

# Cjelogodišnja akumulacijska priprema tople vode pomoću obnovljivih izvora energije

---

**Pokrovac, Marin**

**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:122:079282>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-15**



*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

**Završni rad br. 013/MEH/2023**

**Cjelogodišnja akumulacijska priprema tople vode pomoću  
obnovljivih izvora energije**

Marin Pokrovac, 3840/336

Varaždin, rujan 2023. godine



# Sveučilište Sjever

**Mehatronika**

**Završni rad br. 013/MEH/2023**

## **Cjelogodišnja akumulacijska priprema tople vode pomoću obnovljivih izvora energije**

**Student**

Marin Pokrovac, 3840/336

**Mentor**

Prof. dr. sc. Ante Čikić

Varaždin, rujan 2023. godine


# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za mehatroniku		
STUDIJ	prediplomski stručni studij Mehatronika		
PRISTUPNIK	Marin Pokrovac	JMBAG	0336036086
DATUM	05. lipnja 2023.	KOLEGIJ	Obnovljivi izvori energije
NASLOV RADA	Cjelogodišnja akumulacijska priprema tople vode pomoću obnovljivih izvora energije		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Year-round storage preparation of hot water using renewable energy sources		

MENTOR	prof. dr. sc. Ante Čikić	ZVANJE	redoviti profesor
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. Zoran Busija, dipl.ing.stroj., predavač		
	2. prof. dr. sc. Ante Čikić		
	3. Božidar Hršak, mag.ing.mech., viši predavač		
	4. Siniša Švogler, mag.ing.mech., predavač		
	5.		

## Zadatak završnog rada

BROJ	013/MEH/2023
OPIS	<p>Za hotel lociran na području grada Knina potrebno je projektirati toplinsku stanicu sa dva akumulacijska spremnika tople vode, svaki volumena 4000 litara. Toplu vodu treba cjelogodišnje grijati do 65°C pomoću sunčevih kolektora, dizalice topline zrak – zrak te prema potrebi dogrijavati električnim grijačima ugrađenim u spremnike topline. Električna energija se proizvodi iz obnovljivih izvora energije. Maksimalna dnevna potrošnja tople vode očekuje se u jutarnjim satima, oko 14 sati i u večernjim satima, u svakom intervalu oko 1,5 sati s maksimalnim padom temperature vode u spremnicima do 35°C. Potrebno je: utvrditi mikroklimatske uvjete na navedenoj lokaciji, proračunati i pravilno dimenzionirati sustav sunčevih kolektora, proračunati i dimenzionirati dizalicu topline zrak – zrak, odrediti broj i snagu električnih grijača za moguće dogrijavanje vode, proračunati, dimenzionirati i odabrati sve elemente cjelovite instalacije. Prioritetno grijanje vode je sunčevim kolektorima, slijedi dizalica topline, a prema potrebi koriste se električni grijači. Analizirati učestalost (numerički i grafički) pojedinih izvora energije za grijanje tople vode ovisno o mikroklimatskim uvjetima tijekom cijele godine.</p> <p>Uz analitičke i pisane sadržaje, sheme cjelovitog sustava i instalacije, crteže, slike, tablice, dijagrame, ... prikazati jasno i prepoznatljivo stručnoj praksi. Dati odgovarajuće analize, komentar, napomene i zaključak. Ostale tehničke parametre, tehničke karakteristike i podatke koristiti iz stručne</p>
ZADATAK URUČEN	07.06 2023.
POTPIS MENTORA	

MARK  
ALISHBAIND

Sveučilište  
Sjever



SVEUČILIŠTE  
SJEVRA

### 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, Marin Pokrovac (*ime i prezime*) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/~~ica~~ završnog/~~diplomskog~~ (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom Cjelogodišnja akumulacijska priprema tople vode pomoću obnovljivih izvora energije (*upisati naslov*) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (*bez pravilnog citiranja*) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(*upisati ime i prezime*)

Marin Pokrovac  
(*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/li na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje znanstvena i umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.

## **Sažetak**

U ovom završnom radu prikazana je primjenu sunčevih kolektora, dizalice topline i električnih grijača u sustavu za cjelogodišnju pripremu tople vode za hotel na području grada Knina. Rad se sastoji od 8 poglavlja. U prvom djelu rada obrađuje se teoretski dio zadatka potkrijepljen shemama, slikama, tablicama i grafovima da bi se čitatelj bolje upoznao s temom obnovljivih izvora energije, sunčevih kolektora i dizalicom topline.

Nakon toga obrađeno je poglavlje „Praktični dio“ u kojem je izrađen proračun i odabir potrebnih elemenata za kompletan sustav pripreme tople vode koji je zadan u zadatku. Praktični dio započinje proračunom akumulacijskog spremnika koji zadovoljava potrebe skladištenja tople vode hotela. Iz dobivenih izračuna odabiru se sunčevi kolektori, dizalica topline i električni grijač koji stvaraju kompletan sustav za pripremu tople vode. Nakon odabira komponenti sustava razrađena je detaljna analiza sustava koja je donijela konkretne zaključke o prednostima i nedostacima korištenja obnovljivih izvora energije za pripremu tople vode u hotelima.

## **Ključne riječi:**

Dizalica topline, sunčevi kolektori, solarni sustav, obnovljivi izvori energije, priprema tople vode, električni grijači.

## **Summary**

This final paper presents the application of solar collectors, heat pumps, and electric heaters in a year-round hot water preparation system for a hotel located in the city of Knin. The paper consists of 8 chapters. The first part of the paper covers the theoretical aspects of the task, supported by diagrams, images, tables, and graphs to provide the reader with a better understanding of renewable energy sources, solar collectors, and heat pumps.

Following that, the "Practical Part" chapter addresses the calculation and selection of necessary components for the complete hot water preparation system specified in the task. The practical section begins with the calculation of the accumulation tank that meets the hotel's hot water storage needs. Based on the calculations, solar collectors, a heat pump, and an electric heater are selected to create a comprehensive hot water preparation system. After choosing the system components, a detailed analysis of the system is carried out, resulting in specific conclusions regarding the advantages and disadvantages of using renewable energy sources for hot water preparation in hotels.

## **Keywords:**

Heat pump, solar collectors, solar system, renewable energy sources, hot water preparation, electric heaters.

## **Popis korištenih kratica**

PTV- priprema tople vode

DT- dizalica topline

SS- solarni sustav



# 1. Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Vrste obnovljivih izvora energije.....	3
2.1.	Energija vjetra .....	3
2.2.	Biomasa.....	5
2.3.	Energija plime i oseke .....	6
2.4.	Energija valova.....	7
2.5.	Geotermalna energija .....	7
2.6.	Sunčeva energija .....	8
2.6.1.	<i>Sunčevo zračenje na području grada Knina</i> .....	9
3.	Sunčevi kolektori .....	11
3.1.	Nekoncentrirani sunčevi sustavi.....	11
3.1.1.	<i>Sunčevi kolektori bez ostakljenja</i> .....	11
3.1.2.	<i>Pločasti sunčev kolektor</i> .....	11
3.1.3.	<i>Vakumski sunčev kolektor</i> .....	12
3.2.	Koncentrirani sunčevi sustavi .....	12
3.2.1.	<i>Parabolični kolektori</i> .....	12
3.2.2.	<i>Fresnelovi kolektori</i> .....	13
3.2.3.	<i>Sunčevi tornjevi</i> .....	13
3.2.4.	<i>Sunčevi tanjuri</i> .....	14
4.	Dizalice topline .....	15
4.1.	Dizalica topline tlo – voda.....	17
4.2.	Dizalica topline voda – voda.....	18
4.3.	Dizalica topline zrak – voda.....	19
4.4.	Dizalica topline zrak – zrak.....	20
5.	Praktični dio .....	21
5.1.	Proračun akumulacijskog spremnika .....	21
5.2.	Proračun sunčevih kolektora .....	24
5.3.	Proračun solarnog cjevovoda, cirkulacijske pumpe i ekspanzijske posude .....	27
5.4.	Proračun dizalice topline .....	31
5.5.	Proračun električnih grijača .....	35
5.6.	Dimenzioniranje cjevovoda sekundarnog kruga pripreme tople vode.....	37
5.7.	Proračun ekspanzijske posude sekundarnog kruga pripreme tople vode.....	38
5.8.	Proračun cirkulacijske pumpe sekundarnog kruga.....	40
6.	Analiza sustava .....	42
7.	Zaključak.....	44
8.	Literatura.....	46
9.	Popis slika .....	48
10.	Popis tablica .....	49
11.	Popis oznaka .....	50
12.	Prilozi.....	51

# 1. Uvod

Kao članica Europske unije, Republika Hrvatska se obvezala na prihvaćanje europskog klimatsko-energetskog paketa. On podrazumijeva i Direktivu 2009/28/EZ koja se odnosi na poticanje uporabe energije iz obnovljivih izvora. Time je Republika Hrvatska preuzela obavezu povećanja upotrebe energije iz obnovljivih izvora, pri čemu je udio energije u 2020. godini u bruto neposrednoj potrošnji trebao iznositi najmanje 20% (na razini Europske Unije). Kako navodi Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost, u razdoblju do 2030. planirano je povećanje udjela obnovljivih izvora energije na 32%, a taj postotak bi do 2050. godine trebao iznositi i više od 65%. Slično se navodi i u Integriranom nacionalnom energetska i klimatskom planu, u kojem je u prometu planirano ostvarenje cilja od 13,2% udjela obnovljivih izvora energije u razdoblju od 2021. do 2030. godine.

Zbog toga sve veći broj sektora teži prelasku na obnovljive izvore energije kako bi se smanjila ovisnost o fosilnim gorivima i smanjile emisije stakleničkih plinova. Jedno od područja gdje se ovoj promjeni posvećuje posebna pažnja jest i sektor grijanja i pripreme tople vode, posebno u velikim infrastrukturnim objektima kao što su hoteli. Priprema tople vode je od vitalnog značaja za komfor i zadovoljstvo korisnika. Tradicionalno je zahtijevalo velike količine konvencionalne energije koja često dolazi iz neobnovljivih izvora energije. Međutim s napretkom tehnologije i rastućim interesom za obnovljive izvore energije sustavi koji ih koriste postaju prioritet.

Ovaj rad posvećen je analizi i inovativnom pristupu pripreme tople vode u hotelskim objektima, koristeći kombinaciju sunčevih kolektora, dizalice topline i električnih grijača. Cilj je stvoriti inteligentan i učinkovit sustav koji će zadovoljiti energetske potrebe objekta, smanjiti troškove energije i negativni ekološki utjecaj. Prioritet će biti na analizi performansi sunčevih kolektora kao primarnog izvora energije. Sunčevi kolektori igraju ključnu ulogu u iskorištavanju obnovljive energije sunca kako bi se postigla optimalna temperaturna razina tople vode. Međutim, sezonske promjene u sunčevoj svjetlosti i temperaturi izazov su s kojim se suočava ovaj sustav. Stoga se sustav nadopunjuje visokoučinkovitom dizalicom topline i električnim grijačima koji osiguravaju stabilnost sustava tijekom cijele godine.

U cilju dubljeg razumijevanja ove inovativne konfiguracije sustava, analizirat ćemo prikupljene podatke o proizvodnji energije sunčevih kolektora i potrebama za pripremom tople vode tijekom različitih mjeseci. Na temelju ovih podataka, možemo sagledati učinkovitost sunčevih kolektora te razumjeti u kojim situacijama interveniraju dizalica topline i električni grijači. Kroz ovu analizu, cilj je uočiti ključne trenutke kada obnovljivi izvori energije postaju nedovoljni i kada je potrebno aktivirati dodatne izvore.

Ovaj završni rad ima cilj pružiti dublji uvid u inovativne pristupe pripreme tople vode u hotelskim objektima u kojima se koristi kombinacija sunčevih kolektora, dizalice topline i električnih grijača koji predstavljaju snažan iskorak prema održivoj budućnosti i maksimalnom korištenju obnovljivih izvora energije.

## 2. Vrste obnovljivih izvora energije

Obnovljivi izvori energije, prema hrvatskom Zakonu o energiji, definiraju se kao „*izvori energije koji su sačuvani u prirodi i obnavljaju se u cijelosti ili djelomično, posebno energija vodotoka, vjetra, neakumulirana sunčeva energija, biodizel, biomasa, bioplin, geotermalna energija itd.*“ [1]. Ujedno su zamjena za fosilna goriva i kao takvi pridonose smanjenju emisije stakleničkih plinova, diverzifikaciji opskrbe energijom i smanjenju ovisnosti o nepouzdanim i nestabilnim tržištima fosilnih goriva, posebice nafte i plina. Dugoročno se očekuje da će obnovljivi izvori energije postati financijski konkurentni tradicionalnim izvorima energije.

Podjela obnovljivih izvora energije definirana je člankom 6. Zakona o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji te ih dijeli na: „*sunčevu energiju, energiju vjetra, hidroenergiju, geotermalnu energiju, energiju biomase te nespecificirane i ostale obnovljive izvore energije*“. (Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji, NN 100/15, 123/16, 131/17, 111/18).

Obnovljivi izvori energije također se dijele na konvencionalne obnovljive izvore (npr. velike hidroelektrane i eventualno drvo) i nove ili nekonvencionalne obnovljive izvore (npr. vjetroelektrane, solarne elektrane, male hidroelektrane, biomasa i otpad, geotermija) [2].

### 2.1. Energija vjetra

Energija vjetra dobro je poznata već stoljećima. U drevnom Egiptu korištena je za pokretanje brodova i prijevoz robe. Indijci i Kinezi koristili su ju za pumpanje vode i mljevenje žitarica kako bi dobili prehrambene namirnice. Pomoću vjetrenjača s vertikalnom osi vrtnje i pravokutnim lopaticama s jedrima dobivana je sol iz morske vode u Kini i Siciliji. Nizozemske vjetrenjače služile su za isušivanje rijeke Rajne. Zahvaljujući sveobuhvatnom znanju ljudskih predaka, energija vjetra do danas je zadržana kao često korišten obnovljiv izvor energije.

Sam vjetar najjednostavnije se opisuje kao strujanje različitih masa koje nastaje zbog razlike u temperaturi ili tlaku. Zbog nejednakog zagrijavanja Zemljine površine pod utjecajem Sunca nastaje gibanje zraka, a dio tog gibanja koji je paralelan s površinom zemlje naziva se vjetar [3]. Vjetar se također može definirati i kao kretanje velike mase zraka koje može biti paralelno ili horizontalno. Uzrokovan je zbog različitog tlaka zraka na različitim mjestima, puhanja s mjesta s višim tlakom na mjesta s nižim tlakom. Ta razlika tlakova javlja se kao posljedica razlike temperatura te se zbog toga energiju vjetra smatra transformiranom Sunčevom energijom. Prilikom nejednakog zagrijavanja Zemljine površine, dolazi i do zagrijavanja različitih masa. Pri tome se topli zrak uzdiže nekoliko desetaka kilometara u ekvatorijalnom pojasu nakon čega se

kreće prema polovima i rotira pod utjecajem Zemljine rotacije, odnosno Coriolisove sile. Pri tome, hladni zrak popunjava praznine koje su nastale te tako uzrokuje stalne vjetrove. Osim samih tlakova, na vjetar utječe i rotacija Zemlje te konfiguracija tla. Lokalni vjetrovi nastaju zbog globalne raspodjele tlaka i putujućih cirkulacijskih sustava te su kao takvi podložni topografskim i geografskim obilježjima, u koje se ubrajaju drveće, zgrade, jezera, more, planine i kotline. Sama brzina vjetra povećava se s visinom iznad tla, pri čemu se omjer brzina računa kao peti korijen omjera visina iznad tla [4].

Danas se energija vjetra, uz pomoć vjetroturbina, koristi za proizvodnju električne energije. Energija vjetra je kinetička energija, pri čemu je masa proteklog zraka jednaka umnošku volumena i gustoće. Za izračunavanje energije vjetra može se koristiti sljedeća formula:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}\rho Vv^2 = \frac{1}{2}\rho Av^3 \quad (1)$$

pri čemu  $\rho$  označava gustoću zraka,  $A$  površinu rotora turbine, te  $v$  brzinu vjetra. Budući da je gustoća zraka približno  $1,25 \text{ kg/m}^3$ , energija vjetra iznosi  $E = 0,625 Av^3$ . Budući da zrak mora strujati iza turbine kako bi napravio prostor za zrak koji nadolazi, samo 31% energije vjetra pretvara se u električnu energiju. Za proračun energije nerijetko se, umjesto površine, uvrštava se promjer turbine. Energija tada iznosi:

$$E = 0,193 \times D^2 \times \frac{\pi}{4} v^3 = 0,152 \times D^2 \times v^3 \quad (2)$$

Pri tome graf odnosa između proizvodnje energije i brzine vjetra nije isti kao graf kubične funkcije, te postoje četiri odstupanja. Također jedan od problema korištenja energije vjetra su i varijabilnosti brzine vjetra ovisno o prostoru i vremenu. Variranje brzine tijekom vremena predstavlja problem jer se električna energija treba potrošiti u istom trenutku kada je proizvedena, s obzirom da se javlja nemogućnost značajnijeg skladištenja. Druga prepreka je varijabilnost u prostoru pri planiranju izgradnje vjetroelektrana. Kako bi se utvrdile sezonske varijacije, potrebno je vrijeme mjerenja od minimalno godinu dana, što u praksi nije slučaj. Također, javljaju se i varijacije u klimi te podaci dobiveni kratkotrajnim mjerenjem uglavnom ne odgovaraju stvarnoj konfiguraciji tla.

Unatoč ovim izazovima, energija vjetra posebno je ekološki prihvatljiv izvor energije jer proizvodi više energije nego što je potrebno za izgradnju konvencionalnih elektrana te ne ispušta štetne emisije u okoliš. Međutim, sa sobom donosi ekološke štete u vidu ozljeda ptica, buku, zauzimanje prostora jednako kao i promjenu izgleda krajolika

## 2.2. Biomasa

Biomasu možemo definirati kao „gorivo koje se dobiva od biljaka ili dijelova biljaka kao što su drvo, slama, stabljike žitarica, ljuštore i slično“. Ubraja se u obnovljive izvore energije, a općenito se može podijeliti na [3]: drvnu (otpadno drvo, ostaci iz šumarstva, uzgojena biomasa), nedrvnu (brzorastuće alge i trave, ostaci i otpaci iz poljoprivrede) te životinjski otpad.

Najčešće se koristi drvena masa koja nastaje kao sporedni proizvod ili otpad, npr. od drveta prerađivačke industrije, poljoprivrede, održavanja šuma itd. Općenito, biomasom se smatraju sve biorazgradive tvari, bilo biljnog ili životinjskog porijekla, koje su dobivene od otpada i ostataka poljoprivredne ili šumarske proizvodnje [4]. Dolazi u čvrstom, tekućem (biodizel i bioetanol) i plinovitom stanju (bioplina, deponijski plin, plin iz rasplinjavanja biomase). Postoji nekoliko vrsta biomase: [5]:

1. Šumska biomasa – predstavlja ogrjevno drvo te ostatke i otpatke iz šumarske proizvodnje, koji su nastali redovnim gospodarenjem šuma. Ujedno je i najkorištenija vrsta biomase, a ekološki je prihvatljiva samo ukoliko je održiva, odnosno, ukoliko su posječene površine drva manje od prirasta.
2. Biomasa iz drvne industrije – predstavlja ostatke i otpad nastao pri paljenju ili bušenju drva. Često je opterećenje za samu drvnu industriju, a sama po sebi je jeftinija i kvalitetnija od šumske biomase. Piljevina se koristi kao gorivo u kotlovnica, ili se prerađuje u brikete i pelete.
3. Poljoprivredna biomasa – predstavlja ostatke poput slame, kukuruzovine, stabljika, ljusaka ili koštica. Sama po sebi je heterogenog sastava te je stoga niske ogrjevne moći s visokim udjelom vlage i različitim primjesama.
4. Energetski nasadi – daju velike prinose, a predstavljaju biljke koje su uzgojene s ciljem proizvodnje energije, a to su biljke bogate uljem ili šećerom (npr. uljana repica) te drveće s velikim udjelom tvari koje brzo raste (npr. topola ili jablan).
5. Biomasa s životinjskih farmi – uključuju životinjski izmet i spaljivanje lešina.
6. Bio etanol i biodizel – koriste se za pogon vozila u svom izvornom obliku ili pomiješani s benzinom ili dizelom iz nafte. Pri tome, bioetanol nastaje fermentacijom šećera (koji se dobiva iz šećerne trske ili hidrolizom škroba iz kukuruza) u alkohol, dok biodizel nastaje esterifikacijom biljnih ulja s alkoholom (npr. uljana repica, suncokret, soja, otpadno jestivo ulje).
7. Komunalni otpad – predstavlja organski dio kućnog otpada, biomasu iz parkova i vrtova te mulj iz otpadnih voda. Zahtjeva veće investicijske troškove, ali se proizvodnjom energije ujedno rješava i problem zbrinjavanja otpada.

Slično fosilnim gorivima, biomasa se koristi za proizvodnju električne energije u termoelektranama na način da svoju kemijsku energiju pretvara u toplinu vodene pare ili plina, koja se zatim pomoću turbine pretvara u mehaničku energiju, a na kraju u električnu energiju pomoću generatora. Pri tome se mogu razlikovati niskonaponske (0,4 kV), srednjenaponske (10, 20 i 35 kV) i visokonaponske (110, 220 i 400 kV) elektrane na biomasu [5].

Za razliku od fosilnih goriva, biomasa se ne može u potpunosti potrošiti. Prvenstveno se dobiva iz biljaka te kao takva pomaže u borbi protiv klimatskih promjena smanjivanjem ukupne emisije stakleničkih plinova u okoliš. Biomasa se može proizvoditi praktički bilo gdje u svijetu, za razliku od drugih izvora energije. S obzirom da je količina ugljičnog dioksida emitirana tijekom izgaranja otprilike jednaka količini ugljičnog dioksida koja nastaje prilikom rasta biljaka u prirodi, smatra se neutralnim izvorom energije, bez obzira na ispuštanje ugljičnog dioksida.

Korištenje biomase uzrokuje mnogo manje štete za okoliš od tradicionalnih fosilnih goriva. Ipak, usprkos svim dobrobitima, nekontrolirano korištenje biomase moglo bi imati više štete nego koristi jer su fosilna goriva inertan prirodni resurs te njihovo korištenje ne ostavlja biološku prazninu, kao što to čini, na primjer, krčenje drveća. Zbog toga je ključno da se biomasa koristi mudro, isključivo i održivo [6].

### **2.3. Energija plime i oseke**

Morske mijene plime i oseke nastaju uslijed istodobnog djelovanja gravitacijskih sila Sunca i Mjeseca, zajedno s centrifugalnom silom koja je posljedica vrtnje Zemlje i Mjeseca. Kao rezultat djelovanja sila, na površini Zemlje dolazi do izobličenja vodenih ploha u obliku elipsoida, a očituje se u dva oblika: kao plima (podizanje razine vodenih ploha) i kao oseka (spuštanje razine vodenih ploha). U jednom danu plima i oseka se izmjene dva puta, a za iskorištavanje izobličenja u energetske svrhe potrebna je visinska razlika od minimalno pet metara. Ta razlika na otvorenom moru iznosi jedan metar, dok na obalama može biti i do 20 metara. Kada je riječ o Republici Hrvatskoj, razlika razine plime i oseke na sjevernom Jadranu iznosi oko 60 cm. Procijenjena ukupna energija morskih mijena iznosi između 2 i  $3 \times 10^6$  MW, dok je realna iskoristiva količina od oko 23.000 MW (oko 1%) [7].

Iskorištavanje energije plime i oseke slično je principu hidroelektrane: branom se zatvara određeni morski zaljev, a turbine ugrađene u branu pretvaraju energiju vodene mase u električnu energiju obostrano – i za vrijeme plime kada voda ulazi u zatvoreni zaljev, i za vrijeme oseke kada voda napušta zatvoreni zaljev. Također postoje i jednosmjerne turbine koje propuštaju vodu samo u jednom smjeru. Međutim, ovo iskorištavanje energije sa sobom donosi nepouzdanost, jer

je prije svega potrebno čekati da se razina vode dovoljno podigne, a ujedno postoji samo mali broj mjesta koji su pogodni za iskorištavanje takvog oblika energije.

Kao alternativni način za dobivanje energije iz plime i oseke nastaju pojedine lokacije elektrana u morskim tjesnacima, gdje se zbog kanaliziranja plimnog vala povećava njegova energija te se za pogon generatora koriste podvodne turbine, slične kao kod vjetroelektrana. Na isti način nastoji se iskoristiti i energija morskih struja, no taj je izvor energije još uvijek u istraživanjima [8].

## **2.4. Energija valova**

Energija valova nastaje kao posljedica nejednakog zagrijavanja vode, odnosno, morske struje i zraka. Smatra se nestalnim izvorom energije jer su valovi mnogo veći u zimskim mjesecima, a svoju energiju dobivaju iz vjetra koji puše po površini mora i nastaje iz solarne energije. Kao takvi, mogu prenositi uhvaćenu energiju tisućama milja bez gubitka. Sam val nastaje kretanjem površinskog sloja mora ili oceana u vertikalnom smjeru te je obilježen visinom, dužinom i brzinom kretanja.

Valovi su poprilično predvidiva pojava te se tako njihovo kretanje, jednako kao i njihova snaga, mogu procijeniti i do pet dana unaprijed. Još jedna prednost proizlazi iz toga što ne zahtjeva izgradnju brane te je praktički nevidljivo, odnosno, blagotvorno za okoliš. Nedostatak je nepostojanje mogućnosti jednakog iskorištavanja energije na razini cijeloga svijeta, s obzirom da sam potencijal nije svuda jednak. Također, energija vala naglo pada s dubinom vala, te ona na dubini od 50m iznosi samo 2% od energije neposredno ispod površine.

## **2.5. Geotermalna energija**

Geotermalna energija je toplinska energija koja potječe izravno sa Zemlje ili iz nje, a iskorištava se na dva osnovna načina: izravno ili neizravno. Izravno korištenje predstavlja korištenje vruće vode koja izbija iz podzemlja, a koristi se u toplicama, kao ogrjev za kućanstva ili staklenike, za postupke u industriji itd. Neizravno korištenje geotermalne energije znači njeno korištenje u svrhu dobivanja električne struje. Temperatura u središtu zemlje iznosi oko 6.000°C te se približavanju površini ta temperatura kontinuirano smanjuje. Dodatni izvor energije su i nuklearne reakcije fisije, koje se odvijaju u Zemljinoj jezgri.

Toplina se od središta zemlje može prenijeti na dva načina: kondukcijom, odnosno vođenjem bez prijenosa tvari, te konvekcijom, uz prijenos materije, kroz tektonska gibanja. Prijenos topline je sam po sebi poprilično spor proces: toplini iz 100km dubine potrebno je oko 100 milijuna



godina da dođe do površine Zemlje. Procjenjuje se da 60% geotermalne energije potječe od izvorne topline iz doba nastanka Zemlje, a 40% od nuklearnih reakcija [4].

Sama geotermalna energija može se koristiti za proizvodnju električne energije, a to je ujedno i jedini način da se koristi tamo gdje se energija može koristiti daleko od samih izvora. Pri tome, postoje tri vrste geotermalnih elektrana:

1. Elektrane na suhu paru – koriste se u izvorima koji većinski sadrže vodenu paru, koja zatim izravno pokreće turbinu, nakon čega se kondenzira i vraća u oblik vode nazad pod zemlju
2. Elektrane s isparavanjem – rade injektiranjem tople vode pod pritiskom u spremnik koji se održava na niskom tlaku. Kao rezultat pada tlaka, dio vode brzo isparava, stvarajući paru koja pokreće turbinu. Para se zatim kondenzira, dio nje ulazi u okolinu
3. Elektrane s binarnim ciklusom – osim vode, koriste i druge fluide niže temperature od samog vrelišta. Topla voda i fluid zajedno odlaze u izmjenjivač topline bez fizičkog miješanja nakon čega fluid na sebe prima temperaturu vode te isparava, a para zatim pokreće turbinu. Reakcija se odvija u zatvorenom ciklusu te ne dolazi do emisija u okoliš

Prednost ovog izvora je njegova cijena, stabilnost izvora, nepostojanje potrebe za dodatnim gorivom te nepostojanje štetnih emisija. Unatoč tome, postoji vrlo mali broj mjesta na Zemlji gdje prirodno izvore vrela voda a koja se nalazi na manjoj dubini. Takva mjesta, odnosno, geotermalne zone, vezane su uz vulkanizam ili granice litosfernih ploča, koje su ujedno i potresna područja na kojima sama gradnja donosi veće troškove. Također, bušenja i ispitivanja su vrlo skupa, a kvaliteta izvora neizvjesna. Stoga ulaganje u geotermalnu energiju je visokorizično. Sama vrela često su udaljena od naseljenih područja te tako sa sobom donose i troškove prijevoza energije, a nerijetko su zaštićena prirodna područja te gradnja nije dozvoljena.

## **2.6.Sunčeva energija**

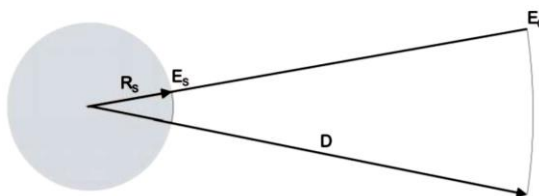
Sunčeva energija je zračenje topline i svjetlosti od Sunca, a koristi se u mnoge svrhe kao što su sunčeva energija za proizvodnju električne energije, sunčeva toplinska energija (uključujući solarno grijanje vode) i sunčeva arhitektura. Električna energija proizvodi se uz pomoć fotonaponskih sunčevih kolektora koji su sastavljeni od silikonskih ćelija. Kao takvi, pri kontaktu sa sunčevom svjetlosti, stvaraju kretanje elektrona što dovodi do stvaranja električnog toka. Taj proces poznat je pod nazivom fotonaponski efekt.

Sunce i sunčeva energija značajni su izvori obnovljive energije, a ovisno o tome kako prikupljaju, distribuiraju ili pretvaraju sunčevu energiju u sunčevu energiju, njihove metode se obično klasificiraju kao pasivna ili aktivna sunčeva energija. Ovisno o tome koliko je Zemlja udaljena od Sunca, količina sunčevog zračenja koja dopire do planeta kreće se 1307-1399 W/m<sup>2</sup> na površini koja je okomita na smjer zračenja. S obzirom da se Zemlja eliptično giba oko Sunca, mijenja se i njihova međusobna udaljenost. Zbog toga se računa srednja vrijednost Sunčevog zračenja na okomitoj površini poznata je kao solarna konstanta te iznosi  $E_{0sr}=1367 \text{ W/m}^2$  [4].

Sunčeva energija koristi se i za pasivno solarno grijanje, aktivno solarno grijanje, solarne toplinske elektrane te fotonaponske ćelije. Prva tri slučaja pretvaraju energiju Sunca u toplinsku energiju, dok ih fotonaponske ćelije pretvaraju u električnu. Prolaskom Sunčeve energija kroz zrakoprazan prostor, spektralna karakteristika zračenja ostaje nepromjenjiva. Međutim, gustoća snage zračenja smanjuje se paralelno s kvadratom udaljenosti od izvora zračenja, a iskazuje se slijedećom formulom:

$$E_0 = E_s \left( \frac{R_s}{D} \right)^2 \quad (3)$$

pri čemu je  $E_s$  gustoća snage na površini Sunca (određena Boltzmannovim zakonom za zračenje crnog tijela te iznosi  $6,3 \cdot 10^6 \text{ W/m}^2$ ),  $R_s$  označava polumjer Sunca ( $6,96 \cdot 10^8 \text{ m}$ ), a  $D$  udaljenost mjesta na kojem se računa gustoća zračenja od Sunca. Shematski prikaz gustoće snage zračenja prikazana je na slici 1.



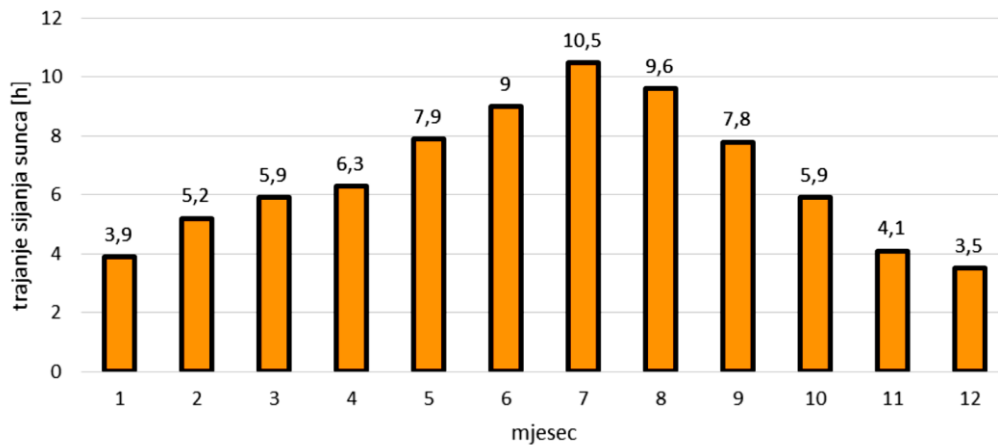
Slika 1. Gustoća zračenja na udaljenosti  $D$  od izvora [9]

### 2.6.1. Sunčevo zračenje na području grada Knina

Knin je jedan od najstarijih gradova u Hrvatskoj, čija ukupna površina iznosi 355 km<sup>2</sup>. Nalazi se u sjevernoj Dalmaciji na nadmorskoj visini od 214 metara. Leži na sedam rijeka (Krka, Butišnica, Orašnica, Kosovčica, Krčić, Radljevac i Marčinkovac), a okružen je s devet planina (Orlovicom, Ilicom, Plješevicom, Bukovcem, Badnjom, Dinarom, Kozjakom, Svilajom i Prominom). Srednja godišnja maksimalna temperatura u Kninu je u kolovozu te iznosi 26,5°C,

dok je srednja minimalna u siječnju, a iznosi 6°C. Zbog udaljenosti 42 km od mora, ovim područjem prevladava submediteranska klima.

Na slici 2 prikazana je godišnja razdioba srednjeg dnevnog trajanja sisanja Sunca u gradu Kninu, u vremenskom rasponu od 1971. do 2000. godine. Podaci su preuzeti iz Klimatskog atlasa Hrvatske, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb 2008.:



Slika 2. Godišnja razdioba srednjeg dnevnog trajanja sisanja Sunca, od 1971. do 2000. [10]

### **3. Sunčevi kolektori**

Sunčev kolektor je uređaj koji prikuplja i/ili koncentrira sunčevo zračenje. Prvenstveno se koristi za aktivno solarno grijanje i omogućuje zagrijavanje vode do temperature koja zadovoljava osobne potrebe. Korištenje sunčevih kolektora predstavlja alternativu tradicionalnom grijanju vode za kućanstvo pomoću grijača vode, potencijalno smanjujući troškove energije tijekom vremena. Kao i u kućnim uvjetima, veliki broj ovih kolektora može se kombinirati u niz i koristiti za proizvodnju električne energije u solarnim termoelektranama.

Postoji nekoliko vrsta sunčevih kolektora, a mogu se svrstati u dvije skupine: nekoncentrirani sunčevi sustavi i koncentrirani sunčevi sustavi.

#### **3.1. Nekoncentrirani sunčevi sustavi**

Nekoncentrirani sunčevi sustavi pojavljuju se u obliku pločastih sunčanih kolektora koji se obično koristi za grijanje zraka ili vode. Sastoje se od tekućine za prijenos topline, spremnika topline i kućišta te sadrže apsorpcijsku ploču na površini koja se koristi za prikupljanje topline sunčevog zračenja. Postoji nekoliko različitih vrsta, koji su nabrojani u nastavku rada.

##### **3.1.1. Sunčevi kolektori bez ostakljenja**

Primjer ovog kolektora je spremnik tople vode tamne boje, okrenut prema sunčevim zrakama koje padaju na njega te tako griju vodu u njemu. Smatra se najjednostavnijim tipom kolektora, a sam po sebi je bez ostakljenja i nema izoliranu kolektorsku kutiju, pa to znači da se sastoji samo od apsorbera topline. Najčešće je crne boje jer je ona sama po sebi dobar sakupljač sunčeve svjetlosti i topline. Međutim, nedostaci ovog sustava su veliki gubitci topline preko noći i u nedostatku sunca, te mogućnost zamrzavanja preko zime.

##### **3.1.2. Pločasti sunčev kolektor**

Primjer ovog kolektora je tanka metalna kutija koja je obložena staklom ili plastikom na vrhu, s tamnom apsorpcijskom pločicom na dnu kolektora. Kako bi se smanjio gubitak topline, dno, stranice i vrh kolektora dobro su izolirani. Često se postavljaju na krov kuće i koriste se za zagrijavanje vode pomoću sunčeve energije; na način da sunčeve zrake putuju kroz staklo te padaju na apsorpcijsku pločicu koja se zagrijava. Pločica je obojana pomno odabranim

premazima od aluminija ili bakra koji bolje zadržavaju toplinu od tradicionalne crne boje. Nakon toga, cijevi pričvršćene na apsorpcijsku ploču predaju toplinu tekućini.

### **3.1.3. Vakumski sunčev kolektor**

Za razliku od pločastih sunčanih kolektora, vakuumski kolektori eliminiraju sve gubitke topline zahvaljujući izolaciji apsorbera pomoću staklenih cilindara u kojima se nalazi vakuum. Još jedna razlika je u tome što vakuumski sunčevi kolektori mogu raditi i na temperaturama većima od 100°C, što kod sunčevih nije slučaj.

Radi na princip sličan pločastim kolektorima: sunčeva svjetlost ulazi kroz staklenu zaštitu te ju apsorbira apsorpcijska pločica, koja zatim prenosi toplinu na tekućinu unutar cijevi. Ta tekućina obično je antifriz i može se kretati u jednom od tri smjera: od vrha do dna cijevi, kroz koncentričnu cijev ili cijev u obliku slova U, ili pak uz pomoć bakrene toplinske cijevi.

## **3.2. Koncentrirani sunčevi sustavi**

Koncentrirani sunčevi kolektori su vrsta sunčevih kolektora koji se koriste za intenzivno koncentriranje sunčeve svjetlosti na malu površinu kako bi se generirala visoka temperatura i stvorila toplinska energija. Ovi kolektori koriste različite optičke uređaje poput leća i ogledala kako bi fokusirali sunčevu svjetlost na jedno mjesto. Postoji nekoliko različitih vrsta, koji su nabrojani u nastavku rada.

### **3.2.1. Parabolični kolektori**

Parabolični kolektor (PTC) je konstruiran kao parabolično zrcalo, uglavnom presvučeno srebrom ili poliranim aluminijem. U žarištu se koristi Dewarova cijev ili vakuumsko staklo kako bi se spriječio gubitak topline, procesima kondukcije i konvekcije. Parabolično zrcalo reflektira sunčevu svjetlost, koja se zatim fokusira na žarišnu točku i zagrijava do temperatura do 400°C unutar staklene cijevi zajedno s radnim medijem.

Sam parabolični kolektor sastoji se od uzdužnog paraboličnog reflektora koji koncentrira izravni dio Sunčevog zračenja na žarišnu liniju, u kojem se nalazi valjkasti apsorber načinjen od metalne cijevi. On je smješten u staklenom valjku, a između njih se nalazi vakuumski međuprostor kako bi se smanjili toplinski gubici. Stakleni valjak sprječava podizanje prašine u apsorber, a kroz spomenutu metalnu cijev struji radni fluid. Površina apsorbera ima selektivni premaz koji filtrira infracrveno zračenje i propušta svjetlost. Ovi kolektori namijenjeni su za

proizvodnju električne energije, ali koriste se i za pripremu tople vode, hlađenje i grijanje objekata, desalinizaciju te određene industrijske postupke.

### **3.2.2. Fresnelovi kolektori**

Fresnelov kolektor (CLFR) sastoji se od dugog niza ravnih ili minimalno zakrivljenih zrcala koji prate položaj Sunca te reflektiraju sunčeve zrake izravno na fiksni linijski kolektor koji se nalazi na visini oko 8m od tla. Razvijaju se kao dijelovi hibridnog sustava za dobivanje električne energije, pri tome umanjujući utrošak fosilnih goriva. Maksimalni učinak postižu pokretnim rotirajućim zrcalima koja ne bacaju sjenu na okolna zrcala.

Veliki broj zrcala pod različitim kutovima omogućuju da se paralelni snop sunčeve svjetlosti fokusira direktno u žarište u kojemu se nalazi apsorber. On sadrži Dewarove cijevi ili vakumirano staklo koji sprječavaju toplinske gubitke kondukcijom i konvekcijom. Radno sredstvo (obično sintetičko ulje) unutar vakumirane staklene cijevi se grije i do 300°C [13].

### **3.2.3. Sunčevi tornjevi**

Sonarni tornjevi u osnovi se temelje na velikom polju zrcala smještenih na tlu, koji fokusiraju sunčevu svjetlost na apsorber ili kolektor koji se nalazi na visoko postavljenom centralnom tornju. U njemu se svjetlost apsorbira te se pretvara u toplinu koja omogućuje termodinamički ciklus koji je najčešće pretvorba vode u vodenu paru i obrnuto, kako bi se generirala električna energija. Zrcala koja su raspoređena na prostoru oko tornja nalaze se na mehaniziranim nosačima koji se još nazivaju i heliostati. Sunčeva energija direktno zagrijava tekućinu za prijenos topline koja se nadalje koristi za zagrijavanje vode uz pomoć izmjenjivača topline. Time se dobiva vruća para za pokretanje turbine koja pokreće generator za proizvodnju električne energije koja se distribuira u električne mreže. Za pohranu i korištenje toplinske energije preko noći i prilikom nepovoljnih vremenskih uvjeta, koriste se termalni spremnici.

Velikim brojem zrcala upravlja se pomoću računala koji svakodnevno prate promjenu položaja sunca te anuliraju promjene kutova sunčeve svjetlosti koji se događaju tijekom godišnjih doba. U nosače su ugrađeni motori koji rotiraju zrcala oko dvije osi. Što je solarno polje veće, paralelno su veći i optički gubitci jer su zrcala previše udaljena od prijarnika. Ovisno o njegovom dizajnu i fluidu koji se koristi za prijenos topline, radna temperatura doseže između 250 i 1.000°C. Kao fluid za prijenos topline, najčešće se koriste sintetička ulja ili tekuća sol.

### 3.2.4. Sunčevi tanjuri

Kompletan sustav sunčevih tanjura sastoji se od parabolično oblikovanog koncentrata čiji je zadatak reflektirati svjetlost u žarište samog prijelnika (koji može biti Stirlingov motor ili mikro-turbina) ili kolektora. Danas postoje dvije izvedbe Stirlingovog motora: kinematički, koji kao fluid koristi vodik, i motor sa slobodnim klipom, koji radi s helijem te kod njega ne dolazi do pojave trenja.

Promjer jednog tanjura iznosi oko 10 metara, a koristi se za pretvorbu termalne energije u električnu. Sam generator smješten je unutar prijelnika, što uvelike smanjuje gubitke topline te je to ujedno i najveća prednost sunčevih tanjura. Također, dizajn im je modularan te su kao takvi primjereni za distribuiranu proizvodnju električne struje. Postižu najveću efikasnost i proizvode najjeftiniju električnu energiju u usporedbi s ostalim koncentriranim sustavima.

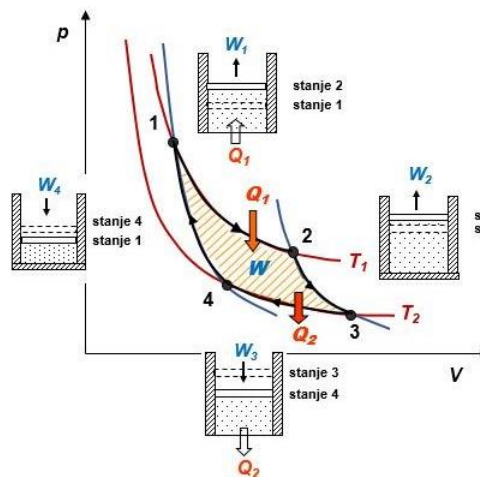
Međutim, budući da nemaju spremnik topline, ona se mora odmah koristiti za proizvodnju električne energije.

## 4. Dizalice topline

Dizalice topline nazivaju se još i toplinskim pumpama ili toplinskim crpkama. To su toplinski uređaji koji prenose toplinu s niže temperaturne razine na višu, s ciljem korisne primjene toplinske energije. Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama („Narodne novine“ broj 128/15, 70/18, 73/18, 86/18, 102/20) navodi u čl. 4., st.1., točka 5. da su dizalice topline „uređaji koji prenose toplinu iz toplinskog spremnika niže temperaturne razine prema toplinskom spremniku više temperaturne razine“.

Princip rada dizalice topline zasniva se na lijevokretnom Carnotovom kružnom procesu koji se sastoji od četiri povratna procesa vidljivih na slici 6 [14]:

- 1→2 izotermna ekspanzija – plin u cilindru proizvodi rad jednak dobivenoj toplini kada mu se toplina  $Q_1$  dovede iz toplijeg spremnika pri konstantnoj temperaturi  $T_1$ . Kao rezultat, klip se podiže, povećava se kapacitet plina.
- 2→3 adijabatska ekspanzija – budući da je plin toplinski izoliran, ne dolazi do izmjene topline s okolinom. Kao rezultat rada plina uz manju unutarnju energiju, njegova temperatura opada na vrijednost  $T_2$ . Klip se podiže, volumen povećava.
- 3→4 izotermna kompresija – toplina  $Q_2$  se prenosi iz toplijeg u hladniji spremnik pri konstantnoj temperaturi  $T_2$ . Nema promjene unutarnje energije plina, ali se na njemu vrši rad koji je jednak emitiranoj toplini  $Q_2$ . Klip se spušta, a volumen plina smanjuje.
- 4→1 adijabatska kompresija – rad na plinu rezultira povećanjem unutarnje energije budući da nema izmjene topline s okolinom. Temperatura plina povećava se na vrijednost  $T_1$  te se vraća na početne vrijednosti tlaka i volumena.



Slika 6. Prikaz teoretskog lijevokretnog Carnotovog procesa u p-v i T-s dijagramima



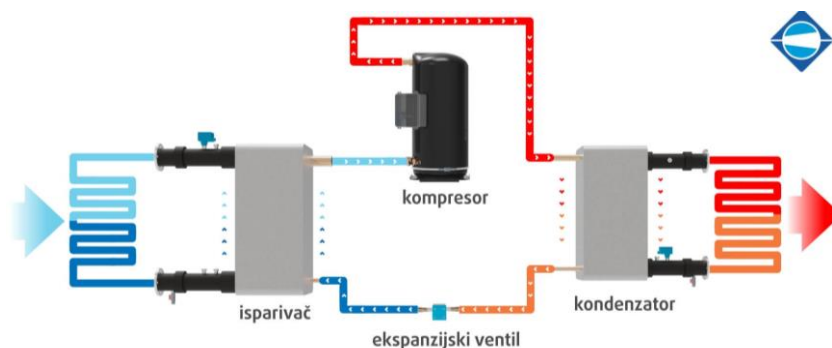
Lijevo-kretni Carnotov kružni proces toplinu u stroju pretvara u rad pri čemu koristi rashladni medij, koji je najčešće jedan od plinova freona. Način rada dizalice topline sličan je radu kućnog hladnjaka, s tim da dizalica topline radi obrnuto, oduzimajući toplinu iz okoline i prenoseći je na hranu. Najjednostavniji i najpoznatiji oblici dizalice topline su različiti inverter klima uređaji koji griju i hlade.

U takvom procesu, radnom mediju je potrebno dovesti mehanički rad izvana, kako bi se omogućilo da mu se pri nižoj temperaturi iz neposredne okoline (toplinskog spremnika na nižoj temperaturnoj razini) dovede toplina te potom pri višoj temperaturi predaje toplinu neposrednoj okolini (toplinskom spremniku na višoj temperaturnoj razini). Hladnjaci i klima uređaji zajednički su primjer ove tehnologije, te se tako razlikuju:

1. Kompresijske dizalice topline – gdje mehanički napor pumpi ili kompresora, koji rezultira protokom radne tvari, služi kao kompenzacijska energija.
2. Difuzijsko-apsorpcijske dizalice topline – oni koji koriste toplinu kao kompenzacijsku energiju potrebnu za protok radne tvari.

Rad dizalice topline može se ukratko opisati na slijedeći način: rashladni medij, koji je ujedno i prenosilac topline, cirkulira sustavom dizalice topline čije su glavne komponente isparivač, kompresor, kondenzator i termo ekspanzijski ventil. U tom procesu prolazi kroz dvije izotermne i dvije adijabatske promjene, pri čemu se izotermna promjena odnosi se na proces razmjene topline, odnosno, promjene sistema gdje temperatura ostaje konstantna.

Suprotno tome, adijabatska promjena označava proces u kojemu je izostao prijenos topline između sistema i njegove okoline. Izotermne promjene odvijaju se u isparivaču i kondenzatoru, dok se adijabatske promjene odvijaju u kompresoru i termo ekspanzijskom ventilu [15]. Shematski prikaz funkcioniranja cijelog sustava prikazan je na slici 7 [16]:



Slika 7. Shematski prikaz dizalice topline

Lijevokretni proces koji se odvija u dizalicama topline je zapravo koeficijent grijanja, a predstavlja odnos topline grijanja i kompenzacijskog rada koji se prikazuje formulom:

$$\varepsilon_g = \frac{Q_g}{W_k} \quad (5)$$

Termodinamička učinkovitost dizalice topline izravno je povezana s načinom na kojim toplinski izvor odgovara zahtjevima koji se pred njega postavljaju. Kako bi se osigurala učinkovitost rada dizalice, potrebno je ispuniti nekoliko osnovnih zahtjeva:

1. Optimalna količina topline pri što višoj temperaturi dostupna u svako doba
2. Što manji troškovi priključenja dizalice topline na toplinski izvor
3. Što manja energija za transport topline izvora do samog isparivača dizalice topline

Danas postoji nekoliko vrsta i varijanti dizalica topline za grijanje i hlađenje, a osnovna podjela je na zračne i geotermalne dizalice topline. Pri tome, zračne dizalice topline koriste vanjski zrak kao izvor energije te su u kućanstvima najčešće i najpristupačnije te je mogućnost uštede troškova grijanja više od 60%. Bez prepreka mogu raditi istim intenzitetom na vanjskim temperaturama do  $-15^{\circ}\text{C}$ , dok donja granica funkcioniranja jednog takvog uređaja seže i do minus  $28^{\circ}\text{C}$ . Koeficijent performansi zračne dizalice topline iznosi oko 4 do 4.8 [15].

Geotermalne dizalice topline, s druge strane, smatraju se tehnologijama koje se oslanjaju na temperaturu podzemne vode kao glavni izvor energije. Budući da je stabilna tijekom cijele godine i varira između  $+8$  i  $+12^{\circ}\text{C}$  na određenim dubinama, to je ujedno i najsigurniji izvor energije za dizalicu topline. U ovim sustavima dizalice topline mogu se nadalje podijeliti na sustave s podzemnim kolektorom (gdje se postavljaju u obliku zavojnica na dubinama većim od 1,5 metara ispod točke smrzavanja tla) i sustave s dubinskom sondom (gdje su postavljene u obliku U-cijevi na dubinama od 80–200 metara).

#### **4.1. Dizalica topline tlo – voda**

Tlo samo po sebi predstavlja veliki izvor toplinske energije te ga se stoga ugradnjom prekretnog ventila može koristiti i za grijanje i za hlađenje prostora, s tim da se hlađenje također može ostvariti i korištenjem izmjenjivača u samom tlu. Temperatura zemlje je konstantna pri dva metra dubine te se kreće u rasponu od 7 do  $13^{\circ}\text{C}$ . Time osigurava nesmetan i konstantan rad dizalice topline u projektnoj točki bez dnevnih i sezonskih varijacija. Ovakva vrsta dizalice topline izvodi se u tri verzije te tako postoje tri izvedbe [17]:

1. Horizontalna izvedba izmjenjivača – s razmakom cijevi između pola i jednog metra, izmjenjivač je ukopan vodoravno na dubini između 1,2 i 1,5 metara. Sekcije izmjenjivača, koje su u pravilu dugačke do 100 m i koje se sastoje od polietilenskih cijevi promjera 25 ili 32 milimetra, spojene su paralelno i jednake su duljine radi lakšeg balansiranja. U pravilu je površina potrebna za izmjenjivač dvostruko veća od površine grijanog prostora, a na sam rad izmjenjivača topline utječu karakteristike tla, jednako kao i temperatura. Uobičajeni toplinski tok kreće se u granicama između 15 i 35W/m<sup>2</sup>
2. Vertikalna izvedba izmjenjivača – zahtijeva veće investicijske troškove zbog bušenja tla radi postavljanja izmjenjivača koji se ulaže u zemlju na dubine od 60 do 200 metara te ne zahtijeva velika tlocrtnu površinu za ukop. Učinak izmjenjivača također ovisi o temperaturi tla i njegovim svojstvima, čija se temperatura na spomenutim dubinama iznosi 12-15°C. Izmjenjivač je konstruiran kao koaksijalna cijev ili dvostruka *U*-cijev, pri čemu zagrijani medij teče kroz vanjsku cijev, dok hladni medij putuje kroz unutarnju cijev. Obično je vanjska cijev izrađena od metala, a unutarnja od polietilena. Nakon ugradnje cijevi i cementiranja bunara, potrebno je obratiti pozornost i na pogodnu vodljivost ispune. Srednji učinak izmjenjivača s dvostrukom *U*-cijevi iznosi 50W/m.
3. Spiralna izvedba izmjenjivača – mogu se izvoditi kao horizontalne ili vertikalne spirale no rijetko se koriste.

## 4.2. Dizalica topline voda – voda

Dizalice topline voda-voda iznimno su privlačan, jeftin i pristupačan izvor topline kada je u pitanju voda u obliku potoka, rijeka, jezera i mora. Međutim, ove dizalice topline nisu prikladne za korištenje zimi jer uglavnom rade na temperaturama iznad +4°C. Optimalan koeficijent prijelaza topline na strani vode omogućuje korištenje isparivača uz razliku temperatura izvora i radne tvari od 4 do 6°C.

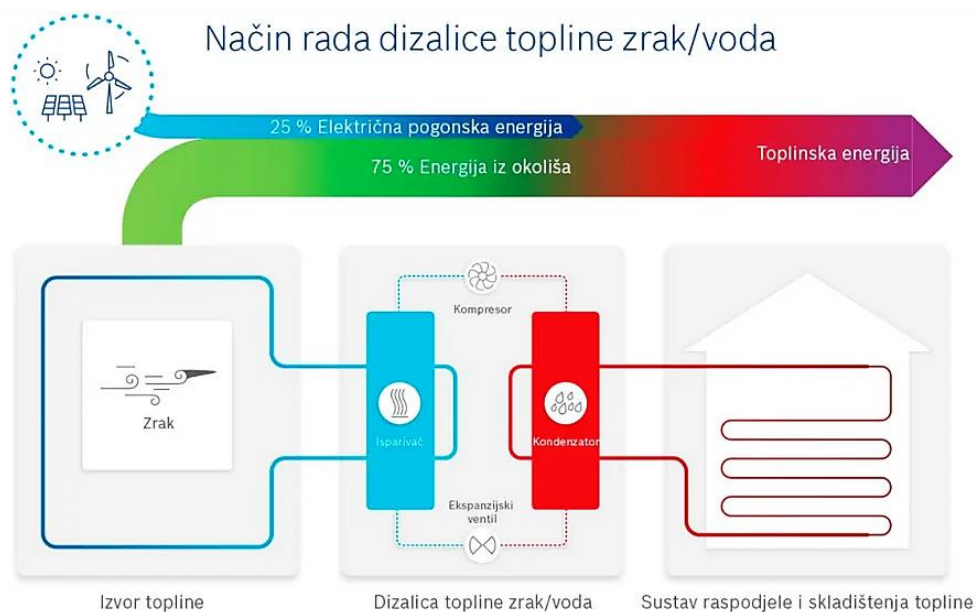
Temperatura izvora ovisi o mjestu i veličini izvora te su stoga jezera poželjnija od rijeka jer imaju reperkusije u stalnoj temperaturi koja ne pada ispod 5°C na dubinama većim od 20-30 metara. Ograničenje ovog izvora je u njegovoj raspoloživosti, budući da se pomoću njega se može opskrbiti samo manji broj potrošača koji su smješteni u neposrednoj blizini izvora. Zbog značajnih operativnih troškova crpljenja i vraćanja vode u jezera ili rijeke, kako bi se obuhvatilo i šire potrošače, dovodi se nažalost u pitanje isplativost same investicije [17].

Ovu vrstu dizalica moguće je promatrati i iz aspekta podzemnih voda čija se temperatura neznatno mijenja tijekom cijele godine, a iznosi između 8 i 12°C. Ovaj tip dizalice topline zahtijeva dva odvojena bunara: crpni i ponorni. Kako bi se to postiglo, bunari trebaju biti raspoređeni što je dalje moguće, s razmakom najmanje 10 metara. Najvažniji dio dizalice topline je crpni bunar koji uvijek mora biti u stanju zadovoljiti zahtjeve.

Sa svrhom smanjenja pogonskih troškova pumpe, potopna pumpa postavlja se na dubini vodonosnika (oko 25 m), te se ispod nje ostavlja slobodna visina bunara pružajući dovoljno prostora za nakupljanje pijeska i onečišćenja. Sam bunar obično je minimalnog promjera 220mm. Razlika temperature vode na isparivaču uzima se od 4 do 5°C te se na temelju toga proračunava potreban protok pumpe [17].

### 4.3. Dizalica topline zrak – voda

Zrak koji se nalazi u okolini predstavlja najpristupačniji toplinski izvor. Kao izmjenjivač, koristi se orebreni tip s prisilnom cirkulacijom zraka, kako bi se što više smanjio nedostatak niskog koeficijenta prijelaza topline na strani zraka. Zbog malene specifične topline, razlika temperature između radne tvari (koja isparava ili kondenzira) i zraka kreće se između 6 i 10°C.



Slika 8. Shematski prikaz rada dizalice topline zraka zrak-voda [16]

Kod ovakvih dizalica temperature, nužno je voditi računa o temperaturi zraka kako ne bi došlo do stvaranja inja na orebnim sekcijama isparivača, što znači da lamela na isparivaču mora biti pomno odabrana. Stvaranjem inja i površinskog leda smanjuje se korisna površina

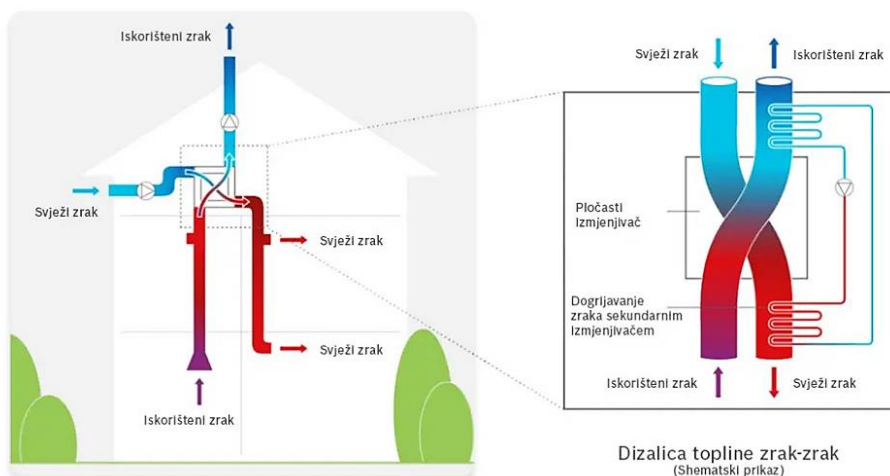
isparivača, dok led sam po sebi predstavlja dodatan otpor pri dovođenju topline. Shematski prikaz rada dizalice topline zraka zrak-voda prikazan je na slici broj 8.

Kako bi se ekonomski ova dizalica topline isplatila, optimalna temperatura zraka za ovakav sustav treba biti iznad  $-5^{\circ}\text{C}$ . U posebnim slučajevima, specijalne dizalice zraka mogu raditi i na temperaturama do  $-15^{\circ}\text{C}$ . Nedostatak ove dizalice je velika količina buke koju proizvodi te količina zraka koji je potreban.

#### 4.4. Dizalica topline zrak – zrak

Ova vrsta dizalice topline uzima zrak iz okoliša, doprema ga do rashladnog sredstva koje zatim uzima toplinu iz zraka nakon čega isparava. Tada se para rashladnog sredstva komprimira pomoću kompresora te se vezana energija oslobađa u krug za grijanje. Kao rezultat kompresije, dolazi do brzog porasta temperature rashladnog sredstva koje stvara idealne uvjete za prijenos generirane toplinske energije u prostoru.

Nakon jednog ciklusa, rashladno sredstvo kondenzira i započinje novi ciklus. U hladnim danima, preko zime, crpi toplinu iz vanjskog zraka i isporučuje je u zatvorenom prostoru, dok za vrijeme vrućih ljetnih dana radi obrnuto – izvlačeći toplinu iz sobnog zraka i pumpajući je van. Ukoliko je za vrijeme hladnih dana potrebna dodatna toplina, uz pomoć električnog otpora osigurava se dodatna toplina zraku koji prolazi, kako je prikazano na slici 9 [18].



Slika 9. Shematski prikaz dizalice topline zrak-zrak

## 5. Praktični dio

### 5.1. Proračun akumulacijskog spremnika

Prema podacima prosječna potrošnja tople vode po osobi u jednom danu u hotelu je od 100 litara do 150 litara. U proračun je uzeto da hotel posjeduje kapacitet od 65 ležaja/osoba u jednom danu jedna osoba potroši 100 litara tople vode koja se grije u spremniku na 65°C. Minimalno potreban volumen spremnika za dnevnu pripremu tople vode:

$$V_{Min} = \frac{V_p \cdot (t_{Tv} - t_{Hv})}{(t_s - t_{Hv})} = \frac{(100 \cdot 65) \cdot (45 - 10)}{(65 - 10)} = 4136.36 [L] \quad (6)$$

- $V_{Min}$  – minimalni volumen spremnika za pripremu tople vode [L],
- $V_p$  – pretpostavljena dnevna potrošnja [6500 L],
- $t_{Tv}$  – temperatura tople vode [45°C],
- $t_{Hv}$  – temperatura hladne vode [10 °C],
- $t_s$  – temperatura tople vode u spremniku [65 °C].

Preporučeno je da odaberemo spremnik koji ima kapacitet za pokrivanje dvodnevne potrošnje tople vode hotela. Osim toga ključna karakteristika spremnika treba biti bivalentnost, to znači da ima dvije odvojene izmjenjivačke površine. Jedna površina koristi se za povezivanje sa solarnim sustavom kako bi se iskoristila energija sunca za zagrijavanje vode, a druga površina koristi se za povezivanje s drugim izvorom topline iz sustava grijanja hotela što je u ovom slučaju dizalica topline. Također, površina gornjeg izmjenjivača treba biti što veća. Ovo je bitno kako bi se osigurala maksimalna učinkovitost dogrijavanja vode primarnim izvorom topline. Veća površina omogućava brže i učinkovitije zagrijavanje vode, osiguravajući da hotel uvijek ima dostatnu količinu tople vode za svoje potrebe, čak i u situacijama kada solarni sustav nije u mogućnosti osigurati dovoljno energije. Ova kombinacija bivalentnosti i veće površine gornjeg izmjenjivača omogućava sustavu da pruži optimalnu učinkovitost i pouzdanost. Hotel tako ostaje opskrbljen toplom vodom bez obzira na varijacije u dostupnosti sunčeve energije.

Radi toga i prema podacima zadanim u tekstu zadatka završnog rada za potrebu skladištenja tople vode u hotelu potrebna su dva akumulacijska spremnika tople vode, svaki volumena 4000 litara. Također je zadano da moraju moći podnijeti temperaturu veću od 65°C.

Zbog toga se odabiru akumulacijski spremnici tvrtke Hoval pod nazivom Buffer storage tank EnerVal G 4000. Stvarni kapacitet punog spremnika je 4035 litara, ali u tehničkim uputstvima preporuča se punjenje s manjim kapacitetom. Spremnik je izoliran sintetičkom gumom debljine 19 milimetara, također je oblijepljen plastičnim vanjskim omotačem. U sebi sadrži deset priključnih pribubnica, dva rukavca za priključak električnih grijača, 5 rukavaca za priključivanje senzora/termometra i jedan rukavac za priključak ventilacije. Svaki priključak se zasebno može kontrolirati i koristiti.

Tablica 1. Tehnička karakteristika akumulacijskog spremnika [19]

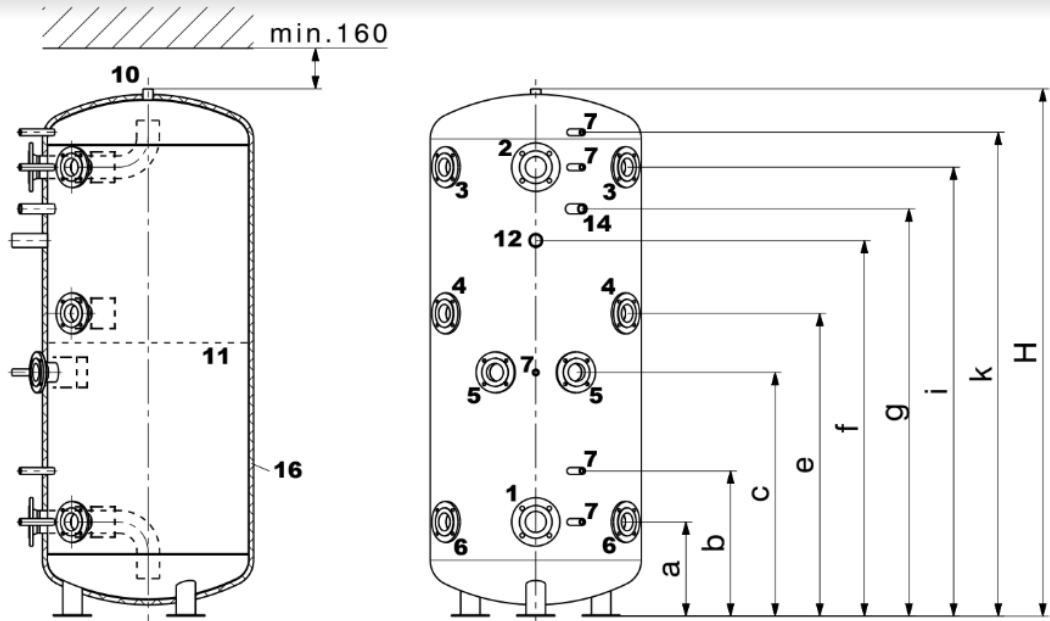
Tip		4000
Normalni sadržaj	l	4035
Pritisak	bar	6
Minimalna temperatura	°C	5
Maksimalna temperatura	°C	95
Sintetička guma za izolaciju	mm	19
Izolacija 0 °C	W/mK	0.033
Izolacija 40°C	W/mK	0.037
Klasa zaštite od požara		B-s3,d0
Težina	Kg	694
Otpornost na poteškoće s vodom	W/m <sup>2</sup> K	>1000

*Izvor: Hoval katalog*

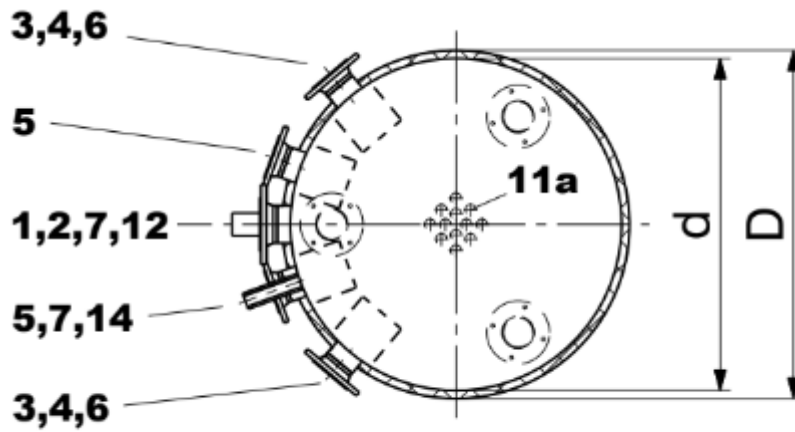
Tablica 2. Dimenzija akumulacijskog spremnika [19]

Dimenzija	D	d	H	a	b	c	e	f	g	i	k
EnerVal	1438	1400	2975	485	780	1386	1638	2227	-	2535	2735

*Izvor: Hoval katalog*



Slika 10. Prikaz akumulacijskog spremnika [19]



Slika 11. Tlocrt akumulacijskog spremnika [19]



## 5.2. Proračun sunčevih kolektora

U tekstu zadatka zadano je da se akumulacijski spremnici za pohranu tople vode zagrijevaju uz pomoć sunčevih kolektora, a potom pomoću dizalice topline. Prema zadatku, sunčevi kolektori instaliraju se na području grada Knina, na ravnom krovu, pod kutom upada svjetlosti od 45°. S toga je potrebno napraviti proračun kojim bi odabrani sunčevi kolektori uspjeli zadovoljiti zagrijavanje tople vode kroz najveći period godine.

Izračun potrebne toplinske energije:

$$Q = m * c * \Delta T = 8000 * 4186 * 55 = 1847360000 \text{ J} \quad (7)$$

Q – potrebna toplinska energija[J],

m –masa vode [8000 Kg],

c – specifični toplinski kapacitet vode [4186 J/Kg°C],

$\Delta T$  – promjena temperature [55 °C].

Izračun potrebne dnevne energije:

$$Q = \frac{4.182 * V_f * f * (t_{Tv} - t_{Hv})}{3600} = \frac{4.182 * 100 * 65 * (45 - 10)}{3600} = 246.2792 \text{ kWh/dan} \quad (8)$$

Q<sub>dan</sub>-Dnevna energija [kWh/dan],

V<sub>f</sub> - dnevna potrošnja vode po osobi [100 l/dan],

f – broj korisnika [65 osoba],

t<sub>Tv</sub> – temperatura tople vode [45 °C],

t<sub>Hv</sub> – temperatura hladne vode [10 °C].

Izračun solarnog udjela:

$$Solar_{Udio} = Očekivani_{solarni\ udio} * Q = 0.8 * 1847360000 = 1477888000 \text{ J} \quad (9)$$

Očekivani<sub>solarni udio</sub> – Solarni udio koji se očekuje kroz najhladniji mjesec [80 %]

Izračun potrebne energije od sunčevih kolektora:

$$Q_{solara} = \frac{Solar_{udao}}{Efikasnost_{kolektora}} = \frac{1477888000}{0.7} = 2112697142.86 J \quad (10)$$

Efikasnost<sub>kolektora</sub> – efikasnost kolektora [70%].

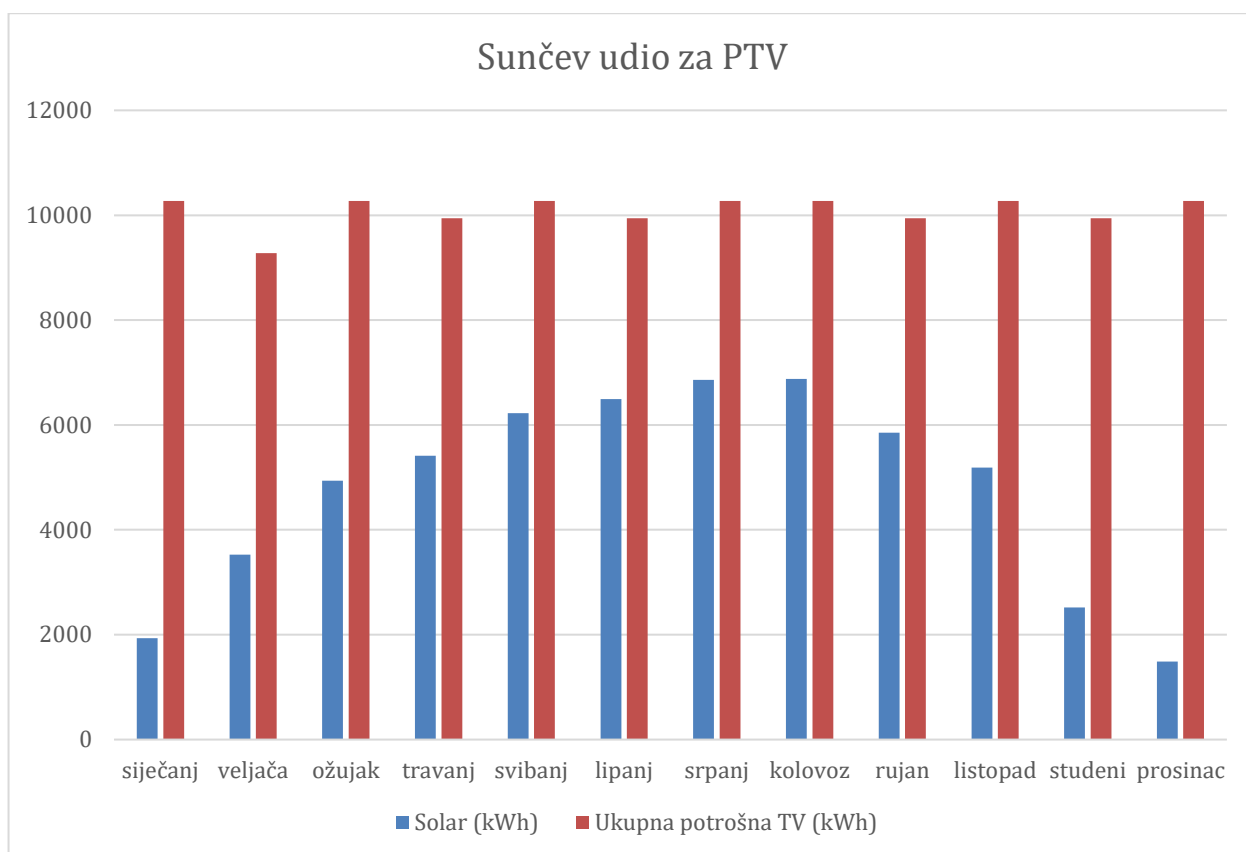
Izračun potrebne površine sunčevih kolektora:

$$A = \frac{Q_{solara}}{G * \Delta T} = \frac{2112697142.86}{500 * 45} = 94.035 m^2 \quad (11)$$

A – površina [m<sup>2</sup>],

G- prosječno mjesečno sunčevo zračenje [500 W/m<sup>2</sup>],

Dobivamo rezultat da je potrebno minimalno 94.035 m<sup>2</sup> sunčevih kolektora da bi zadovoljilo zagrijavanje tople vode kroz najveći period godine. U skladu s dobivenim rezultatom odabire se 39 sunčevih kolektora za pripremu tople vode u dva akumulacijska spremnika svaki po 4000 L. Odabrani su pločasti sunčev kolektor tip UltraSol 2 svaki jačine 1870 W. Kolektori zauzimaju 98,7 m<sup>2</sup>, ukupni godišnji prijenos kolektorskog polja iznositi će 57306 kWh, a prijenos kolektorskog polja prema bruto površini iznositi će 581 kWh/m<sup>2</sup>/god. Kolektori se mogu montirati na ravni ili kosi krov pod određenim kutom pogodnim za područje instalacije. Nagib samog kolektora se može podešavati pomoću seta za montažu. U nastavku je prikazan grafički udio solarnog sustava tijekom godine po mjesecima, tablica tehničkih karakteristika sunčevih kolektora, te fotografija kolektora.



Slika 12. Grafički udio solarni sustava za pripremu PTV-a

Tablica 3. Tehničke karakteristike sunčevog kolektora [19]

Bruto površina	m <sup>2</sup>	2.53
Bruto duljina	mm	2102
Bruto širina	Mm	1202
Bruto debljina	Mm	65
Masa kolektora	Kg	32
Snaga	W	1870
Apsorpcijski koeficijent	%	97
Emisijski koeficijent	%	5
Volumen apsorbera	L	1.4
Koef. gubitaka k1	W/(m <sup>2</sup> K)	3.914
Koef. gubitaka k2	W/(m <sup>2</sup> K)	0.012
Transmisija	%	90
Max radni protok	Bar	10
Temperatura mirovanja	°C	199

Izvor: Hoval katalog



*Slika 13. UltraSol 2 [19]*

### **5.3. Proračun solarnog cjevovoda, cirkulacijske pumpe i ekspanzijske posude**

Kako bi se osigurala optimalna izmjena topline u kolektorima, potrebno je osigurati određeni protok solarne tekućine (mješavina 40% glikola i 60% vode). Protok se određuje prema preporukama proizvođača.

Postoje dva tipična režima:

- Način rada “High Flow” – 45 l/m<sup>2</sup>h
- Način rada “Low Flow” – 25 l/m<sup>2</sup>h

Režim "High Flow" je prikladniji za male objekte kao što su obiteljske kuće, dok je režim "Low Flow" prikladniji način rada najbolji za veće objekte. Budući da je objekt u ovom završnom radu s velikim dimenzijama odabran je način rada "Low Flow" s protokom od 25 l/m<sup>2</sup>h.

Kako je površina kolektorskog polja 98.7 m<sup>2</sup>, protok iznosi 2467.5 l/h. Protok u solarnom cjevovodu dobili smo formulom:

$$q_{sol} = A * q = 98.7 * 25 = 2467.5 \text{ l/h} \quad (12)$$

$q_{sol}$  – protok kroz solarni cjevovod [l/h],

A – površina sunčevih kolektora [m<sup>2</sup>],

q – protok [l/m<sup>2</sup>h].

Pad tlaka po metru cijevi i brzinu strujanja solarne tekućine možemo vidjeti u katalogu proizvođača sunčevih kolektora. Pad tlaka po metru cijevi iznosi 11.20 mbar/m, a brzina strujanja solarne tekućine je ograničena na 1.41 m/s.

Flow rate	DN 10 12 x 1 mm		DN 12 15 x 1 mm		DN 15 18 x 1 mm		DN 20 22 x 1 mm		DN 25 28 x 1.5 mm		DN 32 35 x 1.5 mm		DN 40 42 x 1.5 mm		
	[l/h]	[l/min]	v [m/s]	Δp [mbar/m]	v [m/s]	Δp [mbar/m]	v [m/s]	Δp [mbar/m]	v [m/s]	Δp [mbar/m]	v [m/s]	Δp [mbar/m]	v [m/s]	Δp [mbar/m]	
125	2.08	0.44	3.10	0.26	1.10	0.17	0.50	0.11	0.20	0.07	0.10	0.04	0.00	0.03	0.00
150	2.50	0.53	6.70	0.31	1.30	0.21	0.60	0.13	0.20	0.08	0.10	0.05	0.00	0.03	0.00
175	2.92	0.62	8.70	0.37	1.50	0.24	0.70	0.15	0.30	0.10	0.10	0.06	0.00	0.04	0.00
200	3.33	0.71	10.90	0.42	3.20	0.28	0.80	0.18	0.30	0.11	0.10	0.07	0.00	0.05	0.00
250	4.17	0.88	15.90	0.52	4.60	0.35	1.70	0.22	0.40	0.14	0.20	0.09	0.10	0.06	0.00
300	5.00	1.06	21.70	0.63	6.30	0.41	2.40	0.27	0.80	0.17	0.20	0.10	0.10	0.07	0.00
350	5.83	1.24	28.30	0.73	8.20	0.48	3.10	0.31	1.10	0.20	0.20	0.12	0.10	0.08	0.00
400	6.67	1.41	35.60	0.84	10.30	0.55	3.90	0.35	1.40	0.23	0.50	0.14	0.10	0.09	0.00
450	7.50	1.59	43.60	0.94	12.60	0.62	4.70	0.40	1.70	0.25	0.60	0.16	0.10	0.10	0.00
500	8.33	1.77	52.40	1.05	15.10	0.69	5.70	0.44	2.00	0.28	0.70	0.17	0.20	0.12	0.10
600	10.00	2.12	71.90	1.26	20.70	0.83	7.80	0.53	2.70	0.34	0.90	0.21	0.30	0.14	0.10
700	11.67	2.48	94.10	1.46	27.10	0.97	10.10	0.62	3.50	0.40	1.20	0.24	0.40	0.16	0.20
800	13.33	2.83	118.90	1.67	34.10	1.11	12.70	0.71	4.40	0.45	1.50	0.28	0.50	0.19	0.20
900	15.00	3.18	146.20	1.88	41.90	1.24	15.60	0.80	5.40	0.51	1.90	0.31	0.60	0.21	0.20
1000	16.67	3.54	175.90	2.09	50.40	1.38	18.80	0.88	6.50	0.57	2.30	0.35	0.70	0.23	0.30
1200	20.00	4.24	242.60	2.51	69.30	1.66	25.80	1.06	8.90	0.68	3.10	0.41	1.00	0.28	0.40
1500	25.00	5.31	360.20	3.14	102.70	2.07	38.10	1.33	13.20	0.85	4.60	0.52	1.40	0.35	0.60
1750	29.17	6.19	473.70	3.66	134.80	2.42	50.00	1.55	17.30	0.99	6.00	0.60	1.90	0.41	0.70
2000	33.33	7.07	601.00	4.19	170.70	2.76	63.30	1.77	21.80	1.13	7.60	0.69	2.30	0.47	0.90
2250	37.50	7.96	741.90	4.71	210.40	3.11	77.90	1.99	26.90	1.27	9.30	0.78	2.90	0.52	1.10
2500	41.67	8.84	896.00	5.23	253.70	3.45	93.90	2.21	32.30	1.41	11.20	0.86	3.50	0.58	1.40
2750	45.83	9.73	1063.00	5.76	300.70	3.80	111.10	2.43	38.20	1.56	13.20	0.95	4.10	0.64	1.60
3000	50.00	10.61	1243.00	6.28	351.20	4.14	129.70	2.65	44.60	1.70	15.40	1.04	4.70	0.70	1.90

V = Flow speed [m/s]  
Δp = Pressure drop [mbar/m]  
= Recommended pipe dimension

Slika 14. Tablica dimenzioniranja cjevovoda [19]

Tablica 4. Proračun pada tlaka u solarnom sustavu

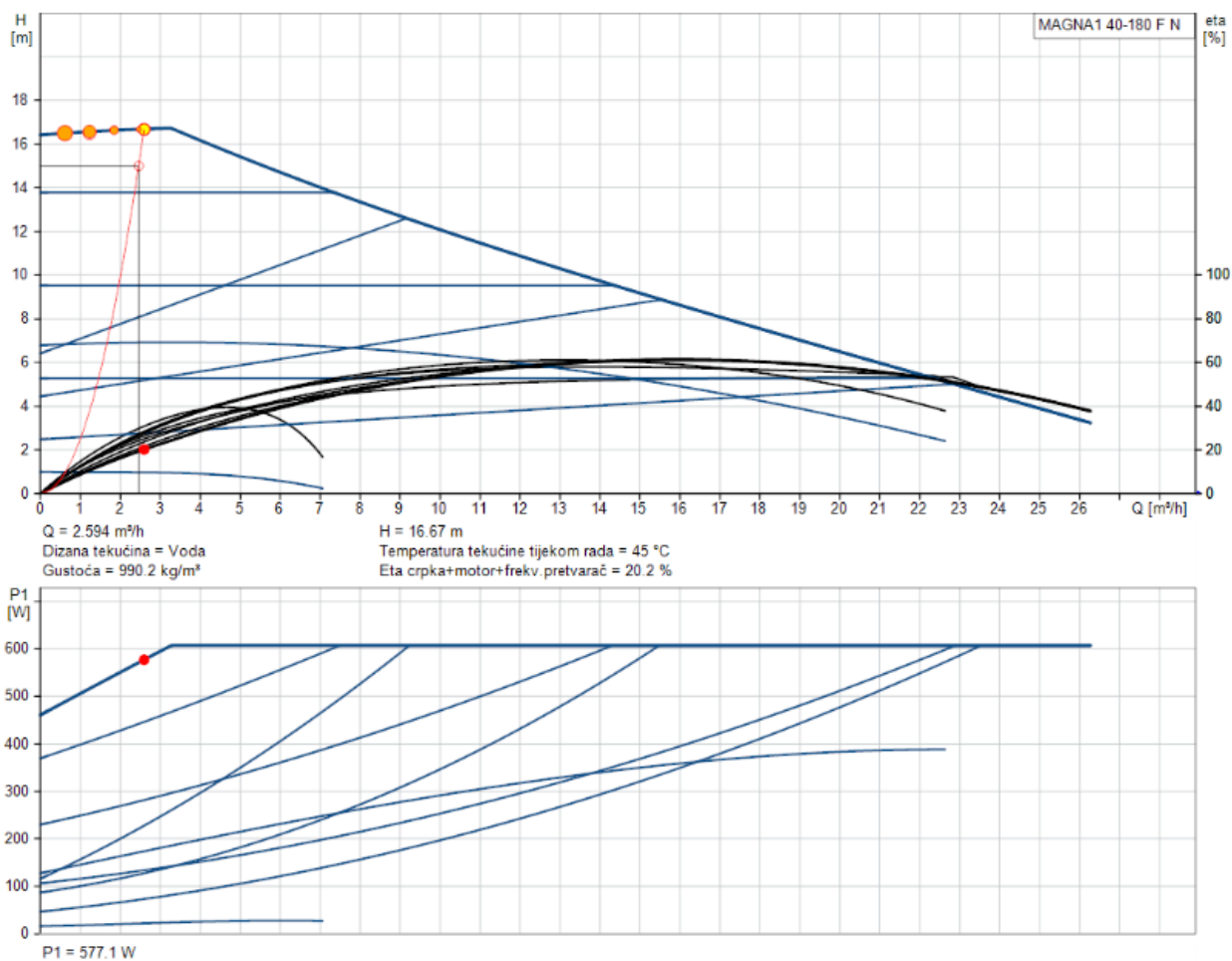
Dionica	L [m]	q <sub>sol</sub> [l/h]	DN [mm]	du [mm]	V [m/s]	R [Pa/m]	R*L [Pa]	Z [Pa]	R*L+Z [Pa]
1	15	2467.5	25	23	1.41	100	1500	1500	3000
2	5	632.5	20	18	0.62	100	150	150	300
3	5	632.5	20	18	0.62	100	150	150	300
4	5	632.5	20	18	0.62	100	150	150	300
5	4	570	20	18	0.53	100	140	140	280

Proračunom smo dobili pad tlaka na glavnoj dionici (dionica 1) pad tlaka od 3000 Pa, pad tlaka na solarnom izmjenjivaču iznosi 2300 Pa, a pad tlaka na kolektorima iznosi 1180 Pa što znači da je ukupan pad tlaka u sustavu 6480 Pa.

Uzlazni podatci za odabir solarne pumpe su:

- protok od 41.125 l/min
- pad tlaka od 6480 Pa

Prema dobivenim rezultatima ukupnih padova tlaka u cjevovodu i dobivenim protokom kroz cjevovod možemo proračunati cirkulacijsku pumpu unosom dobivenih vrijednosti u online aplikaciju firme Grundfos. Predložena pumpa je Grundfos magna1 40-180 FN. Slika 15. u nastavku prikazuje karakteristiku i radnu točku pumpe.



Slika 15. Karakteristika i radna točka pumpe magna1 40-180 FN [22]



Slika 16. Grundfos magna1 40-180 FN [23]

Ekspanzijska posuda za solarni sustav izabrana je prema preporuci proizvođača, te je za sustav od 39 kolektora povezanih u 4 paralelna voda sa tri grane do 10 kolektora i jednu granu po 9 kolektora na krovu visine 15 metara potrebna ekspanzijska posuda od minimalno 80 litara. Zato se odabire posuda proizvođača Hoval pod nazivom Reflex S100. Ima dopušten radni tlak do 10 bara, može raditi na temperaturi od 120°C posuda i 70°C dijafragma.

Tablica 5. Dimenzija ekspanzijske posude [19]

Tip	$\Phi D$ [mm]	H [mm]	h [mm]	A	Težina [Kg]
S100	486	667	166	DN 25	12.9



Slika 17. Ekspanzijska posuda solarnog sustava [19]

#### 5.4. Proračun dizalice topline

Prema ulaznim podatcima sunčevi kolektori nisu dovoljan izvor energije za pripremu i opskrbu toplom vodom tijekom cijele godine, dolazimo do zaključka da sunčevi kolektori zadovoljavaju 48% godišnje potrebe za toplom vodom, te se za zadovoljavanje potreba instalira i dizalica topline.

Izračun potrebne toplinske energije koju dizalica topline treba osigurati:

$$Q_{potrebno} = Q_{ukupno} - Q_{solarno} = 120963 - 57306 = 63657 \text{ kWh} \quad (13)$$



$Q_{\text{potrebno}}$  – potrebna toplinska energija koju dizalica topline treba osigurati [kWh],

$Q_{\text{ukupno}}$  – ukupna energija potrebna za pripremu tople vode [120963 kWh],

$Q_{\text{solarno}}$  – toplinska energija koju osiguravaju sunčevi kolektori [57306 kWh].

Izračun izlaznog kapaciteta DT:

$$Q_{\text{izlaz}} = Q_{\text{potrebno}} * COP = 63657 * 3.5 = 222799.5 \text{ kWh} \quad (14)$$

$Q_{\text{izlaz}}$  – korisna toplinska energija koju isporučuje dizalica topline [kWh],

COP – koeficijent učinka dizalice topline [3.5].

Izračun potrebne snage dizalice topline:

$$P_{DT} = \frac{Q_{\text{potrebno}}}{\text{Broj sati rada}} = \frac{63657}{8760} = 7.2668 \text{ kW} \quad (15)$$

$P_{DT}$  – Snaga dizalice topline [kW]

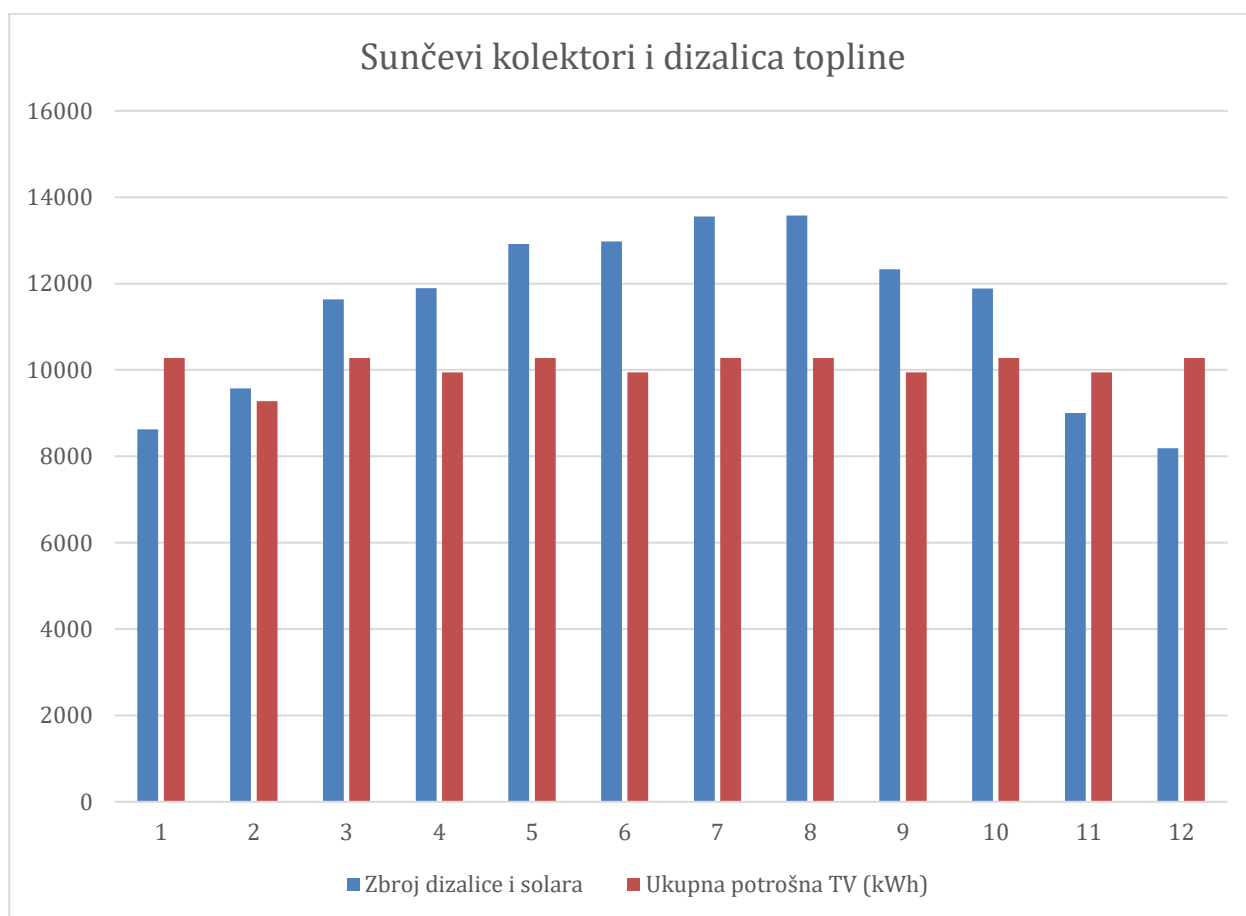
Dobiveni rezultat zadovoljava pripremu tople vode 9 mjeseci godišnje, on iznosi 7.2668 kW. Za ostala 3 zimska mjeseca se trebaju postaviti električni grijači koji bi služili za dogrijavanje vode ili samo grijanje do određene temperature. Zbog tog nedostatka energije u zimskim mjesecima za zadovoljavanje zahtjeva odabire se dizalica topline proizvođača Fujitsu modela waterstage super high power. Odabrana dizalica topline sastoji se od unutrašnje i vanjske jedinice ( unutrašnja jedinica oznake je WSYK170DJ9, a vanjska jedinica oznake WOYK170LJL). Fujitsu Waterstage super high power dizalica topline nalazi se u energetskom razredu od A++ do 55 °C, što znači da radi efikasnije i troši manje električne energije od konvencionalnih sustava grijanja. Područje rada je od čak -25 °C do 35 °C.

„Za razliku od Comfort i High Power modela uz visoku temperaturu protočne vode do 60 °C bez dodatnog grijača koju može održavati do -20 °C vanjske temperature, nudi i zadržavanje kapaciteta od 55 °C do čak -22 °C vanjske temperature. Ukoliko postoji potreba za podizanjem temperature protočne vode iznad maksimuma, to se može postići korištenjem dodatnog grijača uz već postojeći glavni grijač. Koristi se R410 radna tvar.

Fujitsu Waterstage Super High Power dizalica topline kompatibilna je i prikladna za korištenje u kombinaciji s drugim obnovljivim izvorima energije, kao što su fotonaponski paneli. Na ovaj način ostvarit će se najveće uštede i povrat u ovu vrstu investicije.

Ima širok radni raspon i može se kombinirati s podnim grijanjem, ventilokonvektorima, radijatorima i spremnikom vode za kućanstvo. Također se može spojiti u kombinirani sustav grijanja gdje se koristi već postojeći sustav poput plinskog bojlera. Ne rade zajedno u isto vrijeme, već se bira koji sustav je aktivan u zadanom trenutku.

Ovi modeli ne dolaze s integriranim spremnikom potrošne tople vode PTV pa se za tu potrebu preporuča kupnja zasebnog spremnika željenog kapaciteta. Fujitsu Waterstage Super High Power modeli pružaju visoku razinu sigurnosti iz razloga što su uređaji napravljeni od nehrđajućeg čelika s vrhunskom otpornošću na koroziju“ [21]. U nastavku je prikazana tablica tehničkih karakteristika vanjske i unutrašnje jedinice, te slike vanjske i unutrašnje jedinice dizalice topline.



Slika 18. Grafički udio sunčevih kolektora i dizalice topline za pripremu tople vode

Tablica 6. Tehnička karakteristika dizalice topline [21]

Dimenzija unut. jed.	mm	805 x 450 x 471
Težina unut. jed.	kg	52
Dimenzija vanj. jed.	mm	1428 x 1080 x 480
Težina vanj. jed.	kg	138
Promjer cijevi	mm	15.88
Max duljina cijevi	m	30
Max visinska razlika	m	25
Snaga	kW	9
Područje rada	°C	-25 °C do +35 °C
Protok vode	L/min	27.3 do 61.4

*Izvor: klimatizacija.hr*



*Slika 19. Vanjska i unutrašnja jedinica Fujitsu Waterstage super high power [21]*

## 5.5. Proračun električnih grijača

Prema dobivenim podacima izračuna za odabir sunčevih kolektora i dizalice topline da bi se zadovoljila cjelogodišnja potreba za pripremu tople vode potrebno je u sustav dodati i električne grijače koji bi služili za dogrijavanje i održavanje temperature u akumulacijskim spremnicima. Prema preporuci proizvođača akumulacijskog spremnika trebalo bi postaviti po dva grijača u svaki akumulacijski spremnik. A proračun jačine potrebnih grijača dobiva se proračunom da za svaki metar kvadratni solarnih kolektora treba biti minimalno 0.2 kW grijača.

$$Q_{grijača} = A * 0.2 = 98.7 * 0.2 = 19.74 \text{ kW} \quad (16)$$

$Q_{grijača}$  – snaga grijača [kW],

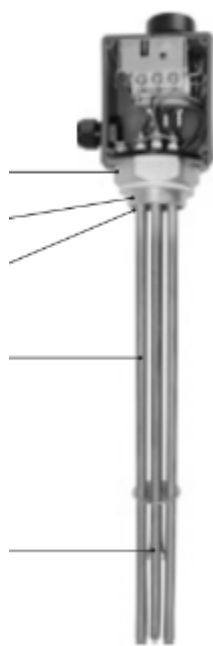
$A$  – površina [ $\text{m}^2$ ]

Dobiveni rezultat zadovoljava cjelogodišnju pripremu tople vode. Snaga izračunatog grijača iznosi 5 kW. Radi toga odabire se električni grijač proizvođača Hoval tip električnog grijača Electric heating element 5.0. Električni grijač se postavlja u akumulacijski spremnik na predviđeni priključak za grijače. U nastavku se nalazi tablica tehničkih karakteristika električnog grijača i fotografija električnog grijača.

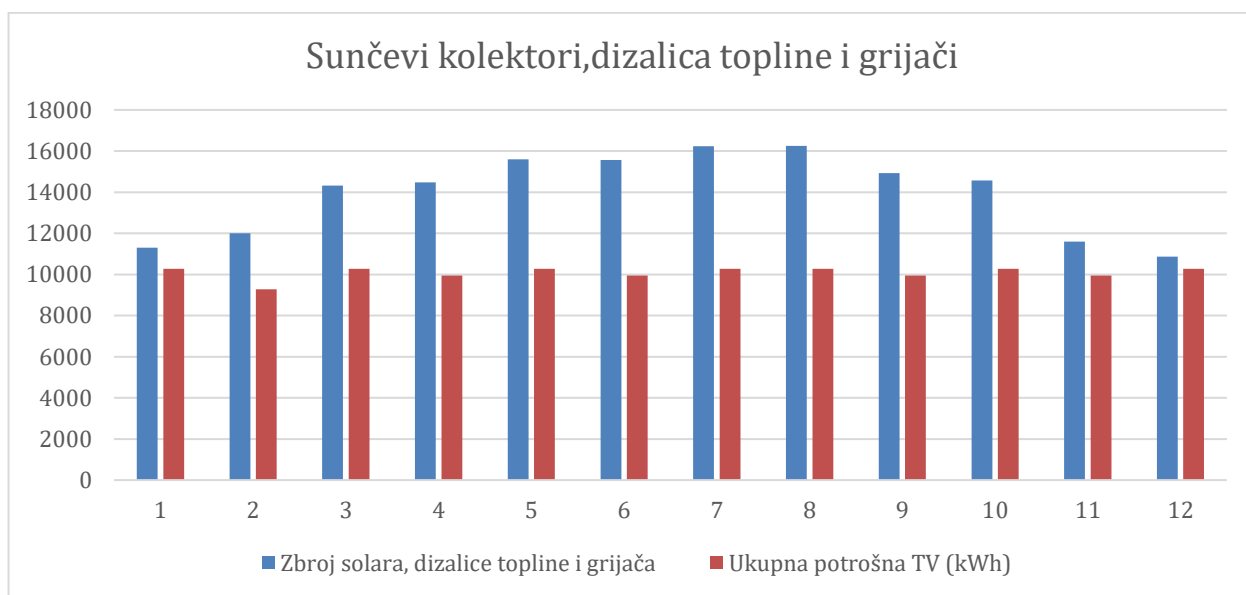
Tablica 7. Tehnička karakteristika električnog grijača [19]

Duljina grijača	mm	500
Izlazni napon	V	3 x 400
Temperatura isključivanja	°C	95
Razlika toplinske sklopke	K	80
Veličina prirubnice		G 1%
Prirubnica materijal		Mesing
Tlak	bar	10
Snaga	kW	5
Vrsta zaštite		IPS4

Izvor: Hoval katalog



Slika 20. Električni grijač [19]



Slika 21. Grafički udio sunčevih kolektora, dizalice topline i električnih grijača za pripremu tople vode

## 5.6. Dimenzioniranje cjevovoda sekundarnog kruga pripreme tople vode

Kako bismo odabrali cirkulacijsku pumpu sekundarnog sustava koja će omogućiti potiskivanje ogrijevanog medija do akumulacijskog spremnika potrebno je prvo dimenzionirati cijevi. Dimenzioniranje i proračun se računa po dionicama, a prilikom proračuna je pretpostavljeno da nema toplinskih gubitaka u cijevima, a za cijevi mogu se koristiti čelične ili bakrene cijevi.

Tablica 8. Tablica pada tlaka u sekundarnom krugu DT

Dionica	L [m]	Toplina [W]	R [Pa/m]	R*L [Pa]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	v [m/s]	Z	R*L+Z[Pa]
D1	10	1830	50	500	991.18	0.349	215	715

Proračunom smo dobili pad tlaka na glavnoj dionici (dionica 1) pad tlaka od 715 Pa, pad tlaka u VK 940 Pa, a pad tlaka u ventilima i razdjelnicima iznosi 1180 Pa što znači da je ukupan pad tlaka u sustavu 2835 Pa.

Ulazni podatci za odabir cirkulacijske pumpe:

- Protok od 37.25 l/min
- Pad tlaka 2835 Pa

Nazivna veličina	Brzina strujanja vode (m/s)	
	Minimum	Maksimum
<DN 15	0,01-0,013	0,3
DN15	0,013	0,35
DN20	0,015	0,65
DN25	0,018	0,8
DN32	0,02	1
DN40	0,03	1,5
DN50	0,04	1,5
>DN50	0,05-0,06	1,5

Slika 22. Preporučena brzina vode u cijevima

## 5.7. Proračun ekspanzijske posude sekundarnog kruga pripreme tople vode

Ekspanzijska posuda je uređaj koji se koristi za kompenzaciju promjene volumena vode u sustavu grijanja. Kada se voda zagrijava, njezin volumen se povećava, što može uzrokovati porast tlaka u zatvorenom sustavu. Ekspanzijska posuda je napunjena zrakom i ima fleksibilnu membranu koja dijeli vodu i zrak. Kako voda povećava svoj volumen, povećava se tlak u posudi, no zrak u membrani apsorbira taj višak tlaka i volumena. S druge strane, kada se sustav hladi i voda se skuplja, ekspanzijska posuda otpušta zrak nazad u sustav kako bi održala konstantan tlak. Time se sprječava da tlak postane prevelik ili premalen, čime se osigurava siguran i učinkovit rad sustava grijanja. Osim toga, ekspanzijska posuda također djeluje kao rezervoar za dodatni volumen vode. To je posebno važno u slučajevima kada je potrebno nadomjestiti izgubljenu vodu uslijed curenja ili isparavanja. Ekspanzijska posuda omogućuje da sustav uvijek ima dovoljno vode za siguran rad bez prekoračenja kapaciteta ili pritiska.

Proračun minimalnog volumena ekspanzijske posude:

$$V_{n,min} = (V_e + V_v) * \frac{p_e+1}{p_e-p_o} = (16.744 + 3) * \frac{0.6+1}{0.6-0.1} = 63.1808 L \quad (17)$$

$$V_e = \frac{m*\Delta T*c}{1000} = \frac{400*10*4.186}{1000} = 16.744 L \quad (18)$$

Gdje je:

$V_{n,min}$  – minimalni volumen zatvorene ekspanzijske posude [L],

$V_e$  – Volumen širenja vode izazvanom povišenjem temperature vode [L],

$V_v$  – dodatni volumen [L],

$p_e$  – projektni krajnji tlak [MPa],

$p_o$  – primarni tlak posude [MPa],

$m$  – masa vode [Kg].

Provedenim proračunom dobiven je minimalan volumen ekspanzijske posude koji iznosi 63.1808 litara. Odabire se ekspanzijska posuda proizvođača Gitral, model GS 80l.



Slika 23. Ekspanzijska posuda Gitral GS 80 [20]

Tablica 9. Tehnička karakteristika ekspanzijske posude [20]

Zapremina (L)	80,00
Visina (mm)	850,00
Promjer (mm)	450,00
Maksimalni pritisak (bar)	10
Boja	bijela
Serijski broj	GS
Linija	80
Kataloški broj	11GS008000
Brand	Gitral
Masa	17.5

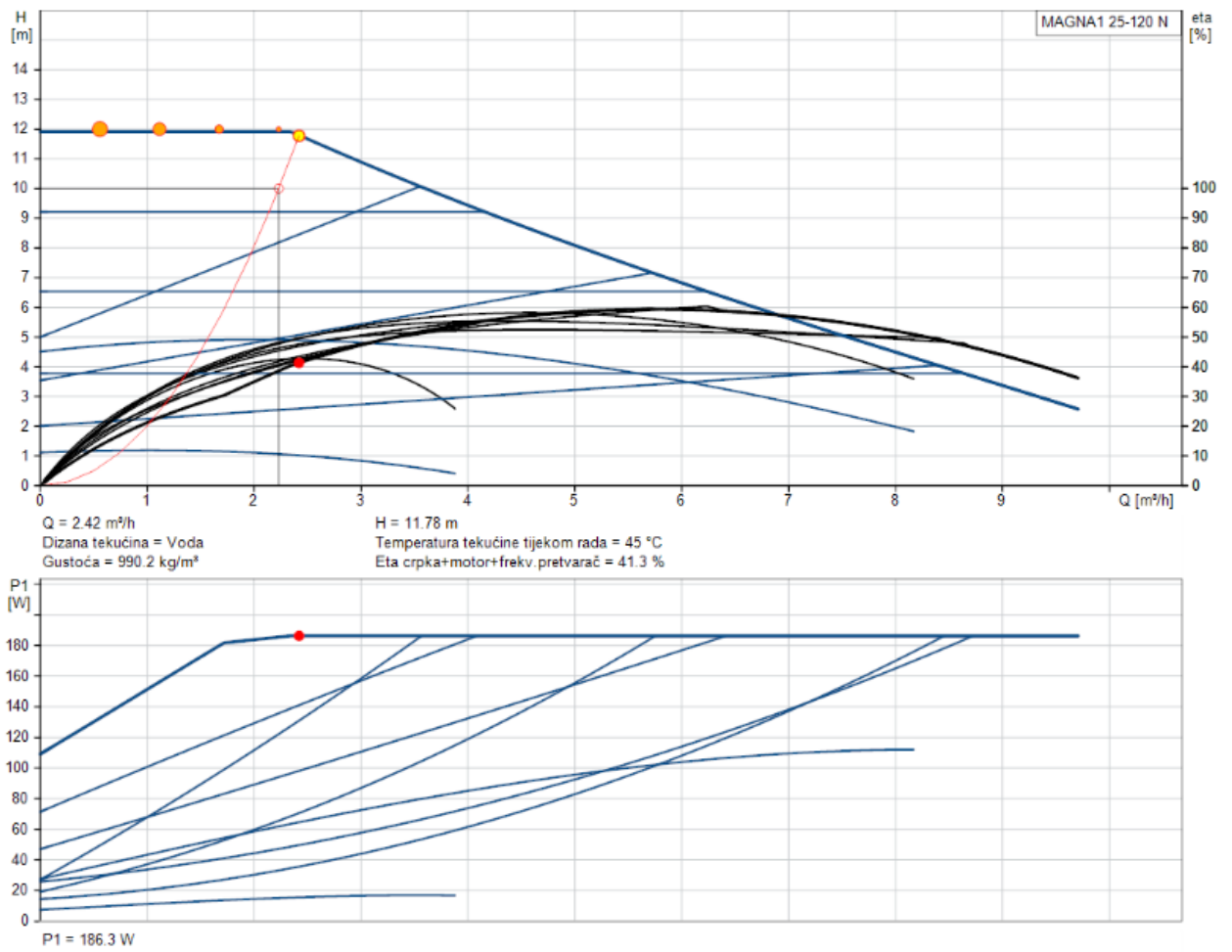
Izvor: Fero-term katalog



## 5.8. Proračun cirkulacijske pumpe sekundarnog kruga

Cirkulacijska pumpa ima ključnu ulogu u sustavu grijanja tople vode putem obnovljivih izvora energije. Njena svrha je omogućiti protok tople vode kroz solarni sustav, osiguravajući da akumulacijski spremnici budu zagrijani. Ova pumpa stvara neprekidan tok vode koja je prikupila toplinu u sunčevim kolektorima i prenosi je do mjesta gdje se koristi za grijanje potrošne vode. To se postiže pomoću elektromotora koji pokreće rotor pumpe i stvara potrebnu cirkulaciju. Regulacija brzine često je prisutna kod modernih cirkulacijskih pumpi. Ova sposobnost prilagođava brzinu rada pumpe ovisno o uvjetima. Na primjer, tijekom sunčanih dana kada sunčevi kolektori generiraju više topline, brzina pumpe može se smanjiti kako bi se povećala energetska učinkovitost. Osiguranje sigurnosti u cirkulacijskom sustavu je od suštinske važnosti. Pumpe su projektirane da održe protok vode unutar sigurnih granica, kako bi se izbjegao prekomjeran pritisak u sustavu. Ovo je bitno kako bi se produžio životni vijek komponenti i osiguralo pouzdano funkcioniranje sustava. Cirkulacijska pumpa doprinosi energetske učinkovitom i pouzdanom sustavu grijanja tople vode putem obnovljivih izvora energije. Njena sposobnost prilagodbe rada prema uvjetima te održavanje osiguravaju optimalan rad cijelog sustava.

Uz pomoć online aplikacije Grundofs odabir je pao na pumpu Grundfos magna1 25-120 N. Jednofazna pumpa koju karakterizira kontrola i radna ploča integrirana u upravljačku kutiju. „Kućište pumpe dostupno je u verzijama od lijevanog željeza i nehrđajućeg čelika. Kućište kompozitnog rotora ojačano je karbonskim vlaknima, nosiva ploča i obloga rotora izrađeni su od nehrđajućeg čelika, a kućište statora od aluminija. Energetska elektronika je hlađena zrakom. Pumpa uključuje 4-polni sinkroni motor s trajnim magnetom (PM motor). Ovaj tip motora karakterizira veća učinkovitost od konvencionalnog asinkronog kaveznog motora“[23]. Brzinu crpke kontrolira integrirani pretvarač frekvencije.



Slika 24. Karakteristika i radna točka pumpe magna1 25-120 N [22]



Slika 25. Cirkulacijska pumpa Grundfos magna1 25-120 N [23]

## 6. Analiza sustava

Sustav grijanja tople vode za hotel je pažljivo projektiran i optimiziran kako bi se koristili obnovljivi izvori energije, smanjila emisija štetnih plinova te osigurala stalna opskrba toplom vodom za sve hotelske potrebe. Ovaj sustav se temelji na pametnom kombiniranju sunčevih kolektora, dizalice topline i električnih grijača kako bi se osigurala konstantna i energetska učinkovita opskrba toplom vodom tijekom cijele godine.

Sunčevi kolektori postavljeni na krovu hotela apsorbiraju sunčevu energiju i pretvaraju je u toplinsku energiju. Kolektori su pozicionirani pod optimalnim kutom kako bi maksimalno iskoristili sunčevu svjetlost tijekom cijelog dana. Tijekom sunčanih perioda sunčevi kolektori će pridonijeti značajnom dijelu zagrijavanja vode u akumulacijskim spremnicima.

Sunčevi kolektori prenose prikupljenu toplinsku energiju u dva akumulacijska spremnika tople vode. Ovi spremnici tvrtke Hoval tipa Buffer storage tank EnerVal G 4000 imaju stvarni kapacitet od 4035 litara. Spremnici su izolirani kako bi se minimalizirali gubitci energije te su opremljeni priključnim priborima, rukavcima za priključak električnih grijača i senzora za optimalnu kontrolu sustava.

Dizalica topline proizvođača Fujitsu modela Waterstage super high power ima ključnu ulogu u sustavu kada sunčevi kolektori nisu dovoljni za zagrijavanje vode. Njezina visoka učinkovitost omogućuje korištenje vanjskog zraka čak i pri niskim temperaturama do  $-25^{\circ}\text{C}$ , pružajući konstantan izvor energije za zagrijavanje vode. Ova visokoučinkovita dizalica topline podupire solarni sustav tijekom zimskih mjeseci i osigurava konstantnu temperaturu tople vode.

U situacijama kada niti sunčevi kolektori niti dizalica topline nisu u mogućnosti osigurati potrebnu toplinu, električni grijači ulaze u igru. Ovi grijači imaju ulogu dogrijavanja i održavanja temperature vode na željenih  $65^{\circ}\text{C}$ . Njihova fleksibilnost omogućava precizno podešavanje temperature i osigurava stabilnost sustava.

Ključ uspješnosti ovog sustava leži u njegovoj integraciji. Sunčevi kolektori, dizalica topline i električni grijači zajedno osiguravaju neprekidno zagrijavanje tople vode tijekom cijele godine. Kada sunčevi kolektori imaju visok učinak, oni dominiraju u proizvodnji energije. Kada sunčeva svjetlost nedostaje ili je temperatura preniska, dizalica topline i električni grijači preuzimaju ulogu održavanja konstantne temperature vode. Ova integracija obnovljivih izvora energije značajno smanjuje potrošnju konvencionalnih izvora energije kao što su električna energija ili fosilna goriva. Sunčevi kolektori iskorištavaju besplatnu i obnovljivu sunčevu energiju, smanjujući emisiju stakleničkih plinova. Dizalica topline koristi okolni zrak kao izvor energije, pridonoseći dodatnoj energetskej učinkovitosti. Sustav je opremljen naprednim sustavom

upravljanja i kontroliranja. Ova tehnologija omogućava precizno praćenje i regulaciju temperature vode u akumulacijskim spremnicima. Održavanje sustava uključuje redovito čišćenje sunčevih kolektora, provjeru ispravnosti dizalice topline i električnih grijača te servisiranje prema potrebama kako bi se osigurala dugotrajnost i optimalna učinkovitost. Ovaj detaljno osmišljeni sustav grijanja tople vode kombinira najbolje iz svijeta obnovljivih izvora energije i klasičnih sustava grijanja. Sunčevi kolektori, dizalica topline i električni grijači zajedno osiguravaju pouzdanu, konstantnu i energetski učinkovitu opskrbu toplom vodom za potrebe hotela. Ovaj integrirani sustav ne samo da smanjuje troškove energije već i pozitivno doprinosi očuvanju okoliša i održivosti.

Iz proračuna je vidljivo da su električni grijači prijeko potrebni samo u tri mjeseca godišnje: studenom, prosincu i siječnju. Ovi mjeseci bilježe najviše negativne razlike između energije koju pružaju sunčevi kolektori i dizalica topline koja je potrebna za održavanje željene temperature vode u akumulacijskim spremnicima. U tim mjesecima solarni udio u proizvodnji energije je niži iz razloga što električni grijači doprinose sustavu kako bi se osigurala stabilna temperatura vode u akumulacijskim spremnicima. U ostalim mjesecima sunčevi kolektori i dizalica topline uspijevaju zadovoljiti potrebe za grijanjem vode, što potvrđuje minimalne ili čak negativne razlike za te mjesece. Ovakva kombinacija sunčevih kolektora, dizalice topline i električnih grijača omogućuje učinkovitu i pouzdanu pripremu tople vode tijekom cijele godine, prilagođavajući se varijacijama sunčevom zračenju i sezonskim promjenama temperature.

## 7. Zaključak

Analizirajući sustav grijanja tople vode za hotelske potrebe koji se oslanja na kombinaciju sunčevih kolektora, dizalice topline i električnih grijača, postaje jasno kako se tržište polako primiče obnovljivim izvorima energije kao glavnim izvorom.

Ovaj završni rad duboko je zaranjao u analizu performansi ovog naprednog sustava pripreme tople vode i došao do niza zaključaka koji ukazuju na njegovu potencijalnu korist i doprinos društvu i okolišu. Kroz kombinaciju sunčevih kolektora, dizalice topline i električnih grijača postignuta je značajna energetska učinkovitost uz istovremeno smanjenje ekološkog zagađenja.

Uloga sunčevih kolektora u ovom sustavu je ključna, osobito tijekom sunčanih mjeseci. Oni uspješno apsorbiraju sunčevu energiju i pretvaraju je u toplinsku energiju, koja se potom pohranjuje u akumulacijske spremnike. Sunčevi kolektori tako predstavljaju prvi sloj održivosti ovog sustava, koristeći obnovljivu energiju sunca kako bi se ispunile potrebe za grijanjem vode.

Međutim, sezonske promjene u sunčevoj svjetlosti i temperaturi su neizbježne, što može dovesti do pada u proizvodnji energije sunčevih kolektora. Ovdje dolazi do izražaja ključna uloga visokoučinkovite dizalice topline. Dizalica topline modela Waterstage super high power proizvođača Fujitsu, koristeći vanjski zrak kao izvor energije, omogućuje stabilno zagrijavanje vode čak i pri niskim vanjskim temperaturama. To predstavlja vitalan sastavni dio sustava, osiguravajući kontinuirano grijanje tople vode tijekom cijele godine.

Električni grijači opcija su kad ni sunčevi kolektori ni dizalica topline nisu u mogućnosti osigurati potrebnu temperaturu vode. Ovi grijači pružaju dodatnu fleksibilnost i stabilnost sustava, posebno tijekom hladnijih mjeseci kada je potražnja za toplom vodom visoka, a obnovljivi izvori energije nisu toliko učinkoviti.

Ovaj integrirani sustav pripreme tople vode za hotel predstavlja dokaz da obnovljivi izvori energije mogu biti optimalno iskorišteni u velikim infrastrukturnim objektima. Kombinacija sunčevih kolektora, dizalice topline i električnih grijača pokazuje se kao uspješan odgovor na sezonske i promjenjive uvjete, osiguravajući stabilno i energetski učinkovito grijanje tijekom cijele godine.

Osim toga ovakav princip pripreme tople vode ima ekonomske i ekološke prednosti. Analiza podataka pokazala je da su električni grijači potrebni samo u određenim mjesecima, što značajno smanjuje potrošnju konvencionalne energije i emisije stakleničkih plinova. Troškovna analiza sugerira da se i uz inicijalne investicije u opremu, dugoročno ostvaruju značajne uštede.

U konačnici ovaj završni rad naglašava važnost inovacija i integracije obnovljivih izvora energije u infrastrukturne projekte. Ovaj je sustav pokazao da je obnovljiva energija ključ za budućnost energetike i zaštite okoliša.

## 8. Literatura

- [1] Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost – obnovljivi izvori energije <https://www.fzoeu.hr/hr/obnovljivi-izvori-energije/7573> dostupno 07.08.2023.
- [2] M. Krstinić Nižić, B. Blažević: Gospodarenje energijom u turizmu, Repozitorij Fakulteta za menadžment u turizmu i ugostiteljstvu, 2021
- [3] A. Čotar, A. Filčić: Fotonaponski sustavi, REA Kvarner d.o.o., Rijeka, 2012.
- [4] D. Šljivac: Osnove energetike i ekologije: Nastavni materijali, Elektrotehnički fakultet Osijek, 2005.
- [5] D. Šljivac, Z. Šimić: Obnovljivi izvori energije s osvrtom na štednju, Elektrotehnički fakultet Osijek, 2007.
- [6] [http://www.izvorienergije.com/news/proizvodnja\\_biomase\\_mora\\_postati\\_odrziva.html](http://www.izvorienergije.com/news/proizvodnja_biomase_mora_postati_odrziva.html) dostupno 07.08.2023.
- [7] Z. Jankoski: Kolegij "obnovljivi izvori energije" – predavanja, Split
- [8] [http://www.izvorienergije.com/obnovljivi\\_izvori\\_energije.html](http://www.izvorienergije.com/obnovljivi_izvori_energije.html) dostupno 12.08.2023.
- [9] Lj. Majdandžić: Solarni sustavi, Teorijske osnove, projektiranje, ugradnja i primjeri izvedenih projekata, Zagreb, 2010.
- [10] OIKON: Strateška studija o utjecaju na okoliš: Izmjena i dopuna (III) Prostornog plana uređenja Grada Knina, Zagreb, 2019.
- [11] P. Kulišić, J. Vuletin, I. Zulim, I. Sunčane ćelije, Školska knjiga, Zagreb, 1994.
- [12] <https://www.schrack.hr/alternativni-izvori/photovoltaik/osnove-o-fn-celiji-i-modulu/> dostupno 12.08.2023.
- [13] „Zagrebački savez klubova mladih tehničara: Sunce kao izvor energije“, Zagreb, 2009.
- [14] [https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/7cc8c4f6-c4e2-4532-8928-afc1ba71beee/html/1002\\_Carnotov\\_kruzni\\_proces.html](https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/7cc8c4f6-c4e2-4532-8928-afc1ba71beee/html/1002_Carnotov_kruzni_proces.html) dostupno 10.8.2023
- [15] <https://www.grijanje-hladjenje.hr/blog/ukratko-o-dizalicama-topline/> dostupno 09.08.2023
- [16] <https://www.menerga.hr/blog/2020/11/02/princip-rada-dizalica-topline-voda-voda-zrak-voda/> dostupno 10.08.2023
- [17] V. Soldo: Priručnik za energetske certificiranje zgrada, Zagreb, 2010.
- [18] <https://www.bosch-homecomfort.com/hr/hr/stambeni/korisne-informacije/dizalice-topline-savjeti/dizalica-topline-zrak-zrak/> dostupno 11.08.2023
- [19] <https://www.hoval.hr/proizvodi/?mobile=false> dostupno 16.09.2023

- [20] <https://www.fero-term.hr/product/ekspanziona-posuda-za-sanitarne-i-solarne-sisteme-gitral-gs-80-l-1.html> dostupno 11.08.2023.
- [21] <https://klimatizacija.hr/fujitsu-waterstage-super-high-power-series-17kw-proizvod-3471/> dostupno 17.08.2023
- [22] <https://www.grundfos.com/hr> dostupno 10.09.2023
- [23] <https://ecos.ba/hr/shop/proizvod/grundfos-pumpa-za-cg-1-visokoucinkovita-elektronicki-regulirana-grundfos-magna3-25-80-180-1x230v-pn610-grundfos/74098> dostupno 16.09.2023



## 9. Popis slika

Slika 1. Gustoća zračenja na udaljenosti  $D$  od izvora [9]

Slika 2. Godišnja razdioba srednjeg dnevnog trajanja sijanja sunca od 1971. do 2000. godine

Slika 3. Princip rada sunčeve fotonaponske ćelije [3]

Slika 4. a) osvijetljena i neosvijetljena I-U karakteristika , b) karakteristika u I. kvadrantu

Slika 5. Serijsko i paralelno spajanje solarnih ćelija

Slika 6. Prikaz teoretskog lijevokretnog Carnotovog procesa u p-v i T-s dijagramima

Slika 7. Shematski prikaz dizalice topline

Slika 8. Shematski prikaz rada dizalice topline zraka zrak-voda [16]

Slika 9. Shematski prikaz dizalice topline zrak-zrak

Slika 10. Prikaz akumulacijskog spremnika [19]

Slika 11. Tlocrt akumulacijskog spremnika [19]

Slika 12. Grafički udio solarnog sustava za pripremu PTV-a

Slika 13. UltraSol 2 [19]

Slika 14. Tablica dimenzioniranja cjevovoda

Slika 15. Karakteristika i radna točka pumpe magna1 40-180 FN [22]

Slika 16. Grundfos magna1 40-180 FN [23]

Slika 17. Ekspanzijska posuda solarnog sustava [19]

Slika 18. Grafički udio sunčevih kolektora i dizalice topline za pripremu tople vode

Slika 19. Vanjska i unutrašnja jedinica Fujitsu Waterstage super high power [21]

Slika 20. Električni grijač [19]

Slika 21. Grafički udio sunčevih kolektora, dizalice topline i električnih grijača za pripremu tople vode

Slika 22. Preporučena brzina vode u cijevima

Slika 23. Ekspanzijska posuda Gitral GS 80 [20]

Slika 24. Karakteristika i radna točka pumpe magna1 25-120 N [22]

Slika 25. Cirkulacijska pumpa Grundfos magna1 25-120 N [23]

## 10. Popis tablica

Tablica 1. Tehnička karakteristika akumulacijskog spremnika [19]

Tablica 2. Dimenzija akumulacijskog spremnika [19]

Tablica 3. Tehnička karakteristika sunčevog kolektora [19]

Tablica 4. Proračun pada tlaka u solarnom sustavu

Tablica 5. Dimenzija ekspanzijske posude [19]

Tablica 6. Tehnička karakteristika dizalice topline [21]

Tablica 7. Tehnička karakteristika električnog grijača [19]

Tablica 8. Tablica pada tlaka u sekundarnom krugu DT

Tablica 9. Tehnička karakteristika ekspanzijske posude [20]

## 11. Popis oznaka

Oznaka	Jedinica	Opis
T	°C	Temperatura
t	h	Vrijeme
m	kg	Masa
n	-	Broj dana
Q	J	Energija
V	L	Volumen
c	J/Kg°C	Specifični toplinski kapacitet vode
A	m <sup>2</sup>	Površina
G	W/m <sup>2</sup>	prosječno mjesečno sunčevo zračenje
P	kW	Snaga
Q	kW/h	Toplinska energija
q <sub>sol</sub>	l/h	Protok kroz solarni cijevovod
q	l/m <sup>2</sup> h	Protok
V <sub>n,min</sub>	L	Minimalni volumen zatvorene ekspanzijske posude
V <sub>e</sub>	L	Volumen širenja vode izazvanom povišenjem temperature vode
p <sub>e</sub>	MPa	Projektni krajnji tlak
p <sub>o</sub>	MPa	Primarni tlak posude

## **12. Prilozi**

Shema postrojenja hotela

