira na to koliko je intenzivno. Baterije se često koriste za pohranu viška električne energije koja se proizvodi tijekom sunčanih dana i može se koristiti kada sunčeva svjetlost nije dostupna. Ovo povećava pouzdanost solarnih sustava i omogućuje korisnicima da iskoriste solarnu energiju tijekom cijelog dana. Istosmjerna struja koja se proizvodi u fotonaponskim ćelijama, često se mora pretvoriti u izmjeničnu struju kako bi se koristila u kućanstvima. Ovo se postiže putem izmjenjivača. Osim toga, postoje i druge tehnologije koje se koriste za iskorištavanje sunčeve energije, kao što su solarni lonci za kuhanje hrane, solarni osvježivači zraka, solarni punjači za mobilne uređaje itd. Sve ove tehnologije koriste sunčevu energiju kao izvor energije. [7]

### **2.1.1. Prijenos topline kondukcijom**

Kondukcija ili provođenje je jedan od načina prijenosa topline u kojem toplina putuje kroz materijal zbog razlike u temperaturi. Kada se dva tijela različite temperature dodirnu, toplina će se prenositi od tijela više temperature do tijela niže temperature dok se ne uspostavi ravnoteža. Kondukcija se događa u krutim, tekućim i plinovitim tvarima, a brzina prijenosa topline kroz materijal ovisi o vrsti materijala, njegovoj gustoći, temperaturi i drugim svojstvima. Veličina  $\lambda W/(mK)$  naziva se “koeficijent toplinske vodljivosti” ili “toplinska provodnost” nekog promatranog materijala i mjeri se. Metali imaju najveće vrijednosti dok plinovi imaju najmanje

vrijednosti toplinske provodnosti. U mnogim slučajevima želimo smanjiti kondukciju kako bismo sačuvali toplinu, poput korištenja izolacije u kućama i drugim građevinama, a također i u proizvodnji termalne odjeće kako bi se zadržala tjelesna toplina. Primjer prijenosa topline kondukcijom je prijenos topline iz toplije sobe kroz zid na vanjsku hladniju okolinu. Kondukcija igra važnu ulogu u svakodnevnom životu i u mnogim tehnološkim aplikacijama, uključujući inženjerske materijale i procese, kao i u znanstvenim istraživanjima. [8]

### **2.1.2. Prijenos topline konvekcijom**

Izraz "prijenos topline konvekcijom" odnosi se na prijenos topline između čvrste pregrade i okolne tekućine (plina ili tekućine) koja se nalazi uz njega. Prijenos topline konvekcijom može biti klasificiran kao prirodna ili prisilna konvekcija, ovisno o faktorima koji uzrokuju strujanje fluida. U prirodnoj konvekciji strujanje fluida pokreće razlika u gustoći koja nastaje zbog razlika u temperaturi, dok se u prisilnoj konvekciji strujanje nametne vanjskim silama, poput ventilatora, pumpe ili drugih uređaja koji fluidu daju energiju. I u slobodnoj i prisilnoj konvekciji, pojavljuju se dva načina strujanja, laminarno i turbulentno, što ovisi o veličini pokretačke sile i brzini strujanja same tekućine. Kada tekućina struji nižim brzinama onda govorimo o laminarnom strujanju, dok turbulentno strujanje nastupa pri višim brzinama strujanja. [8]

Važno je naglasiti da se konvekcijom toplina prenosi samo kroz fluid, a ne kroz sam materijal. Kad govorimo o prijenosu topline konvekcijom važno je definirati koeficijent prijelaza topline  $\alpha \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ . Na primjer što je koeficijent prijelaza topline veći, toplina se bolje prenosi na čvrstu stijenu. [9].

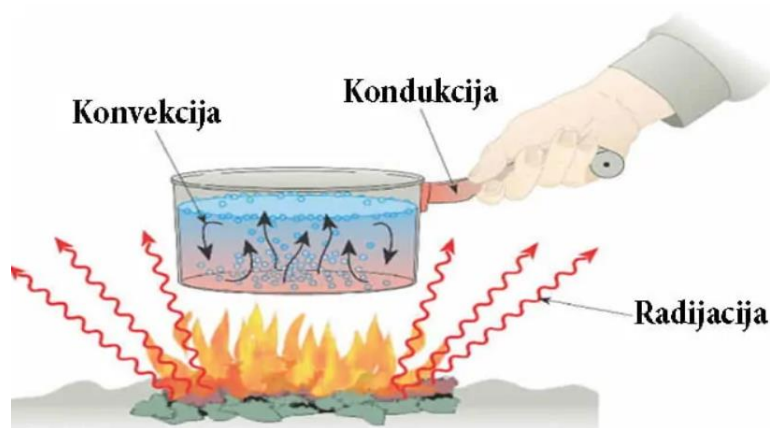
### **2.1.3. Prijenos topline zračenjem**

Prijenos topline zračenjem razlikuje se od prijenosa topline putem provođenja i konvekcijom jer ne uključuje prijenos materijalnih čestica. Umjesto toga, toplinska radijacija odvija se putem elektromagnetskih valova koji se šire kroz prostor. Ovaj oblik prijenosa topline može se javiti i kroz vakuum, jer se elektromagnetski valovi mogu kretati kroz prazan prostor bez prepreka. Važno je napomenuti da se zračenje ne širi uvijek u istom smjeru, već se može odbijati ili apsorbirati. Materijali koji dobro apsorbiraju zračenje, kao što su tamne boje, brže se zagrijevaju od materijala koji ga slabije apsorbiraju, poput svjetlijih boja ili metala. Radijacijski prijenos

topline se javlja između svih tijela koja imaju temperaturu iznad apsolutne nule, uključujući i tijela u vakuumu. [8]

Zračenje crnog tijela označava toplinsko elektromagnetsko zračenje koje dolazi od idealnog crnog tijela. Ovo tijelo ne propušta svjetlost niti je odbija, te se nalazi u stanju termodinamičke ravnoteže s okolinom. Stefan-Boltzmannov zakon govori da zračena toplina apsolutno crnog tijela iznosi  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ . Kada tijela nisu idealna (apsolutno crna) zračena je toplina manja, tada se umjesto  $\sigma$  uzima manji faktor  $\varepsilon \cdot \sigma$ , gdje je  $\varepsilon < 1$ .

Prethodno opisani oblici prijenosa topline se često pojavljuju kombinirano, rijetko izolirano, stoga stvaraju dojam kao da su dio istog fenomena, pa se moraju tretirati zajedno. Ovi oblici prijenosa se razvrstavaju u dva osnovna tipa procesa. Prvi tip procesa obuhvaća razmjenu topline između čvrstog tijela koje je zagrijano i okoline s nižom ili višom temperaturom. U ovom slučaju, površina tijela izmjenjuje toplinu s okolinom putem zračenja i konvekcije, dok toplina istovremeno prolazi kroz unutrašnjost tijela provođenjem. Drugim riječima, sve tri metode prijenosa topline su aktivne istovremeno. Ovaj proces se može opisati kao grijanje ili hlađenje tijela. Drugi tip procesa uključuje prijenos topline između fluida s jedne strane čvrste stijenke i fluida s druge strane stijenke. I u ovom slučaju, istovremeno su prisutna sva tri načina prijenosa topline: zračenje, konvekcija i provođenje. Ovaj proces se obično naziva prijenosom topline kroz stijenku ili prolazom topline.[9] Kao izvor materijala (o vrstama prijenosa topline) služila su predavanja iz termodinamike na Sveučilištu Sjever, dr.sc. Damir Mađerić.



Slika 2.1.3. Primjer konvekcije, kondukcije i zračenja (preuzeto s interneta)

## 2.2. Energija vode

Više od 2/3 Zemljine površine pokriveno je oceanima, morima, rijekama i jezerima, a samo 1/3 pokriva kopno. Energetska snaga koja proizlazi iz sile ili kinetičke energije tekuće vode može se koristiti na različite načine u svrhu proizvodnje električne energije, a ovaj proces poznat je kao hidroenergija ili energija vode. Povijest hidroenergije seže tisućama godina unazad. Na primjer, Grci su koristili vodene kotače za mljevenje pšenice u brašno prije više od 2000 godina. Energija vode se odnosi na oblik obnovljive energije koji proizlazi iz korištenja energije struje vode za proizvodnju električne energije. Ovaj proces se odvija kroz hidroelektrane, koje koriste gravitacijsku silu padajuće vode kako bi pokrenule turbine koje proizvode električnu energiju. Postoje tri osnovne vrste hidroelektrana: brane, škrljci i plimne hidroelektrane. Brane se grade na velikim rijekama i koriste visinu padina za proizvodnju električne energije. Škrljci koriste brzake i slapove u planinskim rijekama, dok plimne hidroelektrane koriste snagu plime i oseke da bi proizveli električnu energiju. Energija vode se može koristiti i za proizvodnju mehaničke energije, kao što je na primjer upotreba vodenih mlinova za mrvljenje žitarica ili za pogon strojeva u industriji. Energija vode je čista i ne zagađuje okoliš, a uz to je i obnovljiva, što je čini vrlo privlačnom opcijom za proizvodnju električne energije. [10]



### **3. Potrošna topla voda**

Svaki običan građanin svakodnevno koristi oko 200 litara pitke vode, što obuhvaća vodu potrebnu za osobnu higijenu, pranje posuđa, zalijevanje biljaka i druge svakodnevne aktivnosti. Od tog ukupnog iznosa, prosječno 60 litara vode dnevno troši se za toplu vodu pri temperaturama od 40 °C do 60 °C. Ova topla voda uglavnom se koristi za tuširanje, pranje ruku, četkanje zubi, i pranje posuđa, međutim, u sezonama bez grijanja, priprema tople potrošne vode često predstavlja najveći pojedinačni energetska trošak u kućanstvu. Zagrijavanje potrošne tople vode iziskuje toplinsku energiju, što zahtijeva potrošnju energije, korištenje obnovljivih izvora energije, poput solarnog sustava, može biti odlično rješenje. Međutim, u regijama s hladnijim klimatskim uvjetima, solarna energija sama često nije dovoljna da zadovolji potrebe za potrošnom toplom vodom i grijanjem tijekom cijele godine. Zbog toga se često primjenjuje kombinacija solarnih sustava s konvencionalnim izvorima topline kao što su biomasa (npr. drvo ili peleti), električna energija, uljni ili plinski kotlovi. Solarni sustavi mogu biti integrirani s postojećim sustavima grijanja i PTV-a, što omogućuje fleksibilnost i učinkovito iskorištavanje raspoložive energije. Konvencionalni izvori topline se koriste kada solarni sustav nije u mogućnosti osigurati dovoljnu toplinsku energiju, na primjer tijekom oblačnih razdoblja ili zimi kada je sunčeva insolacija niža. [6]

#### **3.1. Priprema PTV-a električnom energijom**

Ovo je najjednostavniji i najčešći način zagrijavanja vode. Električni grijači se nalaze u spremnicima za toplu vodu, a kada se voda ohladi, grijač se automatski uključuje i zagrijava vodu na željenu temperaturu. Električni bojleri kao izvor tople vode trebaju biti odabrani s obzirom na specifične potrebe i karakteristike objekta, kao i cijene električne energije na lokaciji. Da bi se osigurala sigurnost i učinkovitost rada električnog bojlera, nužno je pregledati i provjeriti uvjete vezane uz električne instalacije i kapacitet električnog sustava objekta. U objektima u kojima nije proveden plin ili ne postoji povezan sustav grijanja koji zagrijava i potrošnu vodu, električni bojleri su logičan odabir. Ovakvi bojleri su praktični, jednostavni za montažu i početna cijena im je niska, no s obzirom na cijene električne energije dugoročno predstavljaju skuplje rješenje. Vrlo bitno je i održavati uređaj i čistiti grijače od kamenca jer se nakupljanjem kamenca smanjuje učinkovitost grijača i potrebna je veća energija kako bi se zagrijala voda.

Glavne vrste električnih bojlera su:

- Protočni električni bojler

Protočni električni bojleri zagrijavaju vodu samo kada se ona koristi, tako da ne postoji spremnik s vodom. Oni su manji i jeftiniji od akumulacijskih bojlera, ali mogu biti manje učinkoviti i ne mogu osigurati dovoljno tople vode za velike potrošače vode kao što su kupaonice ili tuševi.

- Akumulacijski električni bojler

Akumulacijski električni bojleri koriste spremnik koji se zagrijava preko noći ili u vrijeme kada je električna energija jeftinija, a topla voda se koristi tijekom dana. Oni su veći i skuplji od protočnih električnih bojlera, ali mogu biti učinkovitiji i omogućiti kontinuiranu opskrbu toplom vodom čak i za velike potrošače. [12]

### **3.2. Priprema PTV-a plinskim kotlovima**

Plinski grijači koriste plin za zagrijavanje vode. Plin se sagorijeva u plameniku, a toplina koju proizvodi prenosi se na vodu u spremniku. Plinski kotao može biti odličan izbor za PTV, jer se plin smatra relativno čistim i ekonomičnim gorivom. Također, plinski kotlovi imaju visok koeficijent iskorištenja, što znači da većina energije koja se generira prilikom izgaranja goriva zaista koristi za zagrijavanje prostora i/ili potrošne vode. Plinski kotlovi mogu biti:

- kondenzacijski
- ne kondenzacijski

Kondenzacijski kotlovi su visoko učinkoviti uređaji za grijanje vode ili prostora koji koriste princip kondenzacije vodene pare kako bi iskoristili latentnu toplinu. Latentna toplina je toplina koja se mora dodati ili ukloniti iz tvari kako bi promijenila svoje agregatno stanje bez promjene temperature. Primjer latentne topline je upravo kondenzacija vodene pare u tekuću vodu. Kada vodena para kondenzira, mora se osloboditi topline (latentne topline) iz pare kako bi prešla u tekuće stanje. Kondenzacijski kotlovi iskorištavaju latentnu toplinu vodene pare koja se oslobađa tijekom kondenzacije pare u dimnim plinovima. Kada dimni plinovi ohlade dovoljno nisko, vodena para u dimnim plinovima kondenzira se u tekuću vodu. Tijekom ovog procesa, otpušta se znatna količina topline, koja se prenosi na vodu u kotlu i koristi se za zagrijavanje tople vode ili prostora. Prednost kondenzacijskih kotlova je u tome što maksimalno iskorištavaju dostupnu toplinu iz goriva, jer se čak i latentna toplina vodene pare koja se obično gubi kod konvencionalnih kotlova koristi za grijanje. To rezultira većom učinkovitošću i boljom iskoristivošću energije iz goriva, što dovodi do smanjenja troškova. Kako bi se postigla što veća razina kondenzacije vodene

pare u dimnim plinovima, temperatura dimnih plinova se namjerno hladi na niske temperature, obično u rasponu od 35 do 75 °C, dok je kod konvencionalnih kotlova, temperatura dimnih plinova obično viša, oko 160 °C. Ova temperatura je potrebna kako bi se osigurao dovoljno veliki gradijent gustoće između dimnih plinova i okolinskog zraka. To stvara uzgonske sile koje omogućuju strujanje dimnih plinova kroz dimnjak i sprječavaju vraćanje dimnih plinova u kotao ili prostor. Uz prirodni plin za zagrijavanje vode često se koristi i lož ulje. Problem kod lož ulja je visok sadržaj sumpora. Sumpor prisutan u lož ulju može dovesti do sumporne korozije i oštećenja kotla, što smanjuje njegovu učinkovitost i životni vijek. Zbog toga kondenzacijski dio kotla, gdje dolazi do kondenzacije vodene pare i potencijalno korozije zbog sumporne kiseline, mora biti izrađen od vrlo otpornih materijala. To obično uključuje nehrđajuće čelike koji sadrže krom, nikal ili legure na bazi nikla. Jedan od nedostataka plinskih kotlova može biti njihova ovisnost o plinskom opskrbljivaču, što znači da je potrebno osigurati stabilnu opskrbu plinom. Također, cijena plina može varirati i biti nešto viša u određenim razdobljima. Dodajmo da je kod plinskih kotlova potrebno instalirati dimnjak što povećava cijenu ugradnje samog sustava. [13]

### **3.3. Priprema PTV-a solarnim sustavom**

Solarni toplovodni sustavi prikupljaju sunčevu energiju koju koriste za zagrijavanje vode u spremniku. Zagrijana voda se koristi kao PTV i/ili kao topla voda za niskotemperaturno grijanje prostora. Sunčevi kolektori apsorbiraju energiju Sunca i mijenjaju je u toplinsku energiju. Ta toplinska energija se dalje koristi za zagrijavanje vode u spremniku. Ovaj način zagrijavanja vode je ekološki prihvatljiviji i može smanjiti troškove energije. Bitno je napomenuti da solarni sustavi ovise o raspoloživosti Sunčeve energije i mogućnosti apsorpcije i pohrane toplinske energije. U slučaju oblačnih ili kišovitih razdoblja kada je insolacija niska, solarni sustavi neće moći proizvesti dovoljno toplinske energije za zadovoljavanje potreba za toplom vodom. Stoga je važno imati adekvatno dimenzionirani spremnik za akumulaciju topline tijekom sunčanih razdoblja. Veliki spremnik omogućuje skladištenje više toplinske energije za kasniju upotrebu kada Sunca nema. Na taj način osigurava se kontinuirano dostupna topla voda, čak i kada solarni sustav ne proizvodi dovoljno energije. [14]

### **3.4. Priprema PTV-a dizalicama topline**

Toplinske pumpe ili dizalice topline koriste toplinu zraka, vode ili zemlje kako bi zagrijale vodu. Ova tehnologija je učinkovita i može značajno smanjiti troškove energije. Dizalice topline

su visoko učinkovite naprave za prijenos toplinske energije iz sustava s nižom temperaturom na sustav s višom temperaturom. One koriste ljevokretni kružni proces radnog medija koji omogućava korištenje dodatne energije za taj prijenos. Spremnici za toplinu različitih temperaturnih razina uključuju:

- toplinski izvor: predstavlja prostor niže temperature iz kojeg se toplina odvodi. Iz različitih prostora može se odvoditi toplina, a taj prostor ili medij obično ima nižu temperaturnu razinu. To uključuje neposrednu okolinu, kao što su tlo, površinske ili podzemne vode, okolni zrak ili čak otpadni, istrošeni ili onečišćeni zrak.
- toplinski ponor: Toplinski ponor se opisuje kao prostor ili medij više temperature u koji se dovodi toplina. To može biti zrak u prostoriji, voda u sustavu grijanja, potrošna topla voda ili neki medij za grijanje.

Dizalice topline se često koriste ne samo za grijanje prostora, već i za pripremu tople potrošne vode, kao i za ventilaciju i klimatizaciju. Jedna od glavnih prednosti dizalica topline leži u njihovoj visokoj energetskej učinkovitosti, budući da troše značajno manje energije u usporedbi s konvencionalnim sustavima grijanja ili hlađenja. Ključna komponenta njihove učinkovitosti je izvor topline koji koriste i njegove karakteristike. Najčešće korišteni izvori topline za dizalice topline uključuju:

1. Zrak- iz okoliša je, što znači da je besplatan i široko dostupan izvor topline za dizalice topline. Zrak može biti izvor topline kod dizalice topline, a proces koji omogućuje toplinsku razmjenu zraka naziva se "zračna dizalica topline". Dizalice topline rade na principu prijenosa topline iz niskotemperaturnog izvora (u ovom slučaju, zraka) prema visokotemperaturnoj strani (unutar stambenog prostora). Ovaj proces omogućuje zagrijavanje prostora u hladnim uvjetima. Dizalice topline imaju vanjsku jedinicu koja je izložena zraku. Ova vanjska jedinica sadrži kompresor i isparivač dok unutarnja jedinica dizalice distribuira toplinu unutar stambenog prostora. Obično koriste ventilacijski sustav kako bi ravnomjerno rasporedile zagrijani zrak po prostoru. Ovisno o dizajnu, mogu se koristiti kanali za distribuciju zraka ili jednostavne ventilacijske otvore. Zrak često ima i funkciju hlađenja. U tom slučaju, proces se može obrnuti, a dizalica topline može apsorbirati toplinu zraka iznutra i oslobađati je vani, što omogućuje klimatizaciju prostora.
2. Voda- Korištenje podzemnih voda kao izvora topline za dizalice topline čest je izbor zbog njihove relativno stabilne temperature tijekom cijele godine, koja se obično kreće u rasponu od 8-12 °C. Taj princip se često naziva "vodena dizalica topline". Ovi uređaji koriste energiju iz vode kako bi podigli temperaturu i isporučili toplinu unutar prostora.

Ova vrsta dizalice topline koriste vodu ili vodeni izvor (poput podzemne vode ili površinske vode) kao izvor niskotemperaturne topline. Pomoću kompresora i cirkulacije rashladnog sredstva, ova toplina se podiže na višu temperaturu i koristi za grijanje prostora. Izvor topline može biti podzemna voda, jezero ili rijeka. U sustavima s vodom, posebno u sustavima s otvorenim izvorima vode, postoji potencijal za rast bakterija i koroziju. Kontrola i prevencija ovih problema mogu biti važni za održavanje dugotrajnosti i učinkovitosti sustava što znači da ovaj sustav zahtijeva kontinuirano održavanje međuspremnik topline i godišnje provjere čišćenje kako bi se osigurala njegova učinkovitost.

3. Zemlja- Ova tehnologija iskorištava konstantnu temperaturu tla na određenoj dubini kako bi grijala ili hladila prostorije. Ovaj tip dizalice topline se obično sastoji od zatvorenog sustava cijevi ispunjenih rashladnim sredstvom koje se polaže u zemlju, obično na dubini od 1,5-2,5 metra. Kada se rashladno sredstvo cirkulira kroz cijevi, ono apsorbira toplinu iz tla. Apsorbirana toplina se naknadno iskorištava za grijanje vode u spremniku. Ovo je princip rada toplinske pumpe, koja se sastoji od kompresora, kondenzatora, isparivača i ekspanzijskog ventila. Osim toga, ovaj sustav ima niski ekološki utjecaj i može se koristiti tijekom cijele godine, čineći ga privlačnim izborom za mnoge primjene. [15]

## **4. Neophodne komponente za pripremu PTV-a uz pomoć solarnog kolektora**

Solarni kolektori za PTV su ekološki prihvatljivi i energetske učinkoviti način zagrijavanja vode jer koriste besplatnu energiju Sunca. Također, mogu značajno smanjiti potrošnju drugih izvora energije poput plina, ulja ili električne energije, što rezultira značajnom uštedom novca i smanjenjem izlučivanja stakleničkih plinova. Solarni kolektori za pripremu PTV-a su uređaji koji apsorbiraju sunčevu energiju i koriste je za grijavanje vode. Ovi kolektori obično su postavljeni na krovovima ili drugim sunčanim površinama kako bi maksimalno iskoristili sunčevu energiju. Postoje različite vrste solarnih kolektora, ali najčešći su pločasti kolektori i vakuumski cijevni kolektori.

### **4.1. Solarni kolektori**

Sunčevi kolektori dolaze u različitim vrstama, prilagođenim različitim temperaturnim rasponima i koristeći specifične toplinske medije za prijenos energije. Ovi kolektori se obično klasificiraju kao nekoncentrirani i koncentrirani sustavi.

- Nekoncentrirani sunčevi sustavi obično se sastoje od pločastih sunčanih kolektora koji se najčešće koriste za zagrijavanje potrošne vode ili grijanje zraka. Na površini ovih kolektora nalazi se apsorpcijska ploča koja služi za prikupljanje toplinske energije od sunca. Nakon toga, toplina se prenosi putem posebnog toplinskog fluida, pohranjuje u spremniku za toplinu, a sve je smješteno u kućištu kolektora. Neki od nekoncentriranih sunčevih kolektora su vakuumski kolektori, pločasti kolektori i kolektori bez ostakljenja. [16]
- Koncentrirani sunčevi sustavi predstavljaju tehnologiju proizvodnje električne energije koja se oslanja na ogledala i leće kako bi usmjeravala sunčeve zrake ili sunčevu energiju na male površine, odnosno na prijarnik topline, poznat kao kolektor. Unutar ovog prijarnika topline, sunčeve zrake zagrijavaju radni fluid (koji može biti voda, ulje, tekući natrij i drugi) koji potom pokreće parnu turbinu ili Stirlingov motor, čime se proizvodi električna energija slično kao u konvencionalnim elektranama. Neki od koncentriranih sunčevih sustava su parabolični kolektori, Fresnelovi kolektori, sunčevi tornjevi i sunčevi tanjuri. [17]

Kako bi se poboljšala sposobnost prikupljanja sunčeve energije i povećala energetska učinkovitost sistema za grijanje vode ili druge primjene često se koristi Tinok selektivni premaz na različitim vrstama solarnih kolektora. Ova vrsta površine je dizajnirana da poboljša učinkovitost

prikupljanja i apsorpcije sunčeve energije. Ovakva selektivna površina ima visoku sposobnost apsorpcije sunčeve energije. To znači da dobro apsorbira veći dio dolazne sunčeve svjetlosti. Osim što dobro apsorbira sunčevu energiju, Tinox površina također ima niski emisioni koeficijent. To znači da minimalno emitira toplinsku energiju natrag prema okolini, čime se zadržava veća količina toplinske energije unutar kolektora. Postoji nekoliko različitih vrsta Tinox premaza, od kojih svaka ima svoje karakteristike i prednosti. Tinox Blue (plavi Tinox) je razvijen za pločaste solarne kolektore, a karakterizira ga plavkasta boja. Tinox Black (crni Tinox) je također selektivni premaz koji se koristi na solarnim kolektorima, a karakterizira ga tamna boja. Tinox Black se često koristi u vakuumskim cijevnim kolektorima. Obje vrste premaza imaju istu svrhu, a to je povećanje apsorpcije i smanjenje koeficijenta emisije. Slika 4.1. prikazuje apsorpcijske i emisijske vrijednosti za kolektore sa klasično crno ofarbanim kolektorom te kolektorom sa selektivnom površinom.



Slika 4.1. Klasična i selektivna površina (preuzeto s interneta)

#### 4.1.1. Vakuumski kolektor

Vakuumski kolektori imaju manje konvektivne gubitke topline prema okolini u usporedbi s pločastim kolektorima. To je zbog prisutnosti vakuumnog prostora između apsorbera i pokrovnog stakla. Vakuum sprječava prijenos topline konvekcijom, jer se zrak koji bi prenosio toplinu uklanja između apsorbera i stakla. Apсорber vakuumskih kolektora obično se sastoji od vakuumiranih staklenih cijevi. Ova vrsta apsorbera ima kružni oblik cijevi, što smanjuje naprezanja materijala. Kružni oblik cijevi također omogućava ravnomjernu raspodjelu sunčeve energije na apsorberu. Važno je napomenuti da manji konvektivni gubici i vakuumski dizajn kolektora mogu poboljšati učinkovitost sustava solarnog grijanja. Međutim, kao što sam ranije spomenuo, vakuumski kolektori imaju manju korisnu površinu apsorbera u usporedbi s pločastim kolektorima. To znači da mogu imati manju ukupnu apsorpcijsku površinu za prikupljanje sunčeve energije. Vakuumski kolektori mogu biti opremljeni reflektirajućim paraboličnim ogledalima postavljenim ispod cijevi. Ova ogledala usmjeravaju zračenje prema cijeloj površini apsorbera, povećavajući njihovu učinkovitost. Parabolična ogledala su oblikovana tako da reflektiraju i koncentriraju sunčevo zračenje na cijev vakuumskog kolektora. Ovo fokusiranje zračenja povećava temperaturu apsorbera i omogućuje brže zagrijavanje tekućine unutar cijevi. Pri odabiru između vakuumskih

kolektora i pločastih kolektora, treba uzeti u obzir specifične potrebe, uvjete i dostupnost prostora. Oba tipa kolektora imaju svoje prednosti i nedostatke, pa je važno prilagoditi odabir individualnim zahtjevima i uvjetima projekta. [18]

Kada zračenje djeluje na apsorber koji se nalazi unutar vakuumske cijevi, u apsorberu dolazi do konvekcije. Prilikom konvekcije u apsorberu, konvektivni gubitci su smanjeni uz pomoć vakuuma koji se nalazi u pokrivnom vakuumskom staklu. Nakon konvekcije isparujuća tekućina predaje toplinu radnom mediju koji se nalazi u razdjelniku uz pomoć kondukcije. Nakon toga kroz izmjenjivač struji vrući radni medij koji opet prenosi toplinski tok uz pomoć kondukcije i konvekcije na vodu u spremniku. Provođenja topline kroz stijenku cijevi izražava se jednadžbom: (formule 1,2,3 s predavanja iz termodinamike, Sveučilište Sjever, dr.sc. Damir Mađerić)

$$\Phi = 2 \cdot \pi \cdot L \cdot \lambda \cdot \frac{t_1 - t_2}{\ln \frac{r_v}{r_u}} \quad (1)$$

$\Phi$  - toplinski tok, [W]

$L$  - duljina cijevi, [m]

$\lambda$  - koeficijent toplinske vodljivosti, [W/(mK)]

$r_v$  - vanjski polumjer stijenke cijevi, [m]

$r_u$  - unutarnji polumjer stijenke cijevi, [m]

$t_1, t_2$  - temperature na površinama stijenke, [°C]

Konvekcija podrazumijeva izmjenu topline između tekućine ili plina (zajedničkom riječju fluida) i čvrste stijenke. Konvekcija se dijeli na prisilnu i slobodnu, ovisno o tome kako se fluid kreće u odnosu na stijenku i kako se toplina prenosi. Slobodna konvekcija (također poznata kao prirodna konvekcija) događa se kada se fluid kreće zbog razlike u gustoći. Prisilna konvekcija javlja se kada se fluid kreće prisilno zbog vanjske sile ili mehanizma, kao što su ventilator ili pumpa. Kada govorimo o izmijenjenom toplinskom toku u konvekciji, koristi se Newtonov zakon. Prema ovom zakonu, izmijenjeni toplinski tok može se izračunati kao:

$$\Phi = dv \cdot \pi \cdot L_c \cdot \alpha_v \cdot \Delta T \quad (2)$$

$dv$  - vanjski promjer cijevi, [m]

$L_c$  - duljina cijevi, [m]

$\alpha_v$  - koeficijent prijelaza topline, [W/m<sup>2</sup>K]

$\Delta T$  - razlika u temperaturi između fluida i stijenke, [K]



Izmijenjeni toplinski tok zračenjem između dviju površina računa se pomoću Stefan-Boltzmannove jednadžbe. Stefan-Boltzmannov zakon opisuje kako se toplinska energija prenosi između površina putem elektromagnetskog zračenja. Jednadžba za izmijenjeni toplinski tok zračenjem između dviju površina glasi:

$$\Phi = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot [T_1^4 - T_2^4] \quad (3)$$

$\varepsilon$  - emisioni koeficijent (za idealno crno tijelo  $\varepsilon = 0$ , a za realno tijelo  $0 \leq \varepsilon \leq 1$ )

$\sigma$  - Stefan-Boltzmannova konstanta,  $5,67 \cdot 10^{-8} [\text{W} / \text{m}^2 \text{K}^4]$

$A$  - površina primatelja zračenja,  $[\text{m}^2]$

$T_1, T_2$  - temperature stijenki,  $[\text{K}]$

Efikasnost kolektora izražava se putem 3 čimbenika. Prvi čimbenik odnosi se na korisnu toplinsku energiju prikupljenu iz kolektora, tj. na stvarnu količinu toplinske energije koja se uspješno prikupi i iskoristi iz solarnog kolektora. Drugi čimbenik odnosi se na apsorbiranu toplinsku energiju, tj. ukupnu količinu toplinske energije koja je apsorbirana od strane solarnog kolektora. Treći čimbenik predstavljaju ukupni toplinski gubici kolektora, odnosno količinu toplinske energije koja je izgubljena ili nestala iz kolektora tijekom njegove funkcije. Gubici topline mogu proizaći iz različitih izvora, kao što su kondukcija, konvekcija i zračenje topline između kolektora i okoline. Smanjenje tih gubitaka ključno je za povećanje učinkovitosti solarnog sustava. Upravo se kod vakuumskih kolektora smanjuju konvekcijski gubitci zbog upotrebe vakuuma. Isto tako smanjenje gubitaka kod zračenja omogućeno je korištenjem materijala koji omogućuje maksimalni apsorpciju sunčevog zračenja, a u isto vrijeme minimalni koeficijent refleksije. Korisna toplina može se izračunati kao razlika između apsorbirane (prikupljene) toplinske energije i toplinskih gubitaka.

$$\frac{dQ_{kol}}{dt} = \frac{dQ_a}{dt} - \frac{dQ_g}{dt} \quad (4)$$

$Q_{kol}$  - energija topline dobivena kolektorom,  $[\text{J}]$

$Q_a$  - prikupljena toplinska energija,  $[\text{J}]$

$Q_g$  - gubitci kolektora,  $[\text{J}]$

$$\frac{dQ_a}{dt} = \tau \alpha G A_k \quad (5)$$

$\alpha$  - apsorpcijski faktor cijevi

$\tau$  - transmisijski faktor stakla kolektora

$G$  - ukupno solarno zračenje,  $[W/m^2]$

$A_k$  - površina kolektora,  $[m^2]$

Toplinski gubitci kolektora izražavaju se jednadžbom:

$$\frac{dQ_g}{dt} = k \cdot A_k \cdot (\vartheta_a - \vartheta_z) \quad (6)$$

$k$  - koeficijent toplinskih gubitaka kolektora,  $[W/m^2K]$

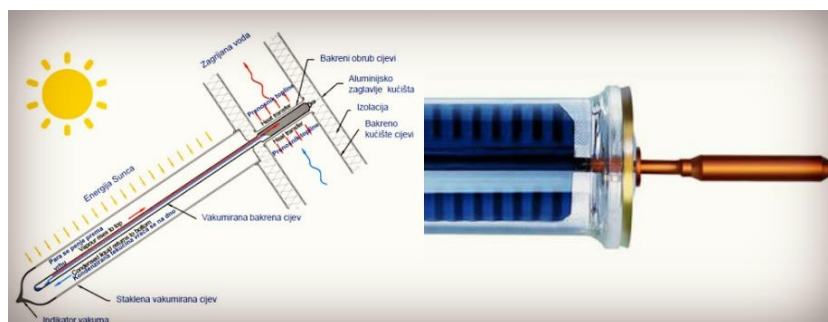
$\vartheta_a$  - temperatura apsorbera kolektora,  $[^\circ C]$

$\vartheta_b$  - temperatura okoline,  $[^\circ C]$

- Heat-pipe

U ovim vrstama cijevi nalazi se bakrena cijev ispunjena tekućinom koja brzo isparava. Kod ove vrste kolektora apsorber sadrži rashladnu tekućinu koja mijenja agregatno stanje iz tekućeg u plinovito gdje u razdjelniku predaje toplinu vodi koja se nalazi u razdjelniku. Rashladna se tekućina u razdjelniku hladi i kondenzira i taj sustav se ponovo ponavlja (isparavanje-kondenzacija). Kada sunčeva svjetlost pogodi vakuumski kolektor, toplota se apsorbira od strane unutarnjeg sloja stakla. Zatim se ta toplina prenosi na bakrenu cijev u kojoj se nalazi radna tekućina. Pod utjecajem zagrijavanja, tekućina brzo isparava u donjem dijelu cijevi (grijača glava), pri čemu se stvara para. Para se zatim kondenzira na gornjem dijelu cijevi (izmjenjivač topline) gdje se nalazi hladnija voda ili drugi medij. Kondenzacija pretvara paru natrag u tekućinu, oslobađajući pritom veliku količinu toplinske energije. Ta toplina se zatim prenosi na vodu ili sustav grijanja.

Prednosti vakuumskih grijaćih cijevi s "Heat pipe" tehnologijom uključuju visoku učinkovitost prijenosa topline (više od 92%), brže zagrijavanje vode u usporedbi s klasičnim ne-tlačnim vakuumskim cijevima te odsutnost vode u samim cijevima, što eliminira rizik od smrzavanja. Također, u slučaju oštećenja ili pucanja jedne od cijevi, ostale cijevi nastavljaju s normalnim radom, što povećava pouzdanost sustava. [19]

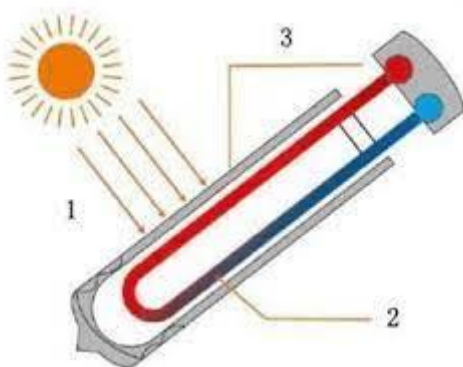


Slika 4.1.1.1 Heat-pipe vakuumski kolektor (preuzeto s interneta)

- U-pipe

Vakuumske cijevi u obliku slova "U" su jedan od oblika solarnih kolektora koji se koriste za prikupljanje toplinske energije Sunca. Ove cijevi su izrađene od stakla i obično imaju dva sloja stakla odvojena vakuumom. Unutar vakuumnog prostora nalazi se apsorber koji pretvara energiju sunca u toplinsku energiju. Ovaj sustav se bitno razlikuje od "heat-pipe" sustava jer koristi dvije linije. Jednu liniju koristi za hladnu, a drugu za zagrijanu vodu. Ova vrsta kolektora za rashladnu tekućinu koristi vodu koja direktno prolazi kroz apsorber.

Cijevi tipa U imaju značajan nedostatak kada je u pitanju zamjena pojedinačne cijevi koja nije ispravna. Budući da su cijevi tipa U dio cjelovite strukture zajedno s razdjelnikom, zamjena pojedinačne cijevi zahtijeva demontažu cijelog sustava. To može biti skup i zahtjevan proces, posebno ako je sustav veći ili se nalazi na teško dostupnom mjestu. Ova vrsta ograničenja može predstavljati izazov prilikom održavanja i popravaka sustava s cijevima tipa U. U slučaju kvara ili oštećenja pojedinačne cijevi, mora se zamijeniti cijeli kompleks, što može povećati troškove i vrijeme potrebno za popravak. [19]



*Slika 4.1.1.2. U-pipe vakuumski kolektor (preuzeto s interneta)*

#### **4.1.2. Pločasti kolektor**

Kod pločastih solarnih kolektora apsorber se sastoji od aluminijske visokoselektivne ploče koja je zavarena za bakrene cijevi uz pomoć lasera. Solarna tekućina prolazi kroz bakrene cijevi koja toplinu sunčevog zračenja prenosi dalje na sustav grijanja. Da bi se toplinski gubici solarne ploče smanjili na minimum stražnja strana izolirana je kamenom vunom dok se s gornje strane nalazi sigurnosno staklo. [18] Za razliku od vakuumnog cijevnog kolektora, pločasti kolektor ima površinu koja je ravna i dizajnirana je da apsorbira što više sunčeve svjetlosti. Kondukcija se odnosi na prijenos topline putem direktnog kontakta između čestica tvari. U pločastim solarnim kolektorima, toplina se prijenosi iz apsorpcijske površine na tekućinu koja prolazi kroz cijevi ili

kanale ispod površine kolektora. Metalna ploča apsorbira sunčevu svjetlost i zagrijava se, a toplina se zatim provodi kroz metalnu površinu i prenosi na tekućinu koja je u kontaktu s njom. Provođenja topline kroz stijenku cijevi prikazano je na prethodnom cijevnom kolektoru, dok se provođenje kroz ravnu stijenku izražava jednadžbom:

(formule 7,8 s predavanja iz termodinamike, Sveučilište Sjever, dr.sc. Damir Mađerić)

$$\Phi = \lambda \cdot \frac{t_1 - t_2}{\delta} \cdot A \quad (7)$$

$\Phi$  - toplinski tok, [W]

$\lambda$  - koeficijent toplinske vodljivosti, [W/(mK)]

$t_1, t_2$  - temperature na površinama stijenke, [°C]

$\delta$  - debljina stijenke, [m]

$A$  - površina, [m<sup>2</sup>]

Stefan-Boltzmannov zakon opisuje kako se toplinska energija prenosi između površina putem elektromagnetskog zračenja. Jednadžba za izmijenjeni toplinski tok zračenjem između dviju ravnih površina glasi:

$$\Phi = \frac{A\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} (T_1^4 - T_2^4) \quad (8)$$

$\Phi$  - toplinski tok, [W]

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$  - emisijski faktori površina

$T_1, T_2$  - temperature stijenki, [K]

Pločasti solarni kolektor isto poput cijevnog vakuumskeg teži što većoj apsorpciji i efikasnosti, a što manjoj količini gubitaka. Međutim gubici pločastog kolektora su malo povećani obzirom na vakuumske kolektore jer nemaju vakuumsku cijev koja smanjuje konvektivne gubitke. Bez obzira na tu činjenicu i dalje imaju veću površinu apsorpiranja sunčevog zračenja, a mali koeficijent refleksije. Pločasti solarni kolektor može se analizirati korištenjem Hottel-Whillier-Blissove jednadžbe, koja objašnjava eksperimentalnu učinkovitost putem tri ključna čimbenika.

$$\frac{dE_{sk}}{dt} = \frac{dE_a}{dt} - \frac{dE_g}{dt} \quad (9)$$

$E_{sk}$  - energija topline dobivena kolektorom, [J]

$E_a$  - apsorbirana toplinska energija, [J]

$E_g$  - gubitci kolektora, [J]

$$\frac{dE_a}{dt} = \tau \cdot \alpha \cdot G \cdot A_k \quad (10)$$

$\alpha$  - apsorpcijski faktor cijevi

$\tau$  - transmisijski faktor stakla kolektora

$G$  - ukupno solarno zračenje, [W/m<sup>2</sup>]

$A_k$  - površina kolektora, [m<sup>2</sup>]

Toplinski gubitci kolektora izražavaju se jednadžbom:

$$\frac{dE_g}{dt} = k \cdot A_k \cdot (\vartheta_a - \vartheta_z) \quad (11)$$

$k$  - koeficijent toplinskih gubitaka kolektora, [W/m<sup>2</sup>K]

$\vartheta_a$  - temperatura apsorbera kolektora, [°C]

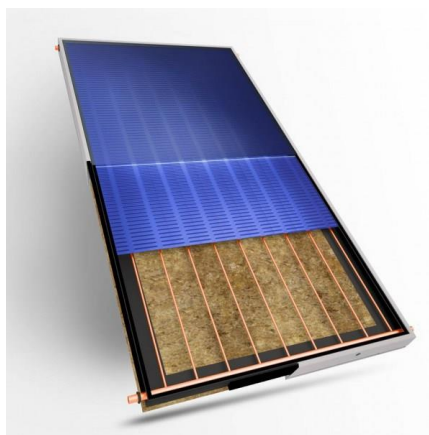
$\vartheta_b$  - temperatura okoline, [°C]

Na kraju energetska bilanca kolektora glasi:

$$\frac{dE_{sk}}{dt} = A_k \cdot [\tau \cdot \alpha \cdot G - k \cdot (\vartheta_a - \vartheta_z)] \quad (12)$$

- Harfa tip kolektora

U ovakvom tipu pločastog kolektora imamo sabirnik i razdjelnik koji su međusobno povezani sa više bakrenih cijevi koje su ravno vođene. Ovaj tip kolektora je jednostavniji za izvedbu, a koristi se u termosifonskim solarnim sustavima i klasičnim solarnim sustavima. Što se tiče cijene nešto su jeftiniji od tipa meandar



Slika 4.1.2.1. Izgled harfa tipa pločastog kolektora (preuzeto s interneta)

- Meandar (spirala) tip kolektora

Kod ove vrste kolektora sabirnik i razdjelnik su povezani međusobno sa samo jednom cijevi koja je vođena u obliku spirale. Ovaj tip kolektora ima nešto veću snagu grijanja i efikasnost no međutim ima manu koja je veći pad tlaka koju pumpa mora savladati pa je zbog toga ograničena njegova uporaba. [20]



*Slika 4.1.2.2. Izgled meandar pločastog kolektora (preuzeto s interneta)*

## 4.2. Toplinski spremnik vode

U solarnim sustavima se najčešće koriste stojeći spremnici tople vode. Svaki spremnik treba biti toplinski izoliran izvana a iznutra emajliran te zajedno sa magnezijevom anodom štiti spremnik od korozije. Volumeni spremnika se kreću od 160 do 5000 litara, a prema potrebi se mogu spajati u paralelu ili seriju. Ovisno o njihovoj konstrukciji, spremnici se mogu podijeliti na one namijenjene isključivo za pripremu potrošne tople vode i kombinirane spremnike koji služe i za pripremu potrošne tople vode i za grijanje prostora. Razlikovati možemo klasične bojlere (jedan ili dva izmjenjivača topline) od bojlera za niskotemperaturno grijanje koji se koriste zajedno s dizalicama topline (s jednim ili dva izmjenjivača).

Maksimalni radni tlak ovisi o debljini i volumenu lima samog spremnika. Na 2000 litara spremnik je uglavnom na 8 bara. Maksimalni radni tlak spiralnih izmjenjivača je do 6 bara. Klasični spremnici imaju na sredini priključak 6/4 cola za električni grijač. Za solarne sustave koriste se spremnici sa 2 izmjenjivača tako da se može spojiti dodatni izvor topline (kotao na drva, plin, struju ili dizalica topline). Osim sigurnosnog ventila potrebna je i ugradnja ekspanzione posude koja ovisi o samom volumenu spremnika, a njezin volumen se računa na način da se volumen spremnika podjeli sa 20 i odabere se prva veća posuda. Svaki spremnik tople vode ima revizijski otvor za čišćenje kamenca i nečistoća. Izolacija igra veliku ulogu kod toplinskog spremnika vode. Ako je koeficijent prolaska topline manji, toplinska izolacija spremnika je bolja. Ovo se postiže dodavanjem izolacije oko spremnika. Izolacija spremnika omogućuje zadržavanje

topline koja je prikupljena tijekom sunčanih dana ili drugih razdoblja kada se solarni sustav aktivno koristi. Toplinska izolacija smanjuje gubitke topline iz spremnika prema okolini. Ovo je osobito važno tijekom noći ili oblačnih dana kada sunčeva energija nije dostupna za grijanje vode. S izolacijom, gubici topline su minimalni. Visoke temperature i velike temperaturne oscilacije mogu uzrokovati koroziju i druge oštećenje materijala spremnika. Izolacija pomaže očuvati materijal spremnika i produžiti vijek trajanja cijelog solarnog sustava. [21]

Osim izolacije na samom spremniku bitna je i izolacija na cijevima koje povezuju spremnik sa solarnim krugom i ostalim dijelovima cijevovoda. Potrebna debljina izolacije cijevovoda može se dobiti uz pomoć formule:

$$r_2 - r_1 = \frac{(T_2 - T_1)}{2\pi k} \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \rightarrow T_{\min} = r_2 - r_1 \quad (13)$$

$T_{\min}$  - minimalna debljina izolacije, [mm]

$T_1$  - temperatura unutar cijevi, [°C]

$T_2$  - temperatura okoline, [°C]

$k$  - toplinska vodljivost izolacije, [W/mK]

$r_1$  - vanjski radijus cijevi, [mm]

$r_2$  - vanjski radijus izolacije, [mm]

U spremniku, voda se raspoređuje u slojevima s toplijim slojem na vrhu i hladnijim slojem na dnu. Ovaj slojeviti raspored vode rezultat je njenog termalnog ponašanja. Kada hladna voda ulazi u spremnik na dnu, ona ima veću gustoću od toplije vode koja se nalazi iznad. Kako se voda zagrijava, povećava se temperatura toplijeg sloja na vrhu spremnika, a istovremeno se smanjuje njegova gustoća. Zbog termalne konvekcije, toplija voda koja ima manju gustoću počinje se kretati prema vrhu spremnika, dok hladnija voda ostaje na dnu. Konstrukcija spremnika je dizajnirana na način da spriječi direktno miješanje hladne i tople vode, kako bi se minimalizirao gubitak topline. Uobičajena praksa je da se hladni dovodni vod poveže s donjim dijelom spremnika, dok se izlazni topli vod uzima s gornjeg dijela spremnika, gdje se nalazi toplija voda.

- Monovalentni spremnik

Osnovna karakteristika monovalentnog sustava je jedan izmjenjivač topline koji se ugrađuje na dnu spremnika, gdje dolazi u kontakt s najhladnijom vodom. To omogućuje brzo i učinkovito zagrijavanje hladne vode u spremniku. Izmjenjivač topline može biti izveden na različite načine, ovisno o izvoru energije koji se koristi. Uzimajući to u obzir, sustav može biti izveden kao direktni

ili indirektni. U direktnom sustavu, izmjenjivač topline koristi električni ili plinski izmjenjivač kako bi direktno zagrijao vodu u spremniku. Indirektni sustav koristi vanjski izvor topline, kao što je vruća voda ili para, koji se nalazi u odvojenom izmjenjivaču kao što je solarni kolektor, a ta toplina se zatim prenosi na vodu unutar spremnika.

- Bivalentni spremnik

Ova vrsta spremnika sadrži dva izmjenjivača topline. Tijekom izloženosti sunčevom zračenju, solarni medij unutar solarnog sustava zagrijava se, a toplina se prenosi na vodu u spremniku putem donje spirale. Kada temperatura padne zbog ispuštanja vode tijekom tuširanja ili kupanja, prekidač se automatski aktivira, uključujući kotao koji preko gornje spirale dodatno zagrijava vodu. Sunčeva energija se prenosi u spremnik putem donjeg izmjenjivača topline, dok je gornji izmjenjivač često zadužen za dodatno zagrijavanje vode putem kotla za grijanje. „Slika 4.2. prikazuje spremnik sa dva izmjenjivača (bivalentni). Monovalentni spremnik bi izgledao isto samo bez gornjeg izmjenjivača koji se nalazi iznad polovice spremnika“ [22]



*Slika 4.2. Prikaz bivalentnog spremnika (preuzeto s interneta)*

### 4.3. Izmjenjivač topline

Izmjenjivači topline su uređaji koji se koriste za učinkoviti prijenos topline između dvaju različitih medija bez miješanja tih medija. To se obično radi radi zagrijavanja ili hlađenja tekućine ili plina u industrijskim procesima, grijanju potrošne tople vode, klimatizaciji, rashlađivanju i mnogim drugim primjenama. Funkcija izmjenjivača u solarnom sustavu je prijenos topline s solarnih kolektora na spremnik tople vode. Izmjenjivači topline rade na principu kondukcije, gdje toplina prelazi kroz izmjenjivač između dvaju medija različitih temperatura. Dizajn izmjenjivača topline igra ključnu ulogu u njihovoj učinkovitosti. Faktori kao što su površina izmjenjivača,



materijali iz kojih su napravljeni, brzina protoka medija i temperaturni razlika između medija utječu na učinkovitost prijenosa topline. Izmjenjivač topline može se ugraditi na dva načina. Prvi način je ugradnja u sam spremnik tople vode u obliku savijene cijevi, dok je drugi način ugradnja izmjenjivača topline izvan spremnika tople vode kao vanjskog izmjenjivača topline koji toplinu prenosi solarnom spremniku putem cirkulacije. „Slika 4.3. prikazuje solarni sustav sa toplinskim spremnikom koji ima dva izmjenjivača ugrađena unutar spremnika. Donji izmjenjivač je grijan solarnim sustavom dok je gornji izmjenjivač grijan pomoću kotla za dogrijavanje tople vode “. [23] Izmjena topline između radnog fluida, izmjenjivača i vode u spremniku uspostavlja se uz pomoć kovekcije i kondukcije. Radni medij konvekcijom predaje toplinu stijenki cijevi nakon čega se dešava kondukcija kroz samu cijev te nakon toga vanjska stijenka cijevi konvekcijom predaje toplinski tok vodi u spremniku. Kada bi izmjenjivač imao ravnu površinu formula bi glasila: (formule 14,15,16 s predavanja iz termodinamike, Sveučilište Sjever, dr.sc. Damir Mađerić)

$$\Phi = k \cdot A \cdot (t_a - t_b) \quad (14)$$

$\Phi$  - toplinski tok, [W]

$k$  - koeficijent prolaza topline, [W/m<sup>2</sup>K]

$A$  - površina, [m<sup>2</sup>]

$t_a$  - temperatura fluida s jedne strane stijenke, [°C]

$t_b$  - temperatura fluida s druge strane stijenke, [°C]

Gdje se koeficijent prolaza topline računa prema formuli:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_b}} \quad (15)$$

$\delta$  - debljina stijenke, [m]

$\alpha_a$  - unutarnji koeficijent prijelaza topline, [W/(m<sup>2</sup>K)]

$\alpha_b$  - vanjski koeficijent prijelaza topline, [W/(m<sup>2</sup>K)]

Ako je izmjenjivač cjevastog oblika, odnosno jednoslojne cijevi formula glasi:

$$\Phi = \frac{2\pi L(\mathcal{G}_a - \mathcal{G}_b)}{\frac{1}{R_1\alpha_a} + \frac{1}{\lambda} \ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{R_2\alpha_b}} \quad (16)$$

$\Phi$  - toplinski tok, [W]

$L$  - duljina cijevi, [m]

$\vartheta_a$  - temperatura radnog medija, [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\vartheta_b$  - temperatura vode u spremniku, [ $^{\circ}\text{C}$ ]

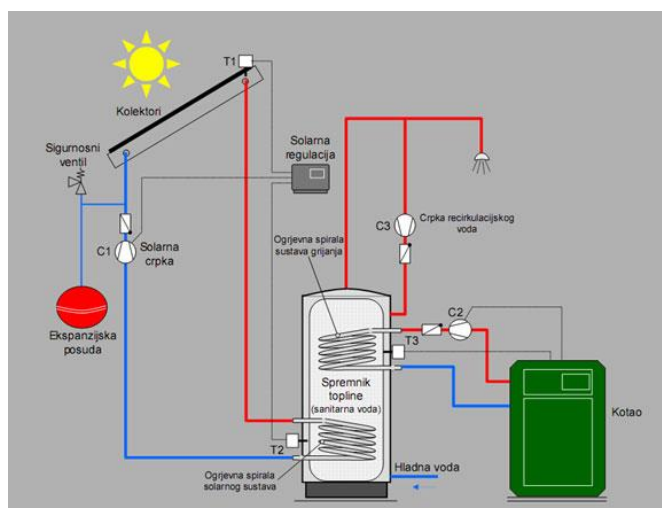
$R_1$  - unutarnji polumjer, [m]

$R_2$  - vanjski polumjer, [m]

$\alpha_a$  - unutarnji koeficijent prijelaza topline, [ $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ]

$\alpha_b$  - vanjski koeficijent prijelaza topline, [ $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ]

$\lambda$  - koeficijent toplinske vodljivosti, [ $\text{W}/(\text{mK})$ ]



Slika 4.3. Spremnik tople vode sa dva izmjenjivača (preuzeto s interneta)

#### 4.4. Ekspanzijska posuda

Za kompenzaciju sakupljanja i širenja solarne tekućine uslijed promjena temperature te za pravila rad sustava važan je odabir adekvatne posude. U situaciji kada jakim sunčevim zračenjem temperatura spremnika doseže maksimalnu vrijednost, crpka solarnog sustava se zaustavlja kako bi se spriječilo daljnje zagrijavanje vode. Međutim, temperatura u kolektoru može nastaviti rasti i doseći temperaturu stagnacije, što može rezultirati pojavom pare u kolektoru.

Da bi se osigurala sigurnost i pouzdanost sustava, važno je imati sigurnosne mehanizme poput sigurnosnog ventila ili odzračivača koji će otpustiti višak tlaka ili pare iz kolektora. Za osiguravanje pouzdanosti sustava, potrebno je upotrijebiti ekspanzijsku posudu koja će apsorbirati promjenu volumena solarne tekućine zbog povećanja temperature, kao i dodatni volumen zbog eventualnog stvaranja pare u kolektoru. Na taj način se sprječava otvaranje sigurnosnog ventila,

čime se osigurava stabilnost i vlastita pouzdanost solarnog sustava. Cilj je spriječiti da solarna tekućina isteče iz sustava, jer bi to rezultiralo nedostatkom tekućine nakon što se sustav ohladi. U tom slučaju, solarnu tekućinu trebalo bi ručno nadopuniti kako bi se održala ispravna razina. [24]

Kako bi odredili minimalni volumen ekspanzijske posude i pravilno odabrali odgovarajuću ekspanzijsku posudu solarnog kruga koristimo sljedeće postupke:

$$V_e = (\Delta V + V_d + V_v) \cdot \frac{P_k + 1}{P_k - P_o} = 32,291 \quad (17)$$

$V_e$  - volumen ekspanzijske posude (minimalni), [1]

$\Delta V$  - promjena volumena mješavine (vode i etilenglikola) zbog promjene temperature, [1]

$V_d$  - volumen pare preuzete iz sustava (razdijelnika i cijevi) [1]

$V_v$  - sigurnosna količina solarne tekućine – 2l

$P_k$  - krajnji tlak – 5,5 bar

$P_o$  - primarni tlak – 1,5 bar

$$\Delta V = V_{sus} \cdot \frac{n}{100} = 1,07 \quad (18)$$

$V_{sus}$  - ukupna količina smijese (vode i etilenglikola) solarnog kruga

$n$  - koeficijent širenja vode – 4,31

$$V_{sus} = V_r + V_c + V_{izm} = 24,81 \quad (19)$$

$V_r$  - volumen razdijelnika - 14l

$V_c$  - volumen cijevi – 2,81

$V_{izm}$  - volumen izmjenjivača - 8l

Tablica 4.4. Ovisnost širenja vode o temperaturi (preuzeto s interneta)

$t$	30	40	50	60	70	80	90	100	110
$n$	0,4	0,70	1,17	1,67	2,24	2,86	3,55	4,31	5,1



Slika 4.4. Ekspanzijska posuda od 35 litara (preuzeto s interneta)

## 4.5. Radni medij za prijenos topline

Vrste fluida za prijenos toplinske energije:

- Zrak

Zrak je praktičan medij koji se koristiti u solarnim sustavima kao radni medij za prijenos topline. Jedna od mana je nizak toplinski kapacitet zraka. To znači da zrak ima relativno nisku sposobnost zadržavanja topline u usporedbi s drugim medijima poput vode ili glikola. Stoga, za prijenos veće količine topline, potrebno je koristiti veće volumene zraka ili povećati protok zraka kroz sustav. Tvari s malim toplinskim kapacitetom brže reagiraju na promjene temperature kad su izložene izvoru topline, dok tvari s većim toplinskim kapacitetom zahtijevaju više vremena da se zagriju ili ohlade pod istim uvjetima. Toplinski kapacitet se odnosi na ukupnu količinu topline koju tvar može apsorbirati ili otpustiti pri promjeni temperature. To je apsolutna mjera i ovisi o masi tvari. Toplinski kapacitet se može izraziti kao:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (20)$$

$Q$  - ukupna količina topline, [J]

$m$  - masa tvari, [kg]

$c$  - specifični toplinski kapacitet, [J/kgK]

$\Delta T$  - promjena temperature, [°C]

Specifični toplinski kapacitet je mjera koja se odnosi na količinu topline koja je potrebna da se jedna jedinica mase tvari (obično 1 kilogram) zagrije za 1 stupanj Celzijusa ili 1 Kelvin. Specifični toplinski kapacitet je omjer toplinskog kapaciteta i mase tvari, i koristi se za karakterizaciju toplinskih svojstava materijala. a izražava se:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad (21)$$

Specifični toplinski kapacitet zraka na temperaturi od 0 °C iznosi 1005 [J/kgK] i ta vrijednost se blago povećava s porastom temperature. Druga mana je visoka osjetljivost zraka na promjene temperature. Zrak brzo gubi ili dobiva toplinu, što može dovesti do nepoželjnih mijenjanja temperatura u sustavu. Zrak ima nižu toplinsku provodljivost i može biti podložan gubicima topline putem konvekcije i kondukcije. Unatoč svim manama zrak se koristi kao radni medij za prijenos topline.

- Voda

Voda, s druge strane, ima visok specifični toplinski kapacitet, što znači da može zadržati više topline po jedinici mase. To je jedan od razloga zašto se voda često koristi kao medij za prijenos topline u solarnim sustavima. Međutim, specifični toplinski kapacitet vode varira kako se temperatura mijenja. Evo nekoliko vrijednosti specifičnog toplinskog kapaciteta vode pri različitim temperaturama. Pri temperaturi od  $0^{\circ}\text{C}$  iznosi  $4216\text{ [J/kgK]}$ , pri temperaturi od  $20^{\circ}\text{C}$  iznosi  $4187\text{ [J/kgK]}$ . Ovo znači da je potrebno dodati ili ukloniti odgovarajuću količinu topline da bi se promijenila temperatura vode pri različitim temperaturama. Za preciznije termodinamičke proračune, trebali bi koristiti specifične vrijednosti koje odgovaraju određenoj temperaturi ili tlaku, a one se mogu naći u toplinskim tablicama. Međutim, voda ima nisku temperaturu vrelišta i visoku temperaturu smrzavanja što znači da voda može ispariti pri visokim temperaturama i smrznuti se pri niskim temperaturama, što može predstavljati izazov u solarnim sustavima. Kako bi se spriječilo smrzavanje, često se koriste antifrizni aditivi koji smanjuju točku smrzavanja vode. Također je važno spomenuti da pH vrijednost vode može biti korozivna ako nije održavana na neutralnoj razini.

- Antifriz – mješavina vode i etilen glikola ili propilen glikola

U solarnim sustavima i drugim sustavima gdje je potrebna zaštita od smrzavanja, koriste se glikoli kao etilen glikol i propilen glikol, koji se miješaju s vodom kako bi se stvorili antifrizi. Mješavina vode i glikola ima nižu točku smrzavanja od same vode, čime se osigurava da tekućina u sustavu neće smrznuti čak i pri nižim temperaturama. Kada se koristi mješavina vode i glikola, potrebno je redovito provjeravati i mijenjati tu tekućinu. Preporučuje se izmjena mješavine svakih 5 godina ili prema specifičnim preporukama proizvođača. Razlog tome je što se glikol s vremenom može degradirati i izgubiti svoja zaštitna svojstva, što može dovesti do smanjenja učinkovitosti sustava i povećanja rizika od smrzavanja. Vrijednost specifičnog toplinskog kapaciteta glikola može varirati ovisno o koncentraciji glikola i temperaturi. Za etilen glikol pri standardnim uvjetima, specifični toplinski kapacitet iznosi oko  $2420\text{ [J/kgK]}$ .

- Ugljikovodična ulja

Ugljikovodično ulje se odnosi na tvari koje se sastoje od atoma ugljika i vodika, a koje su u obliku tekućine. Mineralna ulja, koja spadaju u kategoriju ugljikovodičnih ulja, karakterizira veća viskoznost i niža specifična toplinska vodljivost u usporedbi s vodom. Specifični toplinski kapacitet ulja pri temperaturi od  $20^{\circ}\text{C}$  iznosi  $2180\text{ [J/kgK]}$ . Veća viskoznost znači veći otpor pri

cirkulaciji i zbog toga su potrebne snažnije pumpe kako bi se osigurala odgovarajuća cirkulacija u sustavu. Ulja također zadržavaju svoje karakteristike i performanse tijekom zimskih mjeseci, što ih čini pouzdanima za korištenje u hladnim uvjetima. Važno je napomenuti da upotreba ugljikovodičnih ulja nosi određene izazove i sigurnosne aspekte. Budući da su ugljikovodična ulja zapaljiva, potrebno je poduzeti dodatne sigurnosne mjere kako bi se spriječile neželjene situacije i osigurala sigurnost sustava i okoline. [25]

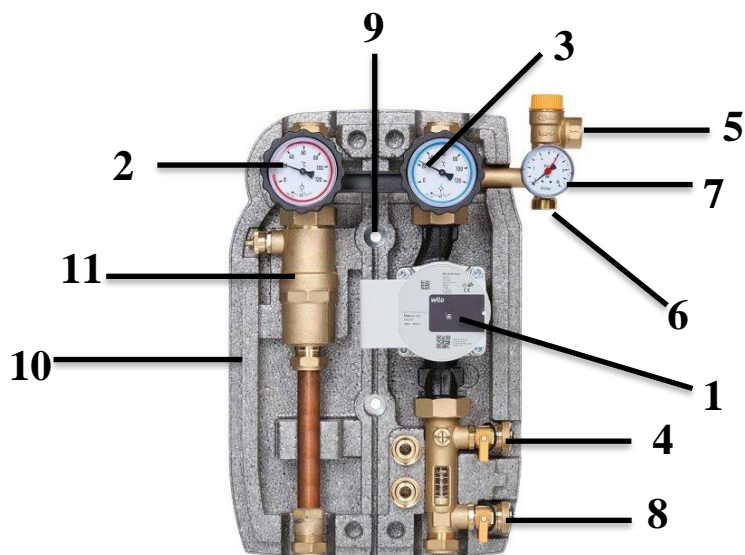
## **4.6. Solarna regulacija**

### **4.6.1. Cirkulacijska pumpa za radni medij**

U sunčevim sustavima, koristi se cirkulacijska pumpa za omogućavanje cirkulacije radnog fluida između apsorbera i izmjenjivača topline. U solarnim sustavima za zagrijavanje vode, sunčevi kolektori apsorbiraju sunčevu energiju i zagrijavaju radni fluid, obično vodu ili antifrizni smjesu. Pumpa se koristi za pokretanje tog radnog fluida i cirkulaciju kroz sustav. [21]

Sastavni dijelovi:

1. Elektronski regulirana crpka
2. Kuglasta slavina i termometar
3. Kuglasta slavina i termometar na povratnom vodu prema spremniku
4. Mjerač protoka i slavina za pražnjenje
5. Sigurnosni ventil
6. Priključak ekspanzijske posude
7. Manometar
8. Ventil za punjenje solarnog sustava
9. Nosač pumpne stanice
10. Izolacija
11. Separator zraka sa odzračnim ventilom



Slika 4.6.1. Dijelovi solarne pumpe (preuzeto s interneta)

#### 4.6.2. Solarni regulator

Ovisno o složenosti solarnog sustava potrebno je odabrati adekvatan solarni regulator. Na samom regulatoru se može odabrati jezik, shema sustava i različiti parametri rada regulatora (željena temperatura spremnika, diferencija isključenja i uključjenja pumpe itd.). Temperaturni senzori u sustavu prate temperaturnu razliku između unutarnjeg spremnika topline i temperature medija (kao što je zrak ili voda) u kolektoru. Na temelju tih informacija, regulator "odgovara" određenim radnjama. Kada je temperaturna razlika između spremnika topline i medija veća od određenog praga (npr.  $-5-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), crpka se uključuje kako bi osigurala cirkulaciju fluida i prijenos topline. Kada se temperatura razlike spusti ispod drugog praga (npr.  $-2-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), crpka se isključuje. [6]



Slika 4.6.2. Solarni regulator s osjetnicima topline (preuzeto s interneta)

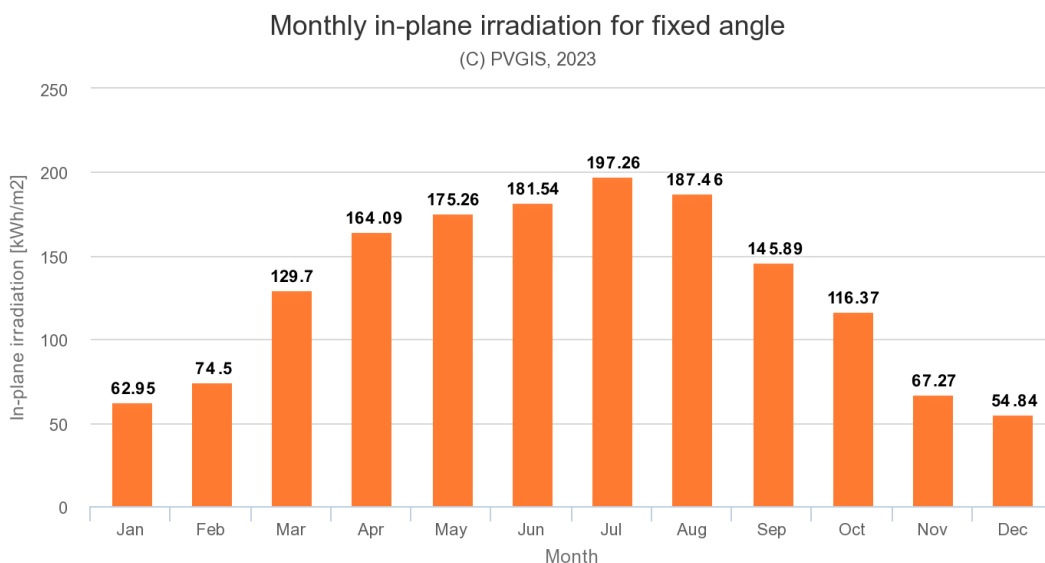
## 5. Proračun solarnog sustava za kuću

Na grijanje PTV-a na godišnjoj razini otpada od 25 % pa čak do 40 % ukupne toplinske energije kućanstva, stoga učinkovita priprema i korištenje PTV-a može donijeti znatne uštede u kućanstvima.

### 5.1. Potrebna energija topline (količina sunca u godini)

Osnovni čimbenik koji direktno utječe na sakupljanje toplinske energije u solarnom kolektoru jest insolacija ili sunčeva radijacija. Insolacija predstavlja količinu sunčeve energije koja dopire do površine kolektora. Za određivanje sunčevog potencijala za točno određenu lokaciju korištena je baza podatak koja sadrži informacije o intenzitetu sunčevog zračenja. „Slika 5.1. prikazuje količinu sunčevog zračenja na kosinu od 35 stupnjeva na području Donjeg Vidovca“ [26]

- PVGIS – Photovoltaic Geographical Information System.



Slika 5.1. Intenzitet sunčevog zračenja na kosu površinu (preuzeto s interneta)

- Prosječan iznos sunčevog zračenja kroz godinu u jednom mjesecu iznosi 129.76 kWh / m<sup>2</sup>
- Na godišnjoj razini to je 1557.13 kWh / m<sup>2</sup> .(nije prosjek nego zbroj)

Iz prikazanih podataka može se zaključiti da je lokacija izuzetno povoljna za instalaciju solarnog sustava..



## 5.2. Potrebna količina potrošne vode i volumena spremnika

- Količina PTV za jednu obitelj

Tablica 5.2.1. Potrošnja PTV-a po danu za kuću

Primjena	Količina potrošnje vode	Potrebna količina PTV u litrama pri 60 °C
Obiteljska kuća	mala	30, jedan osoba po danu
	srednja	50, jedna osoba po danu
	velika	70, jedna osoba po danu

Za proračun toplinske energije koja je potrebna za pripremu potrošne tople vode uzeta je jednadžba iz norme HRN EN 15316-3-1:2008. Ova jednadžba je vrlo jednostavna i za potrebe jedne obiteljske kuće ne zahtijeva dodatne proračune. Ulazni podatci za izračun uzimaju se prema broju članova obitelji i prema procjeni prosječne količine potrošene tople vode. [27]

U ovom slučaju zadano je da se u obitelji nalazi 5 članova obitelji, a potrebna količina potrošne tople vode je srednja što znači 50 litara po osobi. Izračun je sveden na dnevne vrijednosti radi preglednosti i lakšeg predočenja. Za izračun toplinske energije potrebne za pripremu PTV-a koristi se sljedeći postupak:

$$Q = \frac{C_w \cdot V_f \cdot f \cdot (\vartheta_{TW} - \vartheta_{HW})}{3600} = 12.067 \text{ kWh} \quad (22)$$

Ukoliko se želi dobiti potrebna mjesečna ili godišnja energija za pripremu potrošne tople vode, rezultat se pomnoži sa 30, odnosno sa 365.

$Q$  – potrebna toplinska energija, [kWh]

$C_w$  – specifični toplinski kapacitet vode – 4187 [J / kg · K]

$V_f$  – potrošnja tople vode po danu i korisniku – 50 [l]

$f$  – broj korisnika – 5

$\vartheta_{TW}$  – temperatura tople vode – 55 [°C]

$\vartheta_{HW}$  – temperatura hladne vode – 13.5 [°C]

Volumen spremnika se na lakši način može odrediti prema uputstvu od tvrtke Vaillant prema primjeru „Projektantske podloge-solarni sustavi“. Obično se za spremnik potrošne tople

vode koristi volumen koji je 1,2 do 2 puta veći od dnevne potrebne količine tople vode. Računski se potrebni volumen spremnika može izračunati na sljedeći način:

$$V_s = 1,2 \cdot \frac{V_f \cdot f(\vartheta_{TW} - \vartheta_{HW})}{\vartheta_s - \vartheta_{HW}} = 267,742 \text{ l} \quad (23)$$

$V_s$  – Volumen spremnika [l]

$\vartheta_s$  – Temperatura vode u spremniku – 60 [°C]

- Količina PTV za druge primjene

Tablica 5.2.2. Potrošnja PTV-a po danu za ostale objekte

Druge primjene	Prosjek potrebe za PTV u litrama pri 60 °C
Stambena zgrada	25, jedna osoba po danu
Studentski dom	40, jedna osoba po danu
Starački dom	45, jedna osoba po danu
Bolnica	50, jedna osoba po danu
Natkriveni bazen	25, po danu
Kamp	20, jedna osoba po danu
Hotel	60, jedna osoba po danu

Kako bi odredili dimenzije sustava za pripremu PTV-a, bitno je odrediti potrebnu dnevnu količinu potrošne tople vode. Ulazni podatci za izračun se uzimaju proizvoljno prema vrsti primjene i broju osoba u „zgradi“. U ovoj vrsti izračuna potreba za potrošnom toplom vodom određuje se prema broju izljevniha mjesta (tuševa) u „zgradi“ jer su oni najveći potrošači tople vode. [28]

Potrebni protok potrošne tople vode računa se:

$$\dot{V}_w = V_f \cdot n_t \cdot \varphi \quad (24)$$

$\dot{V}_w$  – dnevna potreba za potrošnom toplom vodom (volumni protok), [l/h]

$V_f$  – dnevna potrošnja tople vode po osobi, [l]

$n_t$  – broj tuševa jedne zgrade

$\varphi$  – faktor istovremenosti - 0,5

Toplinski tok za pripremu potrošne tople vode računa se:

$$\Phi_s = \frac{\dot{V}_w}{1000 \cdot 3600} \cdot \rho_w \cdot C_w \cdot (\vartheta_{TW} - \vartheta_{HW}) \quad (25)$$

$\frac{\dot{V}_w}{1000 \cdot 3600}$  – jer se volumni protok izražava u  $[\text{m}^3 / \text{s}]$ , a želimo  $[\text{l} / \text{h}]$

$\Phi_s$  – potrebni toplinski tok,  $[\text{kW}]$

$\rho_w$  – gustoća vode –  $998.2 [\text{kg} / \text{m}^3]$

$C_w$  – specifični toplinski kapacitet vode -  $4187 [\text{J} / \text{kg} \cdot \text{K}]$

$\vartheta_{TW}$  – temperatura tople vode –  $55 [^\circ \text{C}]$

$\vartheta_{HW}$  – temperatura hladne vode –  $13.5 [^\circ \text{C}]$

Kapacitet izvora topline se određuje:

$$\Phi_{IT} = \frac{\Phi_s \cdot Z_A}{(Z_A + Z_B)} \quad (26)$$

$\Phi_{IT}$  – potrebna snaga izvora topline,  $[\text{kW}]$

$Z_A$  – vrijeme zagrijavanja –  $2 [\text{h}]$

$Z_B$  – vrijeme potrošnje –  $2 [\text{h}]$

Energija topline koja se nalazi u spremniku računa se:

$$Q_s = Q_{IT} \cdot Z_A \quad (27)$$

$Q_s$  – toplinska energija pohranjena u spremniku,  $[\text{kWh}]$

Volumen spremnika potrošne tople vode računa se:

$$V_s = \frac{Q_{s \cdot b \cdot k}}{\rho_w \cdot c_w \cdot (\vartheta_s - \vartheta_{HV})} \quad (28)$$

$V_s$  – potrebni volumen spremnika,  $[\text{l}]$

$b$  – dodatak mrtvog prostora -  $1,1$

$k$  – dodatak taloženja kamenca -  $1,1$

$\vartheta_s$  – temperatura vode u spremniku –  $60 [^\circ \text{C}]$

### 5.3. Odabir vrste i broja kolektora

Prilikom izbora tipa i broja solarnih kolektora, bitno je pažljivo analizirati nekoliko ključnih faktora kako bismo postigli najbolju učinkovitost i udovoljili preciznim zahtjevima našeg sustava. Među tim parametrima spadaju:

- Klimatsko područje: Klimatski uvjeti, poput sunčeve insolacije i temperature, imaju značajan utjecaj na učinkovitost solarnih kolektora. Važno je uzeti u obzir prosječnu količinu sunčeve energije dostupne u vašem području tijekom godine.
- Položaj kolektora: Kut nagiba i orijentacija solarnih kolektora prema jugu i od horizontalne ravnine također imaju značajnu ulogu u apsorpciji sunčeve energije. Pravilno usmjeravanje kolektora prema suncu može znatno povećati njihovu učinkovitost.
- Namjena kolektora: Bitno je jasno definirati svrhu solarnih kolektora, odnosno hoće li se njihova primarna funkcija ograničiti na zagrijavanje potrošne tople vode (PTV) ili će se koristiti i za grijanje prostora. Ovisno o potrebama, odabrati odgovarajuću vrstu kolektora.
- Godišnje doba upotrebe kolektora: Ovisno o tome želite li koristiti solarni sustav samo tijekom određenih godišnjih doba (npr. samo ljeti) ili tijekom cijele godine, treba odabrati odgovarajući broj i vrstu kolektora

Zbog mogućnosti usporedbe i odabira vrste te potrebne količine kolektora korišten je predložak Centrometalovog kataloga.

Pločasti kolektor:

pločasti kolektor CPK 7210N		
Bruto površina	(m <sup>2</sup> )	2,11
Površina upada svjetlosti	(m <sup>2</sup> )	1,9
Površina apsorbera	(m <sup>2</sup> )	1,8
Materijal apsorbera	Cu lim s selektivnim slojem	
Apsorpcijski koeficijent	(%)	95 ± 2
Emisijski koeficijent	(%)	5 ± 3
Optički stupanj djelovanja	(%)	75,4
Koef. gubitaka topline k1	W/(m <sup>2</sup> K)	3,927
Koef. gubitaka topline k2	W/(m <sup>2</sup> K <sup>2</sup> )	0,012
Cijevni registri	(mm)	φ8 x 0,5
Sakupljačke cijevi	(mm)	φ22 x 0,8
Volumen apsorbera	(l)	1,4
Transparentni pokrov	3,2 mm kaljeno staklo	
Transmisija	(%)	90,5 ± 2
Broj priključaka	2	
Priključci	(R)	1"
Max. radni pretlak	(bar)	10
Temperatura mirovanja	(°C)	197
Izolacija	40mm kamene vune	
Visina kolektora	(mm)	2038
Širina kolektora	(mm)	1033
Debljina kolektora	(mm)	94
Masa kolektora	(kg)	35
Medij u sustavu	mješavina glikola i vode	

Slika 5.3.1. Karakteristike pločastog kolektora (preuzeto s interneta)

Karakteristike pločastog kolektora:

Oba priključka se nalaze na gornjoj strani kolektora. U seriju se može maksimalno spojiti 6 kolektora (moguće paralelno spajanje više serija po 6 kolektora). Ploče se mogu montirati i na kosi i na ravni krov (uz odgovarajući montažni set).

Cijevni vakuumski kolektor:

cijevni kolektor CVSKC-10		
Broj cijevi	(kom)	10
Bruto površina	(m <sup>2</sup> )	1,84
Površina upada svjetlosti	(m <sup>2</sup> )	1,6
Površina apsorbera	(m <sup>2</sup> )	1,6
Volumen apsorbera	(l)	1,63
Visina kolektora	(mm)	1645
Širina kolektora	(mm)	1115
Debljina kolektora	(mm)	107
Masa kolektora	(kg)	31
Materijal vakumske cijevi		borosilikatno staklo
Apsorpcijski koef.	(%)	96 ± 1
Emisijski koef.	(%)	6 ± 1
Optički stupanj djelovanja	(%)	60,5
Koef. gubitaka topline k1	W/(m <sup>2</sup> K)	0,850
Koef. gubitaka topline k2	W/(m <sup>2</sup> K <sup>2</sup> )	0,010
Izolacija apsorbera		vakuum
Izolacija sakupljača	(mm)	75mm mineralne vune
Bakrene cijevi	(mm)	φ8 x 0,5
Sakupljačke cijevi	(mm)	φ18 x 1
Broj priključaka	(kom)	2
Priključci	(R)	3/4"
Max. radni pretlak	(bar)	10
Temperatura mirovanja	(°C)	286
Refleksija ogledala	(%)	95
Medij u sustavu		mješavina glikola i vode

Slika 5.3.2. Karakteristike vakuumskog kolektora (preuzeto s interneta)

Značajke cijevnog vakuumskog kolektora:

Skuplji od pločastih kolektora, cijevni kolektor vakuumirane su, što se sprječava gubitak energije, ali osjetljivi na gubitak vakuuma. Pogodniji su za hladnije klime sa manje sati sijanja sunca. Puno viša cijena od pločastih kolektora, u ljetnim mjesecima postiže veće temperature, a u hladnim mjesecima ima veću efikasnost, veća površina ugradnje u odnosu na pločasti kolektor. Oba priključka kolektora se nalaze na gornjoj strani. Jedan komplet cijevnih vakuumski kolektor sastoji se od 10 cijevi. U seriju se može maksimalno spojiti 8 kolektora (moguće paralelno spajanje više serija po 8 kolektora). Maksimalna temperatura kolektora iznosi 286 °C . Ispod svake cijevi smješteno je reflektirajuće ogledalo koje omogućuje iskorištenje cijele površine cijevi. [29]

Isto tako se za određivanje odgovarajućeg solarnog sustava može koristiti online kalkulator koji se nalazi na stranici <https://www.hoval.hr/tools/solar-calculator> . [30]

## 5.4. Troškovi projekt

Tablica 5.4. prikazuje cijene i količinu odabranih neophodnih komponenti za pripremu PTV-a za obiteljsku kuću. Cijena ugradnje solarnog sustava za PTV može varirati ovisno o količinskoj potrebi i vrsti odabranog proizvođača. Isto tako veliku ulogu cijene ima prethodno planirani položaj samog sustava i mjesto ugradnje samih komponenti. Cilj je odabrati najkraći put između vakuumskih kolektora, solarnog spremnika i sekundarnog grijača toplinskog spremnika.

Tablica 5.4. Prikaz cijene i količine neophodne komponente za PTV

KOMPONENTA	KOLIČINA	CIJENA €
Vakuumski kolektori	30 vakuumskih cijevi, 4,8 m <sup>2</sup>	1000 €
Toplinski spremnik	300 litara, 1 komad	920 €
Solarna stanica (pumpa)	1 komad	350 €
Solarni regulator	1 komad	130 €
Ekspanzijska posuda	2 komada	114 €
Gibljive cijevi	20 metara	160 €
Bakrene cijevi	8 metara	68 €
Radni medij	20 litara, 2 komada	188 €
Termoizolacijska cijev	28 metara	88 €
Ostale komponente	Ventili, fitinzi, prelazi	150 €
Montaža	5 radnih dana	400 €
Ukupno		3568 €

U našoj obiteljskoj kući prethodno se koristio konvencionalni način grijanja prostora i pripreme PTV-a putem kotla na biomasu, gdje su drva služila kao osnovni izvor goriva. Prije implementacije solarnog sustava za PTV, godišnje smo trošili oko 20 m<sup>3</sup> (kubnih metara) drva za ogrijev. Međutim, nakon instalacije solarnog sustava, primijetili smo značajan pad potrebe drva za ogrijev, sada s godišnjom potrošnjom od oko 15 m<sup>3</sup>. S obzirom na trenutnu cijenu drva za ogrijev koja iznosi otprilike 70 eura po kubnom metru, smanjenje potrošnje za 5 metara godišnje rezultira uštedom od 350 eura godišnje. Zbog toga bi period povrata za solarni sustav u odnosu na konvencionalni način grijanja PTV-a i s obzirom na ukupnu cijenu solarnog sustava prikazanu u tablici 5.4., iznosio oko 10 godina.

## 6. Eksperimentalni dio (odabir i ugradnja sustava)

Na temelju potreba peteročlane obitelji za potrošnom toplom vodom, specifičnosti lokacije obiteljske kuće, izračuna i stručnih preporuka, odlučeno je implementirati solarni sustav s vakuumskim cijevnim kolektorima koji ima površinu  $4,8\text{ m}^2$ . Ovaj sustav sastoji se od 30 vakuumskih cijevi. Prema rezultatu iz prethodnog proračuna ( $V_s = 267,742\text{ l}$ ) za volumen spremnika peteročlane obitelji, predviđen je toplinski spremnik od 300 litara sa dva izmjenjivača u kojem bi se PTV primarno zagrijavao putem solarnih kolektora, a u nepovoljnim uvjetima kada nema dovoljno sunčevog zračenja koristio bi se dodatni izvor topline, a to je kotao na drva. Postupak ugradnje sustava podijeljen je u 9 glavnih područja u kojima svako područje zahtijeva određeni alat i materijal za ugradnju solarnog sustava. Postupak ugradnje trajao je 5 radnih dana.

### 1. Montaža spremnika u podrum

Potreban alat i materijal: beton, spremnik se dobiva od proizvođača

Betoniranje ravnog postolja i postavljanje spremnika od 300 L u vagu koji se nazali u podrumu obiteljske kuće. Ovo je prvi korak kod ugradnje jer je kasnije lakše odrediti dimenzije i razinu cjevovoda i mjesto postavljanja ovjesa za cjevovode. Podrum je odabran zbog najlakšeg i najkraćeg puta od solarnih vakuumskih kolektora do spremnika. Predviđeno mjesto montaže vakuumskih kolektora je točno iznad spremnika tople vode. Time se smanjuje gubitak topline kroz cjevovod i štedi se na materijalu (bakrenim i gibljivim cijevima). Odabrani je toplinski spremnik od 300 litara proizvođača Cordivari.



Slika 6.1. Spremnik tople vode od 300 litara, (Ivan Podravec- 2.3.2023.)



## 2. Postavljanje ovjesa za cjevovode

Potreban alat i materijal: bušilica, tipli, vijak, objumica

Bušenje rupa na zid za pričvršćivanje objumica koje su nosači bakrenih cijevi. Potrebno je pravilno određivanje mjesta objumica zbog lakše ugradnje bakrenih cijevi i izbjegavanja savijanja istih.



*Slika 6.2. Prikaz cijevnih objumica, (Ivan Podravec-2.3.2023.)*

## 3. Postavljanje cjevovoda

Potreban alat i materijal: bakrena cijev 22, armatura(fitinzi, ventili), izolacija(af 22x19), cijevni rezač

Prilikom postavljanja cjevovoda odabrane su cijevi promjera 22 milimetara na koje nakon autogenog spajanja ide izolacija debljine stijenke 19 milimetara. Ovaj postupak zahtijeva precizno mjerenje radi lakšeg i kvalitetnog spajanja. Rezanje cijevi je jednostavno i brzo. Nakon rezanja i postavljanja fittinga i ventila na odgovarajuće mjesto slijedi spajanje.





*Slika 6.3. Izolacija bakrene cijevi,(Ivan Podravec-31.3.2023.)*

#### 4. Spajanje cjevovoda

Potreban alat i materijal: boce sa kisikom i acetilenom, žica za tvrdo lemljenje

Tvrdo lemljenje cjevovoda sa koljenastim dijelovima, spojnica i ostalih bakrenih dijelova. Tvrdo lemljenje je postupak spajanja metala koji koristi plamen nastao iz kombinacije kisika i goriva za zagrijavanje i topljenje metalnih komponenti.



*Slika 6.4. Tvrdo lemljenje koljenastog spoja*

## 5. Spajanje spremnika na PTV i solarni sustav

Potrebni alat i materijal: kliješta, locktite, list pile za nazubljivanje navoja, armatura (ventili, holender, kolčake, redukcije, bakreni prelaz), gibljive cijevi, solarna stanica (pumpa) koja se dobiva od proizvođača

Potrebna je montaža solarne stanice na zid i spajanje iste sa spremnikom PTV-a i solarnim kolektorima (razdjelnikom). Pošto solarni kolektori nisu još montirani spajanje istog sa solarnom stanicom nije moguće, ali je potrebno dovesti cijevi iz podruma do krovišta za spoj sa kolektorima. Ovaj postupak je kompliciran jer se prethodno izolirane cijevi moraju provlačiti kroz plastičnu vodilicu koja je ugrađena u zid. Izolacija dodatno otežava postupak zbog prijanjanja izolacije za plastičnu vodilicu. Postupak spajanja solarne stanice za kolektorima se inače provodi sa bakrenim cijevima, ali zbog neravnina u zidu i puno kutova potrebne su gibljive cijevi koje su puno skuplje od bakrenih cijevi.



*Slika 6.5.1. Prikaz spoja gibljivih cijevi sa solarnom stanicom, (Ivan Podravec-11.4.2023.)*

Montaža armature na spremnik, spajanje ekspanzijskih posuda na solarni sustav i na PTV (koje ekspandiraju višak pritiska koji se stvara radi zagrijavanja radnog medij i potrošne vode). Prema proračunu minimalnog volumena ekspanzijske posude, za ekspanziju solarnog sustava odabran je spremnik od 35 litara proizvođača Elbi. Prema savjetima stručnjaka za instalaciju i

odabir ekspanzijske posude za sam spremnik PTV-a, odabire se volumen ekspanzijske posude koja čini 10% ukupnog volumena spremnika vode, pa je tako odabrana posuda od 35l. Promjena volumena vode nije toliko istaknuta kod spremnika tople vode jer se u njemu ne postiže temperatura viša od 60 °C . U svakom slučaju uvijek je bolje staviti veću ekspanzijsku posudu od potrebne nego manju. Svaki navojni spoj je potrebno nazubiti i omotati locktite koncem za sigurniji spoj i izbjegavanje puštanja istog.



*Slika 6.5.2. Ekspanzijske posude spojene na solarni sustav i PTV,(Ivan Podravec-17.4.2023.)*

Spajanje donjeg (primarnog) izmjenjivača na cjevovod solarnog grijanja, spajanje gornjeg (sekundarnog) na sustav centralnog grijanja (kotao na drva), spajanje tople i hladne vode na spremnik solarnog sustava.

#### 6. Montaža montažne šine za kosi krov

Potreban alat i materijal: materijal se dobiva u kompletu od proizvođača, aku odvijač, šarafi

Prvi korak je skidanje crijepa sa krovišta radi montaže montažne šine. Onda slijedi montaža metalne šine na drvenu konstrukciju krovišta i nakon toga se krovište natrag pokrije crijepom.



*Slika 6.6. Montažna metalna šina, (Ivan Podravec-18.4.2023.)*

## 7. Postavljanje vakuumskih cijevi u razdjelnik

Potreban alat i materijal: materijal se dobije od proizvođača

S obzirom na lokaciju kuće, klimatsko područje, prema ranije određenom intenzitetu sunčevog zračenja, potrebnom volumenu spremnika te male prednosti pred pločastim kolektorom, odabran je vakuumski solarni kolektor. Zbog kapaciteta spremnika tople vode odabrano je 30 vakuumskih cijevi. Prvo ide postavljanje razdjelnika na prethodno postavljene montažne šine. Nakon toga vakuumske cijevi se na vrhu podmažu sa dobivenom pastom radi boljeg prijanjanja i onda se postave u razdjelnik, a donji dio vakuumske cijevi se fiksira u donji dio montažne šine. Prethodno se na donji dio vakuumske cijevi stavlja plastični dio prikazan na slici koji se zatim fiksira na montažnu šinu. Potrebne su i gibljive cijevi zbog lakšeg spajanja kolektora sa cjevovodom na mjestima gdje nije moguće spajati bakrenim cijevima.



*Slika 6.7.1. Razdjelnik, (Ivan Podravec-22.4.2023.)*





*Slika 6.7.2. Vakuumska cijev, (Ivan Podravec-22.4.2023.)*



*Slika 6.7.3. Plastični utor za vakuumsku cijev, (Ivan Podravec-22.4.2023.)*



*Slika 6.7.4. Razdjelnik spojen sa kolektorima i gibljivim cijevima, (Ivan Podravec-24.4.2023.)*

## 8. Punjenje sistema radnim medijem

Potreban alat i materijal: bušilica za pokretanje pumpice, pumpica za dopunu sustava, antifriz (25 litara)

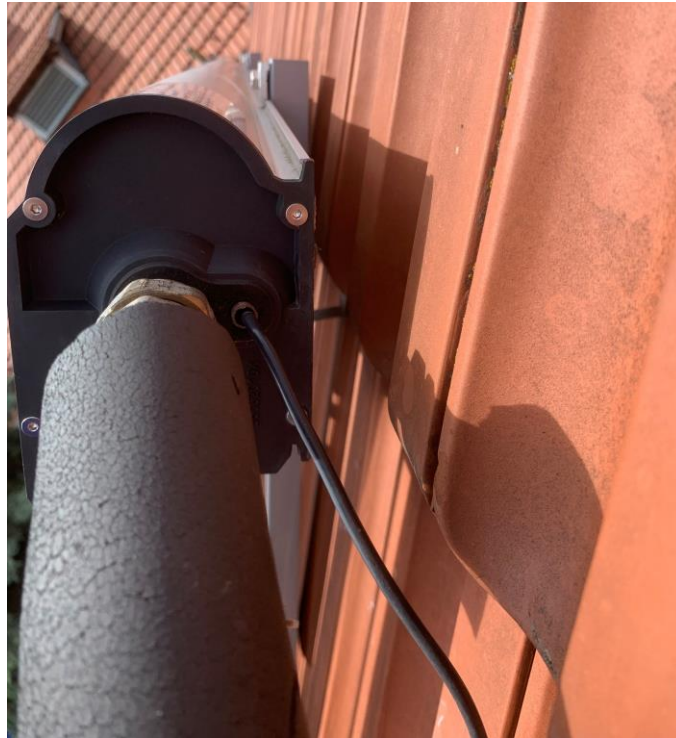
Pumpica za dopunu sustava ima dvije priključne strane, a sama pumpica se spoji na bušilicu koja ju pokreće. Jedan dio pumpice se spaja na solarni sustav, a drugi dio se spaja u posudu sa antifrizom i puni se sistem. Postupak je jednostavan i traje kratko.



*Slika 6.8. Pumpa za bušilicu (preuzeto s interneta)*

## 9. Puštanje u pogon

Spajanje prvog osjetnika na razdjelnik vakuumskih cijevi pa sve do solarne stanice koja očituje temperaturu radnog medija u kolektorima. Drugi osjetnik se spaja sa spremnikom tople vode i sa solarnom stanicom. Spajanje solarne stanice na električni napon.



*Slika 6.8. Osjetnik spojen sa razdjelnikom koji vodi do solarne stanice,(Ivan Podravec-26.4.2023.)*

Na kraju slijedi programiranje same solarne stanice radi praćenja funkcionalnosti sustava koja može raditi na ručnom ili automatskom načinu (temperatura, vrijeme, datum).



*Slika 6.9. Solarni regulator spojen sa električnim naponom i osjetnicima, (Ivan Podravec-2.5.2023.)*



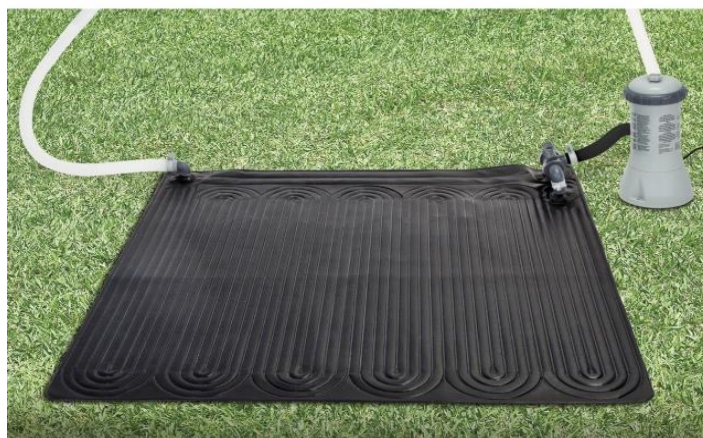
## 7. Nadogradnja grajanja vode vanjskog bazena (mogućnost daljnjeg istraživanja)

Temperatura vode u bazeni se također može regulirati pomoću solarne energije sustavi grijanja vode. Osnovni princip ovih sustava je isto kao i sa solarnom toplom vodom sustava, s tom razlikom da sam bazen djeluje kao skladište tople vode koja se zagrijava uz pomoć bazenskog izmjenjivača. Najpraktičnije je iskoristiti višak energije iz solarnog sustava tijekom ljeta za grijanje bazena, budući da se pokrivanje viška kolektora tijekom ljetnih mjeseci treba izbjegavati. [6]

Solarno grijanje bazena možemo podijeliti na dvije grane.

- Grijanje direktnim strujanjem

Grijanje bazena direktnim strujanjem, putem panela napravljenih od polipropilena, je jednostavan i učinkovit način grijanja bazena. Ovaj sustav koristi vodu iz bazena koja direktno prolazi kroz panele kako bi se zagrijala prije nego što se vrati natrag u bazen. Voda iz bazena se pumpa uz pomoć pumpe za vodu kroz panele. Dok prolazi kroz panele, voda apsorbira toplinu iz sunčeve energije koja se prenosi na vodu kroz kanale panela. Zagrijana voda se zatim vraća u bazen, podižući ukupnu temperaturu vode. Grijanje bazena direktnim strujanjem je jednostavan i ekonomičan sustav jer se sustav lako ugrađuje i sami paneli od polipropilena su relativno jeftini, a mogu se postaviti na različita mjesta (travu, ogradu, krovšte).

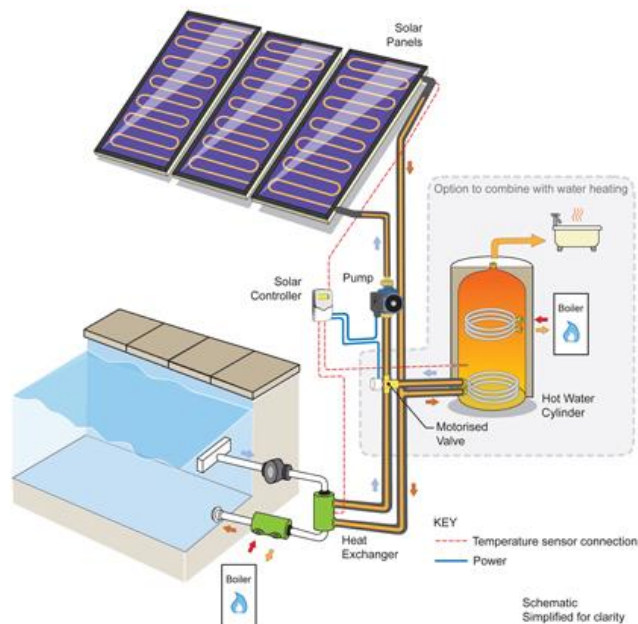


Slika 7.1. Paneli od polipropilena (preuzeto s interneta)

- Indirektno grijanje uz pomoć izmjenjivača

Grijanje bazena putem bazenskog izmjenjivača, odnosno indirektno grijanje, koristi se kada se solarna energija koristi za zagrijavanje solarnog medija (npr. antifriz) putem ravnih (pločastih) ili vakuumskih kolektora. Zagrijani solarni medij prenosi toplinu na bazensku vodu putem bazenskog

izmjenjivača topline. Sustav je opremljen senzorima temperature i regulatorima koji prate temperaturu bazenske vode i solarnog medija. Na temelju tih podataka, regulacija sustava kontrolira protok solarnog medija i osigurava optimalno zagrijavanje bazenske vode. Sustavi ovakvog tipa primjenjuju se kada se sunčeva energija iskoristi za grijanje potrošne tople vode tijekom cijele godine i za dodatno grijanje prostora tijekom zimskih mjeseci. Kada ljeti imamo znatno veću količinu sunčeve topline zbog površine kolektora ili ne uspijemo potrošiti potrošnu toplu vodu, grijanje bazenske vode je idealno rješenje. „Slika 7. prikazuje prolaz zagrijanog radnog medija koji nakon postignute određene temperature PTV-a ide u bazenski izmjenjivač koji zatim grije vodu u bazenu“. Kada Sunčeva energija nije dovoljna za zagrijavanje vode u bazenu, primjenjuju se alternativni izvori grijanja, kao što su sustavi na temelju goriva poput ulja, plina ili kotlovi koji koriste biomasu. [31]



Slika 7.2. Proces grijanja bazena (preuzeto s interneta)

## 8. Zaključak

Sunčeva energija predstavlja neiscrpan obnovljivi izvor energije. Upotreba ove obnovljive energije kroz sunčeve kolektore predstavlja izvrsno i trajno rješenje za proizvodnju električne energije ili tople vode. Elektromagnetsko zračenje Sunca, kondukcija i konvekcija su ključni mehanizmi koji omogućavaju prikupljanje i prenošenje Sunčeve energije za upotrebu u solarnim sustavima.

Potrošna topla voda koja se koristi za kućanske potrebe može se zagrijati na različite načine, a jedan od najsuvremenijih, ekonomski najisplativijih i ekološki prihvatljivih načina je solarno grijanje potrošne vode. Komponente koje su neophodne za instalaciju solarnog sustava već su ispitane i provjerene kroz dovoljno dug period korištenja što znači da su pouzdane. Odabir kompatibilnih komponenti solarnog sustava ovisi od lokacije stanovanja pa do korisnika (potrošnje same tople vode).

Sunčevi kolektori su isplativa investicija koja može donijeti značajne uštede u odnosu na korištenje konvencionalnih sustava koji se oslanjaju na fosilna goriva ili nuklearne reakcije. Osim finansijskih ušteda, sunčevi kolektori imaju i dugotrajan vijek trajanja, što dodatno povećava njihovu isplativost. Međutim, važno je napomenuti da sunčevi kolektori nisu jednako učinkoviti u svim dijelovima svijeta. Potrebna je određena količina direktnog sunčevog zračenja tijekom godine kako bi se postigla visoka učinkovitost i isplativost sustava. Područja s manjim brojem sunčanih sati ili nižim intenzitetom sunčevog zračenja mogu imati manju iskoristivost solarnih sustava. Uz pomoć proračuna odabran je vakuumski kolektor od  $4\text{ m}^2$  i toplinski spremnik volumena  $300\text{ L}$ . Prilikom same ugradnje sustava ne poklapa se baš sve sa proračunima i postoje mala odstupanja. Nakon samo jedne godine korištenja solarnog sustava zaključujem da je ovo odlično rješenje za pripremu potrošne tople vode. Od početka sunčanih dana u ožujku pa sve do listopada topla voda je dostupna u bilo kojem trenutku bez prethodne pripreme.

## 9. Literatura

- [1] Labudović, B.: Obnovljivi izvori energije, Energetika marketing, Zagreb, 2002.
- [2] Internet izvor, preuzeto 02.05.2023.  
<https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=65109>
- [3] Internet izvor, preuzeto 02.05.2023.  
[https://unfccc.int/resource/cd\\_roms/nal/mitigation/Module\\_5/Module\\_5\\_1/b\\_tools/RETScreen/Manuals/Solar\\_Water\\_Heating.pdf](https://unfccc.int/resource/cd_roms/nal/mitigation/Module_5/Module_5_1/b_tools/RETScreen/Manuals/Solar_Water_Heating.pdf)
- [4] Internet izvor, preuzeto 08.05.2023.  
<https://www.fzoeu.hr/hr/obnovljivi-izvori-energije/7573>
- [5] Dr. sc. Petra Amižić Jelovčić, dr. sc. Željka Primorac i dr. sc. Ivanči Škurla: Energetska... Zbornik radova Pravnog fakulteta u Splitu, god. 50, 4/2013., str. 823.-853.
- [6] Internet izvor, preuzeto 10.05.2023.  
<https://www.centrometal.hr/public/downloads/katalozi/solarni-sustavi.pdf>
- [7] Internet izvor, preuzeto 12.05.2023.  
<http://www.mojanekretnina.eu/fotonaponske-celije.aspx>
- [8] Internet izvor, preuzeto 13.05.2023.  
[https://www.fkit.unizg.hr/\\_download/repository/prijenosTopline.pdf](https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/prijenosTopline.pdf)
- [9] Internet izvor, preuzeto 13.05.2023.  
[https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/termodinamika\\_prijenos\\_topline.pdf](https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/termodinamika_prijenos_topline.pdf)
- [10] Internet izvor, preuzeto 15.05.2023.  
<https://www.ekologija.com.hr/energija-vode/>
- [12] Internet izvor, preuzeto 19.05.2023.  
<https://regulator.hr/savjeti/priprema-potrosne-tople-vode-1-dio-grijanje-vode-na-struju/>
- [13] Internet izvor, preuzeto 19.05.2023.  
<https://regulator.hr/savjeti/priprema-potrosne-tople-vode-2-dio-plinski-bojleri/>
- [14] Internet izvor, preuzeto 20.05.2023.  
<https://www.sf-klime.hr/solarno-grijanje/#kolektor>
- [15] Internet izvor, preuzeto 20.05.2023.F  
<https://regulator.hr/savjeti/sto-su-dizalice-topline-kako-rade/>
- [16] Internet izvor, preuzeto 21.05.2023.  
<https://www.energy.gov/energysaver/solar-water-heaters>
- [17] Internet izvor, preuzeto 21.05.2023.  
<http://www.seia.org/initiatives/concentrating-solar-power>

- [18] Maraj, Alti et al: Comparison of the Energy Performance between Flat-plate and Heat Pipe Evacuated Tube Collectors for Solar Water Heating Systems under Mediterranean Climate Conditions, JSDEWES,p87-100, 2019.
- [19] Internet izvor, preuzeto 22.05.2023.  
<https://iwarm-hr.techinfus.com/truby-dlya-otopleniya/otoplenie-vakuumnymi-trubkami.html>
- [20] Internet izvor, preuzeto 24.05.2023.  
[file:///C:/Users/Ivan/Downloads/Program%20OIE%2002-2020\\_web.pdf](file:///C:/Users/Ivan/Downloads/Program%20OIE%2002-2020_web.pdf)
- [21] Internet izvor, preuzeto 26.05.2023.  
<https://www.sf-klime.hr/solarno-grijanje/#kolektor>
- [22] Internet izvor, preuzeto 26.05.2023.  
<https://www.vaillant.hr/krajnji-korisnici/proizvodi/grupa-proizvoda/spremnici/>
- [23] Internet izvor, preuzeto 27.05.2023.  
<http://solarmont.hr/solarni-sustavi/>
- [24] Internet izvor, preuzeto 27.05.2023.  
<https://www.vaillant.hr/downloads/pli/2016-09-solar-projektantske-podloge-823384.pdf>
- [25] Internet izvor, preuzeto 28.05.2023.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Heat-transfer\\_fluid](https://en.wikipedia.org/wiki/Heat-transfer_fluid)
- [26] Internet izvor, preuzeto 01.06.2023.  
[https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/)
- [27] Majdandžić LJ., Solarni sustavi: teorijske osnove, projektiranje, ugradnja i primjeri izvedenih projekata (str. 123-124, 321-322), Zagreb, 2010.g.
- [28] Internet izvor, dostupno 05.06.2023.  
<https://www.scribd.com/document/566328708/BS-EN-12831-3-2017-2021-01-02-04-26-11-PM>
- [29] Centrometal, tehnika grijanja: SOLARNI SUSTAV, SS-03/2011, str.6-7
- [30] Internet izvor, dostupno 06.06.2023.  
<https://www.hoval.hr/tools/solar-calculator>
- [31] Internet izvor, dostupno 08.06.2023.  
<https://bazeni.hr/bazeni/dogrijavanje-bazenske-vode/>

## Popis slika

Slika 2.1.3. Primjer konvekcije, kondukcije i zračenja (preuzeto s interneta) .....	6
Slika 4.1. Klasična i selektivna površina (preuzeto s interneta) .....	14
Slika 4.1.1.1 Heat-pipe vakuumski kolektor (preuzeto s interneta) .....	17
Slika 4.1.1.2. U-pipe vakuumski kolektor (preuzeto s interneta) .....	18
Slika 4.1.2.1. Izgled harfa tipa pločastog kolektora (preuzeto s interneta) .....	20
Slika 4.1.2.2. Izgled meandar pločastog kolektora (preuzeto s interneta) .....	21
Slika 4.2. Prikaz bivalentnog spremnika (preuzeto s interneta) .....	23
Slika 4.3. Spremnik tople vode sa dva izmjenjivača (preuzeto s interneta) .....	25
Slika 4.4. Ekspanzijska posuda od 35 litara (preuzeto s interneta) .....	26
Slika 4.6.1. Dijelovi solarne pumpe (preuzeto s interneta) .....	30
Slika 4.6.2. Solarni regulator s osjetnicima topline (preuzeto s interneta) .....	30
Slika 5.1. Intenzitet sunčevog zračenja na kosu površinu (preuzeto s interneta) .....	31
Slika 5.3.1. Karakteristike pločastog kolektora (preuzeto s interneta) .....	35
Slika 5.3.2. Karakteristike vakuumskog kolektora (preuzeto s interneta) .....	36
Slika 6.1. Spremnik tople vode od 300 litara, (Ivan Podravec- 2.3.2023.) .....	38
Slika 6.2. Prikaz cijevnih obujmica, (Ivan Podravec-2.3.2023.) .....	39
Slika 6.3. Izolacija bakrene cijevi,(Ivan Podravec-31.3.2023.) .....	40
Slika 6.4. Tvrdo lemljenje koljenastog spoja .....	40
Slika 6.5.1. Prikaz spoja gibljivih cijevi sa solarnom stanicom,(Ivan Podravec-11.4.2023.) .....	41
Slika 6.5.2. Ekspanzijske posude spojene na solarni sustav i PTV,(Ivan Podravec-17.4.2023.) ..	42
Slika 6.6. Montažna metalna šina, (Ivan Podravec-18.4.2023.) .....	43
Slika 6.7.1. Razdjelnik, (Ivan Podravec-22.4.2023.) .....	43
Slika 6.7.2. Vakuumaska cijev, (Ivan Podravec-22.4.2023.) .....	44
Slika 6.7.3. Plastični utor za vakuumsku cijev, (Ivan Podravec-22.4.2023.) .....	44
Slika 6.7.4. Razdjelnik spojen sa kolektorima i gibljivim cijevima,(Ivan Podravec-24.4.2023.) ..	45
Slika 6.8. Pumpa za bušilicu (preuzeto s interneta) .....	45
Slika 6.8. Osjetnik spojen sa razdjelnikom koji vodi do solarne stanice,(Ivan Podravec-26.4.2023.) .....	46
Slika 6.9. Solarni regulator spojen sa električnim naponom i osjetnicima, (Ivan Podravec- 2.5.2023.) .....	47
Slika 7.1. Paneli od polipropilena (preuzeto s interneta) .....	48
Slika 7.2. Proces grijanja bazena (preuzeto s interneta) .....	49

## **Popis tablica**

Tablica 4.4. Ovisnost širenja vode o temperaturi (preuzeto s interneta) .....	26
Tablica 5.2.1. Potrošnja PTV-a po danu za kuću .....	32
Tablica 5.2.2. Potrošnja PTV-a po danu za ostale objekte .....	33
Tablica 5.4. Prikaz cijene i količine neophodne komponente za PTV .....	37

BARON  
ALIEUBAINO

Sveučilište  
Sjever



SVEUČILIŠTE  
SJEVER

#### IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Loam Podravac (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Priznanje u vezi s odgojem u obrazovanju za PIV na obitelji i školi (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Loam Podravac  
(vlastoručni potpis)

Sukladno čl. 83. Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Sukladno čl. 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje znanstvena i umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.



4.4%

PlagScan by Turnitin Results of plagiarism analysis from 2023-09-09 22:38 UTC  
Ivan Podravec, završni rad..docx



Date: 2023-09-09 22:31 UTC

\* All sources 100 | Internet sources 41 | Organization archive 22 | Plagiarism Prevention Pool 37