

# Apsorpcijsko hlađenje pomoću solarnih paraboličkih kolektora

---

**Biondić, Josip**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2017**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:149:194132>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-15**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE**  
**SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ**

**Josip Biondić**

**APSORPCIJSKO HLAĐENJE POMOĆU SOLARNIH  
PARABOLIČKIH KOLEKTORA**

**DIPLOMSKI RAD**

**Voditelj rada: izv. prof. dr. sc. Zvonimir Glasnović**

**Članovi ispitnog povjerenstva:**

**Izv. prof. dr. sc. Zvonimir Glasnović**

**Prof. dr. sc. Ante Jukić**

**Dr. sc. Karmen Margeta**

**Zagreb, prosinac 2017.**

*Zahvaljujem se svom mentoru, izv.prof.dr.sc. Zvonimiru Glasnoviću i dr. sc. Karmen Margeta koji su svojim strpljenjem, savjetima i podrškom pridonijeli izradi ovog diplomskog rada i tvrtki Shimadzu d.o.o. koja mi je omogućila pristup podacima.*

*Zahvaljujem se svojim roditeljima, prijateljima i kolegama zbog podrške tijekom studiranja.*

## SAŽETAK

U radu je prikazana simulacija modela sustava solarne tehnologije apsorpcijskog hlađenja uz korištenje solarnih paraboličkih kolektora. Proces apsorpcijskog hlađenja temelji se na korištenju sunčeve energije, kao izvora topline, koja se u izmjenivaču topline pretvara u energiju hlađenja. Korištenjem solarnog paraboličnog kolektora omogućava se efikasnost sustava od 60% do 80%. U cilju istraživanja mogućnosti primjene tehnologije apsorpcijskog hlađenja u Hrvatskoj, u radu je prikazan primjer studije slučaja apsorpcijskog hlađenja za poslovni objekt Shimadzu d.o.o. Rezultati istraživanja pokazuju da sustav zadovoljava toplinsku potrebu za energijom u ljetnom razdoblju i da je energetska potrošnja smanjena u lipnju za 22%, u srpnju za 34%, u kolovozu za 50% i u rujnu za 12% u odnosu na energetska potrošnju u ljetnom razdoblju 2016. godine prema podacima iz poslovnog objekta Shimadzu d.o.o., ali i da je investicija u takav sustav hlađenja relativno veća te da je sustav isplativ u periodu od 5-10 godina.

**Ključne riječi:** apsorpcijsko hlađenje, obnovljivi izvori energije, solarna energija, parabolički kolektori

## **SUMMARY**

This paper presents simulation of the solar thermal absorption cooling system model using solar parabolic collectors. The absorption cooling process is based on the use of solar energy, as a heat source, which converts heat into a cooling energy. By using a solar parabolic collector, the efficiency of the system is 60% to 80%. In order to explore the possibilities of applying absorption cooling technology in Croatia, an example of case study of absorption cooling for the Shimadzu d.o.o. The research results show that the system meets the thermal energy demand in the summer period and that energy consumption fell by 22% in June, by 34% in July, by 50% in August, and by 12% in September compared to the energy consumption in the summer period of 2016 according to data from Shimadzu doo but also that the investment in such cooling system is relatively higher and that the system is profitable for a period of 5-10 years.

**Key words:** absorption cooling, renewable energy sources, solar energy, parabolic trough collector

## SADRŽAJ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. UVOD</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>2. OPĆI DIO</b> .....  | <b>2</b>  |
| 2.1. TEHNOLOGIJA SOLARNOG HLAĐENJA .....                            | 2         |
| 2.2. SUSTAVI HLAĐENJA .....   | 4         |
| 2.3. KOMPONENTE SUSTAVA APSORPCIJSKOG HLAĐENJA.....                 | 8         |
| 2.3.1. PARABOLIČKI SOLARNI KOLEKTOR.....                            | 8         |
| 2.3.2. TOPLINSKI SPREMNIK.....                                      | 10        |
| 2.3.3. IZMJENJIVAČ TOPLINE U SUSTAVU APSORPCIJSKOG<br>HLAĐENJA..... | 11        |
| 2.3.3.1. <i>GENERATOR</i> .....                                     | 12        |
| 2.3.3.2. <i>KONDEZATOR</i> .....                                    | 13        |
| 2.3.3.3. <i>ESKPANZIJSKI VENTIL</i> .....                           | 14        |
| 2.3.3.4. <i>ISPARIVAČ</i> .....                                     | 14        |
| 2.3.3.5. <i>APSORBER</i> .....                                      | 15        |
| 2.3.3.6. <i>PUMPA</i> .....   | 16        |
| 2.3.3.7. <i>RASHLADNI TORANJ</i> .....                              | 16        |
| 2.3.4. VENTILOKONVEKTOR .....                                       | 17        |
| 2.3.5. FLUDI U SUSTAVU APSORPCIJSKOG HLAĐENJA .....                 | 18        |
| <b>3. EKSPERIMENTALNI DIO</b> .....                                 | <b>22</b> |
| 3.1. POSLOVNI PROSTOR SHIMADZU D.O.O. ....                          | 22        |
| 3.2. ODREĐIVANJE POTREBE ZA ENERGIJOM HLAĐENJA .....                | 24        |
| 3.3. KOMPLETNI SUSTAV POSLOVNOG OBJEKTA SHIMADZU .....              | 25        |
| 3.2.1. OPIS SUSTAVA ZA HLAĐENJE.....                                | 25        |
| 3.2.2. KOLEKTOR .....   | 26        |
| 3.2.2. ODABIR SPREMNIKA .....                                       | 27        |
| 3.2.2. IZMJENJIVAČ TOPLINE .....                                    | 28        |
| 3.2.3. RASHLADNI TORANJ .....                                       | 29        |
| 3.2.4. VENTILOKONVEKTOR .....                                       | 30        |
| <b>4. REZULTATI I RASPRAVA</b> .....                                | <b>31</b> |
| 4.1. REZULTATI .....  | 31        |
| 4. ZAKLJUČAK.....   | 35        |
| <b>5. LITERATURA</b> .....  | <b>36</b> |

## 1. UVOD

Oko 80% potrošnje energije potječe iz fosilnih goriva i neobnovljivih izvora energije. Iz toga razloga, zakonodavne inicijative kao i istraživačke aktivnosti usmjerene su prema korištenju obnovljivih izvora energije radi smanjenja upotrebe fosilnih goriva i utjecaja na okoliš. U scenariju racionalnog korištenja energije glavni cilj je smanjenje gubitaka povezanih sa transformacijom energije i smanjenja njezinih troškova. Rezultat smanjene potrošnje fosilnog goriva, električne energije i emisije onečišćivača u okoliš je ekonomska i okolišna korist [1,2].

Solarna energija u usporedbi sa drugim vrstama energije je čisti izvor energije, koja ne uzrokuje onečišćenje okoliša, a koristi se za: grijanje i hlađenje zgrada (aktivno i pasivno), grijanje vode za industrijsku i kućansku primjenu, grijanje bazena, napajanje hladnjaka i kemijsku primjenu [1,3,4].

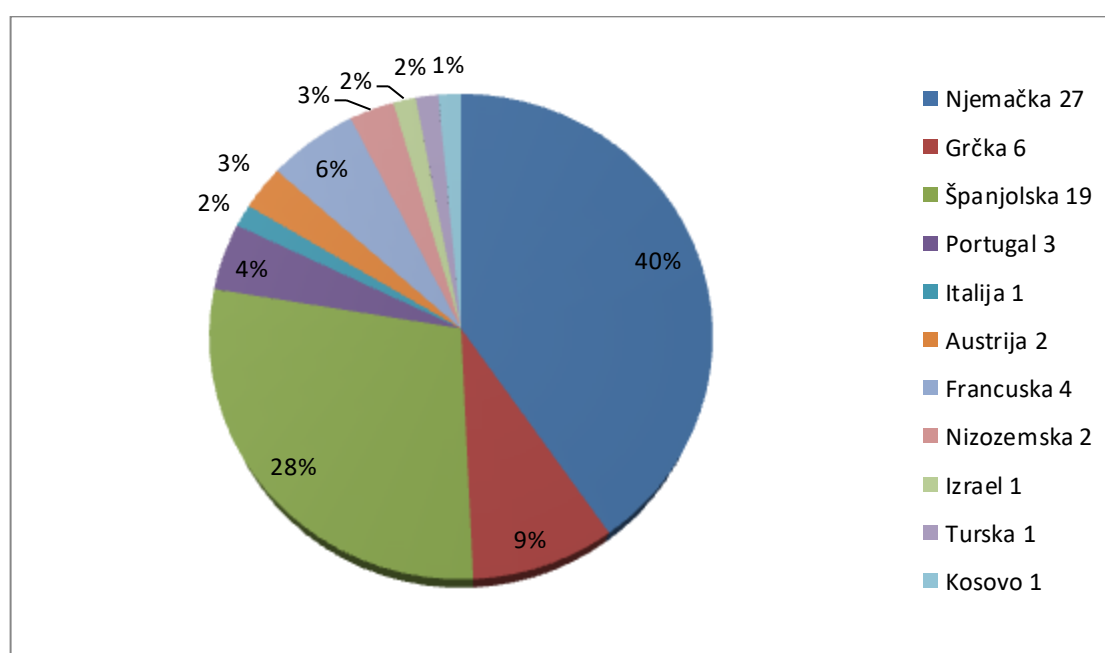
Važan aspekt primjene solarne energije je solarno hlađenje koje, u ljetnom periodu zbog visoke sunčeve radijacije i potrebe za hlađenjem zraka, smanjuje energetske potrošnje zgrada, a istovremeno povećava održivost okoliša. Izvor grijanja i sustav za pohranu u sustavu solarnog hlađenja omogućavaju kontinuirani rad preko noći ili tijekom oblačnog razdoblja [5, 6].

Prednost solarnih sustava hlađenja je korištenje ekološko prihvatljivih i prirodnih radnih fluida poput vode ili otopine soli. U primjeni se mogu koristiti kao samostalni odvojeni sustavi, koji omogućavaju simultanu proizvodnju hlađenja, a pri tome dolazi i do uštede konvencionalnih izvora energije. Hlađenje se postiže pomoću aktivnih i pasivnih uređaja. Rad uređaja solarnog hlađenja općenito ima svoj maksimum kada je energija solarnog zračenja najveća u određenom periodu u godini [7].

## 2. OPĆIDIO

### 2.1. TEHNOLOGIJA SOLARNOG HLAĐENJA

Do 2004. godine, u Europi je postavljeno oko 70 sustava solarnog hlađenja. Većina tih sustava, kao što je prikazano na slici 2.1. nalazi se u Njemačkoj i Španjolskoj zbog toga što energetska politika tih dviju zemalja potiče što veću upotrebu obnovljivih izvora energije [2].



Slika 2.1. Udio solarnih sustava hlađenja u Europi do 2004 godine [2].

U 2006. godini, zabilježen je porast postrojenja sustava solarnog hlađenja u Europi (više od 100). Od tog broja postrojenja, 67% je bazirano na apsorpcijskoj tehnologiji hlađenja. U usporedbi s klima uređajima čija je upotreba i prodaja širom svijeta vrlo velika, sustavi solarnog hlađenja još uvijek je u razvoju. [2,4,8,9].

Međutim, u današnje vrijeme ovi sustavi imaju veliki potencijal za napredak i poboljšanje, te se mogu koristiti u zemljama južne Europe (Italija, Španjolska, Grčka i Portugal) koja mogu biti i potencijalna tržišta ovakvih sustava.



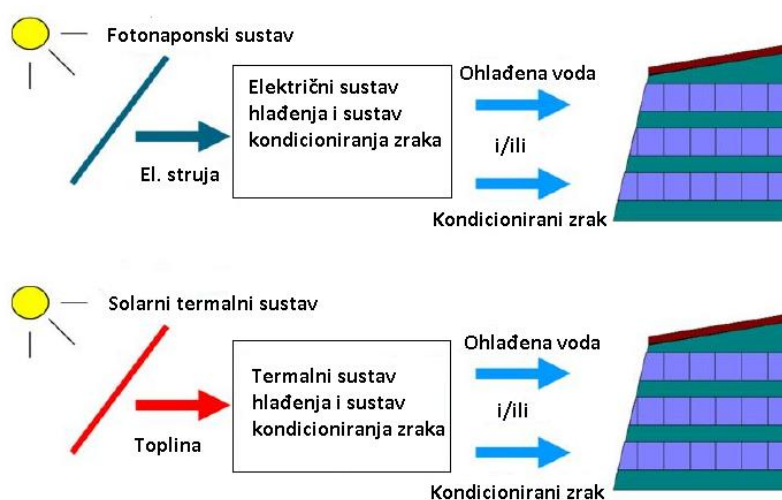
Također, povećana potražnja za solarnim hlađenjem postoji i u drugim zemljama (uključujući i sjevernu Europu) zbog porasta prosječnih temperature zraka u Europi, a i svijetu i zbog sve dužeg boravka u zatvorenom prostoru, naročito u poslovnim i trgovačkim prostorima.

Upotreba solarne energije značajno pridonosi smanjenju korištenja fosilnih goriva koja su povezana sa štetnom emisijom CO<sub>2</sub>.

Solarni termalni sustavi hlađenja nalaze se u ranoj fazi u pogledu njihove praktične primjene, unatoč tome što je tehnologija razvijana godinama. Danas na tržištu nalaze se brojni apsorpcijski isparivači koji kao ogrjevni medij koriste toplu vodu s kapacitetima hlađenja, počevši od oko 4 kW. To omogućava instalaciju i primjenu solarnih apsorpcijskih sustava hlađenja za različite veličine zgrada, od obiteljske kuće pa do trgovačkih i poslovnih prostora [4].

Upotreba solarne energije, u sustavima za hlađenje, zasniva na dva glavna procesa (slika 2.2.) :

- a) **Hlađenje pomoću fotonaponskog sustava** - električna energija koju proizvedu fotonaponski članci, koristi se za kompresiju para u višestupanjskim procesima kompresije para; [2,8,9]
- b) **Hlađenje pomoću solarnih termalnih kolektora** - toplinska energija koju proizvedu termalni kolektori koristi se za apsorpcijsko hlađenje [2,8,9].



Slika 2.2. Glavni procesi primjene solarne energije za hlađenje : a) gornja slika - hlađenje pomoću fotonaponskog sustava, b) donja slika - hlađenje pomoću solarnih termalnih kolektora [9].

Hlađenje pomoću fotonaponskog sustava primjenjuje se u dijelovima svijeta s relativno većom insolacijom, ali se ne smatra tehnologijom solarnog hlađenja jer fotonaponski kolektori u svojoj primjeni razmjenjuju energiju s električnom mrežom.

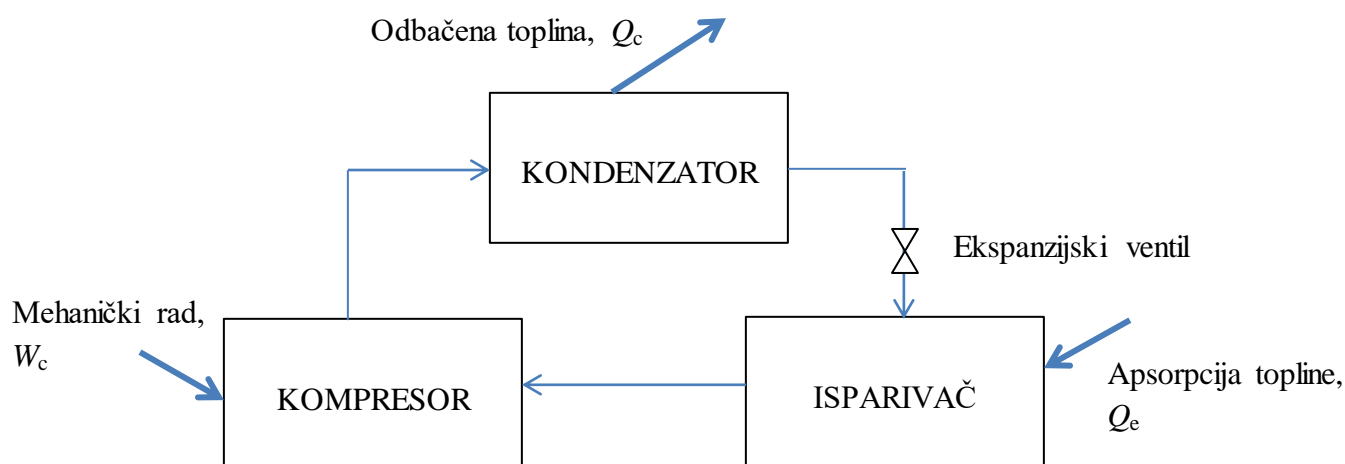
Hlađenje pomoću solarnih termalnih kolektora primjenjuje za hlađenje i kondicioniranje zraka u zgradama i to je dominantna tehnologija koja koristi solarnu termalnu energiju kao glavni izvor energije [9].

## 2.2. SUSTAVI HLAĐENJA

Hlađenje je proces u kojem se smanjuje unutarnja energija nekog tijela odvođenjem energije, a koja se manifestira sniženjem njegove topline te prijenosom te topline u neki specifično odabrani okoliš. Postoje dva sustava hlađenja koji se koriste širom svijeta, a to su: A) kompresijski sustav hlađenja i B) apsorpcijski sustav hlađenja [10].

### A) KOMPRESIJSKI SUSTAV HLAĐENJA

U kompresijskom sustavu hlađenja glavnu ulogu ima mehanički kompresor, tj. električni motor za mehanički prijenos topline sa niže temperature na višu temperaturu (slika 2.3.).

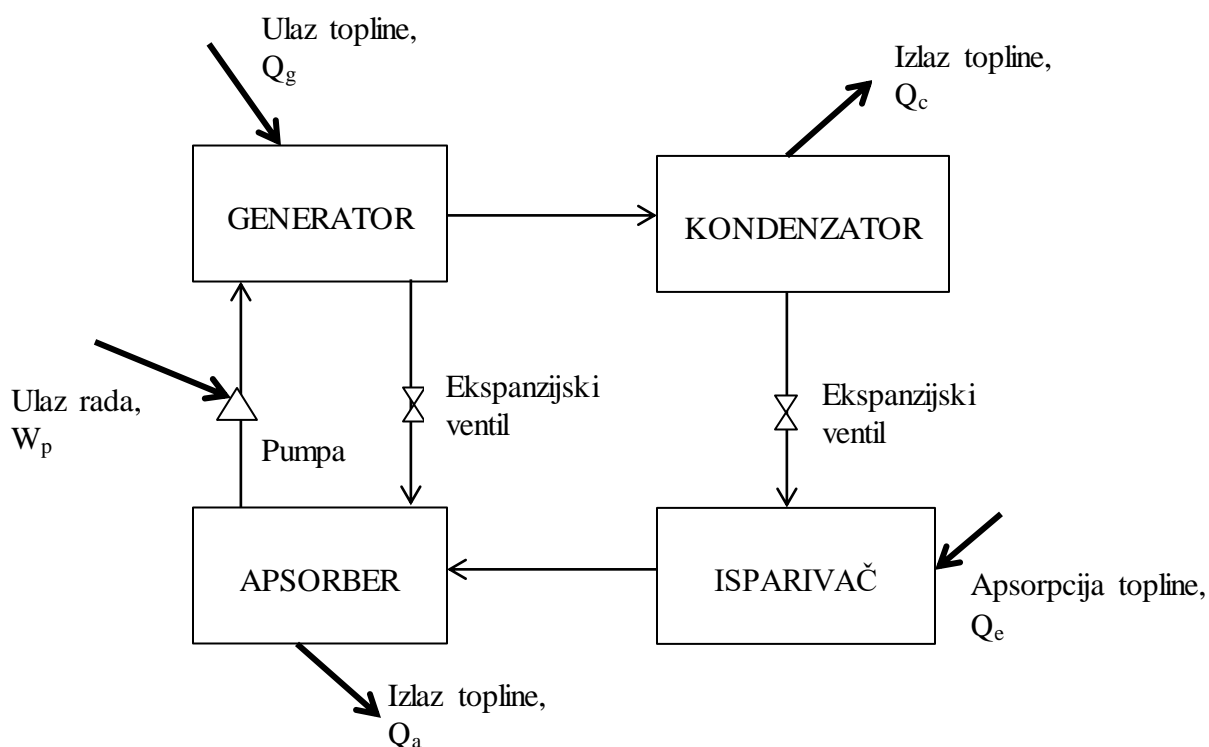


Slika 2.3. Prikaz kompresijskog sustava hlađenja [10].

## B) APSORPCIJSKI SUSTAV HLAĐENJA

Apsorpcijski sustav hlađenja je termalni proces koji funkcionira na razmjeni toplinske energije sa okolinom. Apsorpcijski sustavi hlađenja mogu biti jednostupanjski procesi ili višestupanjski procesi [10]. Sustav sa jednostupanjskim procesom (slika 2.4.) u osnovi se sastoji od jedne pumpe za otopinu, dva prigušivača toka i pet jedinica za izmjenu topline od koji četiri jedinice prenose toplinu iz vanjskog izvora, a peta jedinica radi unutar samog sustava kao izmjenjivač topline [10, 12].

U apsorpcijskom sustavu (slika 2.4.) mehanički kompresor zamijenjen je s dvije jedinice za izmjenu topline (generator, apsorber). Iako te dvije jedinice mijenjaju primjenu mehaničkog kompresora, u većini apsorpcijskih sustava kao jednostavniji način prijelaza radnog fluida s nižeg tlaka na viši tlak koristi se pumpa. Prednost pumpe u apsorpcijskom sustavu je trošenje relativno male količine energije u usporedbi sa cjelokupnim sustavom [10].



Slika 2.4. Prikaz apsorpcijskog sustava hlađenja [10].

Radni fluid u apsorpcijskom sustavu sastoji se od dvije ili više komponenti koje imaju ulogu apsorbenta i rashladnog sredstva. Rashladno sredstvo je stvarni radni fluid za proces hlađenja, dok apsorbent omogućava rashladnom sredstvu specifične uvjete za cjelokupni proces [10].

Svojstva radnog fluida moraju biti takva da se toplina s niže na višu temperaturu može prenositi pod uvjetima koji vladaju unutar rashladnog uređaja. Radni fluid mora zadovoljavati posebne termodinamičke, fizikalno-kemijske i sigurnosne zahtjeve.

Apsorpcijski sustavi hlađenja idealno su rješenje za tvrtke koje trebaju puno hlađenja i imaju obilje toplinske energije. Pomoću (otpadne) topline zajamčeni su visoka učinkovitost i niski operativni troškovi, te ušteda na primarnoj energiji [11].

### 2.2.1. BILANCA ENERGIJE U APSORPCIJSKOM SUSTAVU HLAĐENJA

Bilanca energije u apsorpcijskom sustavu hlađenja prikazana je jednačinom 1. U generatoru ( $Q_G$ ) i isparivaču ( $Q_E$ ) energija ulazi u sustav, a izlazi iz apsorbera ( $Q_A$ ) i kondenzatora ( $Q_C$ ).

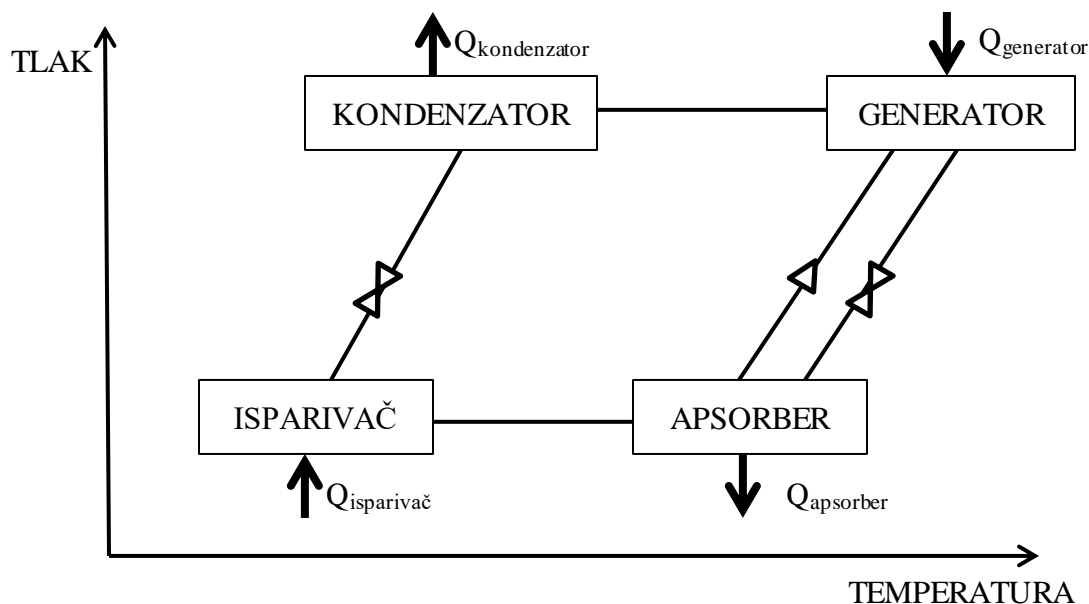
$$Q_G + Q_E = Q_A + Q_C \quad (1)$$

Jednostupanjski proces se definira pomoću koeficijenta učinkovitosti COP (Coefficient Of Performance) na način:

$$COP = \frac{Q_E}{Q_G} \quad (2)$$

COP predstavlja omjer ulazne energije u isparivaču ( $Q_E$ ) i ulazne energije u generatoru ( $Q_G$ ) [14].

Komponente apsorpcijskog sustava hlađenja mogu se prikazati i *Dhuringovim dijagramom* koji opisuje proces hlađenja pomoću temperature i tlaka svake komponente i njihove pozicije unutar sustava zajedno sa prijenosom energije u okoliš (slika 2.5.). Iz apsorbera i kondenzatora toplina izlazi iz sustava, a ulazi u sustav kroz generator i isparivač [10].



2.5. Dühringov dijagram za jednostupanjski apsorpcijski sustav [10]

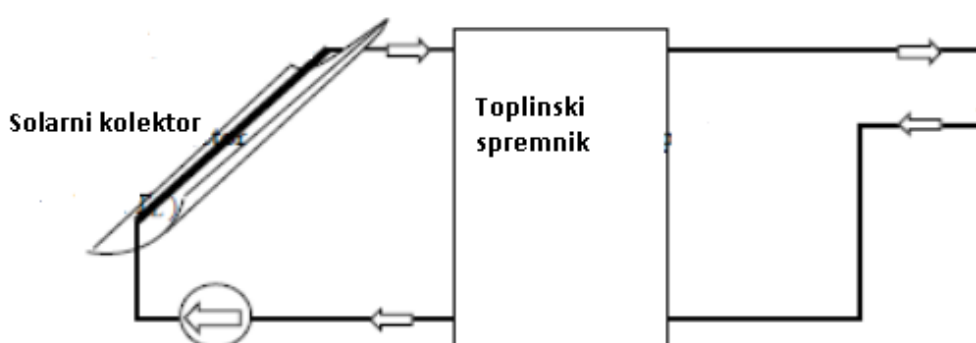
U generatoru, odvija se proces uklanjanja rashladnog sredstva iz radnog fluida uvođenjem topline  $Q_G$  iz solarnog kolektora pomoću fluida koji se skladišti u toplinskom spremniku. Rezultat tog procesa je nastajanje pare rashladnog sredstva koja se razdvaja u generatoru i zatim odlazi u kondenzator. Ostatak otopine u tekućem stanju (apsorbent) odlazi u apsorber kako bi apsorbirao rashladnu paru iz isparivača. Otpuštanje topline ( $Q_C$ ) i kondenzacijski proces pare rashladnog sredstva odvija se unutar kondenzatora, a to rezultira tekućom fazom rashladnog sredstva. Rashladno sredstvo u tekućoj fazi prolazi kroz ekspanzijski ventil, gdje dolazi do smanjenja tlaka i ulazi u isparivač. U isparivaču se odvija isparavanje rashladnog sredstva pomoću topline ( $Q_I$ ) koja se uvodi u isparivač. Nastaje para rashladnog sredstva na niskoj temperature koja je u tom trenutku spremna za korištenje u svrhu hlađenja. Dio rashladnog sredstva koji nije ispario odlazi u apsorber. U apsorberu dolazi do ponovnog miješanja apsorbenta i pare rashladnog sredstva gdje se nastala otopina vraća u početno tekuće stanje i pomoću pumpe vraća se u generator kako bi započeo drugi ciklus apsorpcijskog hlađenja [10,12].

## 2.3. KOMPONENTE SUSTAVA APSORPCIJSKOG HLAĐENJA

### 2.3.1. PARABOLIČKI SOLARNI KOLEKTOR

Parabolički solarni kolektor (slika 2.6.) je vrsta kolektora koja omogućava proizvodnju topline na temperaturi do 400°C za dobivanje vruće vode, grijanja prostora, hlađenja prostorija, proizvodnju pare, industrijskog procesa grijanja. Prijamnik paraboličkog kolektora je linearan [16].

Parabolički kolektor (slika 2.7.) je jednodimenzionalna parabola koja fokusira sunčevo zračenje u linearnu cijev koja je smještena u sredini kolektora. Kroz linearnu cijev prolazi fluid koji apsorbira toplinu sunčevog zračenja. To je proces sakupljanja energije na maloj površini prijemnika koji omogućava povećanje intenziteta sunčevog zračenja pomoću koncentracijskog faktora. Linearna cijev (slika 2.8.), odnosno prijemnik smješten je unutar staklene cijevi koja ima ulogu izolatora kako bi se smanjio konvektivni gubitak topline iz prijemnika, a i time reducirao koeficijent gubitka topline. Staklena cijev ima antireflektirajući premaz zbog poboljšanja prijenosa topline. Kako bi se poboljšala učinkovitost kolektora i smanjenje konvektivnog gubitka topline je smanjenje prostora između staklene cijevi i prijemnika [15,16,17,18].



Slika 2.6. Prikaz solarnog kolektora i dijagram toka fluida unutar solarnog sustava hlađenja [18].

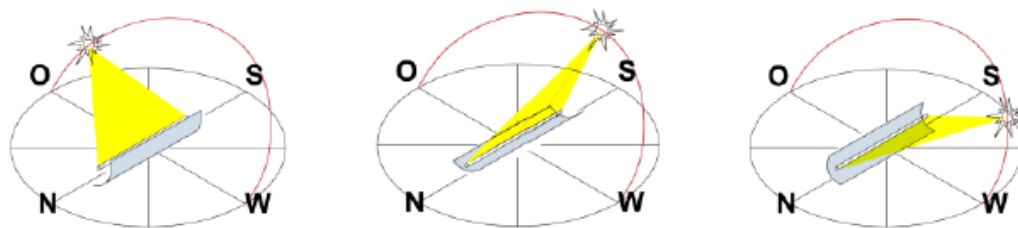


Slika 2.7. Presjek i shema paraboličog kolektora; parabolički kolektor sastoji se od parabole, mehanizma za praćenje i prijemnika [16].



Slika 2.8. Prikaz linearne cijevi odnosno prijemnika unutar staklene cijevi [17].

Orijentacija kolektora može biti u smjeru istok-zapad, prateći Sunce od sjevera prema jugu ili u smjeru sjever-jug (slika 2.9.) prateći Sunce od istoka prema zapadu. Prednost načina za praćenje je minimalno podešavanje kolektora tijekom dana. Iako je kolektor okrenut prema suncu u podne, njegova učinkovitost tijekom ranih i kasnijih sati u danu smanjena je zbog kuta upada zraka. Kolektori orijentirani u smjeru sjever-jug imaju veliki kut upada zraka u podne, a najmanji u jutarnjim i večernjim satima kada je Sunce na istoku ili zapadu [15,16,17].



Slika 2.9. Prikaz rotacije kolektor u smjeru sjever-jug [17].

U periodu od jedne godine, pomoću horizontalnih kolektora orijentiranih u smjeru sjever-jug postiže se veća količina energije nego kod kolektora orijentiranih u smjeru istok-zapad. Međutim, kolektori orijentirani smjeru sjever-jug postižu veću količinu energije u ljetnom razdoblju, ali tijekom zimskog razdoblja ta količina energije je smanjena. Kolektori orijentirani u smjeru istok-zapad postižu konstantnu količinu energije tokom cijele godine. Zbog tog razloga odabir orijentacije kolektora uobičajeno ovisi o njegovoj primjeni i o količini potrebne energije tokom cijele godine [15,16,17].

### 2.3.2. TOPLINSKI SPREMNIK

Uloga toplinskog spremnika u sustavu solarnog hlađenja je uravnoteženje proizvedene količine topline u sunčevom kolektoru i količine koja je potrebna za hlađenje. U sustavu solarnog hlađenja integrirane su dvije vrste spremnika. Spremnik s toplom vodom (slika 2.6.) nalazi se između solarnog kolektora i apsorpcijskog izmjenjivača. Spremnik s hladnom vodom (slika 2.10.) nalazi se između apsorpcijskog izmjenjivača i ventilokonvektora, a služi za skladištenje i prijenos hladne vode. Funkcije spremnika s toplom vodom su sljedeće:

- 1) Koristi se za skladištenje topline,
- 2) Omogućuje produljenje radnih sati pomoćnih toplinskih uređaja,
- 3) Smanjuje toplinski kapacitet pomoćnih toplinskih uređaja.



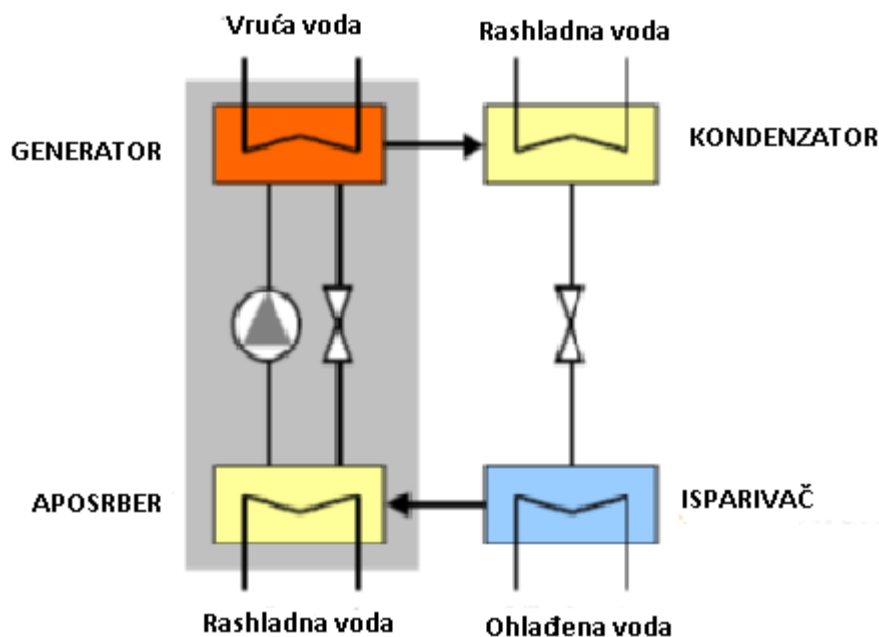


Slika 2.10. Na slici je prikazan spremnik s hladnom vodom [19].

Cilj toplinskog spremnika ujedno je i održavanje temperaturne razlike između radnog i apsorpcijskog izmjenjivača. Kako bi se to održavanje temperature postiglo, medij na izlazu iz spremnika miješa se s vodom na okolišnoj temperaturi ili s vodom koja izlazi iz generatora. Također, važan aspekt spremnika je njegova termalna izolacija radi sprječavanja gubitka topline u sustavu solarnog hlađenja [19].

### 2.3.3. IZMJENJIVAČ TOPLINE U SUSTAVU APSORPCIJSKOG HLAĐENJA

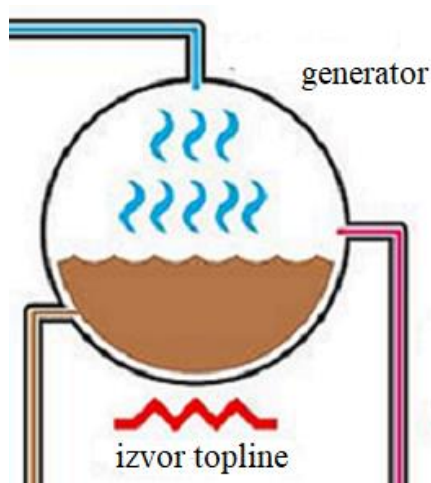
Izmjenjivač topline (slika 2.12.) sastoji se od generatora, kondenzatora, ekspanzijskog ventila, isparivača, rashladnog tornja, apsorbera i pumpe. Termalna kompresija rashladnog sredstva postiže se pomoću izvora topline i rashladne apsorpcijske otopine. Za rashladno sredstvo iznad  $0^{\circ}\text{C}$  u klima uređajima, uobičajeno se koristi otopina  $\text{LiBr}/\text{H}_2\text{O}$ . Rashladni učinak baziran je na isparavanju rashladnog sredstva u isparivaču na niskom tlaku. Dobivena rashladna para apsorbira se i miješa se s koncentriranom otopinom (apsorbent) u apsorberu gdje dolazi do ponovnog razrjeđenja  $\text{LiBr}/\text{H}_2\text{O}$  otopine. Otopina se kontinuirano dovodi u generator pomoću ekspanzijskog ventila gdje se regeneracija otopine postiže uvođenjem topline u sustav. Rashladno sredstvo se kondenzira pomoću vode za hlađenje u kondenzatoru i pomoću ekspanzijskog ventila vraća se natrag isparivač [19,20].



Slika 2.12. Princip rada izmjenjivača topline u apsorpcijskom sustavu hlađenja.

### 2.3.3.1. GENERATOR

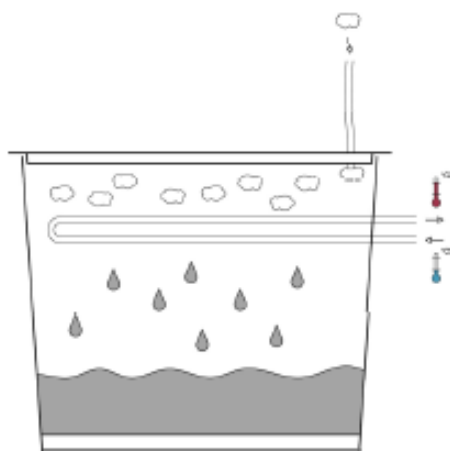
Generator je uređaj u kojem se odvija prijenos topline i razdvaja rashladno sredstvo i apsorvent. Proces isparavanja rashladnog sredstva iz otopine LiBr/H<sub>2</sub>O (slika 2.14) omogućen je prijenosom topline, te tim procesom rashladno sredstvo prelazi u zasićenu paru i odlazi u kondenzator. Prilikom isparavanja rashladnog sredstva, dolazi do zasićenja otopine (apsorbenta) koja se razdvaja i odlazi u apsorber [12,20].



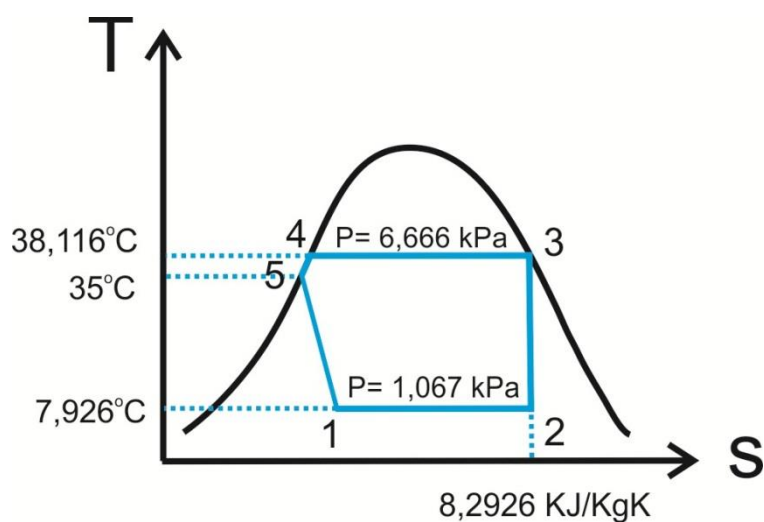
Slika 2.14. Princip rada generatora [19].

### 2.3.3.2. KONDENZATOR

U kondenzatoru se odvija proces kondenzacije i odvođenja topline (Slika 2.15.). Rashladna voda iz rashladnog tornja prolazi cijevima kroz kondenzator kako bi se omogućio prijenos topline i kondenzacija zasićene pare rashladnog sredstva na dnu kondenzatora na niskom tlaku i temperaturi. U trenutku kondenzacije dolazi do blagog pada temperature od točke 4 do točke 5 kao što je prikazano na slici 2.16. Zasićena otopina rashladnog sredstva iz kondenzatora odlazi u ekspanzijski ventil [14,20,21].



Slika 2.15. Princip rada kondenzatora [20].



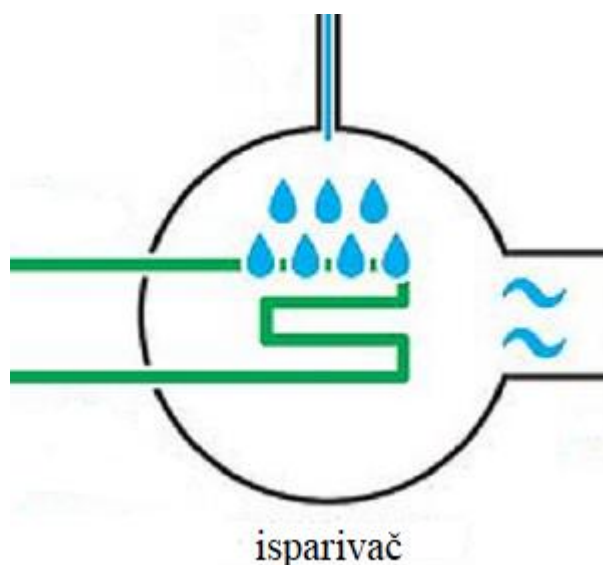
Slika 2.16. T-s dijagram kondenzatora [21].

### 2.3.3.3. ESKPANZIJSKI VENTIL

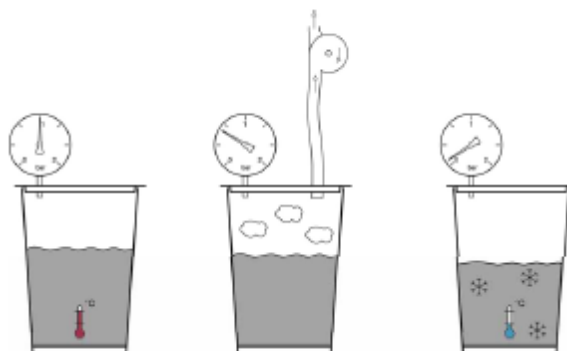
Otopina rashladnog sredstva prolazi kroz ekspanzijski ventil u isparivač. U ekspanzijskom ventilu dolazi do pada tlaka otopine i adijabatske ekspanzije. Smanjenje tlaka uzrokuje isparavanje male količine otopine rashladnog sredstva kako bi se postigla temperatura koja je potrebna za proces hlađenja. Tijekom ekspanzije dolazi do promjene specifičnog volumena otopine. Nastala smjesa otopine rashladnog sredstva i pare pri nižem tlaku i temperaturi odlazi u isparivač [14,20,21].

### 2.3.3.4. ISPARIVAČ

Isparivač (slika 2.18.) je uređaj u kojem se odvija prijenos topline između okolišnog zraka i otopine rashladnog sredstva. Na niskom tlaku, toplina iz okolišnog zraka prelazi na zasićenu otopinu rashladnog sredstva. Prijenosom topline dolazi do isparavanja zasićene otopine rashladnog sredstva i promjene temperature. Također, kod procesa isparavanja dolazi do nastanka zasićene pare rashladnog sredstva na niskom tlaku i temperaturi koja zatim odlazi u apsorber. Na slici 2.18. prikazan je princip rada isparivača [20,21].



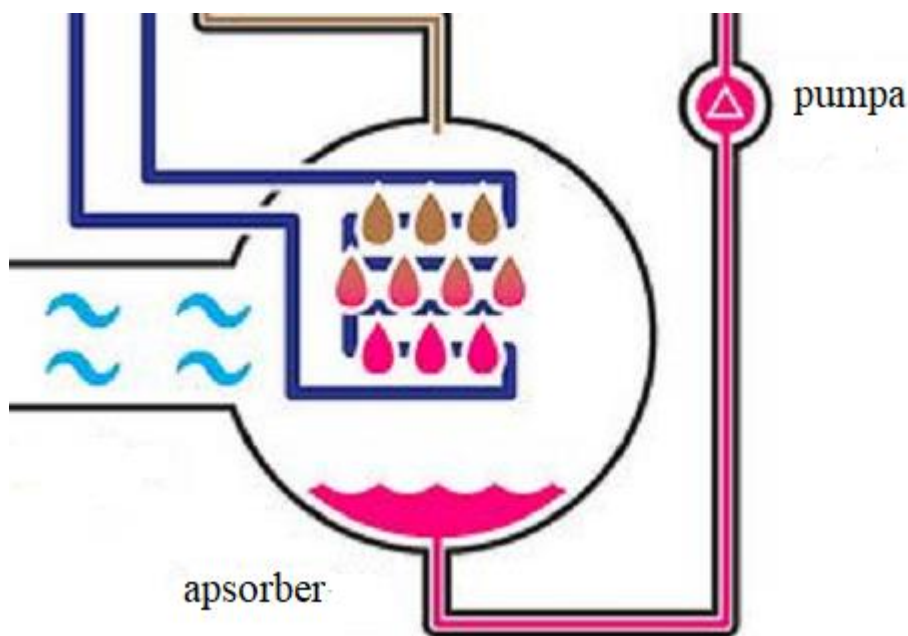
Slika 2.18. Prikaz isparivača u apsorbcijskom sustavu hlađenja [20].



Slika 2.19. Princip rada isparivača [19].

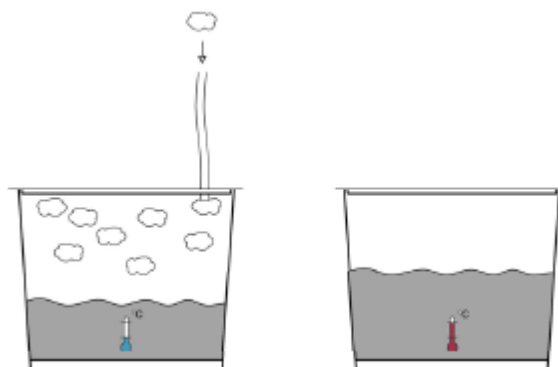
### 2.3.3.5. APSORBER

Općenito, apsorber je najznačajniji dio sistema solarnog hlađenja u kojem se pare apsorbenta i rashladnog sredstva međusobno miješaju. U konkretnom slučaju, para rashladnog sredstva koja ulazi u apsorber, kao što je prikazano na slici 2.20., miješa se sa otopinom LiBr/H<sub>2</sub>O koja se uvodi u apsorber iz generatora. Miješanjem nezasićene otopine LiBr/H<sub>2</sub>O i rashladnog sredstva nastaje početna otopina koja se pomoću ekspanzijskog ventila vraća u generator [21].



Slika 2.20. Prikaz apsorbera i apsorbera u apsorpcijskom sustavu hlađenja [20].

Apsorpcijski proces u apsorberu je egzotermna reakcija u kojoj dolazi do smanjenja tlaka i otpuštanja topline u okoliš. Na slici 2.21. prikazan je princip rada apsorbera [20,21,22].



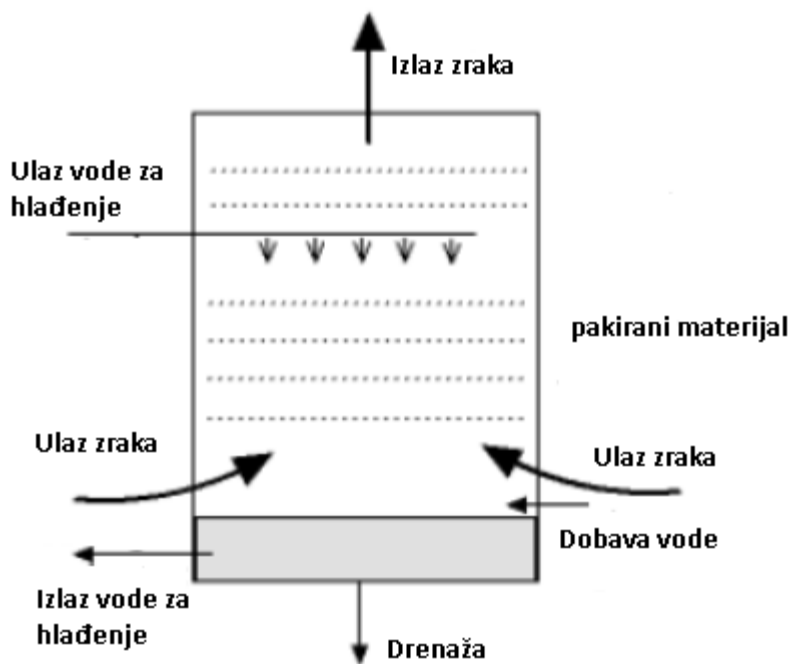
Slika 2.21. Princip rada apsorbera [19].

### 2.3.3.6. PUMPA

Kako bi zasićena otopina  $\text{LiBr}/\text{H}_2\text{O}$  iz apsorbera došla natrag u generator mora proći kroz pumpu. U pumpi, kao i ekspanzijskom ventilu dolazi do promjene tlaka [21].

### 2.3.3.7. RASHLADNI TORANJ

Rashladni toranj je uređaj u kojem rashladna voda dolazi u kontakt sa okolišnim zrakom kako bi se prenijela otpadna toplota iz rashladnog sredstva (voda) u okoliš. Postoje dva osnovna oblika rashladnog tornja koji se koriste: (i) otvoreni sustav koji je prikazan na slici 2.24. i (ii) zatvoreni sustav. Otvoreni sustav je karakteriziran postojanjem direktnog kontakta između okolišnog zraka i kružnog toka rashladne vode. Kod zatvorenog sustava prisutan je indirektni kontakt između dva fluida preko zidova izmjenjivača topline [19,23].

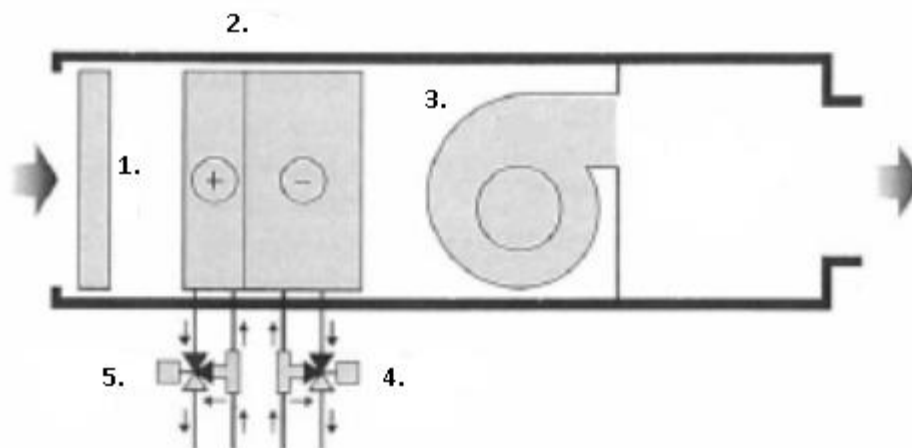


Slika 2.24. Prikaz zatvorenog sustava rashladnog tornja [19].

#### 2.3.4. VENTILOKONVEKTOR

Ventilokonvektor (slika 2.25.) je sustav izmjenjivača topline sa ventilatorom u kojem se odvija kruženje unutarnjeg zraka kroz koji prolazi rashladni medij. Proizvodnja rashladnog medija odvija se u izmjenjivaču topline. U osnovi postoje dvije vrste sustava koje su dostupne na tržištu:

- 1) Ventilokonvektor sa dvije cijevi : jedna cijev se koristi za dobavu rashladnog medija, a druga cijev za povratak rashladnog medija u izmjenjivač topline. Sustav ima samo jednu funkciju hlađenja ili grijanja.
- 2) Ventilokonvektor sa 4 cijevi: sustav je opremljen sa 2 neovisna ventilokonvektora, jedan je uređaj za hlađenje, a drugi za grijanje [19].



- |               |                       |
|---------------|-----------------------|
| 1. Filter     | 4. Ventil za hlađenje |
| 2. Zavojnice  | 5. Ventil za grijanje |
| 3. Ventilator |                       |

Slika 2.25. Shematski prikaz ventilokonvektora sa 4 cijevi [21].

### 2.3.5. FLUDI U SUSTAVU APSORPCIJSKOG HLAĐENJA

U paraboličkom kolektoru, radni fluid za prijenos topline je smjesa vode i propilen glikola. Postotak glikola u otopini ovisi o :

- 1) Minimalnoj godišnjoj vanjskoj temperaturi zraka kako bi se omogućila adekvatna zaštita od smrzavanja,
- 2) Maksimalnoj radnoj temperaturi sustava kako bi se osigurala visoka temperatura na kojoj ne bi došlo do oštećenja radnog fluida.

Raspon temperature procesa baziran na okolišnim uvjetima i radnoj temperaturi iznosi  $-30^{\circ}\text{C}$  do  $200^{\circ}\text{C}$ . Omjer radnog fluida je 50/50 smjesa propilen glikola i vode. Maksimalna radna temperatura smjese voda/propilen glikol je u rasponu od  $110^{\circ}\text{C}$  do  $200^{\circ}\text{C}$  za sustave u kojima nema tlaka. Rezultat korištenja 100% propilen glikola je sprječavanje smrzavanja fluida na niskim temperaturama, zatim smanjenje tlaka na visokim temperaturama i smanjenje mogućnosti pojave korozije. Međutim, jedini



nedostatak korištenja 100% propilen glikola je visoka viskoznost na niskim temperaturama. Termalna svojstva smjese vode i propilen glikola dana je u tablici 1. Volumni udio propilen glikola u smjesi propilen glikola i vode je 50% [15].

Tablica 1. Karakteristike smjese vode i propilen glikola (50/50)

| Svrha                           | Hlađenje   | Grijanje |
|---------------------------------|------------|----------|
| Prosječna temperatura (°C)      | 150        | 75       |
| Tlak (bar)                      | max 10 bar | 1 atm    |
| Temperatura smrzavanja (°C)     | -34        |          |
| Specifična toplina (kJ/kgK)     | 3.9        | 3.75     |
| Gustoća (kg/m <sup>3</sup> )    | 1000       | 995      |
| Termalna konduktivnost (kJ/hmK) | 1.40       | 1.35     |
| Dinamička viskoznost (kg/mh)    | 1.332      | 4.14     |

U spremniku za skladištenje tople i hladne vode tijekom sezone hlađenja i grijanja, radni fluid koji se koristi je voda, a njezine karakteristike nalaze se u tablici 2 [15].

Tablica 2. Karakteristike radnog fluida u spremnicima.

| Svrha                           | Hlađenje               | Grijanje |
|---------------------------------|------------------------|----------|
| Fluid                           | Voda                   |          |
| Prosječna temperatura (°C)      | 15                     | 30       |
| Tlak (bar)                      | Sustav nije pod tlakom |          |
| Specifična toplina (kJ/kgK)     | 4.184                  | 4.183    |
| Gustoća (kg/m <sup>3</sup> )    | 999.1                  | 995.7    |
| Termalna konduktivnost (kJ/hmK) | 2.0772                 | 2.1708   |
| Dinamička viskoznost (kg/mh)    | 14.0968                | 2.8718   |

U izmjenjivaču topline najčešće se koriste dva para radnih fluida. Prvi radni par fluida je NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O u kojem amonijak ima ulogu rashladnog sredstva, a voda otapala. Drugi radni par fluida je LiBr/H<sub>2</sub>O. U tom radnom fluidu uloga vode je rashladno sredstvo dok je LiBr otapalo.

Apsorpcijski sustavi koji koriste amonijak i vodu često se koriste za hlađenje i industrijske procese, dok sustavi koji koriste LiBr/H<sub>2</sub>O pogodniji su više za svrhu klimatizacije zraka.

Većina sustava koji se koriste danas su jednostupanjski procesi bazirani na paru fluida LiBr/H<sub>2</sub>O. Prednosti smjese LiBr/H<sub>2</sub>O u usporedbi sa smjesom NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O i vode su :

- 1) Omogućava viši COP,
- 2) Radna temperature je u rasponu  $70^{\circ}\text{C}$  -  $88^{\circ}\text{C}$ ,
- 3) Jednostavna izvedba sustava u odnosu na sustav gdje se primjenjuje smjesa  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$
- 4) Radna temperature sustava sa smjesom amonijaka i vode je  $90^{\circ}\text{C}$  -  $180^{\circ}\text{C}$ , a COP je nizak na niskim temperaturama,
- 5) Amonijak je štetan plin za okoliš i zbog toga ima ograničenu primjenu,
- 6) Sustavi sa smjesom  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$  rade na visokom tlaku te zbog toga zahtijevaju pumpe velike snage.

Jedini nedostaci sustava sa smjesom  $\text{LiBr}/\text{H}_2\text{O}$  je :

- 1) Kristalizacija  $\text{LiBr}$  na visokoj koncentraciji,
- 2) Rashladno sredstvo u sustavu ne može se koristiti za postizanje niže temperature hlađenja zbog njezinog smrzavanja dok sustavi sa amonijakom i vodom mogu postići temperature ispod  $0^{\circ}\text{C}$  i zbog toga su pogodni za hlađenje,
- 3) Korozivnost na radnoj temperature od oko  $140^{\circ}\text{C}$ .

U sustavima sa smjesom  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$  razlika u točki vrenja amonijaka i vode je samo 133 K i pri isparavanju amonijaka uvijek nastaje vodena para koja se mora posebno odvojiti u plinskom separatoru [17,24, 25].

U procesu rashladno sredstvo dolazi u dvije faze kao tekuća faza i vodena para. U obliku vodene pare, njezine karakteristike su određene termodinamičkim stanjem (3):

$$X = \frac{y - y_l}{y_v - y_l} \quad (3)$$

gdje  $y$  može biti specifična entalpija, specifična entropija ili specifični volumen,  $y_l$  je iznos specifičnog svojstva u zasićenom tekućem stanju i  $y_v$  je iznos specifičnog svojstva zasićene vodene pare.

U T-s dijagramu, iznos masenog protoka, snage kondenzatora i snage apsorbera određuje se jednadžbama (4), (5) i (6) [14]:

$$\dot{m}_{(H_2O)} = \frac{Q_c}{h_2 - h_1} \quad (4)$$

$$\dot{Q}_C = \dot{m}_{(H_2O)}(h_{c(v)} - h_{5(l)}) \quad (5)$$

$$\dot{Q}_C = \dot{m}_{(H_2O)}(h_{c(v)} - h_{5(l)}) \quad (6)$$

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

Da bi pokazali kako sustav apsorpcijskog hlađenja radi u praksi odabran je poslovni prostor tvrtke Shimadzu d.o.o.

#### 3.1. POSLOVNI PROSTOR SHIMADZU D.O.O.

Poslovni prostor (slika 3.1.) nalazi se u poslovnom kompleksu Zavrtnica (slika 3.2.). Poslovni objekt dijeli se na 4 lokacijska objekta unutar poslovnog centra Zavrtnica, a to su objekt 16, objekt 17, objekt 18 i objekt 21.



Slika 3.1. Poslovni prostor Shimadzu [25].



Slika 3.2. Situacija poslovnog kompleksa.

Svaki lokacijski objekt u sklopu poslovnog prostora podijeljen je u dva osnovna dijela :

- 1) Uredski prostor,
- 2) Skladište.

U tablicama 3.1.,3.2. i 3.3. prikazana je površina poslovnog prostora po lokacijskim objektima. Poslovni objekt 18 je uredski prostor koji pripada lokacijskom objektu 21. Ukupna površina poslovnog prostora iznosi 1.406,3 m<sup>2</sup>, a od toga uredskom prostoru pripada 837.76 m<sup>2</sup>, a skladištu 568.55 m<sup>2</sup>.

Tablica 3.1. površina poslovnog objekta 16.

| Poslovni objekt 16 | m <sup>2</sup> |
|--------------------|----------------|
| Uredski proctor    | 92,69          |
| Skladište          | 178,69         |

Tablica 3.2. površina poslovnog objekta 17.

| Poslovni objekt 17 | m <sup>2</sup> |
|--------------------|----------------|
| Uredski proctor    | 639,76         |
| Skladište          | 185,56         |

Tablica 3.3. površina poslovnog objekta 18

| Poslovni objekt 18 | m <sup>2</sup> |
|--------------------|----------------|
| Uredski proctor    | 105,31         |
| Skladište          | 204,30         |

### 3.2. ODREĐIVANJE POTREBE ZA ENERGIJOM HLAĐENJA

Način proračuna potrebne energije za hlađenje zasniva se na tome da se najprije odredi energija koliko svaki objekt troši. U tom smislu, prosječne mjesečne potrošnje energije poslovnih objekata dobivene od strane predmetne tvrtke nalaze se u tablici 3.4. za ljetno razdoblje 2016. (svibanj, lipanj, srpanj, kolovoz, rujan).

Tablica 3.4. Energetska potrošnja za ljetno razdoblje 2016. godine.

| Poslovni<br>Objekt | Svibanj,<br>kWh | Lipanj,<br>kWh | Srpanj,<br>kWh | Kolovoz,<br>kWh | Rujan,<br>kWh |
|--------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|---------------|
| Objekt 16          | 243             | 146            | 480            | 224             | 193           |
| Objekt 17          | 3242            | 4446           | 5606           | 4405            | 3806          |
| Objekt 18          | 236             | 249            | 448            | 292             | 239           |
| Objekt 21          | 286             | 335            | 611            | 337             | 309           |
| Ukupna potrošnja   | 4007            | 5176           | 7145           | 5258            | 4547          |

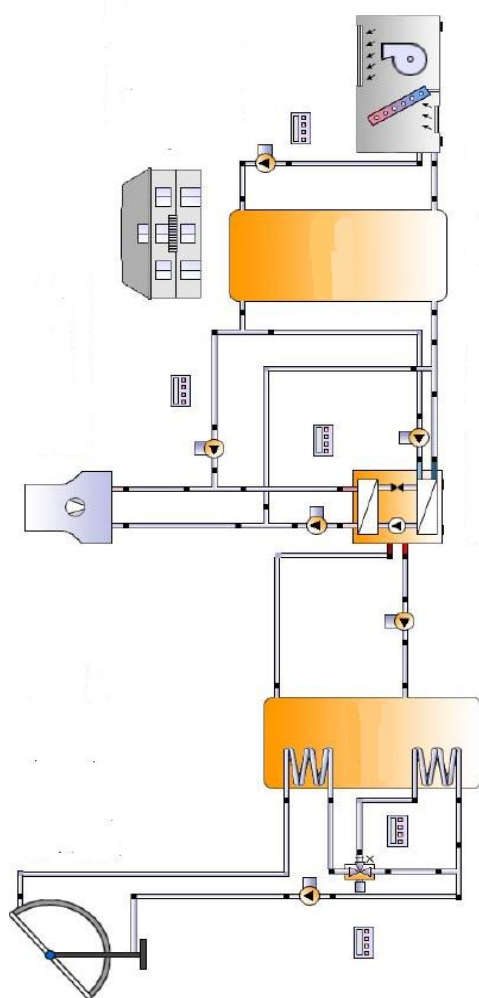
Kako bi se smanjila energetska potrošnja u ljetnom razdoblju za poslovni prostor, trenutni sustav hlađenja zamijenio bi sustav apsorpcijskog hlađenja pomoću solarnih paraboličkih kolektora.

### 3.3. KOMPLETNI SUSTAV POSLOVNOG OBJEKTA SHIMADZU

Predloženi model apsorpcijskog sustava hlađenja pomoću paraboličkih kolektora za poslovni prostor napravljen je korištenjem demo verzije simulacijskog programa „Polysun“.

#### 3.2.1. OPIS SUSTAVA ZA HLAĐENJE

Za razvijanje apsorpcijskog sustava u simulacijskom programu „Polysun“ odabran je predložak koji se sastoji od paraboličkog kolektora, spremnik tople vode, izmjenjivač topline, rashladni toranj, spremnik hladne vode i ventilokonvektora (Slika 3.5.).



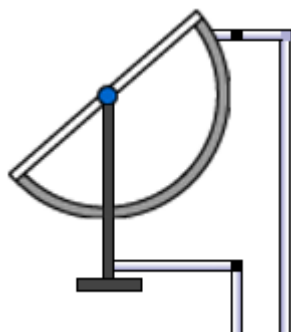
Slika 3.5. Odabrani predložak sustava apsorpcijskog hlađenja u programu „Polysun“.

### 3.2.2. KOLEKTOR

U apsorpcijskom sustavu odabran je parabolički kolektor [2.3.1] Absolicon X10 -10m. U tablici 3.5. nalaze se karakteristike parabličkog kolektora (slika 3.6.).

Tablica 3.5. Karakteristike paraboličkog kolektora.

|   |        |
|---|--------|
| Ukupna površina kolektora ( m <sup>2</sup> )    | 10.91  |
| Ukupna apertura kolektora ( m <sup>2</sup> )    | 10.37  |
| Ukupna apsorpcijska površina ( m <sup>2</sup> ) | 0.7    |
| Broj kolektora                                  | 1      |
| Iskorištenje polja kolektora (kWh)              | 2,419  |
| Iradijacija na površinu kolektora (kWh)         | 12,986 |
| Učinkovitost kolektora (%)                      | 18.6   |



Slika 3.6. Prikaz paraboličkog kolektora u programu „Polysun“.

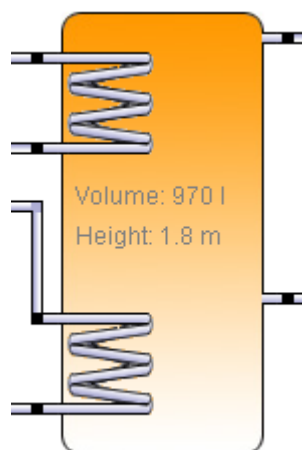


### 3.2.2. ODABIR SPREMNIKA

U apsorpcijskom sustavu koriste se dvije vrste spremnika [2.3.2]. Prvi spremnik koristi se za skladištenje tople vode (slika 3.7.), a drugi za skladištenje hladne vode (slika 3.8.). Karakteristike spremnika navedeni su u tablicama 3.6. i 3.7.

Tablica 3.6. karakteristike spremnika s toplom vodom.

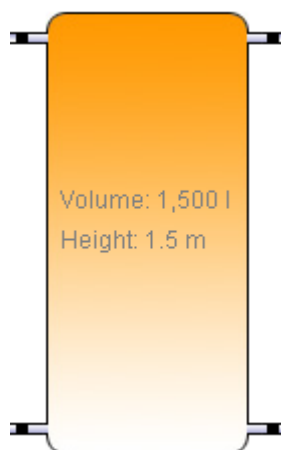
|                                  |      |
|----------------------------------|------|
| Volumen ( L )                    | 970  |
| Visina ( m )                     | 1.8  |
| Izolacija ( mm )                 | 130  |
| Gubitak topline ( kWh )          | 96   |
| Gubitak zbog povezanosti ( kWh ) | 96.4 |



Slika 3.7. Prikaz spremnika s toplom vodom u programu „Polysun“.

Tablica 3.7. Karakteristike spremnika s hladnom vodom.

|                        |       |
|------------------------|-------|
| Volumen ( L )          | 1500  |
| Visina ( m )           | 1.5   |
| Izolacija ( mm )       | 130   |
| Gubitak topline ( kWh) | 175.2 |



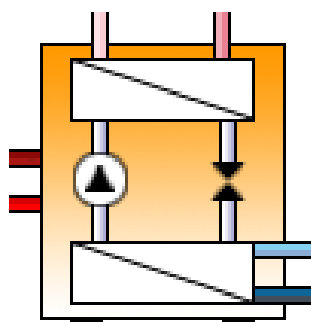
Slika 3.8. Prikaz hladnog spremnika u programu „Polysun“.

### 3.2.2. IZMJENJIVAČ TOPLINE

U programu „Polysun“ odabran je model izmjenjivača topline [2.3.3.] (slika 3.9.) snage 80 kW čije se karakteristike nalaze u tablici 3.8.

Tablica 3.8. Karakteristike apsorpcijskog izmjenjivača.

| Tip   | Jednostupanjski efekt |
|---|-----------------------|
| Rashladno sredstvo                            | LiBr/H <sub>2</sub> O |
| Koeficijent rashladnog učinka                 | 0.75                  |
| Snaga hlađenja ( kW )                         | 83                    |
| Maseni protok otopine ( kg/s )                | 0,51                  |
| Temperatura ohlađene vode na ulazu ( °C )     | 15                    |
| Temperatura ohlađene vode na izlazu ( °C )    | 9                     |
| Protok ohlađene vode ( L/h )                  | 12000                 |
| Temperatura vode za hlađenje na ulazu ( °C )  | 27                    |
| Temperatura vode za hlađenje na izlazu ( °C ) | 32                    |
| Protok vode za hlađenje ( L/h )               | 33400                 |
| Temperatura vruće vode na ulazu ( °C )        | 86                    |
| Temperatura vruće vode na izlazu ( °C )       | 71                    |
| Protok vruće vode ( L/h )                     | 6400                  |



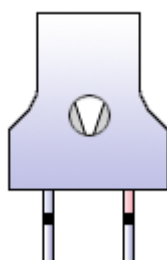
Slika 3.5. Prikaz izmjenjivača topline u programu „Polysun“.

### 3.2.3. RASHLADNI TORANJ

U apsorpcijskom sustavu odabran je rashladni toranj [2.3.4.] (slika 3.10.) srednje veličine kojem su glavne karakteristike prikazane u tablici 3.9.

Tablica 3.9. karakteristike rashladnog tornja.

|   |       |
|---|-------|
| Kapacitet hlađenja ( kW )                     | 200   |
| Protok vode za hlađenje ( L/h )               | 33400 |
| Protok zraka ( L/s )                          | 9000  |
| Temperatura vode za hlađenje na ulazu ( °C )  | 32    |
| Temperatura vode za hlađenje na izlazu ( °C ) | 27    |
| Maksimalna snaga ventilatora ( kW )           | 4     |



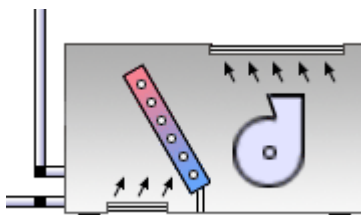
Slika 3.10. Prikaz rashladnog tornja u programu „Polysun“.

### 3.2.4. VENTILOKONVEKTOR

Potreban broj ventilokonvektora [2,3,5] (slika 3.11.) prema izračunu u programu Polysun je 15. Glavne karakteristike ventilokonvektora nalaze se u tablici 3.10.

Tablica 3.10. glavne karakteristike ventilokonvektora.

|   |                    |
|---|--------------------|
| Tip sustava                                   | sustav sa 4 cijevi |
| Snaga hlađenja ( W )                          | 1500               |
| Protok vode ( L/h )                           | 214.3              |
| Protok zraka ( L/h )                          | 50                 |
| Temperatura vode za hlađenje na ulazu ( °C )  | 6                  |
| Temperatura vode za hlađenje na izlazu ( °C ) | 12                 |
| Temperatura zraka na ulazu ( °C )             | 27                 |
| Temperatura zraka na izlazu ( °C )            | 10                 |



Slika 3.11. Prikaz ventilokonvektora u programu „Polysun“.

## 4. REZULTATI I RASPRAVA

### 4.1. REZULTATI

U ovom poglavlju prezentirani su rezultati simulacije apsorpcijskog sustava. Za odabir najboljeg modela apsorpcijskog sustava, opisanog u poglavlju 3.2.1., napravljene su četiri simulacije u kojima su mijenjani apsorpcijski izmjenjivači topline.

U 1. modelu odabran je apsorpcijski izmjenjivač snage 80kW, a rashladni toranj snage 200 kW. U 2. modelu apsorpcijski izmjenjivač ima snagu 140 kW, a rashladni toranj 400 kW. U 3. modelu apsorpcijski izmjenjivač ima snagu 140 kW, a rashladni toranj 200 kW. U 4. modelu apsorpcijski izmjenjivač ima snagu 80 kW, a rashladni toranj 400 kW.

U tablici 4.1. nalaze se rezultati ukupne potrošnje električne energije ili goriva, ukupne potrošnje energije, učinka sustava, primarnog faktora energije i potražnja za energijom za simulaciju sva 4 modela. Rezultati pokazuju da je ukupna potrošnja energije najmanja u modelu 1, a najveća u modelu 4. Učinak sustava za model 1 i 3 iznosi 1,39, a za model 3 i 4 0,8. Primarni faktor energije za model 1 i 3 iznosi 0,72, a za model 2 i 4 1,24. U svim simulacijskim modelima potražnja za energijom je pokrivena.

Tablica 4.1. Rezultati ukupne potrošnje energije i učinkovitost sustava za 1. godinu.

| Simulacijski model                             | Model 1   | Model 2   | Model 3   | Model 4   |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Ukupna potrošnja el. energije ili goriva (kWh) | 29620     | 62393     | 29621     | 62275     |
| Ukupna potrošnja energije (kWh)                | 41062     | 50124     | 41076     | 50097     |
| Učinak sustava                                 | 1,39      | 0,8       | 1,39      | 0,8       |
| Primarni faktor energije                       | 0,72      | 1,24      | 0,72      | 1,24      |
| Potražnja za energijom                         | pokrivena | pokrivena | pokrivena | pokrivena |

U tablici 4.2. prikazan je pregled rezultata solarne termalne energije na kolektorima za sva 4 simulacijska modela u 1. godini, Površina kolektora u sva 4 simulacijska modela iznosi 10.9 m<sup>2</sup>. Rezultati pokazuju da nema velike razlike solarne termalne energije koja dolazi na kolektore za sva 4 simulacijska modela.

Tablica 4.2. Pregled rezultata solarne termalne energije na kolektorima za sva 4 simulacijska modela.

| Model  | 1     | 2      | 3      | 4      |
|--|-------|--------|--------|--------|
| Ukupna godišnja proizvodnja energije iz kolektora (kWh)                                    | 2419  | 2419.3 | 2420.4 | 2414.5 |
| Proizvodnja energije kolektora prema površini aperture kolektora (kWh/m <sup>2</sup> /god) | 233.3 | 233.3  | 233.4  | 232.8  |
| Proizvodnja energije kolektora prema bruto površini kolektora (kWh/m <sup>2</sup> /god)    | 221.7 | 221.8  | 221.8  | 221.8  |

U tablici 4.3. prikazani su rezultati učinkovitosti izmjenjivača topline za sva 4 simulacijska modela. Najmanji dobiveni koeficijent hlađenja je modelu 3, a najveći dobiveni je u modelu 4. Najveći prinos energije hlađenja i toplina dobivena pomoću generatora je u modelu 1, a najmanji prinos energije hlađenja i toplina dobivena pomoću generatora su u modelu 4.

Tablica 4.3. Učinkovitost izmjenjivača topline za sva 4 simulacijska modela.

| Model                                    | 1    | 2     | 3    | 4    |
|--|------|-------|------|------|
| Koeficijent učinkovitosti hlađenja       | 0,65 | 0,64  | 0,57 | 0,72 |
| Proizvodnja energije hlađenja (kWh)      | 0,7  | 0.004 | 0.5  | 0,01 |
| Toplina dobivena pomoću generatora (kWh) | 1.14 | 0,01  | 0,94 | 0,01 |

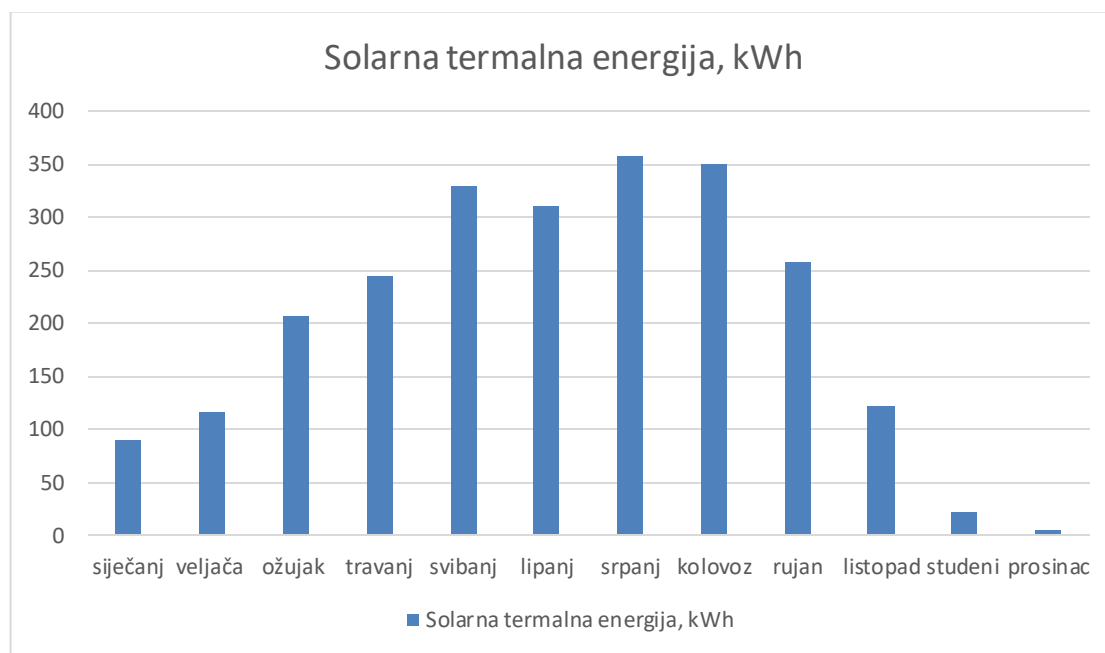
#### 4. Rezultati i rasprava

U tablici 4.4. prikazani su rezultati termalne učinkovitosti i prijenos topline u okoliš za sva 4 simulacijska modela. Rezultati pokazuju da je najveća postignuta termalna učinkovitost u modelu 1, a najmanja u modelu 4.

Tablica 4.4. Termalna učinkovitost i prijenos topline u okoliš.

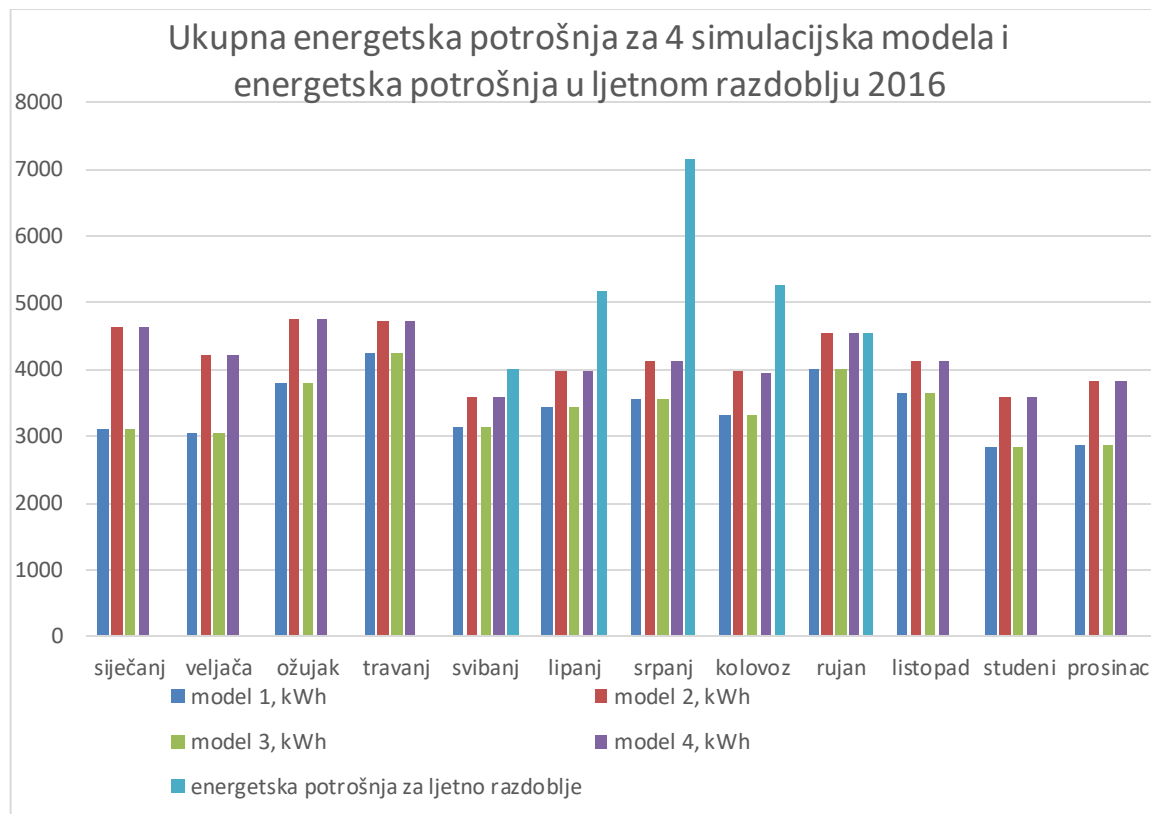
| Model                           | 1     | 2      | 3     | 4     |
|---------------------------------|-------|--------|-------|-------|
| Prijenos topline u okoliš (kWh) | 44404 | 53,458 | 44387 | 53518 |
| Termalna učinkovitost (%)       | 90.03 | 77.58  | 90.02 | 77.49 |

Solarna termalna energija koja ulazi u sustav za sva 4 simulacijska modela je iste vrijednosti i nalazi se u grafičkom prikazu 4.1. Najveći iznos solarne termalne energije koja ulazi u sustav postignuta je u srpnju i kolovozu.



4.1. Grafički prikaz solarne termalne energije koja ulazi u sustav za sva 4 simulacijska modela.

Ukupna energetska potrošnja za sva 4 simulacijska modela nalazi se u grafičkom prikazu 4.2. Prikazana energetska potrošnja u ljetnom razdoblju (svibanj-rujan) za 2016. godinu je veća od dobivene energetske potrošnje za sva 4 simulacijska modela.



4.2. Grafički prikaz ukupne energetske potrošnje za sva 4 simulacijska modela i usporedba sa energetskom potrošnjom za ljetno razdoblje 2016.



## 4. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan simulacijski sustav apsorpcijskog hlađenja pomoću solarnih paraboličkih kolektora. Sustav se sastoji od: paraboličkih kolektora, spremnika tople vode, apsorpcijskog izmjenjivača, rashladnog tornja, spremnika hladne vode i ventilokonvektora. Analiziran je konkretan slučaj primjene za poslovni prostor i pri tome je cijela analiza rađena u programskom paketu „Polysun“ koji uključuje relevantne aspekte predmetnog problema, odnosno: solarno zračenje, temperaturu zraka, varijabilnu potrošnju energije i različite konfiguracije sustava. Promatrana su 4 modela apsorpcijskog sustava. Dobiveni rezultati pokazuju da sustav zadovoljava toplinsku potrebu za energiju u ljetnom razdoblju. U usporedbi sa postojećim sustavom hlađenja, pokazano je da su relativno velike razlike u potrošnje energije te da je potrošnja energije u ljetnom periodu značajno smanjena. Sustavi apsorpcijskog hlađenja pomoću solarnih paraboličkih kolektora su relativno većih investicijskih ulaganja, ali sam period povrata investicije i nije tako dug i kreće se između 5-10 godina.

## 5. LITERATURA

- [1] Ming Qu, Hong Yin, David H.Archer, A solar thermal cooling and heating system for a building: Experimental and model based performance analysis and design, *Solar Energy* 84, Pages 166-182, 2010
- [2] Uberto Desideri, Stefania Proietti, Paolo Sdringola, Solar-powered cooling systems: Technical and economic analysis on industrial refrigeration and air-conditioning applications, *Applied Energy* 86, Pages 1376-1386, 2009
- [3] Soteris A. Kalogirou, Solar thermal collectors and applications, *Progress in Energy and Combustion Science* 30, Pages 231-295, 2004
- [4] Tiago Mateus, Armando C.Oliviera, Energy and economic analysis of an integrated solar absorption cooling and heating system in different building types and climates, *Applied Energy* 86, Pages 949-957, 2009
- [5] Soltigua brochure, A new horizon for solar energy
- [6] Y.J. Dai, X. Li, E.Q. Dai, Solar air conditioning: ideas and practices in China, Solar Energy Research Center, Institute of Refrigeration and Cryogenics, Shanghai Jiao Tong University
- [7] Daniel Kunz, M. Heinz, Christian Soltmann, Patent landscape report on solar cooling technologies, World Intellectual Property Organization, Swiss Federal Institute of Intellectual Property, 2012
- [8] P. Coroyannakis, Theocharis Tsoutsos, Zacharias Gkouskos, Stefano Rugginenti, Salvatore Castaldo, Solar cooling: Overview and Recommendations, SOLCO project, Intelligent energy – Europe
- [9] M.H. Hennig, Solar cooling position paper, International Energy Agency, Solar Heating & Cooling Programme Task 38, 2011
- [10] Tesha, Absorption refrigeration system as an integrated condenser cooling unit in a geothermal power plant , Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Iceland, Reykjavik, 2009
- [11] <http://upgrade-energy.com/hr/tehnologije/apsorpcijsko-hladenje/>
- [12] D.S. Kim, Infante Ferreira, Solar refrigeration options – a state-of-the-art review, *International journal of refrigeration* 31, Pages 3-15, 2008
- [13] G.A. Florides, S.A. Tassou, S.A. Kalogirou, L.C. Wrobel, Review of solar and low energy cooling technologies for buildings, *Renewable & Sustainable energy Reviews* 6, Pages 557-572, 2002

- [14] D.S. Pamuji, F.R. Salis, L. Zahrif, System design of solar absorption cooling : A case study in building of engineering physics department UGM, ISSN 2413-5453 Volume 2, Pages 22-29, 2015
- [15] S.V. Masson, Ming Qu, David H. Archer, Performance modeling of a solar thermal system for cooling and heating in Carnegie Mellon university`s intelligent workplace, School of Arhitecture, Center for Building Performance and Diagnostics, Carnegie Mellon University, Pittsburgh 2007
- [16] S.A. Kalogirou, Parabolic trough collectors for industrial process heat in Cyprus, Mechanical Engineering Department, Cyprus, Energy 27, Pages 813-830, 2002
- [17] R. Shantha de Silva, Kalinga, Adaptation of solar energy driven absorption chillers for air conditioning in commercial building, KTH School of Industrial Engineering and Management, Stockholm, 2013
- [18] S.A. Kalogirou, G. Panayiotou, Evaluation of a parabolic through collector preformance
- [19] M.M. Fernandez, Solar cooling of buildings in a Swedish climate, Faculty of engineering and sustainable development, Department of Building, energy and Environmental Engineering, University of Gavle, 2014
- [20] R.Z. Wang, T.S. Ge, C.J. Chen Ma, Q.Z. Xiong, Solar sorption cooling systems for residential applications: Options and guidelines, International Journal of Refrigeration, Volume 32, Issue 4, Pages 638-660, 2009
- [21] Paolo Corrada, Low temperature solar cooling system with absorption chiller and desiccant wheel, Doctoral thesis, Queensland University of Technology, 2015
- [22] Stefan Bader, Solar cooling used for solar air conditioning - a clean solution for a big problem, University of Texas, School of Arhitecture, Austin
- [23] L.C. Haw, K. Sopian, Y. Sulaiman, An overview of solar assisted air-conditioning system application in small office buildings in Malaysia, Solar energy Reasearch Institute, University Kebangsaan Malaysia, Malaysia, 2009
- [24] Y. Dutil, D. Rouse, A review of active solar cooling technologies, École de technologie supérieure, Department de genie mecanique, Francuska,
- [25] U. Eicker, Solar technologies for buildings, University of Applied Sciences, Stuttgart, Germany, 2001
- [26] Shimadzu d.o.o. Croatia, Analytical and Measuring Instruments

