

Studija slučaja primjene dizalice topline morska voda - voda na postojećoj zgradi javne namjene

Bertović, Iva

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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:235:492866>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-17**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Iva Bertović

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

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

Student:

Iva Bertović

Zagreb, 2019.

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

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Vladimiru Soldi na ukazanom povjerenju i mogućnosti izrade diplomskog rada u njegovom mentorstvu te na svojoj pruženoj pomoći.

Također, zahvaljujem se svim kolegama na njihovoj pomoći i potpori tijekom studiranja, posebice kolegama Bojanu Kilibardi, Anji Čeranić te Matiji Đuksiju. Uz njih je polaganje ispita i pohađanje predavanja bilo puno lakše.

Najveće hvala mojoj obitelji, mami, tati, sestri i bratu, bez čije potpore i savjetovanja ne bih dospjela ovdje gdje jesam, te mom Filipu koji je uz mene bio u svim lijepim i teškim trenucima tijekom studiranja.

Iva Bertović



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

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

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Iva BERTOVIĆ** Mat. br.: 0035190431

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Studija slučaja primjene dizalice topline morska voda-voda na postojećoj zgradi javne namjene**
Naslov rada na engleskom jeziku: **Case study of the seawater heat pump utilization on an existing public building**
Opis zadatka:

Zgrada gradske uprave Kaštel Sućurac korisne površine 2.692 m² grije se uljnim kotlom. Energetska obnova zgrade provedena je prije tri godine, pri čemu je ovojnica zgrade toplinski izolirana i zamijenjeni su svijetli otvori zgrade. Postojeći sustav grijanja planira se zamijeniti korištenjem obnovljivih izvora energije. Zbog blizine mora, jedna od mogućnosti je korištenje dizalice topline koja morsku vodu koristi kao izvor i ponor topline.

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

Rad treba sadržavati:

1. Analizu direktnog zahvata morske vode u odnosu na zahvat bočate vode iz zdenaca uz more.
2. Izračun toplinskog i rashladnog opterećenja zgrade.
3. Godišnju potrebnu toplinsku energiju za grijanje i hlađenje.
4. Izračun sezonske učinkovitosti dizalice topline.
5. Tehno-ekonomsku analizu primjene dizalice topline za grijanje i hlađenje zgrade gradske uprave.
6. Hidrauličku shemu spajanja dizalice topline voda-voda.

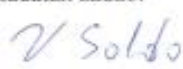
U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
15. studenog 2018.

Datum predaje rada:
17. siječnja 2019.

Predviđeni datum obrane:
23., 24. i 25. siječnja 2019.

Zadatak zadao:


Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

Predsjednica Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	IV
POPIS TABLICA.....	VI
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	VIII
POPIS OZNAKA	IX
SAŽETAK.....	XVI
SUMMARY	XVII
1. UVOD	1
1.1. Dizalice topline	1
1.2. Stanje u Europskoj uniji.....	2
1.3. Stanje u Republici Hrvatskoj	5
2. SUSTAVI DIZALICA TOPLINE S MORSKOM VODOM KAO TOPLINSKIM IZVOROM/PONOROM	7
2.1. Princip rada	7
2.2. Morska voda kao toplinski izvor/ponor	8
2.3. Zahvat morske vode	11
2.3.1. Direktni zahvat morske vode.....	11
2.3.1.1. Legislativa za ovlaštenje direktnog zahvata morske vode u Republici Hrvatskoj.....	14
2.3.2. Potpovršinski zahvat bočate ili morske vode iz zdenaca uz more.....	14
2.3.2.1. Legislativa za ovlaštenje potpovršinskog zahvata bočate ili morske vode u Republici Hrvatskoj	16
2.4. Primjena dizalica topline morska voda - voda	17
2.4.1. Ropsten, Švedska.....	17
2.4.2. Hotel Le Méridien Lav, Split	18
2.4.3. Hotelski kompleks Punta Skala, Petřčane	18

2.4.4. Fornebu, Norveška	19
3. GRIJANJE I HLAĐENJE ZGRADE GRADSKJE UPRAVE KAŠTEL SUĆURAC DIZALICOM TOPLINE MORSKA VODA - VODA	20
3.1. Postojeće stanje zgrade	20
3.1.1. Tehničke karakteristike ovojnice grijanog dijela zgrade.....	22
3.1.2. Termotehnički sustavi	23
3.2. Proračun toplinskog i rashladnog opterećenja zgrade gradske uprave Grada Kaštela.....	26
3.2.1. Proračun toplinskog opterećenja [33].....	27
3.2.1.1. Toplinski gubici	27
3.2.1.2. Opis postupka proračuna toplinskih gubitaka prema HRN EN 12831 u računalnom programu IntegraCAD	31
3.2.1.3. Rezultati proračuna toplinskih gubitaka prema HRN EN 12831	33
3.2.2. Proračun rashladnog opterećenja [34].....	35
3.2.2.1. Toplinski dobici	35
3.2.2.2. Opis postupka proračuna toplinskih dobitaka prema VDI 2078 u računalnom programu IntegraCAD	39
3.2.2.3. Rezultati proračuna toplinskih dobitaka prema VDI 2078	40
4. GODIŠNJA POTREBNA TOPLINSKA ENERGIJA ZA GRIJANJE I HLAĐENJE ZGRADE [35].....	42
4.1. Proračun godišnje potrebne toplinske energije za grijanje	42
4.1.1. Ulazni podaci proračuna.....	42
4.1.2. Toplinski gubici.....	44
4.1.3. Toplinski dobici.....	51
4.1.4. Ukupna potrebna toplinska energija za grijanje u sustavima s nekontinuiranim radom u periodu grijanja	57
4.1.5. Rezultati proračuna godišnje potrebne toplinske energije za grijanje.....	58
4.2. Proračun godišnje potrebne toplinske energije za hlađenje	61

4.2.1. Toplinski dobici.....	61
4.2.2. Toplinski gubici.....	62
4.2.3. Ukupna potrebna toplinska energija za hlađenje u sustavima s nekontinuiranim radom u periodu hlađenja.....	65
4.2.4. Rezultati proračuna godišnje potrebne toplinske energije za hlađenje	66
5. PRORAČUN SEZONSKE UČINKOVITOSTI DIZALICE TOPLINE	69
6. TEHNO - EKONOMSKA ANALIZA PRIMJENE DIZALICE TOPLINE ZA GRIJANJE I HLAĐENJE ZGRADE GRADSKE UPRAVE GRADA KAŠTELA	74
6.1. Referentni scenarij - analiza trenutne potrošnje.....	74
6.2. Implementacija dizalice topline morska voda - voda.....	77
6.3. Ekonomska analiza	78
7. ZAKLJUČAK	82
LITERATURA.....	83
PRILOZI.....	86

POPIS SLIKA

Slika 1.1 Princip rada kompresijske dizalice topline [1].....	1
Slika 1.2 Kvalitativan prikaz djelotvornosti i raspoloživosti izvora topline [1]	2
Slika 1.3 Broj novoinstaliranih jedinica dizalice u pojedinoj godini [2]	3
Slika 1.4 Ukupan broj instaliranih jedinica dizalica topline [2].....	3
Slika 1.5 Detaljne informacije o programu sufinanciranja kotlova na biomasu i dizalica topline [9]	6
Slika 2.1 Dizalica topline morska voda - voda u režimu hlađenja (lijevo) i režimu grijanja (desno) [10]	7
Slika 2.2 Otvorena (lijevo) i zatvorena (desno) izvedba sustava dizalice topline morska voda - voda [11]	8
Slika 2.3 Površinska temperatura mora na lokaciji Split [14].....	9
Slika 2.4 Profil temperature mora za Split ovisno o dubini mora u ljetnim i zimskim mjesecima [15]	9
Slika 2.5 Ovisnost faktora grijanja dizalica topline s vodom i zrakom kao izvorima topline o vanjskoj temperaturi zraka [16].....	10
Slika 2.6 Karakteristična shema sustava direktnog zahvata morske vode [17].....	11
Slika 2.7 Utjecaj materijala podvodnih cijevi na temperaturu morske vode u cijevima [18]..	12
Slika 2.8 Usisni otvor i pripadajuća zaštitna rešetka kod direktnog zahvata morske vode [18]	14
Slika 2.9 Odnos slane, morske i slatke, kopnene vode u priobalnom području [15]	15
Slika 2.10 Izvedbe zdenaca bočate ili morske vode na obali: vertikalni (lijevo), horizontalni (desno) [17]	15
Slika 2.11 Zahvat morske vode infiltracijom kroz morsko dno [17]	16
Slika 2.12 Sustav dizalica topline morska voda - voda u Ropsten-u, Švedska [25]	17
Slika 2.13 Sustav dizalica topline morska voda - voda u hotelu Le Méridien Lav, Split [26]	18
Slika 2.14 Sustav dizalica topline morska voda - voda u hotelskom kompleksu Punta Skala, Petřčane [28]	18
Slika 2.15 Sustav dizalica topline morska voda - voda u Fornebu-u, Norveška [27]	19
Slika 3.1 Situacija na katastru čestica (lijevo) [30] te na satelitskom snimku (desno) [31].....	20
Slika 3.2 Postojeće stanje zgrade gradske uprave Grada Kaštela (prosinac, 2018.)	21
Slika 3.3 Kotlovnica zgrade gradske uprave Grada Kaštela (prosinac, 2018.).....	24

Slika 3.4 Ogrjevnna tijela u prostorijama zgrade (lijevo) i ugrađeni termostatski ventili (desno) (prosinac, 2018.).....	25
Slika 3.5 VRV sustav zgrade gradske uprave Grada Kaštela (prosinac, 2018.)	25
Slika 3.6 Klima ormar u zgradi gradske uprave Grada Kaštela (prosinac, 2018.).....	26
Slika 3.7 Ulazni podaci proračuna toplinskih gubitaka u IntegraCAD programu	31
Slika 3.8 Ulazni podaci proračuna toplinskih gubitaka u IntegraCAD programu	32
Slika 3.9 Koeficijenti prolaza topline građevnih dijelova u IntegraCAD programu	32
Slika 3.10 Arhitektonski nacrt u IntegraCAD-u.....	33
Slika 3.11 Grafički prikaz rezultata proračuna toplinskih gubitaka.....	34
Slika 3.12 Ulazni podaci proračuna toplinskih dobitaka u računalnom programu IntegraCAD	39
Slika 3.13 Proračun jedne prostorije toplinskih dobitaka	40
Slika 3.14 Grafički prikaz toplinskih dobitaka za jednu prostoriju.....	40
Slika 3.15 Grafički prikaz rezultata proračuna toplinskih dobitaka.....	41
Slika 4.1 Raspodjela potrebne toplinske energije za grijanje po mjesecima	60
Slika 4.2 Raspodjela toplinskih gubitaka i dobitaka zgrade gradske uprave Grada Kaštela u periodu grijanja	60
Slika 4.3 Raspodjela potrebne toplinske energije za hlađenje po mjesecima	68
Slika 4.4 Raspodjela toplinskih gubitaka i dobitaka zgrade gradske uprave Grada Kaštela u periodu hlađenja	68
Slika 5.1 Shema ljevokretnog procesa sustava dizalice topline morska voda - voda u režimu grijanja.....	69
Slika 5.2 Skica ljevokretnog procesa sustava dizalice topline morska voda - voda u T-s i log p-h dijagramu.....	70
Slika 5.3 Programom dobivene vrijednosti potrebne toplinske energije za grijanje zgrade gradske uprave Grada Kaštela.....	70
Slika 5.4 Programom definiran termotehnički sustav	71
Slika 5.5 Definiran podsustav predaje topline	71
Slika 5.6 Programom dobivena toplinska energija na izlazu iz podsustava proizvodnje	72
Slika 5.7 Potrebna električna energija za rad sustava, sezonska učinkovitost dizalice topline te obnovljiva toplinska energija na ulazu u podsustav proizvodnje.....	72
Slika 6.1 Prikaz otvorenih prozora na južnom pročelju zgrade gradske uprave Grada Kaštela (prosinac, 2018.).....	76
Slika 6.2 Vizualni prikaz ekonomske analize referentnog scenarija i scenarija 1	80

POPIS TABLICA

Tablica 3.1 Parametri vanjske ovojnice zgrade [32]	21
Tablica 3.2 Podaci o etažama zgrade gradske uprave Grada Kaštela [32]	22
Tablica 3.3 Tehničke karakteristike građevnih dijelova grijanog dijela zgrade	22
Tablica 3.4 Tehničke karakteristike vanjskih otvora grijanog dijela zgrade.....	23
Tablica 3.5 Podaci o broju i snazi instaliranih ogrjevnih tijela u zgradi gradske uprave Grada Kaštela.....	24
Tablica 3.6 Tip i učinci vanjskih jedinica VRV sustava zgrade gradske uprave Grada Kaštela	26
Tablica 3.7 Projektne temperature proračuna toplinskog opterećenja	27
Tablica 3.8 Rezultati proračuna toplinskih gubitaka.....	33
Tablica 3.9 Projektne temperature proračuna rashladnog opterećenja	35
Tablica 3.10 Vrijednosti topline koju odaju ljudi prema VDI 2078 [34].....	36
Tablica 3.11 Rezultati proračuna toplinskih dobitaka.....	41
Tablica 4.1 Ulazni proračunski parametri	42
Tablica 4.2 Srednja dozračena sunčeva energija za proračunski period u mjesecima [MJ/m^2]	43
Tablica 4.3 Koeficijenti transmisije izmjene topline od grijanog prostora prema vanjskom okolišu	46
Tablica 4.4 Koeficijenti transmisije izmjene topline od grijanog prostora prema tlu	49
Tablica 4.5 Potrebna toplinska energija uslijed ventilacijskih gubitaka	51
Tablica 4.6 Unutarnji toplinski dobici po mjesecima	52
Tablica 4.7 Vrijednosti toplinskog toka zračenjem od površine zida/krova prema nebu	54
Tablica 4.8 Toplinski dobici od Sunčevog zračenja	55
Tablica 4.9 Mjesečne vrijednosti faktora iskorištenja toplinskih dobitaka te ukupne potrebne toplinske energije zgrade za grijanje u sustavima s kontinuiranim radom	57
Tablica 4.10 Potrebna toplinska energija za grijanje iskazana po mjesecima	59
Tablica 4.11 Toplinski dobici u sezoni hlađenja.....	62
Tablica 4.12 Toplinski gubici u sezoni hlađenja.....	64
Tablica 4.13 Mjesečne vrijednosti faktora iskorištenja toplinskih gubitaka te ukupne potrebne toplinske energije zgrade za hlađenje u sustavima s kontinuiranim radom	65
Tablica 4.14 Potrebna toplinska energija za hlađenje iskazana po mjesecima	67
Tablica 6.1 Cijene stavaka ukupne investicije za pojedini scenarij	78

Tablica 6.2 Ekonomska analiza referentnog scenarija i scenarija 1	79
Tablica 6.3 Ekonomska analiza referentnog scenarija i scenarija 2	81

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

2019 - 01 Hidraulička shema sustava dizalice topline morska voda - voda

POPIS OZNAKA

Prema redoslijedu prikazivanja u radu:

Oznaka	Mjerna jedinica	Opis
ε_{gr}	-	Faktor grijanja
Φ_{kond}	W	Predani toplinski tok na kondenzatoru
P_{EL}	W	Snaga potrebna za rad dizalice topline
ε_{hl}	-	Faktor hlađenja
Φ_{isp}	W	Preuzeti toplinski tok na isparivaču
Φ_{HL}	W	Toplinsko opterećenje zgrade
$\Phi_{T,i}$	W	Transmisijski gubici prostoriya zgrade
$\Phi_{V,i}$	W	Ventilacijski gubici prostoriya zgrade
$\Phi_{RH,i}$	W	Gubici zbog prekida grijanja
ϑ_e	°C	Vanjska projektna temperatura
ϑ_{int}	°C	Unutarnja projektna temperatura
$H_{T,ie}$	W/K	Koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu
$H_{T,ig}$	W/K	Stacionarni koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema tlu
$H_{T,iue}$	W/K	Koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu
A	m ²	Površina plohe
U	W/(m ² K)	Koeficijent prolaza topline
ΔU_k	W/(m ² K)	Dodatak za toplinske mostove
b_u	-	Faktor smanjenja temperaturene razlike koji uzima u obzir temperaturu negrijanog prostora i vanjsku projektnu temperaturu
f_{g1}	-	Korekcijski faktor za utjecaj godišnje oscilacije vanjske temperature
f_{g2}	-	Faktor smanjenja temperaturene razlike koji uzima u obzir razliku između godišnje srednje vanjske i vanjske projektne temperature

$U_{\text{equiv,k}}$	W/(m ² K)	Ekvivalentni koeficijent prolaza topline iz tablica i dijagrama prema tipologiji poda
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
$V_{\text{inf,i}}$	m ³ /h	Maksimalni protok zraka u prostoru uslijed infiltracije kroz zazor
$V_{\text{min,i}}$	m ³ /h	Minimalan higijenski protok zraka
V_i	m ³	Volumen prostorije
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
n_{min}	h ⁻¹	Minimalan broj izmjena zraka
Φ_i	W	Unutrašnji toplinski dobici
Φ_B	W	Dobitak topline od rasvjete
Φ_P	W	Dobitak topline koju odaju ljudi
Φ_M	W	Toplina koju odaju različiti strojevi i električni uređaji
Φ_R	W	Dobitak topline od susjednih prostorija
Φ_G	W	Dobitak/gubitak topline od predmeta koji prolaze kroz prostoriju
Φ_C	W	Ostali dobici topline
Φ_A	W	Vanjski toplinski dobici
Φ_W	W	Dobitak topline transmisijom kroz zidove
Φ_F	W	Dobitak topline kroz staklene površine
Φ_T	W	Dobitak topline kroz staklene površine (prozore) transmisijom
Φ_S	W	Dobitak topline kroz staklene površine (prozore) zračenjem
I_{max}	W/m ²	Maksimalna vrijednost ukupnog Sunčevog zračenja

A_S	m^2	Osunčana površina stakla
$I_{dif,max}$	W/m^2	Maksimalna vrijednost difuznog sunčevog zračenja
A_{sjena}	m^2	Zasjenjena površina stakla
b	-	Koeficijent propusnosti Sunčevog zračenja
F_W	-	Faktor smanjenja zbog ne okomitog upada sunčevog zračenja
$g_{\perp}$	-	Stupanj propuštanja ukupnog zračenja okomito na ostakljenje kada pomično zasjenjenje nije uključeno
F_C	-	Faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja
$Q_{H,nd,cont}$	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
A_{zid}	m^2	Površina zidova prema vanjskom zraku
A_{pr}	m^2	Površina ostakljenja
A_g	m^2	Površina poda prema tlu
A_k	m^2	Ploština korisne površine zgrade
A	m^2	Oplošje grijanog djela zgrade
V_e	m^3	Bruto obujam
V	m^3	Neto obujam
f	-	Udio ploštine prozora
Q_{Tr}	kWh	Izmijenjena toplinska energija transmisijom za proračunsku zonu
Q_{Ve}	kWh	Potrebna toplinska energija za ventilaciju/klimatizaciju za proračunsku zonu
Q_{int}	kWh	Unutarnji toplinski dobici zgrade
Q_{sol}	kWh	Toplinski dobici od Sunčeva zračenja
H_{Tr}	W/K	Koeficijent transmisijske izmjene topline proračunske zone

H_{Ve}	W/K	Koeficijent ventilacijske izmjene topline proračunske zone
t	h	Trajanje proračunskog razdoblja
H_D	W/K	Koeficijent transmisije izmjene topline prema vanjskom okolišu
H_U	W/K	Koeficijent transmisije izmjene topline kroz negrijani/nehlađeni prostor prema vanjskom okolišu
H_A	W/K	Koeficijent transmisije izmjene topline prema susjednoj zgradi
$H_{g,m}$	W/K	Koeficijent transmisije izmjene topline prema tlu za proračunski mjesec
Φ_m	W	Toplinski tok izmjene topline s tlom za proračunski mjesec
H_g	W/K	Stacionarni koeficijent transmisije izmjene topline prema tlu
H_{pi}	W/K	Unutarnji periodički koeficijent transmisije izmjene topline
H_{pe}	W/K	Vanjski periodički koeficijent transmisije izmjene topline
B'	m ²	Karakteristična dimenzija 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 ² K)/W	Plošni unutarnji toplinski otpor
R_f	(m ² K)/W	Toplinski otpor podne konstrukcije
R_{se}	(m ² K)/W	Plošni vanjski toplinski otpor
δ	m	Periodička dubina prodiranja
$Q_{Ve,inf}$	kWh	Potrebna toplinska energija uslijed infiltracije vanjskog zraka
$Q_{Ve,win}$	kWh	Potrebna toplinska energija uslijed prozračivanja otvaranjem prozora

$H_{Ve,inf}$	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
e_{wind}	-	Faktor zaštićenosti zgrade od vjetra
n_{win}	h^{-1}	Broj izmjena zraka uslijed otvaranja prozora
q_{spec}	W/m^2	Specifični unutarnji dobitak po m^2 korisne površine
$Q_{sol,k}$	kWh	Srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz k-ti građevni dio u grijani prostor
$Q_{sol,u,l}$	kWh	Srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz l-ti građevni dio u susjedni negrijani prostor
b_{tr}	-	Faktor smanjenja za susjedni negrijani prostor s unutarnjim toplinskim izvorom
$F_{sh,ob}$	-	Faktor zasjenjena od vanjskih prepreka direktnom upadu sunčevog zračenja
$S_{s,k}$	MJ/m^2	Srednja dozračena energija sunčevog zračenja na površinu građevnog dijela k za promatrani period
$A_{sol,k}$	m^2	Efektivna površina građevnog elementa (otvora, zida), k, na koju upada sunčevo zračenje
$F_{r,k}$	-	Faktor oblika između otvora k i neba
$\Phi_{r,k}$	W	Toplinski tok zračenjem od površine otvora k prema nebu
R_{se}	$(m^2K)/W$	Plošni toplinski otpor vanjske površine zida/krova
U_c	$W/(m^2K)$	Koeficijent prolaska topline zida/krova prema okolišu
A_c	m^2	Površina zida/krova
h_r	$W/(m^2K)$	Vanjski koeficijent prijelaza topline zračenjem
$\Delta\vartheta_{er}$	$^{\circ}C$	Prosječna temperaturna razlika vanjske temperature zraka i temperature neba
g_{gl}	-	Ukupna propusnost Sunčeva zračenja okomito na ostakljenje kada pomično zasjenjenje nije uključeno

F_W	-	Faktor smanjenja zbog ne okomitog upada Sunčevog zračenja
$g_{\perp}$	-	Stupanj propuštanja ukupnog zračenja okomito na ostakljenje kada pomično zasjenjenje nije uključeno
$F_{sh,gl}$	-	Faktor smanjenja zbog sjene pomičnog zasjenjenja
F_F	-	Udio ploštine prozorskog okvira u ukupnoj površini prozora
A_{pr}	m ²	Ukupna površina prozora
g_{gl+sh}	-	Ukupna propusnost Sunčeva zračenja kroz prozirne elemente s uključenom pomičnom zaštitom
F_C	-	Faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja
f_{with}	-	Udio vremena s uključenom pomičnom zaštitom
a_H	-	Bezdimenzijski parametar
γ_H	-	Omjer toplinskih dobitaka i ukupne izmijenjene topline transmisijom i ventilacijom u režimu grijanja
$\tau_{H,0}$	h	Referentna vremenska konstanta za grijanje
a_0	-	Proračunski parametar
τ	h	Vremenska konstanta
C_m	J/K	Efektivni toplinski kapacitet grijanog dijela zgrade (zone)
$H_{tr,avg}$	W/K	Prosječni koeficijent transimisijske izmjene topline proračunske zone
A_f	m ²	Površina kondicionirane zgrade s vanjskim dimenzijama
$\alpha_{H,red,i}$	-	Bezdimenzijski reduksijski faktor koji uzima u obzir prekide u grijanju
$L_{H,m,i}$	d/mj	Ukupni broj dana grijanja u mjesecu
$d_{m,i}$	d/mj	Ukupni broj dana u mjesecu
$f_{H,hr}$	-	Udio sati u tjednu tijekom kojih grijanje radi s normalnom postavnom vrijednošću unutarnje temperature

t_d	h/d	Vrijeme rada sustava grijanja s normalnom postavnom vrijednošću za sustave s nekontinuiranim radom
$d_{use,tj}$	d/tj	Tjedni broj dana korištenja sustava
$Q_{C,nd,cont}$	kWh	Potrebna toplinska energija za hlađenje u sustavima s kontinuiranim radom
$Q_{C,gn}$	kWh	Ukupni toplinski dobici zgrade u periodu hlađenja
$Q_{C,ht}$	kWh	Ukupno izmijenjena toplinska energija u periodu hlađenja
$\eta_{C,ls}$	kWh	Faktor iskorištenja toplinskih gubitaka kod hlađenja
α_C	-	Bezdimenzijski parametar
γ_C	-	Omjer toplinskih dobitaka i ukupne izmijenjene topline transmisijom i ventilacijom u režimu hlađenja
$\alpha_{C,red,i}$	-	Bezdimenzijski reduksijski faktor koji uzima u obzir prekide u hlađenju
$L_{C,m,i}$	d/mj	Ukupni broj dana hlađenja u mjesecu
$d_{m,i}$	d/mj	Ukupni broj dana u mjesecu
$f_{C,day}$	-	Udio sati u tjednu tijekom kojih hlađenje radi s normalnom postavnom vrijednošću unutarnje temperature
$SPF_{HW,hp}$	-	Sezonska učinkovitost dizalice topline
$Q_{H,gen,out}$	kWh	Toplinska energija na izlazu iz podsustava proizvodnje za grijanje prostora
$Q_{W,gen,out}$	kWh	Toplinska energija na izlazu iz podsustava proizvodnje za pripremu potrošne tople vode
$Q_{HW,gen,ls}$	kWh	Toplinski gubici generatora topline
$Q_{HW,bu}$	kWh	Ukupna toplinska energija proizvedena pomoćnim grijačem
$E_{HW,hp,in}$	kWh	Ukupna pogonska energija potrebna za pogon dizalice topline
$W_{gen,aux,sc}$	kWh	Pomoćna energija izvora topline
$W_{gen,aux,sby}$	kWh	Pomoćna energija regulacije

SAŽETAK

Tema ovog rada je primjena sustava dizalice topline s morskom vodom kao toplinskim izvorom/ponorom na postojećoj zgradi javne namjene, zgradi gradske uprave Kaštel Sućurac.

Rad započinje analizom zahvata morske vode, koja uključuje tumačenje postojeće tehnologije, problema i primjera, te legislative vezane uz zahvat morske vode na području Republike Hrvatske. Slijedi proračun toplinskog i rashladnog opterećenja zgrade, bitnih za odabir veličine dizalice topline, te godišnje potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje zgrade koje se, kao ulazni podaci, koriste u tehno - ekonomskoj analizi implementacije sustava dizalice topline morska voda - voda u zgradi gradske uprave Grada Kaštela. Krajnja analiza ekonomske isplativosti sastoji se od prikaza investicijskih troškova, energetske i ekonomske analize dva scenarija implementacije dizalice topline i postojećih sustava zgrade.

Ključne riječi: dizalica topline, morska voda, zahvat morske vode, primjena

SUMARRY

The theme of this thesis is the seawater heat pump implentation on an existing public building, i.e. city administration building in Kaštel Sućurac.

The thesis starts with the analysis of the seawater intake, which includes the elaboration of the existing technology, problems and examples, and the legislation related to the sea water intake in Republic of Croatia. Then, the calculation of the heating and cooling load of the building follows which is important for the heat pump size selection later in the thesis. Subsequently, the annual heating and cooling energy demand is calculated which is used as input data in the technical and economic analysis of the seawater heat pump implementation. The final economic performance analysis consists of an overview of investment costs, energy and economic analysis of the two seawater heat pump implementation scenarios and existing heating and cooling systems.

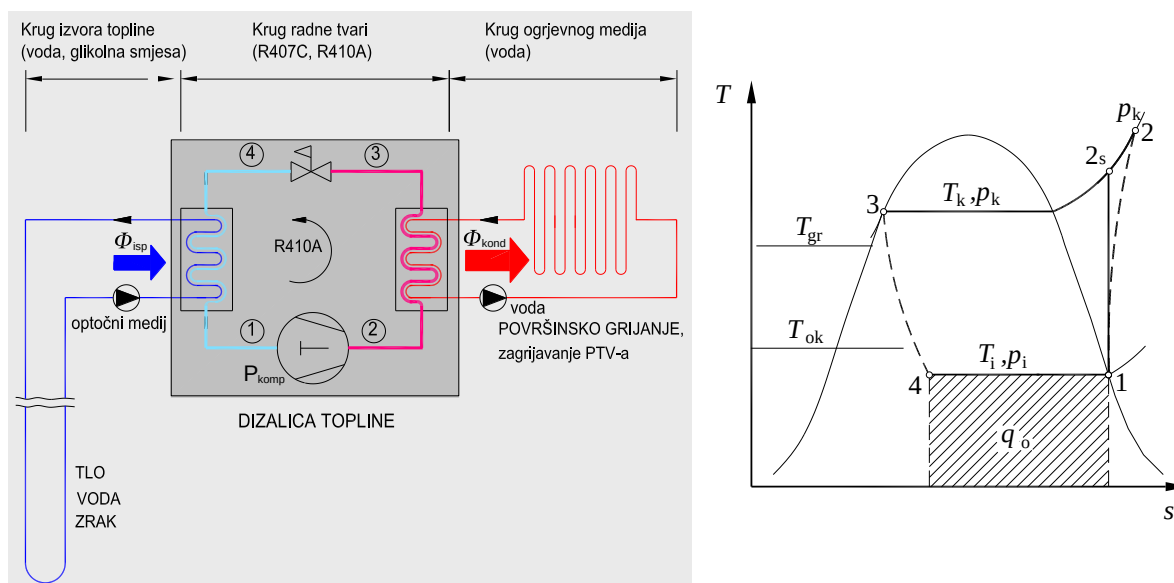
Key words: heat pump, sea water, seawater intake, implementation

1. UVOD

1.1. Dizalice topline

Dizalice topline su sustavi u kojima se topline preuzeta od izvora topline niže temperature diže na višu energetska razinu te predaje ponoru topline više temperature, tj. dizalica topline posreduje u prijenosu topline između dva toplinska spremnika: niskotemperaturnog, kojem se topline (energija) odvodi, te visokotemperaturnog, kojem se ta topline (energija) dovodi, a uvećana je za energiju kompresije. Budući da je prijenos toplinskog toka suprotan prirodnom toplinskom toku od neke više na nižu temperaturu, potrebno je privesti 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 [1].

Osnova rada dizalica topline je ljevokretni kružni proces koji se, ovisno o svrsi dizalice topline, naziva ogrjevnim, rashladnim ili ogrjevn – rashladnim procesom. Princip rada kompresijske dizalice topline prikazan je na slici 1.1.



Slika 1.1 Princip rada kompresijske dizalice topline [1]

Ostvareni rashladni ili ogrjevni učin dizalice topline za utrošenu snagu P pokazuje faktor grijanja $\varepsilon_{gr}(COP)$ ili faktor hlađenja $\varepsilon_{hl}(EER)$:

$$\varepsilon_{gr}(COP) = \frac{\Phi_{kond}}{P_{EL}} \quad (1.1)$$

$$\varepsilon_{hl}(EER) = \frac{\Phi_{isp}}{P_{EL}} \quad (1.2)$$

gdje su:

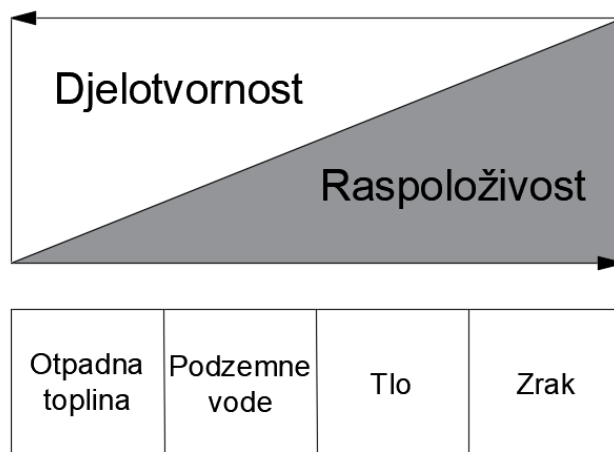
Φ_{kond} - predani toplinski tok na kondenzatoru, [W]

Φ_{isp} - preuzeti toplinski tok na isparivaču, [W]

P_{EL} - snaga potrebna za rad dizalice topline, [W]

Dizalice topline kao izvore topline koriste niskotemperaturne toplinske spremnike kao što su voda (riječna, jezerska, morska i podzemna), zrak, otpadna toplina, Sunce i tlo. Da bi se osigurao ekonomičan rad dizalice topline, na izvor topline se postavlja niz zahtjeva među kojima su najvažniji sljedeći:

- toplinski izvor treba osigurati potrebnu količinu topline u svako doba i na što višoj temperaturi (Slika 1.2),
- troškovi za priključenje toplinskog izvora na dizalicu topline trebaju biti što manji,
- energija za transport topline od izvora do isparivača dizalice topline treba biti što manja

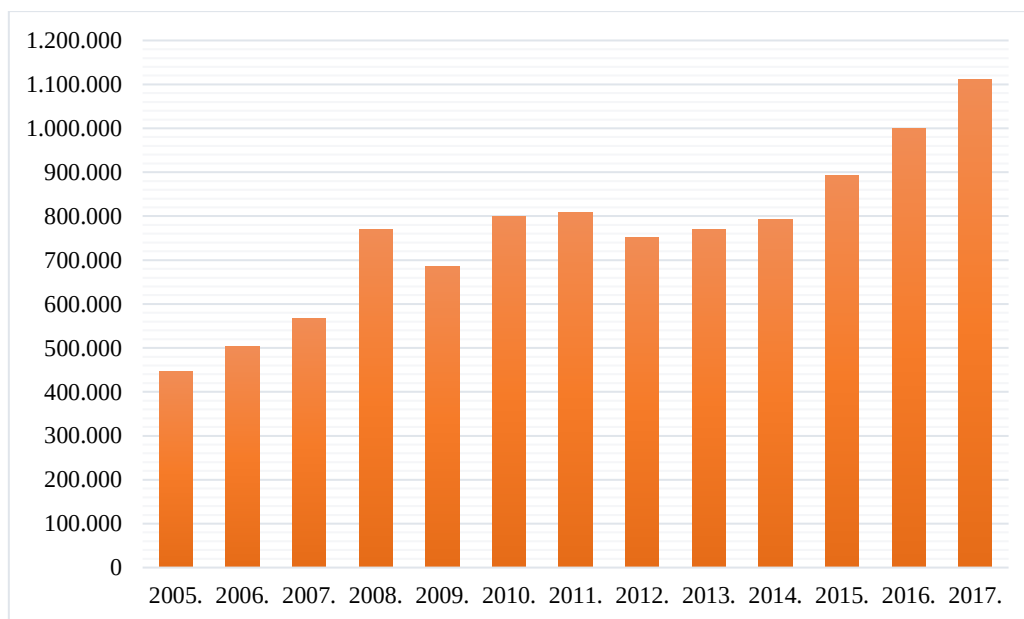


Slika 1.2 Kvalitativan prikaz djelotvornosti i raspoloživosti izvora topline [1]

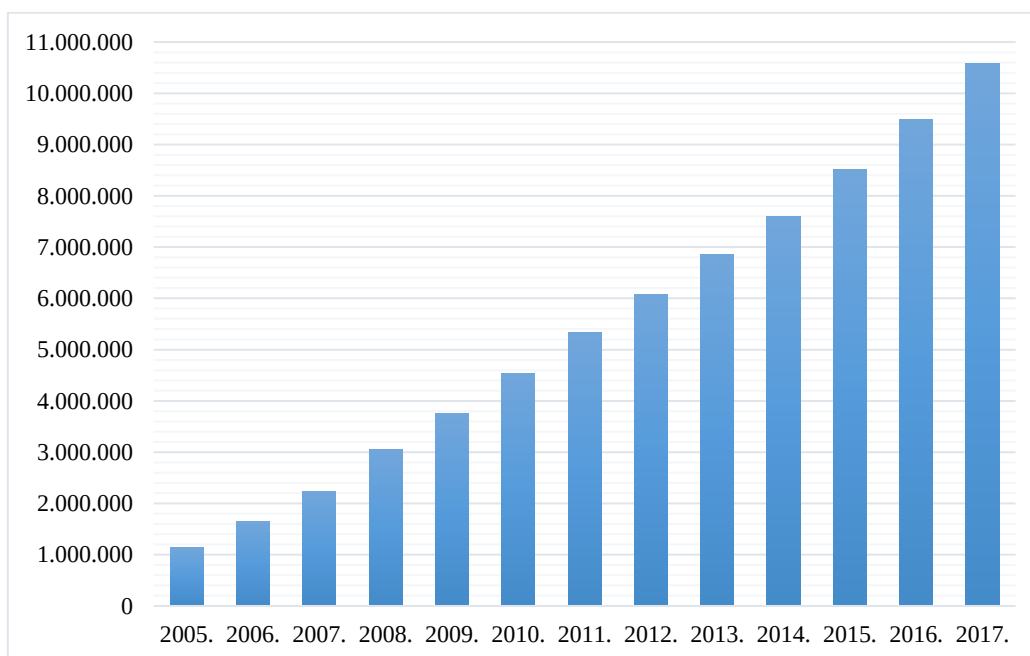
1.2. Stanje u Europskoj uniji

Implementacija dizalica topline u Europi je u stalnom porastu. U 2017. godini zabilježen je porast od 11,2% što je treći dvoznamenkasti porast u nizu. Također, u 2017. godini je prvi put instalirano više od milijun jedinica dizalica topline (1.141.016) što je najveća brojka u jednoj

godini u trinaest godina vođenja statistike implementacije dizalica topline [2]. Na slikama 1.3 i 1.4 prikazane su vrijednosti novoinstaliranih jedinica dizalica topline u pojedinoj godini i ukupan broj instaliranih jedinica dizalica topline u Europi.



Slika 1.3 Broj novoinstaliranih jedinica dizalice u pojedinoj godini [2]



Slika 1.4 Ukupan broj instaliranih jedinica dizalica topline [2]

Stalni porast na tržištu dizalica topline rezultat je sljedećih trendova:

1. Gledano s tehnološke strane, dizalice topline danas rade u širem temperaturnom području nego prije deset godina. Rade i do $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ okolišnje temperature, a mogu osigurati toplu vodu i do $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ na učinkovit način. Time je omogućena njihova implementacija gotovo neovisno o tipu i lokaciji razmatranog objekta.
2. Budući da se sve veći fokus energetske tranzicije stavlja na sektor grijanja i hlađenja, dizalice topline prepoznate su i od strane kreatora politike. Legislativa EU vezana uz energetske učinkovitost, obnovljive izvore energije i održivu gradnju, koja je usvojena tijekom zadnjih osam godina, primjenjuje se u svim državama članicama te pokazuje vidljiv utjecaj. Standardi gradnje propisuju maksimalnu potrošnju toplinske energije po metru kvadratnom prostora, veću implementaciju sustava s obnovljivim izvorima energije, tj. pogoduju izgradnji niskoenergetskih i zgrada gotovo nulte energije. Uz to, države članice dijele financijske poticaje za navedene propisane standarde gradnje što se odražava pozitivno na tržište dizalica topline.
3. Konstantan porast prodaje i implementacije dizalica topline rezultira smanjenjem cijena istih. Također, nagli pad cijena fotonaponskih sustava utječe na tržište grijanja: koristeći električnu energiju fotonaponskih sustava, sustavi dizalica topline postaju sustavi s vrlo niskim troškovima rada [2].

U listopadu 2014. godine Europsko vijeće prihvatilo je „*Klimatski i energetski okvir do 2030.*“ kojime su postavljeni obveze i ciljevi za period 2020. - 2030. Cilj strategije je poslati snažan signal tržištu, potičući privatna ulaganja u nove cjevovode, elektroenergetske mreže i niskoenergetske tehnologije kako bi se postigao dugoročni cilj dekarbonizacije do 2050. godine na učinkovit i isplativ način. Strategija bi uključivala sljedeće aktivnosti:

- posvećenost daljnjem smanjenju emisija stakleničkih plinova, postavljanje cilja smanjenja od 40 % do 2030. u odnosu na razine iz 1990,
- cilj postizanja udjela potrošnje energije iz obnovljivih izvora od najmanje 27 % uz omogućavanje fleksibilnosti državama članicama u postavljanju nacionalnih ciljeva,
- poboljšana energetska učinkovitost mogućim izmjenama direktive o energetske učinkovitosti,
- reforma sustava EU-a za trgovanje emisijama kako bi se uključila rezerva za stabilnost tržišta [3]

Dokumenti poput navedene strategije, Pariškog klimatskog sporazuma te nadolazeće nZEB regulative daju vjetar u leđa implementaciji dizalica topline u EU čiji je porast vidljiv te će se taj trend i nastaviti.

1.3. Stanje u Republici Hrvatskoj

U Republici Hrvatskoj se također sve više potiče implementacija obnovljivih izvora energije te povećanje energetske učinkovitosti u svim sektorima, a samim tim i sustava dizalica topline. Ministarstvo zaštite okoliša i energetike je u dosadašnjem razdoblju donijelo tri nacionalna akcijska plana energetske učinkovitosti te je na snazi četvrti za razdoblje 2017. - 2019. u čijem se sadržaju nalaze i sljedeće mjere:

- razvoj infrastrukture za obnovljive izvore energije u uslužnom sektoru (turizam i trgovina), uključujući prelazak s konvencionalnih na alternativne izvore energije (OIE) kao što su: solarni kolektori, dizalice topline, visoko efikasna kogeneracija i sl.,
- program energetske obnove obiteljskih kuća 2014.-2020. - poticanje korištenja OIE (ugradnja sunčanih toplinskih kolektora, ugradnja dizalica topline, ugradnja malih kotlova na biomasu) [4]

Uz navedeni nacionalni akcijski plan energetske učinkovitosti, provode se i ostale aktivnosti kao što su „*Program energetske obnove komercijalnih nestambenih zgrada za razdoblje 2014. - 2020.*“, „*Program energetske obnove zgrada javnog sektora za razdoblje 2016. - 2020.*“, „*Nacrt dugoročne strategije za poticanje ulaganja u obnovu nacionalnog fonda zgrada Republike Hrvatske*“, itd. gdje se navode mjere u čijem se opusu potiče implementacija dizalica topline:

- mjera centralizacije i modernizacije sustava grijanja uz primjenu obnovljivih izvora energije
- mjera centralizacije i modernizacije sustava hlađenja uz primjenu obnovljivih izvora energije [5] [6] [7]

Najveći poticaj i razlog porasta implementacije dizalica topline u Republici Hrvatskoj biti će nadolazeći nZEB standard, tj. projektiranje i gradnja zgrada kao zgrada gotovo nulte energije koje trebaju ispunjavati važne zahtjeve kao što su vrlo visoka energetska svojstva vanjske ovojnice te primjena obnovljivih izvora energije ako je najmanje 30% godišnje primarne energije podmireno iz obnovljivih izvora energije. Nakon 31. prosinca 2018., sve nove zgrade javne namjene moraju biti izgrađene prema nZEB standardu, a nakon 31. prosinca 2020., sve

nove zgrade moraju biti građene prema nZEB standardu podrazumijevajući stambene i nestambene zgrade te obiteljske kuće [8].

31. listopada 2018. Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost je pokrenuo novi Javni poziv za sufinanciranje sustava za korištenje obnovljivih izvora energije u obiteljskim kućama gdje će s 12 milijuna kuna građanima sufinancirati nabavu i ugradnju kotlova na biomasu i dizalica topline. To je prvi put da se u RH direktno sufinanciraju dizalice topline, a prema sljedećim iznosima [9]:

Vrsta troška	IZNOS SUFINANCIRANJA		
	80%	60%	40%
	(područja posebne državne skrbi, prva skupina otoka)	(brdsko planinska područja, druga skupina otoka)	(sva ostala područja)
Izrada glavnog projekta	do 4.000 kn	do 3.000 kn	do 2.000 kn
Provođenje stručnog nadzora	do 2.000 kn	do 1.500 kn	do 1.000 kn
Nabava i ugradnja sustava na biomasu *	do 29.000 kn	do 21.750 kn	do 14.500 kn
Nabava i ugradnja sustava s dizalicom topline *	do 39.000 kn	do 29.250 kn	do 19.500 kn
Maksimalni iznos poticaja za sustav na biomasu	do 35.000 kn	do 26.250 kn	do 17.500 kn
Maksimalni iznos poticaja za sustav s dizalicom topline	do 45.000 kn	do 33.750 kn	do 22.500 kn

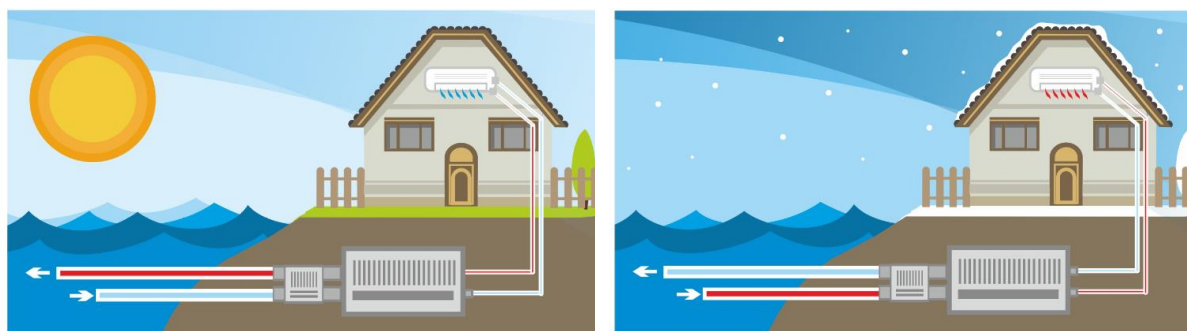
Slika 1.5 Detaljne informacije o programu sufinanciranja kotlova na biomasu i dizalica topline [9]

Statistika implementacije sustava dizalica topline se u Republici Hrvatskoj ne vodi te je broj instaliranih jedinica nepoznat, no postoje mnogi primjeri implementacije sustava na raznim lokacijama u Republici Hrvatskoj, a neki od njih su: osam geotermalnih dizalica topline diljem Hrvatske (Zagreb, Osijek, Požega, Čakovec, Gospić, Poreč, Zadar i Knin) u sklopu europskog projekta GeoMapping; dizalica topline morska voda - voda, hotel Le Méridien Lav, Split; dizalica topline morska voda - voda, hotelski kompleks Punta Skala; dizalice topline voda - voda, trgovački centar IKEA, Rugvica te mnogi drugi.

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

2.1. Princip rada

Sustavi dizalica toplina s morskom vodom su sustavi u kojima dizalica topline koristi more kao izvor i ponor topline, tj. toplinski spremnik. U režimu grijanja sustav koristi toplinsku energiju mora kao obnovljivi izvor topline (slika 2.1, desno), dok u režimu hlađenja toplinu preuzetu iz prostora predaje moru kao toplinskom ponoru (slika 2.1, lijevo). S obzirom na svojstvo korozivnosti morske vode, morska voda 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 energetska razinu, a potom predaje grijanom prostoru. Obrnuti proces vrijedi za rad dizalice topline u režimu hlađenja.



Slika 2.1 Dizalica topline morska voda - voda u režimu hlađenja (lijevo) i režimu grijanja (desno) [10]

Postoje dvije izvedbe sustava dizalica topline s morskom vodom kao toplinskim spremnikom: otvorena (slika 2.2, lijevo) i zatvorena izvedba (slika 2.2, desno). U slučaju sustava s otvorenom izvedbom, morska se voda pumpa izravno s određene dubine kroz cjevovod položen u more te se istim i vraća, dok se kod zatvorene izvedbe izmjenjivači s glikolnom smjesom polažu u more te nema doticaja morske vode sa sustavom dizalice topline. Obje izvedbe osiguravaju jednaku učinkovitost sustava, no zatvorena izvedba je u početku skuplja jer uključuje opsežnije instalacijske radove. S druge strane, primjena otvorenih izvedbi je ograničena u područjima s vrlo hladnom klimom budući da može doći do zamrzavanja vode, a i samih usisnih i tlačnih cjevovoda [11].

U većini slučajeva koristi se otvorena izvedba sustava koja opet ima dvije mogućnosti zahvata mora detaljnije obrazložene kasnije u radu.



Slika 2.2 Otvorena (lijevo) i zatvorena (desno) izvedba sustava dizalice topline morska voda - voda [11]

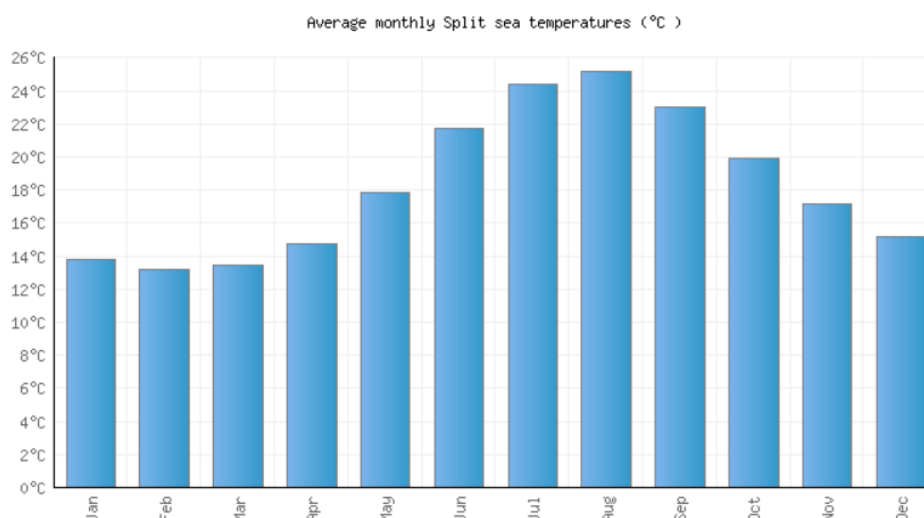
Nerijetko se uz sustave dizalice topline ugrađuje i akumulacijski toplinski spremnik. Time se ostvaruje mogućnost za pokrivanje vršnih toplinskih opterećenja umjesto instalacije dizalice topline većeg učina što ujedno predstavlja i veću investiciju. Uz to, ugradnjom akumulacijskog toplinskog spremnika omogućuje se i proizvodnja toplinske/rashladne energije dvadeset četiri sata dnevno što znači da dizalica topline može raditi i noću kada je cijena njenog rada niža, a time i proizvedene toplinske/rashladne energije [12].

2.2. Morska voda kao toplinski izvor/ponor

Većina solarne energije Sunca koja dolazi na Zemljinu površinu izravno se absorbira u oceanske i morske površine. Ključno svojstvo koje čini morsku vodu dobrim toplinskim izvorom je njena relativno konstantna temperatura tijekom cijele godine. Toplinski kapacitet morske vode je veći nego toplinski kapacitet zraka što za posljedicu ima manje intenzivno zagrijavanje i hlađenje vode, tj. njenu manju temperaturnu promjenu.

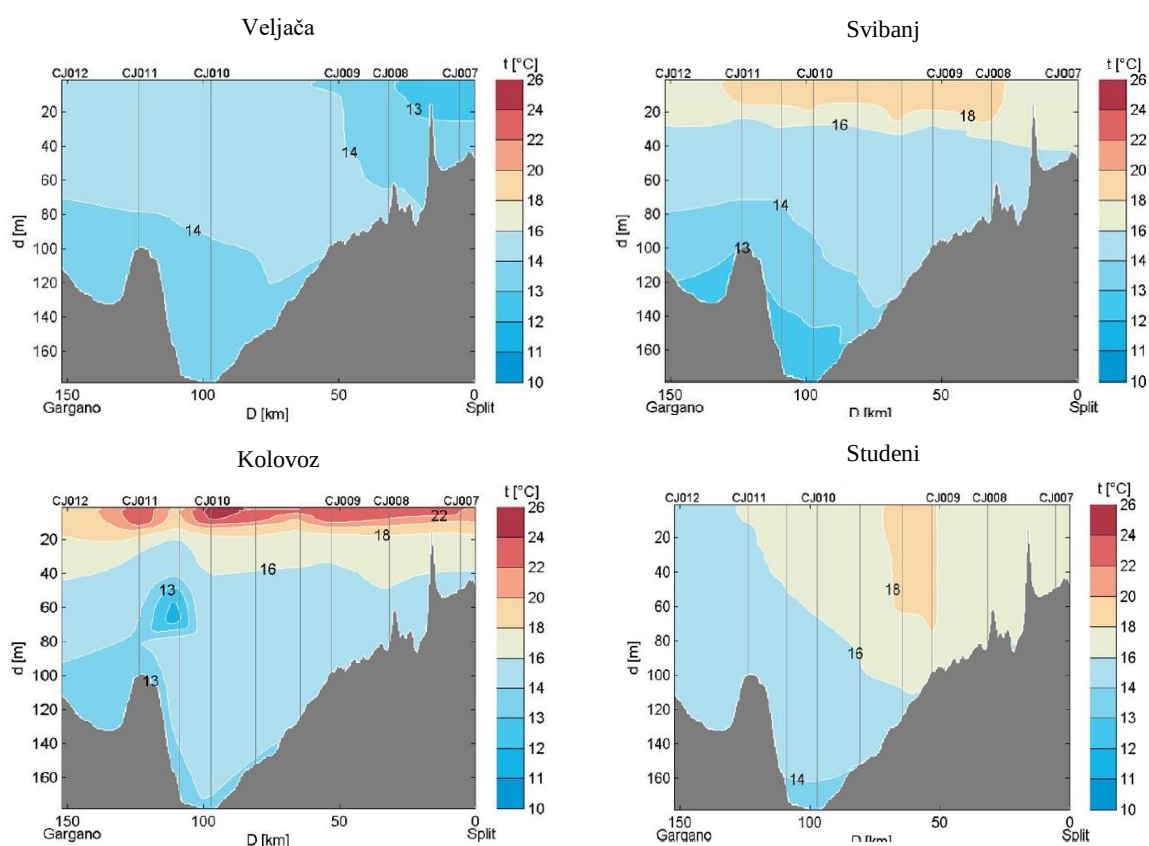
Ciljana dubina uzimanja morske vode za rad dizalica topline morska voda - voda je 0 - 20 m. Što je dubina mora veća, to su godišnje temperaturne promjene vode manje. Razmatrana dubina mora smatra se površinskim slojem mora, a temperaturne promjene u tom sloju nazivaju se termohalnim osobinama mora. Termohaline osobine površinskog sloja mora ovise o nizu fizikalnih čimbenika koji su dijelom posljedica procesa u moru te procesa na granici s atmosferom. Te procese možemo uvjetno dijeliti na oceanografske i meteorološke. Oceanografski procesi, koji uvjetuju promjenu površinske temperature mora te promjene u dubljim slojevima, su konvektivni prijenosi topline morskim strujama, prijenosi topline molekularnim putem i turbulentna gibanja uvjetovana nestabilnošću vodenog stupca dok su s druge strane meteorološki procesi, procesi izmjene topline između površinskog sloja mora i atmosfere, tj. izmijenjeni toplinski tok koji more prima iz atmosfere odnosno predaje atmosferi [13].

Na slici 2.3 prikazana je prosječna godišnja površinska temperatura mora na lokaciji Split te je vidljivo kako temperatura mora na samoj površini varira u rasponu 13 - 26 °C kroz godinu.



Slika 2.3 Površinska temperatura mora na lokaciji Split [14]

Na slici 2.4 prikazan je profil temperature mora, ovisno o dubini mora, za relaciju Gargano - Split u ljetnim i zimskim mjesecima.

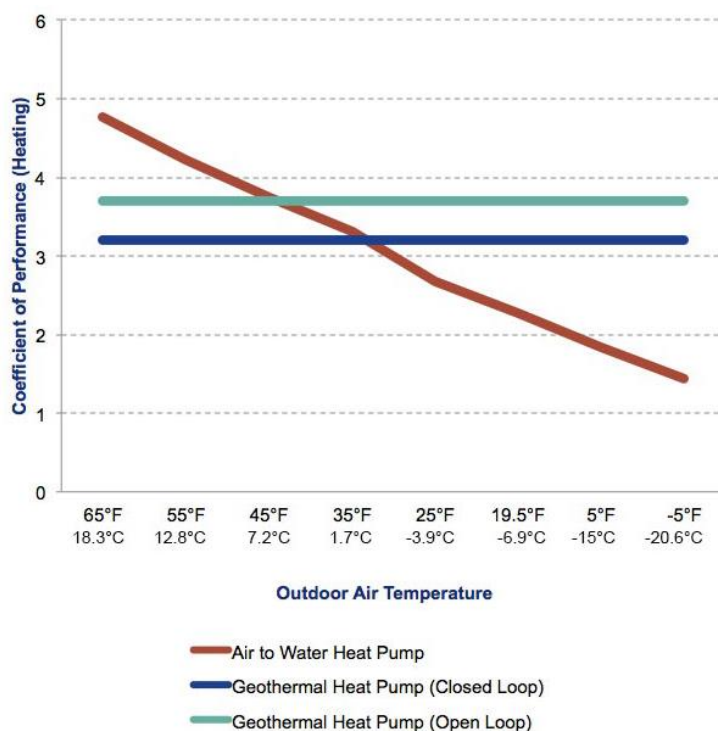


Slika 2.4 Profil temperature mora za Split ovisno o dubini mora u ljetnim i zimskim mjesecima [15]

Na dubini mora od 20 m temperatura mora varira od 13 do 20 °C za lokaciju Split što je godišnja promjena temperature od samo 7 °C.

Iz svega navedenog, vidljivo je kako je temperaturna promjena morske vode kao izvora topline vrlo mala te se odvija na sezonskoj, tj. godišnjoj razini. U usporedbi s dizalicama topline koje koriste zrak kao izvor topline, dizalice topline morska voda - voda imaju veći i konstantniji faktor grijanja u ovisnosti o promjeni vanjske temperature zraka. Naime, temperatura okolišnjeg zraka kao toplinskog izvora mijenja se na dnevnoj razini budući da se zrak intenzivnije zagrijava i hladi zbog čega iznosi faktora grijanja puno više variraju. Uz to, temperature morske vode, primjerice 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.

Na slici 2.5 prikazana je ovisnost faktora grijanja dizalica topline s vodom i zrakom kao izvorima topline o vanjskoj temperaturi zraka.



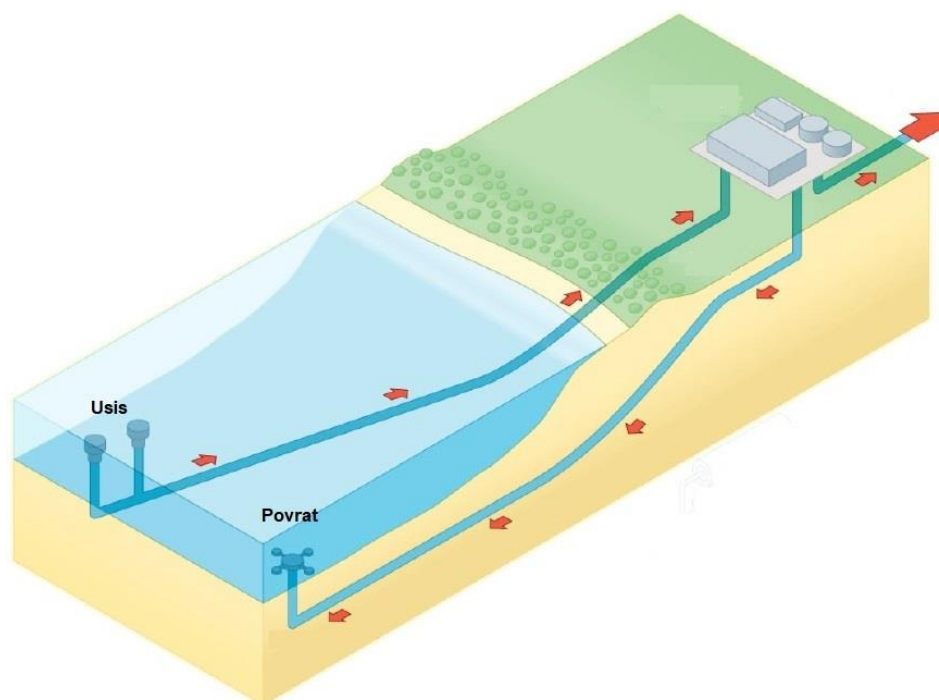
Slika 2.5 Ovisnost faktora grijanja dizalica topline s vodom i zrakom kao izvorima topline o vanjskoj temperaturi zraka [16]

2.3. Zahvat morske vode

Zahvat morske vode jedan je od najvažnijih dijelova sustava dizalice topline s morskom vodom kao izvorom topline budući da kontinuiran i stabilan rad dizalice topline ovisi o kontinuiranom, stabilnom i dovoljnom pritoku morske vode. Karakteristični sustav zahvata morske vode sastoji se od usisnog cjevovoda i njemu pripadajućeg usisnog otvora te zaštitne rešetke oko njega, pumpi i povratnog cjevovoda. Trenutno se na dva načina vrši zahvat mora za potrebe rada dizalice topline: direktnim zahvatom morske vode na određenoj udaljenosti od obale te zahvatom bočate vode iz zdenaca uz more, tj. na samoj obali.

2.3.1. Direktni zahvat morske vode

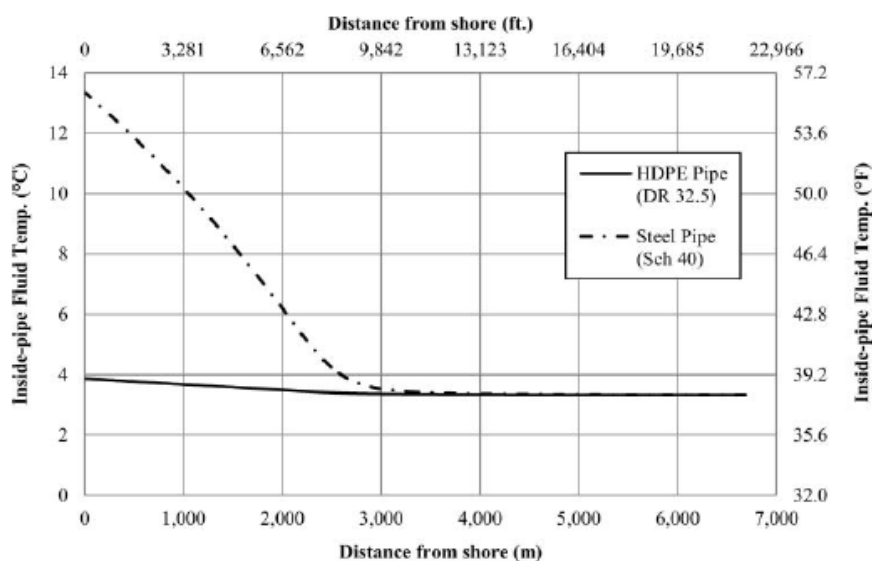
Direktni zahvat morske vode podrazumijeva usis morske vode direktno iz mora na određenoj dubini te udaljenosti od obale. Sastoji se od usisnog cjevovoda i njemu pripadajućeg usisnog otvora te zaštitne rešetke oko njega, podvodnih cjevovoda, koji vode morsku vodu do međuizmjenjivača i natrag u more, pumpne stanice te difuzora koji ponovno miješa morsku vodu, od koje je preuzeta toplina, s vodom u moru [18]. Zahvat mora vrši se na dubini 0 - 20 m te dovoljnoj udaljenosti od obale gdje su utjecaji na gibanje i temperaturu mora, zbog priobalnih kretanja brodova, ljudi te ispusta u more, vrlo mali, tj. neznatni [15]. Na slici 2.6 prikazana je karakteristična shema sustava direktnog zahvata morske vode.



Slika 2.6 Karakteristična shema sustava direktnog zahvata morske vode [17]

Budući da morska voda posjeduje izraženo svojstvo korozivnosti, materijali uređaja, cijevi i armature koja je u doticaju s morskom vodu moraju biti otporni na koroziju. Naime, otopljeni koncentrirani kloridi u morskoj vodi mogu uzrokovati jamičastu i interkristalnu koroziju na materijalima kao što su nehrđajući čelici, ugljični čelici te legure bakra [18].

Usisni i povratni cjevovodi koji su položeni i plutaju u moru od sredine 1970-ih godina izvode se kao HDPE (*High Density Polyethylene*) cijevi, tj. polietilenske cijevi visoke gustoće. Metalne cijevi su, kao što je prethodno navedeno, podložne koroziji te su teške i krute za polaganje u more. Kada se cijevi polegnu na neravno morsko dno, važno je da se prilagode obrisu površine morskog dna što je kod metalnih cijevi nemoguće. HDPE cijevi otporne su na koroziju i solarno UV zračenje, fleksibilne su, izdržljive i lagane te imaju visoku toplinsku otpornost. Relativno malena masa HDPE cijevi omogućuje njihovo polaganje i plutanje u vodi te olakšano održavanje. Visoka toplinska otpornost HDPE cijevi smanjuje utjecaj na temperaturu morske vode u cijevima na putu do međuizmjenjivača, u odnosu na metalne cijevi (slika 2.7). Također, HDPE cijevi imaju puno glađu unutarnju površinu, nego čelične ili betonske cijevi što smanjuje linijske gubitke u cjevovodu [18] [19].



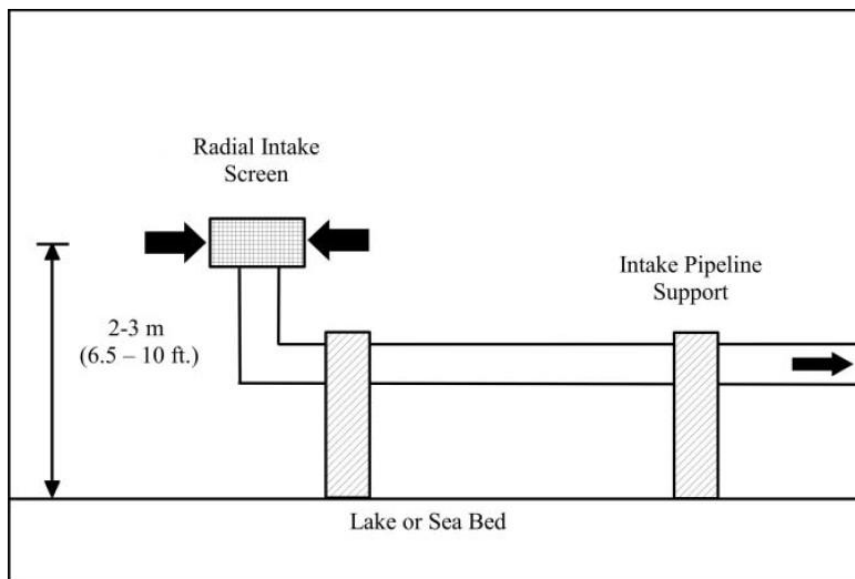
Slika 2.7 Utjecaj materijala podvodnih cijevi na temperaturu morske vode u cijevima [18]

Budući da je gustoća HDPE cijevi manja od gustoće morske vode, HDPE cijevi će plutati u moru. Iako je to prednost kod polaganja cijevi u more, može biti nedostatak tijekom spuštanja cijevi na određenu morsku dubinu te samog rada sustava. Sukladno tome, nužno je na cjevovod pričvrstiti armirane betonske blokove koji će dati stabilnost cjevovodu tijekom utjecaja morskih struja i valova [19]. Ukoliko se, ipak, iz određenih razloga koriste metalne cijevi, preporuča se na njih nanijeti premaz epoksidne smole [20].

Sljedeći dio koji je u stalnom doticaju s morskom vodom je međuizmjenjivač topline. 1970-ih i 1980-ih godina razmatrali su se nehrđajući čelici, aluminij i legure bakra kao materijali međuizmjenjivača koji su u stalnom doticaju s morskom vodom, međutim životni vijek takvih međuizmjenjivača bio je kratak uslijed pojave korozije. Od 1980-ih godina, titan je najčešći materijal koji se koristi za izradu međuizmjenjivača topline u primjeni s morskom vodom kao radnim fluidom [18]. Materijal pumpi u sustavu također mora imati dobru otpornost na koroziju te ovisi o tome je li pumpa potopljena ili ne. U slučaju da se, ipak, koriste metalni materijali u izradi pumpi ili međuizmjenjivača, obavezno je provesti katodnu zaštitu istih [20].

U slučaju direktnog zahvata morske vode, veliki problem predstavljaju biološka onečišćenja koja se nakupljaju u cjevovodima i međuizmjenjivaču sustava, a čija je posljedica nepravilan i slabiji rad sustava, pa i moguće zatajenje sustava. Morska voda sadrži veliku količinu mikro - i makro - organizama koji svojim nakupljanjem uzrokuju probleme kao što su smanjenje učinkovitosti međuizmjenjivača topline, povećanje pada tlaka u cijevima, začepljenje filtera te ubrzani razvoj lokalne korozije. Količina i veličina biološkog onečišćenja ovisi o prirodi, vrsti i populaciji organizama prisutnih u morskoj vodi [19]. Kako bi se spriječilo i umanjilo stvaranje naslaga bioloških organizama poput algi i dagnji u cjevovodima i na međuizmjenjivaču, iskustveno se primjenjuje doziranje morske vode u sustavu natrijevim hipokloritom, tj. klorom. Kloriranje morske vode je ekološki prihvatljiv, jeftin i učinkovit način kontrole rasta bioloških organizama u sustavu. Kod primjene „shell & tube” međuizmjenjivača topline, moguće je trajno instalirati sustav četki koji mehanički čisti unutrašnjost cijevi te tako izbjeći kloriranje morske vode [18]. Biološka onečišćenja veliki su problem kod sustava dizalica topline morska voda - voda, posebice u područjima s morskom vodom više temperature. Primjenjuju li se navedene mjere ili ne, sustav je također potrebno i ručno čistiti. Godišnji broj čišćenja ovisi o svakom instaliranom sustavu zasebno.

Osim bioloških onečišćenja, pri direktnom zahvatu morske vode treba obratiti pažnju i na ulaz većih organizama poput riba i mekušaca te na povlačenje pijeska s morskog dna u cijevi. Usisni otvor projektira se sa zaštitnom rešetkom, tj kavezom, oko njega na 2 - 3 m iznad morskog dna kako ne bi došlo do usisa pijeska s morskog dna. Otvori zaštitne rešetke su širine 2 - 10 mm. Usisni otvor i pripadajuća zaštitna rešetka trebali bi biti projektirani tako da ulazna brzina morske vode kroz otvore zaštitne rešetke ne prelazi 0,15 m/s kako bi se spriječio usis riba i mekušaca [18].



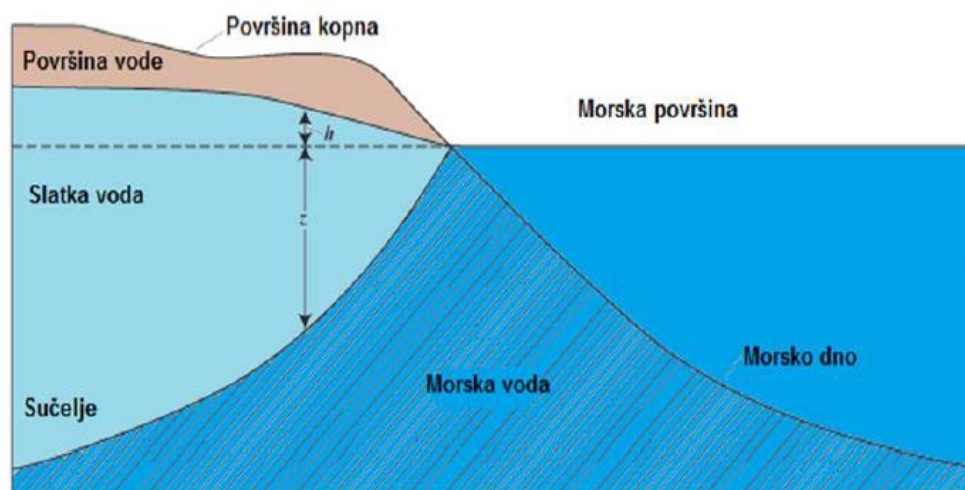
Slika 2.8 Usisni otvor i pripadajuća zaštitna rešetka kod direktnog zahvata morske vode [18]

2.3.1.1. Legislativa za ovlaštenje direktnog zahvata morske vode u Republici Hrvatskoj

U Republici Hrvatskoj za instalaciju sustava dizalice topline morska voda - voda s direktnim zahvatom morske vode potrebno je od određenog nadležnog tijela tražiti „*Koncesiju za posebnu upotrebu pomorskog dobra u svrhu gradnje sustava za preuzimanje morske vode za sustav opskrbe toplinskom/rashladnom energijom*“. Ovlaštenje iskorištavanja pomorskog dobra se može tražiti, ovisno o važnosti projekta, na lokalnoj, gradskoj, županijskoj i državnoj razini. Lokalna samouprava, grad, županija ili država odobrava posebnu upotrebu pomorskog dobra određivanjem veličine morske površine, u četvornim metrima, za traženu svrhu. Period trajanja koncesije, također, ovisi o važnosti projekta [21].

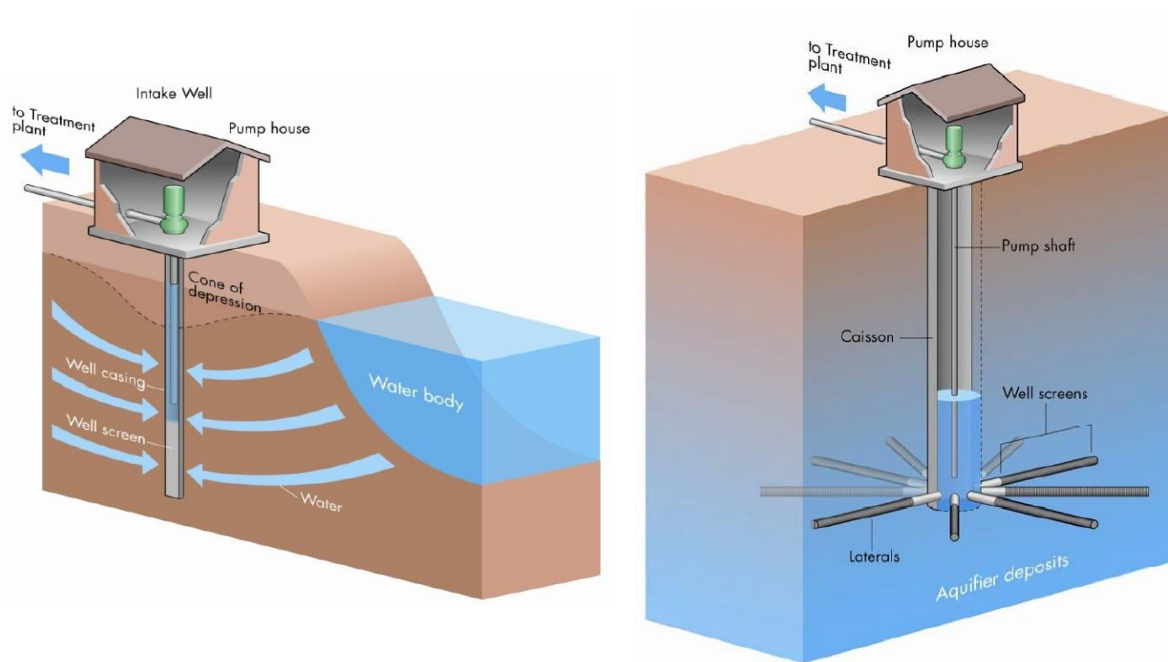
2.3.2. Potpovršinski zahvat boćate ili morske vode iz zdenaca uz more

Potpovršinski zahvat boćate ili morske vode iz zdenaca uz more zahvat je podzemne vode iz vodonosnika koji se nalaze svega par metara ispod Zemljine površine na ili uz obalu. 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 2.9).



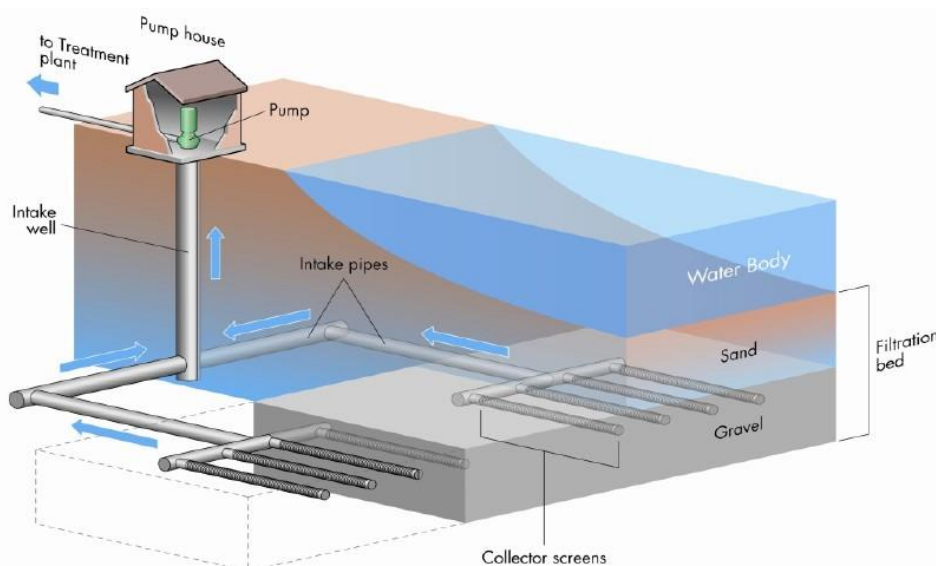
Slika 2.9 Odnos slane, morske i slatke, kopnene vode u priobalnom području [15]

Zdenci bočate ili morske vode izvode se kao vertikalni ili horizontalni, ovisno o zahtjevima za grijanjem i hlađenjem, tj. potrebnoj količini morske vode (slika 2.10) [17].



Slika 2.10 Izvedbe zdenaca bočate ili morske vode na obali: vertikalni (lijevo), horizontalni (desno) [17]

Uz zahvat vode vertikalnim i horizontalnim zdencima, primjenjuju se i sabirnici vode položeni na morsko dno preko kojih se polaže pješčani filtrirajući sloj čime se sprječava ulaz bioloških mikro - i makro - organizama (slika 2.11) [17].



Slika 2.11 Zahvat morske vode infiltracijom kroz morsko dno [17]

Potpovršinski zahvat bočate ili morske vode podrazumijeva da ta voda sadrži manju količinu primjesa, ulja i smeća te bioloških mikro - i makro - organizama što rezultira manjim biološkim onečišćenjem cjevovoda i međuizmjenjivača, a time i stabilnijim radom sustava. Također, takva voda je manjeg saliniteta što smanjuje mogućnost pojave i razvoja korozije. Primjena materijala pumpi, cjevovoda i međuizmjenjivača jednaka je kao i kod direktnog zahvata morske vode [17]. Rezultati pilot postrojenja s potpovršinskim zahvatom morske vode pokazuju kako takav zahvat morske vode omogućuje učinkovitiji rad sustava dizalica topline morska voda - voda budući da su temperaturne promjene takve vode manje nego kod direktnog zahvata što ima i glavni utjecaj na učinkovitost rada sustava [22].

Nedostatak potpovršinskog zahvata bočate ili morske vode jest veći investicijski trošak, međutim troškovi održavanja sustava zbog bioloških onečišćenja su puno manji.

2.3.2.1. Legislativa za ovlaštenje potpovršinskog zahvata bočate ili morske vode u Republici Hrvatskoj

U Republici Hrvatskoj se potpovršinski zahvat bočate ili morske vode za potrebe , iz zdenaca na obali, do 10 m dubine, smatra zahvaćanjem podzemne vode iz prvoga vodonosnoga sloja do 10 m dubine, što spada pod opće korištenje voda, te prema članku 77. zakona o vodama, „*Vlasnik odnosno ovlaštenik drugog stvarnog prava na zemljištu može slobodno upotrebljavati i koristiti podzemne vode na njegovom zemljištu, u granicama općeg korištenja voda.*“, bez potrebnog ishodađenja vodopravne dozvole i ugovora o koncesiji [23]. S druge strane uredbom o visini naknade za korištenje voda, člankom 5., propisano je da „*Visina naknade za korištenje*

voda za potrebe grijanja i hlađenja stambenih građevina i poslovnih prostora, osim za termalne i termomineralne vode, iznosi 0,10 kuna za prostorni metar (1 m^3) zahvaćene vode.“ [24]. Izdavanje vodopravnih dozvola i ugovora o koncesiji za korištenje podzemnih voda u Republici Hrvatskoj je pod nadležnosti institucije Hrvatskih voda.

2.4. Primjena dizalica topline morska voda - voda

Porast implementacije dizalica topline morska voda - voda uočen je posljednjih desetak godina uslijed primjene niskougljične energetske strategije te spoznaje morske vode kao obnovljivog izvora energije, no implementacija sustava dizalica topline morska voda - voda počela je još 1970 -ih i 1980-ih u svijetu, a i u Republici Hrvatskoj. 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.

2.4.1. Ropsten, Švedska

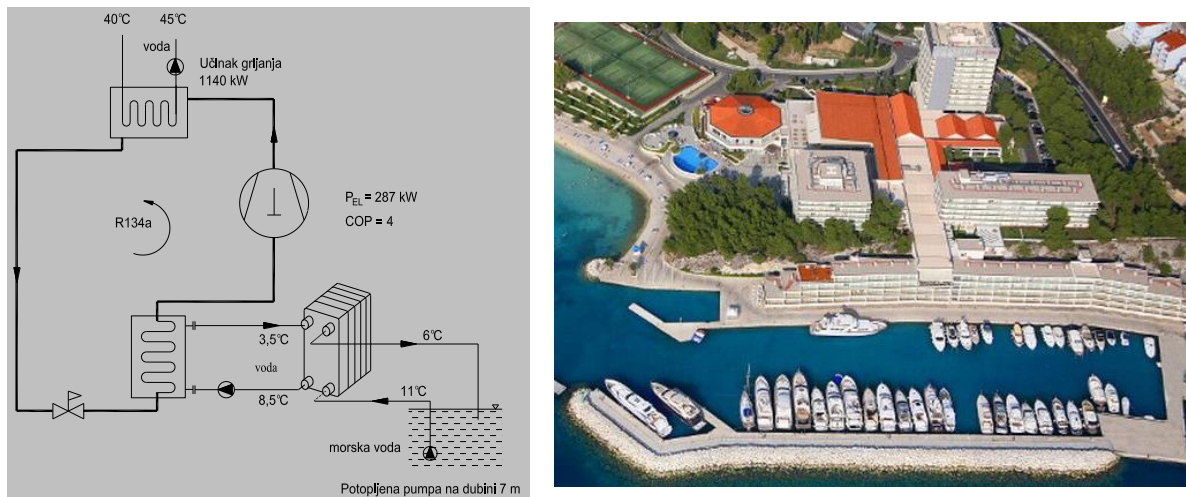
Najveći sustav dizalica topline koje koriste morsku vodu kao toplinski izvor ili ponor nalazi se u Ropsten-u u Švedskoj te se koristi za daljinsko grijanje i hlađenje grada Stockholm-a. Sustav ogrjevnog učina 250 MW pokriva 60 % potreba grada Stockholm-a za toplinskom energijom. U radu je od 1987. godine te može osigurati temperaturu polaza daljinskog sustava grijanja do $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Sustav koristi procese s višestupanjskom kompresijom, a sastoji se od ukupno deset dizalica topline koje postižu faktor grijanja oko tri te mogu iskorištavati toplinu iz morske vode temperature $2 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Postoji i mogućnost direktnog daljinskog hlađenja iz mora, a tada rashladni učin iznosi 74 MW [25].



Slika 2.12 Sustav dizalica topline morska voda - voda u Ropsten-u, Švedska [25]

2.4.2. Hotel Le Méridien Lav, Split

Jedan od primjera implementacije sustava dizalica topline morska voda - voda u Republici Hrvatskoj je Hotel Le Méridien Lav u Splitu. Sustav je trinaest godina u radu te služi za grijanje i hlađenje prostora hotela. Instalirane su tri dizalice topline morska voda - voda ogrjevnog učina 1,15 MW svaka. Zahvat mora je na dubini od 7 m [26].



Slika 2.13 Sustav dizalica topline morska voda - voda u hotelu Le Méridien Lav, Split [26]

2.4.3. Hotelski kompleks Punta Skala, Petrčane

2010. godine u rad je pušten sustav dizalica topline morska voda - voda u Petrčanima kraj Zadra koji služi za grijanje i hlađenje Falkensteiner hotelskog kompleksa Punta Skala. Sustav se sastoji od tri dizalice topline koje postižu faktor grijanja i hlađenja oko 3,3. Osim grijanja prostora, dizalice topline koriste se i za pripremu potrošne tople vode. Zahvat mora je direktni i to na dubini od 15 m. Grijanje i hlađenje objekta je u potpunosti energetski neovisno [28].



Slika 2.14 Sustav dizalica topline morska voda - voda u hotelskom kompleksu Punta Skala, Petrčane [28]

2.4.4. Fornebu, Norveška

Postrojenje Rolfsbukta u Fornebu-u, Norveška prvi je sustav daljinskog grijanja i hlađenja dizalicama topline morska voda - voda koji koristi rashladnu tvar s niskim GWP-om, R1234ze. Sustav je u radu od 2012. godine, a koristi se za grijanje i hlađenje planski izgrađenog naselja s 11 000 stanovnika i 15 000 radnih mjesta. Instalirane su dvije dizalice topline ogrjevnog učina 16 MW. Energetskim planom određeno je da će se glavna toplinska opterećenja pokrivati velikim dizalicama topline, a tijekom najhladnijih razdoblja radit će i kotlovi na biogoriva [27].

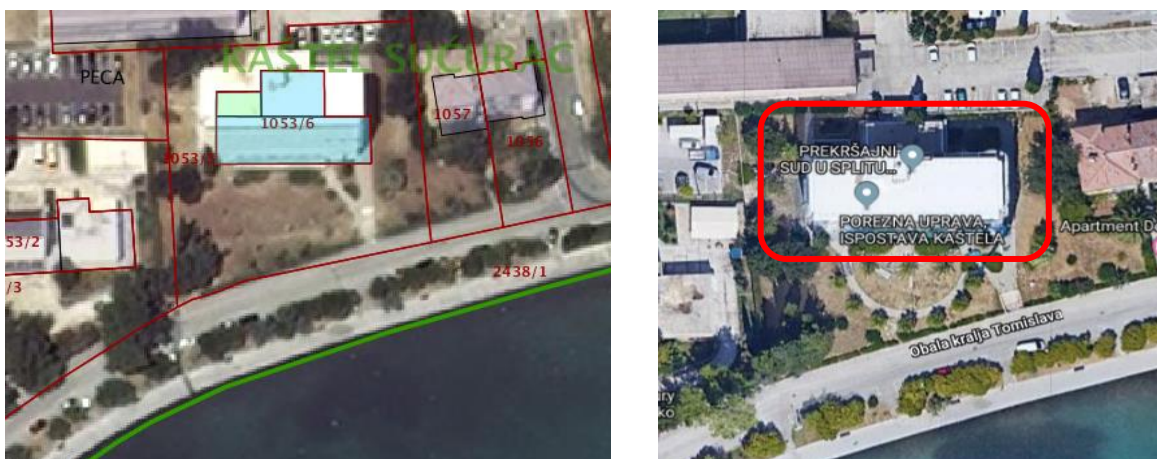


Slika 2.15 Sustav dizalica topline morska voda - voda u Fornebu-u, Norveška [27]

3. GRIJANJE I HLAĐENJE ZGRADE GRADSKE UPRAVE KAŠTEL SUĆURAC DIZALICOM TOPLINE MORSKA VODA - VODA

3.1. Postojeće stanje zgrade

Predmet studije slučaja jest primjena dizalice topline morska voda - voda u zgradi gradske uprave Grada Kaštela oznake k. č. z. br. 1053/6 k.o. Kaštel Sućurac (slika 3.1). Zgrada je izgrađena 1988. godine, a projektirana je i izvedena kao nestambena, slobodnostojeća zgrada, dvadesetak metara od mora, te sadrži sedam etaža: podrum, suteran, prizemlje i četiri kata [29].



Slika 3.1 Situacija na katastru čestica (lijevo) [30] te na satelitskom snimku (desno) [31]

U podrumu su sadržaji za okupljanje korisnika koji imaju i zasebne vanjske ulaze, prostor arhive i kotlovnica. U prizemlju su pored glavnog ulaza i šalterske službe i dio radnih prostora. Na katovima su, obostrano uz centralni hodnik, radni prostori stručnih službi i ustanova. U prostoru završne etaže, nadgrađa, su prostori gradske uprave, gradonačelnika i izvršnog odbora.

Strukturu armiranobetonske konstrukcije čine trakasti temelji, vanjski i unutrašnji zidovi te armiranobetonske ploče. Fasadni zidovi su građeni kao troslojni sendvič od armiranobetonskog platna i zida od blokova iznutra, s međuslojem od toplinske izolacije između. 2015. godine izvedena je energetska obnova vanjske ovojnice zgrade te su svi vanjski zidovi i ravni krov izolirani mineralnom vunom, a sva fasadna stolarija je zamijenjena PVC stolarijom s dvostrukim izolacijskim staklom. Stubišna staklena stijena zamijenjena je kontinuiranom fasadom od aluminijskog profila. Na četvrtom katu zgrade ugrađeni su fiksni brisoleji kao zaštita od Sunca, dok se na južnoj strani zgrade koriste unutarnje, svijetle zaštitne naprave [29].

Broj zaposlenih osoba u zgradi je 135. U grijani dio zgrade ulaze sve prostorije osim kotlovnice te okna lifta. Na slici 3.2 prikazano je postojeće stanje zgrade.



Slika 3.2 Postojeće stanje zgrade gradske uprave Grada Kaštela (prosinac, 2018.)

Parametri vanjske ovojnice zgrade te podaci o etažama zgrade dani su u tablicama 3.1 i 3.2.

Tablica 3.1 Parametri vanjske ovojnice zgrade [32]

Parametar	Vrijednost
Oplošje grijanog dijela zgrade, A [m^2]	2729,19
Ploština korisne površine zgrade, A_K [m^2]	2.692,00
Obujam grijanog dijela zgrade, V_e [m^3]	8.525,93
Ukupna površina pročelja, $A_{\text{proč}}$ [m^2]	2037,55
Ukupna površina prozora, A_{proz} [m^2]	422,51
Udio površine prozora u ukupnoj ploštini pročelja, f [-]	0,21

Tablica 3.2 Podaci o etažama zgrade gradske uprave Grada Kaštela [32]

Etaža	Površina etaže, [m ²]	Visina etaže, [m]	Obujam etaže, [m ³]
-2 PODRUM	478,00	3,34; 3,85	1.769,96
-1 SUTEREN	372,00	2,80; 3,31	1.111,94
0 PRIZEMLJE	374,00	2,80	1.047,20
1 PRVI KAT	374,00	2,80	1.047,20
2 DRUGI KAT	374,00	2,80	1.047,20
3 TREĆI KAT	374,00	2,80	1.047,20
4 ČETVRTI KAT	346,00	2,80	968,80

3.1.1. Tehničke karakteristike ovojnice grijanog dijela zgrade

U razgovoru s domarom zgrade gradske uprave te iz dobivene dokumentacije o fizici zgrade, u tablicama 3.3 i 3.4 dane su tehničke karakteristike građevnih dijelova i vanjskih otvora grijanog dijela zgrade korištene u kasnijem proračunu:

Tablica 3.3 Tehničke karakteristike građevnih dijelova grijanog dijela zgrade

Građevni dio	A, [m ²]	U, [W/(m ² K)]
Z1 - zid podruma prema tlu	150,61	0,89
Z2 - zid podruma i suterena prema okolišu	318,09	0,25
Z3 - zid od siporexa prema okolišu	732,17	0,28
Z4 - ojačanja zida od siporexa	183,03	0,32
Z5 - zid od siporexa 4. kat prema okolišu	109,24	0,22
Z6 - ojačanja zida 4. kata	27,30	0,25
Z7 - zid prema liftu	215,09	2,88
Z8 - zid prema kotlovnici	61,90	0,83
P - podovi na tlu	424,85	0,73
K - ravni krov	506,91	0,21

Tablica 3.4 Tehničke karakteristike vanjskih otvora grijanog dijela zgrade

Vanjski otvor	n, [-]	A _w , [m ²]	U _w , [W/(m ² K)]
P1 - 160/140	97	2,24	1,40
P3 - 100/60	1	0,60	1,40
P4 - 300/235	3	7,05	1,40
P5 - 400/235	1	9,40	1,40
P6 - 60/60	21	0,36	1,40
P7 - 360/160	2	5,76	1,40
P8 - 570/160	2	9,12	1,40
P9 - 200/160	1	3,20	1,40
P10 - 300/160	15	4,80	1,40
P11 - 312/1300	1	34,50	1,40
Ulaz u sale - jug 160/295	3	4,72	1,40
Ulazna vrata - 300/210	1	6,30	3,50
Prozor kotlovnice - 140/185	2	3,30	3,50

3.1.2. Termotehnički sustavi

Grijanje zgrade gradske uprave Grada Kaštela odvija se preko centralne toplovodne kotlovnice koja je u potpuno funkcionalnom stanju sa svom potrebnom radnom i sigurnosnom armaturom. Ugrađen je kotao na ekstra lako lož ulje proizvođača Thermocrat, tip TH35TV, kapaciteta 400 kW, opremljen uljnim plamenikom proizvođača Venterm, tip 31 LVDP (slika 3.3). Projektirani temperaturni režim grijanja zgrade je 90/70 °C, a topla voda se preko grana razvoda na razdjelniku/sabirniku razvodi do ogrjevnih tijela.

Kao ogrjevna tijela unutar pojedinih prostora zgrade gradske uprave Grada Kaštela, koriste se aluminijski radijatori (slika 3.4) proizvođača Lipovica prema tablici 3.5.

Sustav grijanja nema regulaciju, već su na svim radijatorima ugrađeni termostatski ventili (slika 3.4). Budući da je zgrada smještena u primorskom dijelu Hrvatske te na samoj obali mora, sezona grijanje počinje tek početkom 12. mjeseca te traje do 3. mjeseca. Razgovorom s domarom zgrade, koji održava sustav grijanja, saznaje se kako se kotao pali u 6:00 h ujutro te se gasi u 13:00 h. Zgrada se grije od ponedjeljka do petka te je najveća potreba za toplinskom

energijom tijekom jutra, zbog pojave bure, dok se kasnije tijekom dana, zbog velikih solarnih dobitaka, kotao gasi.

Tablica 3.5 Podaci o broju i snazi instaliranih ogrjevnih tijela u zgradi gradske uprave Grada Kaštela

Model radijatora	Uk. br. članaka	Snaga po članku [W]	Uk. br. radijatora	Ukupna instalirana toplinska snaga, [kW]
Ekonomik SE 690	1346	168	142	226,13
Ekonomik SE 285	80	105	4	8,40
UKUPNO:			146	234,53

Izmjerena temperatura prostorija zgrade je za vrijeme energetskeg pregleda i obilaska zgrade (prosinac, 2018.) bila 23 - 24 °C. Nakon energetske obnove vanjske ovojnice 2015. godine, godišnja potrošnja ekstra lakog loživog ulja iznosi 15 000 - 18 000 litara, dok se prije trošilo i do 27 000 litara.



Slika 3.3 Kotlovnica zgrade gradske uprave Grada Kaštela (prosinac, 2018.)



**Slika 3.4 Ogrjevna tijela u prostorijama zgrade (lijevo) i ugrađeni termostatski ventili (desno)
(prosinac, 2018.)**

Hlađenje zgrade gradske uprave Grada Kaštela centralizirano je 2016. godine instalacijom VRV sustava koji se sastoji od šest vanjskih jedinica te dvadeset i sedam novih unutarnjih jedinica proizvođača GREE, dok su za potrebe ostalih prostorija korištene unutarnje jedinice prijašnjih lokalnih split sustava kojima se hladila zgrada (slika 3.5). Tip i učinci hlađenja vanjskih jedinica VRV sustava prikazani su u tablici 3.6.



Slika 3.5 VRV sustav zgrade gradske uprave Grada Kaštela (prosinac, 2018.)

Tablica 3.6 Tip i učinci vanjskih jedinica VRV sustava zgrade gradske uprave Grada Kaštela

Tip	Količina	Φ_{hl} , [kW]	Φ_{gr} , [kW]
Gree GWHD(56S)NM3CO	3	15,50	17,50
Gree GWHD(42)NK3AO	3	12,10	13,00
UKUPNO:	6	82,80	91,5

Sezona hlađenja počinje u 4. mjesecu te traje do 10. mjeseca. Tijekom sezone hlađenja, VRV sustav radi tijekom cijelog radnog vremena gradske uprave Grada Kaštela (07:00 - 15:00 h).

Konferencijske sale, koje se nalaze u podrumu zgrade gradske uprave Grada Kaštela, imaju zaseban sustav grijanja i hlađenja preko dva klima ormara proizvođača LTH Škofja Loka, tip 155 Z (slika 3.6), od kojih je samo jedan u funkciji. Rad klima ormara je gotovo pa zanemariv budući da radi svega deset puta po pet sati u cijeloj godini.



Slika 3.6 Klima ormar u zgradi gradske uprave Grada Kaštela (prosinac, 2018.)

3.2. Proračun toplinskog i rashladnog opterećenja zgrade gradske uprave Grada Kaštela

Uz sve navedene najbitnije ulazne podatke, proveden je proračun toplinskog i rashladnog opterećenja zgrade prema kojemu će se moći odabrati oprema, tj. dizalica topline, koja će zadovoljavati potrebe zgrade te s obzirom na koju će se moći provesti tehno - ekonomska analiza.

3.2.1. Proračun toplinskog opterećenja [33]

Proračun toplinskog opterećenja zgrade gradske uprave Grada Kaštela proveden je prema normi HRN EN 12831 u računalnom programu IntegraCAD. Zbog kompleksnosti i veličine zgrade (7 etaža, 140 prostorija), u nastavku poglavlja prikazan je samo pojednostavljeni postupak proračuna toplinskih gubitaka zgrade dok su dobiveni rezultati prikazani u tablici 3.8 na kraju poglavlja.

Toplinsko opterećenje zgrade računa se prema:

$$\Phi_{HL} = \sum \Phi_{T,i} + \sum \Phi_{V,i} + \sum \Phi_{RH,i} \quad [W] \quad (3.1)$$

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]

Unutarnja i vanjska projektne temperatura dane su u tablici 3.7:

Tablica 3.7 Projektne temperature proračuna toplinskog opterećenja

Opis	Oznaka	Iznos	Jedinica
Vanjska projektne temperatura za Split, Marjan	ϑ_e	-4	[°C]
Unutarnja projektne temperatura	ϑ_{int}	20	[°C]

3.2.1.1. Toplinski gubici

TRANSMISIJSKI TOPLINSKI GUBICI

Transmisijski toplinski gubici pojedine prostorije zgrade računaju se prema izrazu:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\vartheta_{int,i} + \vartheta_e) \quad [W] \quad (3.2)$$

gdje su:

- $H_{T,ie}$ - koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu, [W/K]

- $H_{T,iue}$ - koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu, [W/K]
 $H_{T,ig}$ - stacionarni koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema tlu, [W/K]
 $\vartheta_{int,i}$ - unutarnja projektana temperatura grijanog prostora, [°C]
 ϑ_e - vanjska projektana temperatura, [°C]

Transmisijski gubici prema vanjskom okolišu

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

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k U_k e_k + \Delta U_k \quad [\text{W/K}] \quad (3.3)$$

gdje su:

- A_k - površina plohe "k" (zid, prozor, vrata, strop, pod) kroz koju prolazi toplina, [m²]
 U_k - koeficijent prolaza topline građevnog elementa "k", [W/(m²K)]
 ΔU_k - dodatak za toplinske mostove, [W/(m²K)]
 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

Transmisijski gubici kroz negrijane prostore

Budući da se u zgradama ne griju sve prostorije, u ovom slučaju okno lifta i kotlovnica, javlja se temperaturna razlika između grijanih i negrijanih prostorija, a time se uspostavlja i toplinski tok, tj. transmisijski gubici prema negrijanim prostorijama. Transmisijski gubici kroz negrijane prostore računaju se prema:

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k U_k b_u + \Delta U_k \quad [\text{W/K}] \quad (3.4)$$

gdje je:

- b_u - faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir temperaturu negrijanog prostora i vanjsku projektanu temperaturu, [-]

Transmisijski gubici prema tlu

Budući da 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:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum_k A_k U_{equiv,k} \right) \cdot G_W \quad [W/K] \quad (3.5)$$

gdje su:

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

$$f_{g2} = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_{m,e}}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} \quad [-] \quad (3.6)$$

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

VENTILACIJSKI TOPLINSKI GUBICI

Ventilacijski toplinski gubici pojedine prostorije računaju se prema izrazu:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\vartheta_{int,i} - \vartheta_e) \quad [W] \quad (3.7)$$

gdje su:

- $H_{V,i}$ - koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka, $[W/K]$
- $\vartheta_{int,i}$ - unutarnja projektna temperatura grijanog prostora, $[^{\circ}C]$
- ϑ_e - vanjska projektna temperatura, $[^{\circ}C]$

Koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka računa se prema:

$$H_{V,i} = V_i \cdot \rho \cdot c_p \quad [W/K] \quad (3.8)$$

gdje su:

- V_i - protok zraka u grijani prostor, [m³/s]
 ρ - gustoća zraka pri $\vartheta_{int,i}$, [kg/m³]
 c_p - specifični toplinski kapacitet zraka pri $\vartheta_{int,i}$, [J/(kgK)]

Budući da se u ovom primjeru radi o zgradi bez sustava ventilacije, pokazat će se postupak računanja protoke zraka V_i bez ventilacijskog sustava. Kao posljedica razlike tlakova unutrašnjosti zgrade i vanjskog okoliša, dolazi do infiltracije vanjskog zraka u prostorije kroz zazor, dok je ujedno potrebno i izmjenjivati zrak u prostoriji iz higijenskih razloga (provjetravanje). Rezultat gore navedenoga su ventilacijski toplinski gubici. Protok zraka kod zgrade bez ventilacijskog sustava opisuje sljedeći izraz:

$$V_i = \max(V_{inf,i}, V_{min,i}) \quad (3.9)$$

gdje su:

- $V_{inf,i}$ - maksimalni protok zraka u prostoriju uslijed infiltracije kroz zazor, [m³/h]
 $V_{min,i}$ - minimalan higijenski protok zraka, [m³/h]

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

$$\begin{aligned}
 V_{inf,i} &= 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \quad [\text{m}^3/\text{h}] & V_{inf,i} \\
 V_{min,i} &= n_{min} \cdot V_i \quad [\text{m}^3/\text{h}] & (3.10)
 \end{aligned}$$

gdje su:

- V_i - volumen prostorije, [m³]
 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), [h⁻¹]
 e_i - koeficijent zaštićenosti, uzima u obzir utjecaj vjetrova odnosno zaštićenost zgrade i broj otvora prema okolišu, [-]
 ε_i - korekcijski faktor za visinu, uzima u obzir različit odnos tlakova sa povećanjem visine iznad okolnog tla, [-]
 n_{min} - minimalan broj izmjena zraka (ovisi o tipu prostorije, a odabiru se preporučene vrijednosti iz tablice dane u HRN EN 12831), [h⁻¹]

TOPLINSKI GUBICI ZBOG PREKIDA GRIJANJA

Budući da se u ovom radu razmatra zgrada velike masivnosti s vanjskim armirano - betonskim zidovima debljine ≥ 20 cm te masivnim unutarnjim pregradnim zidovima, pretpostavlja se da je temperaturni pad prostorija zgrade tijekom prekida grijanja manji od 1 K te se toplinski gubici zbog prekida grijanja ne uzimaju u obzir.

3.2.1.2. Opis postupka proračuna toplinskih gubitaka prema HRN EN 12831 u računalnom programu IntegraCAD

Proračun toplinskog opterećenja proveden je u računalnom programu IntegraCAD. Ulazni podaci koje je bilo potrebno unijeti (unutarnja projektna temperatura pojedine prostorije, vanjska projektna temperatura te srednja vanjska temperatura, visina katova) prikazani su na slici 3.7 i 3.8.

The screenshot displays the IntegraCAD software interface. On the left, there are input fields for 'Kat:' (Floor) with a diagram, 'Debljina stropa (m)' (Ceiling thickness) set to 0.4, 'Visina kata (m)' (Floor height) set to 2.8, and 'Visina od tla (m)' (Height from ground) set to 0.2. On the right, the 'Postavke crteža' (Drawing settings) section includes 'Staza podloge' (Base line) set to 'sve.dwg', 'Mjerilo' (Scale) set to 1, and 'Visina teksta' (Text height) set to 50. Below this, the 'Oznake elemenata' (Element labels) section shows 'Oznaka kata' (Floor label) as 'K', 'Oznaka stana' (Apartment label) as 'S', and 'Oznaka prostorije' (Room label) as 'P', with radio buttons for 'po objektu' (per object) and 'po katu' (per floor). A 'Postavi' (Set) button is next to each. A 'Prosljedi visinu' (Pass height) button is at the bottom. Below the settings is a table with 13 columns: Oznaka, Prostorija, A [m²], tu (°C), Qn (W), Qinst (W), Qost (W), Qi(dvo) (W), Qi(jed) (W), Qi(pod) (W), Qi(zid) (W), and Qi(fc) (W). The table lists 13 rooms and a total row.

Oznaka	Prostorija	A [m²]	tu (°C)	Qn (W)	Qinst (W)	Qost (W)	Qi(dvo) (W)	Qi(jed) (W)	Qi(pod) (W)	Qi(zid) (W)	Qi(fc) (W)
1	P1 Stepenište	18,57	10	673	0	- 673	0	0	0	0	0
2	P2 Stepenište	35,20	10	691	0	- 691	0	0	0	0	0
3	P3 Kuhinja	9,84	20	885	0	- 885	0	0	0	0	0
4	P4 Garderoba	66,00	20	3207	0	- 3207	0	0	0	0	0
5	P5 WC	10,62	20	506	0	- 506	0	0	0	0	0
6	P6 Stepenište	12,72	10	233	0	- 233	0	0	0	0	0
7	P7 WC	19,27	20	966	0	- 966	0	0	0	0	0
8	P8 Stepenište	6,85	10	46	0	- 46	0	0	0	0	0
9	P9 Konferencijska soba	39,67	20	1318	0	- 1318	0	0	0	0	0
10	P10 Hodnik	68,44	15	1103	0	- 1103	0	0	0	0	0
11	P11 Konferencijska soba	60,48	20	1765	0	- 1765	0	0	0	0	0
12	P12 Konferencijska soba	41,79	20	1499	0	- 1499	0	0	0	0	0
13	P13 Konferencijska soba	136,27	20	4192	0	- 4192	0	0	0	0	0
14											
15											
16	Ukupno	525,72		17084	0	- 17084					

Slika 3.7 Ulazni podaci proračuna toplinskih gubitaka u IntegraCAD programu

Gubici topline

Vanjska projektna temperatura (°C): -4

Središnja godišnja temperatura (°C): 15

Klasa zaštićenosti: Nezaštićen tip

Tip zgrade: Ostale zgrade

Stupanj zabrtvljenosti: Srednji

Br. izmjena zraka cijele zgrade n50: 2 <- 5 6

Konstrukcija: Teška

Dubina podzemnih voda (m): 5

Volumen zgrade (m³): 8525,93

V ex (m³/h): 0

V su (m³/h): 0

Parametar B' za zgradu

P (m): 117,12

Ag (m²): 412,41

B': 7,04

Slika 3.8 Ulazni podaci proračuna toplinskih gubitaka u IntegraCAD programu

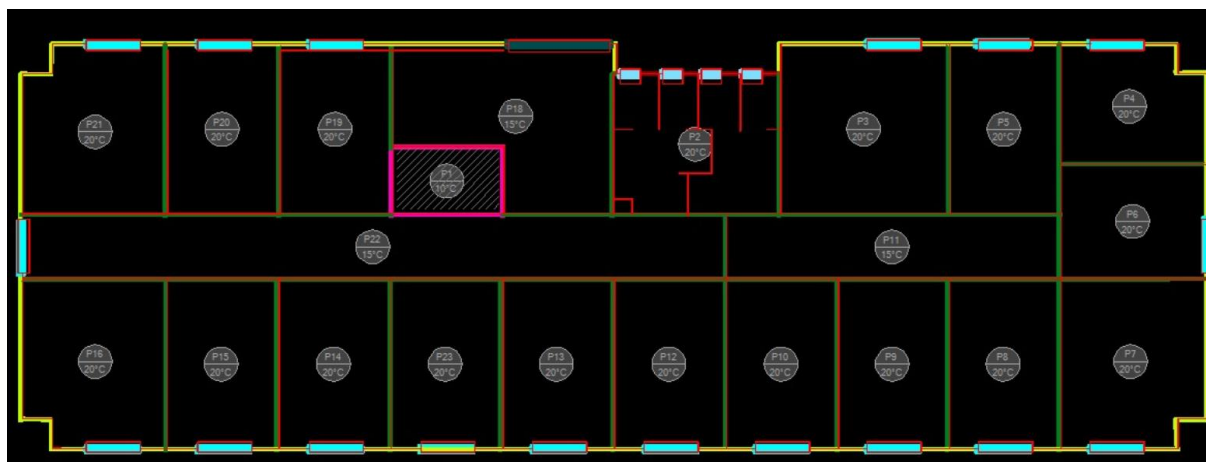
Nakon unesenih općenitih podataka za proračun gubitaka topline, potrebno je unijeti sve koeficijente prolaza topline postojećih građevnih dijelova (tablica 3.3 i 3.4) kao što je prikazano na slici 3.9.

Oznaka	Vrsta	Ra (m²K/W)	Ri (m²K/W)	U (W/m²K)	DUŽ (m)	Visina (m)	Debljina (m)
1 Z3	Vanjski zid	3,90	0,13	0,248	0,00	0,00	0,00
2 Z4	Vanjski zid	3,00	0,13	0,319	0,00	0,00	0,00
3 Z7	Unutarnji zid	0,23	0,13	2,778	0,00	0,00	0,00
4 UZ	Unutarnji zid	0,20	0,13	3,030	0,00	0,00	0,00
5 P1	Prozor	0,71	0,00	1,400	1,60	1,40	0,00
6 P11	Prozor	0,00	0,00	1,400	3,12	2,60	0,00
7 P6	Prozor	0,00	0,00	1,400	0,60	0,60	0,00
8 S	Strop	0,85	0,13	1,020	0,00	0,00	0,00
9 Z2	Vanjski zid	3,90	0,13	0,248	0,00	0,00	0,00
10 P3	Prozor	0,00	0,00	1,400	1,00	0,60	0,00
11 P4	Prozor	0,00	0,00	1,400	3,00	2,35	0,00
12 P5	Prozor	0,00	0,00	1,400	4,00	2,35	0,00
13 UV1	Vrata	0,00	0,00	3,500	3,00	2,10	0,00
14 K	Strop	4,76	0,13	0,210	0,00	0,00	0,00
15 Z8	Unutarnji zid	0,13	0,13	0,830	0,00	0,00	0,00
16 Z9	Vanjski zid	1,16	0,13	0,860	0,00	0,00	0,00
17 Z1	Vanjski zid	1,00	0,13	0,885	0,00	0,00	0,00

Slika 3.9 Koeficijenti prolaza topline građevnih dijelova u IntegraCAD programu

Kada su uneseni koeficijenti za pojedine građevne elemente (zidove, vrata, prozore), u CAD dijelu programa se crtaju arhitektonski nacrti katova i prostorija. Arhitektonske podloge, u dwg

formatu, se, prethodno, učitaju u program te služe kao baza za nacрте. Konačan rezultat jednog dijela kata, s iscrtanim konturama zidova, prozora i vrata te prepoznatim prostorijama prikazan je na slici 3.10.



Slika 3.10 Arhitektonski nacrt u IntegraCAD-u

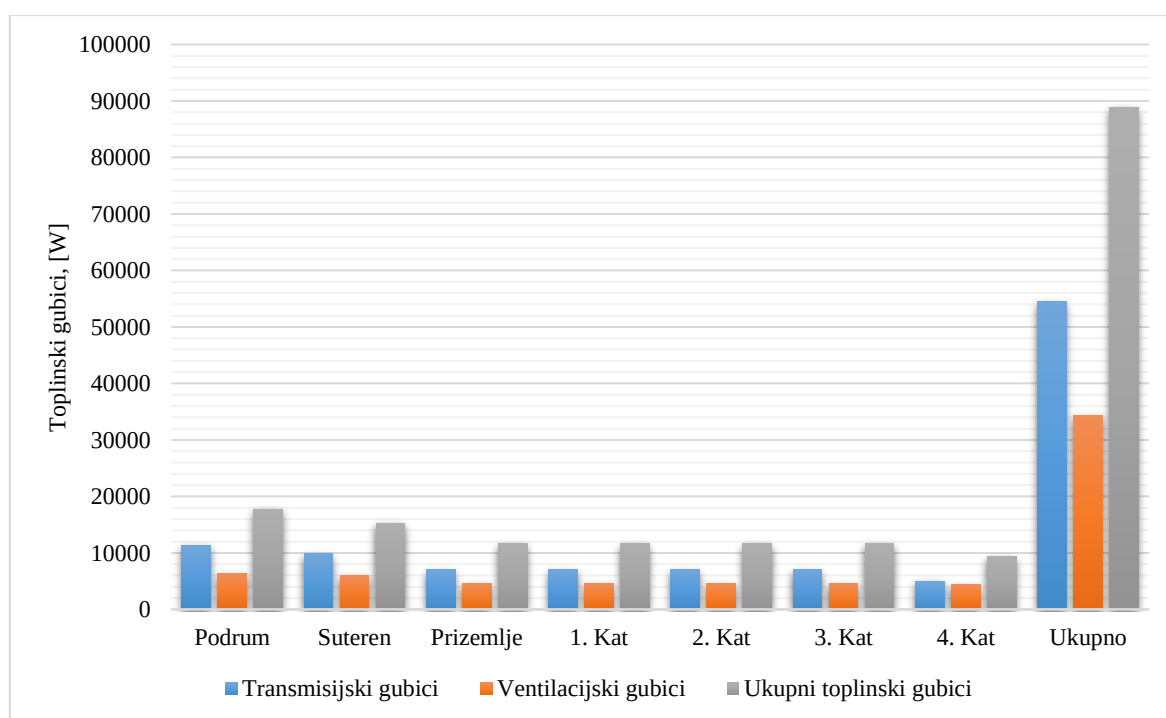
3.2.1.3. Rezultati proračuna toplinskih gubitaka prema HRN EN 12831

U tablici 3.8 prikazane su vrijednosti transmisijskih, ventilacijskih i ukupnih toplinskih gubitaka zgrade gradske uprave Grada Kaštela. Vrijednosti su prikazane za svaku etažu zgrade, a najveće su za podrum zgrade budući da pod i zid podruma prema tlu nisu toplinski izolirani zbog čega su transmisijski toplinski gubici veliki. Ukupno toplinsko opterećenje zgrade gradske uprave Grada Kaštela iznosi $\Phi_{Gr} = 88,87$ [kW].

Tablica 3.8 Rezultati proračuna toplinskih gubitaka

Etaža	Φ_T , [W]	Φ_V , [W]	Φ_{Gr} , [W]	Φ_{Gr} , [kW]	Φ_{Gr} , [W/m ²]
Podrum	11365,00	6335,00	17700,00	17,70	6,81
Suteren	9863,00	5936,00	15259,00	15,26	5,88
Prizemlje	7083,00	4531,00	11614,00	11,61	4,47
1. Kat	7083,00	4531,00	11614,00	11,61	4,47
2. Kat	7083,00	4531,00	11614,00	11,61	4,47
3. Kat	7083,00	4531,00	11614,00	11,61	4,47
4. Kat	4960,00	4380,00	9340,00	9,34	3,60
Ukupno	54520,00	34347,00	88867,00	88,87	34,22

Na slici 3.11 grafički su prikazane vrijednosti toplinskih gubitaka zgrade gradske uprave Grada Kaštela.



Slika 3.11 Grafički prikaz rezultata proračuna toplinskih gubitaka

3.2.2. Proračun rashladnog opterećenja [34]

Proračun rashladnog opterećenja zgrade gradske uprave Grada Kaštela proveden je prema normi VDI 2078 u računalnom programu IntegraCAD. Zbog kompleksnosti i veličine zgrade (7 etaža, 140 prostorija), u nastavku poglavlja prikazan je samo pojednostavljeni postupak proračuna toplinskih dobitaka zgrade dok su dobiveni rezultati prikazani u tablici 3.11 na kraju poglavlja.

Toplinski dobici se u sezoni hlađenja dijele na:

1. Unutrašnji toplinski dobici - dobitak topline od ljudi, rasvjete, strojeva, susjednih prostorija, itd., Φ_i , [W]
2. Vanjski toplinski dobici - dobitak topline kroz zidove i staklene plohe transmisijom i zračenjem, Φ_A , [W]

Unutarnja i vanjska projektna temperatura za proračun rashladnog opterećenja dane su u tablici 3.9:

Tablica 3.9 Projektne temperature proračuna rashladnog opterećenja

Opis	Oznaka	Iznos	Jedinica
Vanjska projektna temperatura za Split, Marjan	ϑ_e	34	[°C]
Unutarnja projektna temperatura	ϑ_{int}	24	[°C]

3.2.2.1. Toplinski dobici

UNUTRAŠNJI TOPLINSKI DOBICI

Iznos unutrašnjih toplinskih dobitaka jednak je sumi svih dobitaka kojima je izvor unutar pojedine prostorije odnosno zgrade te se računa prema sljedećem izrazu:

$$\Phi_i = \Phi_P + \Phi_B + \Phi_M + \Phi_R + \Phi_G + \Phi_C \quad [\text{W}] \quad (3.11)$$

gdje su:

- Φ_P - dobitak topline koju odaju ljudi, [W]
- Φ_B - dobitak topline od rasvjete, [W]
- Φ_M - topline koju odaju različiti strojevi i električni uređaji, [W]
- Φ_R - dobitak topline od susjednih prostorija, [W]
- Φ_G - dobitak/gubitak topline od predmeta koji prolaze kroz prostoriju, [W]
- Φ_C - ostali dobici topline, [W]

Kako bi se mogli izračunati svi navedeni toplinski dobici, potrebno je poznavati broj ljudi koji boravi u pojedinim prostorijama uz razinu fizičke aktivnosti istih, snage uređaja, snagu instalirane rasvjete te temperature okolnih prostorija. Uglavnom su to tablični podaci koji su funkcija temperature, instalirane snage te broja ljudi, a dani su u samoj normi. Kao primjer, u tablici 3.10 prikazane su vrijednosti topline koju odaju ljudi prema normi VDI 2078.

Tablica 3.10 Vrijednosti topline koju odaju ljudi prema VDI 2078 [34]

		[°C]	18	20	22	23	24	25	26
Ljudi koji ne vrše fizički rad	$\Phi_{osjetna}$	[W]	100	95	90	85	75	75	70
	$\Phi_{latentna}$	[W]	25	25	30	35	40	40	45
	Φ_{ukupna}	[W]	125	120	120	115	115	115	115
	od. v. p.*	[g/h]	35	35	40	50	60	60	65
Srednje težak rad	Φ_{ukupna}	[W]	270	270	270	270	270	270	270
	$\Phi_{osjetna}$	[W]	155	140	120	115	110	105	95

*Odvodnja vodene pare

Iz prethodne tablice se očitana vrijednost topline koju odaju ljudi, Φ_{ukupna} , pomnoži s brojem ljudi koji boravi u pojedinoj prostoriji, N , te se dobiva ukupna vrijednost topline koju odaju ljudi:

$$\Phi_P = N \cdot \Phi_{ukupna} \quad [W] \quad (3.12)$$

Jednaki postupak vrijedi i za ostale toplinske dobitke od rasvjete i uređaja, no množi se broj uređaja ili rasvjete s karakterističnom toplinom koju odaju.

Ukupan broj zaposlenih u zgradi gradske uprave je 135, a raspoređeni su po prostorijama ovisno o veličini prostorije. Broj uređaja i rasvjete u prostoriji je pretpostavljen ovisno o tipu prostorije.

VANJSKI TOPLINSKI DOBICI

Vanjski izvor topline predstavlja Sunce, tj. solarna energija Sunca koja daje najveće toplinske dobitke pojedine prostorije/zgrade. Ukupni vanjski toplinski dobici računaju se prema sljedećem izrazu:

$$\Phi_A = \Phi_W + \Phi_F = \Phi_W + (\Phi_T + \Phi_S) \quad [W] \quad (3.13)$$

gdje su:

Φ_W - dobitak topline transmisijom kroz zidove, [W]

Φ_F - dobitak topline kroz staklene površine, [W]

Φ_T - dobitak topline kroz staklene površine (prozore) transmisijom, [W]

Φ_S - dobitak topline kroz staklene površine (prozore) zračenjem, [W]

Transmisija topline kroz zidove

Transmisijski toplinski dobici kroz zidove su dobici koji prodiru izvana kroz zidove i krov prema unutra. Toplinski tok transmisijom kroz zidove i krov opisan je sljedećim izrazom:

$$\Phi_W = A \cdot U \cdot (\vartheta_e - \vartheta_{int}) \quad [\text{W}] \quad (3.14)$$

gdje su:

A - površina plohe pojedine prostorije, [m²]

U - koeficijent prolaza topline pojedine plohe, [W/(m²K)]

ϑ_e - vanjska projektna temperatura, [°C]

ϑ_{int} - unutarnja projektna temperatura hlađenog prostora, [°C]

Dobitak topline kroz staklene površine transmisijom

Transmisijski toplinski dobici kroz staklene površine računaju se prema:

$$\Phi_T = A \cdot U \cdot (\vartheta_e - \vartheta_{int}) \quad [\text{W}] \quad (3.15)$$

Izraz za transmisijske toplinske dobitke kroz staklene površine jednak je izrazu za transmisijske toplinske dobitke kroz zidove, međutim koeficijenti prolaza topline kod staklenih površina su puno veći nego kod zidova.

Dobitak topline kroz staklene površine zračenjem

Toplinski dobici kroz staklene površine zračenjem se opisuju sljedećim izrazom:

$$\Phi_S = I_{\max} \cdot A_S \cdot b + I_{dif,\max} \cdot A_{sjena} \cdot b \quad [\text{W}] \quad (3.16)$$

gdje su:

$I_{\max}$ - maksimalna vrijednost ukupnog Sunčevog zračenja, [W/m²]

A_S - osunčana površina stakla (prima direktno i difuzno Sunčevo zračenje), [m²]

- $I_{dif,max}$ - maksimalna vrijednost difuznog Sunčevog zračenja, [W/m²]
 A_{sjena} - zasjenjena površina stakla (prima samo difuzno Sunčevo zračenje), [m²]
 b - koeficijent propusnosti Sunčevog zračenja, [-]

Koeficijent propusnosti Sunčevog zračenja računa se prema:

$$b = F_W \cdot g_{\perp} \cdot F_C \quad [-] \quad (3.17)$$

gdje su:

- F_W - faktor smanjenja zbog ne okomitog upada sunčevog zračenja, [-]
 $g_{\perp}$ - stupanj propuštanja ukupnog zračenja okomito na ostakljenje kada pomično zasjenjenje nije uključeno, [-]
 F_C - faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja (žaluzine, rolete), [-]

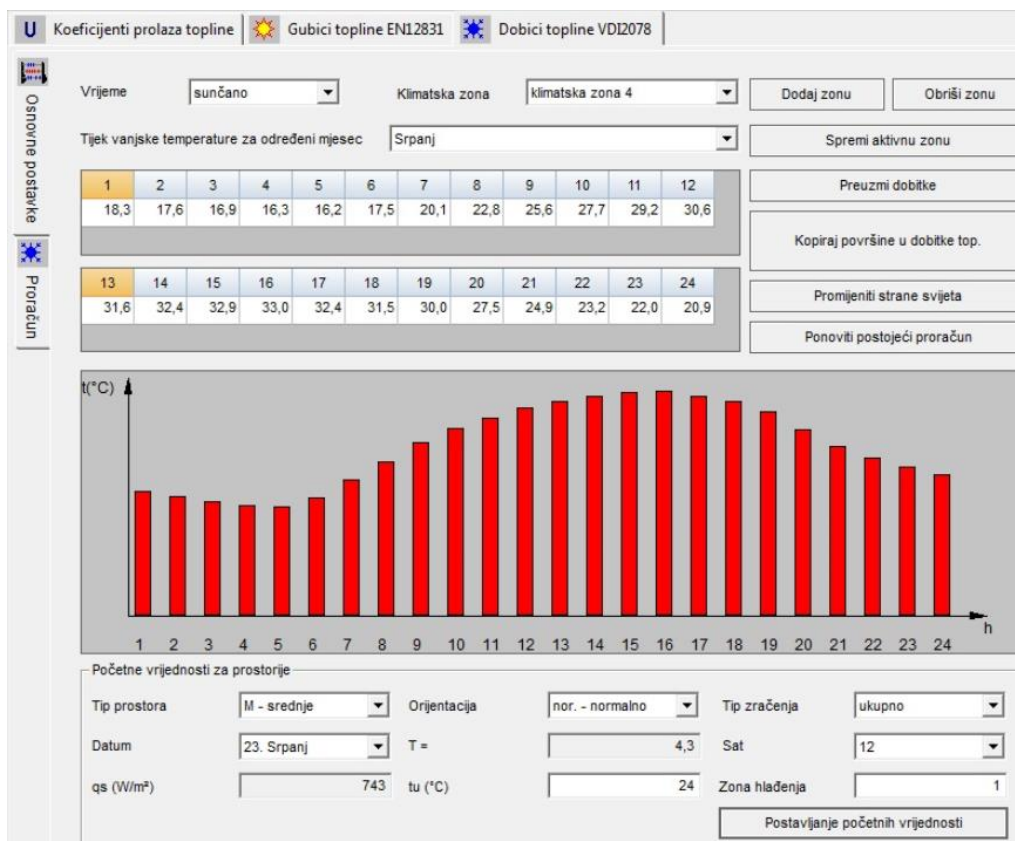
Razmatrana zgrada kao zaštitu od Sunčevog zračenja ima pomična, svjetla, platnena zasjenjenja dok su na 4. katu zgrade ugrađeni fiksni brisoleji.

Ukupna površina stakla se dobiva sumom zasjenjene i osunčane površine stakla:

$$A = A_S + A_{sjena} \quad [m^2] \quad (3.18)$$

3.2.2.2. Opis postupka proračuna toplinskih dobitaka prema VDI 2078 u računalnom programu IntegraCAD

Proračun rashladnog opterećenja prema VDI 2078 proveden je u računalnom programu IntegraCAD. Na slici 3.12 prikazani su odabrani ulazni podaci za proračun. Kao najtopliji mjesec u godini odabran je mjesec srpanj klimatske zone 4 budući da raspodjela temperature u karakterističnom danu tog mjeseca najbolje opisuje tijek vanjske temperature najtoplijeg dana u godini za lokaciju Kaštel Sućurac.



Slika 3.12 Ulazni podaci proračuna toplinskih dobitaka u računalnom programu IntegraCAD

Za svaku prostoriju zgrade odabire se unutarnja projektna temperatura hlađenja ($t_u = 24\text{ °C}$), a potom je potrebno unijeti unutarnje toplinske dobitke pojedine prostorije unošenjem snage uređaja i rasvjete u prostorijama. Površine prostorija i koeficijenti prolaza topline pojedinih građevnih dijelova se prenose iz proračuna toplinskih gubitaka. Program temeljem odabrane klimatske zone, geografske širine i dužine određuje visinu i azimut Sunca. Na slikama 3.13 i 3.14 prikazan je proračun toplinskih dobitaka jedne prostorije te grafički prikaz istih.

U Koeficijenti prolaza topline ☀ Gubici topline EN12831 ❄ Dobici topline VDI2078

Osnovne postavke

Ulazni podaci za prostoriju

Tip prostora: M - srednje a (m): 19,02
 Orijentacija: nor. - normalno b (m): 1
 Tip zračenja: ukupno c (m): 2,55
 Datum: 23. Srpanj V (m³): 48,5
 T: 4,3 O (m²): 140,14
 Sat: 12 Ap (m²): 19,02
 qs (W/m²): 743 tu (°C): 24
 Zona hlađenja: 1

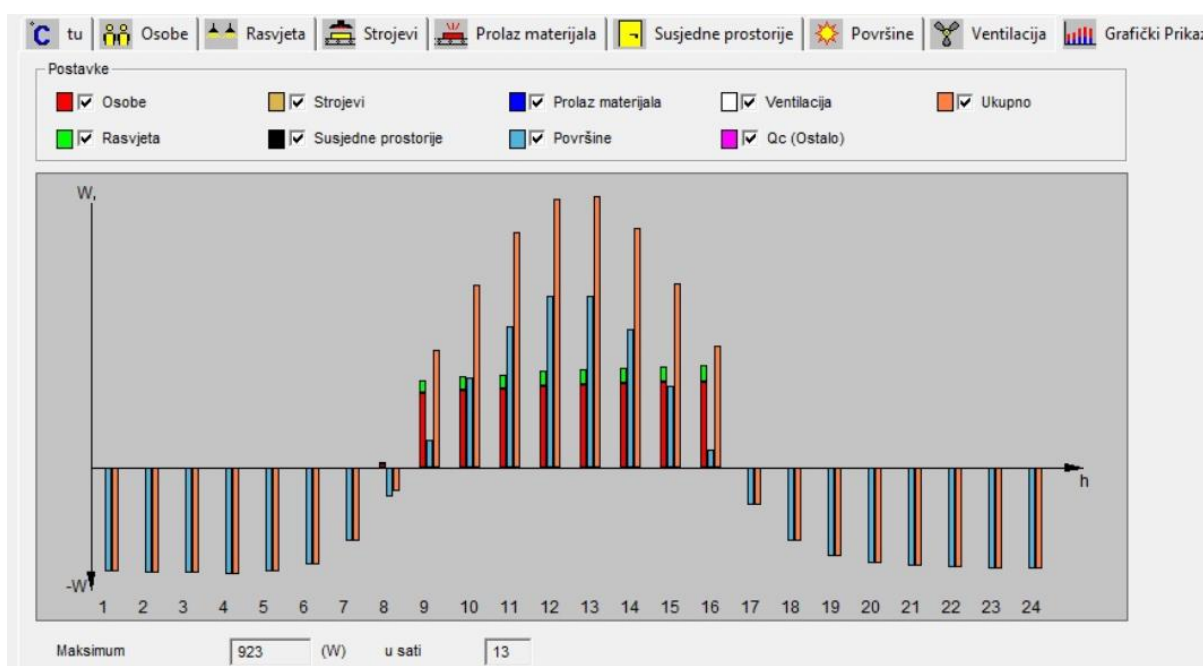
Izlazni podaci za prostoriju

	Suho	Vlažno		Suho	Vlažno
Qp (Osobe)(W)	182	97	Qw (Zidovi i krovovi)(W)	-150	
Qb (Rasvjeta)(W)	26		Qt (Transmisija prozor)(W)	0	
Qm (Strojevi)(W)	0		Qs (Zračenje prozora)(W)	324	
Qg (Prolaz mat.)(W)	0		Qlf(Infiltracija)(W)	0	0
Qr (Transmisija)(W)	0		Ukupno (W)	382	97
Qc (Ostalo)(W)	0	0	Quk (W)	479	
			Quk (W/m²)		9

Kopiraj iz prostorije...

tu Osobe Rasvjeta Strojevi Prolaz materijala Susjedne prostorije Površine Ventilacija Grafički Prikaz

Slika 3.13 Proračun jedne prostorije toplinskih dobitaka



Slika 3.14 Grafički prikaz toplinskih dobitaka za jednu prostoriju

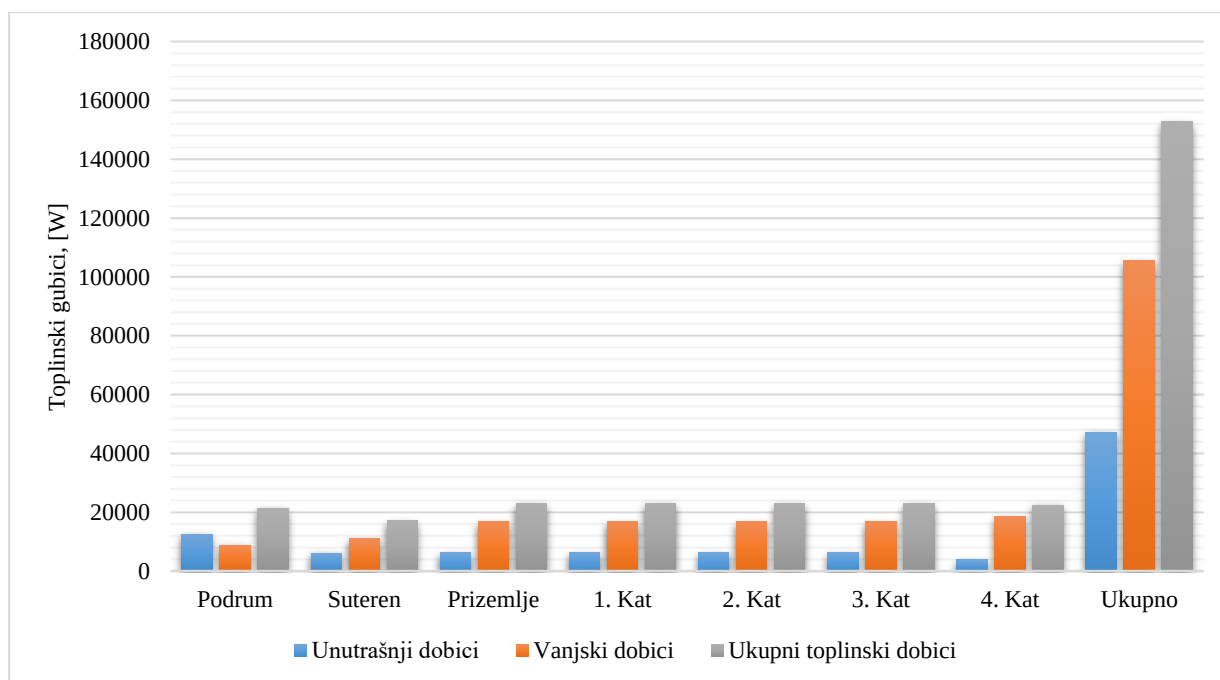
3.2.2.3. Rezultati proračuna toplinskih dobitaka prema VDI 2078

U tablici 3.11 prikazane su vrijednosti unutarnjih, vanjskih i ukupnih toplinskih dobitaka zgrade gradske uprave Grada Kaštela. Vrijednosti su prikazane za svaku etažu zgrade, a najveće su za podrum zgrade, gdje se nalaze konferencijske dvorane te se pretpostavlja kako je u tim prostorijama akumulacija ljudi najveća pa su stoga unutarnji toplinski dobici veliki, i za etaže na kojima se nalaze uredi budući da je na tim etažama akumulacija ljudi i uređaja velika te je veliki broj prozirnih elemenata etaža prizemlje - 4. kat okrenut prema jugu. Ukupno rashladno opterećenje zgrade gradske uprave Grada Kaštela iznosi $\Phi_{Hl} = 152,71$ [kW].

Tablica 3.11 Rezultati proračuna toplinskih dobitaka

Etaža	Φ_i , [W]	Φ_A , [W]	Φ_{Hl} , [W]	Φ_{Hl} , [kW]	Φ_{Hl} , [W/m ²]
Podrum	12452,00	8813,00	21265,00	21,27	8,19
Suteren	6124,00	10921,00	17045,00	17,05	6,56
Prizemlje	6174,00	16819,00	22993,00	22,99	8,85
1. Kat	6174,00	16819,00	22993,00	22,99	8,85
2. Kat	6174,00	16819,00	22993,00	22,99	8,85
3. Kat	6174,00	16819,00	22993,00	22,99	8,85
4. Kat	3926,00	18500,00	22426,00	22,43	8,63
Ukupno	47198,00	105510,00	152708,00	152,71	58,80

Na slici 3.15 grafički su prikazane vrijednosti toplinskih dobitaka zgrade gradske uprave Grada Kaštela.



Slika 3.15 Grafički prikaz rezultata proračuna toplinskih dobitaka

4. GODIŠNJA POTREBNA TOPLINSKA ENERGIJA ZA GRIJANJE I HLAĐENJE ZGRADE [35]

4.1. Proračun godišnje potrebne toplinske energije za grijanje

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. Izraz za potrebnu toplinsku energiju za grijanje glasi:

$$Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn} \quad [\text{kWh}] \quad (4.1)$$

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 je proveden u računalnom programu MGIPU Energetski Certifikator [v1.8.0.3] te u programskom paketu Microsoft Excel.

4.1.1. Ulazni podaci proračuna

Ulazni proračunski klimatski podaci i podaci o zgradi dani su u tablici 4.1.

Tablica 4.1 Ulazni proračunski parametri

Opis	Oznaka	Iznos	Jedinica
Srednja vanjska temperatura na godišnjoj razini	ϑ_e	16,9	[°C]
Unutarnja proračunska temperatura	ϑ_{int}	23	[°C]
Površina zidova prema vanjskom zraku	A_{zid}	1615,04	[m ²]
Površina ostakljenja	A_{pr}	422,51	[m ²]
Površina poda prema tlu	A_g	428,85	[m ²]
Ploština korisne površine zgrade	A_k	2597,23	[m ²]
Oplošje grijanog djela zgrade	A	2729,19	[m ²]
Bruto obujam	V_e	8525,93	[m ³]
Neto obujam	V	6820,74	[m ³]
Udio ploštine prozora	f	0,21	[-]

Podaci o srednjoj dozračenju sunčevoj energiji po mjesecima za nagib od 90° [MJ/m²] prikazani su u tablici 4.2. Nagib od 90° je srednji dnevni nagib upada sunčeve energije.

Tablica 4.2 Srednja dozračena sunčeva energija za proračunski period u mjesecima [MJ/m²]

Mjesec	Orijentacija				
	J	Jl, JZ	I, Z	Sl, SZ	S
Siječanj	335	263	153	64	64
Veljača	376	313	207	81	81
Ožujak	398	378	304	133	133
Travanj	339	377	360	202	168
Svibanj	330	406	440	319	208
Lipanj	316	413	480	374	211
Srpanj	342	444	504	370	210
Kolovoz	376	445	447	265	186
Rujan	418	422	358	143	140
Listopad	476	409	284	104	104
Studeni	347	276	165	68	68
Prosinac	298	232	130	57	57
Godišnje	4351	4376	3831	2181	1631

Podaci o termotehničkim sustavima:

- Način grijanja zgrade - centralno grijanje na uljni kotao s radijatorima kao ogrjevnim tijelima
- Izvori energije koji se koriste za grijanje - ekstra lako loživo ulje
- Vrsta ventilacije - prirodna
- Vođenje i regulacija sustava grijanja - minimalna (termostatski ventili)
- Karakteristike unutarnjih izvora topline - bez informacija

Vrijednosti unutarnje projektne temperature prostorija nisu veće od 4 °C stoga nema podjele na proračunske zone. Proračun se, prema normi HRN EN ISO 13790, provodi tako da se cijela zgrada tretira kao jedna zona.

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

$$Q_{H,nd,cont} = Q_{Tr} + Q_{Ve} - \eta_{H,gn} \cdot (Q_{int} + Q_{sol}) \text{ [kWh]} \quad (4.2)$$

gdje su:

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

Q_{Tr}	- izmijenjena toplinska energija transmisijom za proračunsku zonu, [kWh]
Q_{Ve}	- potrebna toplinska energija za ventilaciju/klimatizaciju za proračunsku zonu, [kWh]
$\eta_{H,gn}$	- faktor iskorištenja toplinskih dobitaka, [-]
Q_{int}	- unutarnji toplinski dobici zgrade (ljudi, uređaji, rasvjeta), [kWh]
Q_{sol}	- toplinski dobici od Sunčeva zračenja, [kWh]

Vrijednosti rezultata za pojedini mjesec prikazane su na kraju poglavlja 4 u tablici 4.10. Slijedi proračun toplinskih gubitaka i dobitaka zgrade gradske uprave.

4.1.2. Toplinski gubici

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

$$Q_{Tr} = \frac{H_{Tr}}{1000} \cdot (\vartheta_{int,H} - \vartheta_{e,m}) \cdot t \text{ [kWh]} \quad (4.3)$$

$$Q_{Ve} = \frac{H_{Ve}}{1000} \cdot (\vartheta_{int,H} - \vartheta_{e,m}) \cdot t \text{ [kWh]} \quad (4.4)$$

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, $\vartheta_{int,H} = 23$ [°C]
$\vartheta_{e,m}$	- srednja vanjska temperatura za proračunski period, [°C]
t	- trajanje proračunskog razdoblja, [h]

U nastavku poglavlja prikazan je proračun koeficijenata transmisijske i ventilacijske izmjene topline, a konačni rezultati prikazani su u tablici 4.9 na kraju poglavlja.

Izmijenjena toplinska energija transmisijom

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

$$H_{Tr} = H_D + H_U + H_A + H_{g,m} \quad [\text{W/K}] \quad (4.5)$$

gdje su:

- H_D - koeficijent transmisijske izmjene topline prema vanjskom okolišu, [W/K]
- H_U - koeficijent transmisijske izmjene topline kroz negrijani/nehlađeni prostor prema vanjskom okolišu, [W/K]
- H_A - koeficijent transmisijske izmjene topline prema susjednoj zgradi, [W/K]
- $H_{g,m}$ - koeficijent transmisijske izmjene topline prema tlu za proračunski mjesec, [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 koeficijenata prolaska topline pojedinih građevinskih elemenata, U_K [W/(m²K)], uzimajući u obzir i dodatak za toplinske mostove:

$$H_D = \sum_k A_k (U_k + \Delta U_{TM}) \quad [\text{W/K}] \quad (4.6)$$

gdje toplinski most nije projektiran u skladu s katalogom dobrih rješenja toplinskih mostova te se uzima dodatak:

$$\Delta U_{TM} = 0,1 \quad [\text{W/(m}^2\text{K)}] \quad (4.7)$$

U tablici 4.3 prikazani su koeficijenti transmisijske izmjene topline od grijanog prostora prema vanjskom okolišu za svaki pojedini građevinski dio.

Tablica 4.3 Koeficijenti transmisije izmjene topline od grijanog prostora prema vanjskom okolišu

Dio	A_k , [m ²]	U_k , [W/(m ² K)]	H_D , [W/K]
Z2 - zid podruma i suterena prema okolišu	318,09	0,25	111,33
Z3 - zid od siporexa prema okolišu	732,17	0,28	278,22
Z4 - ojačanja zida od siporexa	183,03	0,32	76,87
Z5 - zid od siporexa 4. kata prema okolišu	109,24	0,22	34,96
Z6 - ojačanja zida 4. kata	27,3	0,25	9,56
K - ravni krov	506,91	0,21	157,14
Prozori	380,88	1,4	593,99
Ulazna vrata	6,3	3,5	22,68
Ukupno:			1262,08

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 transmisije izmjene topline prema tlu za proračunski period glasi:

$$H_{g,m} = \frac{\Phi_m}{\vartheta_{int,m} - \vartheta_{e,m}} \quad [\text{W/K}] \quad (4.8)$$

gdje su:

- Φ_m - toplinski tok izmjene topline s tlom za proračunski mjesec, [W]
- $\vartheta_{int,m}$ - unutarnja postavna temperatura za proračunski mjesec, $\vartheta_{int,H} = 23$ [°C]
- $\vartheta_{e,m}$ - srednja vanjska temperatura za proračunski mjesec, [°C]

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

$$\Phi_m = H_g(\bar{\vartheta}_{int} - \bar{\vartheta}_e) - H_{pi}(\bar{\vartheta}_{int} - \vartheta_{int,m}) + H_{pe}(\bar{\vartheta}_e - \vartheta_{e,m}) \quad [\text{W}] \quad (4.9)$$

gdje su:

- H_g - stacionarni koeficijent transmisije izmjene topline prema tlu, [W/K]
- H_{pi} - unutarnji periodički koeficijent transmisije izmjene topline, [W/K]

- H_{pe} - vanjski periodički koeficijent transmisije izmjene topline, [W/K]
 $\bar{\vartheta}_{int}$ - srednja godišnja unutarnja temperatura, $\bar{\vartheta}_{int} = 23$ [°C]
 $\bar{\vartheta}_e$ - srednja godišnja vanjska temperatura, $\bar{\vartheta}_e = 16,9$ [°C]
 $\vartheta_{int,m}$ - unutarnja temperatura za proračunski mjesec m , [°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:

$$B' = \frac{A_g}{0,5P} = \frac{428,85}{0,5 \cdot 106,8} = 8,03 \text{ [m}^2\text{]} \quad (4.10)$$

gdje su:

- A_g - površina poda, [m²]
 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:

$$d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}) = \frac{32,02}{100} + 3,5 \cdot (0,17 + 1,15 + 0) = 4,94 \text{ [m]} \quad (4.11)$$

gdje su:

- d_t - ekvivalentna debljina poda, [m]
 λ - koeficijent toplinske provodljivosti tla, uzima se $\lambda = 3,5$ [W/(mK)]
 w - ukupna debljina zida, $w = 32,02$ [cm]
 R_{si} - plošni unutarnji toplinski otpor, $R_{si} = 0,17$ [(m²K)/W]
 R_f - toplinski otpor podne konstrukcije, $R_f = 1,15$ [(m²K)/W]
 R_{se} - plošni vanjski toplinski otpor, $R_{se} = 0$ [(m²K)/W]

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

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

$$U = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi B' + d_t} \cdot \ln\left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1\right) = \frac{2 \cdot 3,5}{\pi \cdot 8,03 + 4,94} \cdot \ln\left(\frac{\pi \cdot 8,03}{4,94} + 1\right) \quad (4.12)$$

$$= 0,42 \text{ [W/(m}^2 \text{ K)]}$$

gdje su:

B' - karakteristična dimenzija poda, [m], jedn. 4.10

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

$$H_{pi} = A_g \frac{\lambda}{d_t} \sqrt{\frac{2}{\left(1 + \frac{\delta}{d_t}\right)^2 + 1}} = 428,85 \cdot \frac{3,5}{4,94} \sqrt{\frac{2}{\left(1 + \frac{4,2}{4,94}\right)^2 + 1}} \quad (4.13)$$

$$= 204,31 \text{ [W/K]}$$

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

$$H_{pe} = 0,37 \cdot P \cdot \lambda \cdot \ln\left(\frac{\delta}{d_t} + 1\right) = 0,37 \cdot 106,8 \cdot 3,5 \cdot \ln\left(\frac{4,2}{4,94} + 1\right) \quad (4.14)$$

$$= 85,10 \text{ [W/K]}$$

gdje su:

A_g - površina poda, [m²]

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

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

$$H_g = A_g \cdot (U + \Delta U_{TM}) = 428,85 \cdot (0,42 + 0,1) = 223,00 \text{ [W/K]} \quad (4.15)$$

gdje su:

A_g - površina poda, [m²]

U - koeficijent prolaska topline između unutarnjeg i vanjskog prostora,
[W/(m²K)], jedn. 4.12

ΔU_{TM} - dodatak ako toplinski most nije projektiran u skladu s katalogom dobrih rješenja toplinskih mostova

Prema jednadžbama 4.8 i 4.9 računaju se koeficijent transmisije izmjene topline prema tlu za proračunski period, $H_{g,m}$, te toplinski tok izmjene topline s tlom za proračunski mjesec, Φ_m . Dobivene vrijednosti prikazane su u tablici 4.4.

Tablica 4.4 Koeficijenti transmisije izmjene topline od grijanog prostora prema tlu

Mjesec	$\vartheta_{e,m}$, [°C]	t , [h]	Φ_m , [W]	H_{gm} , [W/K]
Siječanj	8,5	744	2084,50	143,76
Veljača	7,7	672	2152,58	140,69
Ožujak	10,4	744	1922,81	152,60
Travanj	15,3	720	1505,82	195,56
Svibanj	Ljetni mjeseci			
Lipanj				
Srpanj				
Kolovoz				
Rujan				
Listopad	15,8	744	1463,27	203,23
Studeni	11,9	720	1795,16	161,73
Prosinac	10,7	744	1897,28	154,25
Prosječno/ukupno	16,9	5088	12821,41	1151,82

Potrebna toplinska energija za ventilaciju

Izraz za potrebnu toplinsku energiju za ventilaciju/klimatizaciju zgrade glasi:

$$Q_{Ve,H} = Q_{Ve,inf} + Q_{Ve,win} + Q_{H,Ve,mech} \text{ [kWh]} \quad (4.16)$$

gdje su:

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

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

$Q_{H,Ve,mech}$ - potrebna toplinska energija u GViK sustavu kod zagrijavanja zraka, zgrada nema GViK sustav, $Q_{H,Ve,mech} = 0$ [kWh]

Potrebna toplinska energija uslijed infiltracije računa se prema:

$$Q_{Ve,inf} = \frac{H_{Ve,inf} \cdot (\vartheta_{int,m} - \vartheta_{e,m})}{1000} \cdot t \text{ [kWh]} \quad (4.17)$$

gdje su:

- t - proračunsko vrijeme za sezonu grijanja, [h]
 $H_{Ve,inf}$ - koeficijent izmjene topline uslijed infiltracije, [W/K]

Izraz za potrebnu toplinsku energiju uslijed prozračivanja glasi:

$$Q_{Ve,win} = \frac{H_{Ve,win} \cdot (\vartheta_{int} - \vartheta_e)}{1000} \cdot t \quad [\text{kWh}] \quad (4.18)$$

gdje je:

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

Koeficijent izmjene topline uslijed infiltracije računa se prema:

$$H_{Ve,inf} = \frac{n_{inf} \cdot V}{3600} \rho_a c_{p,a} = \frac{0,6 \cdot 6479,71}{3600} \cdot 1,2 \cdot 1005 = 1302,42 \quad [\text{W/K}] \quad (4.19)$$

gdje su:

- n_{inf} - broj izmjena zraka uslijed infiltracije, [h^{-1}]
 V - volumen zraka u zoni, [m^3]
 ρ_a - gustoća zraka, $\rho_a = 1,2$ [kg/m^3]
 $c_{p,a}$ - specifični toplinski kapacitet zraka, $c_{p,a} = 1005$ [$\text{J}/(\text{kgK})$]

Broj izmjena zraka uslijed infiltracije ako nema mehaničke ventilacije:

$$n_{inf} = e_{wind} \cdot n_{50} = 0,1 \cdot 6 = 0,6 \quad [-] \quad (4.20)$$

gdje su:

- e_{wind} - faktor zaštićenosti zgrade od vjetra, nezaklonjene zgrade s izloženo više od jedne fasade, $e_{wind} = 0,1$ [$-$]
 n_{50} - broj izmjena zraka pri narinutoj razlici tlaka od 50 Pa, kategorija III zrakopropusnosti zgrade, $n_{50} = 6$ [h^{-1}]

Koeficijent izmjene topline uslijed prozračivanja računa se prema:

$$H_{Ve,win} = \frac{n_{win} \cdot V}{3600} \rho_a c_{p,a} = \frac{0,92 \cdot 6479,71}{3600} \cdot 1,2 \cdot 1005 = 1997,05 \quad [\text{W/K}] \quad (4.21)$$

gdje je:

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

Prema jednadžbama 4.17 i 4.18 računaju se potrebne toplinske energije uslijed prozračivanja i infiltracije, $Q_{ve,win}$ i $Q_{ve,inf}$, za proračunski period. Dobivene vrijednosti prikazane su u tablici 4.5.

Tablica 4.5 Potrebna toplinska energija uslijed ventilacijskih gubitaka

Mjesec	$\vartheta_{e,m}$, [°C]	t , [h]	$Q_{ve,inf}$, [kWh]	$Q_{ve,win}$, [kWh]
Siječanj	8,5	744	14050,53	21544,14
Veljača	7,7	672	13390,98	20532,83
Ožujak	10,4	744	12209,42	18721,11
Travanj	15,3	720	7220,63	11071,63
Svibanj	Ljetni mjeseci			
Lipanj				
Srpanj				
Kolovoz				
Rujan				
Listopad	15,8	744	6976,81	10697,78
Studeni	11,9	720	10408,95	15960,40
Prosinac	10,7	744	11918,72	18275,37
Prosjeck/ukupno	16,9	5088	76176,04	116803,26

4.1.3. Toplinski dobici

Ukupni toplinski dobici zgrade računaju se prema:

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \text{ [kWh]} \quad (4.22)$$

gdje su:

Q_{int} - unutarnji toplinski dobici, [kWh]

Q_{sol} - toplinski dobici od Sunčeva zračenja, [kWh]

Unutarnji toplinski dobici

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

$$Q_{int} = \frac{q_{spec} \cdot A_k \cdot t}{1000} \text{ [kWh]} \quad (4.23)$$

gdje su:

q_{spec} - specifični unutarnji dobitak po m² korisne površine, $q_{spec} = 5 \text{ [W/m}^2 \text{]}$

A_k - ploština korisne površine, $A_k = 2597,23 \text{ [m}^2 \text{]}$

t - proračunsko vrijeme, [h]

U tablici 4.6 su prikazani unutarnji toplinski dobici zgrade po mjesecima.

Tablica 4.6 Unutarnji toplinski dobici po mjesecima

Mjesec	t , [h]	Q_{int} [kWh]
Siječanj	744	9661,70
Veljača	672	8726,69
Ožujak	744	9661,70
Travanj	720	9350,03
Svibanj	Ljetni mjeseci	
Lipanj		
Srpanj		
Kolovoz		
Rujan		
Listopad	744	9661,70
Studeni	720	9350,03
Prosinac	744	9661,70
Prosjeck/ukupno	5088	66073,53

Toplinski dobici od Sunčeva zračenja

Solarni toplinski dobici za promatrani vremenski period računaju se prema:

$$Q_{sol} = \sum_k Q_{sol,k} + \sum_l (1 - b_{tr}) Q_{sol,u,l} \text{ [kWh]} \quad (4.24)$$

gdje su:

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

$Q_{sol,u,l}$ - srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz l-ti građevni dio u susjedni negrijani prostor, $Q_{sol,u,l} = 0 \text{ [kWh]}$

b_{tr} - faktor smanjenja za susjedni negrijani prostor s unutarnjim toplinskim izvorom, 1, prema HRN EN ISO 13789, [-]

Srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz građevni dio zgrade, k , računa se prema:

$$Q_{sol,k} = \frac{F_{sh,ob} \cdot S_{s,k} \cdot A_{sol,k}}{3,6} - \frac{F_{r,k} \cdot \Phi_{r,k} \cdot t}{1000} \text{ [kWh]} \quad (4.25)$$

gdje su:

- $F_{sh,ob}$ - faktor zasjenjena od vanjskih prepreka direktnom upadu sunčevog zračenja (nema vanjskih prepreka direktnom upadu sunčevog zračenja), $F_{sh,ob} = 1$ [-]
- $S_{s,k}$ - srednja dozračena energija sunčevog zračenja na površinu građevnog dijela k za promatrani period, [MJ/m²], tabl. 4.2
- $A_{sol,k}$ - efektivna površina građevnog elementa (otvora, zida), k , na koju upada sunčevo zračenje, [m²]
- $F_{r,k}$ - faktor oblika između otvora k i neba (za nezasjenjeni vodoravni krov $F_{r,k} = 1$, za nezasjenjeni okomiti zid $F_{r,k} = 0,5$), [-]
- $\Phi_{r,k}$ - toplinski tok zračenjem od površine otvora k prema nebu, [W], jedn. 4.26
- t - proračunsko vrijeme, [h]

Toplinski tok zračenjem od površine zida/krova k prema nebu, $\Phi_{r,k}$, računa se prema:

$$\Phi_{r,k} = R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \cdot h_r \cdot \Delta\vartheta_{er} \text{ [W]} \quad (4.26)$$

gdje su:

- R_{se} - plošni toplinski otpor vanjske površine zida/krova, $R_{se} = 0,04$ [(m² K)/W]
- U_c - koeficijent prolaska topline zida/krova prema okolišu, [W/(m²K)]
- A_c - površina zida/krova, [m²]
- h_r - vanjski koeficijent prijelaza topline zračenjem, $h_r = 5\varepsilon = 5 \cdot 0,9 = 4,5$ [W/(m²K)]
- $\Delta\vartheta_{er}$ - prosječna temperaturna razlika vanjske temperature zraka i temperature neba, $\Delta\vartheta_{er} \approx 10$ [°C]

U tablici 4.7 prikazane su vrijednosti $\Phi_{r,k}$ za građevne dijelove zgrade:

Tablica 4.7 Vrijednosti toplinskog toka zračenjem od površine zida/krova prema nebu

Dio	A_c , [m ²]	U_c , [W/(m ² K)]	$\Phi_{r,k}$, [W]
Z2 - zid podruma i suterena prema okolišu	318,09	0,25	143,14
Z3 - zid od siporexa prema okolišu	732,17	0,28	369,01
Z4 - ojačanja zida od siporexa	183,03	0,32	105,43
Z5 - zid od siporexa 4. kata prema okolišu	109,24	0,22	43,26
Z6 - ojačanja zida 4. kata	27,3	0,25	12,29
K - ravni krov	506,91	0,21	191,61
Ukupno:			864,74

Izraz za efektivnu površinu otvora k (prozirnog elementa) na koju upada Sunčevo zračenje glasi:

$$A_{sol,k} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{pr} \quad [\text{m}^2] \quad (4.27)$$

gdje su:

- g_{gl} - ukupna propusnost Sunčeva zračenja okomito na ostakljenje kada pomično zasjenjenje nije uključeno, $g_{gl} = F_W \cdot g_{\perp} = 0,9 \cdot 0,6 = 0,54$ [-]
- F_W - faktor smanjenja zbog ne okomitog upada Sunčevog zračenja, $F_W = 0,9$ [-]
- $g_{\perp}$ - stupanj propuštanja ukupnog zračenja okomito na ostakljenje kada pomično zasjenjenje nije uključeno (dvostruko izolirajuće staklo s jednim staklom niske emisije, Low-E obloga), $g_{\perp} = 0,6$ [-]
- $F_{sh,gl}$ - faktor smanjenja zbog sjene pomičnog zasjenjenja, [-], jedn. 4.28
- F_F - udio ploštine prozorskog okvira u ukupnoj površini prozora, $F_F = 0,2$ [-]
- A_{pr} - ukupna površina prozora, [m²]

Faktor smanjenja zbog sjene pomičnog zasjenjenja računa se prema sljedećem izrazu:

$$F_{sh,gl} = \frac{(1 - f_{with}) \cdot g_{gl} + f_{with} \cdot g_{gl+sh}}{g_{gl}} \quad [-] \quad (4.28)$$

gdje su:

- g_{gl+sh} - ukupna propusnost Sunčeva zračenja kroz prozirne elemente s uključenom pomičnom zaštitom, [-], jedn 4.29

- F_C - faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjena (naprava s vanjske
- žaluzine, rolete, kapci), $F_C = 0,3$ [-]
- f_{with} - udio vremena s uključenom pomičnom zaštitom za grad Split

Ukupna propusnost Sunčeva zračenje kroz prozirne elemente s uključenom pomičnom zaštitom, g_{gl+sh} , računa se prema:

$$g_{gl+sh} = F_W \cdot g_{\perp} \cdot F_C = 0,9 \cdot 0,6 \cdot 0,3 = 0,162 \text{ [-]} \quad (4.29)$$

Zbog velikog broja prozirnih elemenata na zgradi gradske uprave, vrijednosti efektivne površine otvora na koju upada Sunčevo zračenje te faktora smanjenja zbog sjene pomičnog zasjenjenja, nisu prikazane za pojedini prozor. U tablici 4.8 prikazane su ukupne vrijednosti solarnih dobitaka, Q_{sol} , za pojedini mjesec.

Tablica 4.8 Toplinski dobitci od Sunčevog zračenja

Mjesec	t , [h]	Q_{sol} [kWh]
Siječanj	744	5504,88
Veljača	672	6259,74
Ožujak	744	7819,26
Travanj	720	8143,59
Svibanj	Ljetni mjeseci	
Lipanj		
Srpanj		
Kolovoz		
Rujan		
Listopad	744	6944,33
Studeni	720	5510,69
Prosinac	744	5158,79
Prosjeck/ukupno	5088	45341,28

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:

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - y_H^{a_H}}{1 - y_H^{a_H+1}} \quad \text{za } y_H > 0 \text{ i } y_H \neq 1 \text{ [-]} \quad (4.30)$$

gdje su:

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

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

$$y_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad [-] \quad (4.31)$$

gdje su:

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

Bezdimenzijski parametar, a_H , računa se iz sljedećeg izraza:

$$a_H = a_0 + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} = 1 + \frac{65,13}{15} = 5,34 \quad [-] \quad (4.32)$$

gdje je:

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

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

$$\tau = \frac{\frac{C_m}{3600}}{H_{tr,avg} + H_{Ve}} = \frac{\frac{370000}{3600}}{1426,62 + 3299,47} = 65,13 \quad [\text{h}] \quad (4.33)$$

gdje su:

- C_m - efektivni toplinski kapacitet grijanog dijela zgrade (zone), [J/K]
 $H_{tr,avg}$ - prosječni koeficijent transmissijske izmjene topline proračunske zone, [W/K]
 H_{Ve} - koeficijent ventilacijske izmjene topline proračunske zone, [W/K]

Zgrada je masivna s masivnim vanjskim armirano - betonskim zidovima te masivnim unutarnjim pregradnim zidovima. Prema tome, C_m se može odrediti na sljedeći način:

$$C_m = 370 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K}) \cdot A_f = 370 \cdot 2995 = 1108150,00 \text{ [kJ/K]} \quad (4.34)$$

gdje je:

A_f - površina kondicionirane zgrade s vanjskim dimenzijama, [m^2]

U tablici 4.9 prikazane su mjesečne vrijednosti faktora iskorištenja toplinskih dobitaka prema jednadžbi 4.30 te ukupne potrebne toplinske energije za grijanje u sustavima s kontinuiranim radom u periodu grijanja prema jednadžbi 4.1.

Tablica 4.9 Mjesečne vrijednosti faktora iskorištenja toplinskih dobitaka te ukupne potrebne toplinske energije zgrade za grijanje u sustavima s kontinuiranim radom

Mjesec	$Q_{H,gn}$, [kWh]	$Q_{H,ht}$, [kWh]	y_H , [-]	$\eta_{H,gn}$, [-]	$Q_{H,nd,cont}$, [kWh]
Siječanj	15166,58	50760,81	0,30	0,99	35611,66
Veljača	14986,43	48346,51	0,31	0,99	33380,67
Ožujak	17480,96	44192,32	0,40	0,99	26788,33
Travanj	17493,62	26373,39	0,66	0,96	9599,62
Svibanj	Ljetni mjeseci				
Lipanj					
Srpanj					
Kolovoz					
Rujan					
Listopad	160606,03	16543,26	0,65	0,96	9551,94
Studen	14860,72	14824,73	0,39	0,99	22951,65
Prosinac	14820,49	14798,24	0,34	0,99	28368,11
Prosjeck/ukupno	111414,81	111033,94	0,44	0,99	156700,04

4.1.4. Ukupna potrebna toplinska energija za grijanje u sustavima s nekontinuiranim radom u periodu grijanja

Budući da je radno vrijeme zgrade gradske uprave Grada Kaštela od 07:00 do 15:00 h, sustav grijanja radi s prekidima, tj. radi se o sustavu s nekontinuiranim radom, stoga je potrebno izračunati ukupnu potrebnu toplinsku energiju za grijanje u sustavima s nekontinuiranim radom u periodu grijanja. Ukupna potrebna toplinska energija za grijanje u sustavima s nekontinuiranim radom u periodu grijanja računa se prema:

$$Q_{H,nd,a} = \sum_i \alpha_{H,red,i} \cdot Q_{H,nd,cont,m,i} \cdot \frac{L_{H,m,i}}{d_{m,i}} \text{ [kWh/a]} \quad (4.35)$$

gdje su:

- $\alpha_{H,red,i}$ - bezdimenzijski reduksijski faktor koji uzima u obzir prekide u grijanju, [-]
 $Q_{H,nd,cont,m,i}$ - potrebna toplinska energija za grijanje zgrade/zone u promatranom mjesecu pri kontinuiranom radu, [kWh/mj]
 $L_{H,m,i}$ - ukupni broj dana grijanja u mjesecu, [d/mj]
 $d_{m,i}$ - ukupni broj dana u mjesecu, [d/mj]

Bezdimenzijski reduksijski faktor, $\alpha_{H,red}$, koji uzima u obzir prekide u grijanju računa se (za svaki mjesec) prema:

$$\alpha_{H,red} = 1 - 3 \cdot \left(\frac{\tau_{H,0}}{\tau} \right) \cdot \gamma_H \cdot (1 - f_{H,hr}) \quad [-] \quad (4.36)$$

gdje je:

- $f_{H,hr}$ - udio sati u tjednu tijekom kojih grijanje radi s normalnom postavnom vrijednošću unutarnje temperature, [-]

Slijedi:

$$f_{H,hr} = \frac{d_{use,tj} \cdot t_d}{7 \cdot 24} = \frac{5 \cdot 13}{7 \cdot 24} = 0,39 \quad [-] \quad (4.37)$$

gdje su:

- t_d - vrijeme rada sustava grijanja s normalnom postavnom vrijednošću za sustave s nekontinuiranim radom, $t_d = 13$ [h/d] za uredske, administrativne i druge poslovne zgrade
 $d_{use,tj}$ - tjedni broj dana korištenja sustava, $d_{use,tj} = 5$ [d/tj] za uredske, administrativne i druge poslovne zgrade

Dobivene vrijednosti potrebne toplinske energije u sustavima s nekontinuiranim radom prikazane su u tablici 4.10 sljedećeg podnaslova.

4.1.5. Rezultati proračuna godišnje potrebne toplinske energije za grijanje

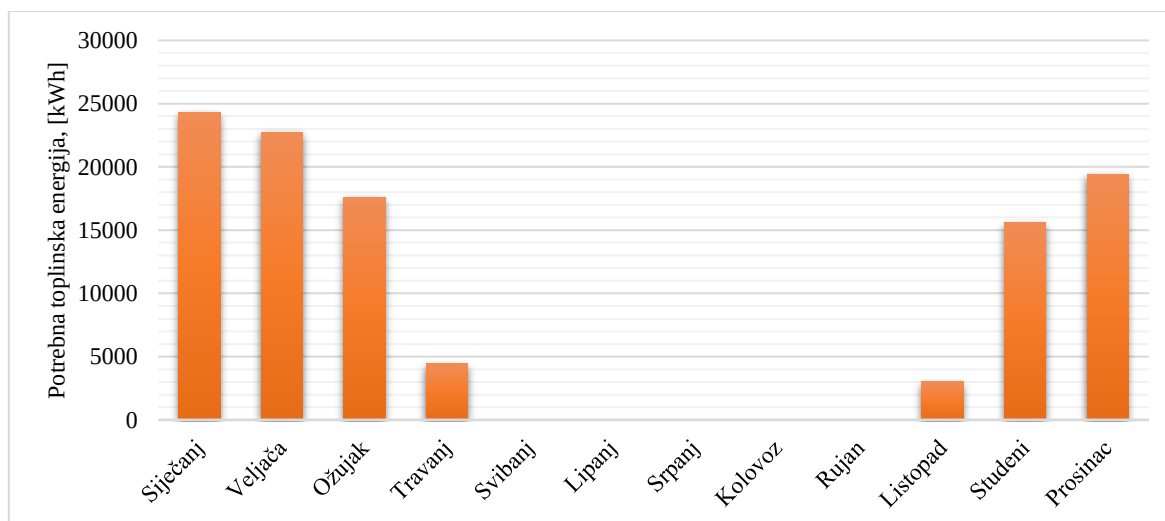
U tablici 4.10 su prikazani rezultati dobiveni u računalnom programu MGIPU Energetski Certifikator [v1.8.0.3] koji, zbog dinamičnog satnog proračuna, mogu varirati od rezultata dobivenih u programskom paketu Microsoft Excel.

Tablica 4.10 Potrebna toplinska energija za grijanje iskazana po mjesecima

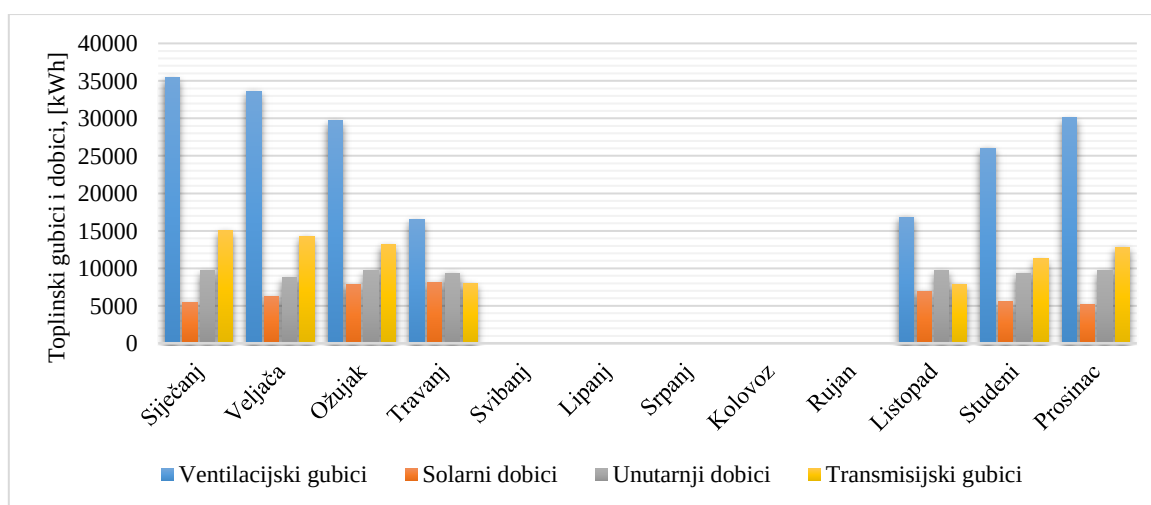
Mjesec	Q_{Ve} , [kWh]	Q_{Tr} , [kWh]	$Q_{H,ht}$, [kWh]	Q_{int} , [kWh]	Q_{sol} , [kWh]	$Q_{H,gn}$, [kWh]	$y_{H,}$, [-]	$\eta_{H,gn}$, [-]	$Q_{H,nd}$, [kWh]	$Q_{H,nd}$, [kWh/m ²]
Siječanj	35427,24	14982,71	50409,95	9661,70	5504,88	15166,58	0,30	0,99	24305,51	9,36
Veljača	33623,01	14312,59	47935,60	8726,69	6259,74	14986,43	0,31	0,99	22720,17	8,75
Ožujak	29683,54	13132,02	42815,56	9661,70	7819,26	17480,96	0,41	0,99	17586,96	6,77
Travanj	16476,33	7983,08	24459,41	9350,03	8143,59	17493,62	0,72	0,94	4431,11	1,71
Svibanj	Ljetni mjeseci									
Lipanj										
Srpanj										
Kolovoz										
Rujan										
Listopad	16808,36	7827,82	24636,18	9661,70	6944,33	16606,03	0,67	0,96	3007,18	1,16
Studen	26030,07	11273,22	37303,29	9350,03	5510,69	14860,72	0,40	0,99	15576,05	6,00
Prosinac	30067,36	12826,33	42893,69	9661,70	5158,79	14820,49	0,35	0,99	19431,24	7,48
Ukupno:									107058,22	41,22

*Crveno označeno je sezona grijanja

Na slici 4.1 prikazana je raspodjela potrebne toplinske energije za grijanje zgrade gradske uprave Grada Kaštela po mjesecima. Iz priloženih rezultata u tablici 4.10 i danog dijagrama, vidljivo je kako je najveća potreba za toplinskom energijom u siječnju i veljači, dok su potrebe u listopadu i travnju gotovo pa i zanemarive. Potrošnja toplinske energije za grijanje zgrade gradske uprave nije modelirana prema referentnim podacima budući da cilj proračuna nije bio određivanje energetske razreda zgrade, već modeliranje stvarnog stanja potrošnje zgrade kako bi se dobiveni podatak mogao koristiti u kasnijoj tehno - ekonomskoj analizi. Dobivene vrijednosti analizirat će se u kasnijoj tehno - ekonomskoj analizi. Ukupna godišnja potrebna toplinska energija za period grijanja iznosi $Q_{H,nd,a} = 107058,22$ [kWh/a], svedeno na ploštinu korisne površine zgrade, $Q_{H,nd,a} = 41,22$ [kWh/(m²a)].



Slika 4.1 Raspodjela potrebne toplinske energije za grijanje po mjesecima



Slika 4.2 Raspodjela toplinskih gubitaka i dobitaka zgrade gradske uprave Grada Kaštela u periodu grijanja

4.2. Proračun godišnje potrebne toplinske energije za hlađenje

Izraz za potrebnu toplinsku energiju za hlađenje u sustavima s kontinuiranim radom glasi:

$$Q_{C,nd,cont} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht} \quad [\text{kWh}] \quad (4.38)$$

$$Q_{C,nd,cont} = Q_{int} + Q_{sol} - \eta_{C,ls} \cdot (Q_{Tr} + Q_{Ve}) \quad [\text{kWh}] \quad (4.39)$$

gdje su:

- $Q_{C,gn}$ - ukupni toplinski dobici zgrade u periodu hlađenja: ljudi, rasvjeta, uređaji, solarni dobici, [kWh]
- $Q_{C,ht}$ - ukupno izmijenjena toplinska energija u periodu hlađenja, [kWh]
- $\eta_{C,ls}$ - faktor iskorištenja toplinskih gubitaka kod hlađenja, [-]
- Q_{int} - unutarnji toplinski dobici zgrade: ljudi, rasvjeta i uređaji, [kWh]
- Q_{sol} - toplinski dobici od Sunčeva zračenja, [kWh]
- Q_{Tr} - izmijenjena toplinska energija transmisijom za proračunsku zonu, [kWh]
- Q_{Ve} - potrebna toplinska energija za ventilaciju/klimatizaciju za proračunsku zonu, [kWh]

4.2.1. Toplinski dobici

$$Q_{C,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad [\text{kWh}] \quad (4.40)$$

Unutarnji toplinski dobici i toplinski dobici od Sunčevog zračenja računaju se na isti način kao kod proračuna godišnje potrebne toplinske energije za grijanje prema jednadžbama 4.22 - 4.26. U odnosu na proračun $Q_{H,nd}$, faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja, F_C , je stalno uključen te se efektivna površina otvora k (prozirnog elementa) na koju upada sunčevo zračenje $A_{sol,k}$ računa prema sljedećim izrazu:

$$A_{sol,k} = g_{gl+sh} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{pr} \quad [\text{m}^2] \quad (4.41)$$

$$g_{gl+sh} = F_C \cdot F_W \cdot g_{\perp} \quad [-] \quad (4.42)$$

gdje su:

- g_{gl+sh} - ukupna propusnost Sunčeva zračenja kroz prozirne elemente s uključenom pomičnom zaštitom, [-], jedn. 4.29
- F_F - udio ploštine prozorskog okvira u ukupnoj površini prozora,

$$F_F = 0,2 \text{ [-]}$$

A_{pr} - ukupna površina prozora, [m²]

F_C - faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjena (naprava s vanjske - žaluzine, rolete, kapci), $F_C = 0,3 \text{ [-]}$

F_W - faktor smanjenja zbog ne okomitog upada Sunčevog zračenja,
 $F_W = 0,9 \text{ [-]}$

$g_{\perp}$ - stupanj propuštanja ukupnog zračenja okomito na ostakljenje kada pomično zasjenjenje nije uključeno (dvostruko izolirajuće staklo s jednim staklom niske emisije, Low-E obloga), $g_{\perp} = 0,6 \text{ [-]}$

U tablici 4.11 prikazane su vrijednosti solarnih dobitaka, Q_{sol} , i unutarnjih dobitaka, Q_{int} , za pojedini mjesec u sezoni hlađenja.

Tablica 4.11 Toplinski dobitci u sezoni hlađenja

Mjesec	t , [h]	Q_{sol} , [kWh]	Q_{int} , [kWh]
Siječanj	Zimski mjeseci		
Veljača			
Ožujak			
Travanj			
Svibanj	744	4722,67	9661,70
Lipanj	720	4565,22	9350,03
Srpanj	744	4584,37	9661,70
Kolovoz	744	5217,19	9661,70
Rujan	720	5007,24	9350,03
Listopad	Zimski mjeseci		
Studen			
Prosinac			
Prosjeck/ukupno	3672	24096,69	47685,16

4.2.2. Toplinski gubici

Budući da je razmatrana zgrada uredska, administrativna zgrada u primorskom dijelu Hrvatske, unutarnja proračunska temperatura hlađene zone, $\vartheta_{int,C}$, iznosi:

$$\vartheta_{int,C} = 24 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

$$\vartheta_{int,C}$$

Transmisijski izmijenjena toplinska energija računa se prema:

$$Q_{Tr} = \frac{H_{Tr}}{1000} \cdot (\vartheta_{int,C} - \vartheta_e) \cdot t \text{ [kWh]} \quad (4.43)$$

gdje su:

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

ϑ_e - srednja vanjska temperatura za proračunski period, $\vartheta_e = 16,9$ [°C]

t - trajanje proračunskog razdoblja, $t = 3672$ [h]

Koeficijent transmisije izmjene topline, H_{Tr} , računa se prema jednadžbi 4.5 gdje se izračun koeficijenta transmisije izmjene topline prema tlu, H_g , razlikuje i računa prema:

$$H_g = \frac{\Phi_m}{\vartheta_{int,C} - \vartheta_e} \text{ [W/K]} \quad (4.44)$$

gdje je:

Φ_m - toplinski tok izmjene topline s tlom, [W], jedn. 4.9

Pretpostavlja se konstantan toplinski tok prema tlu kroz cijeli dan.

Ventilacijski izmijenjena toplinska energija proračunske zone računa se prema:

$$Q_{Ve} = \frac{H_{Ve} \cdot (\vartheta_{int,C} - \vartheta_e)}{1000} \cdot t \text{ [kWh]} \quad (4.45)$$

Koeficijent ventilacijski izmijenjene topline, H_{Ve} , računa se prema:

$$H_{Ve} = H_{Ve,inf} + H_{Ve,win} \quad (4.46)$$

gdje su:

$H_{Ve,inf}$ - koeficijent izmjene topline uslijed infiltracije, [W/K], jedn. 4.19

$H_{Ve,win}$ - koeficijent izmjene topline uslijed prozračivanja, [W/K], jedn. 4.21

U tablici 4.12 prikazani su toplinski gubici zgrade u sezoni hlađenja.

Tablica 4.12 Toplinski gubici u sezoni hlađenja

Mjesec	t , [h]	Q_{Tr} , [kWh]	Q_{Ve} , [kWh]
Siječanj	744	4329,78	8837,30
Veljača			
Ožujak			
Travanj			
Svibanj	744	4329,78	8837,30
Lipanj	720	-659,73	-3325,86
Srpanj	744	-2285,40	-7364,41
Kolovoz	744	-2886,78	-8837,30
Rujan	720	1765,19	2613,18
Listopad	3672	263,06	-8077,10
Studeni			
Prosinac			
Prosječno/ukupno	3672	263,06	-8077,10

Faktor iskorištenja toplinskih gubitaka

Faktor iskorištenja toplinskih gubitaka za hlađenje računa se prema:

$$\eta_{C,ls} = \frac{1 - y_C^{-a_C}}{1 - y_C^{-(a_C+1)}} \quad \text{za } y_C > 0 \text{ i } y_C \neq 1 \text{ [-]} \quad (4.47)$$

$$\eta_{C,ls} = 1 \quad \text{za } y_C < 0 \text{ [-]} \quad (4.48)$$

gdje su:

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

y_C - omjer toplinskih dobitaka i ukupne izmijenjene topline transmisijom i ventilacijom u režimu hlađenja, [-]

Omjer toplinskih dobitaka i ukupne izmijenjene topline transmisijom i ventilacijom u režimu hlađenja računa se prema:

$$y_C = \frac{Q_{C,gn}}{Q_{C,ht}} \text{ [-]} \quad (4.49)$$

gdje su:

$Q_{C,gn}$ - ukupni toplinski dobici, [kWh]

$Q_{C,ht}$ - ukupni toplinski gubici, [kWh]

Bezdimenzijski parametar, a_C , računa se iz sljedećeg izraza:

$$a_C = a_0 + \frac{\tau}{\tau_{C,0}} = 1 + \frac{66,63}{15} = 5,44 \quad [-] \quad (4.50)$$

gdje su:

τ - vremenska konstanta zgrade, [h], jedn. 4.33

$\tau_{C,0}$ - referentna vremenska konstanta za hlađenje, za mjesečni proračun iznosi 15 [h]

U tablici 4.13 prikazane su mjesečne vrijednosti faktora iskorištenja toplinskih gubitaka prema jednadžbama 4.47 i 4.48 te ukupne potrebne toplinske energije za hlađenje u sustavima s kontinuiranim radom u periodu hlađenja prema jednadžbi 4.38.

Tablica 4.13 Mjesečne vrijednosti faktora iskorištenja toplinskih gubitaka te ukupne potrebne toplinske energije zgrade za hlađenje u sustavima s kontinuiranim radom

Mjesec	$Q_{C,gn}$, [kWh]	$Q_{C,ht}$, [kWh]	γ_C , [-]	$\eta_{C,ls}$, [-]	$Q_{C,nd,cont}$, [kWh]
Siječanj	Zimski mjeseci				
Veljača					
Ožujak					
Travanj					
Svibanj	14384,40	13167,07	1,09	0,88	2803,13
Lipanj	13915,20	-3985,59	-3,49	1,00	17900,84
Srpanj	14246,10	-9649,81	-1,48	1,00	23895,88
Kolovoz	14878,90	-11724,07	-1,27	1,00	26602,96
Rujan	14357,30	4378,37	3,28	1,00	9983,65
Listopad	Zimski mjeseci				
Studen					
Prosinac					
Prosjeck/ukupno	71781,80	-7814,04	-0,37	0,98	81186,46

4.2.3. Ukupna potrebna toplinska energija za hlađenje u sustavima s nekontinuiranim radom u periodu hlađenja

Budući da je radno vrijeme zgrade gradske uprave Grada Kaštela od 07:00 do 15:00 h, sustav hlađenja radi s prekidima, tj. radi se o sustavu s nekontinuiranim radom, stoga je potrebno izračunati ukupnu potrebnu toplinsku energiju za hlađenje u sustavima s nekontinuiranim

radom u periodu hlađenja. Ukupna potrebna toplinska energija za hlađenje u sustavima s nekontinuiranim radom u periodu hlađenja računa se prema:

$$Q_{C,nd,a} = \sum_i \alpha_{C,red,i} \cdot Q_{C,nd,cont,m,i} \cdot \frac{L_{C,m,i}}{d_{m,i}} \quad [\text{kWh/a}] \quad (4.51)$$

gdje su:

- $\alpha_{C,red,i}$ - bezdimenzijski reduksijski faktor koji uzima u obzir prekide u hlađenju, [-]
- $Q_{C,nd,cont,m,i}$ - potrebna toplinska energija za hlađenje zgrade/zone u promatranom mjesecu pri kontinuiranom radu, [kWh/mj]
- $L_{C,m,i}$ - ukupni broj dana hlađenja u mjesecu, [d/mj]
- $d_{m,i}$ - ukupni broj dana u mjesecu, [d/mj]

Bezdimenzijski reduksijski faktor, $\alpha_{C,red}$, koji uzima u obzir prekide u hlađenju računa se (za svaki mjesec) prema:

$$\alpha_{C,red} = 1 - 3 \cdot \left(\frac{\tau_{C,0}}{\tau} \right) \cdot y_C \cdot (1 - f_{C,day}) \quad [-] \quad (4.52)$$

gdje je:

- $f_{C,day}$ - udio sati u tjednu tijekom kojih hlađenje radi s normalnom postavnom vrijednošću unutarnje temperature, [-]

Udio sati u tjednu tijekom kojih hlađenje radi s normalnom postavnom vrijednošću unutarnje temperature računa se prema:

$$f_{C,day} = \frac{d_{use,tj}}{7} = \frac{5}{7} = 0,71 \quad [-] \quad (4.53)$$

Dobivene vrijednosti potrebne toplinske energije u sustavima s nekontinuiranim radom prikazane su u tablici 4.14 sljedećeg podnaslova.

4.2.4. Rezultati proračuna godišnje potrebne toplinske energije za hlađenje

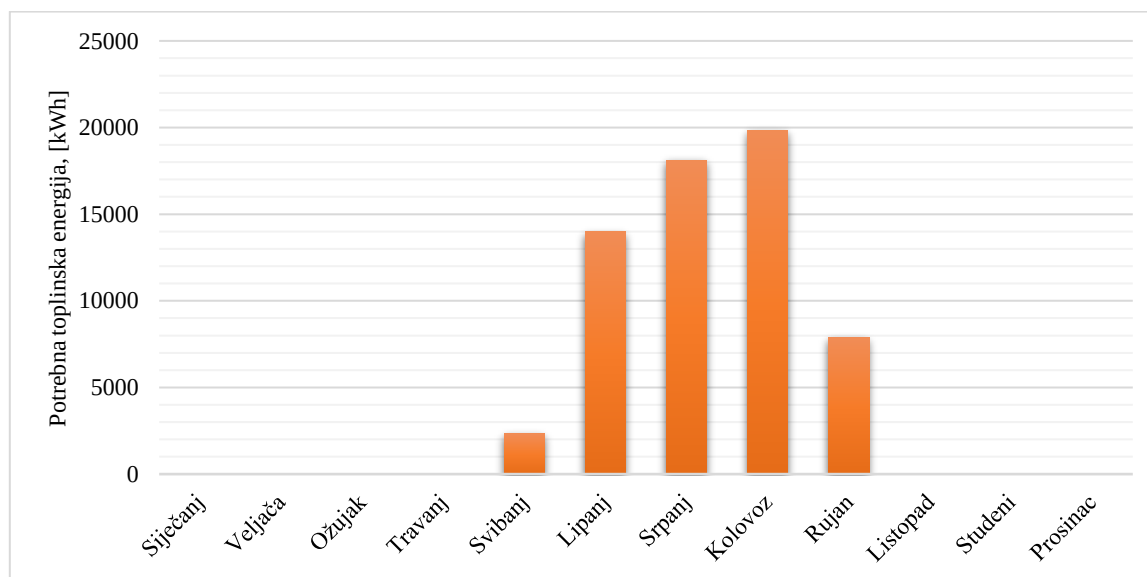
U tablici 4.14 su prikazani rezultati dobiveni u računalnom programu MGIPU Energetski Certifikator [v1.8.0.3] koji, zbog dinamičnog satnog proračuna, mogu varirati od rezultata dobivenih u programskom paketu Microsoft Excel.

Tablica 4.14 Potrebna toplinska energija za hlađenje iskazana po mjesecima

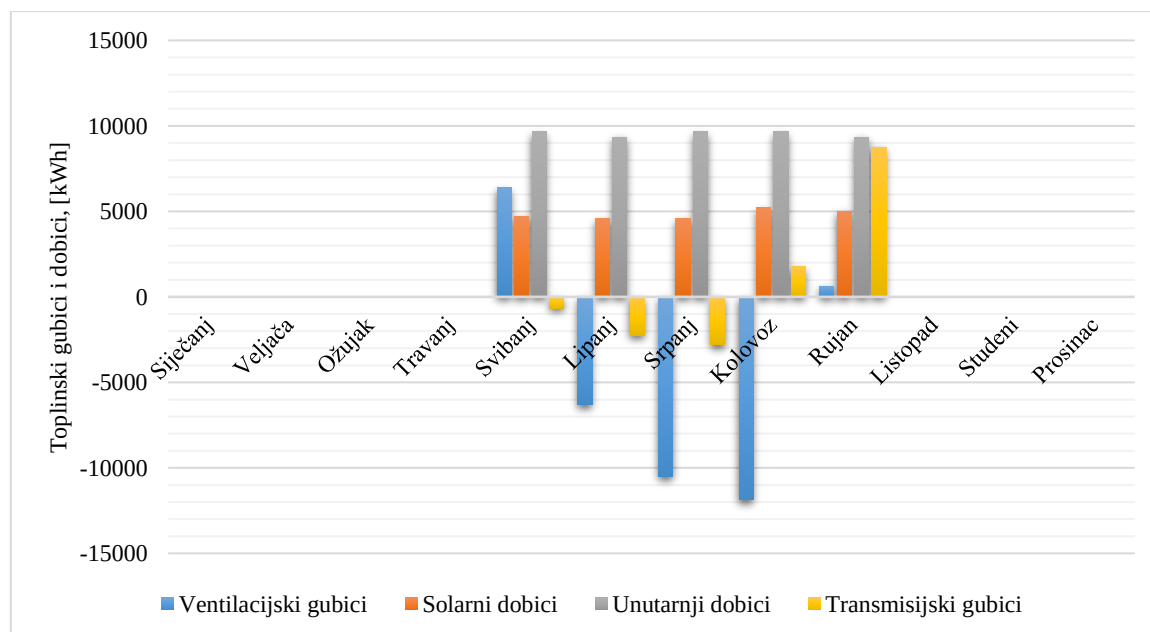
Mjesec	Q_{Ve} , [kWh]	Q_{Tr} , [kWh]	$Q_{C,ht}$, [kWh]	Q_{int} , [kWh]	Q_{sol} , [kWh]	$Q_{C,gn}$, [kWh]	y_C , [-]	$\eta_{C,ls}$, [-]	$Q_{C,nd}$, [kWh]	$Q_{C,nd}$, [kWh/m ²]
Siječanj	Zimski mjeseci									
Veljača										
Ožujak										
Travanj										
Svibanj	6393,88	-658,02	5735,76	9667,70	4722,67	14384,40	1,09	0,88	2337,46	0,90
Lipanj	-6317,17	-2262,12	-8579,29	9350,03	4565,22	13915,20	-3,49	1,00	13986,81	5,39
Srpanj	-10522,38	-2807,41	-13329,79	9667,70	4584,37	14246,10	-1,48	1,00	18112,53	6,97
Kolovoz	-11866,45	1752,62	-10113,83	9667,70	5217,19	14878,90	-1,27	1,00	19840,18	7,64
Rujan	624,58	8755,83	9380,41	9350,03	5007,24	14357,30	3,28	1,00	7877,64	3,03
Listopad	Zimski mjeseci									
Studeni										
Prosinac										
Ukupno:									62154,63	23,93

*Plavo označeno je sezona hlađenja

Na slici 4.3 prikazana je raspodjela potrebne toplinske energije za hlađenje zgrade gradske uprave Grada Kaštela po mjesecima. Iz priloženih rezultata u tablici 4.14 i danog dijagrama, vidljivo je kako je najveća potreba za toplinskom energijom u lipnju, srpnju i kolovozu. Iskorištenje toplinskih gubitaka u sezoni hlađenja je maksimalno što je vidljivo u osmom stupcu tablice 4.14. Ukupna godišnja potrebna toplinska energija za period hlađenja iznosi $Q_{C,nd,a} = 62154,63$ [kWh/a], svedeno na ploštinu korisne površine zgrade, $Q_{C,nd,a} = 23,93$ [kWh/(m²a)].



Slika 4.3 Raspodjela potrebne toplinske energije za hlađenje po mjesecima

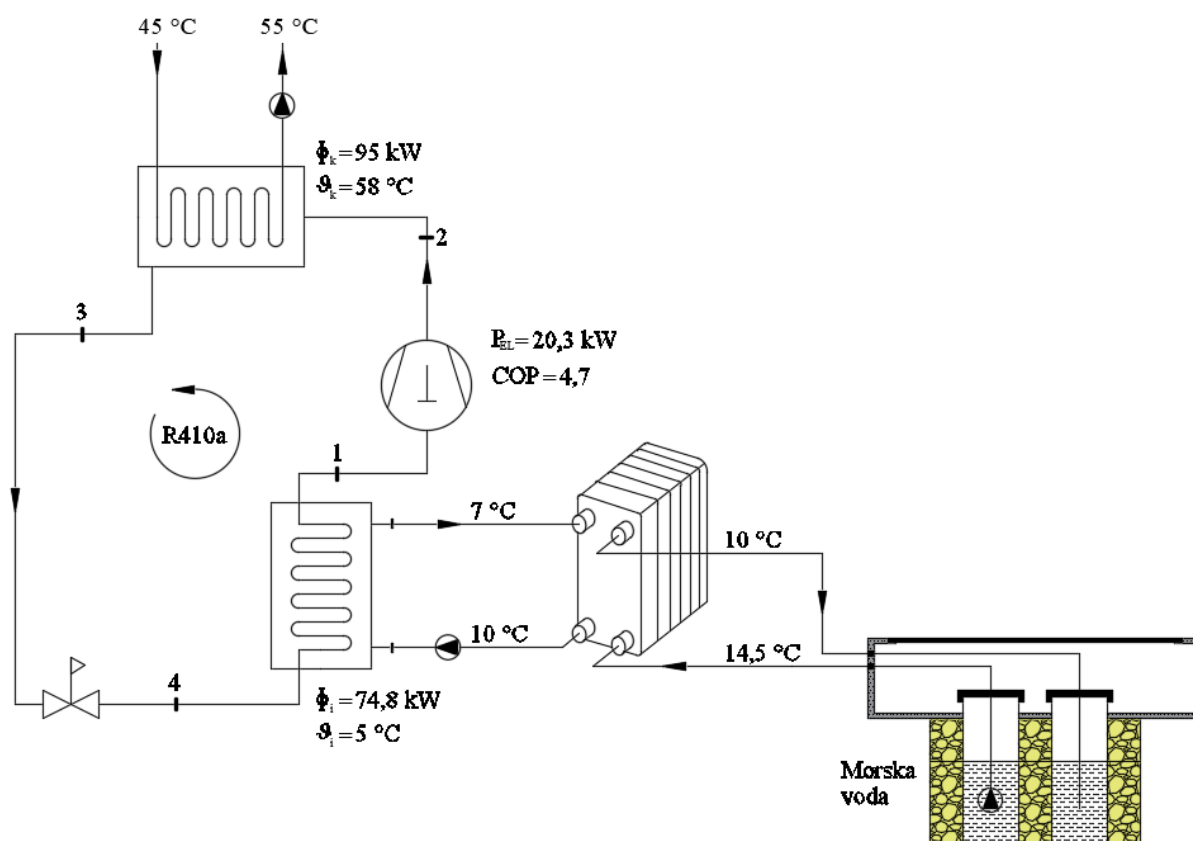


Slika 4.4 Raspodjela toplinskih gubitaka i dobitaka zgrade gradske uprave Grada Kaštela u periodu hlađenja

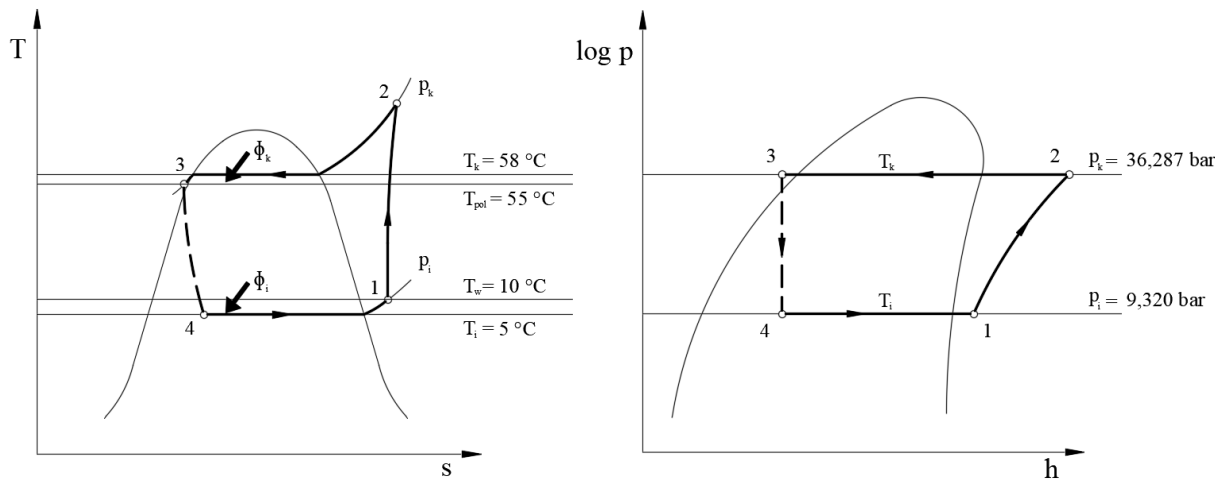
5. PRORAČUN SEZONSKE UČINKOVITOSTI DIZALICE TOPLINE

TOPLINE

Shema ljevokretnog procesa razmatranog sustava dizalice topline morska voda - voda, u režimu grijanja, prikazana je na slici 5.1. Proces je postavljen za slučaj ukupne potrebne snage grijanja $\Phi_{Gr} = 95$ [kW] te temperaturnog režima grijanja 55/45 [°C]. Kao radna tvar dizalice topline koristi se R410a koja nije štetna za ozon te nije zapaljiva. Morska voda temperature 14,5 [°C] crpi se iz vertikalnih zdenaca uz more te na titanskom međuizmjenjivaču predaje 74,8 [kW] toplinskog toka slatkovodnoj vodi koja cirkulira između međuizmjenjivača i isparivača dizalice topline. Temperatura isparavanja radne tvari na isparivaču je $\vartheta_i = 5$ [°C], dok temperatura kondenzacije na kondenzatoru iznosi $\vartheta_k = 58$ [°C]. Snaga koju je potrebno dovesti za rad dizalice topline, tj. rad kompresora, iznosi $P_{EL} = 20,3$ [kW] čime se dobiva vrijednost toplinskog množitelja razmatranog procesa $COP = 4,7$ [–]. Na slici 5.2 prikazana je skica procesa u log p-h i T-s dijagramu.



Slika 5.1 Shema ljevokretnog procesa sustava dizalice topline morska voda - voda u režimu grijanja



Slika 5.2 Skica ljevokretnog procesa sustava dizalice topline morska voda - voda u T-s i log p-h dijagramu

Proračun sezonske učinkovitosti dizalice topline proveden je u računalnom programu MGIPU Energetski Certifikator [v1.8.0.3]. Energetski certifikator omogućava proračun energetskog svojstva zgrade do primarne energije uključujući module definiranja karakteristika zgrade, toplinskih dobitaka i gubitaka, termotehničkih sustava grijanja, hlađenja i potrošne tople vode, rasvjete i pregled energetskog certifikata [37].

Definiranjem karakteristika zgrade, program računa potrebnu toplinsku energiju za grijanje i hlađenje zgrade gradske uprave Grada Kaštela. Programom dobivene vrijednosti prikazane su na slici 5.3.

Mjesec	Q H _{nd,m} [kWh]
Siječanj	24305,51
Veljača	22720,17
Ožujak	17586,96
Travanj	4431,11
Svibanj	0,00
Lipanj	0,00
Srpanj	0,00
Kolovoz	0,00
Rujan	0,00
Listopad	3007,18
Studenj	15576,05
Prosinac	19431,24
UKUPNO =	107058,22

Slika 5.3 Programom dobivene vrijednosti potrebne toplinske energije za grijanje zgrade gradske uprave Grada Kaštela

Program nudi mogućnost definiranja termotehničkih sustava te su na slici 5.4 prikazani svi zahtjevi na termotehnički sustav grijanja i hlađenja zgrade. Zgrada nema potrebe za pripremom potrošne tople vode, tj. u dvjema malim kuhinjama je priprema lokalna.

Termotehnički sustav					
Naziv	d _{grijanje} [dan]	d _{izv.grijanja}	Q _{H,nd,exp}	Q _{C,nd,exp}	Q _{W,exp} [kWh]
Termotehnički sust...	193,00	172,00	107058,22	62154,63	0,00

Slika 5.4 Programom definiran termotehnički sustav

Sustav grijanja je definiran kroz tri podsustava: podsustav proizvodnje, razvoda i predaje. Podsustav predaje topline definiran je prema slici 5.5. Kao ogrjevna tijela odabrani su postojeći radijatori smješteni uz vanjski zid, međutim, kako je učinkovitost dizalice topline veća pri nižim temperaturnim režimima grijanja, odabran je najniži mogući temperaturni režim za radijatorsko grijanje 55/45 °C čime instalirana snaga postojećih radijatora iznosi 105 [kW] što je prihvatljivo budući da proračunato toplinsko opterećenje zgrade iznosi 88,87 [kW].

Podsustav predaje topline za grijanje

01. Osnovni podaci

#

2

Naziv

Podsustav predaje grijanja

Visina prostora

Visina prostora h <= 4 [m]

Φ_{em}

105,00

02.1. Osnovne karakteristike

Faktor hidrauličke ravnoteže

Neuravnoteženi sustavi

f_{hydr}

1,03

f_{im}

0,97

Faktor utjecaja zračenja

Ostalo

f_{rad}

1,00

02.2. Određivanje učinkovitosti

Vrsta grijanja

Grijanje ogrjevnim tijelima ili panelno/površinsko grijanje

Vrsta ogrjevnih tijela

Učinkovitost za slobodno stojeća ogrjevna tijela (radijatore)

Nad-temperatura

30 K (npr. 55/45)

η_{str1}

0,950

Smještaj ogrjevnog tijela

Ogrjevno tijelo smješteno uz vanjski zid - staklena površina sa zaštitom od zračenja

η_{str2}

0,880

η_{str}

0,915

η_{emb}

1,000

Regulacija temperature

Neregulirana, s centralnom regulacijom temperature polaza

η_{ctr}

0,800

η_{em}

0,778

Slika 5.5 Definiran podsustav predaje topline

U podsustavu razvoda grijanja definirani su gabariti zone (najveća razvijena duljina i širina zgrade, visina i broj katova) te karakteristike cjevovoda dok su u podsustavu proizvodnje topline definirane karakteristike dizalice topline (vrijednosti ogrjevnog učina i toplinskog množitelja za radne točke) i akumulacijskog spremnika tople vode. Prema proračunu toplinskog opterećenja zgrade, odabrana je snaga dizalice topline 95 [kW].

Potpunim definiranjem termotehničkog sustava dobiva se ukupna toplinska energija za grijanje prostora koja izlazi iz podsustava proizvodnje topline, tj. dizalice topline. Mjesečne vrijednosti potrebne toplinske energije koja izlazi iz podsustava proizvodnje, ukupna potrebna električna energija za rad sustava te sezonska učinkovitost dizalice topline prikazani su na slikama 5.6 i 5.7.

Mjesec	Naziv	$Q_{H,gen,out}(Sobni)$ [kWh]	$Q_{H,gen,out}(GVK)$ [kWh]	$Q_{H,gen,out}$ [kWh]
Siječanj	Podsustav proizvodnje grijanja	30876,98	0,00	30876,98
Veljača	Podsustav proizvodnje grijanja	28826,47	0,00	28826,47
Ožujak	Podsustav proizvodnje grijanja	22310,38	0,00	22310,38
Travanj	Podsustav proizvodnje grijanja	5655,97	0,00	5655,97
Svibanj	Podsustav proizvodnje grijanja	0,00	0,00	0,00
Lipanj	Podsustav proizvodnje grijanja	0,00	0,00	0,00
Srpanj	Podsustav proizvodnje grijanja	0,00	0,00	0,00
Kolovoz	Podsustav proizvodnje grijanja	0,00	0,00	0,00
Rujan	Podsustav proizvodnje grijanja	0,00	0,00	0,00
Listopad	Podsustav proizvodnje grijanja	3839,60	0,00	3839,60
Studen	Podsustav proizvodnje grijanja	19770,89	0,00	19770,89
Prosinac	Podsustav proizvodnje grijanja	24679,01	0,00	24679,01
UKUPNO =		135959,31	0,00	135959,31

Slika 5.6 Programom dobivena toplinska energija na izlazu iz podsustava proizvodnje

$E_{H,hp,in}$ [kWh]	$E_{W,hp,in}$ [kWh]	$E_{HW,hp,in}$ [kWh]	$Q_{H,bu,out}$ [kWh]	$Q_{W,bu,out}$ [kWh]	$Q_{HW,bu,out}$ [kWh]	SPF HW_{hp} [kWh]	$Q_{HW,renew,in}$ [kWh]
27518,69	0,00	27518,69	0,00	0,00	0,00	5,00	110031,20

Slika 5.7 Potrebna električna energija za rad sustava, sezonska učinkovitost dizalice topline te obnovljiva toplinska energija na ulazu u podsustav proizvodnje

Prema slici 5.6, ukupna energija na izlazu iz podsustava proizvodnje topline za potrebe grijanja prostora iznosi $Q_{H,gen,out} = 135959,31$ [kWh] koja predstavlja vrijednost topline bez uračunatih toplinskih gubitaka. Budući da zgrada nema potrebe za pripremom potrošne tople vode, prethodno navedena vrijednost je i vrijednost ukupne energije na izlazu iz podsustava proizvodnje topline. Utrošena električna energija za rad sustava dizalice topline iznosi $E_{H,hp,in} = 27518,69$ [kWh], a obnovljiva toplinska energija morske vode koja dolazi na

međuiszmjenjivač iznosi $Q_{H,renew,in} = 110031,20$ [kWh]. Sezonska učinkovitost dizalice topline računa se prema:

$$SPF_{HW, hp} = \frac{Q_{HW, hp}}{E_{HW, hp, in} + W_{gen, aux, sc} + W_{gen, aux, sby}} \quad [-] \quad (5.1)$$

$$Q_{HW, hp} = Q_{H, gen, out} + Q_{H, gen, ls} + Q_{W, gen, out} + Q_{W, gen, ls} + Q_{HW, bu} \quad [\text{kWh}] \quad (5.2)$$

gdje su:

- $Q_{H, gen, out}$ - toplinska energija na izlazu iz podsustava proizvodnje za grijanje prostora, [kWh]
- $Q_{W, gen, out}$ - toplinska energija na izlazu iz podsustava proizvodnje za pripremu potrošne tople vode, [kWh]
- $Q_{HW, gen, ls}$ - toplinski gubici generatora topline, [kWh]
- $Q_{HW, bu}$ - ukupna toplinska energija proizvedena pomoćnim grijačem, [kWh]
- $E_{HW, hp, in}$ - ukupna pogonska energija potrebna za pogon dizalice topline, [kWh]
- $W_{gen, aux, sc}$ - pomoćna energija izvora topline, [kWh]
- $W_{gen, aux, sby}$ - pomoćna energija regulacije, [kWh]

Budući da u sustavu nema pomoćnog izvora topline, sezonska učinkovitost dizalice topline iznosi:

$$SPF_{H, hp} = \frac{137548,30}{27518,69} = 4,99 \quad [-] \quad (5.3)$$

Obzirom na iznos sezonske učinkovitosti dizalice topline, za 1 [kWh] uložene električne energije, dizalica topline proizvede 4,99 [kWh] toplinske energije što se smatra visokom učinkovitosti rada sustava. Najveći razlog tomu je relativno visoka i konstantna temperatura morske vode kao toplinskog izvora, $\vartheta_w = 13 - 18$ [°C] u sezoni grijanja, te niža temperatura polaza u sustavu grijanja, $\vartheta_{pol} = 55$ [°C].

6. TEHNO - EKONOMSKA ANALIZA PRIMJENE DIZALICE TOPLINE ZA GRIJANJE I HLAĐENJE ZGRADE GRADSKE UPRAVE GRADA KAŠTELA

Pri pokretanju projekta investitoru su bitni dodatni novčani tokovi koji nastaju provođenjem projekta. Kako se na temelju novčanih tokova određuje isplativost investicije, provedena je analiza ekonomske isplativosti implementacije različitih izvora toplinske i rashladne energije u zgradi gradske uprave Grada Kaštela. Zgrada gradske uprave Grada Kaštela površine 2597,23 [m²], toplinskog opterećenja 88,81 [kW] te rashladnog opterećenja 152,71 [kW], nalazi se u Kaštel Sućurcu, mjestu primorskog dijela Republike Hrvatske, nedaleko od grada Splita. Specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje svedena na korisnu površinu zgrade iznosi 41,22 [kWh/(m²a)], dok ukupna godišnja potrebna toplinska energija za grijanje zgrade iznosi 107058,22 [kWh/a]. S druge strane, godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje zgrade iznosi 62154,63 [kWh/a], dok je iznos specifične godišnje potrebne toplinske energije sveden na korisnu površinu zgrade jednak 23,93 [kWh/(m²a)].

Referentni scenarij zgrade čine dva sustava: instalirani uljni kotao s pripadajućim radijatorskim razvodom kao sustav grijanja te novoinstalirani VRV sustav hlađenja. U ovom poglavlju analizirat će se dva scenarija:

1. Zamjena uljnog kotla dizalicom topline morska voda - voda u svrhu grijanja prostora zgrade gradske uprave Grada Kaštela, $\Phi_{Gr} = 95$ [kW]
2. Zamjena uljnog kotla i VRV sustava dizalicom topline morska voda - voda u svrhu grijanja i hlađenja prostora zgrade gradske uprave Grada Kaštela, $\Phi_{Hl} = 160$ [kW]

6.1. Referentni scenarij - analiza trenutne potrošnje

Sustav grijanja

Sustav grijanja zgrade gradske uprave Grada Kaštela sastoji se od kotla na ekstra lako loživo ulje snage 400 [kW] te radijatorskog razvoda instalirane snage 234,53 [kW]. U poglavlju 4.1 proračunata je potrebna godišnja toplinska energija za grijanje prostora zgrade koja iznosi $Q_{H,nd,a} = 107058,22$ [kWh/a]. Godišnja potrebna toplinska energija zgrade gradske uprave nije modelirana prema referentnim podacima budući da cilj proračuna nije bio određivanje energetskog razreda zgrade, već prema stvarnim potrebama kako bi se dobivena vrijednost mogla koristiti u analizi ekonomske isplativosti primjene sustava dizalice topline morska voda

- voda. Energetskim pregledom zgrade, 5. prosinca 2018., te uvidom u danu dokumentaciju i razgovorom s domarom zgrade, dobivena je i stvarna godišnja potrošnja zgrade gradske uprave Grada Kaštela.

Zgrada gradske uprave je energetski obnovljena 2015. godine te se tada potrošnja toplinske energije znatno smanjila. Na uvid su dobiveni računi ekstra lakog loživog ulja posljednje tri godine, međutim, budući da se u kotlovnici nalazi spremnik lož ulja od 30 000 l te se nabava lož ulja vršila kada je razina lož ulja u spremniku bila niska, nemoguće je odrediti potrošnju toplinske energije prema danim računima. Razgovorom s domarom zgrade, dobivene su okvirne vrijednosti potrošnje ekstra lakog loživog ulja u sezoni grijanja prije i poslije energetske obnove zgrade. Prethodno energetske obnovi, u sezoni grijanja, potrošnja ekstra lakog loživog ulja je iznosila oko 27 000 l, dok je nakon energetske obnove potrošnja pala na 15 000 - 18 000 l godišnje. Sukladno tome, ako se za ogrjevnu moć ekstra lakog loživog ulja uzme vrijednost od 9,96 [kW/h/l], stvarna godišnja potrošnja toplinske energije za grijanje na ulazu u podsustav proizvodnje iznosi:

$$Q_{H,gen,in,Re,a} = 16500 \cdot 9,96 = 164340 \text{ [kWh/a]} \quad (6.1)$$

Modelirana godišnja potrošnja toplinske energije za grijanje na ulazu u podsustav proizvodnje iznosi $Q_{H,gen,in,a} = 159497,72$ [kWh] što je približno stvarnoj potrošnji. Iako je zgrada gradske uprave okrenuta s velikim brojem prozirnih elemenata prema jugu te je zgrada u svako doba dana obasjana Sunčevim zračenjem, toplinski gubici su i dalje veći od solarnih dobitaka zgrade koji su, također, značajni. Naime, posljedica velikih solarnih dobitaka je postizanje više temperature u prostorijama zgrade od željene. Kako bi zaposlenici zgrade ostvarili toplinsku ugodnost u prostorijama u kojima borave, otvaraju prozore kao što je prikazano na slici 4.1, pri čemu se javljaju veliki ventilacijski gubici toplinske energije. Ugradnjom pomičnih svijetlih zaslona s unutarnje strane prozora, prema slici 6.1, utjecaj solarnih dobitaka se pokušava umanjiti, međutim i dalje postoji potreba za otvaranjem prozora. Najveća potreba za toplinskom energijom je tijekom jutarnjih sati budući da je u primorskom dijelu Hrvatske u zimskom razdoblju tada česta pojava bure. U tom razdoblju su ventilacijski gubici, uslijed infiltracije zraka, veliki.

U ekonomskoj analizi primjene dva gore navedena scenarija, koristit će se iznos modelirane godišnje potrošnje toplinske energije za grijanje na ulazu u podsustav proizvodnje $Q_{H,gen,in,a} = 159497,72$ [kWh].



Slika 6.1 Prikaz otvorenih prozora na južnom pročelju zgrade gradske uprave Grada Kaštela (prosinac, 2018.)

Sustav hlađenja

Sustav hlađenja zgrade gradske uprave Grada Kaštela čini VRV sustav koji se sastoji od šest vanjskih jedinica snage $3 \times 15,50$ [kW] i $3 \times 12,10$ [kW] te unutarnjih jedinica u uredskim prostorima. VRV sustav hlađenja instaliran je krajem srpnja 2016. godine te nema centralnu regulaciju, već je regulacija moguća na pojedinoj unutarnjoj jedinici.

U poglavlju 4.2 proračunata je godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje prostora zgrade prema HRN EN 13790 te iznosi $Q_{C,nd,a} = 62154,63$ [kWh/a]. Razgovorom s domarom zgrade, dobivene su informacije kako hlađenje prostora zgrade počinje u mjesecu travnju te traje do listopada. Energija potrebna za rad sustava hlađenja je električna energija. Na uvid su dani mjesečni računi električne energije, međutim oni se odnose na potrošnju električne energije cijele zgrade, a ne isključivo sustava hlađenja, stoga nije bilo moguće odrediti stvarnu potrošnju toplinske energije za hlađenje zgrade.

U ekonomskoj analizi primjene dva gore navedena scenarija, koristit će se iznos modelirane godišnje potrošnje toplinske energije za hlađenje na ulazu u podsustav proizvodnje $Q_{C,gen,in,a} = 18129,90$ [kWh].

6.2. Implementacija dizalice topline morska voda - voda

Prethodno provođenju ekonomske analize dvaju scenarija navedena u uvodu poglavlja, potrebno je definirati investicijske troškove implementacije sustava dizalice topline morska voda - voda. Ekonomska analiza investicijskih i pogonskih troškova sustava grijanja i hlađenja zgrade gradske uprave, za potrebe ovog rada, bazirana je na sljedećim pretpostavkama:

- sustavi grijanja i hlađenja hotela neovisni su o izvoru ogrjevnog i rashladnog učinka, tj. pretpostavlja se da su svi uređaji prikazani u ovoj analizi u mogućnosti isporučiti ogrjevni ili rashladni medij u traženom temperaturnom režimu
- dizalica topline morska voda - voda radi u monovalentnom načinu rada, tj. može isporučiti onu toplinsku energiju koja pokriva toplinsko i rashladno opterećenje zgrade

Gore navedene pretpostavke omogućuju da se na jednostavan način odrede investicijski i pogonski troškovi različitih termotehničkih sustava te da uz implementirane toplinske uređaje, nema potrebe za instalacijom dodatnih pomoćnih uređaja.

Investicijske troškove implementacije sustava dizalice topline morska voda - voda čine:

- troškovi sustava izmjene topline s morskom vodom
- troškovi uređaja dizalice topline
- troškovi distribucije toplinske energije
- ostali trošak (instalacija, servis)

Analizirat će se dva scenarija navedena na početku poglavlja. Prvi scenarij čini zamjena postojećeg uljnog kotla dizalicom topline morska voda - voda za grijanje zgrade, uz zadržavanje postojećeg VRV sustava za hlađenje zgrade. Sustav dizalice topline spojio bi se na postojeća ogrjevna tijela (radijatore) uz promjenu temperaturnog režima grijanja s 90/70 [°C] na 55/45 [°C]. Snaga instaliranih radijatora u temperaturnom režimu 55/45 [°C] iznosi 105 [kW] te ne bi bilo potrebe za ugradnjom dodatnih članaka na radijatore budući da toplinsko opterećenje zgrade iznosi $\Phi_{Gr} = 88,81$ [kW]. U scenariju 1 planirana je implementacija dizalice topline ogrjevnog učina 95 [kW], uz svu popratnu opremu, a namjena bi joj bila grijanje zgrade gradske uprave.

Drugi scenarij čini zamjena postojećeg uljnog kotla i VRV sustava dizalicom topline morska voda -voda rashladnog učina 160 [kW] čija svrha bi bila grijanje i hlađenje zgrade gradske uprave. Uz implementaciju dizalice topline, provela bi se i instalacija 111 novih ogrjevnih tijela,

ventilokonvektora, uz svu popratnu opremu. Scenarij 2 je investicijski puno zahtjevniji nego scenarij 1. U tablici 6.1 navedene su cijene stavaka ukupne investicije za pojedini scenarij.

Tablica 6.1 Cijene stavaka ukupne investicije za pojedini scenarij

	Scenarij 1	Scenarij 2
Opis	DT morska voda - voda za grijanje zgrade	DT morska voda - voda za grijanje i hlađenje zgrade
Bunari + potopna pumpa	105.000,00 kn	125.000,00 kn
Razvod do međuizmjenjivača	15.000,00 kn	15.000,00 kn
Pločasti međuizmjenjivač (titanski)	17.000,00 kn	17.000,00 kn
Dizalica topline	125.000,00 kn	175.000,00 kn
Akumulacijski spremnik, 3000 l	45.000,00 kn	45.000,00 kn
Elektro - ormar i ožičenje	90.000,00 kn	90.000,00 kn
Ventilokonvektori	0,00 kn	315.000,00 kn
Cjevovodi, izolacija	0,00 kn	35.000,00 kn
Instalacijski radovi	100.000,00 kn	225.000,00 kn
Ukupno	507.000,00 kn	1.052.000,00 kn

6.3. Ekonomska analiza

Prije provođenja ekonomske analize, potrebno je ustanoviti cijenu energenata potrebnih za rad sustava. Cijena električne energije određena je prema dobivenim računima električne energije. Tarifni model zgrade gradske uprave je HEP PRO te cijena električne energije iznosi 0,78 [kn/kWh]. Za cijenu ekstra lakog loživog ulja uzeta je vrijednost od 0,42 [kn/kWh] [39]. Novac potreban za implementaciju sustava dizalice topline obračunat će se, u oba scenarija, pomoću kredita za poduzetnike čija kamatna stopa iznosi 2% [40]. Godine otplate dobivene su interpolacijom orijentiranom na pronalazak vremena kada godišnji trošak sustava dizalice topline postaje manji od godišnjeg troška uljnog kotla i VRV sustava. U slučaju nemogućnosti pokrivanja proračunom dobivenih godišnjih troškova, troškovi otplate kredita mogu se smanjiti dodatnim povećanjem broja godina.

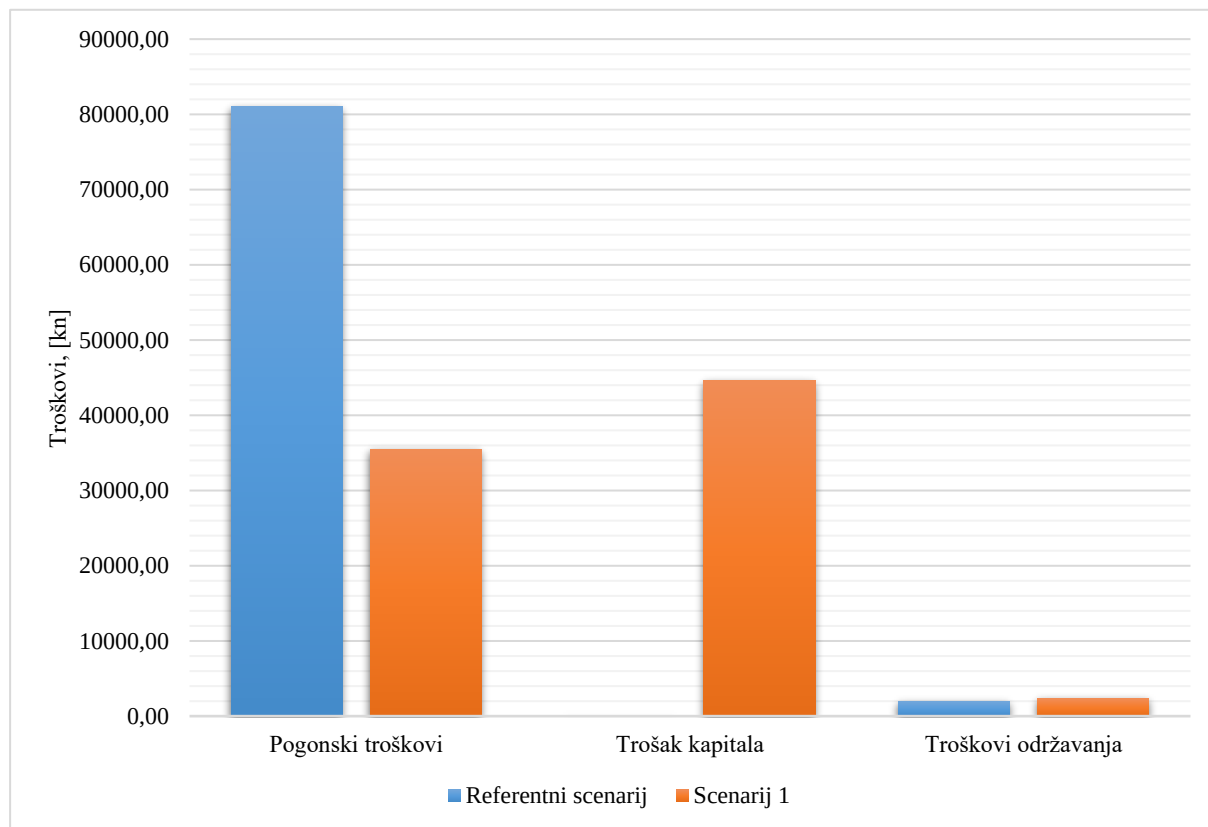
U tablicama 6.2 i 6.3 prikazani su rezultati analize ekonomske isplativosti počevši od prikaza investicijskih troškova, preko energetske analize do ekonomske analize na kraju.

Tablica 6.2 Ekonomska analiza referentnog scenarija i scenarija 1

Investicijski troškovi		Uljni kotao + VRV sustav		DT morska voda - voda + VRV sustav	
Troškovi sustava izmjene topline s morskom vodom, [kn]		-		105.000,00	
Troškovi uređaja, [kn]		-		302.000,00	
Troškovi distribucije toplinske energije, [kn]		-		-	
Troškovi instalacije, [kn]		-		100.000,00	
Ukupni investicijski troškovi, [kn]		-		507.000,00	
Energetska analiza					
Potrebna toplinska energija za grijanje, [kWh/god]		107058,22		107058,22	
Isporučena energija uređaju za grijanje, [kWh/god]		159497,72		27518,69	
Potrebna toplinska energija za hlađenje, [kWh/god]		62154,63		62154,63	
Isporučena energija uređaju za hlađenje, [kWh/god]		18129,90		18129,90	
Utrošak električne energije, [kWh/god]		18129,90		45648,59	
Utrošak lož ulja, [kWh/god]		159497,72		-	
Ekonomska analiza					
Investicija, [kn]		-		507.00,00	
Kamatna stopa, [%]		-		2	
Godine otplate		-		13	
Godišnja rata kredita, [kn/god]		-		44.676,00	
Cijena energenta, [kn/kWh]		Lož ulje	0,42	0,78	
		El. eng	0,78		
Pogonski troškovi, [kn/god]	Grijanje	66.989,04		21.382,02	
	Hlađenje	14.086,93		14.086,93	
Trošak grijanja i hlađenja [kn/god]		81.075,97		35.468,95	
Održavanje, [kn/god]		Kotao	500,00	DT	900,00
		VRV	1.500,00	VRV	1.500,00
Ukupni troškovi nakon 1 godine, [kn]		83.075,97		82.544,96	
Ukupni troškovi nakon 13 godina, [kn]		1.079.987,67		1.073.084,47	

Iz priložene tablice vidljivo je da je s rokom otplate kredita od 13 godina godišnji trošak implementiranog sustava dizalice topline morska voda - voda za grijanje zgrade te postojećeg

VRV sustava za hlađenje zgrade manji od troška referentnog scenarija. Na slici 6.2 prikazan je godišnji odnos pogonskih i investicijskih troškova te troškova održavanja referentnog scenarija i scenarija 1.



Slika 6.2 Vizualni prikaz ekonomske analize referentnog scenarija i scenarija 1

Implementacije sustava primjene obnovljivih izvora energije vrlo često se financijski potpomažu u sklopu europskih projekata ili državnih subvencija. Subvencijom od 40 [%], investicijski trošak scenarija 1 iznosi 304.200,00 [kn] te se uz provođenje ekonomske analize dobiva period povrata investicije od 8 godina što je za 5 godina manje od scenarija bez subvencije, stoga mogućnost subvencioniranja treba svakako uzeti u obzir.

U tablici 6.3 prikazana je analiza ekonomske isplativosti scenarija 2 te je iz dobivenih rezultata vidljivo da je s rokom otplate kredita od 28 godina godišnji trošak implementiranog sustava dizalice topline morska voda - voda za grijanje i hlađenje zgrade manji od troška referentnog scenarija što je u potpunosti neisplativo budući da je investicijski trošak daleko veći od ostvarenih godišnjih ušteda. Primijeni li se u ovom slučaju subvencija od 40 [%], investicija iznosi 631.200,00 [kn] te se rok otplate smanjuje na 15 godina što je svakako prihvatljivije.

Tablica 6.3 Ekonomska analiza referentnog scenarija i scenarija 2

Investicijski troškovi		Uljni kotao + VRV sustav	DT morska voda - voda
Troškovi sustava izmjene topline s morskom vodom, [kn]		-	125.000,00
Troškovi uređaja, [kn]		-	352.000,00
Troškovi distribucije toplinske energije, [kn]		-	-
Troškovi instalacije, [kn]		-	225.000,00
Ukupni investicijski troškovi, [kn]		-	1.052.000,00
Energetska analiza			
Potrebna toplinska energija za grijanje, [kWh/god]		107058,22	107058,22
Isporučena energija uređaju za grijanje, [kWh/god]		159497,72	27518,69
Potrebna toplinska energija za hlađenje, [kWh/god]		62154,63	62154,63
Isporučena energija uređaju za hlađenje, [kWh/god]		18129,90	13812,14
Utrošak električne energije, [kWh/god]		18129,90	41330,83
Utrošak lož ulja, [kWh/god]		159497,72	-
Ekonomska analiza			
Investicija, [kn]		-	1.052.000,00
Kamatna stopa, [%]		-	2
Godine otplate		-	28
Godišnja rata kredita, [kn/god]		-	49.433,13
Cijena energenta, [kn/kWh]		Lož ulje	0,42
		El. eng	0,78
Pogonski troškovi, [kn/god]	Grijanje	66.989,04	21.382,02
	Hlađenje	14.086,93	10.732,03
Trošak grijanja i hlađenja [kn/god]		81.075,97	32.114,05
Održavanje, [kn/god]		Kotao	500,00
		VRV	1.500,00
Ukupni troškovi nakon 1 godine, [kn]		83.075,97	82.447,19
Ukupni troškovi nakon 28 godina, [kn]		2.326.127,29	2.308.521,31

7. ZAKLJUČAK

Diplomski rad sadrži pregled stanja sustava dizalica topline u Hrvatskoj i Europi te tehnologija zahvata morske vode i problema koji se vežu uz njih. Proveden je i proračun toplinskog i rashladnog opterećenja zgrade gradske uprave Kaštel Sućurac te godišnje potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje iste. Prema dobivenim podacima i rezultatima, može se zaključiti kako zgrada ima dobra izolacijska svojstva te je, sukladno klimi lokacije i vremenskim prilikama, rashladno opterećenje zgrade veće od toplinskog. Ipak, vrijednost godišnje potrebne toplinske energije za grijanje je veća čemu su najveći razlog veliki ventilacijski gubici uslijed otvaranja prozora zaposlenika te pojave bure.

Zgrada gradske uprave Kaštel Sućurac nalazi se pedesetak metara od mora čija temperatura zimi, na dubini do dvadeset metara, ne pada ispod 13 [°C]. Kako je postojeći sustav grijanja već 30 godina u radu, potrebna je njegova skora obnova. Zbog dobrih energetske svojstva zgrade, toplinsko opterećenje zgrade je znatno manje čime se pruža mogućnost implementacije sustava dizalice topline s morskom vodom kao toplinskim izvorom na postojeće radijatore s manjim temperaturnim režimom sustava grijanja, a da je toplinsko opterećenje i dalje pokriveno. Period povrata takve investicije iznosio bi 13 godina budući da je investicijski trošak velik, međutim, uz financijske subvencije, sustav bi bio isplativiji u kraćem periodu. Razmatran je i slučaj implementacije dizalice topline za grijanje i hlađenje hotela, međutim, zbog potrebne instalacije novog sustava distribucije toplinske energije, investicijski trošak je znatno veći od prethodnog slučaja te se period povrata investicije penje na 28 godina, uz subvencije 15 godina.

Sustavi dizalica topline su sustavi s velikim investicijskim troškovima te je, još uvijek, jednostavnije i jeftinije ugrađivanje konvencionalnih sustava grijanja i hlađenja, međutim, pažnja ne smije biti usmjerena na troškove i kompleksnost izvedbe sustava. Krajnji cilj, u trenutno doba klimatskih promjena i borbe za zalihamo fosilnih goriva, treba biti smanjenje emisija CO₂ i povećanje korištenja obnovljivih izvora energije, a posebice postizanje energetske neovisnosti što sustavi poput dizalica topline morska voda - voda, a i dizalica topline općenito, omogućuju.

LITERATURA

- [1] Soldo, V.: Dizalice topline s OIE, Zagreb, 2017.
- [2] Nowak, T., Pascal, W.: European Heat Pump Market and Statistics Report 2018, EHPA, Bruxelles, 2018.
- [3] <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/2030-energy-strategy> (15.12.2018.)
- [4] <https://esavjetovanja.gov.hr/ECon/MainScreen?entityId=5390> (15.12.2018.)
- [5] https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017_03_22_508.html (15.12.2018.)
- [6] https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_08_98_1947.html (15.12.2018.)
- [7] <http://www.menea.hr/wp-content/uploads/2018/08/Dugorocna.strategija.2017-nacrt.pdf> (15.12.2018.)
- [8] <https://www.hgk.hr/documents/prezentacija-nzeb-u-rh-hgkvz5b3c74926882a.pdf> (15.12.2018.)
- [9] http://www.fzoeu.hr/hr/novosti/fond_gradanima_daje_12_milijuna_kuna_za_koristenje_obnovljivih_izvora_energije/ (15.12.2018.)
- [10] SEADRION PROJECT: Fostering Diffusion of Heating & Cooling Technologies Using the Seawater Heat Pump in The Adriatic-Ionian Region brochure, 2018.
- [11] ENERCOAST PROJECT: Technical, Environmental and Economic analysis of low and medium size of solar cooling systems, heat pumps with sea water, wind turbines and tidal current technologies, 2015.
- [12] Nielsen, P. B., Hormann, M., Nymann Rud, J., Moller Lauge, F.: Heat supply in Leirvik - case study, Nordic Council of Ministers, 2016.
- [13] <http://www.izor.hr/adhoc/hrv/klimatologija.htm> (15.12.2018.)
- [14] <https://www.seatemperature.org/europe/croatia/split.htm> (15.12.2018.)
- [15] Šimunović, G.: Iskustva, prednosti i mane prilikom projektiranja i izvedbe projekata koji koriste morsku vodu u svome radu, Zagreb, 2018.
- [16] <https://www.nordicghp.com/2017/01/heat-pump-effective-temperature-range/> (15.12.2018.)

- [17] https://watereuse.org/wp-content/uploads/2015/10/Intake_White_Paper.pdf
(18.12.2018.)
- [18] Mitchell, M. S., Spitler, J. D.: Open-loop direct surface water cooling and surface water heat pump systems, HVAC&R Research, SAD, 2013.
- [19] Harinath, Y. V., Mohan Krishna, T. V.: Design, construction and erection of seawater intake system to establish a biofuling test facility, Aquacultural Engineering, 2016.
- [20] Cao, Z. K., Han, H., Gu, B., Zhang, L., Hu, S. T.: Application of seawater source heat pump, Journal of the Energy Institute, 2016.
- [21] https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2003_10_158_2257.html (18.12.2018.)
- [22] Xin, J., Lin, D., Haiwen, S.: Effect of seawater intake methods on the performance of seawater source heat pump system in cold climate areas, Energy Buildings, 2017.
- [23] https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2009_12_153_3744.html (21.12.2018.)
- [24] https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010_07_82_2335.html (21.12.2018.)
- [25] <https://www.gshp.org.uk/DeMontfort/LargeWaterSourceHeatPumpsSwedish.pdf>
(15.12.2018.)
- [26] Soldo, V.: Primjena dizalica topline na morsku vodu za grijanje i hlađenje prostora, Zagreb, 2018.
- [27] https://www.ehpa.org/fileadmin/red/03_Media/03.02_Studies_and_reports/Large_heat_pumps_in_Europe_MDN_II_final4_small.pdf (15.12.2018.)
- [28] Brčić, O.: Primjena dizalice topline na morsku vodu u hotelskom kompleksu Punta Skala, Zagreb, 2018.
- [29] Forming d.o.o.: Energetska obnova ovojnice zgrade gradske uprave, Kaštel Novi, 2013.
- [30] <https://oss.uredjenazemlja.hr/public/cadServices.jsp?action=publicCadastreParcel>
(26.12.2018.)
- [31] <https://www.google.hr/maps/@43.5460185,16.4210214,185m/data=!3m1!1e3?hl=hr>
(26.12.2018.)
- [32] Roterm d.o.o.: Izvještaj o provedenom energetsom pregledu građevine - zgrada gradske uprave Grada Kaštela, Split, 2012.

-
- [33] https://www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/newsboard/22_02_2010_12505_EN_12831_Vjezbe.pdf (1.1.2019.)
- [34] <https://www.fsb.unizg.hr/termolab/nastava/IZ-Proracun%20dobitaka%20topline-v03.pdf> (1.1.2019.)
- [35] https://mgipu.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/meteoroloski_podaci/Algoritam_HRN_EN_13790_2017.pdf (2.1.2019.)
- [36] https://mgipu.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/Meteo_parametri_po_postajama.pdf (2.1.2019.)
- [37] <https://mgipu.gov.hr/o-ministarstvu-15/djelokrug/energetsko-certificiranje-zgrada-8304/racunalni-program-za-odredjivanje-energetskog-svojstva-zgrade-8359/8359> (4.1.2019.)
- [38] <http://geothermalmapping.fsb.hr/wp-content/uploads/2015/02/Tehnoekonomska-analiza-dizalica-topline-IPA-radionica-Zadar.pdf> (10.1.2019.)
- [39] <http://www.servis-perkovic.hr/financijska-usporedba-energenata> (12.01.2019.)
- [40] https://www.hbor.hr/kreditni_program/zastita-okolisa/ (12.01.2019.)

PRILOZI

- I. CD-R
- II. Tehnička dokumentacija: Hidraulička shema sustava dizalice topline morska voda - voda