Analiza iskorištavanja toplinske energije mora za primjenu dizalica topline u javnim zgradama cresko-lošinjskog arhipelaga

Maruševec, Petar

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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:235:537362

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Petar Maruševec

Zagreb, veljača 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Student:

Doc. dr. sc. Goran Krajačić Petar Maruševec

Zagreb, veljača 2020.

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

Zahvaljujem se doc. dr. sc. Goranu Krajačiću na ukazanom povjerenju i mogućnosti izrade završnog rada u njegovom mentorstvu te se isto tako zahvaljujem asistentu Hrvoju Stančinu, mag. ing. na pruženoj pomoći i korisnim savjetima tijekom pisanja rada.

Područje rada je usko vezano uz projekte COASTENERGY i Blue Deal, te se rad može koristiti u svrhe tih projekata.

Također, zahvaljujem se Odjelu za sustavno gospodarenje energijom APN-a (Agencije za pravni promet i posredovanje nekretninama) koji su mi omogućili pristup Informacijskom sustavu za gospodarenje energijom (ISGE-u) i podacima vezanim za objekte javne namjene na području cresko – lošinjskog arhipelaga, a koji su se koristili u proračunima rada.

Ovaj rad posvećujem mojim roditeljima, majci Jasni i ocu Ivanu, koji su sa svojim skromnim obrazovanjem, ali ogromnom ljubavlju i ljudskom mudrošću usadili u mene bezgraničnu vjeru u obitelj, znanje, poštenje i čovjeka; te mojoj braći, Antoniju i Luki, koji su mi vječita inspiracija i poticaj za svaki naredni korak u životu.

Petar Maruševec

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

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

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Petar Maruševec** Mat. br.: **0035202447**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analiza iskorištavanja toplinske energije mora za primjenu dizalica topline u javnim zgradama cresko-lošinjskog arhipelaga**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Analysis of Sea Thermal Potential for the Application of Heat Pumps in the Public Buildings of the Cres-Lošinj Archipelago**

Opis zadatka:
Gradovi Cres i Mali Lošinj potpisnici su Izjave o „Čistoj energiji za EU otoke" čime su se obvezali koordinirati i provoditi akcije koje potiču održivi razvoj i vode do potpune dekarbonizacije otočnih zajednica. Racionalno korištenje energije, kao i korištenje lokalno dostupnih obnovljivih izvora energije važan je korak u naprednom planiranju otočnih energetskih sustava. Ulaganje u nove tehnologije te korištenje energije mora predstavlja ogroman potencijal za efikasnu i brzu tranziciju otočnih zajednica prema održivim, nisko-ugljičnim rješenjima.

U sklopu završnog rada potrebno je izraditi sljedeće:

1. Identificirati sve zgrade javne namjene cresko-lošinjskog arhipelaga za koje postoje dostupni podaci o potrošnji energenata.
2. Analizirati potrošnju električne energije, prirodnog plina, lož ulja i ostalih energenata te izračunati energetske potrebe za grijanje i hlađenje u identificiranim zgradama.
3. Provesti analizu potencijala plave energije (dizalica topline) i obnovljivih izvora za odabrana područja arhipelaga.
4. Provesti tehno-ekonomsku analizu ugradnje dizalica topline u odabrane zgrade. Napraviti procjenu potrebnih troškova za ugradnju predložene tehnologije (€). Izračunati potencijalne uštede u potrošnji energije (MWh), smanjenje emisija CO_2 (t) te navesti troškove smanjenja emisija (€/t CO_2).

Potrebni podaci mogu se dobiti kod mentora. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualnu dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
28. studenog 2019.

Datum predaje rada:
1.rok: 21.2.2020.
2.rok: 1.7.2020.
3.rok: 17.9.2020.

Predvideni datum obrane:
1. rok: 24.-28.2.2020.
2. rok: 3.7.2020.
3. rok: 21.-25.9.2020.

Zadatak zadao:
Izv. prof. dr. sc. Goran Krajačić

Predsjednik Povjerenstva:
Prof. dr. sc. Igor Balen

SADRŽAJ

SADRŽAJ I
POPIS SLIKA III
POPIS TABLICA IV
POPIS OZNAKA V
SAŽETAK XI
SUMMARY XII
1. UVOD 1
1.1. Deklaracija o „Čistoj energiji za EU otoke“ 1
1.2. Zakon o otocima 1
1.3. Cresko – lošinjski arhipelag 2
1.4. Oblici energije za iskorištavanje na Jadranskom moru 3
2. SUSTAVI DIZALICA TOPLINE S MORSKOM VODOM KAO TOPLINSKIM IZVOROM/PONOROM 5
2.1. Dizalice topline 5
2.2. Princip rada 7
2.3. Morska voda kao toplinski izvor/ponor 7
2.4. Izvedba i zahvat morske vode 10
2.4.1. Direktni zahvat morske vode 10
2.4.2 Potpovršinski zahvat bćate ili morske vode iz zdenca uz more 11
2.5. Primjena dizalica topline morska voda – voda na Jadranskom moru 13
2.5.1. Hotel Le Méridien Lav, Split 15
2.5.2. Hotel Parentium, Poreč 16
2.5.3. Fakultet za pomorstvo i promet, Portorož, Slovenija 17
2.5.4. Knežev dvor, Dubrovnik 17
3. ANALIZA POTROŠNJE ENERGIJE 19
3.1. Identifikacija zgrada javne namjene 19
3.2. Potrošnja energenata 20
3.3. Odabir objekata za daljnju analizu ugradnje dizalice topline 23
4. TOPLINSKO OPTEREĆENJE I DIMENZIONIRANJE SUSTAVA 27
4.1. Transmisijski gubici topline 28
4.2. Ventilacijski gubici topline 30
4.3. Toplinski gubici zbog prekida grijanja 31
4.4. Toplinsko opterećenje pojedine zgrade i dimenzioniranje centralnih komponenta sustava 31
5. GODIŠNJA POTREBNA TOPLINSKA ENERGIJA ZA GRIJANJE [20] 33
5.1. Toplinski gubici 34
5.2. Toplinski dobici 39
5.3. Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje po odabranim zgradama 41
5.4. Potrebna toplinska energija za hlađenje 44
6. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA 46

6.1. Procjena potrebnih troškova za ugradnju dizalica topline 46
6.2. Potencijalne uštede u potrošnji energije.....48
6.3. Smanjenje emisija CO_2 49
6.4. Ekonomska analiza 51
7. ZAKLJUČAK 53
LITERATURA.....55

POPIS SLIKA

Slika 1. Pozicija Cresko – lošinjskog arhipelaga 2
Slika 2. Shematski prikaz dizalice topline u režimu grijanja [5] 5
Slika 3. T, s – dijagrama dizalice topline u režimu grijanja [5] 6
Slika 4. Dizalica topline morska voda – voda u režimu grijanja (lijevo) i režimu hlađenja (desno) [6] 7
Slika 5. Prosječna površinska temperatura mora na lokaciji grada Cresa [8] 8
Slika 6. Prosječna površinska temperatura mora na lokaciji Mali Lošinj [9] 8
Slika 7. Ovisnost faktora grijanja dizalica topline s vodom i zrakom kao izvorima topline o vanjskoj temperaturi zraka [10] 9
Slika 8. Osnovna shema sustava direktnog zahvata morske vode [24] 11
Slika 9. Odnos slane, morske i slatke, kopnene vode u priobalnom području [22] 12
Slika 10. Vertikalna izvedba zdenca boćate ili morske vode na obali [24] 12
Slika 11. Horizontalna izvedba zdenca boćate ili morske vode na obali [24] 13
Slika 12. Broj novoinstaliranih dizalica topline u pojedinoj godini [11] 14
Slika 13. Ukupan broj instaliranih dizalica topline [11] 14
Slika 14. Hotel Le Méridien Lav, Split 15
Slika 15. Pojednostavljeni shematski prikaz dizalice topline s morem kao izvorom topline, Hotel Le Méridien Lav, Split [12] 16
Slika 16. Hotel Parentium, Poreč 16
Slika 17. Primjer izvedbe zahvata morske vode u hotelu Parentium, Poreč [13] 17
Slika 18. Postrojenje sustava dizalice topline morska voda - voda, Knežev dvor, Dubrovnik [14] 18
Slika 19. Primjer korisničkog sučelja ISGE sustava 19
Slika 20. Primjer grafova potrošnje za pojedini objekt u ISGE sustavu 20
Slika 21. Udio potrošnje pojedinog oblika energenta kod zgrada u javnom vlasništvu u 2018. godini [15] 22
Slika 22. Mapirani objekti, grad Cres 25
Slika 23. Mapirani objekti, grad Mali Lošinj 25
Slika 24. Srednja dnevna temperatura zraka, srednjak po mjesecima (Mali Lošinj) [18] 34
Slika 25. Usporedba sva 3 objekta – potrebna toplinska energija za grijanje po mjesecima 43
Slika 26. Potrošnja električne energije klima split sustava i dizalica topline, za potrebe hlađenja 45
Slika 27. Ušteda energije u ovisnosti COP-a, za sve objekte 48
Slika 28. Emisija CO_2, usporedba postojećeg stanja i stanja sa sustavom dizalice topline, Muzej Cres – Palača Arsan 49
Slika 29. Emisija CO_2, usporedba postojećeg stanja i stanja sa sustavom dizalice topline, Dom za starije osobe Marko A. Stuparić - Cres 49
Slika 30. Emisija CO_2, usporedba postojećeg stanja i stanja sa sustavom dizalice topline, Školska dvorana – Mali Lošinj 50
Slika 31. Ušteda CO_2 emisija za sve objekte 50
Slika 32. Ušteda u emisiji CO_2 za sve objekte prema različitim COP-ovima 51
Slika 33. Ekonomski tok novca, objekt Dom za starije osobe Marko A. Stuparić – Cres, slučaj ugradnje dizalice topline (COP=4) 52
Slika 34. Ovisnost IRR-a o COP dizalice topline za sve objekte 52

POPIS TABLICA

Tablica 1. Potrošnja električne energije zgrada u javnom vlasništvu u 2018. godini [15].....21
Tablica 2. Potrošnja ekstra lakog lož ulja zgrada u javnom vlasništvu u 2018. godini [15] 21
Tablica 3. Potrošnja ukapljenog naftnog plina zgrada u javnom vlasništvu u 2018. godini [15] 22
Tablica 4. Potrošnja peleta zgrada u javnom vlasništvu u 2018. godini [15] 22
Tablica 5. Analiza objekata po kriteriju blizine mora i korištenju ELLU-a ili UNP-a, grad Cres.....23
Tablica 6. Analiza objekata po kriteriju blizine mora i korištenja ELLU-a ili UNP-a, grad Mali Lošinj.....24
Tablica 7. Ulazni podaci o zgradama potrebni za HRN EN 12831:2003.....27
Tablica 8. Rezultati proračuna po HRN EN 12831:2003 za pojedine zgrade 31
Tablica 9. Potrebna snaga pumpi i potrebni ogrjevni učin dizalica topline.....32
Tablica 10. Proračun efektivnog toplinskog kapaciteta grijanog dijela zgrade prema [20] 41
Tablica 11. Rezultati proračuna po HRN EN ISO 13790 za Muzej Cres – palača Arsan.....42
Tablica 12. Rezultati proračuna po HRN EN ISO 13790 za Dom za starije osobe Marko A. Stuparić – Cres.....42
Tablica 13. Rezultati proračuna po HRN EN ISO 13790 za Školska dvorana – Mali Lošinj..43
Tablica 14. Godišnja potrošnja električne energije klima split sustava i dizalica topline za potrebe hlađenja 44
Tablica 15. Rezultati provedenih proračuna za odabrane objekte 46
Tablica 16. Investicijski troškovi po odabranim objektima.....48

POPIS OZNAKA

Prema redoslijedu prikazivanja u radu.

Oznaka	Mjerna jedinica	Naziv
EU	-	Europska unija
ε_{gr}	-	Faktor grijanja
COP	-	Koeficijent učinkovitosti (Coefficient of performance)
ε_{hl}	-	Faktor hlađenja
EER	-	Koeficijent energetske učinkovitosti (Energy efficiency ratio)
Φ_{kond}	W	Predani toplinski tok na kondenzatoru
Φ_{isp}	W	Preuzeti toplinski tok na isparivaču
P_{EL}	W	Snaga potrebna za rad dizalice topline
DURA	-	Dubrovačka razvojna agencija
APN	-	Agencija za pravni promet i posredovanje nekretninama
ISGE	-	Informacijski sustava za gospodarenje energijom
UNP	-	Ukapljeni naftni plin
ELLU	-	Ekstra lako lož ulje
ϑ_{int}	°C	Projektna unutarnja temperatura
ϑ_{e}	°C	Projektna vanjska temperatura
V_i	m^3	Volumen objekta
A_i	m^2	Korisna površina poda
n_{min}	h^{-1}	Broj izmjena zraka
$A_{oplošja}$	m^2	Površina oplošja zgrade prema vanjskom okolišu
Φ_{HL}	W	Toplinsko opterećenje zgrade
$\Phi_{T,i}$	W	Transmisijski gubici topline prostorije

$\Phi_{V,i}$	W	Ventilacijski gubici topline prostorije
$\Phi_{RH,i}$	W	Toplina za zagrijavanje zbog prekida grijanja
$H_{T,ie}$	W/K	Koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu
$H_{T,iue}$	W/K	Koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu
$H_{T,ig}$	W/K	Stacionarni koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema tlu
$H_{T,ij}$	W/K	Koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema susjednom grijanom prostoru različite temperature
A_k	m^2	Površina plohe „k“ (zid, prozor, vrata, strop, pod) kroz koju prolazi toplina
e_k	-	Korekcijski faktor izloženosti
e_l	-	Korekcijski faktor izloženosti
U_k	W/m^2K	Koeficijent prolaza topline građevnog elementa „k“
l_l	m	Dužina linijskog toplinskog mosta između vanjskog okoliša i prostorije
ψ_l	W/mK	Linijski koeficijent prolaza topline linijskog toplinskog mosta „l“
f_{g1}	-	Korekcijski faktor za utjecaj godišnje oscilacije vanjske temperature
f_{g2}	-	Faktor smanjenja temperaturne razlike
$U_{equiv,k}$	$W/(m^2K)$	Ekvivalentni koeficijent prolaza topline
G_W	-	Korekcijski faktor za utjecaj podzemne vode
$H_{V,i}$	W/K	Koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka
V_i	m^3/s	Protok zraka u grijani prostor
ρ	kg/m^3	Gustoća zraka

c_p	J/kgK	Specifični toplinski kapacitet zraka
$V_{inf,i}$	m^3/h	Maksimalni protok zraka u prostoriju uslijed infiltracije kroz zazore
$V_{min,i}$	m^3/h	Minimalni higijenski protok zraka
n_{50}	h^{-1}	Broj izmjena zraka u prostoriji pri razlici tlaka 50 Pa između prostorije i vanjskog okoliša
e_i	-	Koeficijent zaštićenosti
ε_i	-	Korekcijski faktor za visinu
f_{RH}	W/m^2	Korekcijski faktor ovisan o vremenu zagrijavanja
P_{pumpe}	W	Snaga pumpe
Φ_{DT}	W	Ogrjevni učin dizalice topline
$Q_{H,nd,cont}$	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 dobici zgrade u periodu grijanja
$\eta_{H,gn}$	-	Faktor iskorištenja toplinskih dobitaka
Q_{Tr}	kWh	Izmijenjena toplinska energija transmisijom
Q_{Ve}	kWh	Potrebna toplinska energija za ventilaciju/klimatizaciju
Q_{int}	kWh	Unutarnji toplinski dobici zgrade
Q_{sol}	kWh	Toplinski dobici od Sunčeva zračenja
H_{Tr}	W/K	Koeficijent transmisijske izmjene topline
H_{Ve}	W/K	Koeficijent ventilacijske izmjene topline
$\vartheta_{int,H}$	°C	Unutarnja postavna temperatura grijane zone
$\vartheta_{e,m}$	°C	Srednja vanjska temperatura za proračunski period
t	h	Trajanje proračunskog razdoblja

H_D	W/K	Koeficijent transmisijske izmjene topline prema vanjskom okolišu
H_U	W/K	Koeficijent transmisijske izmjene topline kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu
$H_{g,m}$	W/K	Koeficijent transmisijske izmjene topline prema tlu
H_A	W/K	Koeficijent transmisijske izmjene topline prema susjednoj zgradi
ΔU_{TM}	W/m^{2}K	Dodatak za toplinske mostove
Φ_m	W	Toplinski tok izmjene topline s tlom za proračunski mjesec
$\vartheta_{int,m}$	°C	Unutarnja postavna temperatura za proračunski mjesec
H_g	W/K	Stacionarni koeficijent transmisijske izmjene topline prema tlu
H_{pi}	W/K	Unutarnji periodički koeficijent transmisijske izmjene topline
H_{pe}	W/K	Vanjski periodički koeficijent transmisijske 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 mjeseca
A_g	m^2	Površina poda
P	m	Ukupna dužina vanjskih zidova koji odvajaju grijani prostor od vanjskog okoliša (izloženi opseg poda)
d_t	m	Ekvivalentna debljina poda
λ	W/(mK)	Koeficijent toplinske provodljivosti tla
w	cm	Ukupna debljina zida

R_{si}	$(m^2K)/W$	Plošni unutarnji toplinski otpor
R_f	$(m^2K)/W$	Toplinski otpor podne konstrukcije
R_{se}	$(m^2K)/W$	Plošni vanjski toplinski otpor
B'	m	Karakteristična dimenzija poda
δ	m	Periodička dubina prodiranja
U	$W/(m^2K)$	Koeficijent prolaska topline između unutarnjeg i vanjskog prostora
$Q_{Ve,inf}$	kWh	Potrebna toplinska energija uslijed infiltracije vanjskog zraka
$Q_{Ve,win}$	kWh	Potrebna toplinska energija uslijed prozračivanja otvaranjem prozora
$Q_{H,Ve,mech}$	kWh	Potrebna toplinska energiju u GViK sustavu kod zagrijavanja zraka
GViK	-	Grijanje, ventilacija i klimatizacija
$H_{Ve,inf}$	W/K	Koeficijent izmjene topline uslijed infiltracije
$H_{Ve,win}$	W/K	Koeficijent izmjene topline uslijed prozračivanja
n_{inf}	h^{-1}	Broj izmjena zraka uslijed infiltracije
V	m^3	Volumen zraka u zoni
ρ_a	kg/m^3	Gustoća zraka
$c_{p,a}$	J/kgK	Specifični toplinski kapacitet zraka
n_{win}	h^{-1}	Broj izmjena zraka uslijed otvaranja prozora
q_{spec}	W/m^2	Specifični unutarnji dobitak po m^2 korisne površine
a_H	-	Bezdimenzijski parametar ovisan o vremenskoj konstantni zgrade τ
τ	h	Vremenska konstanta zgrade
γ_H	-	Omjer toplinskih dobitaka i ukupne izmijenjene topline transmisijom i ventilacijom

$\tau_{H,0}$	h	Referentna vremenska konstanta za grijanje
a_0	-	Proračunski parametar
C_m	J/K	Efektivni toplinski kapacitet grijanog dijela zgrade (zone)
A_f	m^2	Površina kondicionirane zgrade s vanjskim dimenzijama
$Q_{H,nd}$	kWh/a	Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje
$Q_{H,nd}''$	kWh/(m^2a)	Specifična godišnja potrebnu toplinska energija za grijanje svedena na korisnu površinu objekta
IRR	%	Unutarnja stopa povrata

SAŽETAK

Otoci, kao izolirani sustavi, pod velikom su prijetnjom posljedica klimatskih promjena. Nadalje, zbog svoje izoliranosti otoci su još uvelike ovisni o uvozu energije s kopna. Zbog navedenih razloga različitim se inicijativama pokušava potaknuti otočne zajednice, uprave i lokalno stanovništvo na primjenu obnovljivih izvora energije i novih integriranih rješenja pomoću kojih bi se iskorištavali prirodni resursi na otočnim područjima. Stoga su Gradovi Cres i Mali Lošinj, kao predstavnici Cresko – lošinjskog arhipelaga, potpisnici Deklaracije o „Čistoj energiji za EU otoke“ čime su se obvezali provoditi akcije koje potiču održivi razvoj i vode do potpune dekarbonizacije otočnih područja. Cilj ovog rada je prikazati potencijal toplinske energije mora, potencijal za primjenu toplinske energije mora za ugradnju dizalica topline morska voda – voda u javne zgrade cresko – lošinjskog arhipelaga. U prvom djelu rada, uz kratak uvod, prikazana je termodinamička pozadina rada dizalica topline, njihov princip rada, morska voda kao toplinski izvor/ponor, izvedba i zahvat morske vode te su navedeni primjeri korištenja dizalica topline na obali Jadranskog mora. Zatim slijedi dio rada u kojem se identificiraju objekti na području cresko – lošinjskog arhipelaga koji su pogodni za ugradnju dizalica topline. Nadalje, u radu si prikazani proračuni prema normama HRN EN 12831:2003 i HRN EN ISO 13790, prema kojima su izračunate vrijednosti toplinskog opterećenja i potrebne godišnje toplinske energije za grijanje odabranih objekata. Proračun hlađenja za odabrane objekte je proveden pojednostavljeno uz navedene razloge u točki rada koji se odnosi na hlađenje. Na samom kraju rada provedena je tehno-ekonomska analiza ugradnje dizalica topline u odabrane objekte, prikazane su usporedbe postojećeg stanja i scenarija ugradnje dizalica topline preko ušteda u energiji i emisiji CO_2.

Ključne riječi: energetsko planiranje, Cresko – lošinjski arhipelag, plava energija, dizalice topline

SUMMARY

Climate change present a great threat to islands due to their remoteness. Furthermore, these isolated energy systems still heavily depend on imported electricity from the mainland. Therefore, various initiatives serve to encourage island communities, municipalities and the local population to use renewable energy and new integrated solutions for the management of the islands´ natural resources. Both the cities Cres and Mali Lošinj and the representatives of the Cres-Lošinj archipelago have signed the Political Declaration on Clean Energy for EU Islands, committing to promote sustainable development and to lead the decarbonisation of the islands´ power sector. The main aim of this paper is to illustrate the potential of the ocean thermal energy and nit's a possible application for the installation of saltwater heating pumps in public buildings of the Cres-Lošinj Archipelago. In the first part of the paper, the thermodynamic laws behind the heat pumps, their operating principle and design are being discussed. Seawater as a heat source-sink and the intake of seawater are being outlined in this part of the paper. Heat pumps that are already being used on the Adriatic coast are also explored. In the second part of the paper, the facilities suitable for the installation of heat pumps in the Cres-Lošinj archipelago are discussed. Calculations of thermal load and annual heating energy demand were made according to the standards HRN EN 12831:2003 and HRN EN ISO 13790. Calculations of cooling load for the selected buildings was simplified for the reasons stated in part of the paper related to refrigeration. Last but not least, a techno-economic analysis of the heat pumps installation was carried out. Additionally, a comparison was drawn between the current situation and possible scenarios of heat pump installation that include saving energy and reduced CO_2 emissions.

Keywords: energy planning, Cres-Lošinj archipelago, blue energy, heat pumps

1. UVOD

Znanstveno je dokazano da su klimatske promjene posljedica ljudskog djelovanja. Kao izolirani sustavi, otoci su pod velikom prijetnjom od posljedica klimatskih promjena. Iz tog se razloga sve više otoka uključuje u implementiranje inovativnih i integriranih rješenja za borbu protiv klimatskih promjena.

1.1. Deklaracija o „Čistoj energiji za EU otoke“

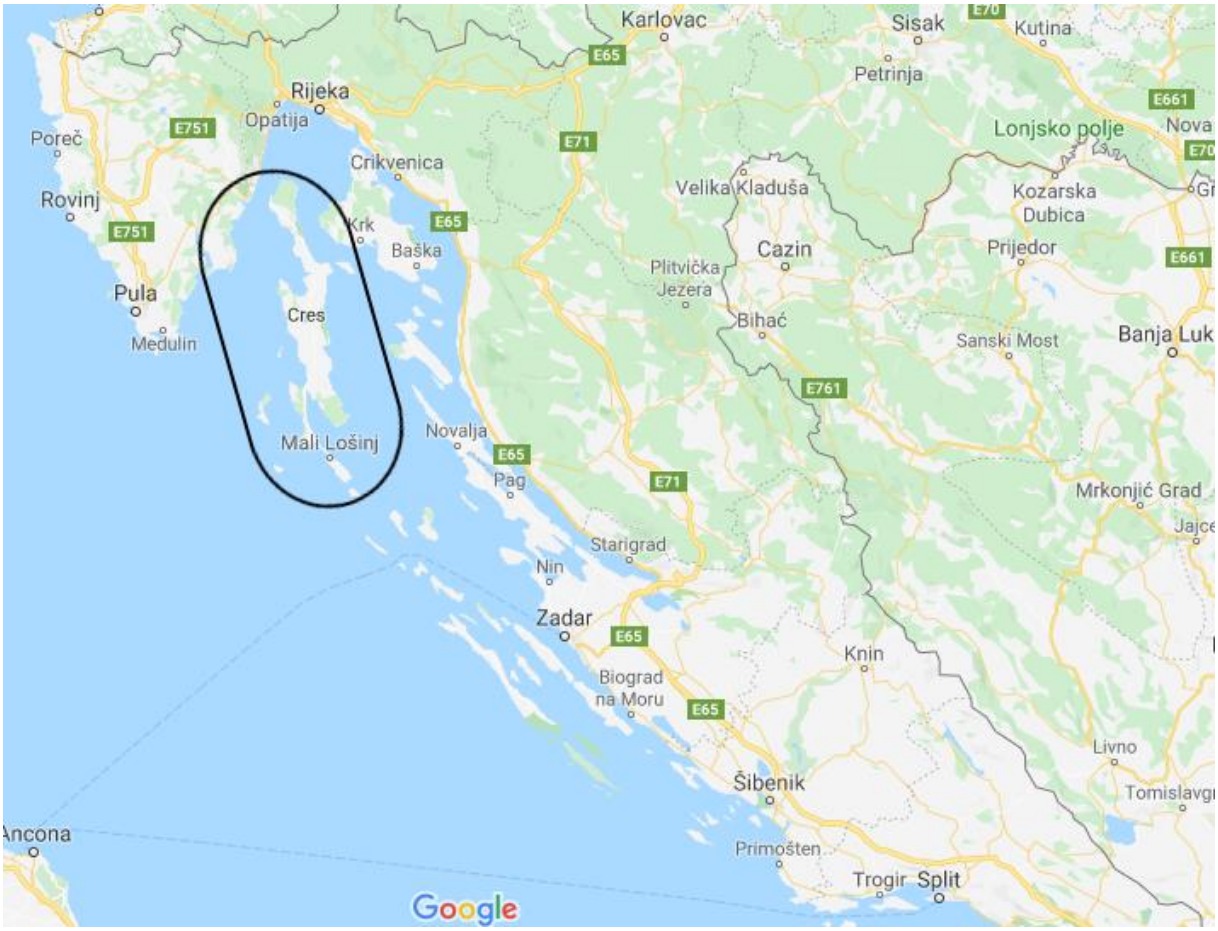
Gradovi Cres i Mali Lošinj, kao otoci Cresko – lošinjskog arhipelaga, potpisnici su Deklaracije o „Čistoj energiji za EU otoke“ čime su se obvezali provoditi akcije koje potiču održivi razvoj i vode do potpune dekarbonizacije otočnih zajednica. Deklaracija ističe, potiče i obvezuje na racionalno korištenje energije, kao i korištenje lokalno dostupnih obnovljivih izvora energije [1]. Racionalno korištenje energije i korištenje dostupnih obnovljivih izvora energije važan je korak u naprednom planiranju otočnih energetskih sustava. Šest europskih otoka, Aranski otoci (Irska), Cresko – lošinjski arhipelag (Hrvatska), Culatra (Portugal), La Palma (Španjolska), Salina (Italija) i Sifnos (Grčka), objavili su 20. studenog 2019. godine u sklopu četvrtog Foruma o čistoj energiji za EU otoke svoje programe energetske tranzicije ka korištenju čiste energije i potpunoj dekarbonzaciji otoka. Prema objavljenom programu Cresko – lošinjski arhipelag ima cilj da do 2040. godine potpuno dekarbonizira energetski sustav na području arhipelaga [2]. Ulaganje u nove tehnologije te korištenje energije mora predstavlja veliki potencijal za brzu i efikasnu tranziciju otočnih zajednica prema održivim, nisko – ugljičnim rješenjima [3].

1.2. Zakon o otocima

Zakon o otocima, NN 116/18, koji je na snazi od 1. siječnja 2019. godine, potiče na aktivno sudjelovanje za ublažavanje klimatskih promjena na lokalnoj razini. Nadalje, podupire uvođenje i korištenje naprednih tehnologija radi osiguranja optimalnog upravljanja i korištenja lokalnih resursa i infrastrukture kroz različite poslovne modele. Promiče ideju o smanjenju potrošnje fosilnih goriva te povećano korištenje obnovljivih izvora energije i energetske učinkovitosti. Na kraju, zakon poziva na jačanje i promoviranje socijalne uključenosti, edukacije i participacije građana, kao aktivnih dionika, u tranzicije prema održivim rješenjima [4].

1.3. Cresko – lošinjski arhipelag

Cresko – lošinjski arhipelag smješten je u sjevernom djelu Kvarnerskog zaljevu i najveći je arhipelag u Jadranskom moru. Arhipelag se sastoji od sedam otoka – Cres, Lošinj, Unije, Ilovik, Susak, Vele Srakane, Male Srakane – i od brojnih nenaseljenih otočića i grebena. Zajedno, arhipelag se sastoji od 36 otoka, otočića i grebena. Cres je najveći otok na Jadranu, prostire se na 405,78 km², dok je otok Lošinj manji i zauzima 74,68 km². Čitavi arhipelag zajedno ima kopnenu površinu od 513 km², što predstavlja 16% ukupne površine svih jadranskih otoka. Na Cresu se nalazi 26 naselja s ukupno 2879 stanovnika, od kojih 80% živi u gradu Cres. Otok Lošinj ima 14 naselja u kojima živi 8016 stanovnika. Zbog turizma tijekom ljeta moguće su značajne promjene broja ljudi na otocima. Tijekom ljetne sezone broj posjeta na otocima raste na 120 000 tijekom cijele sezone, a dnevni broj posjeta se penje na 30 000.



Slika 1. Pozicija Cresko – lošinjskog arhipelaga

Potrošnja energije na otocima trenutno je pokrivena vezom s kopnenom mrežom. Naseljeni otočići arhipelaga međusobno su povezani podmorskim kablovima srednjeg napona. Lošinj i Cres povezani su s otokom Krkom podmorskim kabelom visokog napona (110 kV) i srednjeg

napona (35 kV). Međutim, s porastom lokalnog stanovništva i posjetitelja, postalo je izazov da otoci u arhipelagu zadovolje svoju potražnju energije trenutnim vezama [1].

1.4. Oblici energije za iskorištavanje na Jadranskom moru

Područje Jadranskog mora ima znatne potencijale u vidu obnovljivih izvora energije i iskorištavanje istih. Iskorištavanje snage vjetra iznad otvorenih morskih područja nema preveliki potencijal. Općenito, najveća učinkovitost pretvorbe energije postiže se pri brzinama vjetra između 5 – 25 m/s. Prema Državnom hidrometeorološkom zavodu [25], Jadransko more karakteriziraju vjetrovi umjerene brzine (5 – 6 m/s), dok su u sjevernom području Jadranskog mora (između otoka Cresa i otoka Krka te istočne obale otoka Paga) relativno jači vjetrovi, ali preblizu obale. Daljnji problem predstavljaju jaki vjetrovi koji se razvijaju na visokim i strmim područjima Velebita, a brzine tih vjetrova premašuju optimalne brzine za pretvorbu energije. Stoga, područje cresko – lošinjskog arhipelaga nije pogodno za iskorištavanje takvog oblika energije. Energija plime kao hidrokinetičke energije zbog fluktuacije razine mora, također nema veliki potencijal na području cresko – lošinjskog arhipelaga. Prema [26], postoje četiri potencijalna zemljopisna područja u Jadranskom moru za iskorištavanje energije plime, a to su Dugi otok, otoci Mljet i Lastovo, otok Vis i sjeverno Jadransko more. Energija valova, kao kinetička energija gibanja površinskih valova, isto slijedi trend prethodno navedenih oblika energije te također na području Jadranskog mora ima nizak potencijal. Na otvorenom moru tijekom zime površinski valovi nisu viši od 2 m, dok su u obalnim područjima te vrijednosti i niže [27]. Stoga je potencijal za iskorištavanje takvog oblika energije izrazito nizak.

No, bez obzira na nešto niži potencijal vjetra, na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, Zagreb, su se proveli završni i diplomski radovi koji u sebi sadržavaju scenarije energetskog planiranja cresko – lošinjskog arhipelaga. U tim radovima su se razmatrale integracije PV modula, offshore vjetroturbina, i spremnika energije različitih vrta na području arhipelaga. Tako jedan od scenarija za otok Cres sadrži mogućnost integracije 5MW offshore vjetroturbina te 10,5 MW PV modula (6,5 MW solarna elektrana Orlec + 4MW na krovovima zgrada). Nadalje, u scenariju je planirana instalacija velikog spremnika električne energije u obliku RHE s gornjom akumulacijom od 10^6 m^3 vode ukupnog kapaciteta 629 MWh. Na taj je način u posljednjem scenariju postignuta samodostatnost otoka Cresa u pogledu električne energije [32]. Scenariji energetskog planiranja odrađeni za otok Lošinj pokazuju da je moguće zadovoljiti između 10% i 40% potreba za električnom energijom integracijom vjetroturbina i PV modula [33].

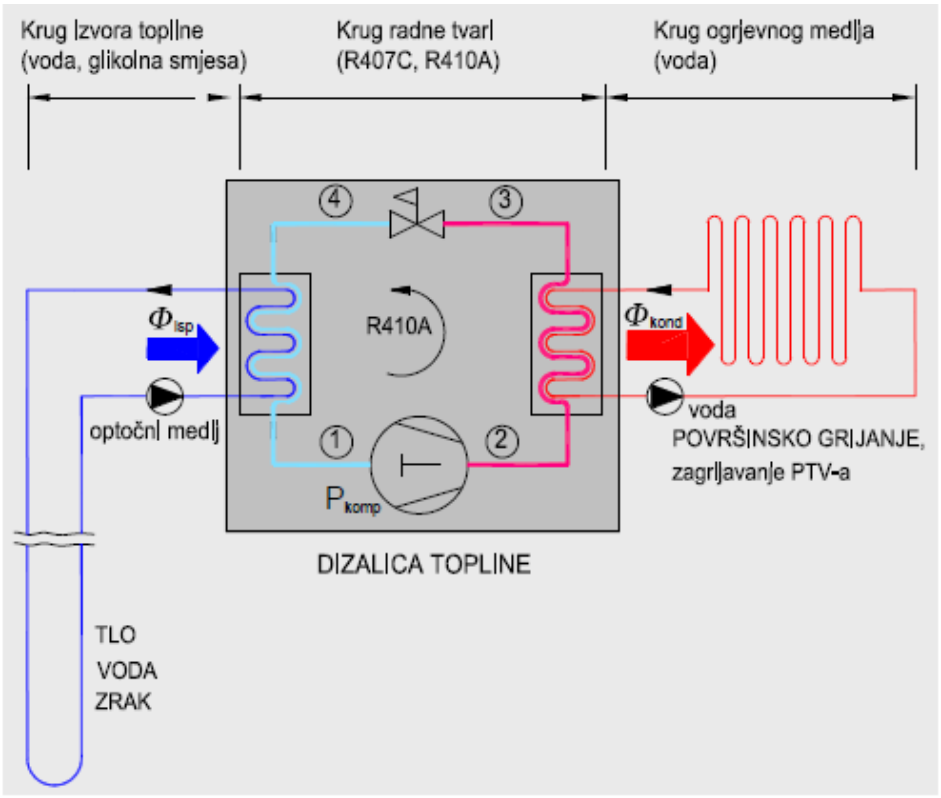
Kada se pogleda cjelokupna slika, postoje i dalje velike mogućnosti integracije obnovljivih izvora energije na području arhipelaga bez obzira na ograničene potencijale različitih oblika energije na tom području. U ovome radu nisu detaljno analizirane mogućnosti integracije različitih vrsta obnovljivih izvora energije, nego je primarni cilj bila integracija dizalica topline u javne objekte na području arhipelaga.

Iz prethodno navedenih razloga za pojedine oblike energije može se zaključiti da toplinska energija mora i korištenje morske vode kao toplinskog izvora/ponora ima najviši potencijal za iskorištavanje za područje cresko – lošinjskog arhipelaga. Zbog navedenog, u ovome je radu provedena analiza iskorištavanja toplinske energije mora za primjenu dizalica topline u javnim zgradama cresko – lošinjskog arhipelaga.

2. SUSTAVI DIZALICA TOPLINE S MORSKOM VODOM KAO TOPLINSKIM IZVOROM/PONOROM

2.1. Dizalice topline

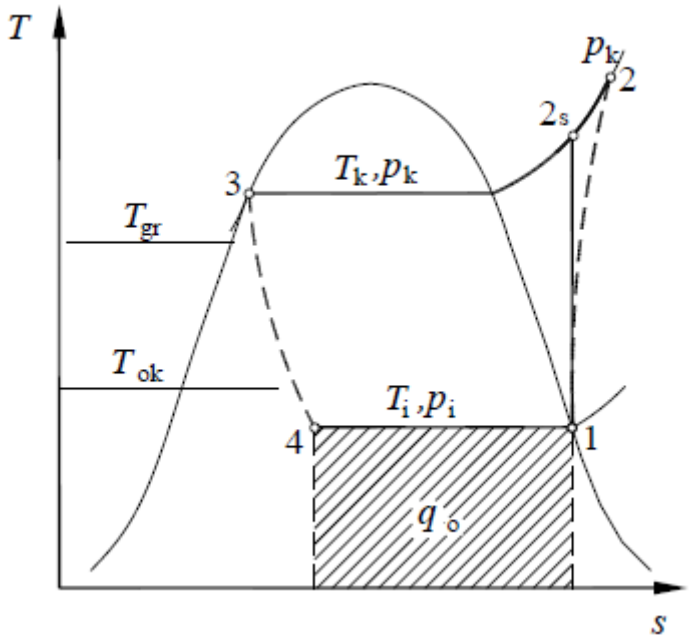
Dizalice topline se smatraju visokoučinkovitim uređajima za grijanje i hlađenje različitih objekata. Primjenjuju se u svim veličinama, od onih najmanjih, npr. za grijanje i hlađenje stanova, pa sve do sustava koji poslužuju čitava naselja. Dizalice topline su sustavi u kojima se toplina preuzeta od izvora topline niže temperature predaje ponoru topline više temperature, tj. dizalica topline posreduje u prijenosu topline između dva toplinska spremnika: niskotemperaturnog, kojem se toplina (energija) odvodi te visokotemperaturnog, kojem se ta toplina (energija) dovodi, a uvećana je za energiju kompresije. Budući da je prijenos toplinskog toka suprotan termodinamičkom toplinskom toku od više na nižu temperaturu, potrebno je uložiti dodatnu snagu P za rad dizalice topline, tj. kompresora. Sustav dizalice topline sastoji se od tri kruga: kruga izvora topline, kruga radne tvari i kruga ponora topline [5].



Slika 2. Shematski prikaz dizalice topline u režimu grijanja [5]

Termodinamička osnova rada dizalice topline je ljevokretni proces, u kojem radna tvar posreduje u prijenosu topline između toplinskih spremnika. Razlikuju se tri vrste takvih ljevokretnih procesa. Kad se takvim kružnim procesom prenosi toplinski tok od niže temperature na višu okolišnu temperaturu, proces se naziva *rashladnim procesom*. Ako se

takvim kružnim procesom prenosi toplinski tok s okolišne temperature na neku višu temperaturu, npr. zbog grijanja, takav se proces obično naziva *ogrjevnim procesom* ili *dizalicom topline*. U treću vrstu ljevokretnih kružnih procesa idu takvi procesi u kojima se utroškom snage prenosi toplinski tok od niže na višu temperaturu grijanja. Takav se proces naziva *ogrjevno – rashladnim procesom.*



Slika 3. T, s – dijagrama dizalice topline u režimu grijanja [5]

Rashladni ili ogrjevni učin dizalice topline za utrošenu snagu P pokazuje faktor grijanja ε_{gr} (COP) ili faktor hlađenja ε_{hl} (EER):

$$\varepsilon_{gr}(COP) = \frac{\Phi_{kond}}{P_{EL}} \quad [-] \tag{1}$$

$$\varepsilon_{hl}(EER) = \frac{\Phi_{isp}}{P_{EL}} \quad [-] \tag{2}$$

U jednadžbama (1) i (2) se nalaze članovi koji su:

- Φ_{kond} – predani toplinski tok na kondenzatoru, [W]
- Φ_{isp} – preuzeti toplinski tok na isparivaču, [W]
- P_{EL} – snaga potrebna za rad dizalice topline, [W]

Za postrojenje dizalice topline od najvećeg su značenja svojstva toplinskog izvora. Može se reći da je postrojenje za grijanje dizalicom topline onoliko dobro, koliko je dobar njegov toplinski izvor. Kao niskotemperaturni toplinski spremnici koriste se voda (riječna, jezerska,

morska i podzemna), zrak, otpadna toplina, Sunce ili se isparivač polaže u zemlju, pri čemu tlo predstavlja toplinski spremnik.

2.2. Princip rada

Sustavi dizalica toplina s morskom vodom su sustavi u kojima dizalica topline koristi potencijal energije mora kao izvora i ponora topline. U režimu grijanja sustav koristi toplinsku energiju mora kao obnovljivi izvor topline, kako prikazuje sljedeća slika.



Slika 4. Dizalica topline morska voda – voda u režimu grijanja (lijevo) i režimu hlađenja (desno) [6]

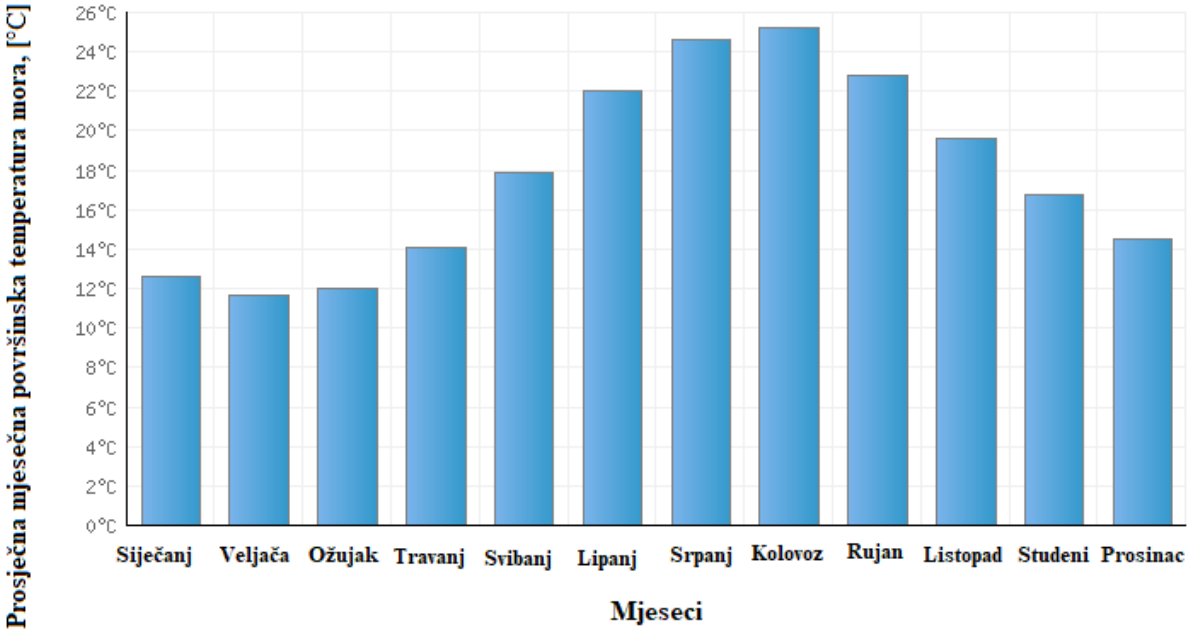
Nadalje, u režimu hlađenja toplinu preuzetu iz prostora predaje moru kao toplinskom ponoru. Dizalica topline morska voda – voda u režimu hlađenja je prikazana na sljedećoj slici.

S obzirom da je morska voda korozivna, ona ne odlazi izravno na isparivač dizalice topline, već prethodno predaje toplinu na međuizmjenjivaču otpornom na koroziju. Zatim se toplina na isparivaču predaje radnoj tvari te diže na višu energetsku razinu, a potom predaje grijanom prostoru. Obrnuti proces vrijedi za rad dizalice topline u režimu hlađenja.

2.3. Morska voda kao toplinski izvor/ponor

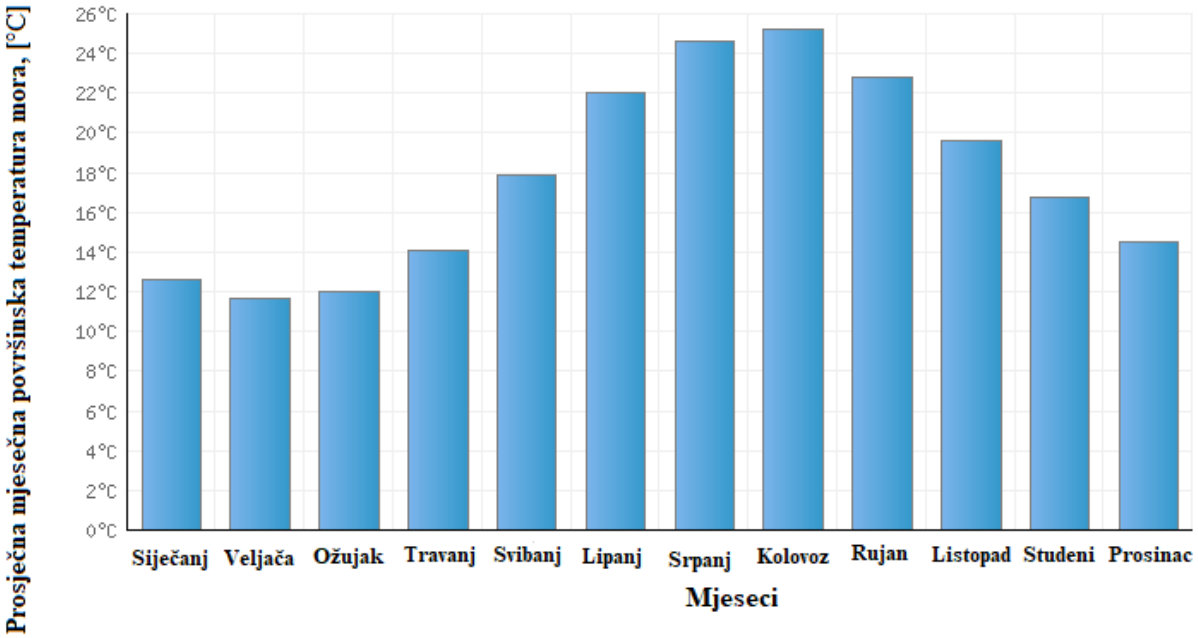
Objekti i cijela naselja uz more imaju izvor topline u mnogim slučajevima pristupačan i jeftin. Osnovna značajka i velika prednost dizalica topline s morskom vodom je relativno konstantna temperatura toplinskog izvora tijekom cijele godine. Toplinski kapacitet morske vode je veći nego toplinski kapacitet zraka što za posljedicu ima manje intenzivno zagrijavanje i hlađenje morske vode. Za iskorištavanje potencijala toplinske energije morske vode koriste se dizalice topline morska voda – voda. Zbog razmjerno visoke i konstantne temperature morske vode kao toplinskog izvora, faktor grijanja dizalica topline morska voda – voda je veliki. Temperature morske vode kreće se u rasponu od 11°C do 24 °C [7].

Na slici 5. prikazana je prosječna godišnja površinska temperatura mora na lokaciji grada Cresa te je vidljivo kako temperatura mora na samoj površini varira u rasponu od 11°C do 26 °C kroz godinu.



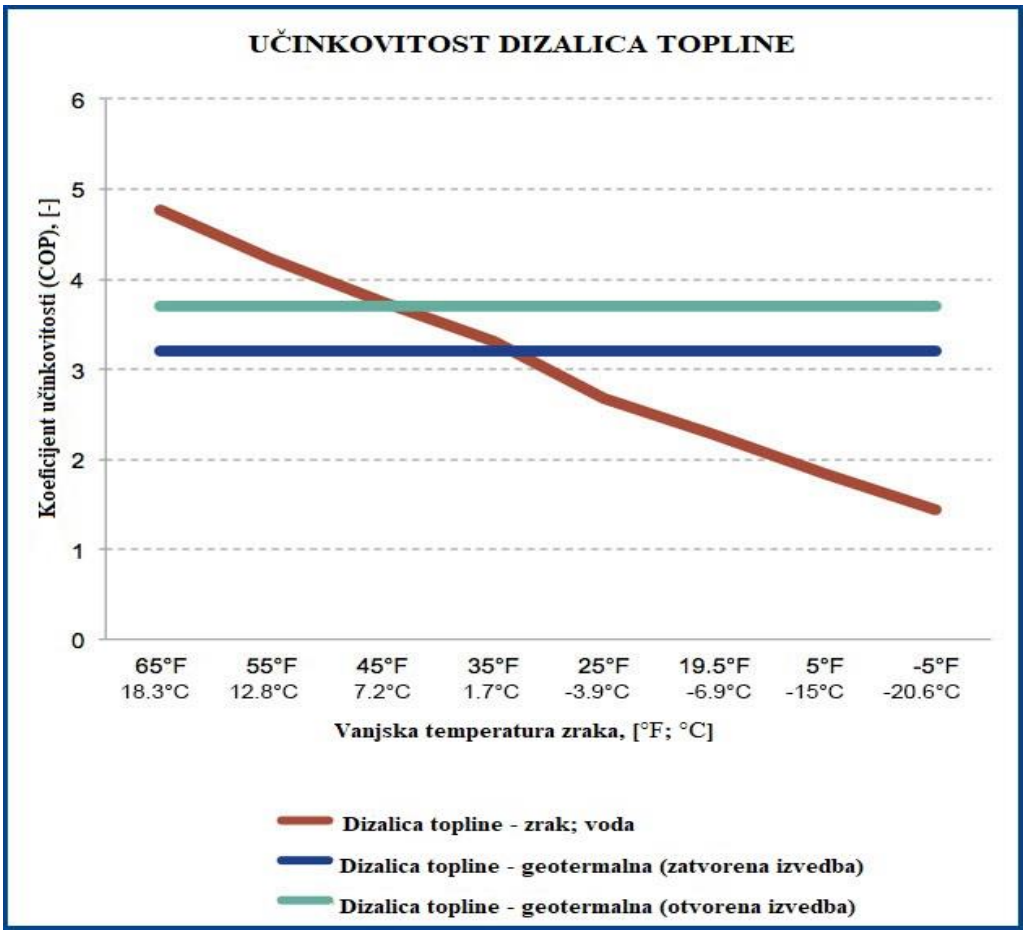
Slika 5. Prosječna površinska temperatura mora na lokaciji grada Cresa [8]

Iduća slika, slika 6., prikazuje prosječnu godišnju površinsku temperaturu mora na lokaciji Malog Lošinja te je vidljivo da temperatura mora na površini varira u rasponu od 11°C do 26 °C kroz godinu.



Slika 6. Prosječna površinska temperatura mora na lokaciji Mali Lošinj [9]

Željena dubina uzimanja morske vode za rad dizalica topline morska voda - voda je od 0 m do 20 m. Što je dubina mora veća, to su godišnje temperaturne promjene vode manje. Na dubini mora od 20 m temperatura mora varira od 13°C do 20 °C za lokacije grada Cresa i Malog Lošinja što je godišnja promjena temperature od samo 7°C.



Slika 7. Ovisnost faktora grijanja dizalica topline s vodom i zrakom kao izvorima topline o vanjskoj temperaturi zraka [10]

Nakon svega navedenog, vidljivo je kako je temperaturna promjena morske vode kao izvora topline vrlo mala te se odvija na godišnjoj razini. U usporedbi s dizalicama topline koje koriste zrak kao izvor topline, dizalice topline morska voda - voda imaju veći faktor grijanja u ovisnosti o promjeni vanjske temperature zraka. Naime, temperatura vanjskog zraka kao toplinskog izvora mijenja se iz sata u sat budući da se zrak intenzivnije zagrijava i hladi zbog čega iznosi faktora grijanja puno više variraju. Nadalje, temperatura morske vode u Hrvatskoj, vrlo rijetko pada ispod 10 °C što osigurava i veći iznos faktora grijanja dizalice topline u usporedbi s dizalicama topline koje koriste zrak kao toplinski izvor, tj. potrebno je manje uložene snage za rad dizalice topline koje koriste morsku vodu kao toplinski izvor.

2.4. Izvedba i zahvat morske vode

Izvedba i zahvat morske vode jedni su od najvažnijih dijelova kompletnog sustava dizalica topline s morskom vodom kao izvorom topline budući da kontinuiran i stabilan rad dizalice topline ovisi o kontinuiranom, stabilnom pritoku morske vode. Uobičajena izvedba zahvata morske vode sastoji se od usisnog cjevovoda (njemu pripadajućeg usisnog otvora koji ima zaštitnu rešetku), pumpi i povratnog cjevovoda. Danas je na dva načina izvodi zahvat morske vode za potrebe rada dizalice topline:

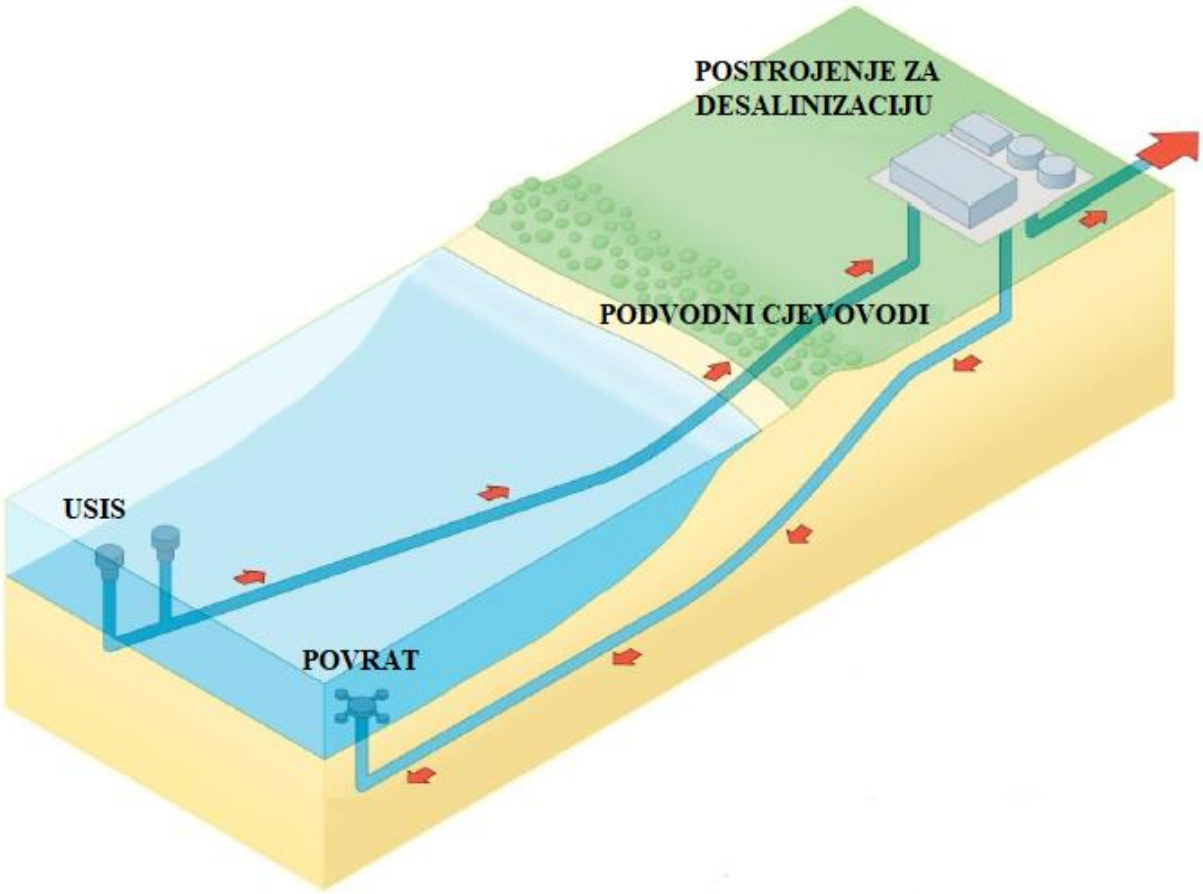
- Direktnim zahvatom morske vode na određenoj udaljenosti od obale
- Zahvatom boćate vode iz zdenca uz more (na samoj obali)

2.4.1. Direktni zahvat morske vode

Direktni zahvat morske vode predstavlja usis morske vode direktno iz mora na određenoj udaljenosti od obale te na određenoj dubini. Sastoji se od usisnog cjevovoda (njemu pripadajućeg usisnog otvora te zaštitne rešetke oko njega), podvodnih cjevovoda (koji vode morsku vodu do međuizmjenjivača i natrag u more), pumpne stanice i difuzora (koji ponovno miješa morsku vodu, od koje je preuzeta toplina, s vodom u moru) [21]. Zahvat morske vode izvodi se na dovoljnoj udaljenosti od obale gdje su utjecaji na gibanje i temperaturu mora, zbog priobalnih kretanja brodova, ljudi te ispusta u more, neznatni. Kako treba biti neznatni utjecaj s obzirom na udaljenost, tako treba biti i s obzirom na dubinu, pa se iz istih se razloga zahvat morske vode vrši na dubini od 0 m do 20 m [22]. Morska voda sadrži izraženo svojstvo korozivnosti, pa iz tog razloga materijali uređaja, cijevi i armature (koja je u doticaju s morskom vodom) moraju biti otporni na koroziju. Naime, morska voda može uzrokovati jamičastu i interkristalnu koroziju na materijalima kao što su ugljični čelici, nehrđajući čelici i legure bakra [21].

Kada se izvodi direktan zahvat, veliki problem predstavljaju biološka onečišćenja koja se nakupljaju u međuizmjenjivaču i cjevovodima sustava. Posljedica takvog onečišćenja je nepravilan rad sustava te mogućnost zatajenja sustava. Morska voda sadrži veliku količinu mikro i makro – organizama koji svojim nakupljanjem uzrokuju probleme kao što su smanjenje učinkovitosti međuizmjenjivača, začepljenje filtera, ubrzani razvoj korozije te povećanje pada tlaka u cjevovodima [23]. No, danas se za smanjenje negativnog utjecaja bioloških onečišćenja na sami minimum, koriste ekološki prihvatljive metode kontroliranja rasta bioloških organizama u sustavu. Osim bioloških onečišćenja, pri direktnom usisu morske vode, problem predstavlja ulaz većih organizama i povlačenje pijeska s morskog dna u cijev. Također, danas

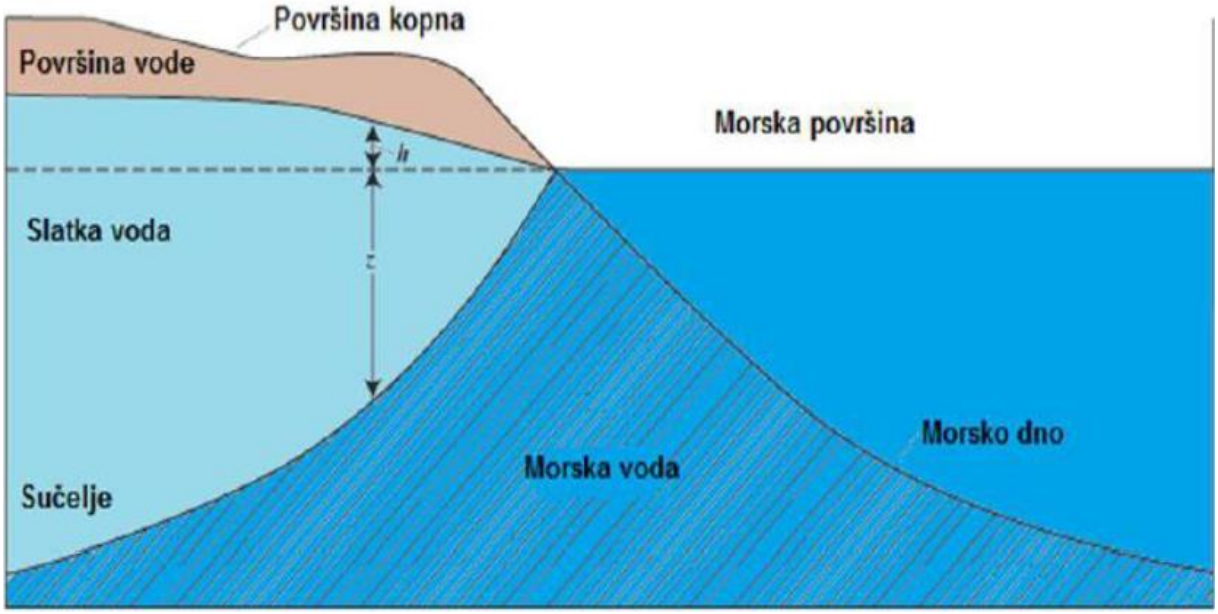
postoje brojna rješenja i za te probleme u vidu pravilnog oblikovanja usisnog djela cjevovoda. Pogotovo se tu ističe izvedba s priključkom koji se može odvojiti i očistiti od onečišćenja i vratiti natrag, to skraćuje vrijeme remonta te se sustav može brzo vratiti ponovno u pogon. Slika 8. u nastavku prikazuje osnovnu shemu sustava direktnog zahvata morske vode [24].



Slika 8. Osnovna shema sustava direktnog zahvata morske vode [24]

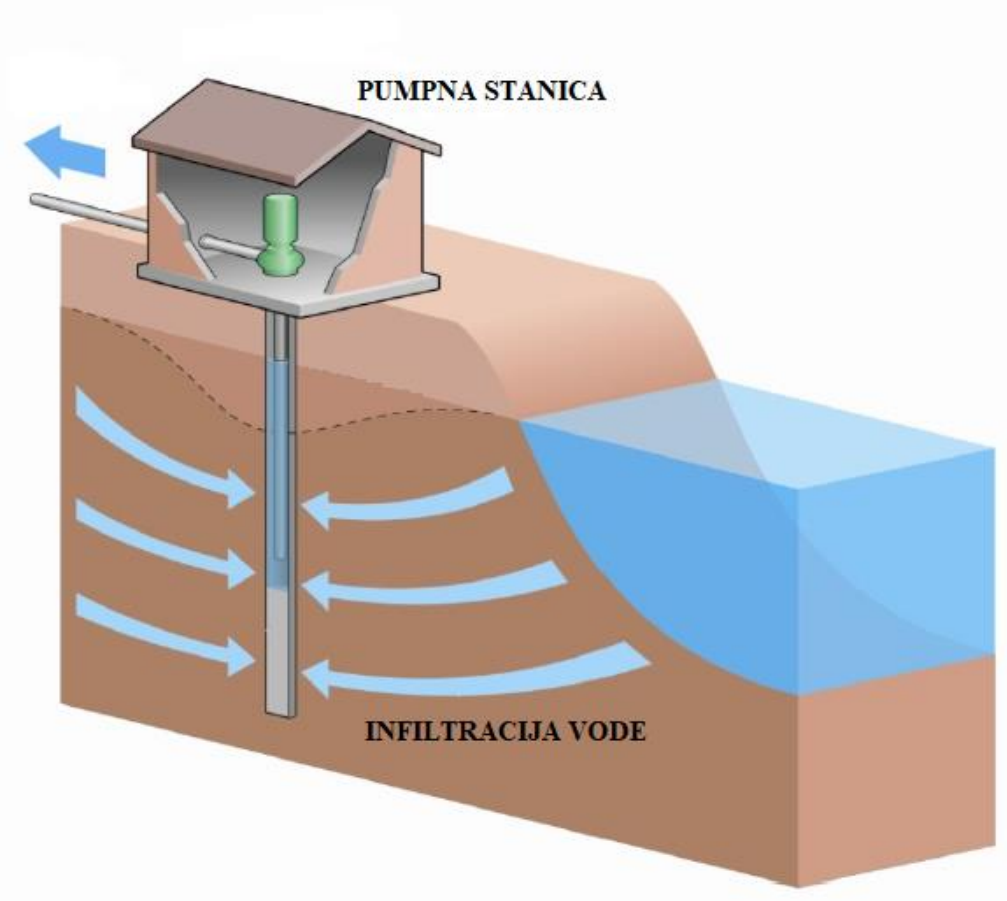
2.4.2 Potpovršinski zahvat boćate ili morske vode iz zdenca uz more

Potpovršinski zahvat boćate ili morske vode iz zdenca uz more zahvat je podzemne vode iz vodonosnika koji se nalazi svega par metara ispod Zemljine površine na obali. Ta podzemna voda može biti posljedica infiltracije morske vode kroz pješčano dno do bušotinskih zdenaca uz more ili miješanja slatke, kopnene i infiltrirane, slane, morske vode. Slika 9. u nastavku prikazuje odnos slane, morske i slatke, kopnene vode u priobalnom području [22].

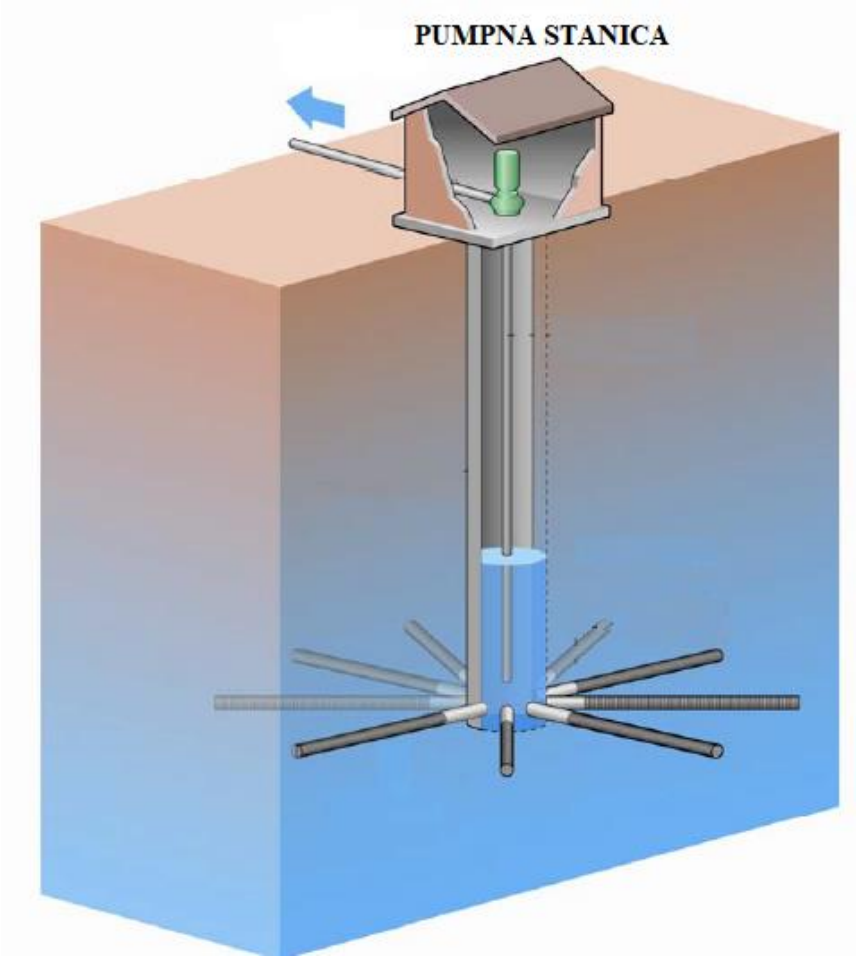


Slika 9. Odnos slane, morske i slatke, kopnene vode u priobalnom području [22]

Zdenci boćate ili morske vode izvode se kao vertikalni ili horizontalni, ovisno o zahtjevima za grijanjem ili hlađenjem, tj. potrebnoj količini morske vode (slika 10. i slika 11.) [24].



Slika 10. Vertikalna izvedba zdenca boćate ili morske vode na obali [24]



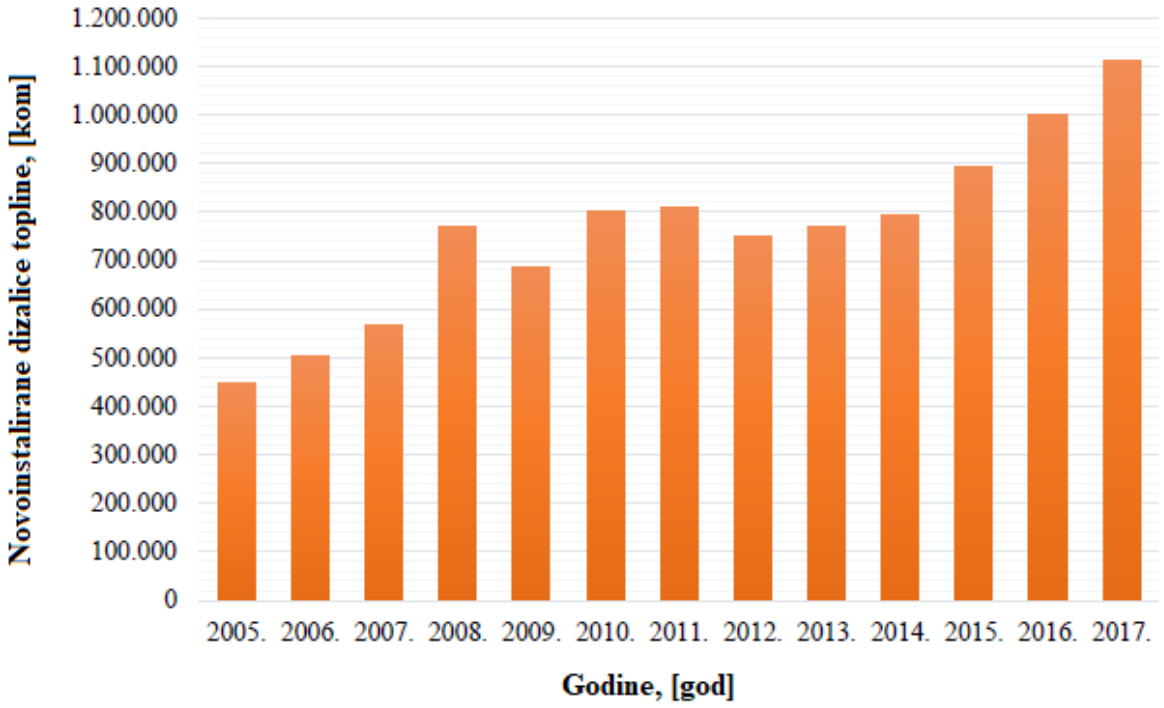
Slika 11. Horizontalna izvedba zdenca boćate ili morske vode na obali [24]

Potpovršinski zahvat boćate ili morske vode podrazumijeva da ta voda sadrži manju količinu primjesa, ulja i smeća te bioloških organizama što rezultira manjim biološkim onečišćenjem cjevovoda i međuizmjenjivača, a time i stabilnijim radom sustava. Nadalje, takva je voda manjeg saliniteta što smanjuje mogućnost pojave i napredovanja korozije. Primjena materijala pumpi, cjevovoda i međuizmjenjivača jednaka je kao i kod direktnog zahvata morske vode [24]. Nedostatak potpovršinskog zahvata boćate ili morske vode jest veći investicijski trošak, međutim troškovi održavanja sustava zbog bioloških onečišćenja su puno manji.

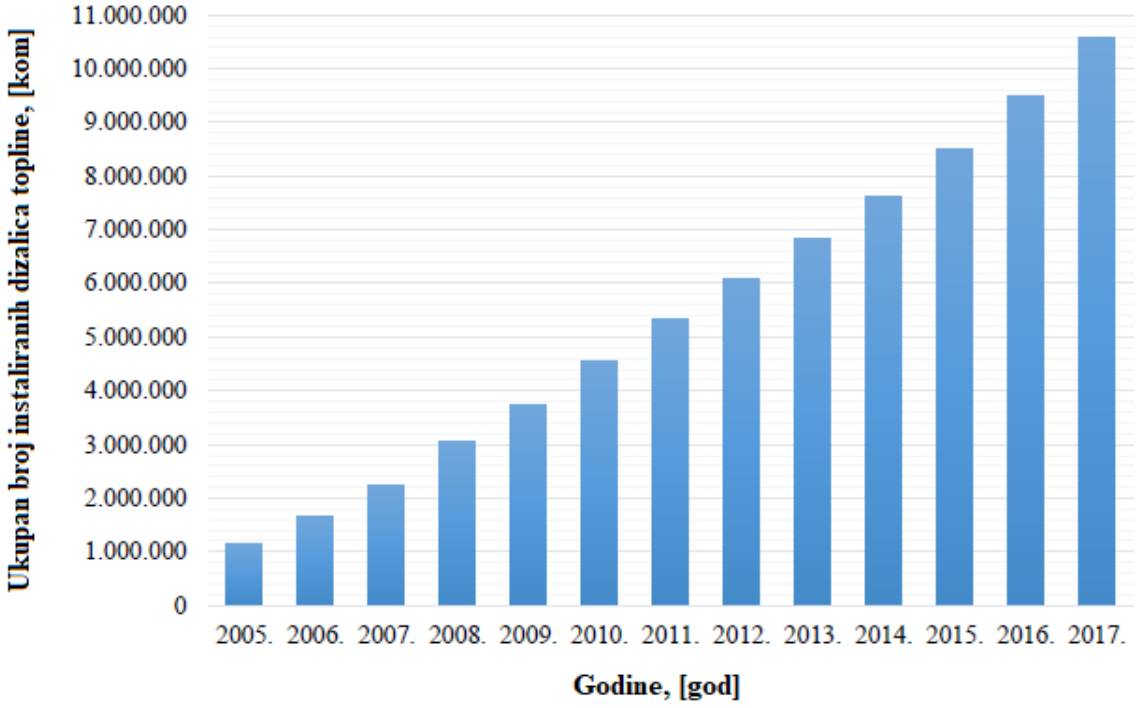
2.5. Primjena dizalica topline morska voda – voda na Jadranskom moru

Ugradnja dizalica topline u Europskoj uniji je u stalnom porastu. 2017. godine zabilježen je porast od 11,2% u odnosu na prethodnu godinu. Nadalje, u 2017. godini je prvi put instalirano više od milijun dizalica topline (1 141 016), što je godišnji rekord za period od trinaest godina vođenja statistike implementacije dizalica topline [11].

Na idućim slikama, slika 12. i slika 13., prikazane su vrijednosti novoinstaliranih dizalica topline po pojedinim godinama i ukupan broj instaliranih dizalica topline u Europi.



Slika 12. Broj novoinstaliranih dizalica topline u pojedinoj godini [11]



Slika 13. Ukupan broj instaliranih dizalica topline [11]

Porast ugradnje dizalica topline morska voda - voda zabilježen je posljednjih desetak godina prepoznavanjem potencijala morske vode kao obnovljivog izvora energije. Provedbom mjera Europske unije u borbi protiv klimatskih promjena i globalnog zatopljenja, dizalice topline morska voda – voda u obalnim područjima sve su češća tehnologija kojoj se pribjegava. Nadalje, budući se sve veći fokus energetske tranzicije stavlja na sektor grijanja i hlađenja, dizalice topline prepoznate su i od strane vodećih ljudi u politici. Zakonodavstvo EU vezano uz energetsku učinkovitost, obnovljive izvore energije i održivu gradnju, primjenjuje se u svim državama članicama. Uz to, države članice dijele financijske poticaje za navedene propisane standarde gradnje što se pozitivno održava na tržište dizalica topline. S više od sto osamdeset instaliranih velikih sustava, sjeverna Europa prednjači u implementaciji sustava dizalica topline morska voda - voda, a među najvećim korisnicima su Švedska i Norveška. Na hrvatskom Jadranu nalazi se više primjera hotelskih kompleksa koji morsku vodu koriste kao izvor topline.

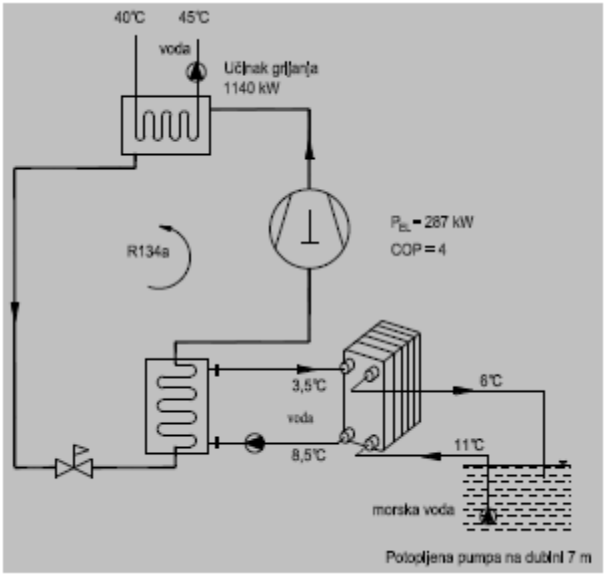
2.5.1. Hotel Le Méridien Lav, Split

Primjer implementacije sustava dizalica topline morska voda - voda u Republici Hrvatskoj je Hotel Le Méridien Lav u Splitu.



Slika 14. Hotel Le Méridien Lav, Split

Sustav služi za grijanje i hlađenje prostora hotela. Instalirane su tri dizalice topline morska voda - voda ogrjevnog učina 1,15 MW po dizalici topline. Sustav je trinaest godina u pogonu. Zahvat mora je na dubini od 7 m, temperature mora 11°C. Radni medij, koji je u zatvorenom krugu i posrednik je između morske vode i vode u sustavu grijanja, je R134a [12].



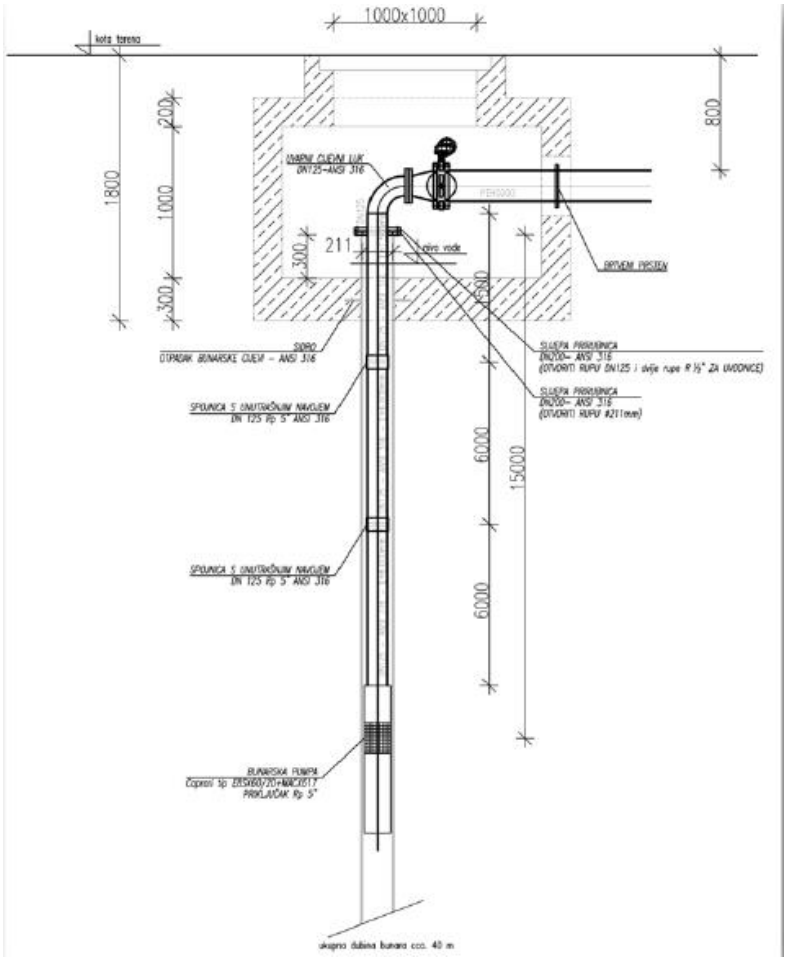
Slika 15. Pojednostavljeni shematski prikaz dizalice topline s morem kao izvorom topline, Hotel Le Méridien Lav, Split [12]

2.5.2. Hotel Parentium, Poreč

Sustav je smješten u hotelu koji se nalazi u Zelenoj Laguni u Poreču. Dizalica topline sadrži dvije jedinice za hlađenje (2 x 692 kW) i dvije jedinice za grijanje (2 x 795 kW). Godišnje sustav proizvede 723 MWh energije, što je dostatna godišnja količina energije za cijeli hotel. U sustavu se koristi zahvat boćate vode te je sustav izveden kao vertikalna izvedba zdenca na dubini od 40 m [13].



Slika 16. Hotel Parentium, Poreč



Slika 17. Primjer izvedbe zahvata morske vode u hotelu Parentium, Poreč [13]

2.5.3. Fakultet za pomorstvo i promet, Portorož, Slovenija

Dizalica topline s cjevovodom koji je duljine 60 m i koji služi za zahvat morske vode su izgrađeni 2004. godine. Sustav je zadužen za grijanje i hlađenje zgrade Fakulteta. Dizalica topline je manje izvedbe s ogrjevnim učinom od 66 kW te rashladnim učinom od 55 kW. Prosječno godišnje se proizvede 91 MWh za grijanje i 75 MWh za hlađenje [13].

2.5.4. Knežev dvor, Dubrovnik

Jedan od najnovijih primjera ugradnje dizalice topline morska voda – voda na Jadranskom moru je Knežev dvor u Dubrovniku. U sklopu SEADRION projekta, u srpnju 2018. grad Dubrovnik je prihvatio dokumentaciju koja je zadovoljila natječaj za zamjenu postojećeg sustava grijanja i hlađenja u Kneževom dvoru. Nadalje, u veljači 2019. DURA (Dubrovačka razvojna agencija) je nakon završetka postupka javne nabave potpisala ugovor s tvrtkom Tehno Elektronik d.o.o. Tijekom ožujka 2019. započinju radovi na demontaži postojećeg sustava za grijanje i hlađenje

te priprema za ugradnju novog sustava. Na kraju, u srpnju 2019. godine su završili svi radovi i novi sustav je pušten u rad. Novoinstalirani sustav služi za grijanje (ogrjevnog učina 6 x 72 kW – 50/45 °C) i za hlađenje (rashladnog učina 6 x 70 kW – 30/35 °C) [14].



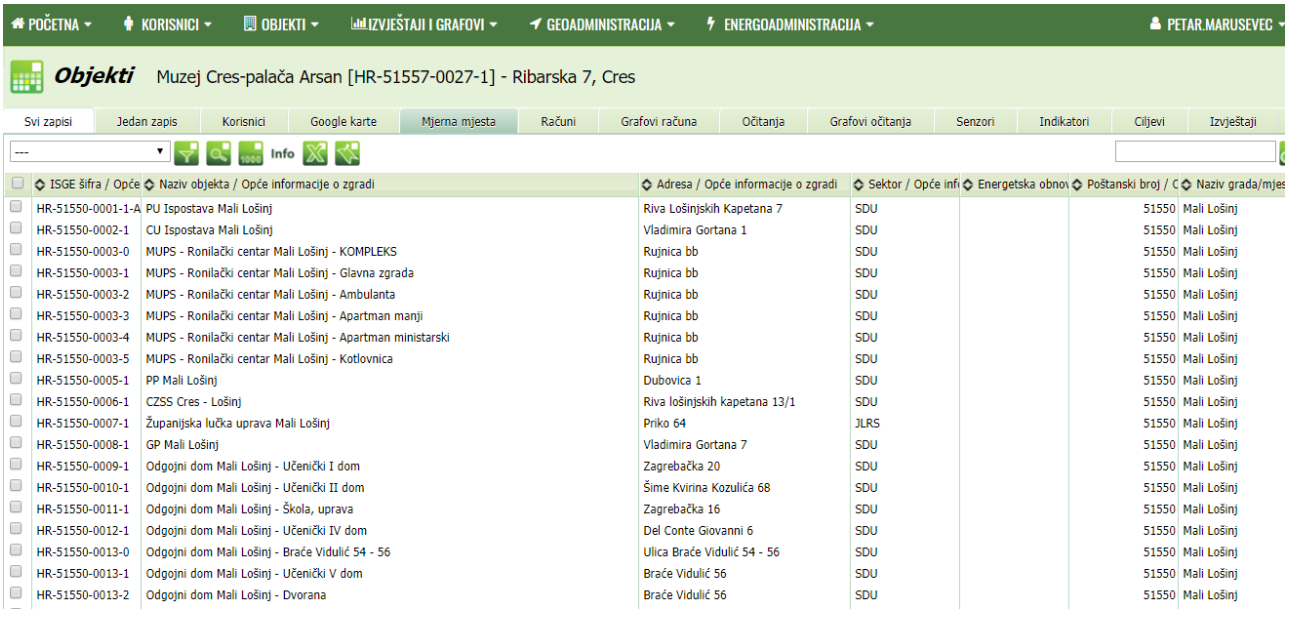
Slika 18. Postrojenje sustava dizalice topline morska voda - voda, Knežev dvor, Dubrovnik [14]

3. ANALIZA POTROŠNJE ENERGIJE

Podaci vezani uz objekte javnog sektora na području cresko – lošinjskog arhipelaga, koji su se koristili u daljnjim analizama i proračunima dobiveni su od Agencije za pravni promet i posredovanje nekretninama (u daljnjem tekstu APN). APN je agencija u nadležnosti Ministarstva graditeljstva i prostornog uređenja zadužena za koordinaciju sustavnog gospodarenja energijom u javnom sektoru, za administraciju i razvoj nacionalnog Informacijskog sustava za gospodarenje energijom (u daljnjem tekstu ISGE) i koordinaciju gospodarenja energijom. Odjel za sustavno gospodarenje energijom APN-a je kolektiv zadužen za sva pitanja vezana za sustavno gospodarenje energijom i u suradnji s njima se koristio ISGE sustavu za potrebne podatke.

3.1. Identifikacija zgrada javne namjene

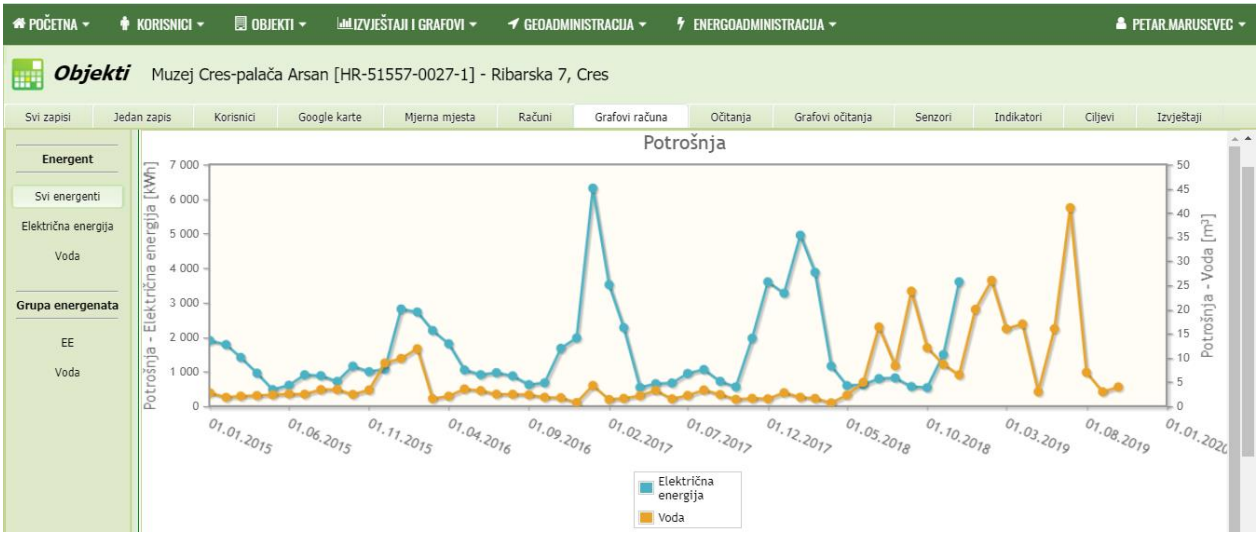
Zgrade javne namjene su identificirane na temelju ponuđenih objekata u ISGE sustavu i dokumenta pod nazivom „Tranzicijski plan prema čistoj energiji Cresko – lošinjskog otočja“ (u daljnjem tekstu Tranzicijski plan) [15]. Sljedeća slika prikazuje primjer korisničkog sučelja ISGE sustava.



ISGE šifra / Opće	Naziv objekta / Opće informacije o zgradi	Adresa / Opće informacije o zgradi	Sektor / Opće inf	Energetska obno	Poštanski broj / C	Naziv grada/mjes
HR-51550-0001-1-A	PU Ispostava Mali Lošinj	Riva Lošinjskih Kapetana 7	SDU		51550	Mali Lošinj
HR-51550-0002-1	CU Ispostava Mali Lošinj	Vladimira Gortana 1	SDU		51550	Mali Lošinj
HR-51550-0003-0	MUPS - Ronilački centar Mali Lošinj - KOMPLEKS	Rujnica bb	SDU		51550	Mali Lošinj
HR-51550-0003-1	MUPS - Ronilački centar Mali Lošinj - Glavna zgrada	Rujnica bb	SDU		51550	Mali Lošinj
HR-51550-0003-2	MUPS - Ronilački centar Mali Lošinj - Ambulanta	Rujnica bb	SDU		51550	Mali Lošinj
HR-51550-0003-3	MUPS - Ronilački centar Mali Lošinj - Apartman manji	Rujnica bb	SDU		51550	Mali Lošinj
HR-51550-0003-4	MUPS - Ronilački centar Mali Lošinj - Apartman ministarski	Rujnica bb	SDU		51550	Mali Lošinj
HR-51550-0003-5	MUPS - Ronilački centar Mali Lošinj - Kotlovnica	Rujnica bb	SDU		51550	Mali Lošinj
HR-51550-0005-1	PP Mali Lošinj	Dubovica 1	SDU		51550	Mali Lošinj
HR-51550-0006-1	CZSS Cres - Lošinj	Riva lošinjskih kapetana 13/1	SDU		51550	Mali Lošinj
HR-51550-0007-1	Županijska lučka uprava Mali Lošinj	Priko 64	JLRS		51550	Mali Lošinj
HR-51550-0008-1	GP Mali Lošinj	Vladimira Gortana 7	SDU		51550	Mali Lošinj
HR-51550-0009-1	Odgojni dom Mali Lošinj - Učenički I dom	Zagrebačka 20	SDU		51550	Mali Lošinj
HR-51550-0010-1	Odgojni dom Mali Lošinj - Učenički II dom	Šime Kvirina Kozulića 68	SDU		51550	Mali Lošinj
HR-51550-0011-1	Odgojni dom Mali Lošinj - Škola, uprava	Zagrebačka 16	SDU		51550	Mali Lošinj
HR-51550-0012-1	Odgojni dom Mali Lošinj - Učenički IV dom	Del Conte Giovanni 6	SDU		51550	Mali Lošinj
HR-51550-0013-0	Odgojni dom Mali Lošinj - Braće Vidulić 54 - 56	Ulica Braće Vidulić 54 - 56	SDU		51550	Mali Lošinj
HR-51550-0013-1	Odgojni dom Mali Lošinj - Učenički V dom	Braće Vidulić 56	SDU		51550	Mali Lošinj
HR-51550-0013-2	Odgojni dom Mali Lošinj - Dvorana	Braće Vidulić 56	SDU		51550	Mali Lošinj

Slika 19. Primjer korisničkog sučelja ISGE sustava

U ISGE sustavu daje se uvid u opće podatke objekta (osnovne dimenzije zgrade) i grafove računa za sve energente i potrošnju vode. Slika 20., koja slijedi u nastavku, prikazuje primjer grafa potrošnje električne energije i vode za odabrani objekt.



Slika 20. Primjer grafova potrošnje za pojedini objekt u ISGE sustavu

Iz razloga jer zakonski nije određeno da je obavezan unos apsolutno svih podataka u ponuđenim kategorijama sustava od strane administracije pojedinog objekta, podatke koji nedostaju, a potrebni su za proračune, pretpostavljeni su prema smjernicama iz kolegija Termotehnika (KGH) koji se održava na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, Zagreb [16].

3.2. Potrošnja energenata

Provedenom analizom iz Tranzicijskog plana obuhvaćena je velika većina zgrada u javnom vlasništvu na području cresko – lošinjskog arhipelaga. U analizi su prikupljeni podaci o potrošnji svih oblika energenata, a koji obuhvaćaju: električnu energiju, ekstra lako lož ulje, ukapljeni naftni plin (UNP) i pelete. Pojedine zgrade osim električne energije koriste jedan ili više drugih oblika energenata. U nastavku je kroz tablice prikazana potrošnja pojedinog oblika energenta po pojedinim zgradama.

Tablica 1. Potrošnja električne energije zgrada u javnom vlasništvu u 2018. godini [15]

	Zgrada	Električna Energija (kWh)	Emisija CO_2 (t)
1.	Creski muzej	22.824	3,606
2.	DV Girice – Cres	58.657	9,268
3.	Gradska knjižnica – Cres	12.023	1,9
4.	Gradska uprava – Cres	106.142	16,77
5.	OŠ Frane Petrića – Cres	56.846	8,982
6.	Dom za starije – Mali Lošinj	107.264	16,948
7.	Dom za starije – Cres	43.571	6,884
8.	OŠ Maria Martinolića – Mali Lošinj	156.823	24,778
9.	Dom zdravlja – Mali Lošinj	114.346	18,067
10.	Lječilište – Veli Lošinj	352.486	55,693
11.	Odgojni dom – Mali Lošinj	102.516	16,198
12.	Odgojni dom – podružnica Cres	76.990	12,164
13.	Srednja škola – Mali Lošinj	54.798	8,658
14.	Srednja škola – Cres	19.283	3,047
15.	Lošinj usluge	17.783	2,81
16.	DV Mali Lošinj (centralni i villa perla)	103.445	16,344
17.	DV Veli Lošinj	40.714	6,433
18.	DV Nerezine	11.109	1,755
19.	Upravna zgrada Grad Mali Lošinj	101.841	16,091
20.	Školska dvorana – Mali Lošinj	33.455	5,286
	UKUPNO	**1.592.916**	**251,681**

Tablica 2. Potrošnja ekstra lakog lož ulja zgrada u javnom vlasništvu u 2018. godini [15]

	Zgrada	Lož ulje ekstra lako (l)	Energija (kWh)	Emisija CO_2 (t)
1.	OŠ Frane Petrića – Cres	11.205	132.891,30	35,482
2.	Lječilište – Veli Lošinj	3.140	37.240,40	9.943
3.	Odgojni dom – Mali Lošinj	2.415	28.641,90	7.647
4.	Srednja škola – Mali Lošinj	2.450	29.057	7.758
5.	Srednja škola – Cres	1.230	14.587,80	3.895
6.	Upravna zgrada Grad Mali Lošinj	4.300	50.998	13.616
7.	Školska dvorana – Mali Lošinj	17.680	209.684,80	55.986
	UKUPNO	**42.420**	**503.101,20**	**134,327**

Tablica 3. Potrošnja ukapljenog naftnog plina zgrada u javnom vlasništvu u 2018. godini [15]

	Zgrada	UNP (kg)	Energija (kWh)	Emisija CO_2 (t)
1.	Lječilište – Veli Lošinj	5.780	73.984	16.794
2.	Odgojni dom – Mali Lošinj	7.115	91.072	20.673
3.	Odgojni dom – Cres	12.380	158.464	35,971
	UKUPNO	**25.275**	**323.520**	**73,439**

Tablica 4. Potrošnja peleta zgrada u javnom vlasništvu u 2018. godini [15]

	Zgrada	Peleti (kg)	Energija (kWh)	Emisija CO_2 (t)
1.	DV Girice – Cres	11.830	60.333	0
	UKUPNO	**11.830**	**60.333**	**0**

Zgrade u javnom vlasništvu su u 2018. godini ukupno potrošile 2 409 453 MWh energije i emitirale 440 647 tona CO_2 [15].

Slika u nastavku, slika 21., prikazuje udio potrošnje pojedinog oblika energenta kod zgrada u javnom vlasništvu u 2018. godini.



Slika 21. Udio potrošnje pojedinog oblika energenta kod zgrada u javnom vlasništvu u 2018. godini [15]

3.3. Odabir objekata za daljnju analizu ugradnje dizalice topline

Nakon identificiranja svih objekata u javnom vlasništvu na području cresko – lošinjskog arhipelaga, idući korak u ovom radu je odabir objekata pogodnih za iskorištavanje plave energije, tj. ugradnju dizalica topline. Odabir se temeljio na 4 kriterija:

- dostupnost podataka
- blizina moru (određivanje načina zahvata morske vode)
- korištenje ekstra lakog lož ulja ili UNP-a kao energenta (fosilna goriva)
- veličina i namjena objekta (tehno-ekonomska analiza)

Tablice koje slijede prikazuju analizu objekata po navedena 3 kriterija.

Tablica 5. Analiza objekata po kriteriju blizine mora i korištenju ELLU-a ili UNP-a, grad Cres

Namjena objekta	Naziv objekta	Kategorija objekta	Adresa	Potrošnja energenata			
				Električna energija	Lož ulje	UNP	Peleti
Kultura i sport							
	Gradska knjižnica Cres - Lazaret	**Slobodnostojeća zgrada**	**Trg Frane Petrića 8**	+	-	-	-
	Muzej Cres - palača Arsan	Slobodnostojeća zgrada	Ribarska ulica 7	+	-	-	-
Školstvo i odgoj							
	DV Girice – Cres	Slobodnostojeća zgrada	Šetalište 20. travnja 54	+	-	-	+
	Odgojni dom – podružnica Cres	Kompleks + 2 zgrade u kompleksu	Jadranska obala 15	+	-	+	-
	OŠ Frane Petrića – Cres	Slobodnostojeća zgrada	Šetalište 20. travnja 56	+	+	-	-
	Srednja škola – Cres	Zgrada u kompleksu	Šetalište 20. travnja 56	+	+	-	-
Uprava							
	Gradska uprava – Cres	Slobodnostojeća zgrada	Ulica Creskog statuta 15	+	-	-	-
Zdravstvo							
	Dom za starije – Cres	**Slobodnostojeća zgrada**	**Obala Sv. Benedikta 1**	+	-	+	-

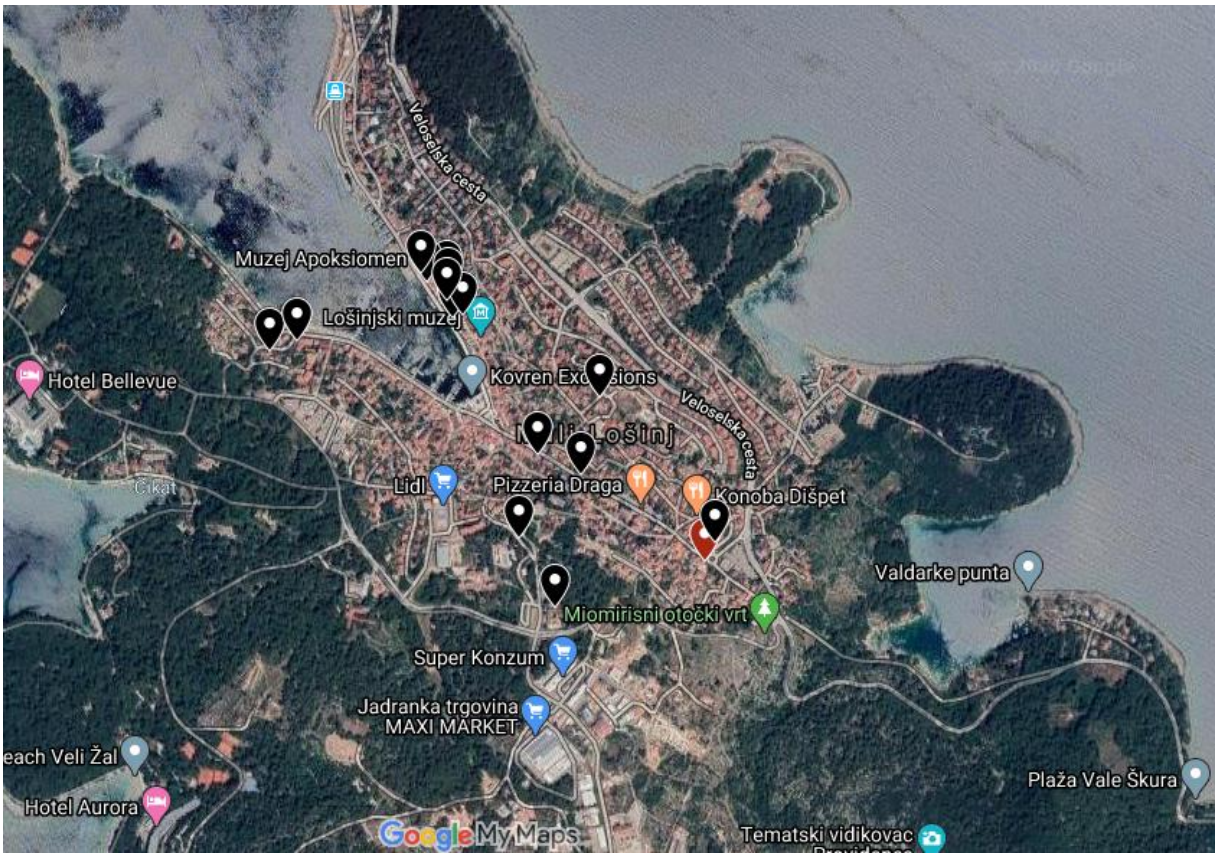
Tablica 6. Analiza objekata po kriteriju blizine mora i korištenja ELLU-a ili UNP-a, grad Mali Lošinj

Namjena objekta	Naziv objekta	Kategorija objekta	Adresa	Potrošnja energenata			
				Električna energija	Lož ulje	UNP	Peleti
Školstvo i odgoj							
	DV Mali Lošinj (centralni i villa perla)	Slobodnostojeća zgrada	Omladinska ulica 14	+	-	-	-
	Odgojni dom – Mali Lošinj	8 podataka u ISGE-u	7 adresa	+	+	+	-
	OŠ Maria Martinolića – Mali Lošinj	Zgarda u kompleksu	Omladinska 11	+	-	-	-
	Srednja škola – Mali Lošinj	Zgarda u kompleksu	Omladinska 12	+	+	-	-
	Školska dvorana – Mali Lošinj	**Zgrada u kompleksu**	**Ulica braće Ivana i Stjepana Vidulić 56**	**+**	**+**	**-**	**-**
Uprava							
	Upravna zgrada Grad Mali Lošinj	Dio zgrade	Riva lošinjskih kapetana 7	+	+	-	-
Zdravstvo							
	Dom zdravlja – Mali Lošinj	Slobodnostojeća zgrada	Priko ulica 69	+	+	-	-

Iduće dvije slike koje slijede, prikazuju mapiranje objekata pomoću alata „Google karte“ po njihovim adresama.



Slika 22. Mapirani objekti, grad Cres



Slika 23. Mapirani objekti, grad Mali Lošinj

Za daljnje proračune i analizu odabrana su 2 objekta iz grada Cresa i 1 objekt iz grada Mali Lošinj, sveukupno 3 objekta (označeni crvenom oznakom na slikama 22. i 23.), a to su:

- Muzej Cres – palača Arsan, Ribarska ulica 7
- Dom za starije osobe Marko A. Stuparić – Cres, Obala Sv. Benedikta 1
- Školska dvorana – Mali Lošinj, Ulica braće Ivana i Stjepana Vidulića 56

4. TOPLINSKO OPTEREĆENJE I DIMENZIONIRANJE SUSTAVA

Proračun toplinskog opterećenja odabranih objekata proveden je prema normi „Sustavi grijanja u zgradarstvu – metoda proračuna projektnog toplinskog opterećenja prema HRN EN 12831:2003“ [17]. Zbog nedostatka podataka koji su potrebni u proračunu korištene su smjernice iz kolegija Termotehnika (KGH) koji se održava na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, Zagreb [16]. U nastavku poglavlja su prikazane osnove jednadžbe norme i opis pojednostavljenja za pojedinu zgradu, a na kraju poglavlja (točka 4.4. rada) u tablici 8. su prikazani dobiveni rezultati.

Tablica 7. Ulazni podaci o zgradama potrebni za HRN EN 12831:2003

Zgrada	ϑ_{int} [°C]	ϑ_e [°C]	V_i [m^3]	A_i [m^2]	n_{min} [h^{-1}]	$A_{oplošja}$ [m^2]
Muzej Cres - palača Arsan	20	-2,7	145	60	1	66
Dom za starije osobe Marko A. Stuparić - Cres	22	-2,7	1410	470	0,5	381
Školska dvorana - Mali Lošinj	20	-2,7	500	100	1,5	106,5

Opis pojedinog parametra u tablici 7.:

- ϑ_{int} - projektna unutarnja temperatura, izvor: [16], [°C]
- ϑ_e - projektna vanjska temperatura; izvor: Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja, Meteorološki podaci, θ_{minym}=temperatura za projektiranje grijanja prema Tehničkom propisu, za Mali Lošinj [18]; [°C]
- V_i - volumen objekta, izvor: ISGE sustav ili smjernice prema [16], [m^3]
- A_i - korisna površina poda, izvor: ISGE sustav ili smjernice prema [16], [m^2]
- n_{min} - broj izmjena zraka, izvor: [16], [h^{-1}]
- $A_{oplošja}$ - površina oplošja zgrade prema vanjskom okolišu, izvor: ISGE sustav ili smjernice prema [16], [m^2]

Toplinsko opterećenje zgrade računa se prema:

$$\Phi_{HL} = \sum \Phi_{T,i} + \sum \Phi_{V,i} + \sum \Phi_{RH,i} \quad [W] \tag{3}$$

Gdje su:

- $\sum \Phi_{T,i}$ - suma transmisijskih gubitaka svih prostora isključujući toplinu koja se izmjenjuje između dijelova zgrade ili prostorija, [W]

- $\sum \Phi_{V,i}$ - suma ventilacijskih gubitaka svih prostorija isključujući toplinu koja se izmjenjuje između dijelova zgrade ili prostorija, [W]
- $\sum \Phi_{RH,i}$ - suma toplina za zagrijavanje svih prostorija zbog prekida grijanja, [W]

U ovom radu je toplinsko opterećenje zgrade izračunato kao da je zgrada jedinstvena cjelina, iz razloga jer tijekom pisanja rada nisu bili dostupni svi potrebni podaci za izračunavanje prema jednadžbi (3). Toplinsko opterećenje prostorije se računa prema:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i} \quad [\text{W}] \tag{4}$$

Gdje su:

- $\Phi_{T,i}$ - transmisijski gubici topline prostorije, [W]
- $\Phi_{V,i}$ - ventilacijski gubici topline prostorije, [W]
- $\Phi_{RH,i}$ - toplina za zagrijavanje zbog prekida grijanja, [W]

4.1. Transmisijski gubici topline

Transmisijski gubici prostorije računaju se prema izrazu:

$$\Phi_{T,i} = \left(H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}\right) \cdot (\vartheta_{int,i} - \vartheta_e) \quad [\text{W}] \tag{5}$$

Gdje su:

- $H_{T,ie}$ - koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu, izvor: zbog nedostatka podataka, smjernice prema [16], [W/K]
- $H_{T,iue}$ - koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu, u ovom proračunu zbog nedostatka podataka se ovaj koeficijent zanemario u svim objektima (objekt se promatrao kao jedinstvena cjelina), [W/K]
- $H_{T,ig}$ - stacionarni koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema tlu, [W/K]
- $H_{T,ij}$ - koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema susjednom grijanom prostoru različite temperature, u ovom proračunu zbog nedostatka podataka se ovaj koeficijent zanemario u svim objektima (objekt se promatrao kao jedinstvena cjelina) , [W/K]
- $\vartheta_{int,i}$ - unutarnja projektna temperatura grijanog prostora, [°C]
- ϑ_e - vanjska projektna temperatura, [°C]

Transmisijski gubici prema vanjskom okolišu – koeficijent gubitaka $H_{T,ie}$

Transmisijski gubici prema vanjskom okolišu nastaju zbog razlike između vanjske projektne temperature i unutarnje projektne temperature pojedine grijane prostorije, a računaju se prema:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k U_k e_k + \sum_l \psi_l l_l e_l \quad \text{[W/K]} \tag{6}$$

Gdje su:

- A_k - površina plohe „k“ (zid, prozor, vrata, strop, pod) kroz koju prolazi toplina, [m^2]
- e_k , e_l - korekcijski faktori izloženosti koji uzimaju u obzir klimatske utjecaje kao vlažnost, temperatura, brzina vjetra. Određuju se na nacionalnoj razini. Ako vrijednosti nisu određene na nacionalnoj razini uzeti =1.
- U_k - koeficijent prolaza topline građevnog elementa „k“, [W/m^2K]
- l_l - dužina linijskog toplinskog mosta između vanjskog okoliša i prostorije, [m]
- ψ_l - linijski koeficijent prolaza topline linijskog toplinskog mosta „l“, [W/mK]

Prva suma u jednadžbi (6), $\sum_k A_k U_k e_k$, je izračunata za pojedine zgrade prema dostupnim podacima iz ISGE sustava i smjernicama iz [16]. Dok je druga suma, $\sum_l \psi_l l_l e_l$, u ovome proračunu za sve objekte zanemarena zbog nedostatka podataka.

Transmisijski gubici prema tlu – koeficijent gubitaka $H_{T,ig}$

Budući je temperatura tla niža od unutarnje projektne temperature grijanog prostora, uspostavlja se toplinski tok, kroz podove na tlu, prema tlu, tj. transmisijski gubici prema tlu. Transmisijski gubici prema tlu računaju se prema:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k}\right) \cdot G_W \quad \text{[W/K]} \tag{7}$$

Gdje su:

- f_{g1} – korekcijski faktor za utjecaj godišnje oscilacije vanjske temperature (predložena vrijednost =1,45 [16]), [-]
- f_{g2} - faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između godišnje srednje vanjske i vanjske projektne temperature prema izrazu:

$$f_{g2} = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_{m,e}}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} \quad \text{[-]} \tag{8}$$

- $U_{equiv,k}$ - ekvivalentni koeficijent prolaza topline iz tablica i dijagrama prema tipologiji poda [16], [$W/(m^2K)$]
- G_W - korekcijski faktor za utjecaj podzemne vode, za udaljenost poda do vode ($\leq 1m$ uzeti =1,15, inače =1,00) [16], [-]

4.2. Ventilacijski gubici topline

Ventilacijski gubici pojedine prostorije računaju se prema izrazu:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot \left(\vartheta_{int,i} - \vartheta_e\right) = V_i \cdot \rho \cdot c_p \cdot \left(\vartheta_{int,i} - \vartheta_e\right) \quad [\text{W}] \tag{9}$$

Gdje su:

- $H_{V,i}$ - koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka, [W/K]
- $\vartheta_{int,i}$ - unutarnja projektna temperatura grijanog prostora, [°C]
- ϑ_e - vanjska projektna temperatura, [°C]
- V_i - protok zraka u grijani prostor, [m^3/s]
- ρ - gustoća zraka, ρ=1,2 kg/m^3 , izvor: [16], [kg/m^3]
- c_p - specifični toplinski kapacitet zraka, c_p=1,01 kJ/kgK, izvor: [16], [J/(kgK)]

Budući da se u ovom proračunu razmatraju zgrade bez sustava ventilacije, pokazat će se postupak računanja protoka zraka V_i bez ventilacijskog sustava. Kao posljedica razlike tlakova unutrašnjosti zgrade i vanjskog okoliša, dolazi do infiltracije vanjskog zraka u prostorije kroz zazore, dok je ujedno potrebno i izmjenjivati zrak u prostoriji iz higijenskih razloga (zadovoljavanje higijenskom minimuma). Rezultat toga su ventilacijski gubici prostorije. Protok zraka kod zgrade bez ventilacijskog sustava opisuje sljedeći izraz:

$$V_i = max\left(V_{inf,i}, V_{min,i}\right) \tag{10}$$

Gdje su:

- $V_{inf,i}$ - maksimalni protok zraka u prostoriju uslijed infiltracije kroz zazore, [m^3/h]
- $V_{min,i}$ - minimalni higijenski protok zraka, [m^3/h]

Protok zraka V_i je maksimum između $V_{inf,i}$ i $V_{min,i}$, koji se računaju prema:

$$V_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \quad [\text{m}^3/\text{h}] \tag{11}$$

$$V_{min,i} = n_{min} \cdot V_i \quad [\text{m}^3/\text{h}] \tag{12}$$

Gdje su:

- V_i - volumen prostorije izračunat prema unutarnjim dimenzijama (volumen zraka), [m^3]
- n_{50} - broj izmjena zraka u prostoriji pri razlici tlaka 50 Pa između prostorije i vanjskog okoliša (određuje se eksperimentalno ili se uzimaju preporučene vrijednosti iz tablice dane u HRN EN 12831:2003), [h^{-1}]
- e_i - koeficijent zaštićenosti, uzima u obzir utjecaj vjetra odnosno zaštićenost zgrade i broj otvora prema okolišu (uzimaju preporučene vrijednosti iz tablice dane u HRN EN 12831:2003), [-]

- ε_i - korekcijski faktor za visinu, uzima u obzir različit odnos tlakova sa povećanjem visine iznad okolnog tla (uzimaju preporučene vrijednosti iz tablice dane u HRN EN 12831:2003), [-]
- n_{min} - minimalni broj izmjena zraka (ovisi o tipu prostorije, a odabiru se preporučene vrijednosti iz tablice dane u HRN EN 12831:2003), [h^{-1}]

4.3. Toplinski gubici zbog prekida grijanja

Prostori s prekidima grijanja zahtijevaju dodatnu toplinu za zagrijavanje od unutarnje projektne temperature prostorije nakon što se ona snizi u periodu prekida grijanja.

Toplina za zagrijavanje se računa prema:

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} \quad [W] \tag{13}$$

Gdje su:

- A_i - površina poda grijanog prostora s ½ debljine zidova, [m^2]
- f_{RH} - korekcijski faktor ovisan o vremenu zagrijavanja i pretpostavljenom padu temperature za vrijeme prekida (odabiru se preporučene vrijednosti iz tablice dane u HRN EN 12831:2003), [W/m^2]

4.4. Toplinsko opterećenje pojedine zgrade i dimenzioniranje centralnih komponenta sustava

Nakon provedenog proračuna po normi HRN EN 12831:2003, koji je gore detaljno opisan, rezultati za pojedinu zgradu su prikazani u idućoj tablici.

Tablica 8. Rezultati proračuna po HRN EN 12831:2003 za pojedine zgrade

Zgrada	Φ_T, [W]	Φ_V, [W]	Φ_{RH}, [W]	Φ_{HL}, [W]	Φ_{HL}, [W/m^2]	Φ_{HL}, [W/m^3]
Muzej Cres - palača Arsan	1248,75	1108,14	1620	3976,89	66,28	27,43
Dom za starije osobe Marko A. Stuparić - Cres	8088,32	5862,55	10340	24290,87	51,68	17,23
Školska dvorana - Mali Lošinj	2176,56	5731,75	2000	9908,31	99,08	19,82

Na temelju stupca pet, gornje tablice 8., u kojem se nalazi projektno toplinsko opterećenje koje predstavlja snagu za grijanje, se uz COP (=4) dizalica topline odabire snage pumpe za pojedinu

dizalicu topline (P_{pumpe}, zaokružen rezultat) te prema toplinskom opterećenju se odabiru standardizirane dizalice topline prema mogućem ogrjevnom učinu iz kataloga proizvođača (Φ_{DT}) [19].

Tablica 9. Potrebna snaga pumpi i potrebni ogrjevni učin dizalica topline

Zgrada	P_{pumpe} , [kW]	Φ_{DT}, [kW]
Muzej Cres - palača Arsan	1,75	7
Dom za starije osobe Marko A. Stuparić - Cres	7	27,7
Školska dvorana - Mali Lošinj	2,6	10,1

U tablici 9., P_{pumpe} i Φ_{DT} predstavljaju:

- P_{pumpe} - potrebna snaga pumpe za pogon sustava dizalice topline, [W]
- Φ_{DT} - ogrjevni učin dizalice topline, odabran iz kataloga s ciljem da zadovolji proračunato toplinsko opterećenje, [W]

5. GODIŠNJA POTREBNA TOPLINSKA ENERGIJA ZA GRIJANJE [20]

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, a računa se prema normi HRN EN ISO 13790. U ovom radu se koristi mjesečna metoda. Izraz za potrebnu toplinsku energiju za grijanje glasi:

$$Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} \quad \text{[kWh]} \tag{14}$$

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 dobici zgrade u periodu grijanja (ljudi, uređaji, rasvjeta i sunčevo zračenje), [kWh]
- $\eta_{H,gn}$ - faktor iskorištenja toplinskih dobitaka, [-]

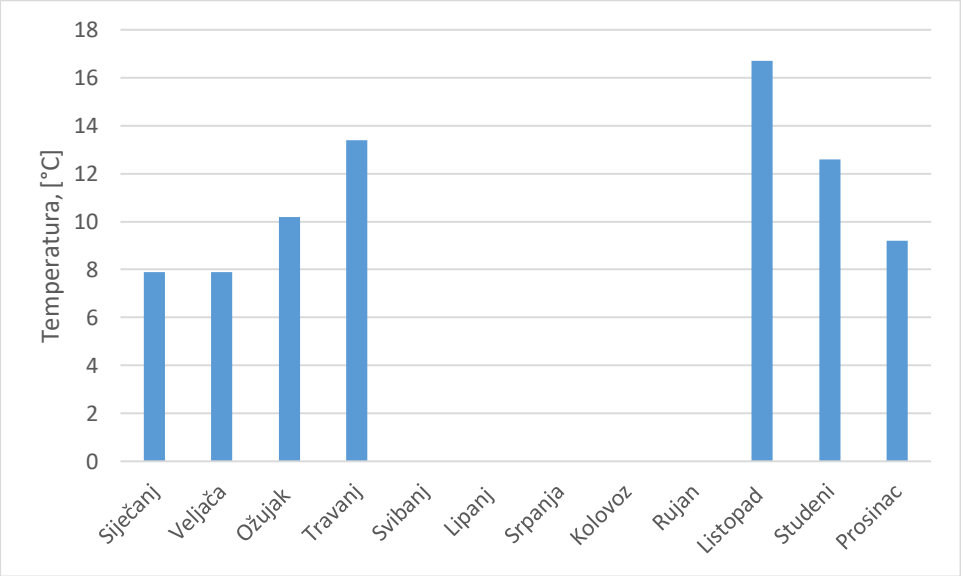
Proračun se, prema normi HRN EN ISO 13790, provodi tako da se cijela zgrada tretira kao jedna zona.

Izraz $Q_{H,nd}$ pri kontinuiranom radu sustava grijanja glasi:

$$Q_{H,nd,cont} = Q_{Tr} + Q_{Ve} - \eta_{H,gn} \cdot (Q_{int} + Q_{sol}) \quad \text{[kWh]} \tag{15}$$

Gdje su:

- Q_{Tr} - izmijenjena toplinska energija transmisijom za proračunsku zonu, [kWh]
- Q_{Ve} - potrebna toplinska energija za ventilaciju/klimatizaciju za proračunsku zonu, [kWh]
- Q_{int} - unutarnji toplinski dobici zgrade (ljudi, uređaji, rasvjeta), [kWh]
- Q_{sol} - toplinski dobici od Sunčeva zračenja, koji su se u ovome radu za svaku zgradu zanemarili, [kWh]



Slika 24. Srednja dnevna temperatura zraka, srednjak po mjesecima (Mali Lošinj) [18]

Vrijednosti dobivenih rezultata za pojedini mjesec (za pojedinu zgradu) prikazane su na kraju poglavlja 5 (točka rada 5.3.). Slijedi proračun toplinskih gubitaka i dobitaka zgrada.

5.1. Toplinski gubici

Toplinske gubitke zgrade čine transmisijski i ventilacijski gubici. Izmijenjena toplinska energija transmisijom i ventilacijom proračunske zone za promatrani period računa se pomoću koeficijenta toplinske izmjene topline, H, prema sljedećim izrazima:

$$Q_{Tr} = \frac{H_{Tr}}{1000} \cdot \left(\vartheta_{int,H} - \vartheta_{e,m}\right) \cdot t \quad \text{[kWh]} \tag{16}$$

$$Q_{Ve} = \frac{H_{Ve}}{1000} \cdot \left(\vartheta_{int,H} - \vartheta_{e,m}\right) \cdot t \quad \text{[kWh]} \tag{17}$$

Gdje su:

- H_{tr} - koeficijent transmisijske izmjene topline proračunske zone, [W/K]
- H_{Ve} - koeficijent ventilacijske izmjene topline proračunske zone, [W/K]
- $\vartheta_{int,H}$ – unutarnja postavna temperatura grijane zone, izvor: [16], [°C]
- $\vartheta_{e,m}$ - srednja vanjska temperatura za proračunski period; izvor: Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja, Meteorološki podaci, θ_{mm}=srednja dnevna temperatura zraka, srednjak po mjesecima, za Mali Lošinj [18]; [°C]
- t - trajanje proračunskog razdoblja (kod mjesečne metode broj sati u mjesecu), izvor: [16], [h]

U nastavku poglavlja prikazan je proračun koeficijenta transmisijske i ventilacijske izmjene topline.

Izmijenjena toplinska energija transmisijom

Koeficijent transmisijske izmjene topline, H_{Tr}, određuje se svaki mjesec prema sljedećem izrazu:

$$H_{Tr} = H_D + H_U + H_{g,m} + H_A \quad \text{[W/K]} \tag{18}$$

Gdje su:

- H_D - koeficijent transmisijske izmjene topline prema vanjskom okolišu, [W/K]
- H_U - koeficijent transmisijske izmjene topline kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu, koji je u ovom radu za svaku zgradu zanemaren, [W/K]
- $H_{g,m}$ - koeficijent transmisijske izmjene topline prema tlu, [W/K]
- H_A - koeficijent transmisijske izmjene topline prema susjednoj zgradi, koji je u ovom radu za svaku zgradu zanemaren, [W/K]

Izmijenjena toplinska energija transmisijom između grijanog prostora i vanjskog okoliša

Koeficijent transmisijske izmjene topline od grijanog prostora prema vanjskom okolišu, H_D, računa se pomoću površine građevinskih elemenata, A_k, i koeficijenta prolaska topline pojedinih građevinskih elemenata, U_k [W/(m^{2}K)] , uzimajući i u obzir dodatak za toplinske mostove:

$$H_D = \sum_k A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TM}) \quad \text{[W/K]} \tag{19}$$

Prvi dio sume, $\sum_k A_k \cdot U_k$, je izračunata za pojedine zgrade prema dostupnim podacima iz ISGE sustava i smjernicama iz [16]. Dok je druga suma, $\sum_k A_k \cdot \Delta U_{TM}$, izračunata uz pretpostavku da toplinski most nije projektiran u skladu s katalogom dobrih rješenja toplinskih mostova te se uzima dodatak [20]:

$$\Delta U_{TM} = 0{,}1 \ \frac{W}{m^2 K}$$

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. Izraz za koeficijent transmisijske izmjene topline prema tlu za proračunski period glasi:

$$H_{g,m} = \frac{\Phi_m}{\vartheta_{int,m} - \vartheta_{e,m}} \quad \text{[W/K]} \tag{20}$$

Gdje su:

- Φ_m - toplinski tok izmjene topline s tlom za proračunski mjesec, [W]
- $\vartheta_{int,m}$ – unutarnja postavna temperatura za proračunski mjesec, $\vartheta_{int,m} = \vartheta_{int,H}$, izvor: [16], [°C]
- $\vartheta_{e,m}$ - srednja vanjska temperatura za proračunski mjesec, izvor: Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja, Meteorološki podaci, θ_{mm}=srednja dnevna temperatura zraka, srednjak po mjesecima, za Mali Lošinj [18]; [°C]

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

$$\Phi_m = H_g \cdot (\bar{\vartheta}_{int} - \bar{\vartheta}_e) - H_{pi} \cdot (\bar{\vartheta}_{int} - \vartheta_{int,m}) + H_{pe} \cdot (\bar{\vartheta}_e - \vartheta_{e,m}) \quad \text{[W]} \tag{21}$$

Gdje su:

- H_g - stacionarni koeficijent transmisijske izmjene topline prema tlu, [W/K]
- H_{pi} – unutarnji periodički koeficijent transmisijske izmjene topline, [W/K]
- H_{pe} – vanjski periodički koeficijent transmisijske izmjene topline, [W/K]
- $\bar{\vartheta}_{int}$ - srednja godišnja unutarnja temperatura, u radu je uzeto kao da je jednaka projektnoj unutarnjoj temperaturi u HRN EN 12831:2003, [°C]
- $\bar{\vartheta}_e$ - srednja godišnja vanjska temperatura, izvor: Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja, Meteorološki podaci, θ_{mm}=srednja dnevna temperatura zraka, srednjak po mjesecima, srednjak za godinu, za Mali Lošinj [18]; [°C]
- $\vartheta_{int,m}$ – unutarnja temperatura za proračunski mjesec m, $\vartheta_{int,m} = \vartheta_{int,H}$, izvor: [16], [°C]
- m - broj mjeseca (od m=1 za siječanj do m=12 za prosinac), [-]

Slijedi proračun unutarnjeg i vanjskog periodičkog koeficijenta, H_{pi} i H_{pe}, za pod na tlu.
Karakteristična dimenzija poda, B', potrebna za proračun koeficijenta prolaska topline, U, za pod na tlu, računa se iz sljedećeg izraza:

$$B' = \frac{A_g}{0{,}5 \cdot P} \quad \text{[m]} \tag{22}$$

Gdje su:

- A_g - površina poda, [m^2]

- P - ukupna dužina vanjskih zidova koji odvajaju grijani prostor od vanjskog okoliša (izloženi opseg poda), [m]

Izloženi opseg poda, P, predstavlja ukupnu duljinu vanjskih zidova koji odvajaju unutarnji prostor od vanjskog okoliša.

Ekvivalentna debljina poda, d_t, računa se prema:

$$d_t = w + \lambda \cdot \left(R_{si} + R_f + R_{se}\right) \quad \text{[m]} \tag{23}$$

Gdje su:

- d_t - ekvivalentna debljina poda, [m]
- λ - koeficijent toplinske provodljivosti tla, uzima se $\lambda = 3{,}5\ [W/(mK)]$
- w – ukupna debljina zida, w=30 cm, [cm]
- R_{si} – plošni unutarnji toplinski otpor, $R_{si} = 0{,}17\ [(m^2K)/W]$
- R_f - toplinski otpor podne konstrukcije, $R_f = 1{,}15\ [(m^2K)/W]$
- R_{se} – plošni vanjski toplinski otpor, $R_{se} = 0\ [(m^2K)/W]$

Način proračuna koeficijenta prolaska topline, U, za pod na tlu ovisi o d_t:

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

$$U = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_t} \cdot \ln\left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1\right) \quad \text{[W/(m}^2\text{K)]} \tag{24}$$

Gdje je:

- B' - karakteristična dimenzija poda, [m], jednadžba (22)

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

$$H_{pi} = A_g \cdot \frac{\lambda}{d_t} \cdot \sqrt{\frac{2}{\left(1+\frac{\delta}{d_t}\right)^2 + 1}} \quad \text{[W/K]} \tag{25}$$

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

$$H_{pe} = 0{,}37 \cdot P \cdot \lambda \cdot \ln\left(\frac{\delta}{d_t} + 1\right) \quad \text{[W/K]} \tag{26}$$

Gdje su:

- A_g - površina poda, [m^2]
- δ - periodička dubina prodiranja, uzima se za homogene stijene kao vrstu tla, $\delta = 4{,}2\ m$, [m]

Stacionarni koeficijent transmisijske izmjene topline prema tlu računa se prema izrazu:

$$H_g = A_g \cdot (U + \Delta U_{TM}) \quad \text{[W/K]} \tag{27}$$

Gdje su:

- A_g - površina poda, [m^2]
- U - koeficijent prolaska topline između unutarnjeg i vanjskog prostora, [W/(m^2K)], jednadžba (24)
- ΔU_{TM} - dodatak ako toplinski most nije projektiran u skladu s katalogom dobrih rješenja toplinskih mostova

Prema jednadžbama (20) i (21) računaju se koeficijent transmisijske izmjene topline prema tlu za proračunski period, $H_{g,m}$, te toplinski tok izmjene topline s tlom za proračunski mjesec Φ_m.

Potreban toplinska energija za ventilaciju

Izraz za potrebnu toplinsku energiju za ventilaciju zgrade glasi:

$$Q_{Ve} = Q_{Ve,inf} + Q_{Ve,win} + Q_{H,Ve,mech} \quad \text{[kWh]} \tag{28}$$

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 energiju u GViK sustavu kod zagrijavanja zraka, zgrade koje su u analizi nemaju GViK sustave, $Q_{H,Ve,mech} = 0$, [kWh]

Potrebna toplinska energija uslijed infiltracije vanjskog zraka se računa prema:

$$Q_{Ve,inf} = \frac{H_{Ve,inf}}{1000} \cdot \left(\vartheta_{int,H} - \vartheta_{e,m}\right) \cdot t \quad \text{[kWh]} \tag{29}$$

Gdje je:

- $H_{Ve,inf}$ - koeficijent izmjene topline uslijed infiltracije, [W/K]

Izraz za potrebnu toplinsku energiju uslijed prozračivanja otvaranjem prozora glasi:

$$Q_{Ve,win} = \frac{H_{Ve,win}}{1000} \cdot \left(\vartheta_{int,H} - \vartheta_{e,m}\right) \cdot t \quad \text{[kWh]} \tag{30}$$

Gdje je:

- $H_{Ve,win}$ - koeficijent izmjene topline uslijed prozračivanja, [W/K]

Koeficijent izmjene topline uslijed infiltracije se računa prema:

$$H_{Ve,inf} = \frac{n_{inf} \cdot V}{3600} \cdot \rho_a \cdot c_{p,a} \quad \text{[W/K]} \tag{31}$$

Gdje su:

- n_{inf} - broj izmjena zraka uslijed infiltracije, kao n_{min} u HRN EN 12831:2003, [h^{-1}]

- V - volumen zraka u zoni, kao V_i u HRN EN 12831:2003, [m^3]
- ρ_a - gustoća zraka, ρ_a=1,2 kg/m^3 , izvor: [16], [kg/m^3]
- $c_{p,a}$ - specifični toplinski kapacitet zraka, $c_{p,a}$=1,01 kJ/kgK, izvor: [16], [J/(kgK)]

Koeficijent izmjene topline uslijed prozračivanja se računa prema:

$$H_{Ve,win} = \frac{n_{win} \cdot V}{3600} \cdot \rho_a \cdot c_{p,a} \quad \text{[W/K]} \tag{32}$$

Gdje je:

- n_{win} - broj izmjena zraka uslijed otvaranja prozora, ovisi o zadanom minimalnom potrebnom broju izmjene vanjskog zraka, $n_{win} = 0{,}92\ h^{-1}$, izvor: [20], [h^{-1}]

5.2. Toplinski dobici

Ukupni toplinski dobici zgrade računaju se prema:

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad \text{[kWh]} \tag{33}$$

Gdje su:

- Q_{int} - unutarnji toplinski dobici zgrade (ljudi, uređaji, rasvjeta), [kWh]
- Q_{sol} - toplinski dobici od Sunčeva zračenja, koji su se u ovome radu za svaku zgradu zanemarili, [kWh]

Unutarnji toplinski dobici zgrade

Unutarnji toplinski dobici, Q_{int}, od ljudi i uređaja računaju se s vrijednošću 5 [W/m^2] ploštine korisne površine, a proračun je mjesečni prema sljedećem izrazu:

$$Q_{int} = \frac{q_{spec} \cdot A_k \cdot t}{1000} \quad \text{[kWh]} \tag{34}$$

Gdje su:

- q_{spec} - specifični unutarnji dobitak po m^2 korisne površine, $q_{spec} = 5\ \frac{W}{m^2}$, izvor: [16], [W/$m^2$]
- A_k - ploština korisne površine, kao A_i u HRN EN 12831:2003, [m^2]
- t - trajanje proračunskog razdoblja, [h]

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:

$$\eta_{H,gn} = \frac{1-\gamma_H^{a_H}}{1-\gamma_H^{a_H+1}} \quad \text{za } \gamma_H > 0 \text{ i } \gamma_H \neq 1 \quad \text{[-]} \tag{35}$$

Gdje su:

- a_H - bezdimenzijski parametar ovisan o vremenskoj konstantni zgrade τ, [-]
- γ_H - omjer toplinskih dobitaka i ukupne izmijenjene topline transmisijom i ventilacijom u režimu grijanja, [-]

Omjer toplinskih dobitaka i ukupne izmijenjene topline transmisijom i ventilacijom u režimu grijanja za pojedini mjesec se računa prema:

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad [-] \tag{36}$$

Gdje su:

- $Q_{H,gn}$ - ukupni toplinski dobici, [kWh]
- $Q_{H,ht}$ - ukupni toplinski gubici, [kWh]

Bezdimenzijski parametar, a_H, računa se prema izrazu:

$$a_H = a_0 + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} \quad [-] \tag{37}$$

Gdje su:

- $\tau_{H,0}$ - referentna vremenska konstanta za grijanje, za mjesečni proračun iznosi $\tau_{H,0} = 15\ h$, [h]
- a_0 - proračunski parametar, za mjesečni proračun iznosi $a_0 = 1$, [-]

Vremenska konstanta zgrade, τ [h], računa se prema:

$$\tau = \frac{\frac{C_m}{3600}}{H_{Tr}+H_{Ve}} \quad [h] \tag{38}$$

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]

Efektivni toplinski kapacitet grijanog dijela zgrade, C_m, je funkcija plošne mase građevnog dijela (vanjske ovojnice) [20]. Prema tome C_m se određuje na sljedeći način kako je prikazano u tablici 10.:

Tablica 10. Proračun efektivnog toplinskog kapaciteta grijanog dijela zgrade prema [20]

Zgrada	Klasa zgrade	Formula za C_m [kJ/K]	C_m, [J/K]
Muzej Cres - palača Arsan	Teška	260 x A_f	15600000
Dom za starije osobe Marko A. Stuparić - Cres	Teška	260 x A_f	122200000
Školska dvorana - Mali Lošinj	Srednje teška	165 x A_f	16500000

A_f, u gornjoj tablici predstavlja površinu kondicionirane zgrade s vanjskim dimenzijama [m^2], no, u ovom proračunu je uzeta korisna površina poda A_i [m^2].

5.3. Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje po odabranim zgradama

U nastavku slijede tablice koje prikazuju konačne rezultate proračuna po normi HRN EN ISO 13790 za odabrana 3 objekta. Tablice 11., 12., i 13. prikazuju mjesečne vrijednosti faktora iskorištenja toplinskih dobitaka prema jednadžbi (35) te ukupne potrebne toplinske energije za grijanje u sustavima s kontinuiranim radom u periodu grijanja prema jednadžbi (14).

Tablica 11. Rezultati proračuna po HRN EN ISO 13790 za Muzej Cres – palača Arsan

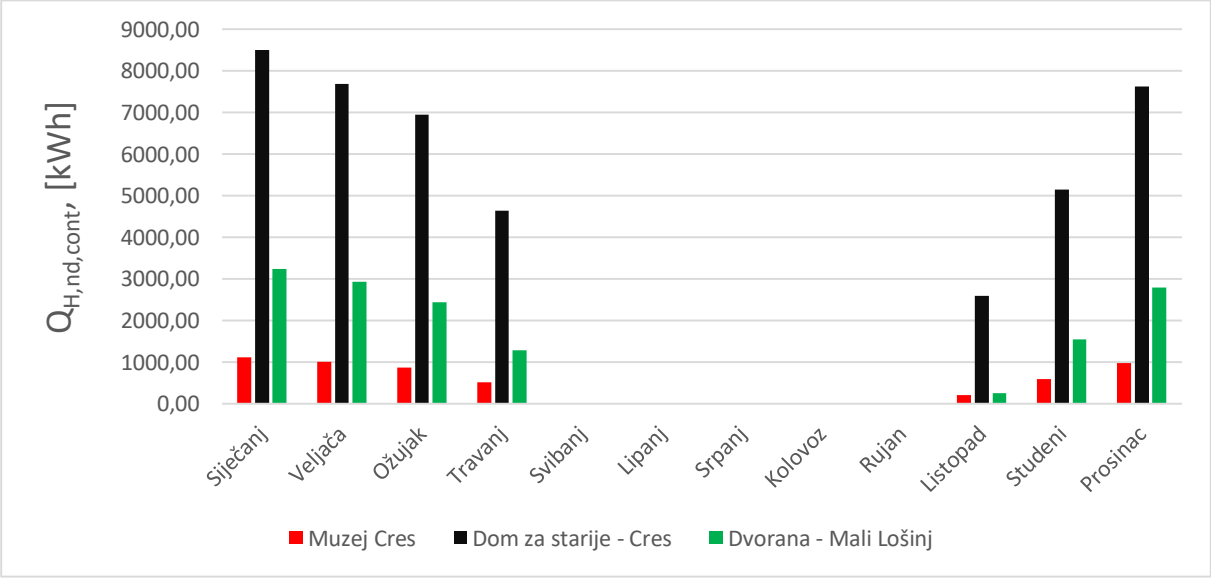
Mjesec	$Q_{H,ht}$, [kWh]	$Q_{H,gn}$, [kWh]	γ_H, [-]	$\eta_{H,gn}$, [-]	$Q_{H,nd,cont}$, [kWh]
Siječanj	1330,68	223,20	0,1677	0,9957	1108,43
Veljača	1201,91	201,60	0,1677	0,9957	1001,17
Ožujak	1087,84	223,20	0,2052	0,9924	866,34
Travanj	725,78	216,00	0,2976	0,9787	514,38
Svibanj	Ljetni mjeseci				
Lipanj					
Srpanj					
Kolovoz					
Rujan					
Listopad	401,54	223,20	0,5559	0,9017	200,27
Studeni	807,52	216,00	0,2675	0,9840	594,97
Prosinac	1193,42	223,20	0,1870	0,9942	971,53
Prosjek/ukupno	964,10	218,06	0,2641	0,9775	5257,08

Tablica 12. Rezultati proračuna po HRN EN ISO 13790 za Dom za starije osobe Marko A. Stuparić – Cres

Mjesec	$Q_{H,ht}$, [kWh]	$Q_{H,gn}$, [kWh]	γ_H, [-]	$\eta_{H,gn}$, [-]	$Q_{H,nd,cont}$, [kWh]
Siječanj	10255,79	1748,40	0,1705	0,9976	8511,51
Veljača	9263,30	1579,20	0,1705	0,9976	7687,82
Ožujak	8693,03	1748,40	0,2011	0,9959	6951,82
Travanj	6308,46	1692,00	0,2682	0,9894	4634,39
Svibanj	Ljetni mjeseci				
Lipanj					
Srpanj					
Kolovoz					
Rujan					
Listopad	4276,52	1748,40	0,4088	0,9616	2595,22
Studeni	6834,50	1692,00	0,2476	0,9918	5156,33
Prosinac	9372,49	1748,40	0,1865	0,9968	7629,68
Prosjek/ukupno	7857,73	1708,11	0,2362	0,9901	43166,77

Tablica 13. Rezultati proračuna po HRN EN ISO 13790 za Školska dvorana – Mali Lošinj

Mjesec	$Q_{H,ht}$, [kWh]	$Q_{H,gn}$, [kWh]	γ_H, [-]	$\eta_{H,gn}$, [-]	$Q_{H,nd,cont}$, [kWh]
Siječanj	3609,11	372,00	0,1031	0,9782	3245,23
Veljača	3259,84	336,00	0,1031	0,9782	2931,18
Ožujak	2799,97	372,00	0,1329	0,9678	2439,96
Travanj	1620,20	360,00	0,2222	0,9311	1284,99
Svibanj	Ljetni mjeseci				
Lipanj					
Srpanj					
Kolovoz					
Rujan					
Listopad	513,26	372,00	0,7248	0,7059	250,66
Studeni	1892,56	360,00	0,1902	0,9449	1552,38
Prosinac	3151,77	372,00	0,1180	0,9731	2789,78
Prosjek/ukupno	2406,67	363,43	0,2277	0,9256	14494,17



Slika 25. Usporedba sva 3 objekta – potrebna toplinska energija za grijanje po mjesecima

Gornja slika prikazuje da je potrebna godišnja toplinska energija za grijanje poprilično veća za objekt koji je po korisnoj površini najveći (Dom za starije - Cres) u usporedbi s drugim manjim objektima. Školska dvorana ima propisanu nižu projektnu temperaturu što se osjeti u nižim rezultatima proračuna, a muzej Cres, u kojem se ne grije toliko koliko u domu za starije, ima najmanju potrebu za godišnjom toplinskom energijom.

5.4. Potrebna toplinska energija za hlađenje

Proračun potrebne toplinske energije za hlađenje u ovome je radu proveden uz pretpostavke i neka pojednostavljenja, čiji su razlozi navedeni kako u nastavku slijedi:

- postojeći objekti, koji su uzeti u analizu, nemaju klimatizacijske sustave
- u proračunu je pretpostavljeno da se u postojećem stanju koriste klima split sustavi
- tijekom pisanja rada nisu bili dostupni podaci iz ISGE-a i Plana tranzicije za sustave hlađenja

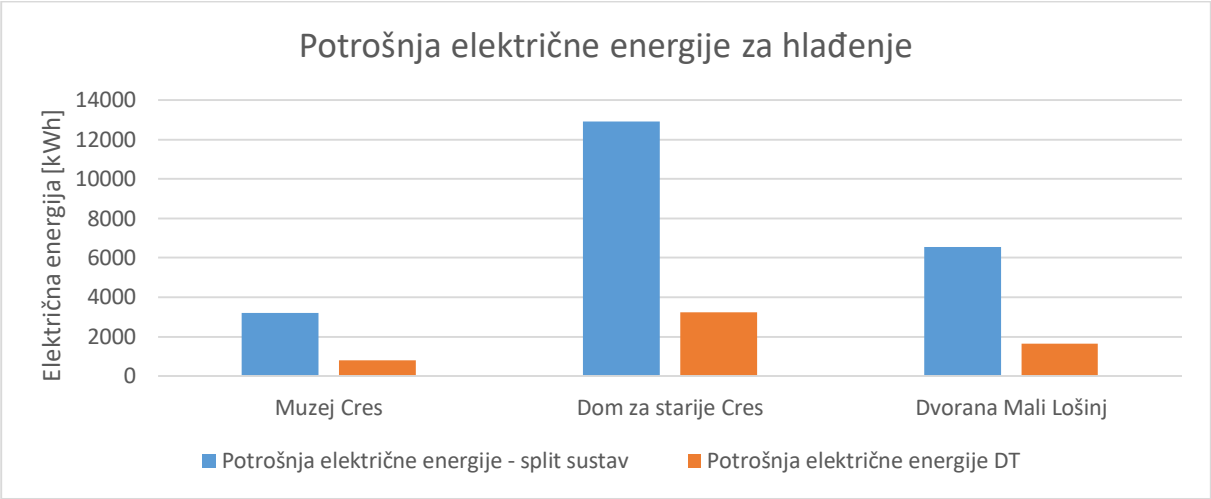
Iz dostupnih podataka u ISGE sustavu su očitane potrebne količine električne energije, koju troše klima split sustavi, za hlađenje. Uz pomoć EER-a (koji se procijenio za klima split sustave prema [30]) dobivena je potrebna toplinska energija za hlađenje. EER klima split sustava za slučaj muzeja je bio jednak 3,5, za slučaj doma za starije je 3, a u slučaju školske dvorane je 3,5. Iz te potrebne toplinske energije za hlađenje je uz EER dizalica topline (koji se procijenio prema [31]) je dobivena količina električne energije koju troše dizalice topline. EER dizalica topline se procijenio na vrijednost 4.

Tablica u nastavku prikazuje godišnju potrošnju električne energije klima split sustava za hlađenje (postojeće stanje) i godišnju potrošnju električne energije dizalica topline za hlađenje (scenarij kada je ugrađena dizalica topline). Važno je istaknuti da izračunata potrošnja energije za hlađenje predstavlja aproksimativne vrijednosti, te stvarna potreba može odstupati.

Tablica 14. Godišnja potrošnja električne energije klima split sustava i dizalica topline za potrebe hlađenja

Zgrada	Potrošnja električne energije – split sustavi, [kWh]	Potrošnja električne energije – DT, [kWh]
Muzej Cres - palača Arsan	3192	798
Dom za starije osobe Marko A. Stuparić - Cres	12936	3234
Školska dvorana - Mali Lošinj	6535	1634

Slika u nastavku prikazuje u dijagramu gornju tablicu, razliku između postojećeg stanja (klima split sustava) i scenarija kada bih se ugradila dizalica topline, u potrošnji električne energije za potrebe hlađenja.



Slika 26. Potrošnja električne energije klima split sustava i dizalica topline, za potrebe hlađenja

Školska dvorana se ne koristi za vrijeme srpnja i kolovoza, te je potrošnja električne energije za hlađenje manja.

6. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA

Tehno-ekonomska analiza provedena je za odabrana 3 objekta. Tablica 15. u nastavku prikazuje: površine [m^2], projektna toplinska opterećenja [kW], godišnju potrebnu toplinsku energiju za grijanje [kWh/a] te specifičnu godišnju potrebnu toplinsku energiju za grijanje svedenu na korisnu površinu objekta [kWh/(m^2a)], odabranih objekata.

Tablica 15. Rezultati provedenih proračuna za odabrane objekte

Zgrada	A_i, [m^2]	Φ_{HL}, [kW]	$Q_{H,nd}$, [kWh/a]	$Q_{H,nd}''$, [kWh/m^2a]
Muzej Cres - palača Arsan	60	3,9768	5257,08	87,62
Dom za starije osobe Marko A. Stuparić - Cres	470	24,2908	43166,77	91,84
Školska dvorana - Mali Lošinj	100	9,9083	14494,17	144,94

U sklopu analize postojeći se sustavi za grijanje uspoređuju sa sustavom dizalice topline morska voda – voda.

6.1. Procjena potrebnih troškova za ugradnju dizalica topline

Opis postojećeg stanja

Postojeća su stanja u odabranim objektima jednim dijelom pretpostavljena iz razloga jer se tijekom pisanja rada imalo uvid samo u unesene podatke u sustav ISGE te informacije iz Plana tranzicije. Proračuni su provedeni da objekti nemaju mehanički sustav klimatizacije (ventilacije) te da koriste različite oblike energenata za grijanje, kako slijedi u nastavku:

- Muzej Cres – palača Arsan: električna energija za grijanje
- Dom za starije osobe Marko A. Stuparić – Cres: UNP za grijanje
- Školska dvorana – Mali Lošinj: ekstra lako lož ulje za grijanje

Opis sustava dizalice topline morska voda - voda

Scenariji, u analizi za odabrane objekte, uključuju zamjenu postojećih sustava i energenata sa sustavom dizalice topline. Tehno-ekonomska analiza investicijskih i pogonskih troškova sustava grijanja odabranih objekata, za potrebe ovog rada, bazirana je na sljedećim pretpostavkama:

- postojeći sustavi grijanja odabranih objekata su u mogućnosti isporučiti onu toplinsku energiju koja pokriva toplinsko opterećenje objekta
- dizalica topline morska voda – voda radi u monovalentnom načinu rada, tj. može isporučiti onu toplinsku energiju koja pokriva toplinsko opterećenje objekta

Gore navedene pretpostavke omogućuju da se na jednostavan način odrede investicijski i pogonski troškovi različitih scenarija.

Investicijski troškovi sustava dizalice topline morska voda – voda se sastoje od:

- cijena dizalica topline morska voda – voda
- cijena građevinskih radova – iskop bunara
- troškovi cjevovoda i pumpi
- cijena međuizmjenjivača
- cijena elektro - ormara
- cijena instalacijskih radova
- ostali troškovi

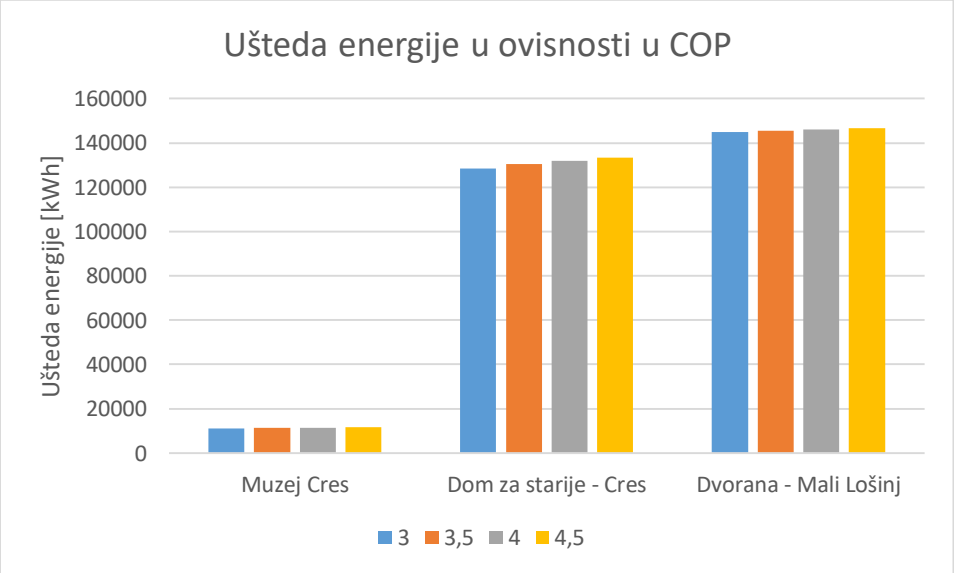
Sljedeća tablica prikazuje investicijske troškove po pojedinom, odabranom objektu.

Tablica 16. Investicijski troškovi po odabranim objektima

Zgrada	DT, [€]	Bunar, [€]	Cjevovodi + pumpa, [€]	Međuizmjenjivač, [€]	Elektro-ormar, [€]	Instalacijski radovi, [€]	Ostali troškovi, [€]	UKUPNO
Muzej Cres - palača Arsan	6.457,00	20.000,00	5.369,13	2.953,02	2.684,56	5.369,13	1.342,28	44.175,12
Dom za starije osobe Marko A. Stuparić - Cres	12.256,00	20.000,00	5.369,13	2.953,02	2.684,56	5.369,13	1.342,28	49.974,12
Školska dvorana - Mali Lošinj	6.602,00	20.000,00	5.369,13	2.953,02	2.684,56	5.369,13	1.342,28	44.320,12

6.2. Potencijalne uštede u potrošnji energije

Između postojećeg stanja i scenarija ugradnje dizalice topline u odabrane objekte, tehnološka analiza pokazuje da postoji prostor za uštedom energije ako se zamjeni postojeći sustav sa sustavom dizalice topline. Slike u nastavku prikazuju uštedu u energiji u kWh po objektima koji su analizirani.



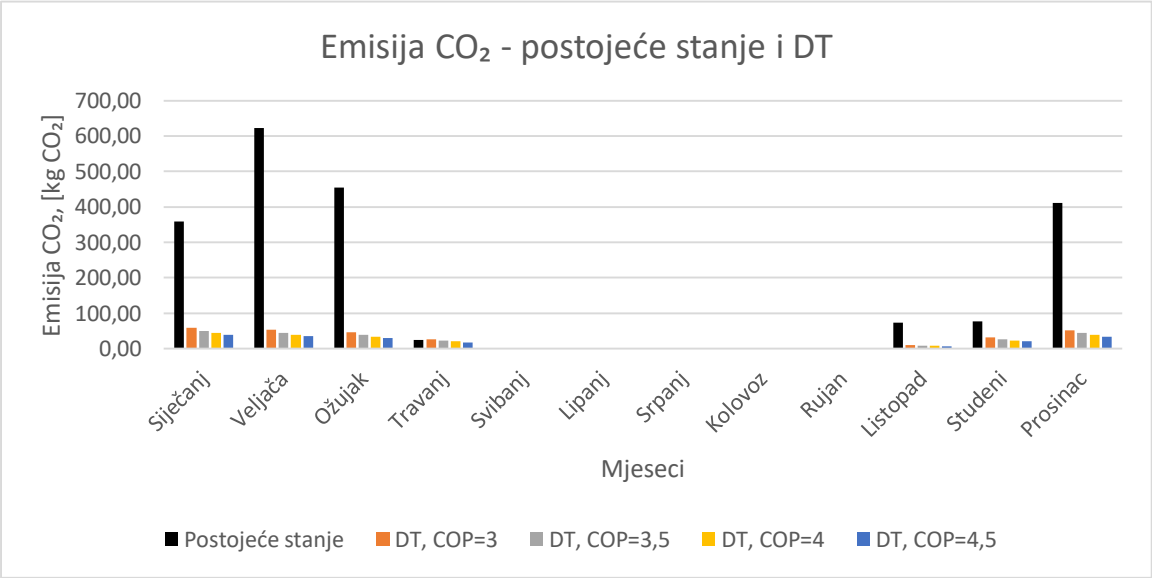
Slika 27. Ušteda energije u ovisnosti COP-a, za sve objekte

Na slici iznad je prikazana ušteda energije u kWh na godišnjoj razini u ovisnosti od COP-a za sve analizirane objekte. Primjećuje se trend laganog porasta u uštedama s povećanjem COP-a, što je i logično jer dizalice topline s višim COP-om imaju veću mogućnost pretvorbe električne

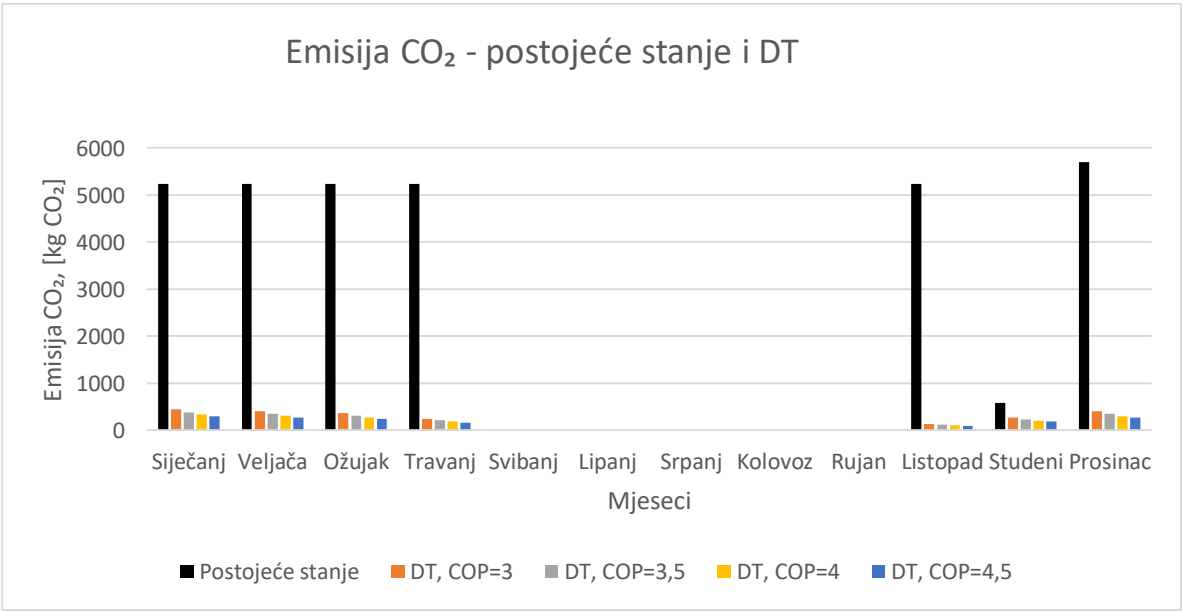
energije u toplinsku uz manju potrošnju električne energije, što na kraju rezultira većom uštedom.

6.3. Smanjenje emisija CO_2

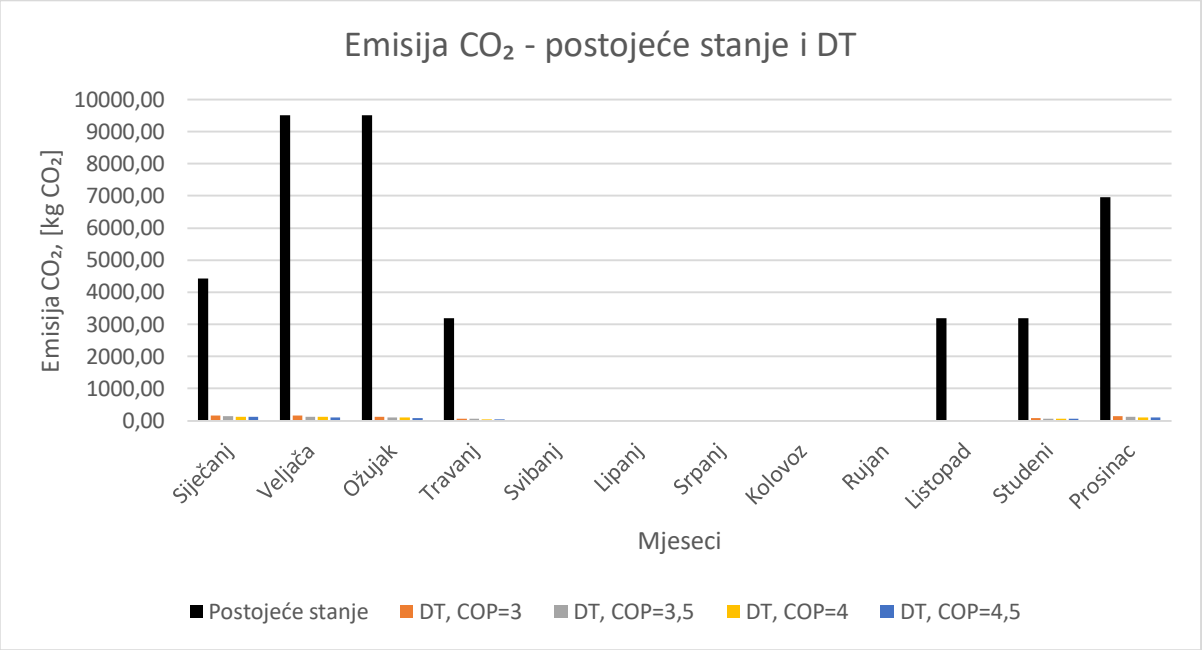
Tehnološka analiza je pokazala da osim značajne uštede energije postoji i značajno smanjenje emisija CO_2 ako se trenutni energenti, koji se koriste za grijanje, zamjene sustavom dizalice topline. Slike u nastavku pokazuju usporedbu postojećeg stanja i stanja ako bi se implementirao sustav dizalice topline (s različitim COP-ovima).



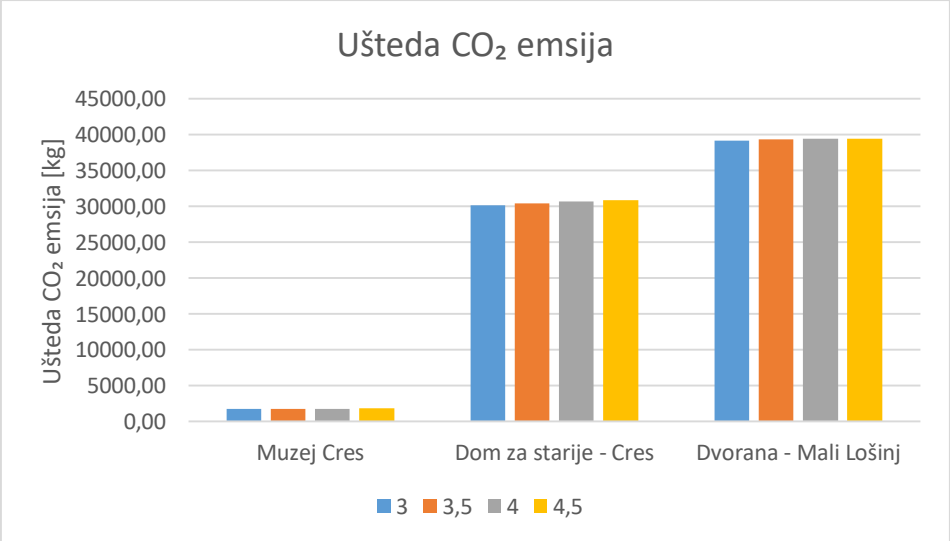
Slika 28. Emisija CO_2, usporedba postojećeg stanja i stanja sa sustavom dizalice topline, Muzej Cres – Palača Arsan



Slika 29. Emisija CO_2, usporedba postojećeg stanja i stanja sa sustavom dizalice topline, Dom za starije osobe Marko A. Stuparić - Cres

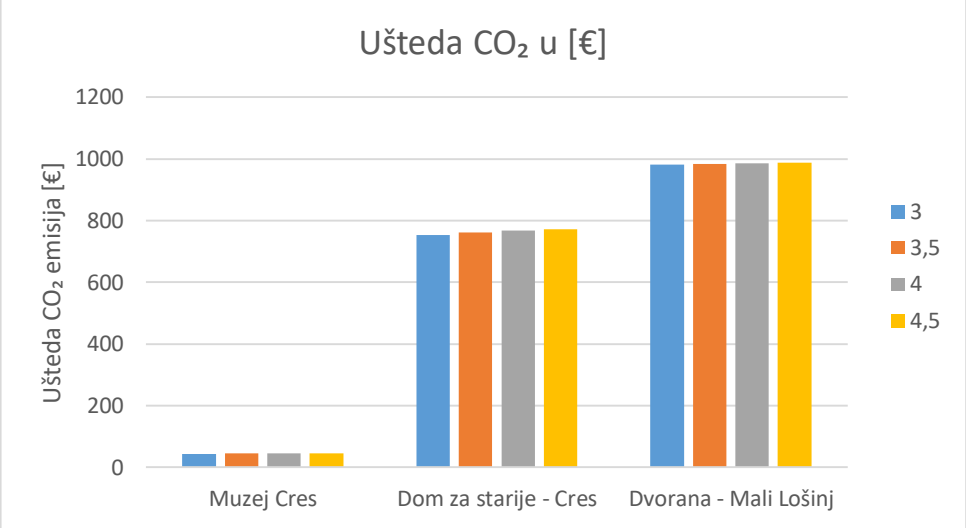


Slika 30. Emisija CO_2, usporedba postojećeg stanja i stanja sa sustavom dizalice topline, Školska dvorana – Mali Lošinj



Slika 31. Ušteda CO_2 emisija za sve objekte

Slika u nastavku prikazuju uštede u emisiji CO_2, tj. troškovi smanjenja emisija [€/t CO_2].



Slika 32. Ušteda u emisiji CO_2 za sve objekte prema različitim COP-ovima

Primjećuje se povećanje troškova smanjenja emisija [€/t CO_2] u objektima koji koriste kao energent UNP (Dom za starije osobe Marko A. Stuparić - Cres) i ekstra lako lož ulje (Školska dvorana – Mali Lošinj), dok su kod muzeja Cres (koji koristi električnu energiju za potrebe grijanja i hlađenja) mali troškovi smanjenja emisija CO_2.

6.4. Ekonomska analiza

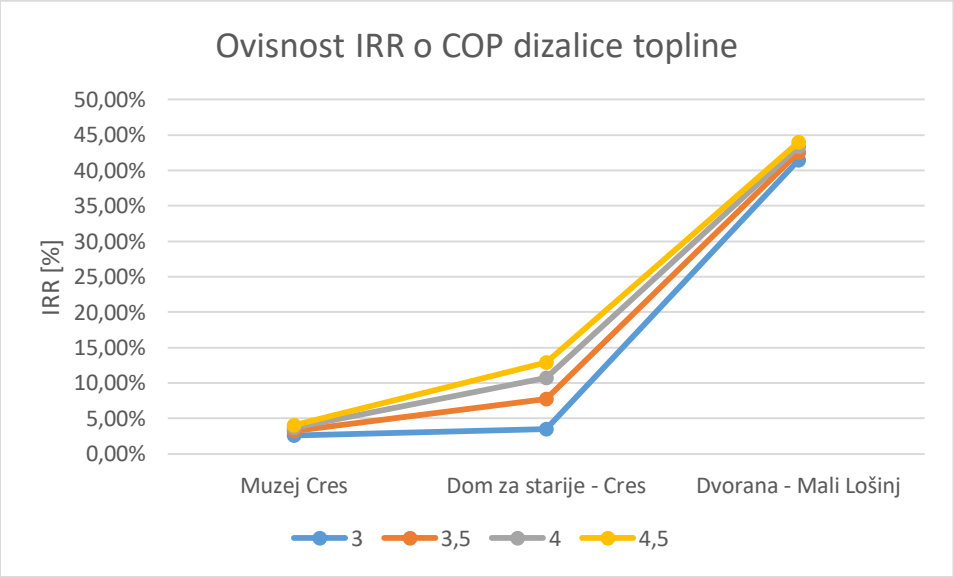
Prije provođenja ekonomske analize, potrebno je ustanoviti cijenu energenata koje objekti koriste. Cijena električne energije određena je prema [28], a iznosi 0,1321 €/kWh. Nadalje, cijena ukapljenog naftnog plina određena je prema [29], a iznosi 0,0375 €/kWh, dok cijena ekstra lakog lož ulja iznosi 0,0564 €/kWh. Implementacije sustava primjene obnovljivih izvora energije vrlo često se financijski potpomažu u sklopu europskih projekata ili državnih subvencija. Tako da je u analizi novac potreban za implementaciju sustava dizalice topline uzet kao dio vlastite investicije i dio sufinanciranja u visini od 60% cijene investicije. Postotak sufinanciranja značajno ovisi o samom pozivu za prijavu, dok je u ovom slučaju uzeta vrijednost od 60%, na temelju zadnjeg raspisanog natječaja od strane Fonda za zaštitu okoliša. Slika u nastavku prikazuje primjer ekonomskog toka novca za objekt Dom za starije osobe Marko A. Stuparić – Cres, za slučaj ugradnje dizalice topline (COP=4).

EKONOMSKI CASHFLOW												
Godina		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Investicija		-50.108,35 €										
Prihodi			3.931,22 €	3.931,22 €	3.931,22 €	3.931,22 €	3.931,22 €	3.931,22 €	3.931,22 €	3.931,22 €	3.931,22 €	3.931,22 €
Rashodi			- 1.425,58 €	- 1.425,58 €	- 1.425,58 €	- 1.425,58 €	- 1.425,58 €	-1.425,58 €	-1.425,58 €	-1.425,58 €	-1.425,58 €	-1.425,58 €
Bruto dobit		-50.108,35 €	2.505,63 €	2.505,63 €	2.505,63 €	2.505,63 €	2.505,63 €	2.505,63 €	2.505,63 €	2.505,63 €	2.505,63 €	2.505,63 €
IRR	-10,95%											
Investicija uz sufinanciranje		-20.043,34 €										
Prihodi			3.931,22 €	3.931,22 €	3.931,22 €	3.931,22 €	3.931,22 €	3.931,22 €	3.931,22 €	3.931,22 €	3.931,22 €	3.931,22 €
Rashodi			- 1.425,58 €	- 1.425,58 €	- 1.425,58 €	- 1.425,58 €	- 1.425,58 €	-1.425,58 €	-1.425,58 €	-1.425,58 €	-1.425,58 €	-1.425,58 €
Bruto dobit		-20.043,34 €	2.505,63 €	2.505,63 €	2.505,63 €	2.505,63 €	2.505,63 €	2.505,63 €	2.505,63 €	2.505,63 €	2.505,63 €	2.505,63 €
IRR	4,28%											

Slika 33. Ekonomski tok novca, objekt Dom za starije osobe Marko A. Stuparić – Cres, slučaj ugradnje dizalice topline (COP=4)

Na gornjoj slici je u oba slučaja uzet period od 10 godina, gornja investicija je 100%-tno učešće bez sufinanciranja, a donji je slučaj investicije uz 60% sufinanciranja. Godišnji prihodi su razlika u cijeni koja je potrebna za energiju postojećeg stanja i slučaja s ugrađenom dizalicom topline, a godišnji rashodi su cijena koja je potrebna za električnu energiju koju troši dizalica topline.

Ekonomska analiza, tj. ekonomski tok novca i određivanje unutarnje stope povrata (u nastavku IRR) su u ovome radu izračunati za sve odabrane objekte. Određivanje IRR-a je bilo u funkciji COP-a dizalice topline, kako prikazuje iduća slika.



Slika 34. Ovisnost IRR-a o COP dizalice topline za sve objekte

Gornja slika prikazuje da COP kod muzeja Cres nema značajni utjecaj na unutarnju stopu povrata (IRR), također je takva situacija i kod dvorane Mali Lošinj. Jedini veći utjecaj COP-a dizalice topline se vidi kod doma za starije osobe – Cres, gdje je poprilična razlika u unutarnjoj stopi povrata kada je COP dizalice topline 3 i 4,5.

7. ZAKLJUČAK

Identificiranje objekata javne namjene prema spomenutim kriterijima bilo je u cilju uzimanja objekata različitih dimenzija, vrsta namjene te energenta koji se koristi za potrebe grijanja. Tako su za daljnju analizu odabrani muzej Cres, korisne površine 60 [m^2], dom za starije Cres, korisne površine 470 [m^2] i školska dvorana – Mali Lošinj, korisne površine 100 [m^2]. Rezultati proračuna po normama pokazuju različite potrebe tih objekata za toplinskom energijom za grijanje. Dobivena toplinska opterećenja su: muzej, 3,9768 [kW], dom za starije, 24,2908 [kW], školska dvorana, 9,9083 [kW]. Na temelju toplinskih opterećenja su odabrane dizalice topline koje su u stanju pokriti takvo toplinsko opterećenje, a to su kako slijedi. Muzej Cres, dizalica topline od 7 [kW], dom za starije, dizalica topline od 27,7 [kW] i školska dvorana – Mali Lošinj, dizalica topline od 10,1 [kW]. Proračun godišnje potrebne toplinske energije za grijanje, prema normi HRN EN ISO 13790, pokazuje da za muzej Cres rezultat iznosi 4109,44 [kWh/a], za dom za starije iznosi 35758,90 [kWh/a], dok za školsku dvoranu iznosi 13530,90 [kWh/a]. Proračun za hlađenje se u ovome radu pojednostavio iz razloga koji su navedeni u točki rada 5.4., no i takav prikaz rezultata pokazuje da su različite potrebe za toplinskom energijom za hlađenje. Različitim tipovima objekata, čije se dimenzije razlikuju i kojima je u scenariju instaliranja dizalice topline potreban različiti ogrjevni učin, se ulazilo u tehno-ekonomsku analizu koja je najvažniji dio ovog rada. Ona pokazuje da tip energenta (koji se koristi za grijanje) i veličina objekta utječu na isplativost instalacije dizalica topline. Periodi povrata investicija se razlikuju od objekta do objekta, a kreću se u rasponu od 10 do 15 godina. Tehnološka analiza je pokazala da u scenariju gdje se postojeći sustav (i fosilni energent koji se koristi) zamjenjuje dizalicom topline, dolazi do značajne uštede energije i smanjenje emisija CO_2, kako na mjesečnoj tako i na godišnjoj bazi. Vidljivo je da kod većih dimenzija objekata i prije svega većih toplinskih potreba za grijanje i hlađenje, da su povrati investicija bolji i prihvatljiviji. Posebice ako se uzme u obzir fosilni energent i električna energija. Na zbirnim dijagramima, gdje se uspoređuju svi analizirani objekti u točki rada 6., se primjećuje mali trend promjene u ovisnosti od COP-a dizalica topline. Što znači, ako je i dizalica topline manjeg koeficijenta učinkovitosti, ona svejedno doprinosi značajnim uštedama u energiji i smanjenju emisija CO_2. Nadalje, isplativost je mala ako se već koristi klima uređaj, odnosno električna energija za grijanje, posebice ako je objekt mali. Sustavi dizalica topline su sustavi s visokim početnim investicijskim troškovima te je jeftinije i jednostavnije ugrađivanje konvencionalnih sustava grijanja i hlađenja. No, pažnja ne smije biti usmjerena na početne troškove i kompleksnost izvedbe sustava. Krajnji cilj i nit vodilja, u doba klimatskih promjena, treba biti smanjenje emisija CO_2 i povećanje korištenja obnovljivih izvora energije, a posebice postizanje

energetske neovisnosti što sustavi poput dizalica topline morska voda – voda itekako omogućuju.

Kada se pogleda cjelokupna slika, postoje i dalje velike mogućnosti integracije obnovljivih izvora energije na području arhipelaga bez obzira na ograničene potencijale različitih oblika energije na tom području. U ovome radu nisu detaljno analizirane mogućnosti integracije različitih vrsta obnovljivih izvora energije, nego je primarni cilj bila integracija dizalica topline u javne objekte na području arhipelaga.

LITERATURA

[1] https://www.euislands.eu/island/cres-losinj (20.2.2020.)

[2] http://www.cres.hr/objavljen-program-energetske-tranzicije/1961 (20.2.2020.)

[3] https://euislands.eu/document/clean-energy-transition-agenda-cres-losinj?fbclid=IwAR0VsbxllLDlev01IwggiSl_2qRBiteFg9MASoTFMY4FG55QLV-gSYOsMM4 (20.2.2020.)

[4] https://www.zakon.hr/z/638/Zakon-o-otocima?fbclid=IwAR2ak4igxaDW3I18nGr2g7HHo-qEk_2p8LjkQd4Qq6UVMN9VJsuF5AI6Pkw (20.2.2020.)

[5] Soldo, V.: Predavanja iz kolegija DIZALICE TOPLINE s OIE, FSB Zagreb

[6] SEADRION PROJECT: Fostering Diffusion of Heating & Cooling Technologies Using the Seawater Heat Pump in The Adriatic-Ionian Region brochure, 2018.

[7] Labudović B., Osnove primjene dizalica topline, Energetika Marketing, Zagreb 2009.

[8] https://www.seatemperature.org/europe/croatia/cres.htm (20.2.2020.)

[9] https://www.seatemperature.org/europe/croatia/mali-losinj.htm (20.2.2020.)

[10] https://www.nordicghp.com/2017/01/heat-pump-effective-temperature-range/

[11] Nowak, T., Pascal, W.: European Heat Pump Market and Statistics Report 2018, EHPA, Bruxelles, 2018.

[12] Soldo, V.: Primjena dizalica topline na morsku vodu za grijanje i hlađenje prostora, Zagreb, 2018.

[13] https://maestrale.interreg-med.eu/what-we-achieve/deliverable-database/detail/?tx_elibrary_pi1%5Blivrable%5D=1274&tx_elibrary_pi1%5Baction%5D=show&tx_elibrary_pi1%5Bcontroller%5D=Frontend%5CLivrable&cHash=93396caa35596034c8072a81d9c0f1af (20.2.2020.)

[14] SEADRION PROJECT: SEADRION pilot plant - Rectors Palace Dubrovnik, 2019.

[15] https://euislands.eu/sites/default/files/2019-11/CRESLOSINJ_FinalTransitionAgenda_20191118.pdf (20.2.2020.)

[16] Balen, I., Smoljan, D.: Predavanja iz kolegija Termotehnika (KGH), FSB Zagreb

[17] https://www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/newsboard/22_02_2010__12505_EN_12831_Vjezbe.pdf (20.2.2020.)

[18] https://mgipu.gov.hr/pristup-informacijama/zakoni-i-ostali-propisi/podrucje-energetske-ucinkovitosti/meteoroloski-podaci-primjenjuju-se-od-1-sijecnja-2016/4830 (20.2.2020.)

[19] https://www.pzpheating.com/userfiles/files/Price-list_EN_01_04_2014.pdf (20.2.2020.)

[20] https://mgipu.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/meteoroloski_podaci/Algoritam_HRN_EN_13790_2017.pdf (20.2.2020.)

[21] Mitchell, M. S., Spitler, J. D.: Open-loop direct surface water cooling and surface water heat pump systems, HVAC&R Research, SAD, 2013.

[22] Šimunović, G.: Iskustva, prednosti i mane prilikom projektiranja i izvedbe projekata koji koriste morsku vodu u svome radu, Zagreb, 2018.

[23] Harinath, Y. V., Mohan Krishna, T. V.: Design, construction and erection od seawater intake system to establish a biofuling test facility, Aquacultural Engineering, 2016.

[24] https://watereuse.org/wp-content/uploads/2015/10/Intake_White_Paper.pdf (20.2.2020.)

[25] https://meteo.hr/index.php (20.2.2020.)

[26] Hadžić, N., Kozmar, H., Tomić, M.: „Offshore renewable energy in the Adriatic Sea with respect to the Croatian 2020 energy strategy“, 2014.

[27] http://skola.gfz.hr/d6_9.htm (20.2.2020.)

[28] https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics (20.2.2020.)

[29] https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Natural_gas_price_statistics (20.2.2020.)

[30] https://www.currentforce.com.au/CompareAirConditioners.aspx (20.2.2020.)

[31] https://www.dizalica-topline.hr/dizalica-topline/ (20.2.2020.)

[32] https://zir.nsk.hr/islandora/object/fsb%3A5261 (20.2.2020.)

[33] http://powerlab.fsb.hr/neven/pdf/supervision_of_msc_eq_thesis/19_03_2008_Dimplomski_Boris_Hemetek.pdf (20.2.2020.)