

Primjena dizalice topline voda-voda pri rekonstrukciji hotela Hvar

Maruševac, Tena

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:533579>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-09**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Tena Maruševac

Zagreb, 2017. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo, dipl. ing.

Student:

Tena Maruševac

Zagreb, 2017. godina.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Vladimiru Soldi na pruženoj stručnoj pomoći i potpori prilikom izrade ovog rada.

Također bih se zahvalila Katedri za energetska postrojenja i energetiku, a naročito prof. dr. sc. Nevenu Duiću i asistentu Borisu Čosiću što su pokazali vjeru u mene te time doprinijeli uspješnom završetku mog studiranja.

Dodatne zahvale idu svim prijateljima i kolegama uz čiju pomoć i društvo je polaganje kolegija bilo lakše i zabavnije.

Za kraj, najveće hvala mojoj obitelji, mami Cvetki, tati Mariju, sestri Donni, bratu Denisu i dečku Ninu koji su mi pružili bezuvjetnu potporu i ljubav te dijelili sa mnom svaku moju muku tijekom studija.

Tena Maruševac



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomске ispite
Povjerenstvo za diplomске ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur. broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Tena Maruševac** Mat. br.: 0035185989

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Primjena dizalice topline voda-voda pri rekonstrukciji hotela Hvar**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Application of Water-to-Water Heat Pump in Reconstruction of Hotel Hvar**

Opis zadatka:

Hotel Hvar u Jelsi korisne površine 8072 m² grije se uljnim kotlom. Zgrada je svrstana u energetska razred D. Postojeći sustav grijanja hotela planira se zamijeniti korištenjem obnovljivih izvora energije. Zbog blizine mora, jedna od mogućnosti je korištenje dizalice topline koja morsku vodu koristi kao izvor i ponor topline.

U radu je potrebno analizirati isplativost ugradnje dizalice topline na morsku vodu za grijanje i hlađenje hotela, te mogućnost svrstavanja hotela u zgrade gotovo nulte energije.

Rad treba sadržavati:

1. Pregled legislativne u području dizalica topline s naglaskom na zahvat morske i podzemne vode.
2. Godišnju potrebnu toplinsku energiju za grijanje i hlađenje.
3. Izračun sezonske učinkovitosti dizalice topline.
4. Tehno-ekonomsku analizu primjene dizalice topline za grijanje i hlađenje hotela.
5. Hidrauličku shemu spajanja dizalice topline voda-voda.

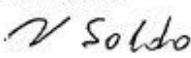
U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
28. rujna 2017.

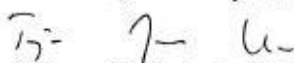
Datum predaje rada:
30. studenog 2017.

Predviđeni datum obrane:
6., 7. i 8. prosinca 2017.

Zadatak zadao:


Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

Predsjednica Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	VI
POPIS OZNAKA	VII
SAŽETAK.....	XI
SUMMARY	XII
1. UVOD.....	1
1.2. Stanje u Republici Hrvatskoj	6
1.3. Poticaji	9
2. DIZALICE TOPLINE	11
2.1. Radna tvar [19].....	13
2.2. Način rada dizalice topline voda - voda.....	14
2.3. Ogrjevna tijela sustava dizalice topline – ventilokonvektori.....	15
2.4. Uvjeti korištenja vode	16
2.5. Standardni zahvati vode – zatvorena petlja, otvorena petlja i bunar.....	19
2.6. Infiltracija.....	20
2.7. Proizvodnja potrošne tople vode (PTV) pomoću dizalice topline	21
3. GRIJANJE I HLAĐENJE HOTELA HVAR DIZALICOM TOPLINE.....	23
3.1. Opis hotela	23
3.2. Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje	25
3.3. Ulazni podaci proračuna	25
3.4. Proračunske zone	28
3.5. Proračun godišnje potrebne toplinske energije za grijanje $Q_{H,nd}$	28
3.5.1. Izmijenjena toplinska energija transmisijom	29
3.5.2. Potrebna toplinska energija za ventilaciju	34

3.5.3. Ukupni toplinski dobici za proračunski period	36
3.5.4. Faktor iskorištenja toplinskih dobitaka	38
3.6. Rezultati proračuna godišnje potrebne toplinske energije za grijanje $Q_{H,nd}$	39
4. IZRAČUN SEZONSKE UČINKOVITOSTI DIZALICE TOPLINE	42
4.1. Energetski certifikator [27]	42
4.2. Rezultati dobiveni programom.....	42
5. TEHNO – EKONOMSKA ANALIZA	46
5.1. Troškovi sustava grijanja	46
5.2. Troškovi sustava hlađenja.....	48
5.3. Rezultati tehničko – ekonomske analize	48
6. ZAKLJUČAK.....	54

POPIS SLIKA

Slika 1	Karta klimatskih uvjeta	5
Slika 2	Granice sustava.....	5
Slika 3	Pravni akti vezani uz iskorištavanje površinskih i podzemnih voda [10]	8
Slika 4	Priobalne vode u Republici Hrvatskoj [11].....	9
Slika 5	Sustav dizalice topline – ljevokretni proces [19]	11
Slika 6	Prikaz procesa dizalice topline u T,s dijagramu [20]	12
Slika 7	Monovalentni rad dizalice topline [21]	15
Slika 8	Kvalitativan prikaz djelotvornosti i raspoloživosti izvora topline [21].....	15
Slika 9	Podni ventilokonvektor [22].....	16
Slika 10	Srednja temperatura mora po mjesecima [20].....	17
Slika 11	Srednja temperatura zraka po mjesecima [20]	17
Slika 12	Usporedba kretanja temperatura mora i zraka tijekom godine [20]	18
Slika 13	Otvorena petlja (lijevo) i zatvorena petlja (desno) [17]	19
Slika 14	Bunar na obali	20
Slika 15	Sustav infiltracije [24]	21
Slika 16	Zimski režim rada sustava dizalice topline s pripremom PTV-a	22
Slika 17	Satelitski snimak hotela [25]	23
Slika 18	Hotel Hvar, Jelsa [26].....	24
Slika 19	Različite izvedbe poda.....	32
Slika 20	Raspodjela potrebne toplinske energije za grijanje po mjesecima.....	41
Slika 21	Energetski razred C	41
Slika 22	Potrebna toplinska energija dobivena programom	42
Slika 23	Programom definirani zahtjevi na termotehnički sustav	43
Slika 24	Definiran podsustav predaje topline.....	43
Slika 25	Ukupna potrebna toplinska energija bez gubitaka dobivena programom	44
Slika 26	Ukupno potrebna električna energija i SPF dobiveni programom	44

Slika 27	Cijena bunara i razvoda vode do dizalice topline u ovisnosti o učinku [28].....	47
Slika 28	Vizualni prikaz ekonomske analize.....	51

POPIS TABLICA

Tablica 1	Zadane vrijednosti H_{HP} i konzervativne zadane SPF vrijednosti za električne dizalice topline	3
Tablica 2	Zadane vrijednosti za H_{HP} i SPF za dizalice topline s pogonom na termalnu energiju	4
Tablica 3	Poželjna svojstva radne tvari	14
Tablica 4	Toplinske karakteristike elementa ovojnice	25
Tablica 5	Srednja dozračena sunčeva energija za proračunski period u mjesecima [MJ/m^2]	26
Tablica 6	Koeficijent transmisivne izmjene topline od grijanog prostora prema vanjskom	30
Tablica 7	Vanjska temperatura zraka po mjesecima	31
Tablica 8	Periodička dubina prodiranja ovisno o vrsti tla	34
Tablica 9	Unutarnji toplinski dobici po mjesecu	36
Tablica 10	Toplinska energija za grijanje iskazana po mjesecima	40
Tablica 11	Tehno – ekonomska analiza – glavni scenarij	50
Tablica 12	Tehno – ekonomska analiza – scenarij 1	52
Tablica 13	Tehno – ekonomska analiza – scenarij 2	53

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

2017-01 Hidraulička shema dizalice topline voda - voda

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
η	-	Učinkovitost energetskeg sustava
Q_{usable}	GWh	Pocijenjena ukupna uporabljiva energija iz dizalica topline
$\epsilon_{gr,G} (SPF)$	-	Faktor sezonske učinkovitosti
E_{res}	GWh	Energija dobivena tehnologijama dizalica topline
H_{HP}	h	Ekvivalent sati rada pod punim opterećenjem
P_{rated}	GW	Kapacitet instaliranih dizalica topline, koji uzima u obzir životni vijek različitih vrsta dizalica topline
$E_{S_fan/pump}$	kWh	Energija potrebna za rad ventilatora i/ili pumpe koja omogućuje protok rashladnog sredstva
E_{HW_hp}	kWh	Energija potrebna za rad same dizalice topline
E_{bt_pump}	kWh	Energija potrebna za rad pumpe koja omogućava protok radog medija koji apsorbira energiju okoline
E_{HW_bu}	kWh	Energija potrebna za rad dodatnog grijača
$E_{B_fan/pump}$	kWh	Energija potrebna za rad ventilatora i/ili pumpe koja omogućava protok sredstva koji daje konačnu uporabljivu toplinu
Q_{H_hp}	kWh	Toplina dobivena od dizalice topline korištena za grijanje prostora
Q_{W_hp}	kWh	Toplina dobivena od dizalice topline korištena za grijanje potrošne tople vode
Q_{HW_bu}	kWh	Toplina dobivena od dodatnog grijača
E_{RES}	kWh	Aerotermaalna, geotermaalna ili hidrotermaalna obnovljiva energija (izvor topline) zahvaćena dizalicom topline
$\epsilon_{gr}(COP)$	-	Toplinski množitelj, faktor grijanja
Φ_{kond}	W	Učinak kondenzatora
P_{el}	W	Električna snaga kompresora
Φ_{isp}	W	Učinak isparivača
ΣQ_{DT}	kWh/god	Ukupna godišnje proizvedena toplinska energija
ΣE	kWh/god	Ukupna godišnje utrošena električna energija
$Q_{H,nd,cont}$	kWh	Potrebna toplinska energija za grijanje pri kontinuiranom radu

$Q_{H,ht}$	kWh	Ukupno izmijenjena toplinska energija u periodu grijanja
$Q_{H,gn}$	kWh	Ukupni toplinski dobitci zgrade u periodu grijanja
$\eta_{H,gn}$	-	Faktor iskorištenja toplinskih dobitaka
ϑ_{int}	°C	Unutarnja proračunska temperatura
A_{zid}	m ²	Površina zidova prema vanjskom zraku
A_{pr}	m ²	Površina ostakljenja
A_g	m ²	Površina poda prema tlu
A_K	m ²	Korisna površina zgrade
V_e	m ³	Bruto obujam, obujam grijanog dijela zgrade
V	m ³	Neto obujam, obujam grijanog dijela zgrade u kojem se nalazi zrak
f	-	Udio ploštine prozora u ukupnoj ploštini pročelja
Q_{Tr}	kWh	Izmijenjena toplinska energija transmisijom za proračunsku zonu
Q_{Ve}	kWh	Potrebna toplinska energija za ventilaciju/klimatizaciju za proračunsku zonu
$\eta_{H,gn}$	-	Faktor iskorištenja toplinskih dobitaka
Q_{int}	kWh	Unutarnji toplinski dobitci zgrade
Q_{sol}	kWh	Toplinski dobitci od Sunčeva zračenja
H_{Tr}	W/K	Koeficijent transmisijske izmjene topline proračunske zone
H_{Ve}	W/K	Koeficijent ventilacijske izmjene topline proračunske zone
$\vartheta_{int,H}$	°C	Unutarnja postavna temperatura grijane zone
$\vartheta_{e,m}$	°C	Srednja vanjska temperatura za proračunski period
t	h	Trajanje proračunskog razdoblja
$\Phi_{m,g}$	W	Toplinski tok izmjene topline s tlom za proračunski mjesec
H_D	W/K	Koeficijent transmisijske izmjene topline prema vanjskom okolišu
$H_{g,m}$	W/K	Koeficijent transmisijske izmjene topline prema tlu za proračunski mjesec
Φ_m	W	Toplinski tok izmjene topline s tlom za proračunski mjesec

$\vartheta_{int,m}$	°C	Unutarnja postavna temperatura za proračunski mjesec
$\vartheta_{e,m}$	°C	Srednja vanjska temperatura za proračunski mjesec
H_g	W/K	Stacionarni koeficijent transmisije izmjene topline prema tlu
H_{pi}	W/K	Unutarnji periodički koeficijent transmisije izmjene topline
H_{pe}	W/K	Vanjski periodički koeficijent transmisije izmjene topline
$\bar{\vartheta}_{int}$	°C	Srednja godišnja unutarnja temperatura
$\bar{\vartheta}_e$	°C	Srednja godišnja vanjska temperatura
$\vartheta_{int,m}$	°C	Unutarnja temperatura za proračunski mjesec m
m	-	Broj mjeseci
B'	m	Karakteristična dimenzija poda
P	m	Ukupna dužina vanjskih zidova koji odvajaju grijani prostor od vanjskog okoliša
d_t	m	Ekvivalentna debljina poda
w	m	Ukupna debljina zida
R_{si}	m ² K/W	Toplinski otpor podne konstrukcije
R_{se}	m ² K/W	Plošni vanjski toplinski otpor
δ	m	Periodička dubina prodiranja
$Q_{Ve,inf}$	kWh	Potrebna toplinska energija uslijed infiltracije vanjskog zraka
$Q_{Ve,win}$	kWh	Potrebna toplinska energija uslijed prozračivanja
$Q_{H,Ve,mech}$	kWh	Potrebna toplinska energija u GViK sustavu kod zagrijavanja zraka
n_{inf}	h ⁻¹	Broj izmjena zraka uslijed infiltracije
n_{50}	h ⁻¹	Broj izmjena zraka pri narinutoj razlici tlaka od 50 Pa
e_{wind}, f_{wind}	-	Faktori zaštićenosti zgrade od vjetra
n_{win}	h ⁻¹	Broj izmjena zraka uslijed otvaranja prozora
q_{spec}	W/m ²	Specifični unutarnji dobitak po m ² korisne površine
$Q_{sol,k}$	kWh	Srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz k-ti građevni dio u grijani prostor

$F_{sh,ob}$	-	Faktor zasjenjena od vanjskih prepreka direktnom upadu sunčevog zračenja
$S_{S,k}$	MJ/m ²	Srednja dozračena energija sunčevog zračenja na površinu građevnog dijela k za promatrani period
$A_{sol,k}$	m ²	Efektivna površina građevnog elementa (otvora, zida) k
$F_{r,k}$	-	Faktor oblika između otvora k i neba
$\Phi_{r,k}$	W	Toplinski tok zračenjem od površine otvora k prema nebu
g_{gl}	-	Ukupna propusnost Sunčeva zračenja okomito na ostakljenje kada pomično zasjenjenje nije uključeno
$F_{sh,gl}$	-	Faktor smanjenja zbog sjene pomičnog zasjenjenja
F_F	-	Udio ploštine prozorskog okvira u ukupnoj površini
a_H	-	Bezdimenzijski parametar ovisan o vremenskoj konstanti
y_H	-	Omjer toplinskih dobitaka i ukupne izmijenjene topline
τ	h	Vremenska konstanta zgrade
$\tau_{H,o}$	h	Referentna vremenska konstanta za grijanje
C_m	J/K	Efektivni toplinski kapacitet grijanog dijela zgrade
ϕ	kW	Toplinski učinak dizalice topline
$T_{distrib,DT}$	kn	Cijena za grijanje/hlađenje ventilokonvektorima
$T_{van,jed.}$	kn	Ukupna cijena vanjskih jedinica VRV sustava
$N_{van,jed.}$	-	Broj vanjskih jedinica VRV sustava
$C_{van,jed.}$	kn	Cijena vanjske jedinice VRV sustava
$T_{un,jed.}$	kn	Ukupna cijena unutarnjih jedinica VRV sustava
$N_{un,jed.}$	-	Broj unutarnjih jedinica VRV sustava
$C_{un,jed.}$	kn	Cijena unutarnje jedinice VRV sustava
T_{instal}	kn	Ukupna cijena instalacije VRV sustava
C_{instal}	kn	Cijena instalacije unutarnje jedinice VRV sustava
T_{VRV}	kn	Ukupna cijena VRV sustava

SAŽETAK

Diplomski rad prikazuje sve bitne faze kroz koje se prolazi prilikom instalacije dizalice topline. Najprije se daje pregled legislative u području dizalica topline, a potom predstavlja proračun dizalice topline voda – voda za grijanje i hlađenje hotela Hvar u Jelsi. Također, ukratko je objašnjen proračun godišnjeg faktora učinkovitosti pomoću računalnog programa Energetski certifikator te je naposljetku izvršena tehno – ekonomska analiza.

Pregled legislative uključuje odluku o utvrđivanju smjernica za države članice o izračunu obnovljive energije iz različitih tehnologija dizalica topline u skladu s člankom 5. Direktive 2009/28/EZ Europskog parlamenta i Vijeća, pregled hrvatskih zakona vezanih uz iskorištavanje voda te pregled dosadašnjih poticaja za obnovljive izvore.

Potrebna toplinska energija za grijanje određuje se prema normi HRN EN ISO 13790. Proračunom je dobivena ukupna godišnja toplinska energija za grijanje zgrade u iznosu od 677704 kWh, odnosno 84 kWh/(m²god) što hotel svrstava u energetski razred C.

Izračun sezonske učinkovitosti dizalice topline pomoću programa Energetski certifikator vrši se na način da se u program unose karakteristike hotela. Na temelju dobivenih podataka program proračunava potrebnu toplinsku energiju za grijanje, što se kasnije koristi za proračunavanje termotehničkog sustava. Dobivena sezonska učinkovitost (SPF) dizalice topline je 4,01.

Provedena energetsko-ekonomska analiza dizalice topline voda-voda koja ukazuje na izrazito visoke investicijske troškove sustava. Usprkos tome, kako hotel trenutno nema rashladni sustav, dizalica topline pokazala se kao isplativije rješenje u odnosu na VRV sustav.

Ključne riječi: dizalica topline voda – voda, zahvat morske vode, sezonski faktor učinkovitosti

SUMMARY

Paper presents all the essential phases for the installation of heat pump. First, legislative review of heat pumps is given and then the calculation of water to water heat pump system for heating and cooling in hotel Hvar, Jelsa. A calculation of seasonal performance factor using a computer program “Energetski certifikator” is briefly explained, and finally techno – economic analysis is provided.

Legislative review includes establishing the guidelines for Member States on calculating renewable energy from heat pumps from different heat pump technologies pursuant to Article 5 of Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council. Croatian laws which regard the usage of water and renewable energy stimulus are also a subject of this paper.

Required thermal energy for heating is determined by the HRN EN ISO 13970 norm. Total thermal energy required for facade heating was determined to be 677704 kWh or 84 kWh/m²a, putting the hotel energy efficiency to category C.

To determine the heat pump efficiency using software „Energetski certifikator“, characteristics of the hotel are inserted into the program and the required thermal energy for heating is given as a result. This result is then used to calculate the thermotechnical system leading to the heat pump seasonal performance factor of 4,01.

Finally, energy-economic analysis of the water to water heat pump was conducted. The analysis showed pronouncedly high investment needs for such a system. Nevertheless, considering the fact that the hotel currently doesn't have a cooling system, heat pump proves to be cost-effective compared to VRV system.

Key words: water to water heat pump, usage of seawater, seasonal performance factor

1. UVOD

Europska unija usmjerena je na kreiranje europskog društva kao kompetitivne, sigurne i energetske učinkovite cjeline, spremne za dostizanje dugoročnog cilja smanjenja emisija stakleničkih plinova. Iz tog je razloga 2014. godine donesena Strategija 2030 čiji je cilj odaslati snažan signal tržištu, poticanjem privatnih investicija u novu energetske infrastrukturu i niskougljične tehnologije. Cilj strategije je smanjenje emisija stakleničkih plinova za 40% u usporedbi s razinama izmjerenim 1990. godine, generiranje najmanje 27% energije iz obnovljivih izvora te postizanje najmanje 27% ušteda u potrošnji energije u usporedbi s „business as usual“ scenarijem [1].

Ukupno 195 zemalja sudjelovalo je 12. prosinca 2015. na međunarodnom političkom skupu održanom u Parizu s idejom da se prvi puta u 20 godina postigne plan djelovanja čiji je cilj globalno zatopljenje ograničiti na razini „znatno manjoj“ od 2°C u usporedbi s predindustrijskim razinama. Postignuti Pariški sporazum okončava strogu podjelu između razvijenih i nerazvijenih zemalja, donosi zajednički okvir te obvezuje države na poduzimanje mjera za smanjenje stakleničkog utjecaja i njihovo jačanje kroz godine. Zemlje sudionici obvezale su se na redovita izvještavanja o nacionalnim razinama emisija i napretku k ostvarenju kreiranih nacionalno determiniranih doprinosa te na prijavu novih ciljeva svakih 5 godina, s jasnim očekivanjima da će novi doprinosi pridonijeti napretku više nego prethodni. Također je dogovoreno da će EU i ostale razvijene zemlje i dalje financirati borbu protiv klimatskih promjena kako bi zemljama u razvoju pomogle smanjiti emisije i zaštititi se od eventualnih mogućih negativnih učinka klimatskih promjena [2]. Opći pozitivni stavovi o Pariškom sporazumu zadržali su se i nakon što je administracija Sjedinjenih Američkih Država donijela odluku o povlačenju iz sporazuma 19. lipnja 2017. Vijeće je tada izrazilo žaljenje zbog odluke administracije SAD-a o povlačenju iz sporazuma, ali je pozdravilo čvrstu predanost drugih zemalja i podsjetilo je na potrebu za rad na provedbi obveza preuzetih u okviru Pariškog sporazuma s velikim naglaskom na pomoći zemljama u razvoju. Odluka o povlačenju iz Pariškog sporazuma nije dobro prihvaćena niti od strane pojedinih saveznih država te je osnovan Klimatski savez sjedinjenih država (eng. *Unated States Climate Alliance*) koji danas broji 14 saveznih država i Puerto Rico što čini više od 36% stanovništva SAD-a [3].

1.1. Legislativa Europske unije za dizalice topline [4]

Dana 1. ožujka 2013. Europska komisija donijela je odluku o utvrđivanju smjernica za države članice o izračunu obnovljive energije iz različitih tehnologija dizalica topline u skladu s člankom 5. Direktive 2009/28/EZ Europskog parlamenta i Vijeća. U prilogu se navode tri parametra koja su nužna za izračun obnovljive energije iz dizalica toplina, a koje je potrebno računati za postizanje ciljeva u pogledu obnovljive energije:

- Učinkovitost energetskeg sustava (η)
- procijenjena ukupna uporabljiva energija iz dizalica topline (Q_{usable});
- „faktor sezonske učinkovitosti” (eng. *Seasonal Performance Factor - SPF*).

Potrebna učinkovitost energetskeg sustava 2010. godine postavljena je na 45,5 %, što predstavlja vrijednost koja će se upotrebljavati do 2020. godine. Direktivom se propisuje da države članice moraju osigurati uzimanje u obzir samo električne dizalice topline sa SPF-om iznad $1,15 \cdot 1/\eta$ odnosno, da bi se dizalica topline smatrala tehnologijom obnovljivih izvora energije mora imati SPF veći od 2,5. U slučaju dizalica topline s pogonom na toplinsku energiju, učinkovitost sustava (η) je 1 te je za takve dizalice topline minimalan potreban SPF kako bi se smatrala obnovljivom energijom, iznosa 1,15.

Metodologija za izračun parametara SPF i Q_{usable} mora biti tehnički izvediva, pristup mora biti pragmatičan i postići ravnotežu točnosti i isplativosti, te se njihovi zadani faktori za utvrđivanje doprinosa obnovljive energije iz dizalica topline određuju na konzervativnoj razini kako bi se smanjio rizik precjenjivanja doprinosa obnovljive energije.

Formula za izračun energije dobivene tehnologijama dizalica topline (E_{res}) je slijedeća:

$$E_{res} = Q_{usable} \cdot \left(1 - \frac{1}{SPF}\right) [GWh] \quad (1)$$

$$Q_{usable} = H_{hp} \cdot P_{rated} \quad (2)$$

Gdje je:

Q_{usable} - procijenjena ukupna uporabljiva energija iz dizalica topline [GWh],

H_{HP} - ekvivalent sati rada pod punim opterećenjem [h],

P_{rated} - kapacitet instaliranih dizalica topline, koji uzima u obzir životni vijek različitih vrsta dizalica topline [GW],

SPF - procijenjeni prosječni faktor sezonske učinkovitosti ($SCOP_{net}$).

Tablica 1 Zadane vrijednosti H_{HP} i konzervativne zadane SPF vrijednosti za električne dizalice topline

		Klimatski uvjeti					
		Toplije klimatsko područje		Prosječno klimatsko područje		Hladnije klimatsko područje	
Izvor energije dizalica topline	Izvor energije i sredstvo distribucije	H_{HP}	SPF ($SCOP_{net}$)	H_{HP}	SPF ($SCOP_{net}$)	H_{HP}	SPF ($SCOP_{net}$)
Aerotermaalna energija	Zrak – zrak	1200	2,7	1770	2,6	1970	2,5
	Zrak – voda	1170	2,7	1640	2,6	1710	2,5
	Zrak – zrak (reverzibilno)	120	2,7	710	2,6	1970	2,5
	Zrak – voda (reverzibilno)	120	2,7	660	2,6	1710	2,5
	Ispušni zrak – zrak	760	2,7	660	2,6	600	2,5
	Ispušni zrak – voda	760	2,7	660	2,6	600	2,5
Geotermaalna energija	Tlo – zrak	1340	3,2	2070	3,2	2470	3,2
	Tlo – voda	1340	3,5	2070	3,5	2470	3,5
Hidrotermalna toplina	Voda - zrak	1340	3,2	2070	3,2	2470	3,2
	Voda - voda	1340	3,5	2070	3,5	2470	3,5

Tablica 2 Zadane vrijednosti za H_{HP} i SPF za dizalice topline s pogonom na termalnu energiju

		Klimatski uvjeti					
		Toplije klimatsko područje		Prosječno klimatsko područje		Hladnije klimatsko područje	
Izvor energije dizalica topline	Izvor energije i sredstvo distribucije	H_{HP}	SPF ($SCOP_{net}$)	H_{HP}	SPF ($SCOP_{net}$)	H_{HP}	SPF ($SCOP_{net}$)
Aerothermalna energija	Zrak – zrak	1200	1,2	1770	1,2	1970	1,15
	Zrak – voda	1170	1,2	1640	1,2	1710	1,15
	Zrak – zrak (reverzibilno)	120	1,2	710	1,2	1970	1,15
	Zrak – voda (reverzibilno)	120	1,2	660	1,2	1710	1,15
	Ispušni zrak – zrak	760	1,2	660	1,2	600	1,15
	Ispušni zrak – voda	760	1,2	660	1,2	600	1,15
Geothermalna energija	Tlo – zrak	1340	1,4	2070	1,4	2470	1,4
	Tlo – voda	1340	1,6	2070	1,6	2470	1,6
Hidrothermalna toplina	Voda - zrak	1340	1,4	2070	1,4	2470	1,4
	Voda - voda	1340	1,6	2070	1,6	2470	1,6

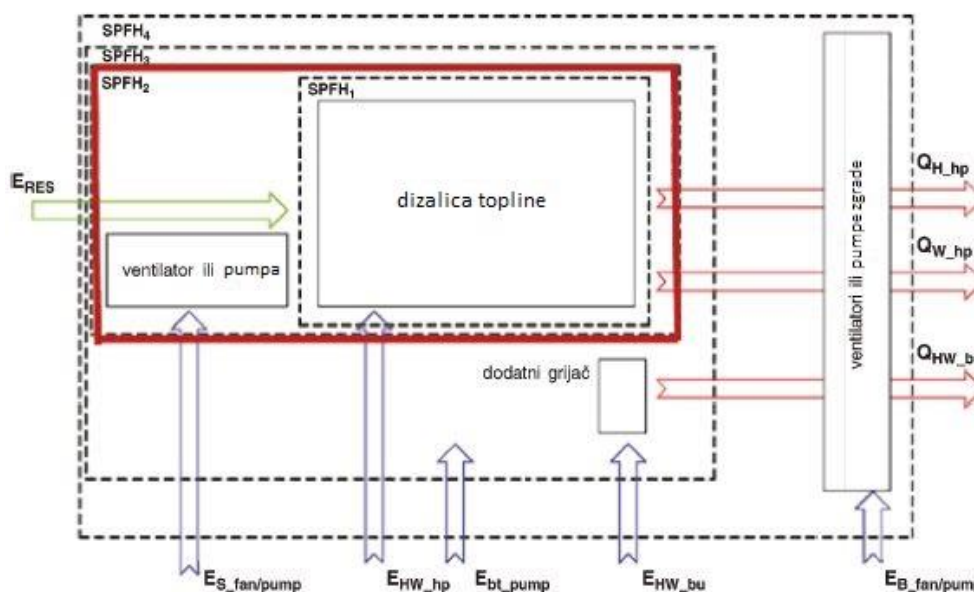
Klimatski uvjeti za očitavanje prethodnih tablica određuju se prema karti na slici 1.



Slika 1 Karta klimatskih uvjeta

U ovom radu riječ je o reverzibilnoj dizalici topline koja ljeti služi za hlađenje, a zimi za grijanje. Budući da su na području Republike Hrvatske potrebe za grijanjem zimi veće nego potrebe za hlađenjem ljeti, nazivni kapacitet odražava potrebe za grijanjem prije nego potrebe za hlađenjem.

Kako bi se moglo točno izračunati SPF određene dizalice topline, potrebno je znati gdje postaviti granice sustava. One se također određuju direktivom kao što je vidljivo na slici 2.



Slika 2 Granice sustava

Značenje kratica na slici su sljedeće:

$E_{S_fan/pump}$ - Energija potrebna za rad ventilatora i/ili pumpe koja omogućuje protok rashladnog sredstva [kWh]

E_{HW_hp} - Energija potrebna za rad same dizalice topline [kWh]

E_{bt_pump} - Energija potrebna za rad pumpe koja omogućava protok radog medija koji apsorbira energiju okoline (nije relevantno za sve dizalice topline) [kWh]

E_{HW_bu} - Energija potrebna za rad dodatnog grijača (nije relevantno za sve dizalice topline) [kWh]

$E_{B_fan/pump}$ - Energija potrebna za rad ventilatora i/ili pumpe koja omogućava protok sredstva koji daje konačnu uporabljivu toplinu [kWh]

Q_{H_hp} - Toplina dobivena od dizalice topline korištena za grijanje prostora [kWh]

Q_{W_hp} - Toplina dobivena od dizalice topline korištena za grijanje potrošne tople vode [kWh]

Q_{HW_bu} - Toplina dobivena od dodatnog grijača (nije relevantno za sve dizalice topline) [kWh]

E_{RES} - Aerotermalna, geotermalna ili hidrotermalna obnovljiva energija (izvor topline) zahvaćena dizalicom topline [kWh]

1.2. Stanje u Republici Hrvatskoj

U Republici Hrvatskoj ne postoje značajni poticaji na državnoj ili lokalnoj razini za proizvodnju toplinske i rashladne energije iz obnovljivih izvora. Situacija je još nepogodnija u slučaju dizalica topline koje kao toplinski izvor koriste površinske ili podzemne vode. U tom slučaju korisnici su primorani plaćati dodatne namete po cijeni od 0,1 HRK/m³ zahvaćene vode.

Zakonom o vodama [5] uređuje se pravni status voda, vodnoga dobra i vodnih građevina, upravljanje kakvoćom i količinom voda, zaštita od štetnih djelovanja voda, detaljna melioracijska odvodnja i navodnjavanje, djelatnosti javne vodoopskrbe i javne odvodnje, posebne djelatnosti za potrebe upravljanja vodama, institucionalni ustroj obavljanja tih djelatnosti i druga pitanja vezana za vode i vodno dobro.

Kada su u pitanju dizalice topline, zakon razaznaje dva različita slučaja. Članak 74. zakona pod korištenjem voda shvaća i zahvaćanje površinskih i podzemnih voda, uključujući izvorske, mineralne i termalne vode za različite namjene kao što su opskrba vodom za piće, stavljanje na tržište u izvornom ili prerađenom obliku u bocama ili drugoj ambalaži, sanitarne i tehnološke potrebe, zdravstvene i balneološke potrebe, grijanje, navodnjavanje i druge namjene. Kasnije,

članak 76. definira da je svakome dopušteno korištenje voda za osobne potrebe na način i u količinama koje ne isključuju druge od jednakog korištenja te se pod takvih korištenjem smatra i zahvaćanje površinske i podzemne vode iz prvog vodonosnog sloja i to za piće, kuhanje, grijane, održavanje čistoće i sanitarne i druge potrebe kućanstva. Takav način korištenja voda je dopušten te za njega ne postoje nikakve naknade. Tumačenjem članka 76. zaključuje se da je crpljenje vode za pogon dizalice topline iz prvog vodenog sloja do 10 m dubine uvršteno pod opće korištenje voda te da za to nije potrebno plaćanje naknade.

S druge strane, Uredba o visini naknade za korištenje voda [6], [7] određuje visinu naknada koje treba plaćati za korištenje voda i njihove korekcijske koeficijente. U članku 5. Uredbe definirano je kako visina naknade za korištenje voda za potrebe grijanja i hlađenja stambenih građevina i poslovnih prostora, osim za termalne i termomineralne vode, iznosi 0,1 HRK/m³ zahvaćene vode.

Načini obračuna i naknade za korištenje voda, obračunska razdoblja, konačni i privremeni obračun naknade, način, rokovi plaćanja i vođenje očevidnika naknade podrobnije se propisuju Pravilnikom o obračunu i naplati naknade za korištenje voda [8]. U članku 3. Pravilnika navedene su jednadžbe prema kojima se izračunava visina naknade za korištenje voda te se naknada koju treba plaćati u slučaju zahvaćanja podzemne ili površinske vode za primjenu u sustavima grijana ili hlađenja određuje jednadžbom:

$$N = N_4 \cdot V_4 \quad (3)$$

pri čemu su:

N - ukupni iznos naknade [HRK]

N₄ - visina naknade prema čl. 5 Uredbe u iznosu od 0,1 HRK/m³

V₄ - ukupna količina zahvaćene vode u obračunskom razdoblju [m³].

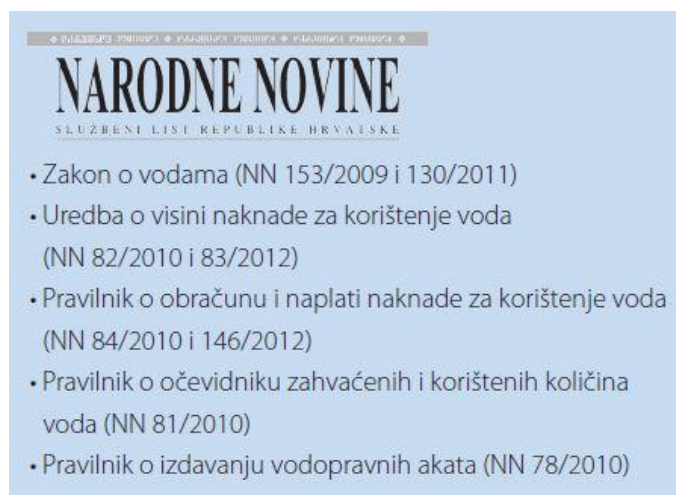
Administrativni postupak koji je potrebno provesti kako bi se naknada mogla plaćati sastoji se od 3 osnovna koraka:

1. ishođenje vodopravnih uvjeta
2. provođenje vodoistražnih radova
3. ishođenje vodopravne dozvole.

Zahtjeve za ishođenje svih koraka podnosi investitor ili druga osoba koju je on ovlastio. Razdoblje potrebno za ishođenje vodopravnih akata prema zakonskom roku iznosi 30 dana, a detaljni opis svakog od akata nalazi se unutar Pravilnika o izdavanju vodopravnih akata [9].

Zakonom o vodama se također uvodi obveza praćenja korištenja voda izvan općih potreba, odnosno obveza vođenja očevidnika o količinama zahvaćene vode te dostavljanja tih podataka Hrvatskim vodama. Ta obveza se šire definira u Pravilniku o očevidniku zahvaćenih i korištenih količina voda [8]. U njegovom članku 2. ističe se kako se količine vode registriraju mjernim uređajem, odnosno vodomjerom, a ako su zahvaćene količine veće od 10000 m³ godišnje potrebna je i oprema za telemetrijski nadzor, prikupljanje, kontrolu i registraciju obračunskih podataka. Očevidnik se mora voditi u električnom obliku i to dnevnoj bazi, uredno i potpuno te se podaci trebaju dostavljati Hrvatskim vodama na odgovarajućem obrascu mjesečno, tromjesečno ili godišnje ovisno o tome da li su količine vode veće od 10 000 m³, 1000 – 10 000 m³ ili su do 1000 m³ godišnje. Pri tome se podaci dostavljaju do 15. dana u prvom sljedećim mjesecu.

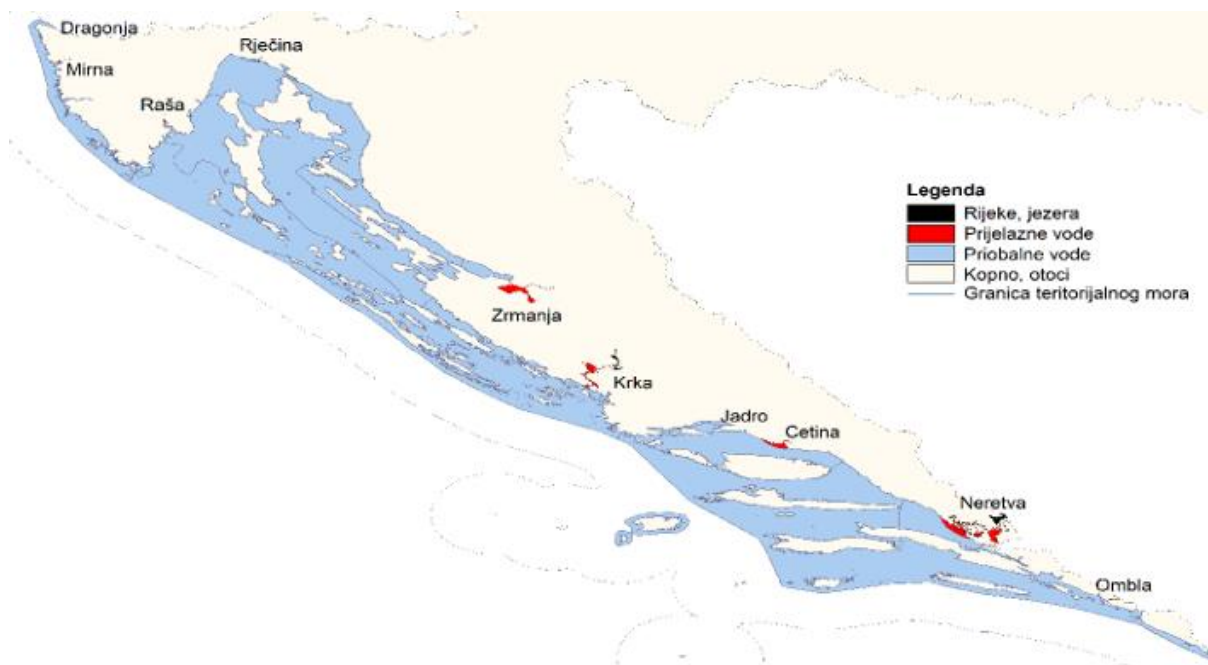
Na slici 3 prikazani su svi zakonski akti kojih se treba pridržavati prilikom izgradnje dizalice topline koje kao izvor topline koriste površinske i podzemne vode.



Slika 3 Pravni akti vezani uz iskorištavanje površinskih i podzemnih voda [10]

Kada su u pitanju morske vode, Zakon o vodama već u članku 2. donosi pojašnjenje kako se on odnosi na podzemne vode i površinske vode isključujući priobalne vode, odnosno da se na priobalne vode odnosi samo u pogledu njihove zaštite, a na vode teritorijalnog mora u pogledu njihovog kemijskog stanja te u odnosu na nalazišta voda za piće.

Definicija priobalnih voda vidljivih na slici 4 nalazi se u članku 3., točki 65. koja kaže da su priobalne vode površinske vode unutar crte udaljene jednu nautičku milju od polazne crte, a u smjeru kopna se protežu do vanjske granice prijelaznih voda.



Slika 4 Priobalne vode u Republici Hrvatskoj [11]

Tumačenjem zakona dolazi se do zaključka kako Hrvatske vode ne reguliraju priobalne vode što znači da je dozvoljeno direktno crpljenje vode iz mora bez plaćanja naknade tako dugo dok voda prilikom vraćanja u more nije kemijski onečišćena. S druge strane, ukoliko bi se morska voda crpila iz bunara, ona bi se zakonski smatrala površinskom vodom te bi samim time ulazila pod regulativu Hrvatskih voda i za njeno crpljenje trebala bi se plaćati spomenuta naknada od $0,1 \text{ HRK/m}^3$ zahvaćene vode.

1.3. Poticaji

Kao jedna od članica Europske unije, Republika Hrvatska se obvezala na prihvaćanje europskog klimatsko – energetskog paketa o poticaju uporabe energije iz obnovljivih izvora koji podrazumijeva i Direktiva 2009/28/EZ. To znači da bi najkasnije do 2020. godine udio obnovljivih izvora u bruto neposrednoj potrošnji trebao iznositi najmanje 20%, promatrano na razini EU [12].

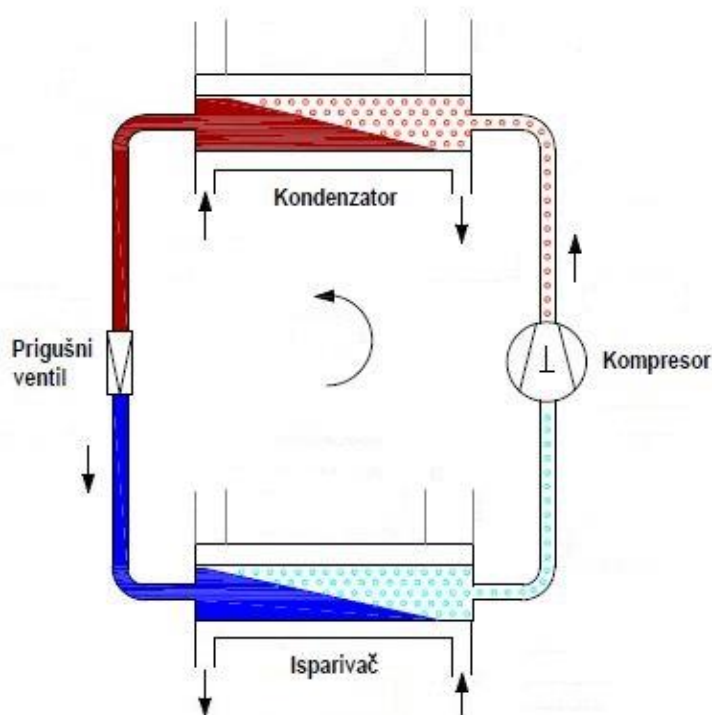
Sukladno sa spomenutom direktivom Hrvatski sabor je već 2009. godine predstavio Strategiju energetskog razvoja Republike Hrvatske. Strategija dizalice topline svrstava u distribuirane izvore toplinske energije. Riječ je o sustavima smještenim kod krajnjih potrošača te je cilj njihovog poticanja povećanje učinkovitosti pretvorbe energije i smanjenje emisija CO₂. Strategija procjenjuje da će se primjenom dizalica topline potrošnja prirodnog plina u 2020. godini smanjiti za 130 milijuna m³, potrošnja električne energije povećati za 0,2 TWh, a iskorištavanje obnovljive unutarnje energije okolišnog zraka, zemlje ili vode narasti na 4,9 PJ [13].

U svrhu poticanja razvoja i korištenja obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj, izrađeni su programi sufinanciranja nabave takvih sustava od strane Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitosti. Posljednji javni natječaj za sufinanciranje energetske obnove nestambenih zgrada bio je raspisan 2015. godine te je u sklopu natječaja sufinancirano ukupno 205 projekata s odobrenim sredstvima od gotovo 122 milijuna kuna [14]. Natječaj za sufinanciranje višestambenih zgrada bio je raspisan 2017. godine [15] dok se natječaj za sufinanciranje energetske obnove kuća očekuje 2018. godine. Također, tijekom 2016. godine bio je raspisan natječaj za izgradnju ili rekonstrukciju hotela, aparthotela, turističkih naselja, hotela baštine ili difuznog hotela. Namjena natječaja bila je poticanje početnih ulaganja povezanih s izgradnjom i opremanjem novih ili rekonstrukcijom i opremanjem postojećih građevina koje će po završetku investicije ispuniti minimalne uvjete i uvjete za kategoriju 3, 4 ili 5 zvjezdica, dok je u slučaju rada na postojećem objektu uvjet bio podizanje postojeće kategorije za najmanje jednu zvjezdicu [16].

2. DIZALICE TOPLINE

Dizalice topline su sustavi koji prenose toplinsku energiju s niskotemperaturnog spremnika, odnosno izvora topline, na visokotemperaturni spremnik, također zvan ponor topline. Takav način prijenosa topline suprotan je prirodnom toku od više prema nižoj temperaturi pa je zato za rad dizalica topline potrebna dodatna mehanička energija [17]. Instalirani sustavi mogu biti svih veličina, od onih najmanjih koji služe za grijanje i hlađenje stanova pa do velikih sustava koji služe za grijanje i hlađenje čitavih naselja [18].

Sustav dizalice topline sastoji se od kruga izvora topline, kruga radne tvari i kruga ponora topline što je vidljivo na slici 5.

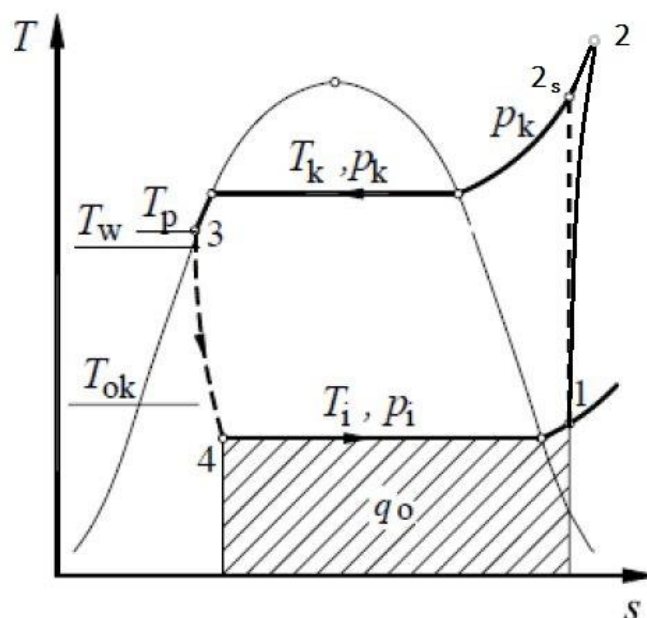


Slika 5 Sustav dizalice topline – ljevokretni proces [19]

Radna tvar u izmjenjivaču topline zvanom isparivač preuzima toplinsku energiju od izvora, odnosno niskotemperaturnog toplinskog spremnika, prilikom čega prelazi iz kapljevite u parnu fazu. Kako bi mogla predati toplinu trošilu (u režimu grijanja), potrebno je radnoj tvari povećati tlak i temperaturu što se postiže kompresijom pomoću kompresora. Pri postignutoj višoj temperaturi radna tvar je u mogućnosti toplinu predati ponoru (visokotemperaturnom toplinskom spremniku) u izmjenjivaču topline zvanom kondenzator gdje se vraća u kapljevitu

fazu, odnosno kondenzira. Kako bi se ponovo dovela do tlaka isparavanja, radna tvar se iz kondenzatora vodi do ekspanzijskog ventila, gdje joj se smanjuje tlak, čime je kružni proces zatvoren i postupak se ponavlja [19]. Princip rada je isti i kada se dizalica topline koristi za hlađenje sustava samo što u tom slučaju kondenzator postaje isparivač, a isparivač kondenzator [17].

Opisan proces moguće je prikazati i pomoću T,s - dijagrama vidljivog na slici 6. Kratka rekapitulacija procesa, od točke 1 do 2 prikazana je politropska kompresija do tlaka kondenzacije koja se odvija unutar kompresora, potom se od točke 2 do točke 3 odvija hlađenje i kondenzacija unutar kondenzatora, točke 3 do 4 prigušivanje i spuštanje tlaka na tlak isparavanja te točka 4 do 1 izmjena topline unutar isparivača.



Slika 6 Prikaz procesa dizalice topline u T,s dijagramu [20]

Učinkovitost dizalice topline određuje se pomoću toplinskog množitelja (eng. *Coefficient of Performance* - COP), također, zvanog faktor grijanja.

$$\varepsilon_{gr}(COP) = \frac{\phi_{kond}}{P_{komp}} [-] \quad (4)$$

gdje je

$$\Phi_{kond} = \Phi_{isp} + P_{komp} [W] \quad (5)$$

U pravilu će COP biti to veći što je manja temperaturna razlika između toplinskog izvora (zrak, voda, tlo) i toplinskog ponora (zraka ili vode koja se grije), čime će učinak grijanja biti veći, a snaga kompresora manja. Prosječni toplinski množitelj najčešće doseže vrijednost od 2,5 do 5, što znači da ukoliko se dizalici topline privede 1 kW električne snage njen učinak može biti i nekoliko puta veći, odnosno 2,5 do 5 kW [21].

Već je spomenuto kako je najrelevantniji koeficijent za određivanje energetske učinkovitosti dizalice topline godišnji toplinski množitelj također zvan sezonski faktor učinkovitosti $\varepsilon_{gr,G}$ (engl. *Seasonal performance factor* – SPF). On je definiran kao omjer stvarno dobavljene toplinske energije tijekom godine (ΣQ_{DT}) i tijekom godine ukupne utrošene energije (ΣE) za pogon kompresora, pumpu, ventilatora i sustava za odleđivanje isparivača.

$$\varepsilon_{gr,G}(SPF) = \frac{\Sigma Q_{DT}}{\Sigma E} [-] \quad (6)$$

2.1. Radna tvar [19]

Radna tvar je prijenosnik energije između niskotemperaturnog i visokotemperaturnog toplinskog spremnika. Najčešći prijenosnici energije su halogenirani ugljikovodici – „freoni“ (R22, R134a, R404a, R407C, R410A i dr.). Danas se koriste i prirodne radne tvari kao što su amonijak, izo-butan ili CO₂.

Pri izboru radne tvari poželjno je da krivulje konstantnog tlaka pare u pregrijanom području T,s – dijagrama budu što položitije. Položitije krivulje znače da se pri istim temperaturama isparavanja i kondenzacije mora uložiti manje rada jer se radna tvar komprimira na nižu temperaturu. Tlak zasićenja radne tvari, koji odgovara temperaturi isparavanja, a koja je određena temperaturom hlađenog medija, treba biti nešto veći od atmosferskog tlaka da bi rashladni uređaj tijekom cijelog procesa radio u pretlaku u odnosu na atmosferu. Kako odnos između tlakova isparavanja i kondenzacije izravno utječe na volumetrijski stupanj dobave kompresora, preferiraju se radne tvari s nižim omjerom tlakova pri istim omjerima temperatura isparavanja i kondenzacije čime se uz iste konstrukcijske dimenzije postižu veći rashladni i ogrjevni učinak sustava. Također bi toplina isparavanja radne tvari pri karakterističnim

temperaturama isparivanja treba biti što veća da bi za isti učinak rashladnog uređaja protočna masa radne tvari bila manja.

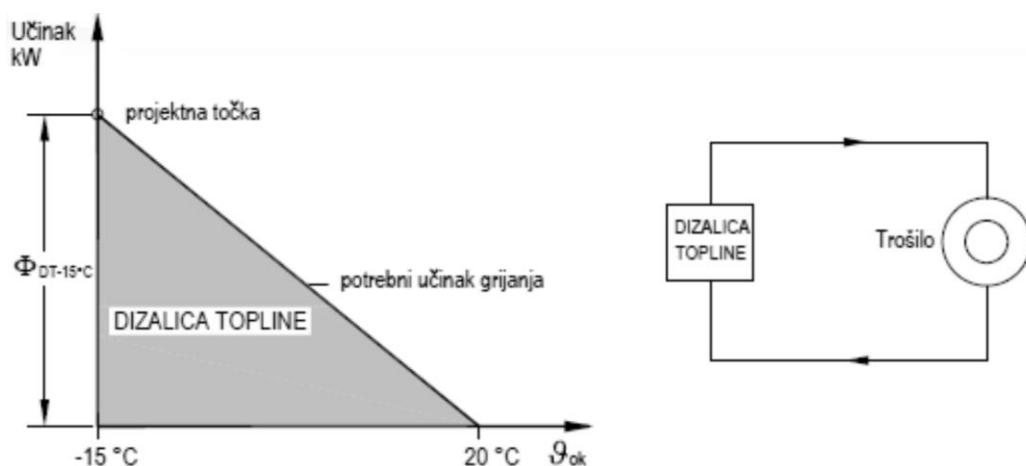
Općenito poželjne karakteristike radne tvari prikazane su tablicom 3.

Tablica 3 Poželjna svojstva radne tvari

Kriterij	Svojstva radne tvari
Funkcionalne osobine	- fizikalna i kemijska stabilnost - nekoroziivnost, ne otapa konstrukcijske materijale konstrukcije - fizikalno ili kemijski ne reagira s mazivim uljem, naročito iz prisutnost vlage
Sigurnosne osobine	-nezapaljivost, čista tvar ili u smjesi sa zrakom, uljem i vlagom -neeksplozivnost -neotrovnost -lagano otkrivanje prisutnosti u zraku -neškodljivost po okolinu
Termodinamičke osobine	-niska temperatura isparavanja pri atmosferskom tlaku -umjeren tlak zasićenja pri temperaturi 35 – 45 °C -umjeren kompresijski omjer, p_k/p_l -visoko položena kritična točka -velika latentna toplina isparavanja i kondenzacije -veliki volumetrički rashladni učinak q_v [kJ/m^3] -velika gustoća (mali specifični volumen) -mala viskoznost -veliki koeficijent toplinske vodljivosti -veliki dielektrični otpor, radi rada u hermetički zatvorenim kompresorima -niska točka smrzavanja
Ekološke osobine	-bez utjecaja na razgradnju ozonskog omotača -što manji utjecaj na zagrijavanje atmosfere (mali GWP)

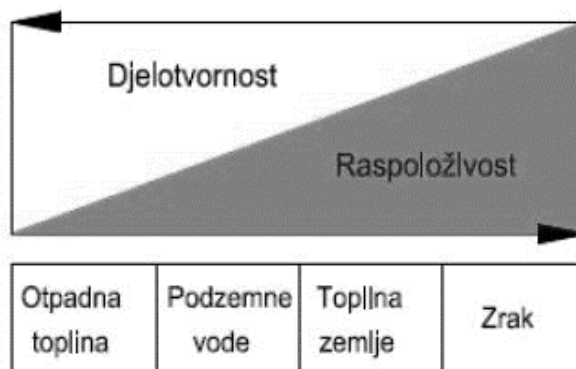
2.2. Način rada dizalice topline voda - voda

U ovom radu biti će riječ o dizalici topline voda – voda s monovalentnim načinom rada. To znači da toplinske potrebe zgrade pokriva isključivo dizalica topline, a njen se učinak projektira prema vanjskoj projektnoj temperaturi zraka (slika 7).



Slika 7 Monovalentni rad dizalice topline [21]

Svojstva toplinskog izvora od najvećeg su značaja za dizalicu topline. Osim vode (riječne, jezerske, morske i podzemne) kao niskotemperaturni spremnik topline može se koristiti i zrak, otpadna toplina, Sunčevo zračenje ili tlo. Toplinski izvor mora osigurati potrebnu količinu topline u svako doba i na što višoj temperaturi pri čemu troškovi priključenja toplinskog izvora na dizalicu topline moraju biti što manji kao i energija za transport topline iz izvora do isparivača. Na slici 8 vidljiv je odnos djelotvornosti i raspoloživosti izvora topline.

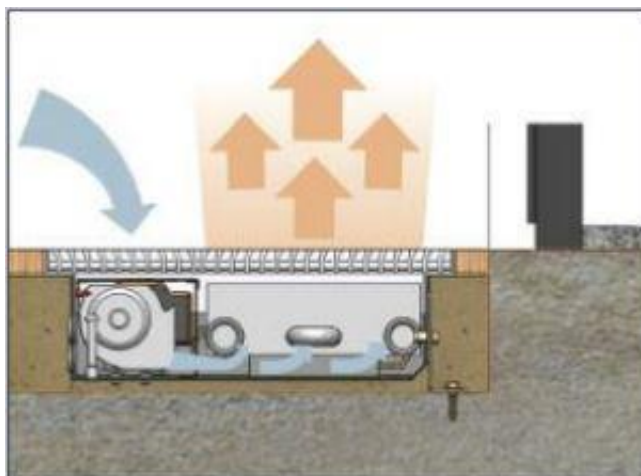


Slika 8 Kvalitativan prikaz djelotvornosti i raspoloživosti izvora topline [21]

2.3. Ogrjevna tijela sustava dizalice topline – ventilokonvektori

Iako u hotelu postoje ogrjevna tijela, riječ je o starim radijatorima koji ne bi mogli podržati grijanje pomoću niskih temperatura zahtijevanih za učinkovit rad dizalica topline. Iz tog razloga prilikom instalacije dizalice topline bit će potrebna zamjena starih ogrjevnih tijela novima, ventilokonvektorima.

Konvektori su dio centralnih sustava grijanja. Riječ je o ogrjevnim tijelima koja toplinu prenose konvekcijom, korištenjem vode kao ogrjevnog, odnosno rashladnog medija. Sastoje se od jednog ili više izmjenjivača topline zrak - voda sastavljenih od cijevi kružnog ili poprečnog presjeka s nanizanim lamelama u cilju povećanja površine izmjene topline. Ventilokonvektorima se naziva izmjenjivače voda - zrak s prisilnom konvekcijom. Kod njih dolazi do prisilnog dovođenja zraka ventilatorom što za posljedicu ima bolji koeficijent prijelaza topline i time veću učinkovitost. Pomoću zaklopki u njima dolazi do miješanja struja vanjskog zraka za ventilaciju i opcionalno, struja optočnog zraka iz prostorije. Tako nastala mješavina filtrira se i zatim grije ili hladi na izmjenjivaču. Ventilokonektori su dostupni u različitim izvedbama te je na slici 9 prikazana izvedba podnog ventilokonvektora.



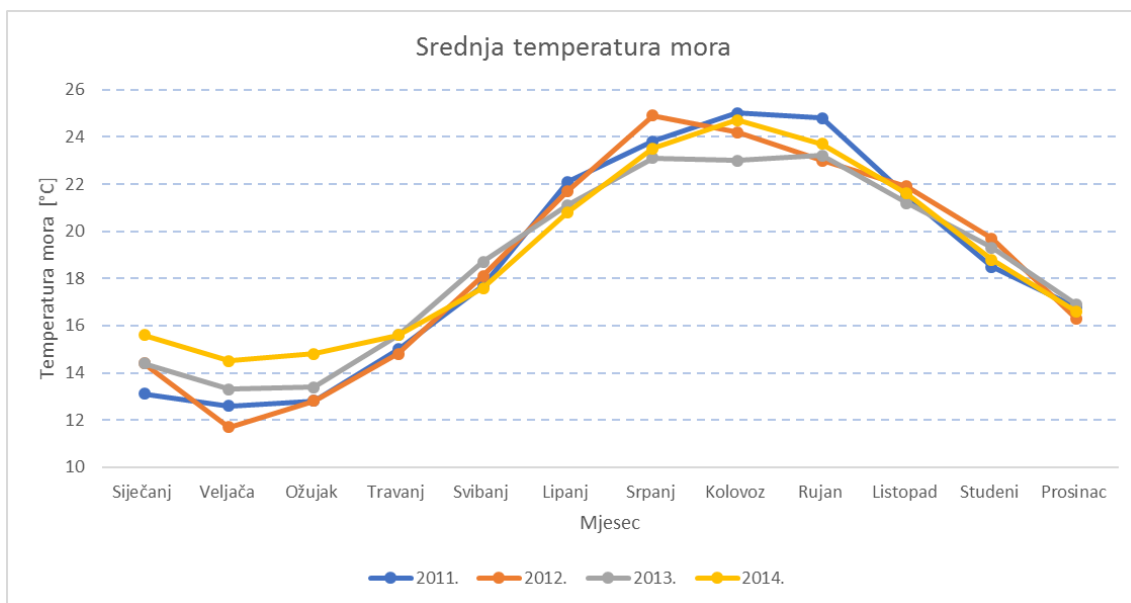
Slika 9 Podni ventilokonvektor [22]

2.4. Uvjeti korištenja vode

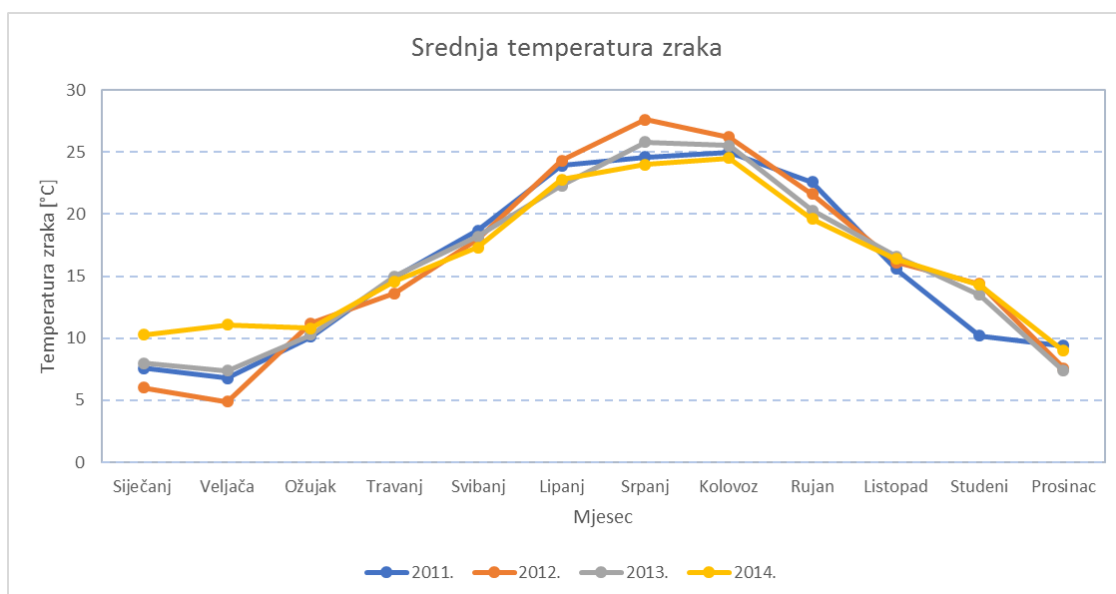
Prikladni hidrološki uvjeti i kakvoća vode temelj su za primjenu dizalice topline voda – voda te znatno utječu na učinkovitost i izvedbu postrojenja.

Jedan od najbitnijih faktora je temperatura morske vode kroz godinu. O njoj ovisi učinkovitost dizalice topline te se ona može koristiti samo ukoliko joj se temperatura nikad ne spušta ispod $+4^{\circ}\text{C}$ [18]. Na slici 10 prikazana je srednja temperatura mora po mjesecima od 2011. do 2014. godine te je vidljivo da temperatura mora ne pada ispod 10°C . Također, voda se u isparivaču ne bi trebala ohladiti za manje od 4°C , a kako bi korištenje ovakvih dizalica topline bilo ekonomski opravdano, vanjske temperature bi se trebale zadržavati iznad granice

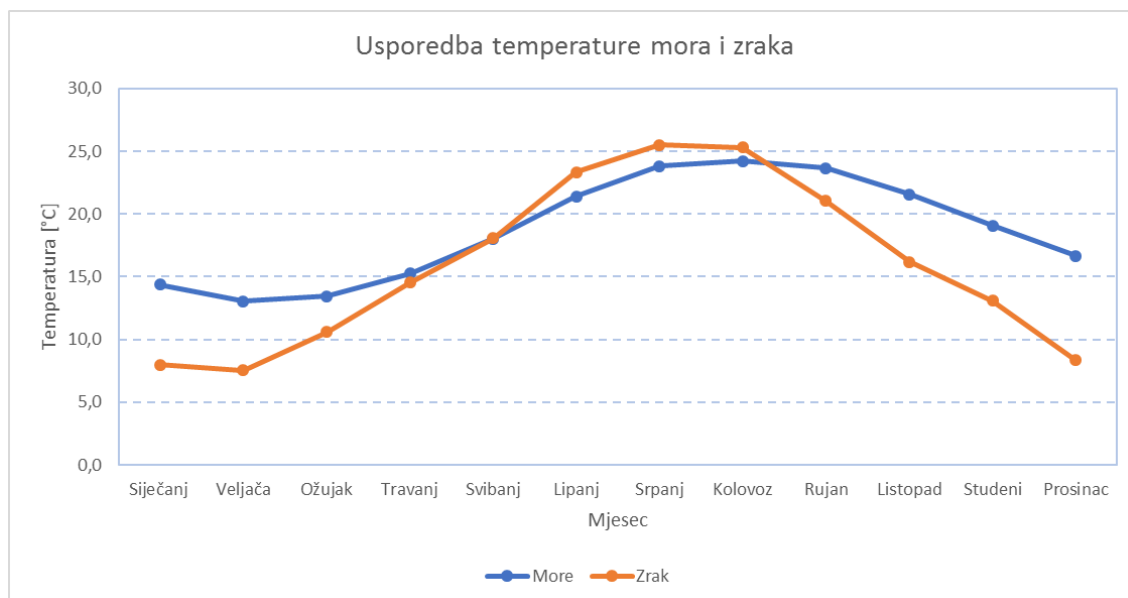
od 0°C. Na slici 11 prikazana je temperatura zraka za prethodno navedeno razdoblje iz koje je vidljivo da je ona uvijek pozitivna. Slika 12 prikazuje usporedbu prosječne temperature mora i prosječne temperature zraka, a jasno je vidljiva manja oscilacija temperature mora i znatno više temperature tijekom zimskih mjeseci, što dizalice topline voda – voda čini učinkovitijim od dizalica topline voda – zrak.



Slika 10 Srednja temperatura mora po mjesecima [20]



Slika 11 Srednja temperatura zraka po mjesecima [20]



Slika 12 Usporedba kretanja temperatura mora i zraka tijekom godine [20]

Sljedeći bitan čimbenik je kvaliteta vode. Ona ne samo da utječe na kvalitetu izmjene toplinske energije kod izmjenjivača topline, nego i značajno utječe na životni vijek dijelova dizalice topline. Jedan od pokazatelja kvalitete vode je koncentracija sedimenta. Standardne dizalice topline postavljaju limit od maksimalno 100 mg sedimenta po litri vode. Kako ti zahtjevi često nisu zadovoljeni ni kod slatkih voda u slučaju direktnog usisa vode potrebna je instalacija sustava kojim bi se uklonio pijesak, u suprotnom dolazi do erozije dijelova pumpe. Idući bitni pokazatelj kvalitete vode je njen kemijski sastav. Morska voda je općenito korozivnija od kopnenih voda te je tako u slučaju jedne dizalice topline došlo od prekida rada izmjenjivača topline čak i uz primjenu zaštite od korozije u obliku korozijskih galvanskih članaka [23]. Iz tog je razloga jedan od glavnih materijala za proizvodnju izmjenjivača kod dizalica topline na morsku vodu titan. Također bitan faktor prilikom direktnog korištenja vode za dizalice topline je degradacija performansi zbog bioloških čimbenika. Ako se taj problem ne riješi adekvatno unutar izmjenjivača topline može nastati biološki film od alga, mulja i/ili mekušaca što povećava toplinsku otpornost kao i potrebnu snagu pumpe. Za kontrolu rasta bioloških organizama razvijene su sheme doziranja biocida. Iako postoji veći broj biocida, samo je natrijev hipoklorit prihvatljiv za korištenje u otvorenom sustavu s ekološkog gledišta. S druge strane, u slučaju povećane količine klora, povećava se i razina korozije. Usprkos tome, smatra

se da je uz pravilnu primjenu natrijev hipoklorit najisplativije i najučinkovitije sredstvo za sprječavanje negativnih učinka bioloških čimbenika [23].

2.5. Standardni zahvati vode – zatvorena petlja, otvorena petlja i bunar

Dvije osnovne kategorije izrade dizalica topline su otvorena i zatvorena petlja.

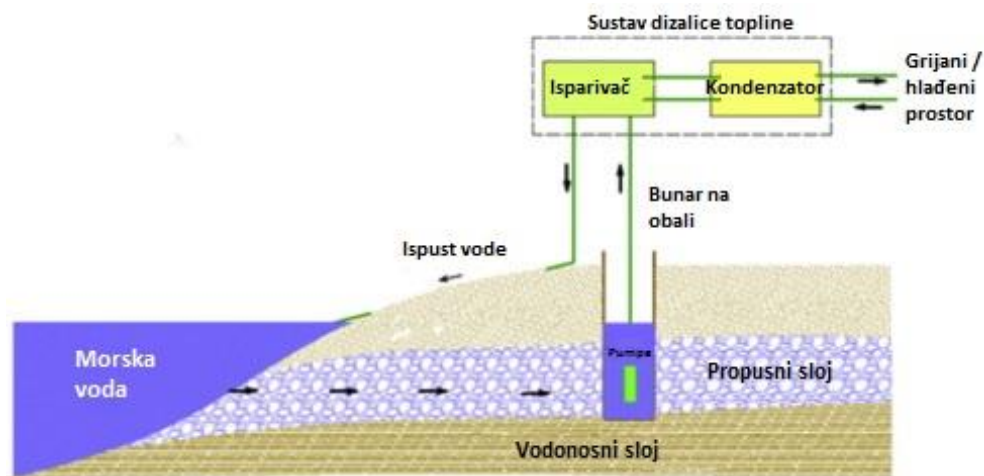
Sustav zatvorene petlje sastoji se od izmjenjivača položenog u zemlji ili vodi. Kroz petlju cirkulira kapljevina s niskom točkom zamrzavanja (npr. smjesa glikola i vode). Ovaj tip sustava je skuplji od sustava otvorene petlje [17], ali ne posjeduje ograničenja otvorene petlje pa je zbog toga češći. Zatvorena petlja smanjuje rizik od smrzavanja i gotovo da ne zahtjeva održavanje, ali je osjetljiva na oštećenja te je potencijalno štetna za okoliš u slučaju izljeva radne tvari u vodu.

U sustavu otvorene petlje vode se iz izvora vode (npr. mora, rijeke, jezera ili podzemne vode) pumpa kroz izmjenjivač topline na jednom mjestu i ispušta na istu ili drugu točku. Ovaj tip sustava može biti jeftiniji od sustava zatvorene petlje radi jednostavnije konstrukcije, ali se moraju ispuniti propisi vezani uz izvor vode. Učinkovitost im je jednaka ili veća od sustava sa zatvorenim petljom, no kako je već rečeno, kako bi se osigurao neprekinut rad i dugi vijek trajanja dizalice topline, ključna je konzistentnost vodoopskrbe u pogledu količine i kvalitete. Sustav s otvorenom petljom je ograničen za primjenu u hladnim klimatskim uvjetima zbog temperature ledišta koja može dovesti do nedostupnosti izvora vode ili uzrokovati zamrzavanje vodovodnih cijevi. Na slici 13 prikazane su izvedbe dizalice topline s otvorenom i zatvorenim petljom.



Slika 13 Otvorena petlja (lijevo) i zatvorena petlja (desno) [17]

Kako bi se pokušali izbjeći ranije navedeni nedostaci direktnog crpljenja morske vode primjenjuje se metoda bušenja bunara na obali mora. Takav način izvedbe povećava efikasnost, stabilnost i pouzdanost dizalice topline s direktnim usisom vode u hladnim područjima gdje postoji opasnost od njenog zaleđivanja. Razlog tome je veća temperatura vode u bunaru, a što je posljedica povećanja temperature vode prilikom prodiranja u slojeve zemlje.



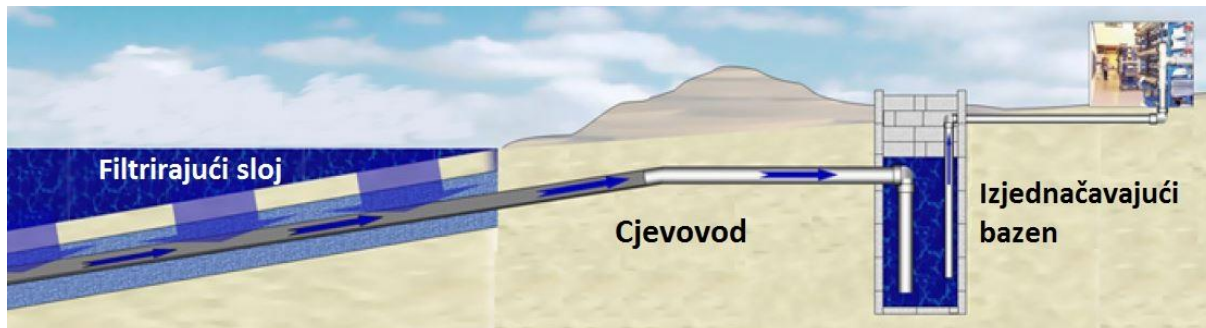
Slika 14 Bunar na obali

2.6. Infiltracija

Jedan od novih načina iskorištavanja morske vode je infiltracija. Riječ je o jedinstveno oblikovanom filterskom mehanizmu čija je svrha spriječiti da morski život i otpadci, uključujući dagnje, meduze, alge, ribu i riblja jajašca, ličinke, pijesak i mulj te smeće i ulje uđu u sustav dizalice topline. On pruža kontinuiranu opskrbu čistom vodom u dovoljnim količinama da se pokrene bilo koji kapacitet sustava. Na sustav infiltracije ne utječu zbivanja u moru niti u slučaju nasilnog lomljena valova na obali tijekom oluja. Sustav ne zahtjeva nikakvo pražnjenje, čišćenje, obradu, skidanje, zamjenu, punjenje ili rehabilitaciju. Nema pokretnih dijelova ni dijelova koje bi mogla pogoditi korozija, koji bi se mogli potrgati ili istrošiti. Također su moguća proširenja sustava infiltracije bez potrebe za isključivanjem dizalice topline.

Način funkcioniranja infiltracije je vrlo jednostavan te nakon što se sustav dizajnira i odabere se područje filtracije instalacija traje tek nekoliko dana, a nakon toga je sustav spreman za pokretanje. Čista voda se gravitacijom odvodi cijevima do malog bazena koji se nalazi na

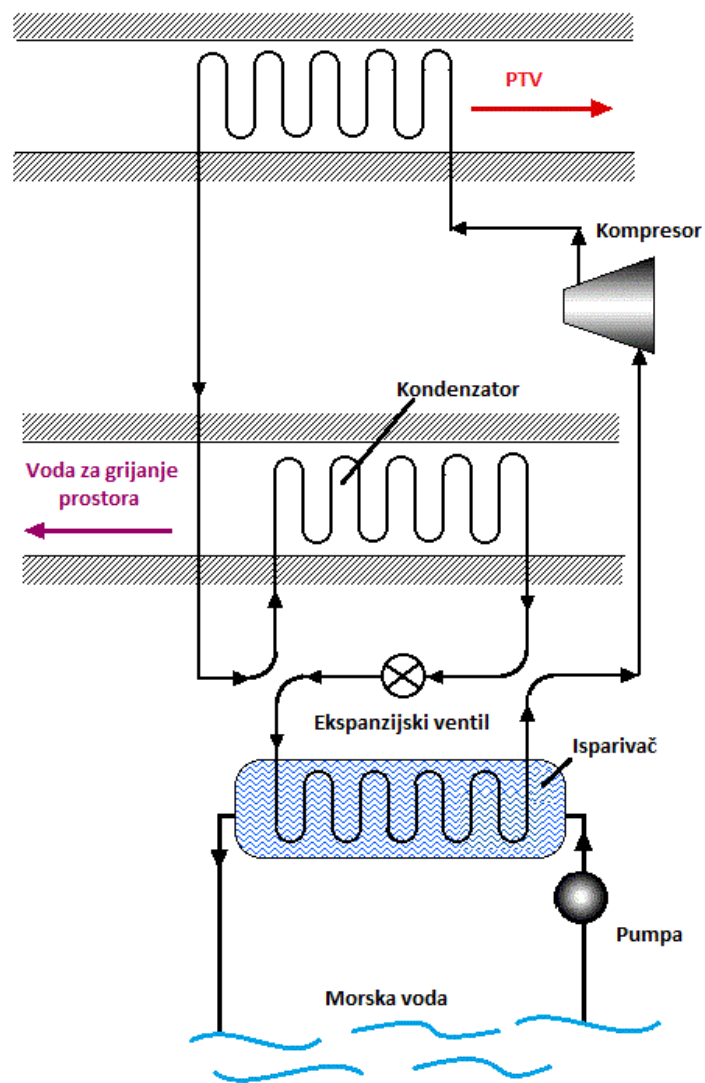
obali, a iz kojeg se voda pumpa u izmjenjivač topline. Prilikom pumpanja smanjuje se razina vode u bazenu čime se remeti ravnoteža i potiče ponovni dotok morske vode.



Slika 15 Sustav infiltracije [24]

2.7. Proizvodnja potrošne tople vode (PTV) pomoću dizalice topline

Već je napomenuto kako se dizalice topline osim za grijanje i hlađenje mogu koristiti za pripremu potrošne tople vode. S time da priprema PTV-a može biti samostalna izvedba ili u kombinaciji s grijanjem i/ili hlađenjem prostora. Kako bi se dizalica topline koristila za tu namjenu, potrebno je uz standardnu unutarnju jedinicu instalirati akumulacijski spremnik sanitarne tople vode. Akumulacijski spremnik smješten je nakon kompresora tako da radna tvar visoke temperature prvo prolazi kroz njega te se toplina predaje vodi unutar spremnika. Nakon toga radna tvar normalno standardno ulazi u visokotemperaturni ili niskotemperaturni izmjenjivač ovisno o tome radi li se o grijanju ili hlađenju prostora te dalje nastavlja ciklus opisan na početku ovog poglavlja. Na slici 16 prikazana je integracija pripreme PTV tijekom zimskog režima rada, odnosno grijanja.



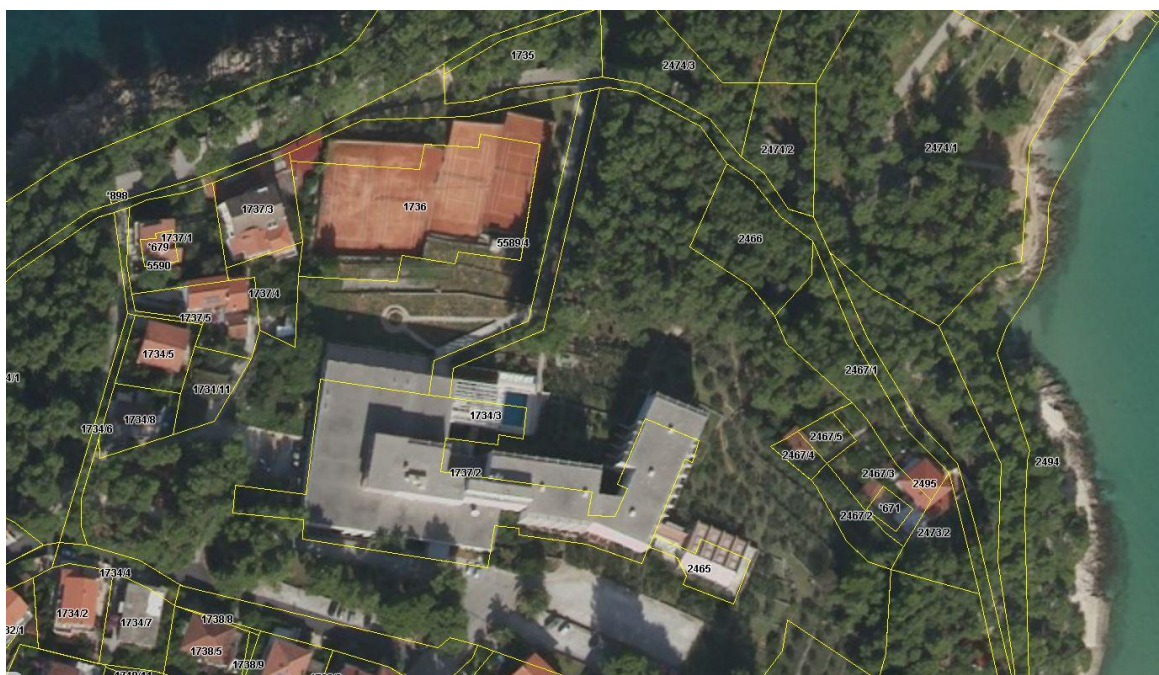
Slika 16 Zimski režim rada sustava dizalice topline s pripremom PTV-a

3. GRIJANJE I HLAĐENJE HOTELA HVAR DIZALICOM TOPLINE

3.1. Opis hotela

Kako bi se izvelo tako složeno dimenzioniranje, projektiranje i izvođenje sustava u kojima se kao izvor toplinskog i rashladnog učinka koristi dizalica topline potrebna su znanja iz tehnike grijanja, hlađenja, građevinarstva, regulacije te geologije i rudarstva u slučaju izvođenja bušotina. Sustavi koji koriste dizalice topline dimenzioniraju se i projektiraju na osnovu toplinskog učinka koji se određuje prema potrebnoj toplinskoj energiji za grijanje, odnosno, toplinskim gubitcima ili toplinskom opterećenju zgrade.

Pri dimenzioniranju i projektiranju ovakvih sustava veliku ulogu ima toplinski izvor, odnosno njegova svojstva (termodinamička svojstva, raspoloživost na mjestu ugradnje), početna ulaganja (cijena opreme, složenost radova) te pogonski troškovi pri iskorištavanju izvora. Slika 17 prikazuje satelitsku snimku hotela gdje se jasno može vidjeti blizina hotela moru. Sa svake strane hotel je od mora udaljen tek nešto više od 100 m čime je olakšan zahvat morske vode.



Slika 17 Satelitski snimak hotela [25]

Također potrebno je uzeti u obzir vrstu građevine te njenu potrebu za energijom tijekom cijele godine (grijanje i hlađenje).

Hotel Hvar u Jelsi ukupne je površine 8072 m². U sklopu hotela nalazi se 200 soba, restoran s kuhinjom, unutarnji i vanjski bazen te ostali popratni sadržaji (salon za masažu, suvenirnica i sl.). Sve navedene prostorije su grijane. Ovojnicu grijanog prostora predmetnih zgrada uglavnom čine podovi prema tlu, podovi iznad vanjskog prostora, vanjski zidovi, zidovi u tlu, otvori u vanjskim zidovima te krovovi iznad grijanog prostora.



Slika 18 Hotel Hvar, Jelsa [26]

Hotel je izveden s masivnim ab (armiranobetonski) zidovima, pretežito srednje gustoće. Vanjski zidovi nisu toplinski izolirani. Završna obrada zidova vanjske strane je uglavnom silikatna ili toplinska žbuka. Podovi na tlu su uglavnom u zadovoljavajućem stanju iako većina nema adekvatnu toplinsku izolaciju, ali kako su transmisijski gubitci kroz tlo u zimskim mjesecima na otočnim područjima zanemarivi u odnosu na ostale gubitke, to ne predstavlja pretjeran problem. Ravni krovovi imaju hidroizolaciju, ali ovisno o razdoblju gradnje variraju im toplinska svojstva. Vanjska stolarija na objektu uglavnom je u jako lošem stanju s metalnim okvirima i jednostrukim staklima. U nastavku su opisane toplinske karakteristike pojedinih građevnih dijelova.

Tablica 4 Toplinske karakteristike elementa ovojnice

Naziv građevnog dijela	U [W/m ² K]	U _{max} [W/m ² K]
Podovi na tlu	1,35	0,50
Ravni krov	0,81	0,40
Vanjski zid	2,63	0,60
Vanjski otvori	3,60	1,80

3.2. Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje

Potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje određuju se prema normi HRN EN ISO 13790. Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje $Q_{H,nd}$ je računski određena količina topline koju sustavom grijanja treba tijekom jedne godine dovesti u zgradu za održavanje unutarnje projektne temperature u zgradi tijekom razdoblja grijanja zgrade.

Potrebna toplinska energija za grijanje:

$$Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn} \text{ [kWh]} \quad (7)$$

gdje su:

$Q_{H,nd,cont}$ – potrebna toplinska energija za grijanje pri kontinuiranom radu [kWh],

$Q_{H,ht}$ – ukupno izmijenjena toplinska energija u periodu grijanja [kWh],

$Q_{H,gn}$ – ukupni toplinski dobitci zgrade u periodu grijanja (ljudi, uređaji, rasvjeta i sunčevo zračenje) [kWh],

$\eta_{H,gn}$ – faktor iskorištenja toplinskih dobitaka [-].

3.3. Ulazni podaci proračuna

Potrebni ulazni podaci za proračun $Q_{H,nd}$ [kWh]:

Klimatski podaci:

Srednja vanjska temperatura za proračunski period na godišnjoj razini (Primorska Hrvatska):

$$\vartheta_e = 16,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Srednja dozračena sunčeva energija po mjesecima za nagib od 90° [MJ/m²], koji je srednji dnevni nagib upada sunčeve energije, prikazana je u tablici 5.

Tablica 5 Srednja dozračena sunčeva energija za proračunski period u mjesecima [MJ/m²]

Mjesec	Orijentacija				
	J	JI, JZ	I, Z	SI, SZ	S
Siječanj	309	243	144	64	64
Veljača	371	308	205	81	81
Ožujak	419	396	317	133	133
Travanj	361	403	383	204	167
Svibanj	337	417	452	324	208
Lipanj	316	411	477	372	212
Srpanj	341	442	500	367	210
Kolovoz	376	443	444	263	186
Rujan	426	429	363	143	139
Listopad	485	416	287	103	103
Studeni	342	272	163	67	67
Prosinac	289	224	126	56	56
Godišnje	4373	4406	3861	2175	1625

Proračunski parametri:

Unutarnja proračunska temperatura pojedinih temperaturnih zona (jedna temperaturna zona):

$$t_{\text{int}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Podaci o zgradi:

Površina zidova prema vanjskom zraku:

$$A_{\text{zid}} = 1846 \text{ m}^2$$

Površina ostakljenja:

$$A_{\text{pr}} = 904 \text{ m}^2$$

Površina poda prema tlu:

$$A_{\text{g}} = 4086 \text{ m}^2$$

Korisna površina zgrade:

$$A_K = 8072,10 \text{ m}^2$$

Bruto obujam, obujam grijanog dijela zgrade:

$$V_e = 20180,20 \text{ m}^3$$

Neto obujam, obujam grijanog dijela zgrade u kojem se nalazi zrak:

$$V = 0,8 \cdot V_e = 0,8 \cdot 20180,2 = 16144,16 \text{ m}^3$$

Udio ploštine prozora u ukupnoj ploštini pročelja:

$$f = 0,34$$

Podaci o termotehničkim sustavima:

- Način grijanja zgrade – postrojenje toplovodne kotlovnice s energentom ekstralako lož ulje
- Izvori energije koji se koriste za grijanje i pripremu PTV-a – ekstra lako lož ulje (za pogon kotlovnice), električna energija (za pogon cirkulacijskih crpki)
- Vrsta ventilacije – prirodna osim kupaonske ventilacije (205 komada kupaonskih ventilatora) i odsisne ventilacije kuhinje (4 odsisne nape 2000x1500x450 i 6 odsisnih rešetki)
- Vođenje i regulacija sustava grijanja – automatska
- Karakteristike unutarnjih izvora topline – bez informacija

Rezultati proračuna:

Izlazni rezultati proračuna prema HRN EN ISO 13790 su mjesečni podaci za svaku zonu i ukupni sezonski podaci:

- REŽIM GRIJANJA
 - transmisijski toplinski gubici
 - ventilacijski toplinski gubici
 - unutarnji toplinski dobici (ljudi, rasvjeta, uređaji)
 - ukupni toplinski dobici od sunčeva zračenja
 - faktor iskorištenja toplinskih dobitaka za grijanje

- broj dana grijanja u mjesecu/godini
- potrebna toplinska energija za grijanje svedena na grijani prostor
- REŽIM HLAĐENJA

3.4. Proračunske zone

Podjela na proračunske zone vrši se u slučaju da se unutarnje projektne temperature razlikuju za više od 4 °C, da neke prostorije koje zauzimaju 10 % i više neto podne površine imaju drugačiju namjenu od osnove te da se razlikuje ugrađen termotehnički sustav i njegov režim uporabe. Kako to nisu slučajevi kod spomenutog hotela, neće biti podjele na proračunske zone te će se proračun prema normi HRN EN ISO 19790 provoditi tako da se cijela zgrada tretira kao jedna zona.

3.5. Proračun godišnje potrebne toplinske energije za grijanje $Q_{H,nd}$

Sumiranje se provodi za sve mjesece u godini ako su vrijednosti mjesečne potrebne toplinske energije za grijanje pozitivne. Sustav grijanja je s kontinuiranim radom.

Proračun $Q_{H,nd,cont}$ uključuje sljedeći izraz:

$$Q_{H,nd,cont} = Q_{Tr} + Q_{Ve} - \eta_{H,gn}(Q_{int} + Q_{sol}) [kWh] \quad (8)$$

gdje su:

Q_{Tr} – izmijenjena toplinska energija transmisijom za proračunsku zonu [kWh],

Q_{Ve} – potrebna toplinska energija za ventilaciju/klimatizaciju za proračunsku zonu [kWh],

$\eta_{H,gn}$ – faktor iskorištenja toplinskih dobitaka [-],

Q_{int} – unutarnji toplinski dobitci zgrade (ljudi, uređaji, rasvjeta) [kWh],

Q_{sol} – toplinski dobitci od Sunčeva zračenja [kWh]

Izmijenjena toplinska energija transmisijom i ventilacijom proračunske zone za promatrani

period računa se pomoću koeficijenta toplinske izmjene topline H [W/K]:

$$Q_{Tr} = \frac{H_{Tr}}{1000} (\vartheta_{int,H} - \vartheta_e) t \text{ [kWh]} \quad (9)$$

$$Q_{Ve} = \frac{H_{Ve}}{1000} (\vartheta_{int,H} - \vartheta_e) t \text{ [kWh]} \quad (10)$$

gdje su:

H_{Tr} – koeficijent transmisije izmjene topline proračunske zone [W/K],

H_{Ve} – koeficijent ventilacijske izmjene topline proračunske zone [W/K],

$\vartheta_{int,H}$ – unutarnja postavna temperatura grijane zone [°C],

$\vartheta_{e,m}$ – srednja vanjska temperatura za proračunski period (sat ili mjesec) [°C],

t – trajanje proračunskog razdoblja [h],

$\Phi_{m,g}$ – toplinski tok izmjene topline s tlom za proračunski mjesec [W]

3.5.1. Izmijenjena toplinska energija transmisijom

Koeficijent transmisije izmjene topline H_{Tr} određuje se za svaki mjesec prema normi HRN EN ISO 13789 iz sljedećeg izraza:

$$H_{Tr} = H_D + H_U + H_A + H_{g,m} \text{ [W / K]} \quad (11)$$

gdje su:

H_D – koeficijent transmisije izmjene topline prema vanjskom okolišu [W/K],

H_U – koeficijent transmisije izmjene topline kroz negrijani/nehlađeni prostor prema vanjskom okolišu [W/K],

H_A – koeficijent transmisije izmjene topline prema susjednoj zgradi [W/K],

$H_{g,m}$ – koeficijent transmisije izmjene topline prema tlu za proračunski mjesec [W/K]

Koeficijent transmisije izmjene topline od grijanog prostora prema vanjskom okolišu H_D računa se pomoću površine građevinskih elemenata A_k , koeficijenata prolaska topline pojedinih građevinskih elemenata U_k (W/m²K), uzimajući u račun i dodatak za toplinske mostove:

$$H_D = \Sigma A_k (U_k + \Delta U_{TM}) [W / K] \quad (12)$$

gdje je:

$\Delta U_{TM} = 0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ – toplinski most projektiran u skladu s katalogom dobrih rješenja toplinskih mostova

U tablici 6 se nalazi tablični proračun koeficijenta transmisije izmjene topline od grijanog prostora prema vanjskom okolišu koji u obzir uzima dodatak za toplinski most od $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ projektiran u skladu s katalogom dobrih rješenja toplinskih mostova.

Tablica 6 Koeficijent transmisije izmjene topline od grijanog prostora prema vanjskom okolišu

Građevni dio	A [m ²]	U [W/m ² K]	H _D [W/K]
Ravni krov	4086	0,81	3309,66
Vanjski zid prema zraku	1846	2,63	4855,6
Vanjski otvori	904	3,6	3253,54
Ukupni transmisijski toplinski gubici prema vanjskom okolišu			11418,8

Izmijenjena toplinska energija transmisijom između grijanog prostora i tla (HRN EN 13370:2007)

Kako bi se uzela u obzir toplinska tromost tla te prikladna temperaturna razlika kod izmjene topline s tlom proračun se provodi na mjesečnoj bazi i to prema normi HR EN ISO 13370, dodatak A.

Koeficijent transmisije izmjene topline prema tlu za proračunski period, H_g, iznosi:

$$H_{g,m} = \frac{\Phi_m}{\vartheta_{int,m} - \vartheta_{e,m}} [W / K] \quad (13)$$

gdje su:

Φ_m – toplinski tok izmjene topline s tlom za proračunski mjesec [W],

$\vartheta_{int,m}$ – unutarnja postavna temperatura za proračunski mjesec [°C],

$\vartheta_{e,m}$ – srednja vanjska temperatura za proračunski mjesec [°C]

Za poznate srednje mjesečne temperature vanjskog zraka toplinski tok izmjene topline s tlom za proračunski mjesec može se pojednostavljeno računati prema sljedećem izrazu:

$$\Phi_m = H_g(\bar{\vartheta}_{int} - \vartheta_e) - H_{pi}(\bar{\vartheta}_{int} - \vartheta_{int,m}) + H_{pe}(\bar{\vartheta}_e - \vartheta_{e,m}) \text{ [W]} \quad (14)$$

gdje su:

H_g – stacionarni koeficijent transmisivne izmjene topline prema tlu [W/K],

H_{pi} – unutarnji periodički koeficijent transmisivne izmjene topline [W/K],

H_{pe} – vanjski periodički koeficijent transmisivne izmjene topline [W/K],

$\bar{\vartheta}_{int}$ – srednja godišnja unutarnja temperatura [°C],

$\bar{\vartheta}_e$ – srednja godišnja vanjska temperatura [°C],

$\vartheta_{int,m}$ – unutarnja temperatura za proračunski mjesec m [°C], (zimski mjeseci: siječanj, veljača, ožujak, travanj, listopad, studeni, prosinac; ljetni mjeseci: svibanj, lipanj, srpanj, kolovoz i rujanj)

$\vartheta_{e,m}$ – vanjska temperatura za proračunski mjesec m

m – broj mjeseca (od $m = 1$ za siječanj do $m = 12$ za prosinac)

Tablica 7 Vanjska temperatura zraka po mjesecima

Mjesec	Vanjska temp. [°C]	Φ_m [W]	H_{gm} [W/K]	H_{Tr} [W/K]	Broj sati [h ⁻¹]
Siječanj	6,6	25987,0	1939,3	18677,0	744
Veljača	7,5	25612,5	2049,0	18786,7	672
Ožujak	9,9	24613,9	2437,0	19174,7	744
Travanj	13,4	23157,6	3508,7	20246,4	720
Svibanj	18	21243,7	10621,8	27359,5	744
Lipanj	21,6	Ljetni mjeseci			720
Srpanj	24,5				744
Kolovoz	24				744
Rujan	20,5				720
Listopad	16,2				21992,6
Studen	11,6	23906,6	2846,0	19583,7	720
Prosinac	7,9	25446,1	2103,0	18840,6	744
Prosje/ukupno	15,1				8760

Pod na tlu

Način proračuna koeficijenta prolaska topline U za pod na tlu u ovisnosti o d_t :

- za $d_t < B'$ – neizolirani ili slabo izolirani podovi:

$$U = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi B' + d_t} \cdot \ln \left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1 \right) [W/m^2K] \quad (17)$$

gdje je:

$$d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}) = 0,02 + 2(0,17 + 0,75 + 0) = 1,86 \text{ m} \quad (18)$$

d_t – ekvivalentna debljina poda (m);

B' – karakteristična dimenzija poda (m);

λ – koeficijent toplinske provodljivosti tla, uzima se $\lambda = 2 \text{ W/(m K)}$;

w – ukupna debljina zida (m);

R_{si} – plošni unutarnji toplinski otpor $R_{si} = 0,17 \text{ (m}^2\text{K)/W}$;

R_f – toplinski otpor podne konstrukcije $\text{(m}^2\text{K)/W}$;

R_{se} – plošni vanjski toplinski otpor $\text{(m}^2\text{K)/W}$, $R_{se} = 0$.

Unutarnji periodički koeficijent transmisijske izmjene topline H_{pi} (W/K) za pod na tlu računa se prema sljedećem izrazu:

$$H_{pi} = A_g \frac{\lambda}{d_t} \sqrt{\frac{2}{\left(1 + \frac{\delta}{d_t}\right)^2 + 1}} = 4086 \cdot \frac{2}{1,86} \sqrt{\frac{2}{\left(1 + \frac{0,02}{1,86}\right)^2 + 1}} \quad (19)$$

$$= 4394,7 [W/K]$$

Vanjski periodički koeficijent transmisijske izmjene topline H_{pe} (W/K) za pod na tlu računa se prema sljedećem izrazu:

$$H_{pe} = 0,37 \cdot P \cdot \lambda \cdot \ln \left(\frac{\delta}{d_t} + 1 \right) = 407,3 [W/K] \quad (20)$$

gdje je:

A_g – površina poda (m^2);

δ - periodička dubina prodiranja uzima se u ovisnosti o tipu tla prema podacima danim u sljedećoj tablici (m):

Tablica 8 Periodička dubina prodiranja ovisno o vrsti tla

Kategorija	Vrsta tla	δ (m)
1	Glinasto ili muljevito tlo	2,2
2	Pijesak ili šljunak	3,2
3	Homogena stijena	4,2

3.5.2. Potrebna toplinska energija za ventilaciju

Potrebna toplinska energija za ventilaciju Q_{Ve} računa se prema Algoritmu za ventilaciju/klimatizaciju. U nastavku su dani osnovni izrazi radi lakšeg povezivanja dvaju algoritama.

Potrebna toplinska energija za ventilaciju/klimatizaciju zgrade može se iskazati kao:

$$Q_{Ve} = Q_{Ve,inf} + Q_{Ve,win} + Q_{H,Ve,mech} = 51182,4 + 76773,5 = 127956 [kWh] \quad (21)$$

gdje su:

$Q_{Ve,inf}$ – potrebna toplinska energija uslijed infiltracije vanjskog zraka [kWh],

$Q_{Ve,win}$ – potrebna toplinska energija uslijed prozračivanja otvaranjem prozora [kWh],

$Q_{H,Ve,mech}$ – potrebna toplinska energija u GViK sustavu kod zagrijavanja zraka [kWh]

Potrebna toplinska energija uslijed infiltracije:

$$Q_{Ve,inf} = \frac{H_{Ve,inf} (\vartheta_{int} - \vartheta_e)}{1000} t = \frac{3245(20 - 16,9)}{1000} \cdot 5088 = 76773,5 [W/K] \quad (22)$$

Koeficijent izmjene topline uslijed infiltracije:

$$H_{Ve,inf} = \frac{n_{inf}}{3600} V \rho_a c_{p,a} = \frac{0,6}{3600} \cdot 16144,2 \cdot 1,2 \cdot 1005 = 3245 [W/K] \quad (23)$$

gdje su:

n_{inf} – broj izmjena zraka uslijed infiltracije [h^{-1}],

V – volumen zraka u zoni [m^3],

ρ_a – gustoća zraka, $\rho_a = 1,2$ [kg/ m³],

$c_{p,a}$ – specifični toplinski kapacitet zraka, $c_p = 1005$ [J/kg K]

Broj izmjena zraka uslijed infiltracije ako nema mehaničke ventilacije ili je mehanička ventilacija balansirana:

$$n_{inf} = e_{wind}n_{50} = 0,1 \cdot 6 = 0,6$$

gdje su:

n_{50} – broj izmjena zraka pri narinutoj razlici tlaka od 50 Pa (h⁻¹), $n_{50} = 4$

e_{wind} , f_{wind} – faktori zaštićenosti zgrade od vjetra [-], $e_{wind} = 0,1$ (izloženo više fasada)

Stambena zgrada pripada kategoriji II tj. zgradama koje će tek biti završene i za koje se ne planiraju raditi testiranja zrakopropusnosti. Zgrada je srednje zaklonjena drvećem.

Potrebna toplinska energija uslijed prozračivanja:

$$Q_{Ve,win} = \frac{H_{Ve,win}(\vartheta_{int} - \vartheta_e)}{1000} t = \frac{4867,5 \cdot (20 - 16,9)}{1000} \cdot 5088 \quad (24)$$

$$= 76773,5 \text{ [kWh]}$$

Koeficijent izmjene topline uslijed prozračivanja:

$$H_{Ve,win} = \frac{n_{win}}{3600} V \rho_a c_{p,a} = \frac{0,9}{3600} \cdot 16144,2 \cdot 1,2 \cdot 1005 \quad (25)$$

$$= 4867,5 \text{ [W/K]}$$

gdje je:

n_{win} – broj izmjena zraka uslijed otvaranja prozora [h⁻¹], $n_{win} = 0,3$

Potrebna toplinska energija uslijed mehaničke ventilacije/klimatizacije:

$$Q_{Ve,mech} = \frac{H_{Ve,mech}(\vartheta_{int} - \vartheta_e)}{1000} t \text{ [kWh]} \quad (26)$$

U slučaju kad nema mehaničke ventilacije mora za stambene i nestambene zgrade vrijediti (prema tehničkom propisu koji se odnosi na o racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu u zgradama).

$$n_{inf} + n_{win} = \max\{n_{inf} + n_{win}; 0,5\} \quad (27)$$

3.5.3. Ukupni toplinski dobiti za proračunski period

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \text{ [kWh]} \quad (28)$$

3.5.3.1. Unutarnji toplinski dobiti

Unutarnji toplinski dobiti Q_{int} od ljudi i uređaja računaju se s vrijednošću 5 W/m^2 ploštine korisne površine za stambene prostore, a 6 W/m^2 za nestambene prostore. Proračun je po mjesecima.

$$Q_{int} = \frac{q_{spec} A_k \cdot t}{1000} \text{ [kWh]} \quad (29)$$

gdje su:

q_{spec} – specifični unutarnji dobitak po m^2 korisne površine, $5 \text{ [W/m}^2]$

A_k – korisna površina [m^2],

t – proračunsko vrijeme [h] (Tablica 9)

Tablica 9 Unutarnji toplinski dobiti po mjesecu

Mjesec	Vrijeme, h	Q_{int} , kWh
Siječanj	744	30028,21
Veljača	672	27122,26
Ožujak	744	30028,21
Travanj	720	29059,56
Svibanj	744	30028,21
Lipanj	720	29059,56
Srpanj	744	30028,21
Kolovoz	744	30028,21
Rujan	720	29059,56
Listopad	744	30028,21
Studeni	720	29059,56
Prosinac	744	30028,21
Godina	8760	353557,98

3.5.3.2. Toplinski dobici od Sunčeva zračenja

Solarni toplinski dobici za promatrani vremenski period t (h):

$$Q_{sol} = \sum Q_{sol,k} + \sum (1 - b_{tr})Q_{sol,u,l} \text{ [kWh]} \quad (30)$$

gdje su:

$Q_{sol,k}$ – srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz k -ti građevni dio u grijani prostor [kWh],

$Q_{sol,u}$ – srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz l -ti građevni dio u susjedni negrijani prostor [kWh],

b_{tr} – faktor smanjenja za susjedni negrijani prostor s unutarnjim toplinskim izvorom l prema HRN EN ISO 13789 [-]

Srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz građevni dio zgrade k :

$$Q_{sol,k} = \frac{F_{sh,ob} S_{s,k} A_{sol,k}}{3,6} - \frac{F_{r,k} \Phi_{r,k} t}{1000} \text{ [kWh]} \quad (31)$$

gdje su:

$F_{sh,ob}$ – faktor zasjenjena od vanjskih prepreka direktnom upadu sunčevog zračenja (1 – nema vanjskih prepreka direktnom upadu sunčevog zračenja),

$S_{s,k}$ – srednja dozračena energija sunčevog zračenja na površinu građevnog dijela k za promatrani period [MJ/m²],

$A_{sol,k}$ – efektivna površina građevnog elementa (otvora, zida) k na koju upada sunčevo zračenje [m²],

$F_{r,k}$ – faktor oblika između otvora k i neba (za nezasjenjeni vodoravni krov $F_{r,k} = 1$, za nezasjenjeni okomiti zid $F_{r,k} = 0,5$),

$\Phi_{r,k}$ – toplinski tok zračenjem od površine otvora k prema nebu [W],

t – proračunsko vrijeme [h] (tablica 9)

Efektivna površina građevnog elementa (otvora, zida) k na koju upada sunčevo zračenje:

$$Q_{sol,k} = F_{sh,gl} g_{gl} (1 - F_F) A_{pr} [m^2] \quad (32)$$

gdje su:

$g_{gl} = F_W \cdot g_{\perp}$ – ukupna propusnost Sunčeva zračenja okomito na ostakljenje kada pomično zasjenjenje nije uključeno [-],

F_W – faktor smanjenja zbog ne okomitog upada sunčevog zračenja, $F_W = 0,9$,

g_{\perp} – stupanj propuštanja ukupnog zračenja okomito na ostakljenje kada pomično zasjenjenje nije uključeno (jednostruko staklo – bezbojno, ravno, float staklo), $g_{\perp} = 0,87$

$F_{sh,gl}$ – faktor smanjenja zbog sjene pomičnog zasjenjenja,

F_F – udio ploštine prozorskog okvira u ukupnoj površini prozora (0,2)

A_{pr} – ukupna površina prozora [m^2]

3.5.4. Faktor iskorištenja toplinskih dobitaka

Faktor iskorištenja toplinskih dobitaka $\eta_{H,gn}$ (unutarnjih dobitaka i dobitaka od sunčevog zračenja) funkcija je efektivnog toplinskog kapaciteta zgrade i računa se na sljedeći način:

$$Q_{sol,k} = \frac{1 - y_H^{a_H}}{1 - y_H^{a_H+1}} [kWh] \quad (33)$$

za $y_H > 0$ i $y_H \neq 1$ [-]

gdje su:

a_H – bezdimenzijski parametar ovisan o vremenskoj konstanti zgrade τ [-],

y_H – omjer toplinskih dobitaka i ukupne izmijenjene topline transmisijom i ventilacijom u režimu grijanja

$$y_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} [-] \quad (34)$$

Bezdimenzijski parametar računa se iz sljedećeg izraza:

$$a_H = a_0 + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} [-] \quad (35)$$

gdje je:

$\tau_{H,o}$ – referentna vremenska konstanta za grijanje; za mjesečni proračun iznosi 15 h

Vremenska konstanta zgrade τ (h):

$$\tau = \frac{C_m/3600}{H_{tr} + H_{ve}} [h] \quad (36)$$

gdje su:

C_m – efektivni toplinski kapacitet grijanog dijela zgrade (zone) [J/K],

H_{Tr} – koeficijent transmisijske izmjene topline proračunske zone [W/K],

H_{Ve} – koeficijent ventilacijske izmjene topline proračunske zone [W/K]

C_m se može odrediti na sljedeći način:

$$C_m = 165 \text{ kJ/m}^2\text{K} \cdot A_f \quad (37)$$

- za zgrade s masivnim unutarnjim i vanjskim zidovima pri čemu je A_f [m²] površina kondicionirane zone zgrade s vanjskim dimenzijama

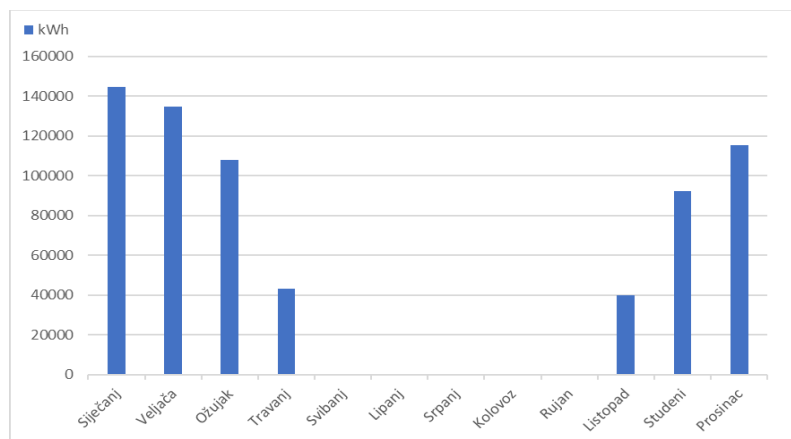
3.6. Rezultati proračuna godišnje potrebne toplinske energije za grijanje $Q_{H,nd}$

Poradi jednostavnosti i preglednosti sljedeći proračun bit će prikazan tablično za proračun prema mjesecima, a sve prema formulama u prethodnim poglavljima. Proračun je proveden pomoću programskog paketa Microsoft Excel, a prikazan je u tablici 10.

Tablica 10 Toplinska energija za grijanje iskazana po mjesecima

Mjesec	Ventilacijski gubici Q_{Ve} , [kWh]	Transmisijski gubici Q_{Tr} , [kWh]	Ukupni gubici $Q_{H,ht}$, [kWh]	Unutarnji dobici Q_{int} , [kWh]	Solarni dobici Q_{sol} , [kWh]	Ukupni dobici $Q_{H,gn}$, [kWh]	Omjer dobitaka i gubitaka γ_H	Faktor smanjenja $\eta_{H,gn}$	Toplinska energija za grijanje $Q_{H,nd}$, [kWh]
Siječanj	69410,04	116304,6	185714,6	30028,2	22255,67	52283,88566	0,281528	0,786661	144585
Veljača	67054,19	111407	178461,2	27122,3	30292,02	57414,2723	0,321718	0,763089	134649,1
Ožujak	57942,29	99587,19	157529,5	30028,2	41131	71159,21451	0,45172	0,695271	108054,5
Travanj	27452,5	54652,12	82104,6	29059,6	43559,54	72619,1	0,88447	0,53565	43206,21
Svibanj	Ljetni mjeseci – nema grijanja								
Lipanj									
Srpanj									
Kolovoz									
Rujan									
Listopad	25349,75	52074,53	77424,3	30028,2	41452,74	71480,95307	0,923237	0,524759	39914,01
Studeni	47311,75	83602,48	130914,2	29059,6	25381,31	54440,87365	0,415851	0,712627	92118,21
Prosinac	56131,6	96947,6	153079,2	30028,2	19789,01	49817,22336	0,325434	0,760821	115177,2
Godina	350652,1	614575,6	965227,7	205354,2	223861,3	429215,5248	0,444678	0,709327	677704,2

U posljednjem retku tablice 10 prikazana je toplinska energija za grijanje po mjesecima, a zbroj iste za svih 12 mjeseci, odnosno za 8 mjeseci u kojima je potrebno grijanje (siječanj, veljača, ožujak, travanj, svibanj, listopad, studeni, prosinac) iznosi 677704,2 kWh. Na slici 20 prikazana je raspodjela potrebne toplinske energije za grijanje po mjesecima izražena u kWh.



Slika 20 Raspodjela potrebne toplinske energije za grijanje po mjesecima

Na prethodnoj slici vrlo se jasno vidi da je najviše energije potrebno u pravim zimskim mjesecima (siječanj, veljača i prosinac). Ako se ukupna potrebna toplinska energija za grijanje podijeli s ukupnom grijanom površinom stambene zgrade koja iznosi 8072,1 m², dobije se sljedeće:

$$Q_{H,nd.ref} = \frac{Q_{H,nd}}{A_K} = \frac{677704}{8072,1} = 84 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ god}) \quad (38)$$



Slika 21 Energetski razred C

4. IZRAČUN SEZONSKE UČINKOVITOSTI DIZALICE TOPLINE

4.1. Energetski certifikator [27]

Izračun sezonske učinkovitosti dizalice topline rađen je pomoću programa Energetski certifikator koji omogućuje brz i jednostavan proračun dizalice topline. Riječ je o računalnom programu kojeg je Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja dalo besplatno na korištenje osobama ovlaštenim za energetske certificiranje, energetski pregled zgrade i redoviti pregled sustava grijanja i sustava hlađenja ili klimatizacije u zgradi.

Energetski certifikator omogućava proračun energetskog svojstva zgrade pomoću definiranja karakteristika zgrade, toplinskih dobitaka i gubitaka, termotehničkih sustava grijanja, hlađenja i potrošnje tople vode i rasvjete te omogućava pregled energetskog certifikata. Karakteristike zgrade koje program traži su definiranje zona, građevnih dijelova, prijenosa topline prema tlu, otvora, zaštite od sunčevog zračenja te transmisijskih gubitaka kao što je bilo korišteno i u proračunu u prethodnom poglavlju.

4.2. Rezultati dobiveni programom

Kako Energetski certifikator omogućava dinamični satni proračun potreba toplinske energije, može doći do manjih odstupanja u rezultatima proračuna provedenog u prethodnom poglavlju koji se radi na mjesečnoj bazi. Na slici 22 prikazani su rezultati dobiveni programom.

Mjesec	Q H,nd,m [kWh]
Siječanj	140948,60
Veljača	131060,20
Ožujak	108273,70
Travanj	47279,43
Svibanj	1070,22
Lipanj	0,00
Srpanj	0,00
Kolovoz	0,00
Rujan	0,00
Listopad	35863,58
Studeni	96920,26
Prosinac	115774,90
UKUPNO =	677190,81

Slika 22 Potrebna toplinska energija dobivena programom

Program traži definiranje i potrošne tople vode, te nakon odabira termotehničkog sustava daje prikaz svih zahtjeva za grijanjem i hlađenjem, kao što je vidljivo na slici 23.

Naziv	$d_{grijanje}$ [dan]	$d_{izv.grijanja}$ [dan]	$Q_{H,nd,exp}$ [kWh]	$Q_{C,nd,exp}$ [kWh]	$Q_{W,exp}$ [kWh]
Termotehnički sustav	219,00	146,00	677190,81	258158,49	1616,74

Slika 23 Programom definirani zahtjevi na termotehnički sustav

Sljedeći korak je definiranje podsustava grijanja, počevši od podsustava predaje topline. Potrebno je definirati neke podatke kao što su visina prostorije, nazivnu snagu instaliranih ogrjevnih tijela te vrstu grijanja i regulaciju kao što je vidljivo na slici 24.

Podsustav predaje topline za grijanje

- 01. Osnovni podaci

#

Naziv

Visina prostora

Φ_{em}

- 02.1. Osnovne karakteristike

Faktor hidrauličke ravnoteže

f_{hydr}

f_{im}

Faktor utjecaja zračenja

f_{rad}

- 02.2. Određivanje učinkovitosti

Vrsta grijanja

Vrsta zračnog grijanja

Parametar regulacije sustava

η_{em}

+ 03. Pomoćna energija

Slika 24 Definiran podsustav predaje topline

Nakon podsustava predaje definira se podsustav razvoda u kojemu se traži definiranje dimenzija zgrade te nakon toga definiranje duljina cjevovoda i prosječne temperature ogrjevnog

medija. Kako je za učinkovitost dizalice topline značajan faktor temperatura polaza, te bi ona trebala biti što niža, odabrana je najniža moguća temperatura za radijatorsko grijanje, odnosno 55 °C dok je za temperaturu povrata uzeto 45 °C.

Posljednja stvar koja je ostala za definirati je podsustav proizvodnje. Da bi se to napravilo, potrebno je izračunati učinak u radnoj točki dizalice topline pomoću formule:

$$\phi = \frac{\sum H \cdot (\vartheta_{int} - \vartheta_e)}{1000} = \frac{21705,8 \cdot (20 - (-2))}{1000} = 477,5 [kW] \quad (39)$$

Nakon potpunog definiranja termotehničkog sustava dobiti će se ukupna energija na izlazu podsustava proizvodnje topline za grijanje i PTV kao što je prikazano na slici 25 te program proračunava potrebna svojstva dizalice topline te su dobiveni rezultati vidljivi na slici 26.

Mjesec	Naziv	Q _{H,gen,out} (Sobni) [kWh]	Q _{H,gen,out} (GVİK) [kWh]	Q _{H,gen,out} [kWh]	Q _{W,gen,out} [kWh]	Q _{HW,gen,out} [kWh]
Siječanj	Podsustav proizvodnje grijanja	136587,23	0,00	136587,23	22332,56	158919,79
Veljača	Podsustav proizvodnje grijanja	127741,96	0,00	127741,96	20171,35	147913,30
Ožujak	Podsustav proizvodnje grijanja	99722,73	0,00	99722,73	22332,56	122055,29
Travanj	Podsustav proizvodnje grijanja	33598,27	0,00	33598,27	21612,16	55210,43
Svibanj	Podsustav proizvodnje grijanja	0,00	0,00	0,00	22332,56	22332,56
Lipanj	Podsustav proizvodnje grijanja	0,00	0,00	0,00	21612,16	21612,16
Srpanj	Podsustav proizvodnje grijanja	0,00	0,00	0,00	22332,56	22332,56
Kolovoz	Podsustav proizvodnje grijanja	0,00	0,00	0,00	22332,56	22332,56
Rujan	Podsustav proizvodnje grijanja	0,00	0,00	0,00	21612,16	21612,16
Listopad	Podsustav proizvodnje grijanja	25231,92	0,00	25231,92	22332,56	47564,48
Studeni	Podsustav proizvodnje grijanja	87332,20	0,00	87332,20	21612,16	108944,36
Prosinac	Podsustav proizvodnje grijanja	107885,54	0,00	107885,54	22332,56	130218,10
UKUPNO =		618099,83	0,00	618099,83	262947,93	881047,76

Slika 25 Ukupna potrebna toplinska energija bez gubitaka dobivena programom

E _{H,hp,in} [kWh]	E _{W,hp,in} [kWh]	E _{HW,hp,in} [kWh]	Q _{H,bu,out} [kWh]	Q _{W,bu,out} [kWh]	Q _{HW,bu,out} [kWh]	SPF _{HW,hp} [kWh]	Q _{HW,renew,in} [kWh]
130238,95	88615,47	218854,42	0,00	0,00	0,00	4,01	666036,23

Slika 26 Ukupno potrebna električna energija i SPF dobiveni programom

Prvi i treći stupac na slici 25 predstavljaju ukupno potrebnu toplinsku energiju za grijanje. Stupcima se ne mijenja iznos jer ne postoji sustav grijanja, ventilacija i klimatizacije (GVİK). Četvrti stupac predstavlja ukupnu potrebnu toplinsku energiju za zagrijavanje PTV-a. Kao što je vidljivo na slici, potreba za zagrijavanjem PTV-a javlja se tijekom cijele godine. Zadnji stupac zbraja potrebe za grijanje prostora i PTV-a te je ukupan iznos bez uračunatih gubitaka sustava 881047,76 kWh.

Utrošena električne energije potrebne za pogon dizalice topline u režimu grijana iznosi 130238,95 kWh dok ona za pogon dizalice topline u režimu pripreme PTV-a iznosi 88615,47 kWh što daje ukupno potrebu za električnom energijom u iznosu od 218859,41 kWh. U konačnici se dobije sezonska učinkovitost dizalice topline koja iznosi 4,01 i obnovljiva energija podsustava proizvodnje 666036,23 kWh. U Poglavlju 1. bilo je govora o SPF-u te je napomenuto kako je on najbitniji faktor za određivanje da li dizalica toplina spada u obnovljive izvore. Za dizalice topline voda – voda s pogonom na električnu energiju minimalni SPF koji se mora zadovoljiti kako bi se ona smatrala obnovljivom je 3,5 te je taj uvjet zadovoljen.

5. TEHNO – EKONOMSKA ANALIZA

Kvalitativna analiza ekonomske isplativosti različitih izvora toplinske i rashladne energije provedena je na primjeru hotela površine 8072,1 m², učinka grijanja 477,5 kW smještene u području primorske Hrvatske, točnije na otoku Hvaru. Specifična godišnja potrebna toplinska energija podsustava razvoda po površini grijanog prostora iznosi 84 kWh/(m²god), odnosno godišnja potrebna toplinska energija podsustava razvoda za grijanje hotela iznosi 677704 kWh/god dok potrebna rashladna energija podsustava razvoda za hlađenje hotela iznosi 258159 kWh/god. Dizalica topline koja koristi morsku vodu kao izvor energije bit će uspoređena s postojećim sustavom grijanja s kotlovima na lož ulje te s klimatizacijskim uređajima za hlađenje. Kako je kotao već instaliran, pri ekonomskoj analizi u obzir će se uzeti samo potrošnja goriva i održavanje sustava dok su klima uređaji instalirani samo u 20 soba te bi se za ostalih 180 trebali instalirati novi.

5.1. Troškovi sustava grijanja

Ekonomska analiza investicijskih i pogonskih troškova sustava grijanja i hlađenja za potrebe ovog rada bazirana je na sljedećim pretpostavkama:

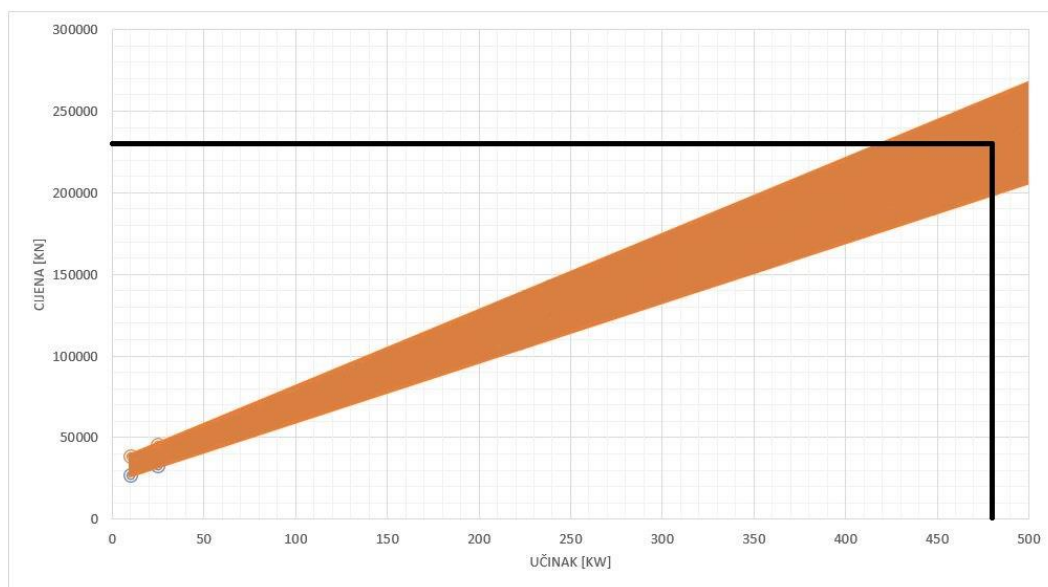
- sustav grijanja hotela neovisna je o izvoru ogrjevnog učinka tj. pretpostavlja se da su svi toplinski uređaji prikazani u ovoj analizi u mogućnosti isporučiti ogrjevni medij u temperaturnom režimu 55/45 °C
- dizalica topline s morskom vodom kao izvorom energije u stanju je sama isporučiti onu količinu toplinske energije kojom će se moći pokriti toplinsko opterećenje hotela tijekom sezone grijanja, odnosno dizalica topline radi u monovalentnom načinu rada

Pretpostavka neovisnosti sustava grijanja o izvoru ogrjevnog učinka omogućuje da se na jednostavan način odrede investicijski i pogonski troškovi termotehničkog sustava baziranog na različitim toplinskim uređajima. Također, pretpostavka da dizalica topline može sama podnijeti toplinsko opterećenje stambene zgrade važna je iz razloga što se time pojednostavljuje izvedba samog termotehničkog sustava, tj. nije potrebna ugradnja pomoćnog toplinskog uređaja za grijanje. Time se olakšava izračun troškova investicije i pogona sustava grijanja s dizalicama topline.

Investicijski troškovi termotehničkih sustava dizalice topline voda-voda sastoje se od:

- troškovi sustava izmjene topline s podzemnom vodom
- troškovi uređaja dizalice topline
- troškovi opreme i materijala za izvedbu sustava distribucije toplinske energije
- ostali trošak (instalacija, servis)

Od ukupne investicije 20 do 50 % troškova iznosi cijena bunara i razvoda vode do dizalice topline. Na slici 27 prikazana je upravo cijena bunara i razvoda vode do dizalice topline u ovisnosti o učinku koja za učinak od 477,5 kW iznosi oko 230000 kn. Pritom je u obzir uzeta topografija i sastav stjenovitog tla na otoku Hvaru, ali kako je bunar potreban samo za usis vode te je povrat moguće izvesti direktno u more, procijenjena je srednja vrijednost cijena.



Slika 27 Cijena bunara i razvoda vode do dizalice topline u ovisnosti o učinku [28]

Sljedeća velika cjenovna stavka je upravo uređaj dizalice topline. Procijenjena cijena dizalice topline iznosi 755000 kn. Pritom su u cijenu investicije uzete pojedinačne komponente koje uključuju:

- dizalicu topline: 220000 kn
- među izmjenjivače: 20000 kn
- spremnike tople vode: 70000 kn
- armaturu: 105000 kn

- razvodnu grupu: 95000 kn
- elektro ormar i upravljanje: 90000 kn
- instalacijske radove: 155000 kn

Preostaju još samo troškovi distribucije toplinske energije. Specifična cijena za grijanje/hlađenje ventilokonvektorima je 150-220 kn/m².

$$T_{distrib,DT} = 150 \cdot 8072,1 = 1211815 [kn] \quad (40)$$

5.2. Troškovi sustava hlađenja

Hotel u ovom trenu nema hlađenje ljeti za 180 soba. To bi se moglo riješiti pomoću VRV (eng. *Variable refrigerant flow*) sustava. Za veličinu soba od prosječno 15 m² procijenjen je ukupan potreban toplinski učin od 189 kW (70 W/m²). Odabrana su 5 VRV sustava rashladnog učina jedne vanjske jedinice od 40 kW i maksimalno dozvoljenih 64 unutarnjih jedinica [29]. Faktor hlađenja uređaja je 3,74 [30]. Cijena jedne vanjske jedinice je 66188 kn, dok je cijena jedne unutarnje jedinice 3820 kn [29]. Također, procijenit će se cijena instalacije od 500 kn po unutarnjoj jedinici.

$$T_{van.jed.} = N_{van.jed.} \cdot C_{van.jed} = 5 \cdot 66188 = 330940 [kn] \quad (41)$$

$$T_{un.jed.} = N_{un.jed.} \cdot C_{un.jed} = 180 \cdot 3820 = 687600 [kn] \quad (42)$$

$$T_{instal} = N_{un.jed.} \cdot C_{instal} = 180 \cdot 500 = 90000 [kn] \quad (43)$$

$$T_{VRV} = T_{van.jed.} + T_{un.jed.} + T_{instal} = 330940 + 687600 + 90000 = 1108540 [kn] \quad (44)$$

5.3. Rezultati tehničko – ekonomske analize

Prije postavljanja same ekonomske analize potrebno je ustvrditi cijenu energenata. Cijena električne energije korištena za rad dizalice topline, ali i klimatizacijskih uređaja uzeta je za plavi, jednotarifni model za poduzetnike te ona iznosi 0,96 kn/kWh [31] dok je cijena lož ulja 0,42 kn/kWh [32]. Kako je kotlovnica starije izvedbe te se ne može doći do podataka o njejoj iskoristivosti iskustveno, uzeta je iskoristivost od 75%. Također, važno je napomenuti da makar

se radi o hotelu, pošto se uspoređuju dva sustava neće se uzimati u obzir eventualna moguća amortizacija. Novac potreban za kupnju i instalaciju dizalice topline, ali i klimatizacijskih uređaja obračunat će se pomoću kredita za poduzetnike čija kamatna stopa iznosi 4% [33]. Godine otplate dobivene su interpolacijom orijentiranom na pronalazak vremena kada dizalica topline postaje manji trošak od kotla na lož ulje i klimatizacijskih uređaja. Ovdje je potrebno naglasiti da bi se, u slučaju nemogućnosti pokrivanja proračunom dobivenih godišnjih troškova, troškovi otplate kredita mogli smanjiti dodatnim povećanjem broja godina.

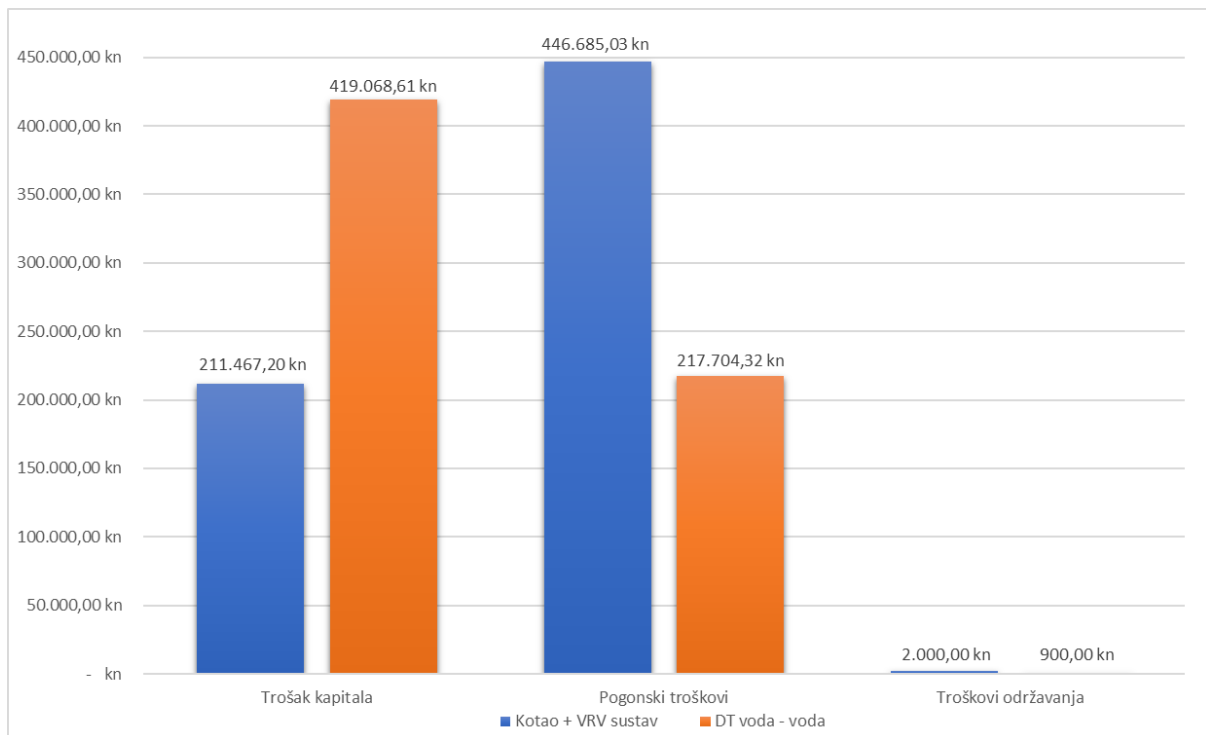
Tablica 11 prikazuje rezultate analize počevši od prikaza investicijskih troškova, preko energetske analize i na kraju do ekonomske analize. Dobiveni rezultati prikazuju da već s rokom otplate kredita od 6 godina godišnji trošak dizalice topline postaje manji od troška kotla na lož ulje i instaliranog VRV sustava.

Kako bi se pokrile sve mogućnosti napravljene su i 2 usporedbene tehno – ekonomske analize. Prvi scenarij je ugradnja dizalice topline samo za grijanje, odnosno slučaj kada ne bi postojala potreba za instaliranjem VRV sustava. Takav scenarij pokazao je da bi tek u slučaju roka otplate kredita od 20 godina godišnji troškovi instalacije dizalice topline bili manji od troškova kotla na lož ulje. Usprkos tome, kako se u navedenom slučaju radi o usporedbi s postojećim sustavom, sama činjenica da je moguće dobiti razuman broj godina otplate kredita unutar kojih bi troškovi dizalica topline bili manji od postojećeg sustava pokazuje njenu isplativost. Nadalje, ugradnja dizalice topline i mogućnost hlađenja ljeti moglo bi povećati klasifikaciju hotela s 3 na 4 zvjezdice.

Drugi scenarij biti će ugradnja solarnih panela uz dizalicu topline. Odabrana je solarna elektrana snage 130 kW cijene 599000 kn [34] koja će biti u mogućnosti pokriti i najveće zahtjeve dizalice topline, a čija će se proizvodnja koristiti samo za pokrivanje potreba hotela. Pokazalo se da, iako su u ovom scenariju troškovi investicije viši, potreban rok otplate kredita za izjednačenja troškova je minimalan, odnosno radi se o 5 godin. Također, samo u ovom slučaju nakon završetka perioda otplate kredita troškovi pogona padaju na 0 kn/god što ga čini najpovoljnijim.

Tablica 11 Tehno – ekonomska analiza – glavni scenarij

Investicijski troškovi termotehničkih sustava	Kotao na lož ulje + VRV sustav		DT voda - voda
Troškovi sustava izmjene topline s podzemnom vodom, kn	0		230000
Troškovi uređaja, kn	0		755000
Troškovi distribucije topl. energije, kn	0		1211815
Troškovi VRV sustava	1108540		0
Ukupni investicijski troškovi, kn	1108540		2196815
Energetska analiza			
Potrebna topl. Energija za grijanje, kWh/god	679321		679321
Stupanj djelovanja/godišnji fakto grijanja	0,75		4,01
Efektivna energija za grijanje, kWh/god	905761,0		169406,7
Potrebna topl. energija za hlađenje, kWh/god	258159		258159
Faktor hlađenja	3,74		4,5
Efektivna energija za hlađenje, kWh/god	85767,1		57368,7
Utrošak energenta, el. Eng, kWh/god	85767,1		226775,3
Utrošak energenta, lož ulje kWh/god	905761,0		-
Ekonomska analiza			
Investicija, kn	1108540		2196815
Kamatna stopa, %	4		4
Godine otplate	6		6
Godišnja rata kredita	211467,2		419068,61
Cijena energenta, kn/kWh	Lož ulje	0,42	0,96
	El. eng	0,96	
Pogonski troškovi, kn/god	Grijanje	380419,61	162630,40
	Hlađenje	66265,41	57369,63
Trošak grijanja i hlađenja kn/god	446685,03		217704,32
Održavanje, kn/god	Kotao	500	900
	VRV	1500	
Ukupni troškovi nakon godinu dana, kn	660152,23		637672,93
Ukupni troškovi nakon 6 godina, kn	3960913,35		3826037,58



Slika 28 Vizualni prikaz ekonomske analize

Tablica 12 Tehno – ekonomska analiza – scenarij 1

Investicijski troškovi termotehničkih sustava	Kotao na lož ulje	DT voda - voda
Troškovi sustava izmjene topline s podzemnom vodom, kn	0	230000
Troškovi uredaja DT, kn	0	755000
Troškovi distribucije topl. energije, kn	0	1211815
Ukupni investicijski troškovi, kn	0	2196815
Energetska analiza		
Potrebna topl. Energija za grijanje, kWh/god	679321	679321
Stupanj djelovanja/godišnji fakto grijanja	0,75	4,01
Efektivna energija za grijanje, kWh/god	905761,0	169406,7
Utrošak energenta, el. Eng, kWh/god	-	169406,7
Utrošak energenta, lož ulje kWh/god	905761,0	-
Ekonomska analiza		
Investicija, kn	-	2196815
Kamatna stopa, %	-	4
Godine otplate	-	20
Godišnja rata kredita	-	158334,31
Cijena energenta, kn/kWh	0,42	0,96
Pogonski troškovi, kn/god	380419,61	217704,32
Održavanje, kn/god	500	900
Ukupni troškovi nakon godinu dana, kn	380919,61	380249,81
Ukupni troškovi nakon 20 godina, kn	7618392,29	7604996,29

Tablica 13 Tehno – ekonomska analiza – scenarij 2

Investicijski troškovi termotehničkog sustava		Kotao na lož ulje + VRV sustav	DT voda - voda
Troškovi sustava izmjene topline s podzemnom vodom, kn		0	230000
Troškovi uređaja DT, kn		0	755000
Troškovi distribucije topl. energije, kn		0	1211815
Troškovi solarne elektrane, kn		0	599000
Troškovi klima uređaja		1108540	0
Ukupni investicijski troškovi, kn		1108540	2750815
Energetska analiza			
Potrebna topl. energija za grijanje, kWh/god		679321	679321
Stupanj djelovanja/godišnji fakto grijanja		0,75	4,01
Efektivna energija za grijanje, kWh/god		905761,0	169003,5
Potrebna topl. energija za hlađenje, kWh/god		258159	258159
Faktor hlađenja		3,74	4,5
Efektivna energija za hlađenje, kWh/god		69026,5	57368,7
Utrošak energenta, el. Eng, kWh/god		69026,5	226775,3
Utrošak energenta, lož ulje kWh/god		905761,0	-
Ekonomska analiza			
Investicija, kn		1108540	2750815
Kamatna stopa, %		4	4
Godine otplate		5	5
Godišnja rata kredita		249008,14	617907,63
Cijena energenta, kn/kWh		Lož ulje	0,42
		El. eng	0,96
Pogonski troškovi, kn/god	Grijanje	380419,61	0
	Hlađenje	66265,41	0
Trošak grijanja i hlađenja kn/god		446685,03	0
Održavanje, kn/god		Kotao	500
		Klime	1500
Ukupni troškovi nakon godinu dana, kn		697693,17	628915,85
Ukupni troškovi nakon 5 godina, kn		3488465,83	3144579,27

6. ZAKLJUČAK

Diplomski rad sadrži pregled europske legislative i hrvatskih zakona kojih se treba pridržavati prilikom instalacije dizalice topline. Također je proveden proračun koji uključuje: proračun potrebne godišnje energije za grijanje hotela, proračun sezonske učinkovitosti dizalice topline te tehno-ekonomska analiza. Prema dobivenim, ali i izračunatim podacima, može se zaključiti da hotel ne posjeduje dobra izolacijska svojstva te mu trenutni sustav grijanja, uz gotovo nepostojeći sustav hlađenja, ne zadovoljava visoke standarde energetske učinkovitosti.

Dizalice topline danas se uvelike promoviraju kao sastavni dio zgrada gotovo nulte emisije. Među svim izvedbama kao najstabilnije rješenje nameću se one s vodom kao izvorom topline zbog velike količine vode dostupne pri prilično konstantnim temperaturama. Ta temperatura se na području otoka Hvara ne spušta ispod 10 °C te je njena srednja vrijednost 16,4 °C. Upravo to, uz blagu zimu na otoku Hvaru, omogućava razmatranje primjene dizalice topline za grijanje hotela usprkos njegovoj nedovoljnoj izolaciji.

Kako hotelu nedostaje sustav hlađenja, usprkos visokim investicijskim troškovima dizalice topline, tehno – energetska analiza pokazala je da se već s rokom otplate kredita od 6 godina dizalica topline pokazuje kao isplativija opcija u usporedbi s VRV sustava. Taj period mogao bi se dodatno smanjiti na 5 godina instalacijom solarne elektrane. Jedini slučaj kada dizalica topline ne bi imala kratak period povrata je kada se u hotelu ne bi radilo na instalaciji rashladnih uređaja te bi tada do izjednačenja troškova došlo tek s rokom otplate kredita od 20 godina. Kako je hotelu ipak u cilju instalirati sustav hlađenja, dizalica topline pokazuje se kao dugoročno najbolje rješenje.

Dizalice topline već imaju važnu ulogu u energetske sustavima nekih zemalja. Ne koristi ih se samo kao kućanske sustave, nego i za grijanje i hlađenje čitavih naselja. Ukoliko se počnu primjenjivati sustavi dizalica toplina kao zamjena za postojeće stare kotlove na fosilna goriva i javne kotlovnice, može se očekivati smanjenje emisija CO₂, ostvarenje gospodarskog rasta, ali i globalno smanjenje temperature zraka.

LITERATURA

- [1] “2030 Energy Strategy - European Commission.” [Online]. Dostupno na: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/2030-energy-strategy>. [Pristupljeno: 10-11-2017].
- [2] “Paris Agreement | Climate Action.” [Online]. Available Dostupno na: https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_en. [Pristupljeno: 10-11-2017].
- [3] “U.S. Climate Alliance.” [Online]. Dostupno na: <https://www.usclimatealliance.org/>. [Pristupljeno: 10-11-2017].
- [4] Komisija Europske Unije, “ODLUKA KOMISIJE od 9. studenoga 2007. o utvrđivanju ekoloških mjerila za dodjelu znaka za okoliš Zajednice za električne, plinske ili apsorpcijske plinske toplinske crpke,” 2008. Dostupno na: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013D0114&qid=1511596295710&from=en>. [Pristupljeno: 25-11-2017].
- [5] Hrvatski sabor, “Zakon o vodama - Zakon.hr.” [Online]. Dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/124/Zakon-o-vodama>. [Pristupljeno: 25-11-2017].
- [6] Vlada Republike Hrvatske, “Uredba o visini naknade za korištenje voda.” [Online]. Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010_07_82_2335.html. [Pristupljeno: 25-11-2017].
- [7] Vlada Republike Hrvatske, “Uredba o izmjenama i dopunama Uredbe o visini naknade za korištenje voda.” [Online]. Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_01_10_178.html. [Pristupljeno: 25-11-2017].
- [8] MRRŠVG, “Pravilnik o obračunu i naplati naknade za korištenje voda.” [Online]. Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010_07_84_2404.html. [Pristupljeno: 25-Nov-2017].
- [9] MRRŠVG, “Pravilnik o izdavanju vodopravnih akata.” [Online]. Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010_06_78_2256.html. [Pristupljeno: 25-11-2017].
- [10] B. Labudović, “Umjesto poticaja - namet!,” pp. 56–59, 2013.

- [11] “Pregled indikatora.” [Online]. Dostupno na: http://baltazar.izor.hr/azopub/indikatori_podaci_sel_detalji2?p_id=467&p_pravni_okvir=d&p_ind_tekst=d&p_prikaz_sli=d&p_ind_br=2B05&p_godina=2014&p_opis=&p_definicija=&p_prikaz_graf=. [Pristupljeno: 12-Nov-2017].
- [12] “Obnovljivi izvori energije | Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost.” [Online]. Dostupno na: http://www.fzoeu.hr/hr/energetska_ucinkovitost/obnovljivi_izvori_energije/. [Pristupljeno: 21-11-2017].
- [13] “Strategija energetskega razvoja Republike Hrvatske.” [Online]. Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2009_10_130_3192.html. [Pristupljeno: 21-11-2017].
- [14] “Javni natječaj za sufinanciranje energetske obnove nestambenih zgrada,” 2015.
- [15] “Obavijesti | Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost.” [Online]. Dostupno na: http://www.fzoeu.hr/hr/obavijesti/obavijest_prijaviteljima_za_sufinanciranje_energetsk_e_obnove_visestambenih_zgradaxxxx/. [Pristupljeno: 21-11-2017].
- [16] “Pametna Rast Izgradnja ili rekonstrukcija hotela - Pametna Rast.” [Online]. Dostupno na: <http://www.pametnarast.hr/izgradnja-ili-rekonstrukcija-hotela/#prettyPhoto>. [Pristupljeno: 21-11-2017].
- [17] B. Čosić, L. Perković, J. Baleta, and N. Duić, “Technical, Environmental and Economic analysis of low and medium size of solar cooling systems, heat pumps with sea water, wind turbines and tidal current technologies,” 2015.
- [18] V. Soldo, “Dizalice topline,” 2013.
- [19] M. Andrassy *et al.*, *Priručnik za energetske certificiranje zgrada*. 2010.
- [20] “Podaci dobiveni od Državnog hidrometeorološkog zavoda.”
- [21] A. Bolarić, “Diplomski rad,” 2013.
- [22] T. Horvat, “Diplomski rad,” 2014.
- [23] M. S. Mitchell and J. D. Spitler, “Open-loop direct surface water cooling and surface water heat pump systems—A review,” *HVAC&R Res.*, vol. 19, pp. 125–140, 2013.
- [24] “Sea Water Intake - Compliance Environmental Services.” [Online]. Dostupno na:

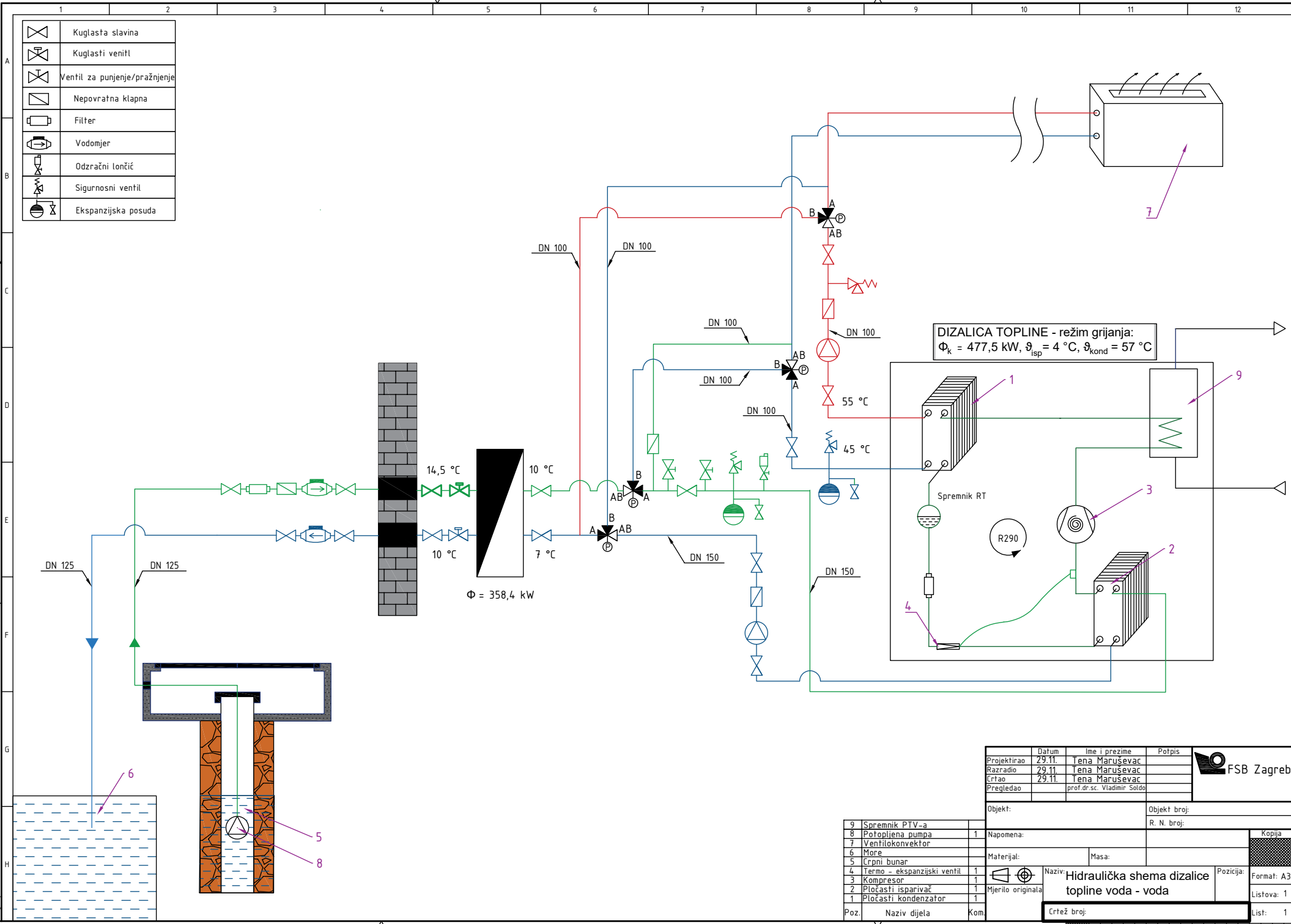
- <http://www.amecosys.com/seawater-intake-systems/infiltration-how-it-works/>.
[Pristupljeno: 24-11-2017].
- [25] “ARKOD Preglednik.” [Online]. Dostupno na: [http://preglednik.arkod.hr/ARKOD-Web/#layers=OSNOVNI PROSTORNI PODACI,DOF-client,ZU-client,LPIS_FILTERED,LPIS_200,LPIS_210,LPIS_310,LPIS_320,LPIS_321,LPIS_410,LPIS_421,LPIS_422,LPIS_430,LPIS_450,LPIS_490,LPIS_900,LPIS,SLOPE05,SLOPE10,SLOPE1015,SLOPE1](http://preglednik.arkod.hr/ARKOD-Web/#layers=OSNOVNI%20PROSTORNI%20PODACI,DOF-client,ZU-client,LPIS_FILTERED,LPIS_200,LPIS_210,LPIS_310,LPIS_320,LPIS_321,LPIS_410,LPIS_421,LPIS_422,LPIS_430,LPIS_450,LPIS_490,LPIS_900,LPIS,SLOPE05,SLOPE10,SLOPE1015,SLOPE1). [Pristupljeno: 24-11-2017].
- [26] “Adriatiq.” [Online]. Dostupno na: <https://hotelhvar-adriatiq.com/hr>. [Pristupljeno: 24-11-2017].
- [27] “Računalni program za određivanje energetskeg svojstva zgrade.” [Online]. Dostupno na: <http://brochures.climatecenter.co.uk/PDFFiles/ClimateCenter/CLM0007.pdf>. [Pristupljeno: 15-11-2017].
- [28] M. Grozdek, “Tehnoekonomska analiza primjene dizalica topline.”
- [29] DAIKIN, “Daikin UK Price List 2015.” Dostupno na: https://www.daikin.hr/content/dam/internetdenv/catalogues_brochures/commercial/206%20-%20VRV%20IV%20product%20profile.pdf. [Pristupljeno: 15-11-2017].
- [30] DAIKIN, “VRV IV.” [Online]. Dostupno na: https://www.daikin.hr/content/dam/internetdenv/catalogues_brochures/commercial/206%20-%20VRV%20IV%20product%20profile.pdf. [Pristupljeno: 15-11-2017].
- [31] “HEP ELEKTRA d.o.o. - Tarifne stavke (cijene).” [Online]. Dostupno na: <http://www.hep.hr/elektra/poduzetnistvo/tarifne-stavke-cijene-1578/1578>. [Pristupljeno: 17-11-2017].
- [32] “Financijska usporedba energenata.” [Online]. Dostupno na: <http://www.servis-perkovic.hr/montaza-centralnog-grijanja/financijska-usporedba-energenata.aspx>. [Pristupljeno: 17-11-2017].
- [33] “HABOR Turizam.” [Online]. Dostupno na: https://www.hbor.hr/kreditni_program/turizam/. [Accessed: 21-Nov-2017].
- [34] “Solarne elektrane MAXCELL 100KW moduli: Solar Shop.” [Online]. Dostupno na: <http://www.solarno.hr/katalog/proizvod/ELEKT100KW/solarne-elektrane-maxcell->

100kw-moduli. [Pristupljeno: 19-11-2017].

PRILOZI

- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija
 - a. Hidraulička shema dizalice topline voda - voda

	Kuglasta slavina
	Kuglasti venitl
	Ventil za punjenje/praznjenje
	Nepovratna klapna
	Filter
	Vodomjer
	Odzračni lončić
	Sigurnosni ventil
	Ekspanzijska posuda



Projektor	Datum	Ime i prezime	Potpis
Razradio	29.11.	Jena Maruševac	
Crtao	29.11.	Jena Maruševac	
Pregledao		prof.dr.sc. Vladimir Soldo	



Objekt:	Objekt broj:
R. N. broj:	
Napomena:	
Materijal:	Masa:
Naziv: Hidraulička shema dizalnice topline voda - voda	
Pozicija:	
Crtež broj:	

9	Spremnik PTV-a	
8	Potopljena pumpa	1
7	Ventilokonvektor	
6	Mora	
5	Crpni bunar	
4	Termo - ekspanzijski ventil	1
3	Kompresor	1
2	Plotasti isparivač	1
1	Plotasti kondenzator	1
Poz.	Naziv dijela	Kom.

Kopija
Format: A3
Listova: 1
List: 1

design by CADLab