

Tehno-ekonomska analiza primjene dizalice topline tlo-voda za nZEB kuću za grad Split

Đujić, Jadran

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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:235:669866>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-05**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Jadran Đujić

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

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

Dr. sc. Luka Boban, dipl. ing.

Student:

Jadran Đujić

Zagreb, 2022.

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

Zahvaljujem se prof.dr.sc. Vladimiru Soldi na mentorstvu, ustupljenom vremenu tijekom izrade rada i podrške bez koje ne bih bio tu gdje jesam.

Zahvaljujem se dr.sc. Luki Bobanu na ustupljenom vremenu i pomoći pri izradi rada.

Zahvaljujem se svim bliskim osobama i prijateljima koji su vjerovali u mene i podržavali me tijekom studija i za vrijeme izrade ovog rada.

Jadran Đujić



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, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarski



Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 22 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 22 -	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Jadran Đujić** JMBAG: 0035197133

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Tehno-ekonomska analiza primjene dizalice topline tlo-voda za nZEB kuću za grad Split**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Techno-economic assessment of ground to water heat pump application for nZEB building in city of Split**

Opis zadatka:

Dizalice topline već su desetljećima u razvijenom svijetu prepoznate kao visokoučinkovita tehnologija u proizvodnji rashladne i toplinske energije. S obzirom na to da je učinkovitost dizalice topline vezana uz razliku temperatura toplinskih spremnika, najčešće se koriste za niskotemperaturne sustave grijanja.

Za širu primjenu navedene tehnologije posebno je značajna *Direktiva o energetske učinkovitosti zgrada* (2010/31/EC) koja je uvela pojam gotovo nula energetske zgrada (skraćeno nZEB) i koja je proteklih godina transponirana u nacionalna zakonodavstva zemalja članica. Hrvatska je *Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinske zaštiti u zgradama* (NN 102/20) propisala zahtjeve za nZEB zgrade.

U radu je potrebno proračunati dizalicu topline tlo-voda za obiteljsku kuću gotovo nulte energije na području grada Splita, korisne površine 180 m².

Rad treba sadržavati:

1. Izračun toplinskog i rashladnog opterećenja kuće (HRN EN 12831, VDI 2078).
2. Izračun godišnje potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje (HRN EN 13790).
3. Izračun primarne energije i parametara nZEB zgrade.
4. Izračun potrebnog broja bušotinskih izmjenjivača topline za slučaj korištenja čiste vode kao posrednog prijenosnika energije za režime grijanja 35/30 °C i 55/47 °C.
5. Dimenzioniranje komponenti dizalice topline, cjevovoda i cirkulacijskih pumpi izvora i ponora topline.
6. Tehno-ekonomsku analizu primjene dizalice topline za grijanje obiteljske kuće.
7. Hidrauličku shemu spajanja sustava.

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

Zadatak zadan:

Datum predaje rada:

Predviđeni datumi obrane:

11. studenoga 2021.

13. siječnja 2022.

17. – 21. siječnja 2022.

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

Dr. sc. Luka Boban

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	V
POPIS OZNAKA	VI
SAŽETAK.....	XI
SUMMARY	XII
1. UVOD.....	1
1.1. Dizalice topline tlo-voda.....	3
1.2. Dizalica topline zrak-voda i zrak-zrak	4
1.3. Dizalica topline voda-voda	5
2. PRORAČUN FIZIKE ZGRADE.....	6
2.1. Opis zgrade	6
2.2. Koeficijenti prolaza topline građevnih elemenata	11
3. PRORAČUN PROJEKTOG TOPLINSKOG OPTEREĆENJA PREMA NORMI HRN EN 12831 [6]	14
3.1. Proračun projektnog toplinskog opterećenja.....	14
3.1.1. Projektni transmisijski gubici	14
3.1.1.1. Transmisijski gubici prema vanjskom okolišu	15
3.1.1.2. Transmisijski gubici kroz negrijane prostorije	15
3.1.2. Projektni ventilacijski gubici	16
3.1.2.1. Protok zraka bez ventilacijskog sustava	17
4. PRORAČUN PROJEKTOG RASHLADNOG OPTEREĆENJA PREMA VDI 2078 [7]20	
4.1. Proračun projektnog rashladnog opterećenja	20
4.1.1. Unutrašnji dobici.....	20
4.1.2. Vanjski dobici	21
4.2. Postavke proračuna i rezultati	22
5. GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA GRIJANJE I HLAĐENJE ZGRADE PREMA NORMI HRN EN 13790 [8]	23
5.1. Elementarni tijek proračuna	23
5.2. Postavke proračuna i rezultati	30
6. IZRAČUN PRIMARNE ENERGIJE I PARAMETARA nZEB ZGRADE POMOĆU MGIPU ENERGETSKOG CERTIFIKATORA	36
7. DIMENZIONIRANJE KOMPONENTI DIZALICE TOPLINE I BUŠOTINSKOG IZMJENJIVAČA TOPLINE	41
7.1. Proračun procesa za temperaturni režim 55/47 °C.....	41
41	
7.2. Proračun procesa za temperaturni režim 35/30 °C.....	45

7.3. Proračun cjevovoda i cirkulacijske pumpe	48
7.3.1. Usisni vod	48
7.3.2. Tlačni vod	49
7.3.3. Kapljevinski vod	50
7.3.4. Vod polaza i povrata sustava grijanja	51
7.3.5. Vod - voda prema izvoru topline	52
7.4. Proračun pada tlaka i odabir pumpe.....	53
8. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA PRIMJENE DIZALICE TOPLINE ZA GRIJANJE I HLAĐENJE OBITELJSKE KUĆE.....	58
8.1. Kratak opis pojedinih sustava grijanja i hlađenja	58
8.1.1. Dizalica topline tlo-voda.....	58
8.1.2. Sustav grijanja s uljnim kotlom	59
8.1.3. Sustav hlađenja pomoću klima uređaja.....	59
8.2. Troškovnik sa stavkama i ekonomska analiza pojedinog sustava	59
9. ZAKLJUČAK.....	66
LITERATURA.....	67
PRILOZI.....	68

POPIS SLIKA

Slika 1. Ljevokretni proces u T-s dijagramu [21]	1
Slika 2. Shema dizalice topline tlo-voda [21]	3
Slika 3. Shema dizalice topline zrak-voda	4
Slika 4. Shema dizalice topline voda-voda	5
Slika 5. Zapadna fasada kuće	6
Slika 6. istočna fasada kuće.....	7
Slika 7. Pozicija kuće	8
Slika 8. Tlocrt prizemlja.....	8
Slika 9. Tlocrt prvog kata	9
Slika 10. Tlocrt potkrovlja	9
Slika 11. Tablica ulaznih temperatura za normu HRN EN 13790	30
Slika 12. Dijagram konačnih rezultata Q_{hnd} za promatrani objekt	32
Slika 13. Dijagram konačnih rezultata Q_{cnd} za promatrani objekt	35
Slika 14. Podaci o zgradi.....	36
Slika 15. Energetski razred zgrade	37
Slika 16. Građevinski dijelovi zgrade	38
Slika 17. Podaci o termotehničkim sustavima zgrade.....	39
Slika 18. Podaci o energetskim potrebama zgrade.....	39
Slika 19. Najveće dopuštene vrijednosti za nove zgrade (nZEB) grijane i/ili hlađene na temperaturu 18 °C ili više	40
Slika 20. Pojednostavljena shema dizalice topline.....	41
Slika 21. Skica procesa u T-s i log p-h dijagramu	43
Slika 22. Pumpa Grundfos Magna 25-80 180	55
Slika 23. Pumpa Grundfos 32-60-180.....	57

POPIS TABLICA

Tablica 1. Pregled objekta po prostorijama i površinama prostorija.....	10
Tablica 2. Koeficijenti prolaza topline	11
Tablica 3. Vanjski zid-tip 1 po slojevima	11
Tablica 4. Vanjski zid-tip 2 po slojevima	12
Tablica 5. Krov po slojevima	12
Tablica 6. Terasa po slojevima.....	12
Tablica 7. Pod po slojevima	13
Tablica 8. Minimalni broj izmjena.....	16
Tablica 9. Konačan rezultat projektnog toplinskog opterećenja	19
Tablica 10. Ukupni unutarnji toplinski dobici	22
Tablica 11. Ukupni vanjski toplinski dobici	22
Tablica 12. Koeficijenti izmjene topline za QHnd (W/K).....	30
Tablica 13. Konačni rezultati Qhnd za promatrani objekt	31
Tablica 14. Koeficijenti izmjene topline za QCnd (W/K)	33
Tablica 15. Konačni rezultati QCnd za promatrani objekt.....	34
Tablica 16. Stanja radne tvari u karakterističnim točkama procesa radne tvari R410a	43
Tablica 17. Stanja radne tvari u karakterističnim točkama procesa radne tvari R410a	46
Tablica 18. Proračun pada tlaka na donjem krugu-krugu koji ide do bušotinskih izmjenjivača	54
Tablica 19. Proračun pada tlaka gornjeg kruga-toplovodnog sustava koji ide prema ogrjevnim tijelima.....	56
Tablica 20. Troškovnik za sustav dizalice topline tlo-voda	60
Tablica 21. Troškovnik za sustav uljnog kotla.....	61
Tablica 22. Troškovnik za sustav klima uređaja	62
Tablica 23. Ekonomska analiza grijanja	63
Tablica 24. Ekonomska analiza hlađenja	64
Tablica 25. Analiza troška investicije i godišnjih troškova kapitala i pogona.....	65
Tablica 26. Analiza razdoblja povrata investicije za sustav dizalice topline	65

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

1. Shema spajanja

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$\phi_{T,i}$	[W]	projektni transmisijski gubici prostorije
$\phi_{V,i}$	[W]	projektni ventilacijski gubici prostorije
$H_{T,ie}$	[W/K]	koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu
$H_{T,iue}$	[W/K]	koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu
$H_{T,ig}$	[W/K]	koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema tlu
$H_{T,ij}$	[W/K]	koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu
$\vartheta_{int,i}$	[°C]	unutarnja projektna temperatura grijanog prostora
ϑ_e	[°C]	vanjska projektna temperatura
A_k	[m ²]	površina plohe "k" kroz koju prolazi toplina
U_k	[W/m ² K]	koeficijent prolaza topline građevnog elementa "k"
e_k, e_l	[-]	korekcijski faktori izloženosti koji uzimaju u obzir klimatske uvjete i određuju se na nacionalnoj razini
ψ_l	[W/mK]	linijski koeficijent prolaza topline linijskog toplinskog mosta "l"
l_l	[m]	dužina linijskog toplinskog mosta između vanjskog okoliša i prostorije
b_U	[-]	faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir temperaturu grijane, negrijane prostorije i vanjskog okoliša
f_{g1}	[-]	korekcijski faktor za utjecaj godišnje oscilacije vanjske temperature
f_{g2}	[-]	faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između godišnje srednje vanjske i vanjske projektne temperature
$U_{equiv,k}$	[W/m ² K]	ekvivalentni koeficijent prolaza topline iz tablica i dijagrama prema tipologiji poda (dubina ispod površine tla, karakteristični parametar B')
G_W	[-]	korekcijski faktor za utjecaj podzemnih voda
A_g	[m ²]	površina poda
P	[m]	ukupna dužina vanjskih zidova koji odvajaju grijani prostor od vanjskog okoliša
f_{ij}	[-]	faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između temperature susjednog prostora i vanjske projektne temperature
$H_{V,i}$	[W/K]	koeficijent ventilacijskih gubitaka

$V_{min,i}$	[m ³ /h]	minimalni higijenski protok zraka
V	[m ³]	volumen zraka u prostoriji
n_{min}	[h ⁻¹]	minimalan broj izmjena zraka (nacionalni dodatak)
n_{50}	[h ⁻¹]	broj izmjena zraka u prostoriji pri razlici tlaka 50 Pa između prostorije i vanjskog okoliša
e_i	[-]	koeficijent zaštićenosti, uzima u obzir utjecaj vjetra odnosno zaštićenost zgrade i broj otvora prema okolišu
ε_i	[-]	korekcijski faktor za visinu, uzima u obzir različit odnos tlakova s visinom iznad tla
$V_{inf,i}$	[m ³ /h]	protok zraka u prostoriju uslijed infiltracije kroz zazore
$V_{su,i}$	[m ³ /h]	količina zraka dovođena mehaničkim sustavom ventilacije
$V_{mech,inf,i}$	[m ³ /h]	višak odvedenog zraka iz prostorije
$f_{V,i}$	[-]	faktor smanjenja temperaturne razlike
$\vartheta_{su,i}$	[°C]	temperatura dobavnog zraka
A_i	[m ²]	površina poda grijanog prostora s ½ debljine zidova
f_{RH}	[W/m ²]	korekcijski faktor ovisan o vremenu zagrijavanja i pretpostavljenom padu temperature za vrijeme prekida grijanja
\dot{Q}_P	[W]	toplinski dobitci od ljudi
n	[-]	broj ljudi u prostoriji
S_i	[-]	koeficijent toplinskog opterećenja za unutarnje dobitke
\dot{Q}_B	[W]	toplinski dobitci rasvjete
P	[W]	instalirana snaga rasvjete
l	[-]	faktor istovremenosti rasvjete
μ_B	[-]	faktor opterećenja od rasvjete
\dot{Q}_M	[W]	toplinsko opterećenje od opreme (računala, kuhala, printeri)
η	[-]	učinkovitost uređaja
μ_{aj}	[-]	faktor opterećenja
P_j	[W]	snaga uređaja
\dot{Q}_G	[W]	toplinsko opterećenje zbog izmjene mase
\dot{m}	[kg/s]	izmijenjena masa u prostoriji
c	[J/kgK]	srednji specifični toplinski kapacitet
ϑ_E	[°C]	temperatura na ulazu
ϑ_A	[°C]	temperatura na izlazu
k	[W/m ² K]	koeficijent prolaza topline

A	$[\text{m}^2]$	površina
$\Delta\vartheta$	$[\text{°C}]$	razlika temperature
\dot{Q}_R	$[\text{W}]$	toplinsko opterećenje od susjednih prostorija
k	$[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$	koeficijent prolaza topline
A	$[\text{m}^2]$	površina
$\Delta\vartheta_{eq}$	$[\text{K}]$	ekvivalentna razlika temperatura
\dot{Q}_W	$[\text{W}]$	dobici kroz vanjske zidove i krovove
\dot{Q}_T	$[\text{W}]$	transmisijски dobici kroz prozore
k_F	$[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$	koeficijent prolaza topline prozora
A_M	$[\text{m}^2]$	ukupna površina prozora
\dot{Q}_S	$[\text{W}]$	toplinsko opterećenje prostorije zbog zračenja kroz prozore
A_1	$[\text{m}^2]$	površina izložena Suncu
A	$[\text{m}^2]$	ukupna površina stakla
I_{max}	$[\text{W}/\text{m}^2]$	iznos ukupnog zračenja
I_{diff}	$[\text{W}/\text{m}^2]$	iznos difuznog zračenja
b	$[-]$	faktor propusnosti stakla i zaštitnih uređaja
S_a	$[-]$	koeficijent toplinskog opterećenja
Q_{tr}	$[\text{kWh}]$	izmijenjena toplinska energija transmisijom za proračunsku zonu
Q_{ve}	$[\text{kWh}]$	potrebna toplinska energija za klimatizaciju/ventilaciju za proračunsku zonu
η_{Hgn}	$[-]$	faktor iskorištenja toplinskih dobitaka
Q_{int}	$[\text{kWh}]$	unutarnji toplinski dobici zgrade (ljudi, uređaji, rasvjeta)
Q_{sol}	$[\text{kWh}]$	toplinski dobici od sunčeva zračenja
H_{tr}	$[\text{W}/\text{K}]$	koeficijent transmisijске izmjene topline proračunske zone
H_{ve}	$[\text{W}/\text{K}]$	koeficijent ventilacijske izmjene topline proračunske zone
$\vartheta_{int,H}$	$[\text{°C}]$	unutarnja postavna temperatura grijane zone
ϑ_{em}	$[\text{°C}]$	srednja vanjska temperatura za proračunski period (sat ili mjesec)
H_D	$[\text{W}/\text{K}]$	koeficijent transmisijске izmjene topline prema vanjskom okolišu
H_U	$[\text{W}/\text{K}]$	koeficijent transmisijске izmjene topline kroz negrijani/nehlađeni prostor prema vanjskom okolišu
H_A	$[\text{W}/\text{K}]$	koeficijent transmisijске izmjene topline prema susjednoj zgradi
$H_{g,m}$	$[\text{W}/\text{K}]$	koeficijent transmisijске izmjene topline prema tlu za proračunski mjesec

$H_{ve,inf}$	[W/K]	koeficijent ventilacijske izmjene topline uslijed infiltracije
$H_{ve,win}$	[W/K]	koeficijent ventilacijske izmjene topline uslijed otvaranja prozora
$H_{H,ve,mech}$	[W/K]	koeficijent ventilacijske izmjene topline uslijed mehaničke ventilacije/klimatizacije kod zagrijavanja zraka
$Q_{H,gn}$	[kWh]	Ukupni toplinski dobitci za proračunski period
Q_{Hnd}	[kWh]	godišnja potrebna toplinska energija za grijanje
Q_{Cnd}	[kWh]	godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje
q_{spec}	[W/m ²]	specifični unutarnji dobitak po m ² korisne površine
A_k	[m ²]	korisna površina
t	[h]	proračunsko vrijeme
$F_{sh,ob}$	[-]	faktor zasjenjenja 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 k prema nebu
t	[h]	proračunsko vrijeme
$Q_{C,gn}$	[kWh]	ukupni toplinski dobitci zgrade u periodu hlađenja: ljudi, rasvjeta, uređaji, solarni dobitci
$Q_{C,ht}$	[kWh]	ukupno izmijenjena toplinska energija u periodu hlađenja
$\eta_{C,is}$	[-]	faktor iskorištenja toplinskih gubitaka kod hlađenja
$\eta_{H,gn}$	[-]	faktor iskorištenja toplinskih dobitaka
a_H	[-]	bezdimenzijski parametar ovisan o vremenskoj konstanti zgrade τ
y_H	[-]	omjer toplinskih dobitaka i ukupne izmijenjene topline transmisijom i ventilacijom u režimu grijanja
y_C	[-]	omjer toplinskih dobitaka i ukupne izmijenjene topline transmisijom i ventilacijom u režimu hlađenja
ϑ_{pol}	[°C]	Temperatura polaza grijanja
ϑ_{pov}	[°C]	Temperatura povrata grijanja
ϑ_{kond}	[°C]	Temperatura kondenzacije
ϑ_{isp}	[°C]	Odabrana temperatura isparavanja
η_k	[-]	Izentropski stupanj kompresije

ϑ_{pot}	[°C]	temperatura pothlađenja
ϑ_{preg}	[°C]	temperatura pregrijanja
COP	[-]	Toplinski množitelj – faktor grijanja
μ	[Pa*s]	Dinamički viskozitet
Pr	[-]	Prandtlov broj

SAŽETAK

Tema diplomskog rada je tehno-ekonomska analiza primjene dizalice topline tlo-voda za nZEB kuću korisne grijane površine 216m² na području grada Splita.

Na početku se proračunava toplinsko i rashladno opterećenje po normama HRN EN 12831 za grijanje, te VDI2078 za hlađenje da bi se prema rezultatima odabrao sustav dizalice topline. Zatim se proračunava godišnja potrebna energija za grijanje i hlađenje prema normi HRN 13790, što je zapravo uvod u tehno-ekonomsku analizu. Na temelju rezultata i režima grijanja odabire se tip dizalice topline, te se modeliraju komponente same dizalice topline. Naposljetku se radi tehno-ekonomska analiza gdje se uspoređuje sama dizalica topline s ostalim mogućim rješenjima.

Ključne riječi: dizalica topline tlo-voda, nZEB kuća, tehno-ekonomska analiza

SUMMARY

The topic of the diploma thesis is the techno-economic analysis of the application of ground-water heat pump for nZEB house with a usable heated area of 216 m² in the city of Split.

At the beginning, the heat and cooling load is calculated according to the standards HRN EN 12831 for heating and VDI 2078 for cooling in order to select the heat pump system according to the results. Then, the annual required energy for heating and cooling is calculated according to the standard HRN EN 13790, which is actually the beginning of the techno-economic analysis. Based on the results and the heating regime, the type of heat pump is selected and the components of the heat pump itself are modeled. Finally, a techno-economic analysis is performed where the heat pump itself is compared with other possible solutions.

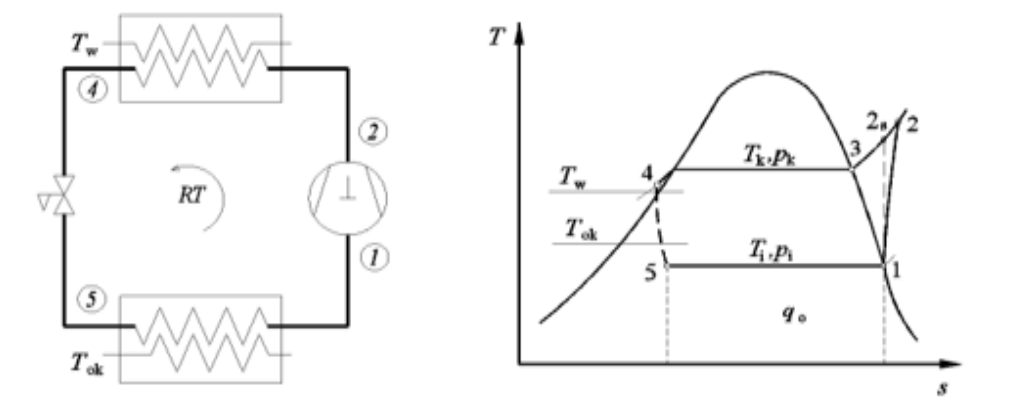
Key words: ground to water heat pump, nZEB house, techno-economic analysis

1. UVOD

Dizalica topline je ekološki prihvatljiv sustav grijanja koji funkcionira tako da za grijanje koristi toplinu iz okolnog zraka, zemlje ili podzemne vode. Poput hladnjaka, dizalice topline većinom koriste električnu energiju za prijenos topline iz hladnijeg okoliša u topliji prostor. Tijekom sezone grijanja, dizalice topline prenose toplinu iz okoline u prostor, dok za vrijeme sezone hlađenja dizalice topline prenose toplinu iz hlađene kuće u okolinu. [9] Za slučaj da se za sami rad dizalice koristi električna energija koja je proizvedena iz obnovljivih izvora energije, dizalica topline postaje energetski neovisan termoenergetski sustav.

Prijenos toplinske energije od izvora topline postiže se pomoću ljevokretnog kružnog procesa gdje se pomoću dodatno uloženog rada kompresora pospješuje da odabrana radna tvar na sebe prima toplinsku energiju iz okoliša i da se toplinska energija prenosi na višu temperaturnu razinu s ciljem grijanja, u ovom slučaju, stambenog prostora. [2]

Sam ljevokretni proces prikazan je na sljedećoj slici i objašnjen u nastavku teksta.



Slika 1. Ljevokretni proces u T-s dijagramu [21]

Na slici je prikazan kružni ljevokretni proces radne tvari koja je u točki 1 u stanju suhozasićene pare podvrgnuta kompresiji do točke 2. Ideja je da se povećanjem tlaka posljedično poveća i temperatura te se omogući sama izmjena topline na kondenzatoru. U točki 2 radna tvar se nalazi u stanju pregrijane pare te je izobarnim procesom podvrgnuta hlađenju i kondenzaciji do točke 4, dok se istovremeno ta toplina odaje mediju pomoću kojeg grijemo prostor. Promjenom stanja između točaka 4 i 5 prikazano je prigušivanje radne tvari pri konstantnoj entalpiji pri čemu dolazi do pada temperature i tlaka radne tvari. Na temperaturi isparavanja radna tvar isparava preuzimajući toplinu s izvora topline koji je više temperature (proces 5-1).

S obzirom na medij ili toplinski spremnik koji dizalica topline koristi, možemo ih podijeliti na dizalice topline tlo-voda, zrak-voda, voda-voda i zrak-zrak.

Prednosti dizalice topline su:

1. Veća sigurnost za korisnika od sustava grijanja na izgaranje (peći)
2. Smanjenje emisije stakleničkih plinova
3. Niži troškovi rada
4. Dug životni vijek
5. Jednostavnije održavanje od sustava grijanja na izgaranje (peći)

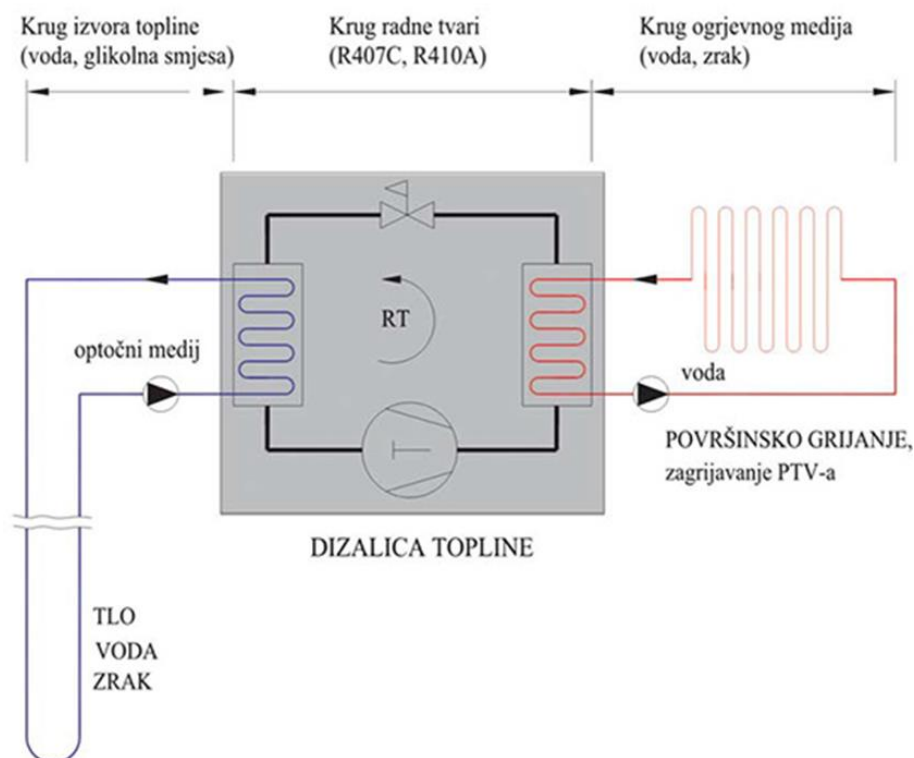
Nedostatci dizalice topline su:

1. Visoki početni troškovi
2. Upitna održivost
3. Osjetljivost na niske temperature kod dizalica topline koje koriste zrak kao toplinski izvor
4. Složena ugradnja geotermalnih dizalica topline

1.1. Dizalice topline tlo-voda

Dizalice topline tlo-voda ili geotermalne dizalice topline idealne su za nove kuće ili velike obnove. Koriste vertikalno postavljene sonde u tlo ili horizontalne petlje tamo gdje je tlo dostupno. Vertikalne sonde se postavljaju u obliku U-cijevi, kroz koje struji voda ili glikolna smjesa, koriste se na područjima koja nemaju mogućnost polaganja podzemnih kolektora zbog njihove površine ili lošeg tla. Horizontalne petlje ili podzemni kolektori se u obliku zavojnica postavljaju na određenu dubinu ispod dubine zamrzavanja tla (1,2 - 1,5 m). [10]

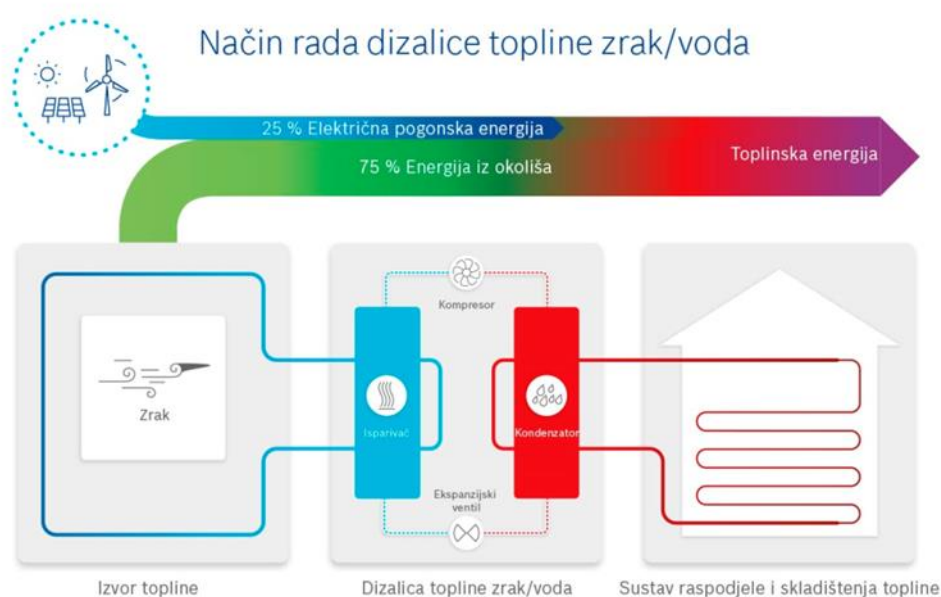
Dizalice topline tlo-voda iznimno su pouzdane, čak i u najhladnijim klimatskim uvjetima, jer preuzimaju toplinsku energiju ispod površine zemlje. [3] Njihov rad se temelji na činjenici da je temperatura tla u dubljim slojevima približno konstantna tijekom godine, što bi značilo da niti hladni niti topli ekstremi vanjske temperature zraka uglavnom ne utječu na parametre na izmjenjivaču. Rezultat toga je učinkoviti rad dizalice topline budući se zbog manje razlike temperature smanjuje potrebna snaga kompresora.



Slika 2. Shema dizalice topline tlo-voda [21]

1.2. Dizalica topline zrak-voda i zrak-zrak

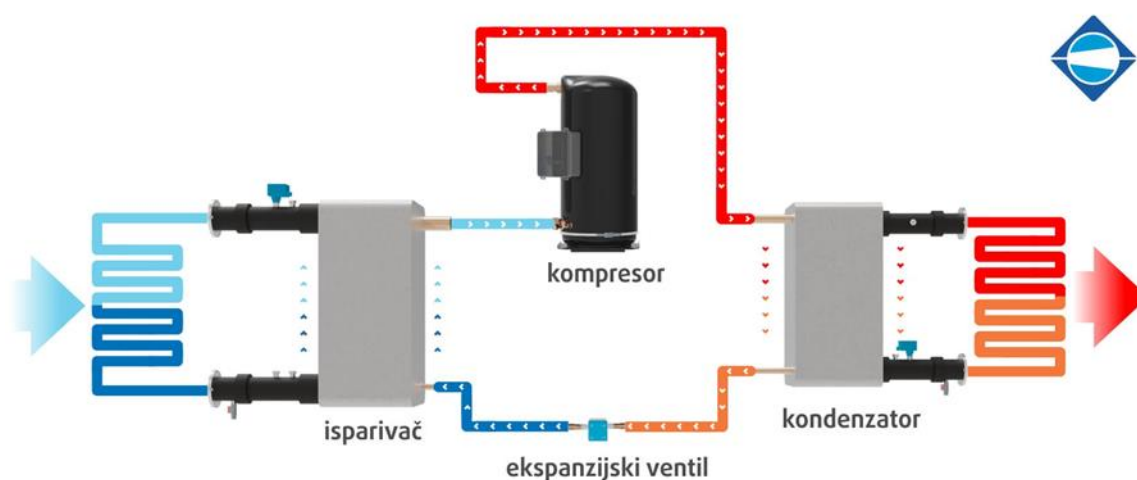
Dizalica topline zrak-voda koristi vanjski zrak kao toplinski spremnik. Razlika je što zrak-voda koristi sustav centralnog grijanja ili podnog grijanja kao sustav predaje topline, dok zrak-zrak koristi klasičnu cirkulaciju zraka, kao što možemo primijetiti na klima uređajima. Za razliku od dizalica topline koji kao izvor topline koriste vodu ili tlo, dizalice topline koje koriste zrak kao toplinski spremnik ograničene su u radu pri temperaturama zraka ispod -5°C .



Slika 3. Shema dizalice topline zrak-voda

1.3. Dizalica topline voda-voda

Dizalice topline voda-voda i voda-zrak kao toplinski izvor energije upotrebljavaju vodu. Izvor vode može biti jezero, rijeka, bunar ili bušotina koja se proteže do podzemnih voda, koje su najčešći izvor topline. Dizalice topline voda-voda mogu koristiti vodu kao medij za zagrijavanje zgrada tako da energiju dobivenu iz izvora vode, podiže na viši temperaturni režim, te ju zatim preko distribucijskog sustava zgrade šalje do radijatora ili krugova podnog grijanja (Slika 4). [4]



Slika 4. Shema dizalice topline voda-voda

S obzirom na dodatnu energiju koja je potrebna dizalicama topline za održavanje ciklusa, može joj se dovoditi ili toplinska energija ili mehanički rad. Toplinsku energiju kao dodatnu energiju koriste apsorpcijske, adsorpcijske i Vuilleumierove, dok mehanički rad kao dodatnu energiju koriste kompresijske dizalice topline.

2. PRORAČUN FIZIKE ZGRADE

2.1. Opis zgrade

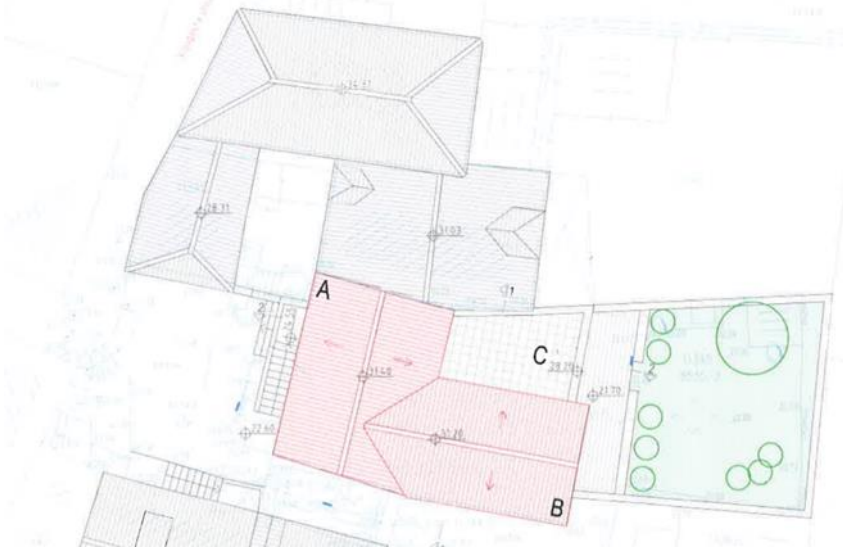
Predmet obrade diplomskog rada je obiteljska kuća u starom dijelu grada Splita korisne površine 216 m². Kuća se sastoji od prizemlja bez garaže, kata i potkrovlja te se naslanja sjevernim zidom na susjednu kuću. Vanjska ovojnica se sastoji od termofasade i na dijelovima od kamene fasade da bi se udovoljilo zahtjevima konzervatora jer je kuća u starom dijelu grada. Namjena objekta je isključivo stambena.



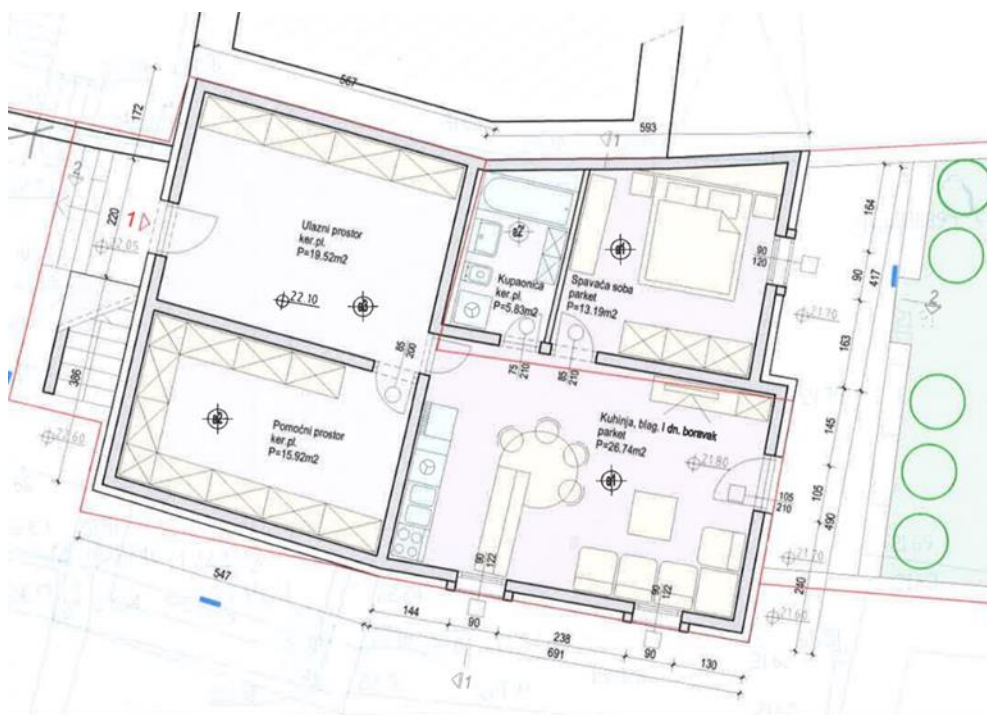
Slika 5. Zapadna fasada kuće



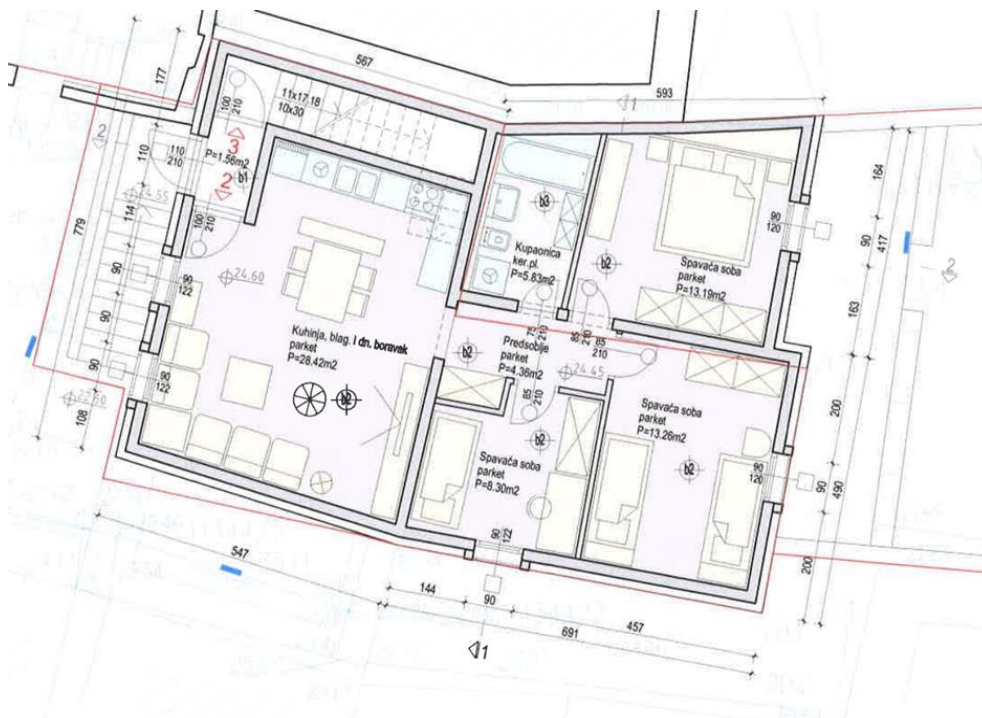
Slika 6. istočna fasada kuće



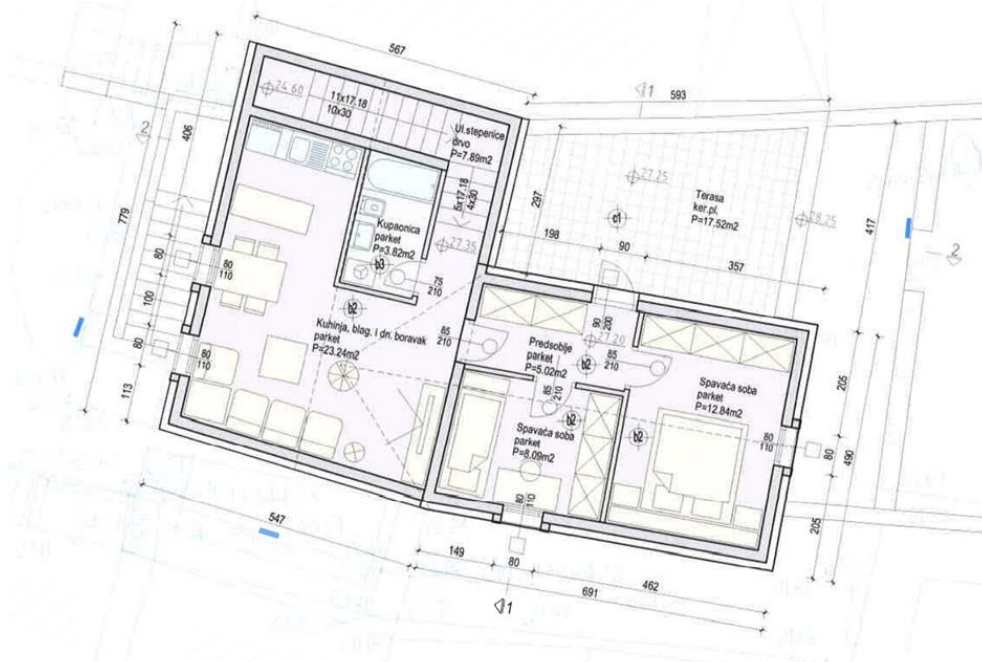
Slika 7. Pozicija kuće



Slika 8. Tlocrt prizemlja



Slika 9. Tlocrt prvog kata



Slika 10. Tlocrt potkrovlja

Tablica 1. Pregled objekta po prostorijama i površinama prostorija

Rbr.	Prostorija	Površina (m²)
1.	Dnevni boravak, blagovaonica, kuhinja-prizemlje	26,74
2.	Spavaća soba-roditeljska soba-prizemlje	13,19
3.	Kupaonica-prizemlje	5,83
4.	Ulazni prostor-prizemlje	19,52
5.	Pomoćni prostor-prizemlje	15,92
	Ukupno prizemlje	81,2
6.	Dnevni boravak, blagovaonica, kuhinja-prvi kat	28,42
7.	Predsooblje-prvi kat	4,36
8.	Spavaća soba (dječja soba)-prvi kat	8,30
9.	Spavaća soba (dječja soba)-prvi kat	13,26
10.	Spavaća soba (roditeljska soba)-prvi kat	13,19
11.	Kupaonica-prvi kat	5,83
	Ukupno 1. kat	73,36
12.	Stubište-drugi kat	7,89
13.	Dnevni boravak, blagovaonica, kuhinja-drugi kat	23,24
14.	Predsooblje-drugi kat	5,02
15.	Spavaća soba (dječja soba)-drugi kat	8,09
16.	Spavaća soba (roditeljska soba)-drugi kat	12,84
17.	Kupaonica-drugi kat	3,82
	Ukupno 1. kat	60,9
	Ukupna površina bez terase	215,46

2.2. Koeficijenti prolaza topline građevnih elemenata

Vanjski zidovi su građeni na dva načina. Dio površine je zahvaćen po modelu „Vanjski zid-tip 1“ koji sadrži strukturu kamene fasade, dok je ostatak građen po modelu „Vanjski zid-tip 2“ koji sadrži strukturu termofasade. Po koeficijentima prolaza topline, koji su prikazani u nastavku, može se zaključiti da je objekt dobro izoliran. Projektni toplinski gubici su računati za svaki prostor pojedinačno da bi se dobila što vjernija slika potrebnog ogrjevnog učina. Sljedeće tablice prikazuju dijelove vanjske ovojnice (vanjske zidove, krov, terasu, pod) te je po slojevima dana metodika proračuna na primjeru jednog zida kako se računa koeficijent prolaza topline. Uzet je kao primjer Vanjski zid-tip 1.

Tablica 2. Koeficijenti prolaza topline

Građevni element	U_k [W/m ² K]
Vanjski zid-tip 1	0,3
Vanjski zid-tip 2	0,3
Krov	0,26
Terasa	0,33
Pod	0,34

Tablica 3. Vanjski zid-tip 1 po slojevima

R.br.	MATERIJAL	d (m)	λ (W/mK)	ρ (kg/m ³)
1.	Gips-karton ploče	0,012	0,25	900
2.	Mineralna vuna	0,10	0,035	150
3.	Polietilenska folija-preklopljena	0,001	0,25	1600
4.	Armirani beton	0,2	2,6	2500
5.	Prirodni kamen	0,15	1,4	2000

Tablica 4. Vanjski zid-tip 2 po slojevima

R.br.	MATERIJAL	d (m)	λ (W/mK)	ρ (kg/m ³)
1.	Gipsana žbuka	0,012	0,51	1500
2.	Šuplji blokovi od gline	0,2	0,45	1000
3.	Ekspandirani polistiren	0,1	0,035	30
4.	Cementna žbuka	0,01	1	2000

Tablica 5. Krov po slojevima

R.br.	MATERIJAL	d (m)	λ (W/mK)	ρ (kg/m ³)
1.	Gipsana žbuka	0,012	0,51	1500
2.	Gips-karton ploče	0,012	0,25	900
3.	Mineralna vuna	0,1	0,035	150
4.	Drvene ploče od usmjerenog iverja	0,01	0,15	550
5.	Polietilenska folija, preklopljena	0,001	0,25	1200
6.	Teški beton	0,03	2,6	3200
7.	Puna opeka od gline	0,02	0,8	1700

Tablica 6. Terasa po slojevima

R.br.	MATERIJAL	d (m)	λ (W/mK)	ρ (kg/m ³)
1.	Gipsana žbuka	0,012	0,51	1500
2.	Armirani beton	0,2	2,6	2500
3.	Bitumenska traka	0,02	0,23	1100
4.	Ekspandirani polistiren (EPS)	0,10	0,035	30
5.	Keramičke pločice	0,01	1,3	2300

Tablica 7. Pod po slojevima

R.br.	MATERIJAL	d (m)	λ (W/mK)	ρ (kg/m ³)
1.	Keramičke pločice	0,01	1,3	2300
2.	Vapneno-cementna žbuka	0,01	1	1600
3.	Cementni mort	0,05	1,6	2000
4.	PE folija, preklopljena	0,001	0,14	1200
5.	Ekspandirani polistiren	0,1	0,035	30

Ukupni toplinski otpor koji se sastoji od toplinski homogenih slojeva, za Vanjski zid-tip 1 koji sadrži kamenu fasadu iznosi:

$$R_T = R_{Si} + R_{Se} + R_1 + R_2 + \dots = 3,33 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (1)$$

R_{Si} - unutarnji plošni otpor prijelaza topline, $\text{m}^2\text{K/W}$

R_{Se} - vanjski plošni otpori prijelaza topline, $\text{m}^2\text{K/W}$

R_1, R_2 - projektne vrijednosti toplinskog otpora svakog sloja, $\text{m}^2\text{K/W}$

Samo pojašnjenje i kako se računa pojedini član je prikazano sljedećim izrazom:

$$U_K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_c}} \quad (2)$$

$$U_K = \frac{1}{0,13 + \frac{0,024}{0,25} + \frac{0,10}{0,035} + \frac{0,001}{0,25} + \frac{0,2}{2,6} + \frac{0,15}{1,4} + 0,04} = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\frac{1}{\alpha_i} = R_{Si} = 0,13 \text{ m}^2\text{k/W (uzeto iz norme kao podatak za vanjski zid)}$$

$$\frac{1}{\alpha_c} = R_{Se} = 0,04 \text{ m}^2\text{k/W (uzeto iz norme kao podatak za vanjski zid)}$$

Numerički podatci za izraz su uzeti iz tablice 4.

3. PRORAČUN PROJEKTOG TOPLINSKOG OPTEREĆENJA PREMA NORMI HRN EN 12831 [6]

3.1. Proračun projektnog toplinskog opterećenja

Proračun projektnog toplinskog opterećenja rađen je u računalnom programu Excel po normi HRN EN 12831. U nastavku je prikazan proračun za prostoriju " Dnevni boravak, blagovaonica, kuhinja-prizemlje" površine 26,74 m².

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} = 502,8 + 1247,76 = 1750,56 \text{ W} \quad (3)$$

$\phi_{T,i}$ – projektni transmisijski gubici prostorije [W]

$\phi_{V,i}$ – projektni ventilacijski gubici prostorije [W]

3.1.1. Projektni transmisijski gubici

$$\begin{aligned} \phi_{T,i} &= (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij})(\vartheta_{int,i} - \vartheta_e) \\ \phi_{T,i} &= (18,54 + 1,13)(20 - (-4)) = 502,8 \text{ W} \end{aligned} \quad (4)$$

$H_{T,ie}$ – 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]

$H_{T,ig}$ – koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema tlu [W/K]

$H_{T,ij}$ – koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu [W/K]

$\vartheta_{int,i}$ – unutarnja projektna temperatura grijanog prostora = 20 °C

ϑ_e – vanjska projektna temperatura = -4 °C

3.1.1.1. Transmisijski gubici prema vanjskom okolišu

$$\begin{aligned}
 H_{T,ie} &= \sum_k A_k U_k e_k + \sum_l \Psi_l l_l e_l = 18,61 \text{ W/K} \\
 H_{T,ie} &= (44,73 * 0,3) + (14,74 * 0,12) + (7,2 * 0,01) + (10,92 * 0,3) \\
 H_{T,ie} &= 18,54 \text{ W/K}
 \end{aligned} \tag{5}$$

A_k – površina plohe "k" kroz koju prolazi toplina = 44,73 m²

U_k – koeficijent prolaza topline građevnog elementa "k" = 0,3 W/m²K

e_k, e_l – korekcijski faktori izloženosti koji uzimaju u obzir klimatske uvjete i određuju se na nacionalnoj razini = 1

ψ_l – linijski koeficijent prolaza topline linijskog toplinskog mosta "l" [W/mK]

l_l – dužina linijskog toplinskog mosta između vanjskog okoliša i prostorije [m]

3.1.1.2. Transmisijski gubici kroz negrijane prostorije

$$\begin{aligned}
 H_{T,ig} &= (\sum_k A_k U_{equiv,k}) f_{g1} f_{g2} G_W \\
 H_{T,ig} &= 26,74 * 0,206 * 1,45 * 0,142 * 1 = 1,13 \text{ W/K}
 \end{aligned} \tag{7}$$

f_{g1} – korekcijski faktor za utjecaj godišnje oscilacije vanjske temperature, predložena vrijednost iznosi 1,45

f_{g2} – faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između godišnje srednje vanjske i vanjske projektne temperature prema izrazu:

$$f_{g2} = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_{m,e}}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} = \frac{20 - 16,6}{20 - (-4)} = 0,142 \quad [-] \tag{8}$$

$U_{equiv,k}$ – ekvivalentni koeficijent prolaza topline iz tablica i dijagrama prema tipologiji poda (dubina ispod površine tla, karakteristični parametar B') = 0,206 W/m²K

G_W – korekcijski faktor za utjecaj podzemnih voda = 1

Karakteristični parametar B' se određuje prema jednadžbi:

$$B' = \frac{A_g}{0,5P} = \frac{26,74}{0,5 * 11,81} = 4,53 \text{ m} \quad (9)$$

gdje je:

A_g – površina poda = 26,74 m²

P – ukupna dužina vanjskih zidova koji odvajaju grijani prostor od vanjskog okoliša = 11,81 m

3.1.2. Projektne ventilacijski gubici

Namjena objekta je, kako je već navedeno, isključivo stambena. Režima prekida grijanja nema, pa se u objektu griju sve prostorije. Zgrada nema ugrađenu ventilaciju te se ventilacija rješava sistemom prozračivanja. Unutarnja projektna temperatura se kreće između 15 i 24°C, ovisno o tipu prostorije (pomoćni prostori i hodnici nemaju istu projektnu temperaturu kao WC-ovi i sobe za spavanje ili stalni boravak). Vanjska projektna temperatura iznosi -4°C. Kao što prikazuje pozicija objekta, sjeverni zid je naslonjen na susjedni objekt. Radi lakšeg proračunavanja toplinskog opterećenja, pretpostavljeno je da se susjedni objekt grije na istu temperaturu.

Tablica 8. Minimalni broj izmjena

Tip prostorije	n_{min} [h ⁻¹]
Prostor za boravak	0,5
Kuhinja ili kupaona s prozorom	1,5
Uredski prostor	1
Soba za sastanke, učiona	2

Odabrani minimalni broj izmjena zraka za prostore kao predsoblje, hodnici i pomoćni prostori u kojima nema frekventnog boravka iznosi 0,5 h⁻¹. Kod spavaćih soba unatoč tome što se po

klasifikaciji te prostorije smatraju prostor za boravak uzet je minimalni broj izmjena od 1 h^{-1} .

Odabrani minimalni broj izmjena za prostore kao kuhinja, dnevni boravak i kupaona iznosi $1,5 \text{ h}^{-1}$.

$$\phi_{V,i} = H_{V,i}(\vartheta_{int,i} - \vartheta_e) = 32,25 * (20 - (-4)) = 774 \text{ W} \quad (12)$$

$H_{V,i}$ – koeficijent ventilacijskih gubitaka

$$H_{V,i} = V_i * \rho * c_p = 0,02674 * 1005 * 1,2 = 32,25 \text{ W/K} \quad (13)$$

V_i – protok zraka u grijani prostor [m^3/s]

ρ – gustoća zraka pri $\vartheta_{int,i}$ [kg/m^3]

c_p – specifični toplinski kapacitet zraka pri $\vartheta_{int,i}$ [m^3/s]

3.1.2.1. Protok zraka bez ventilacijskog sustava

$$V_i = \max(V_{inf,i}, V_{min,i}) = 0,02674 \text{ m}^3/\text{s} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (14)$$

$V_{inf,i}$ – maksimalni protok zraka u prostoriju uslijed infiltracije kroz zazore

$V_{min,i}$ – minimalni higijenski protok zraka

$$V_{min,i} = n_{min}V = \frac{1,5}{3600} * 64,176 = 0,02674 \text{ m}^3/\text{s} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (15)$$

V_{int} – volumen zraka u prostoriji = $64,176 \text{ m}^3$

n_{min} – minimalan broj izmjena zraka (nacionalni dodatak) = $1,5 \text{ h}^{-1}$

Infiltracija kroz zazore:

$$V_{inf,i} = 2V_{int}n_{50}e_i\varepsilon_i$$

$$V_{inf,i} = 2 * 64,176 * \frac{6}{3600} * 0,02 * 1 = 4,28 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \quad (16)$$

n_{50} – broj izmjena zraka u prostoriji pri razlici tlaka 50 Pa između prostorije i vanjskog okoliša = 6 h^{-1}

e_i – koeficijent zaštićenosti, uzima u obzir utjecaj vjetra odnosno zaštićenost zgrade i broj otvora prema okolišu = 0,02

ε_i – korekcijski faktor za visinu, uzima u obzir različit odnos tlakova s visinom iznad tla = 1

Sve formule koje nemaju izračunat rezultat se protežu od prostorije do prostorije. Radi pojednostavljenja, dat je samo konačan rezultat koji se naslanja na formule kojima nije napisan rezultat. Nadalje, trebale bi se spomenuti formule za ventilacijski sustav i sustav s prekidom grijanja, no pošto se niti jedan od navedenih slučajeva ne veže za promatrani objekt, te će formule biti izostavljene.

Konačan rezultat je zbroj svih pojedinačnih toplinskih gubitaka. Prikazan je u Tablici 9, zajedno s koeficijentima transmisivskih i ventilacijskih gubitaka, te unutarnjih i vanjskih temperatura svake pojedinačne prostorije.

Tablica 9. Konačan rezultat projektnog toplinskog opterećenja

Naziv prostorije	$H_{T,ie}$ W/K	$H_{T,ij}$ W/K	$H_{T,ig}$ W/K	$H_{V,i}$ W/K	$\vartheta_{int,i}$ °C	ϑ_e °C	ϕ_i kW
Dnevna soba i kuhinja - prizemlje	18,54	0	1,13	32,25	20	-4	1,25
Spavaća soba roditeljska - prizemlje	6,84	0	0,54	10,60	20	-4	0,43
Kupaonica - prizemlje	0	0	0	7,03	24	-4	0,2
Ulazni prostor - prizemlje	8,71	0	-0,42	15,69	15	-4	0,46
Pomoćni prostor - prizemlje	7,72	0	-0,41	12,8	15	-4	0,38
Dnevna soba i kuhinja - prvi kat	18,76	0	0	35,7	20	-4	1,31
Predsoblje - prvi kat	0	0	0	1,83	15	-4	0,03
Spavaća soba dječja 1 - prvi kat	4,24	0	0	6,95	20	-4	0,27
Spavaća soba dječja 2 - prvi kat	8,77	0	0	11,11	20	-4	0,48
Spavaća soba roditeljska - prvi kat	38,48	0	0	11,05	20	-4	1,19
Kupaonica - prvi kat	14,81	0	0	7,32	24	-4	0,62
Stubište - drugi kat	3,51	0	0	3,81	10	-4	0,1
Dnevna soba i kuhinja - drugi kat	19,87	0	0	33,69	20	-4	1,29
Predsoblje - drugi kat	8,71	0	0	2,43	15	-4	0,21
Spavaća soba dječja - drugi kat	6	0	0	7,82	20	-4	0,33
Spavaća soba roditeljska - drugi kat	15,53	0	0	12,41	20	-4	0,67
Kupaonica - drugi kat	1,18	0	0	5,54	24	-4	0,19
						$\phi_{i,uk}$	9,41

4. PRORAČUN PROJEKTOG RASHLADNOG OPTEREĆENJA PREMA VDI 2078 [7]

Proračun je napravljen u računalnom programu Excel prema normi VDI 2078. Količina topline koja ulazi u hladeni prostor iz vanjskih izvora topline u promatranom vremenskom intervalu nazivaju se toplinski dobici. Da bi toplina iz raznih oblika prešla na zrak, potrebno je određeno vrijeme te se zbog toga ne može računati na isti način kao što je proračunato potrebno toplinsko opterećenje. Toplinski dobici se prema normi dijele na unutarnje i vanjske. Unutarnji toplinski dobici se sastoje od osjetne i latentne topline koje nastaju od izvora unutar prostora kao što su ljudi, različiti uređaji, rasvjeta te susjedni prostori. Vanjski toplinski dobici su rezultat zračenja i transmisije koje objekt prihvaća kroz vanjsku ovojniciu.

4.1. Proračun projektnog rashladnog opterećenja

4.1.1. Unutrašnji dobici

Unutrašnji dobici se dijele na dobitke od rasvjete, opreme, izmjenjene mase iz prostorije i susjednih prostorija različite temperature.

$$\begin{aligned}\dot{Q}_I &= \dot{Q}_P + \dot{Q}_B + \dot{Q}_M + \dot{Q}_G + \dot{Q}_R = 800,61 + 357,14 + 2300 \\ \dot{Q}_I &= 3638,23 \text{ W}\end{aligned}\quad (17)$$

gdje je:

$$\dot{Q}_P = n * q_p * S_i = 5 * 115 \text{ W} * 1,39 = 800,61 \text{ W}\quad (18)$$

\dot{Q}_P – toplinski dobici od ljudi [W]

n – broj ljudi u prostoriji

S_i – koeficijent toplinskog opterećenja za unutarnje dobitke

$$\dot{Q}_B = P * S_i * \mu_B * l = 15 \text{ W} * 1,39 * 0,9 * 0,95 = 357,14 \text{ W}\quad (19)$$

\dot{Q}_B – toplinski dobici rasvjete [W]

P – instalirana snaga rasvjete, W

l – faktor istovremenosti rasvjete

μ_B – faktor opterećenja od rasvjete

$$\dot{Q}_M = S_i * l \sum_{j=1}^n \left(\frac{P_j}{\eta} \mu_{aj} \right) = 2300 W \quad (20)$$

\dot{Q}_M – toplinsko opterećenje od opreme (računala, kuhala, printeri) [W]

η – učinkovitost uređaja

μ_{aj} – faktor opterećenja

P_j – snaga uređaja [W]

4.1.2. Vanjski dobici

$$\dot{Q}_I = \dot{Q}_W + \dot{Q}_T + \dot{Q}_S = 783,84 + 337,54 + 1849,21 = 2970,59 W \quad (23)$$

gdje je:

$$\dot{Q}_W = kA\Delta\vartheta_{eq} = 97,98 \frac{W}{K} * 8K = 694,22W \quad (24)$$

k – koeficijent prolaza topline [W/m²K]

A – površina [m²]

$\Delta\vartheta_{eq}$ – ekvivalentna razlika temperatura [K]

\dot{Q}_W – dobici kroz vanjske zidove i krovove [W]

$$\dot{Q}_T = k_F A_M \Delta\vartheta = 42,19 \frac{W}{K} * 8K = 337,54 W \quad (25)$$

\dot{Q}_T – transmisijski dobici kroz prozore [W]

k_F – koeficijent prolaza topline prozora [W/m²K]

A_M – ukupna površina prozora [m²]

$\Delta\vartheta$ – razlika u trenutačnoj vanjskoj temperaturi i temperaturi prostorije

$$\dot{Q}_S = [A_1 * I_{max} + (A - A_1) * I_{diff,max}] * b * S_a = 1849,21 W \quad (26)$$

\dot{Q}_S – toplinsko opterećenje prostorije zbog zračenja kroz prozore [W]

A_1 – površina izložena Suncu [m²] = 3,127

A – ukupna površina stakla [m²] = 10,423

I_{max} – iznos ukupnog zračenja [W/m²] = 504

I_{diff} – iznos difuznog zračenja [W/m²] = 100,8

b – faktor propusnosti stakla i zaštitnih uređaja = 0,8

S_a – koeficijent toplinskog opterećenja = 1

4.2. Postavke proračuna i rezultati

Projektna unutarnja temperatura je 26 °C, dok projektna vanjska temperatura za grad Split iznosi 34 °C. Proračun je po normi izrađen u računalnom programu Excel po modelu da se svaki projektni dobitak računao promatrajući kuću kao jednu cjelinu. Podaci za vanjske dobitke su uzimani iz prethodno izračunatih normi HRN EN 12831 i HRN EN 13790. Podaci za unutarnje dobitke su određeni na temelju same infrastrukture objekta, te je za dobitke od ljudi uzeta uprosječna vrijednost očekivanog broja ljudi. Sljedeće tablice prikazuju unutarnje i vanjske toplinske gubitke te njihov konačan zbroj. Dobitak topline od susjednih prostorija je jednak nuli iz razloga što je projektna temperatura za sve prostorije unutar objekta jednaka. Ukupni toplinski dobitci su zbroj vanjskih i unutarnjih toplinskih dobitaka te je konačna suma 6428,34 W.

Tablica 10. Ukupni unutarnji toplinski dobitci

Unutarnji toplinski dobitci	Vrijednost u [W]
Toplina koju odaju ljudi \dot{Q}_P	800,6
Toplina koju odaju električni uređaji \dot{Q}_M	2300
Dobitak topline od rasvjete \dot{Q}_E	357,1
Dobitak topline od susjednih prostorija \dot{Q}_R	0
Ukupno Σ	3457,8

Tablica 11. Ukupni vanjski toplinski dobitci

Vanjski toplinski dobitci	Vrijednost u [W]
Dobitak topline transmisijom kroz zidove \dot{Q}_W	783,8
Dobitak topline transmisijom kroz prozore \dot{Q}_F	337,5
Dobitak topline zračenjem kroz prozore \dot{Q}_S	1849,2
Ukupno Σ	2970,6

Ukupni toplinski dobitci nakon provedenog proračuna po normi VDI 2078 iznose 6428,3W.

5. GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA GRIJANJE I HLAĐENJE ZGRADE PREMA NORMI HRN EN 13790 [8]

5.1. Elementarni tijek proračuna

Metodologija proračuna godišnje potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje napravljena je prema mjesečnoj metodi Algoritma HRN EN ISO 13790. Za ventilaciju je korišten Algoritam za proračun potrebne energije za primjenu ventilacijskih i klimatizacijskih sustava kod grijanja i hlađenja prostorija zgrade. Cijeli proračun je napravljen po normi u računalnom programu Excel. Konačni rezultati su prikazani u drugom dijelu. Da bi se predočila sama metodika proračunavanja, cijeli proračun je prikazan za mjesec siječanj te se analogno tome proračunavalo za ostale mjesece u godini.

Sljedeća jednadžba prikazuje glavnu formulu za izračunavanje potrebne toplinske energije za grijanje. Koristi se kada se kroz algoritam izračunaju njezini članovi:

$$\begin{aligned} Q_{Hndcont} &= Q_{tr} + Q_{ve} - \eta_{Hgn}(Q_{int} + Q_{sol}) \\ Q_{Hndcont} &= 2581,96 + 605,66 - 0,99(801,51 + 701,46) \\ Q_{Hndcont} &= 1702,46 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (27)$$

gdje su:

Q_{tr} - izmijenjena toplinska energija transmisijom za proračunsku zonu [kWh]

Q_{ve} - potrebna toplinska energija za klimatizaciju/ventilaciju za proračunsku zonu [kWh]

η_{Hgn} - faktor iskorištenja toplinskih dobitaka [-]

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

Q_{sol} - toplinski dobitci od sunčeva zračenja [kWh]

Izmijenjena toplinska energija transmisijom i ventilacijom proračunske zone za promatrani period računa se pomoću koeficijenta toplinske izmjene H [W/K]:

$$Q_{tr} = \frac{H_{tr}}{1000} (\vartheta_{int,H} - \vartheta_{em}) t = \frac{294,1}{1000} (20 - 16,6) * 744 = 2581,97 \text{ kWh} \quad (28)$$

$$Q_{ve} = \frac{H_{ve}}{1000} (\vartheta_{int,H} - \vartheta_{em}) t = \frac{68,99}{1000} (20 - 16,6) * 744 = 605,66 \text{ kWh} \quad (29)$$

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 [°C]

ϑ_{em} - srednja vanjska temperatura za proračunski period (sat ili mjesec) [°C]

t - trajanje proračunskog razdoblja [h]

Proračun je rađen po mjesečnoj metodi, prema svakom pojedinom mjesecu, pa su se na kraju zbrojile pojedinačne vrijednosti potrebne energije da se dobije godišnji rezultat.

Koeficijent transmisijske izmjene topline H_{tr} određuje se za svaki mjesec prema normi HRN EN ISO 13789 iz slijedećeg izraza:

$$H_{tr} = H_D + H_U + H_A + H_{g,m} = 193,16 + 0 + 0 + 100,94 \quad (30)$$

$$H_{tr} = 294,1 \text{ W/K}$$

Kod $Q_{C,nd}$ rezultat je 271,07 W/K

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]

Koeficijenti transmisijske izmjene bez kojih se ne može izračunati sama transmisijska toplina sastoje se od nekoliko članova. Ovisno od objekta koji promatramo koriste se svi, ili samo neki članovi.

Koeficijent ventilacijske izmjene topline proračunske zone H_{ve} računa se prema Algoritmu za ventilaciju/klimatizaciju HVAC_2017 po izrazu:

$$H_{ve} = H_{ve,inf} + H_{ve,win} + H_{ve,mech} = 0 + 68,99 + 0 = 68,99 \text{ W/K} \quad (31)$$

gdje su:

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

$H_{ve,win}$ - koeficijent ventilacijske izmjene topline uslijed otvaranja prozora [W/K]

$H_{H,ve,mech}$ - koeficijent ventilacijske izmjene topline uslijed mehaničke ventilacije/klimatizacije kod zagrijavanja zraka [W/K]

Kod hlađenja izraz ostaje isti, samo se $H_{H,ve,mech}$ mijenja u $H_{C,ve,mech}$ i naziva se koeficijent ventilacijske izmjene topline uslijed mehaničke ventilacije/klimatizacije kod hlađenja zraka. Članovi izraza i njihovo korištenje ovise od slučaja do slučaja poput izraza za transmisijski koeficijent izmjene topline. Nakon izračuna H_{ve} , vrijednost H_{ve} se uvrštava u izraz (30).

Ukupni toplinski dobici za proračunski period računaju se po izrazu:

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{sol} = 801,51 + 701,46 = 1502,97 \text{ kWh} \quad (32)$$

HRN EN 13790 (8)

Unutarnji toplinski dobici Q_{int} od ljudi i uređaja računaju se s vrijednošću 5 W/m^2 ploštine korisne površine za stambene prostore, a 6 W/m^2 za nestambene prostore po izrazu:

$$Q_{int} = \frac{q_{spec} \cdot A_k \cdot t}{1000} = \frac{5 \cdot 215,46 \cdot 744}{1000} = 801,51 \text{ kWh} \quad (33)$$

gdje su:

q_{spec} - specifični unutarnji dobitak po m^2 korisne površine, 5 ili 6 W/m^2

A_k - korisna površina = $215,46 \text{ m}^2$

t - proračunsko vrijeme [h]-za siječanj = 744 h

Srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz građevni dio zgrade k računa se po izrazu:

$$Q_{sol,k} = \frac{F_{sh,ob} \cdot S_{S,k} \cdot A_{sol,k}}{3,6} - \frac{F_{r,k} \cdot \Phi_{r,k} \cdot t}{1000} = 701,46 \text{ kWh HRN EN 13790 (43)} \quad (34)$$

Kod Q_{Cnd} rezultat je 382,95 kWh

gdje su:

$F_{sh,ob}$ - faktor zasjenjenja od vanjskih prepreka direktnom upadu sunčevog zračenja;

$S_{S,k}$ - srednja dozračena energija sunčevog zračenja na površinu građevnog dijela k za promatrani period [MJ/m^2] za mjesečni proračun, podaci se isčitavaju iz tablica;

$A_{sol,k}$ - efektivna površina građevnog elementa (otvora, zida) k na koju upada sunčevo zračenje [m^2];

$F_{r,k}$ - 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 k prema nebu [W];

t - proračunsko vrijeme [h], očitava se iz tablica.

Potrebna toplinska energija za hlađenje proračunske zone računa se po izrazu:

$$Q_{Cnd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,is} Q_{C,ht} \quad \text{HRN EN 13790 (5)} \quad (35)$$

$$Q_{Cnd} = 1184,465 - (0,295 * 3997,4) = 1,25 \text{ kWh}$$

gdje su:

Q_{Cnd} - potrebna toplinska energija za hlađenje [kWh]

$Q_{C,gn}$ - ukupni toplinski dobitci zgrade u periodu hlađenja: ljudi, rasvjeta, uređaji, solarni dobitci [kWh]

$Q_{C,ht}$ - ukupno izmijenjena toplinska energija u periodu hlađenja [kWh]

$\eta_{C,is}$ - faktor iskorištenja toplinskih gubitaka kod hlađenja [-]

Ukupno izmijenjena toplinska energija u periodu hlađenja računa se po izrazu:

$$Q_{C,ht} = Q_{tr} + Q_{ve} = 3186,47 + 810,97 = 3997,4 \text{ kWh} \quad (36)$$

Ukupni toplinski dobitci zgrade računaju se po izrazu:

$$Q_{C,gn} = Q_{int} + Q_{sol} = 801,51 + 382,95 = 1184,46 \text{ kWh} \quad (37)$$

Proračun energije za hlađenje razlikuje se od proračuna energije za grijanje u nekoliko formula koje se odnose na same toplinske dobitke. U njima se mijenjaju i izostavljaju određeni koeficijenti zasjenjenja, a o konačnim rezultatima najviše odlučuje faktor iskorištenja toplinskih dobitaka $\eta_{H,gn}$ (unutarnjih dobitaka i dobitaka od sunčevog zračenja) koji je funkcija efektivnog toplinskog kapaciteta zgrade i računa se na sljedeći način:

$$\eta_{H,gn} = \frac{1-y_H^{a_H}}{1-y_H^{a_H+1}} = \frac{1-0,376^{4,24}}{1-0,376^{(4,24+1)}} = 0,99 \quad \text{za } y_H > 0 \text{ i } y_H \neq 1 \text{ [-]} \quad (38)$$

HRN EN 13790 (52)

$$\eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H-1} \quad \text{za } y_H = 1 \quad \text{[-]} \text{ HRN EN 13790 (53)} \quad (39)$$

$$\eta_{H,gn} = \frac{1}{y_H} \quad \text{za } y_H < 0 \quad \text{[-]} \text{ HRN EN 13790 (54)} \quad (40)$$

pri čemu su:

a_H - bezdimenzijski parametar ovisan o vremenskoj konstanti zgrade τ (-);

y_H - omjer toplinskih dobitaka i ukupne izmjenjene topline transmisijom i ventilacijom u režimu grijanja:

$$y_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} = \frac{1502,97}{3999,41} = 0,376 \quad \text{[-]} \quad \text{HRN EN 13790 (55)} \quad (41)$$

Bezdimenzijski parametar računa se iz slijedećeg izraza:

$$a_H = a_0 + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} = 1 + \frac{48,61}{15} = 4,24 \quad \text{[-]} \quad \text{HRN EN 13790 (56)} \quad (42)$$

gdje je $\tau_{H,0}$ referentna konstanta za grijanje koja za mjesečni proračun iznosi 15h, dok konstanta a_0 za mjesečni proračun iznosi 1.

Faktora iskorištenja toplinskih gubitaka za hlađenje računava se po slijedećim izrazima :

$$\eta_{C,ls} = \frac{1-y_C^{-a_C}}{1-y_C^{-(a_C+1)}} = \frac{1-0,296^{-5,34}}{1-0,296^{-(5,34+1)}} = 0,295 \quad \text{za } y_C > 0 \text{ i } y_H \neq 1 \quad [-] \quad \text{HRN EN 13790(57)} \quad (43)$$

$$\eta_{C,ls} = \frac{a_C}{a_C+1} \quad \text{za } y_C = 1 \quad [-] \quad \text{HRN EN 13790 (58)} \quad (44)$$

$$\eta_{C,ls} = 1 \quad \text{za } y_C < 0 \quad [-] \quad \text{HRN EN 13790 (59)} \quad (45)$$

Odnos toplinskih dobitaka i ukupne izmijenjene topline transmisijom i ventilacijom:

$$y_C = \frac{Q_{C,gn}}{Q_{C,ht}} = \frac{1184,47}{3997,4} = 0,296 \quad [-] \quad \text{HRN EN 13790 (60)} \quad (46)$$

Bezdimenzijski parametar računava se iz slijedećeg izraza:

$$a_C = a_0 + \frac{\tau}{\tau_{C,0}} = 1 + \frac{65,12}{15} = 5,34 \quad [-] \quad \text{HRN EN 13790 (61)} \quad (47)$$

Inače, sam proračun počinje izračunom transmisivnih faktora unošenjem građevinskih elemenata i toplinskih mostova, vrsta podruma i same fizike zgrade. Zatim slijedi rješavanje ventilacijskog člana po već opisanom postupku, te se na kraju izračunavaju toplinski dobitci zgrade.

5.2. Postavke proračuna i rezultati

Unutarnja proračunska temperatura $\vartheta_{int,m}$ za $Q_{H,nd}$ iznosi 20°C, dok ta ista temperatura za Q_{Cnd} iznosi 24°C. Srednja vanjska godišnja temperatura $\vartheta_{e,m}$ za grad Split iznosi 16,6°C. Ostatak temperatura i bitnih ulaznih podataka za sam proračun prikazan je na sljedećoj slici koja prikazuje tablicu iz samog proračuna.

MJESECI U GODINI	SIJEČANJ	VELJAČA	OŽUJAK	TRAVANJ	SVIBANJ	LIPANJ	SRPANJ	KOLOVOZ	RUJAN	LISTOPAD	STUDENI	PROSINAC
VANJSKA TEMPERATURA ZA PRORAČUNSKI MJESEC $\theta_{e,m}$ (celzijusov)	8,2	8,3	11	14,5	19,8	23,9	26,6	26,4	21,2	17,3	12,7	9,1
STANDARDNA DEVIJACIJA SREDNJE TEMPERATURE ZRAKA, $\theta_{e,m, sd}$	3,1	3,4	3,2	3	3,1	3,5	2,6	2,8	2,8	3,1	3,6	3,5
MINIMALNA DNEVNA TEMPERATURA ZRAKA, $\theta_{e,m, min, M}$	-3	-2,9	-1,5	2,6	8,8	14,1	18,6	16,4	12,5	6,1	1,8	-2,8
MAKSIMALNA DNEVNA TEMPERATURA ZRAKA, $\theta_{e,m, max, M}$	15	15,4	18,7	23,8	28,1	32,3	32,2	32,9	29,4	23,7	23,4	16,5
SREDNJA DNEVNA AMPLITUDA TEMPERATURE ZRAKA, $\theta_{e,m, SWmM}$	4,8	5,6	6	6,5	7,3	7,9	8,2	8	6,9	5,7	4,9	4,7
TEMPERATURA ZA PROJEKTIRANJE GRUJANJA, $\theta_{e,m, min, ym}$	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
TEMPERATURA ZA PROJEKTIRANJE HLAĐENJA, $\theta_{e,m, max, ym}$	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9
PRIPADAJUĆA DNEVNA AMPLITUDA ZRAKA ZA PROJEKTIRANJE HLAĐENJA, $\theta_{e,m, d}$	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8
BROJ SATI U DANU	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
BROJ DANA U MJESECU	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
UKUPAN BROJ SATI U MJESECU t	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744

Slika 11. Tablica ulaznih temperatura za normu HRN EN 13790

Konačni rezultati bit će prikazani u slijedećim tablicama koji su rezultat računanja po mjesečnoj metodi. Također, grafički prikaz godišnjih potrebnih energija za grijanje i hlađenje bit će potkrijepljen dijagramima za svaki od slučajeva.

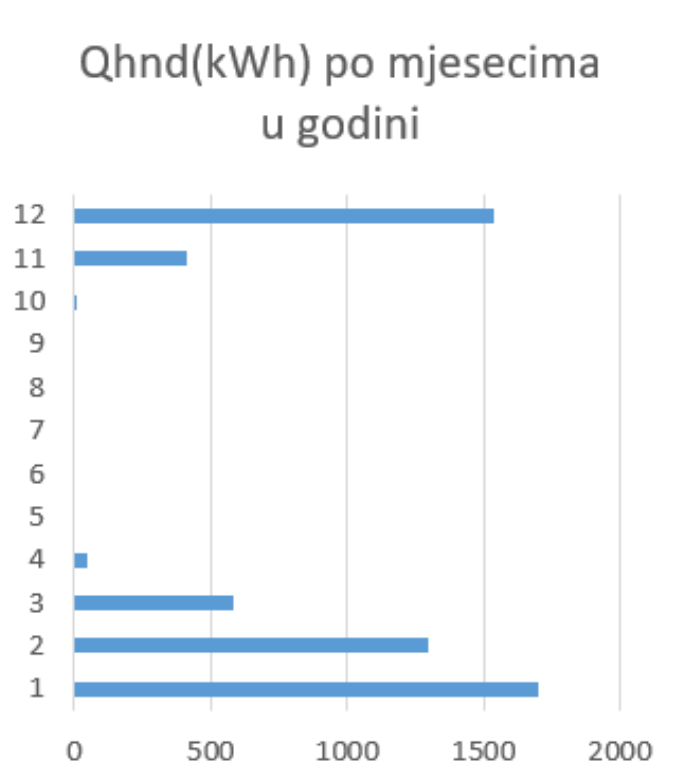
Tablica 12. Koeficijenti izmjene topline za Q_{Hnd} (W/K)

Mjesec	H_D	H_U	H_A	$H_{g,m}$	H_{Tr}	H_{Ve}
Siječanj	193,16	0	0	100,94	386,57	68,99
Veljača	193,16	0	0	100,43	385,28	68,99
Ožujak	193,16	0	0	86,74	350,44	68,99
Travanj	193,16	0	0	68,98	305,27	68,99
Svibanj	193,16	0	0	42,09	236,87	68,99
Lipanj	193,16	0	0	21,29	183,97	68,99
Srpanj	193,16	0	0	7,59	149,13	68,99
Kolovoz	193,16	0	0	8,61	151,71	68,99
Rujan	193,16	0	0	34,99	218,81	68,99
Listopad	193,16	0	0	54,77	269,14	68,99
Studeni	193,16	0	0	78,11	328,5	68,99
Prosinac	193,16	0	0	96,37	374,95	68,99
Ukupno:	2317,92	0	0	700,91	3340,62	827,88

Tablica 13. Konačni rezultati Qhnd za promatrani objekt

	Q_{Htr}	Q_{Hve}	$Q_{H,ht}$	$Q_{H,sol}$	$Q_{H,int}$	$Q_{H,gn}$	y_H	$\eta_{H,gn}$	α_H	$Q_{H,nd}$
	kWh/ mj	kWh/ mj	kWh/ mj	kWh/ mj	kWh/ mj	kWh/ mj	kWh/ mj	kWh/ mj	kWh/ mj	kWh/ mj
I	2582	606	3188	701	802	1503	0,47	0,99	5,07	1702
II	2308	542	2850	866	724	1590	0,56	0,98	5,07	1298
III	1874	462	2336	1128	802	1930	0,83	0,91	5,23	584
IV	1038	273	1311	1251	776	2027	1,55	0,63	5,46	46
V	35	10	45	1445	802	2247	49,63	0,02	5,85	0
VI	-602	-194	-796	1563	776	2339	-2,94	-0,34	6,2	0
VII	-986	-339	-1325	1550	802	2352	-1,77	-0,56	6,47	0
VIII	-961	-329	-1290	1458	802	2260	-1,75	-0,57	6,45	0
IX	-197	-60	-257	1189	776	1965	-7,65	-0,13	5,97	0
X	498	139	637	1061	802	1863	2,93	0,34	5,66	1
XI	1426	363	1789	758	776	1534	0,86	0,9	5,34	409
XII	2348	559	2907	581	802	1383	0,48	0,99	5,12	1542
									Ukupno	5582

Specifična vrijednost godišnje potrebne toplinske energije za grijanje iznosi 25,87 kWh/(m² god)



Slika 12. Dijagram konačnih rezultata Qhnd za promatrani objekt

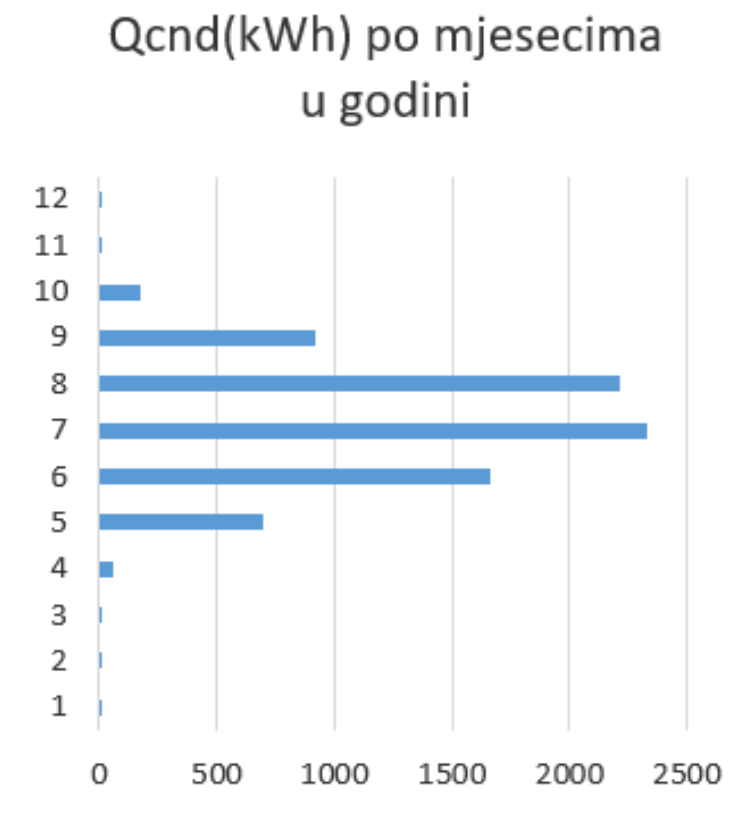
Tablica 14. Koeficijenti izmjene topline za Q_{Cnd} (W/K)

Mjesec	H_D	H_U	H_A	$H_{g,m}$	H_{Tr}	H_{Ve}
Siječanj	193,16	0	0	77,91	271,07	68,99
Veljača	193,16	0	0	77,67	270,83	68,99
Ožujak	193,16	0	0	71,38	264,54	68,99
Travanj	193,16	0	0	63,22	256,38	68,99
Svibanj	193,16	0	0	50,87	244,03	68,99
Lipanj	193,16	0	0	41,31	234,47	68,99
Srpanj	193,16	0	0	35,02	228,18	68,99
Kolovoz	193,16	0	0	35,48	228,64	68,99
Rujan	193,16	0	0	47,6	240,76	68,99
Listopad	193,16	0	0	56,69	249,85	68,99
Studeni	193,16	0	0	67,42	260,58	68,99
Prosinac	193,16	0	0	75,81	268,98	68,99
Ukupno:	2317,92	0	0	700,32	3018,31	827,88

Tablica 15. Konačni rezultati Q_{Cnd} za promatrani objekt

	Q_{Ctr}	Q_{Cve}	$Q_{C,ht}$	$Q_{C,sol}$	$Q_{C,int}$	$Q_{C,gn}$	γ_C	$\eta_{C,gn}$	α_C	$Q_{C,nd}$
	kWh/ mj	kWh/ mj	kWh/ mj	kWh/ mj	kWh/ mj	kWh/ mj	kWh/ mj	kWh/ mj	kWh/ mj	kWh/ mj
I	3186	811	3997	383	802	1185	0,25	0,3	5,34	1,3
II	2857	728	3315	491	724	1215	0,29	0,34	5,34	2,5
III	2559	667	3226	664	802	1466	0,398	0,45	5,43	11,1
IV	1754	472	2226	717	776	1493	0,6	0,67	5,54	58,2
V	763	216	979	852	802	1654	1,61	1,69	5,72	696
VI	17	5	22	910	776	1686	77,03	77,13	5,86	1663
VII	-441	-133	-574	959	802	1761	-3,16	-3,06	5,97	2336
VIII	-408	-123	-531	884	802	1686	-3,27	-3,17	5,96	2217
IX	485	139	624	762	776	1538	2,38	2,46	5,77	916
X	1245	344	1589	672	802	1474	0,86	0,93	5,63	178
XI	2120	561	2681	411	776	1187	0,39	0,44	5,48	7,6
XII	2982	765	3747	325	802	1127	0,26	0,3	5,37	1,2
									Ukupno	8088

Specifična vrijednost godišnje potrebne toplinske energije za hlađenje iznosi 37,53kWh/(m² god)



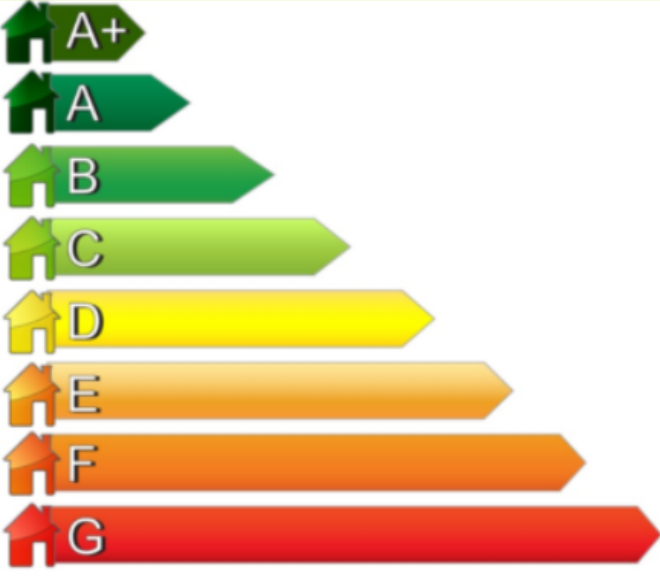
Slika 13. Dijagram konačnih rezultata Qcnd za promatrani objekt

6. IZRAČUN PRIMARNE ENERGIJE I PARAMETARA nZEB ZGRADE POMOĆU MGIPU ENERGETSKOG CERTIFIKATORA

Izračun primarne energije i parametara nZEB zgrade izrađen je pomoću MGIPU energetskeg certifikatora preuzetog sa stranica Ministarstva. Sama svrha korištenja energetskeg certifikatora osim definiranja primarne energije i određivanja energetskeg razreda bila je provjera samih izračuna rezultata Q_{hnd} i Q_{cnd} koje su se izračunavale pomoću norme HRN EN 13790. Svake godine se donose nove odredbe i zakoni o gradnji na razini Europske unije, a pošto je Hrvatska članica Europske unije već nekoliko godina, dužna je primjenjivati iste. Cilj samih odredbi i zakona je što je više moguće smanjiti primarnu energiju i godišnju potrebnu energiju za grijanje i hlađenje za promatrani objekt. Cilj je što manja potrošnja energije i samim tim što manji utjecaj na okoliš, kako bi se u segmentu zgradarstva napravio što veći iskorak u usporavanju klimatskih promjena. Rezultati promatranog objekta prikazani su na slikama u nastavku te su izvadak iz samog certifikata.

PODACI O ZGRADI	<input type="checkbox"/> nova	<input checked="" type="checkbox"/> postojeća	<input type="checkbox"/> rekonstrukcija
Vrsta zgrade (prema <i>Pravilniku</i>)	Višestambene zgrade		
Vrsta zgrade prema složenosti tehničkih sustava	zgrada s jednostavnim tehničkim sustavom		
Vlasnik / investitor			
k.č.br.		k.o.	
Ploština korisne površine grijanog dijela zgrade A_K	215,00	Godina izgradnje / rekonstrukcije	1940
Građevinska (bruto) površina zgrade [m^2]	506,86	Mjerodavna meterološka postaja	Split Marjan
Faktor oblika f_O [m^{-1}]	0,93	Referenta klima	Primorska

Slika 14. Podaci o zgradi

ENERGETSKI RAZRED ZGRADE	Specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje $Q_{H,nd}^-$ [kWh/(m ² a)]	Specifična godišnja primarna energija E_{prim} [kWh/(m ² a)]
	25,87	17,55
 <p>A+ A B C D E F G</p>	B	A+
Specifična godišnja isporučena energija E_{del} [kWh/(m ² a)]	10,87	
Specifična godišnja emisija CO ₂ [kg/(m ² a)]	2,55	
Upisati „nZEB“ ako energetska svojstva zgrade (E_{prim}) zadovoljava zahtjeve za zgrade gotovo nulte energije propisane važećim TPRUETZZ		

Slika 15. Energetski razred zgrade

GRAĐEVINSKI DIJELOVI ZGRADE			
Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka $H'_{\text{tr,adj}}$ [W/(m ² K)]	0,44		
KOEFICIJENT PROLASKA TOPLINE	U [W/(m ² K)]	U_{dop} [W/(m ² K)]	Ispunjeno
Vanjski zidovi, zidovi prema garaži, provjetravanom tavanu	0,30	0,45	<input checked="" type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> NE
Ravni i kosi krovovi iznad grijanog prostora, stropovi prema provjetravanom tavanu	0,26	0,30	<input checked="" type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> NE
Zidovi prema tlu, podovi prema tlu	0,34	0,50	<input checked="" type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> NE
Stropovi iznad vanjskog zraka, stropovi iznad garaže			<input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> NE
Zidovi i stropovi prema negrijanim prostorijama i negrijanom stubištu temperature više od 0°C			<input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> NE
Prozori, balkonska vrata, krovni prozori, prozirni elementi pročelja	1,40	1,80	<input checked="" type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> NE
Vanjska vrata s neprozirnim krilom		2,40	<input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> NE
Zidovi i stropovi između samostalnih uporabnih cjelina zgrade (stanova, poslovnih prostora)			<input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> NE

Slika 16. Građevinski dijelovi zgrade

PODACI O TERMOTEHNIČKIM SUSTAVIMA ZGRADE			
Način grijanja zgrade	<input type="checkbox"/> lokalno <input type="checkbox"/> etažno	<input checked="" type="checkbox"/> centralno	<input type="checkbox"/> nema
Način pripreme potrošne tople vode	<input checked="" type="checkbox"/> lokalno <input type="checkbox"/> spremnik	<input type="checkbox"/> centralno <input type="checkbox"/> protočno	<input type="checkbox"/> nema
Godina proizvodnje izvora toplinske energije za grijanje			
Izvor energije za grijanje zgrade	<input type="checkbox"/> prirodni plin <input type="checkbox"/> loživo ulje <input type="checkbox"/> drvo (cjepanice) <input type="checkbox"/> daljinski izvor	<input type="checkbox"/> ukapljeni naftni plin <input checked="" type="checkbox"/> električna energija <input type="checkbox"/> drvena biomasa <input type="checkbox"/> -----	<input type="checkbox"/> nema
Izvor energije za pripremu potrošne tople vode	<input type="checkbox"/> prirodni plin <input type="checkbox"/> loživo ulje <input type="checkbox"/> drvo (cjepanice) <input type="checkbox"/> daljinski izvor	<input type="checkbox"/> ukapljeni naftni plin <input checked="" type="checkbox"/> električna energija <input type="checkbox"/> drvena biomasa <input type="checkbox"/> -----	<input type="checkbox"/> nema
Način hlađenja zgrade	<input type="checkbox"/> lokalno <input checked="" type="checkbox"/> etažno	<input type="checkbox"/> centralno	<input type="checkbox"/> nema
Izvori energije koji se koriste za hlađenje zgrade	<input type="checkbox"/> električna energija	<input type="checkbox"/> -----	<input checked="" type="checkbox"/> nema
Vrsta ventilacije	<input type="checkbox"/> prisilna bez sustava povrata topline	<input type="checkbox"/> prisilna sa sustavom povrata topline	<input checked="" type="checkbox"/> prirodna
Vrsta i način korištenja sustava s obnovljivim izvorima energije	<input checked="" type="checkbox"/> dizalica topline <input type="checkbox"/> biomasa <input type="checkbox"/> -----	<input type="checkbox"/> solarni kolektori <input type="checkbox"/> fotonapon	<input type="checkbox"/> nema

Slika 17. Podaci o termotehničkim sustavima zgrade

ENERGETSKE POTREBE	REFERENTNI KLIMATSKI PODACI		ZAHTJEV	Ispunjeno	
	Ukupno [kWh/a]	Specifično [kWh/(m ² a)]	Dopušteno [kWh/(m ² a)]		
Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje $Q_{H,nd}$	5561,27	25,87	52,85	<input checked="" type="checkbox"/> DA	<input type="checkbox"/> NE
Godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje $Q_{C,nd}$	8431,33	39,22	50,00	<input checked="" type="checkbox"/> DA	<input type="checkbox"/> NE
Godišnja isporučena energija E_{del}	2337,74	10,87	50,00	<input checked="" type="checkbox"/> DA	<input type="checkbox"/> NE
Godišnja primarna energija E_{prim}	3773,11	17,55	70,00	<input checked="" type="checkbox"/> DA	<input type="checkbox"/> NE

Slika 18. Podaci o energetske potrebama zgrade

Promatrani objekt proveden je kroz energetske certifikator da se pokaže da li zadovoljava najnovije zahtjeve Tehničkog propisa o izmjenama i dopunama Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama izvučenog iz lista „Narodne novine“ rednog broja 102/2020. Tablica je prikazana u nastavku.

ZAHTJEVI ZA NOVE ZGRADE	$Q_{H,nd}^{*} [\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})]$						$E_{prim} [\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})]$	
	nZEB						nZEB	
VRSTA ZGRADE	kontinent, $\theta_{mm} \leq 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$			primorje, $\theta_{mm} > 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$			kont $\theta_{mm} \leq 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$	prim $\theta_{mm} > 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$
	$f_0 \leq 0,20$	$0,20 < f_0 < 1,05$	$f_0 \geq 1,05$	$f_0 \leq 0,20$	$0,20 < f_0 < 1,05$	$f_0 \geq 1,05$		
Višestambena	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$19,86 + 24,89 \cdot f_0$	45,99	80	50
Obiteljska kuća	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$17,16 + 38,42 \cdot f_0$	57,50	45	35
Uredska	16,94	$8,82 + 40,58 \cdot f_0$	51,43	16,19	$11,21 + 24,89 \cdot f_0$	37,34	35	25
Obrazovna	11,98	$3,86 + 40,58 \cdot f_0$	46,48	9,95	$4,97 + 24,91 \cdot f_0$	31,13	55	55
Bolnica	18,72	$10,61 + 40,58 \cdot f_0$	53,21	46,44	$41,46 + 24,89 \cdot f_0$	67,60	250	250
Hotel i restoran	35,48	$27,37 + 40,58 \cdot f_0$	69,98	11,50	$6,52 + 24,89 \cdot f_0$	32,65	90	70
Sportska dvorana	96,39	$88,28 + 40,58 \cdot f_0$	130,89	37,64	$32,66 + 24,91 \cdot f_0$	58,82	210	150
Trgovina	48,91	$40,79 + 40,58 \cdot f_0$	83,40	13,90	$8,92 + 24,91 \cdot f_0$	35,08	170	150
Ostale nestambene	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$19,86 + 24,89 \cdot f_0$	45,99	/	/

Slika 19. Najveće dopuštene vrijednosti za nove zgrade (nZEB) grijane i/ili hladene na temperaturu 18 °C ili više

Faktor f_0 se računa kao količnik oplošja i volumena promatrane zgrade te iznosi $0,878 \text{ m}^{-1}$.

$$f_0 = \frac{A_0}{V_e} = \frac{571}{650} = 0,88 \text{ m}^{-1} \quad (48)$$

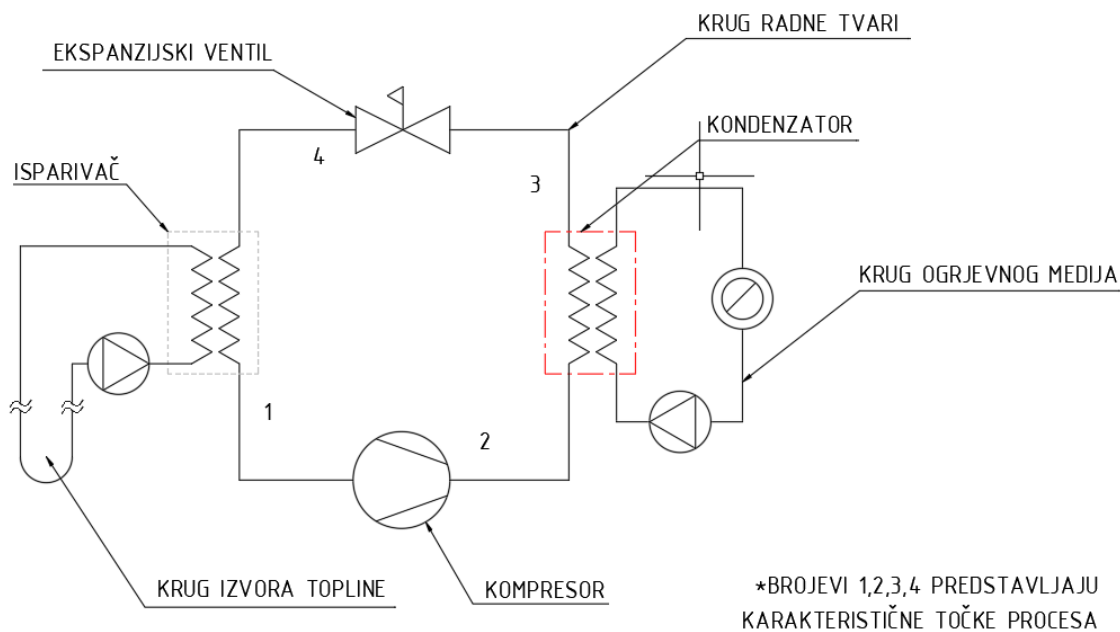
Pošto je lokacija samog objekta primorska Hrvatska, maksimalni dopušteni Q_{hnd} treba biti

$$Q_{hnd,DOP} = 17,16 + 38,42f_0 = 17,16 + (38,42 * 0,88) = 50,97 \text{ kWh/m}^2 \quad (49)$$

E-prim, ili primarna energija mora biti manja od 35 kWh/m^2 . S obzirom na rezultate koji su zorno predloženi u tablici na slici 18., promatrani objekt zadovoljava oba kriterija i po najnovijim zahtjevima spada u razred zgrada gotovo nulte energije, ili nZEB razred.

7. DIMENZIONIRANJE KOMPONENTI DIZALICE TOPLINE I BUŠOTINSKOG IZMJENJIVAČA TOPLINE

7.1. Proračun procesa za temperaturni režim 55/47 °C



Slika 20. Pojednostavljena shema dizalice topline

Ukupni toplinski gubici zgrade proračunati prema normi HRN EN 12831:

$$\Phi_{kond} = 10 \text{ kW}$$

Odabrani temperaturni režim:

$$55/47 \text{ °C}$$

Temperatura polaza grijanja:

$$\vartheta_{pol,w} = 55 \text{ °C}$$

Temperatura povrata grijanja:

$$\vartheta_{pov,w} = 47 \text{ °C}$$

Temperatura vode u polazu prema bušotinskim izmjenjivačima topline:

$$\vartheta_{pol} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Temperatura vode u povratu iz bušotinskih izmjenjivača topline:

$$\vartheta_{pov} = 9 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Odabrana temperatura kondenzacije:

$$\vartheta_{kond} = 58 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Odabrana temperatura isparavanja:

$$\vartheta_{isp} = 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Izentropski stupanj kompresije:

$$\eta_k = 0,68$$

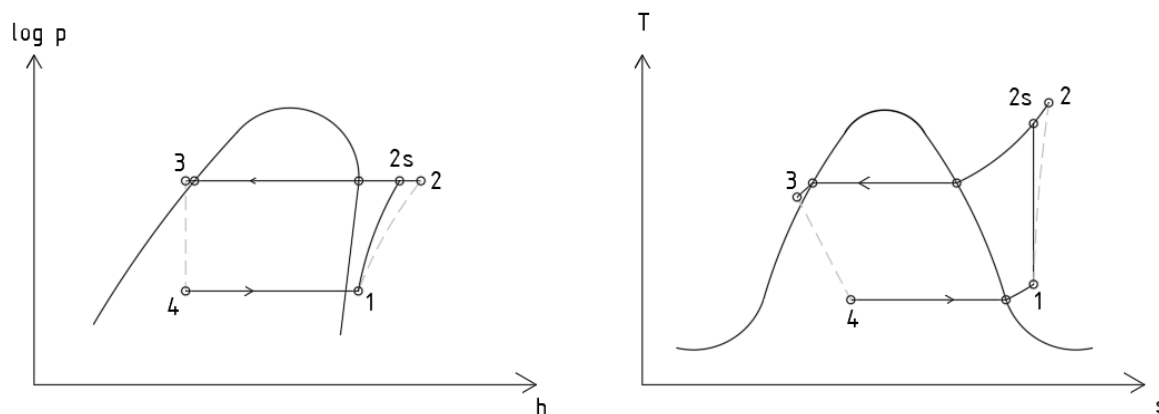
Odabrana temperatura pohlađenja:

$$\vartheta_{pot} = 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Odabrano pregrijanje na izlazu iz isparivača:

$$\Delta\vartheta_{preg} = 4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Na temelju ulaznih podataka i odabranih temperaturnih režima čiste vode na isparivaču i vode za grijanje na kondenzatoru odredit će se karakteristične radne točke ljevokretnog kružnog procesa, a potom i pripadajući učinci kondenzatora i isparivača te potrebna snaga kompresora. Zatim slijedi termodinamički proračun komponenti s ciljem dimenzioniranja izmjenjivača. Sljedeća tablica prikazuje termodinamička stanja radne tvari u karakterističnim točkama procesa. Sva svojstva radne tvari u karakterističnim točkama procesa očitana su pomoću programa *Danfoss cool selector2*. Sljedeće slike prikazuju proces s karakterističnim točkama u T-s i log p-h dijagramu te tablica ispod dijagrama koja prikazuje karakteristične vrijednosti u pojedinoj točki.



Slika 21. Skica procesa u T-s i log p-h dijagramu

Tablica 16. Stanja radne tvari u karakterističnim točkama procesa radne tvari R410a

TOČKA	ϑ [°C]	p [bar]	h [kJ/kg]	s [kJ/kgK]
1	6	8,49	425,8	1,82
2	98,9	36,6	486,24	1,873
2s	84,8	36,6	466,9	1,82
3''	58	36,6	417,4	1,676
3'	57,9	36,6	302,3	1,328
3	55	36,6	296,6	1,31
4	2	8,49	296,6	1,351

Točka 2:

$$h_2 = \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_k} + h_1 = \frac{466,9 - 425,8}{0,68} + 425,8 = 486,24 \text{ kJ/kg} \quad (50)$$

Maseni protok radne tvari:

$$\phi_{kond} = 10 \text{ kW}$$

$$q_{m,RT} = \frac{\phi_{kond}}{h_2 - h_3} = \frac{10}{486,24 - 296,6} = 0,053 \text{ kg/s} \quad (51)$$

Potrebni učin isparivača:

$$\phi_{isp} = q_{m,RT} * (h_1 - h_4) = 0,053 * (425,8 - 296,6) = 6,85 \text{ kW} \quad (52)$$

Potrebna snaga kompresora:

$$P_K = \phi_{kond} - \phi_{isp} = 10 - 6,85 = 3,15 \text{ kW} \quad (53)$$

Faktor grijanja COP (coefficient of performance):

$$COP = \frac{\phi_{kond}}{P_K} = \frac{10}{3,15} = 3,17 \quad (54)$$

Proračun bušotinskog izmjenjivača je rađen na temelju kakvoće tla i za promatrano tlo se uzima 50 W/m prema normi. Konačna duljina bušotine iznosi:

$$H = \frac{\phi_{isp}}{q_{spec}} = \frac{6810}{50} = 136,24 \text{ m} \quad (55)$$

7.2. Proračun procesa za temperaturni režim 35/30 °C

Ukupni toplinski gubici zgrade proračunati prema normi HRN EN 12831:

$$\Phi_{kond} = 10 \text{ kW}$$

Odabrani temperaturni režim:

$$35/30 \text{ °C}$$

Temperatura polaza grijanja:

$$\vartheta_{pol,w} = 35 \text{ °C}$$

Temperatura povrata grijanja:

$$\vartheta_{pov,w} = 30 \text{ °C}$$

Temperatura vode u polazu prema bušotinskim izmjenjivačima topline:

$$\vartheta_{pol} = 5 \text{ °C}$$

Temperatura vode u povratu iz bušotinskih izmjenjivača topline :

$$\vartheta_{pov} = 9 \text{ °C}$$

Odabrana temperatura kondenzacije:

$$\vartheta_{kond} = 38 \text{ °C}$$

Odabrana temperatura isparavanja:

$$\vartheta_{isp} = 2 \text{ °C}$$

Izentropski stupanj kompresije:

$$\eta_k = 0,72$$

Odabrana temperatura pohlađenja:

$$\vartheta_{pot} = 35 \text{ °C}$$

Odabrano pregrijanje na izlazu iz isparivača:

$$\Delta\vartheta_{preg} = 4 \text{ °C}$$

Tablica 17. Stanja radne tvari u karakterističnim točkama procesa radne tvari R410a

TOČKA	ϑ [°C]	p [bar]	h [kJ/kg]	s [kJ/kgK]
1	6	8,49	425,8	1,82
2	65,8	22,96	461,13	1,852
2s	57,3	22,96	453,4	1,82
3''	38	22,96	425,8	1,734
3'	37,9	22,96	261,9	1,207
3	35	22,96	256,7	1,19
4	2	8,49	256,7	1,351

Točka 2:

$$h_2 = \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_k} + h_1 = \frac{453,4 - 425,8}{0,72} + 425,8 = 461,13 \text{ kJ/kg} \quad (56)$$

Maseni protok radne tvari:

$$\phi_{kond} = 10 \text{ kW}$$

$$q_{m,RT} = \frac{\phi_{kond}}{h_2 - h_3} = \frac{10}{464,13 - 256,7} = 0,048 \text{ kg/s} \quad (57)$$

Potrebni učin isparivača:

$$\phi_{isp} = q_{m,RT} * (h_1 - h_4) = 0,048 * (425,8 - 256,7) = 8,12 \text{ kW} \quad (58)$$

Potrebna snaga kompresora:

$$P_K = \phi_{kond} - \phi_{isp} = 10 - 8,12 = 1,88 \text{ kW} \quad (59)$$

Faktor grijanja COP (coefficient of performance):

$$COP = \frac{\phi_{kond}}{P_K} = \frac{10}{1,88} = 5,32 \quad (60)$$

Proračun bušotinskog izmjenjivača je rađen na temelju kakvoće tla i za promatrano tlo se uzima 50 W/m prema normi. Konačna duljina bušotine iznosi:

$$H = \frac{\phi_{isp}}{q_{spec}} = \frac{8120}{50} = 162,4m \quad (61)$$

7.3. Proračun cjevovoda i cirkulacijske pumpe

Cjevovod će se proračunavati za krug radne tvari koji ćemo podijeliti na usisni, tlačni i kapljevinski vod, za gornji krug koji ide do ogrijevnih tijela i donji krug čiste vode prema izvoru topline, radna točka B9/B55.

7.3.1. Usisni vod

Gustoća radne tvari na usisu u kompresor (stanje 1):

$$\rho_{RT,1} = 31,64 \text{ kg/m}^3$$

Maseni protok radne tvari:

$$q_{m,RT} = 0,053 \text{ kg/s}$$

Pretpostavljena brzina strujanja u usisnom vodu:

$$w_{RT,uv,pret} = 10 \text{ m/s}$$

Volumenski protok radne tvari:

$$q_{v,RT,1} = \frac{q_{m,RT}}{\rho_{RT,1}} = \frac{0,053}{31,64} = 0,0017 \text{ m}^3/\text{s} \quad (62)$$

Promjer cijevi usisnog voda:

$$d_{u,uv} = \sqrt{\frac{4 * q_{v,RT,1}}{\pi * w_{RT,uv,pret}}} = \sqrt{\frac{4 * 0,0017}{\pi * 10}} = 0,0147 \text{ m} \quad (63)$$

Odabrana standardna bakrena cijev:

$$Cu \phi 18 \times 1 \text{ mm}$$

Stvarna brzina u usisnom cjevovodu:

$$w_{RT,uv} = \frac{4 * q_{v,RT,1}}{d_{u,uv,odab}^2 * \pi} = \frac{4 * 0,0017}{0,0164^2 * \pi} = 8,04 \text{ m/s} \quad (64)$$

7.3.2. Tlačni vod

Gustoća radne tvari na izlazu iz kompresora (stanje 2):

$$\rho_{RT,2} = 114,7 \text{ kg/m}^3$$

Maseni protok radne tvari:

$$q_{m,RT} = 0,053 \text{ kg/s}$$

Pretpostavljena brzina strujanja u tlačnom vodu:

$$w_{RT,tv,pret} = 10 \text{ m/s}$$

Volumenski protok radne tvari:

$$q_{v,RT,2} = \frac{q_{m,RT}}{\rho_{RT,2}} = \frac{0,054}{114,7} = 0,00047 \text{ m}^3/\text{s} \quad (65)$$

Promjer cijevi tlačnog voda:

$$d_{u,uv} = \sqrt{\frac{4 * q_{v,RT,2}}{\pi * w_{RT,tv,pret}}} = \sqrt{\frac{4 * 0,00046}{\pi * 10}} = 0,0077 \text{ m} \quad (66)$$

Odabrana standardna bakrena cijev:

$$Cu\phi 10 \times 1 \text{ mm}$$

Stvarna brzina u tlačnom cjevovodu:

$$w_{RT,uv} = \frac{4 * q_{v,RT,2}}{d_{u,uv,odab}^2 * \pi} = \frac{4 * 0,00046}{0,008^2 * \pi} = 9,15 \text{ m/s} \quad (67)$$

7.3.3. Kapljevinski vod

Gustoća radne tvari na izlazu iz kondenzatora (stanje 3):

$$\rho_{RT,3} = 845,2 \text{ kg/m}^3$$

Maseni protok radne tvari:

$$q_{m,RT} = 0,053 \text{ kg/s}$$

Pretpostavljena brzina strujanja u kapljevinskom vodu:

$$w_{RT,uv,pret} = 1 \text{ m/s}$$

Volumenski protok radne tvari:

$$q_{v,RT,3} = \frac{q_{m,RT}}{\rho_{RT,3}} = \frac{0,053}{845,2} = 6,27 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \quad (68)$$

Promjer cijevi kapljevinskog voda:

$$d_{u,uv} = \sqrt{\frac{4 * q_{v,RT,3}}{\pi * w_{RT,kv,pret}}} = \sqrt{\frac{4 * 6,24 * 10^{-5}}{\pi * 1}} = 0,0089 \text{ m} \quad (69)$$

Odabrana standardna bakrena cijev:

$$Cu\phi 12 \times 1 \text{ mm}$$

Stvarna brzina u kapljevinskom cjevovodu:

$$w_{RT,uv} = \frac{4 * q_{v,RT,3}}{d_{u,uv,odab}^2 * \pi} = \frac{4 * 6,24 * 10^{-5}}{0,01^2 * \pi} = 0,795 \text{ m/s} \quad (70)$$

7.3.4. Vod polaza i povrata sustava grijanja

Gustoća vode:

$$\rho_w = 987 \text{ kg/m}^3$$

Maseni protok:

$$q_{m,w} = \frac{q_{mRT} * (h_2 - h_3)}{c_w * (\vartheta_{pol,w} - \vartheta_{pov,w})} = \frac{0,053 * (486,24 - 296,6)}{4,2 * (55 - 47)} = 0,3 \text{ kg/s} \quad (71)$$

Pretpostavljena brzina strujanja :

$$w_{w,pret} = 1 \text{ m/s}$$

Volumenski protok vode:

$$q_{v,w} = \frac{q_{m,w}}{\rho_w} = \frac{0,3}{987} = 0,0003 \text{ m}^3/\text{s} \quad (72)$$

Promjer cijevi voda-grijanje:

$$d_{u,w} = \sqrt{\frac{4 * q_{v,w}}{\pi * w_{w,pret}}} = \sqrt{\frac{4 * 0,0003}{\pi * 1}} = 0,0195 \text{ m} \quad (73)$$

Odabrana standardna bakrena cijev:

$$Cu \ \phi \ 22 \times 1 \text{ mm}$$

Stvarna brzina u cjevovodu-grijanje:

$$w_w = \frac{4 * q_{v,w}}{d_{u,w,odab}^2 * \pi} = \frac{4 * 0,0003}{0,02^2 * \pi} = 0,96 \text{ m/s} \quad (74)$$

7.3.5. Vod - voda prema izvoru topline

Gustoća vode:

$$\rho_w = 999,8 \text{ kg/m}^3$$

Maseni protok vode:

$$q_{m,w} = \frac{q_{mRT} * (h_1 - h_4)}{c_w * (\vartheta_{pov} - \vartheta_{pol})} = \frac{0,053 * (425,8 - 296,6)}{4,18 * (9 - 5)} = 0,41 \text{ kg/s} \quad (75)$$

Pretpostavljena brzina strujanja vode:

$$w_{w,pret} = 1 \text{ m/s}$$

Volumenski protok vode:

$$q_{v,w} = \frac{q_{m,w}}{\rho_w} = \frac{0,41}{999,8} = 0,00041 \text{ m}^3/\text{s} \quad (76)$$

Promjer cijevi voda prema izvoru topline:

$$d_{u,w} = \sqrt{\frac{4 * 0,00041}{\pi * 1}} = 0,023 \text{ m} \quad (77)$$

Odabrana standardna PE cijev:

$$\phi 32x2,9 \text{ mm}$$

Stvarna brzina u cjevovodu prema izvoru topline:

$$w_w = \frac{4 * q_{v,w}}{d_{u,w,odab}^2 * \pi} = \frac{4 * 0,00041}{0,0262^2 * \pi} = 0,76 \text{ m/s} \quad (78)$$

7.4. Proračun pada tlaka i odabir pumpe

Ukupni pad tlaka u cjevovodu sastoji se od:

- pad tlaka uslijed trenja:

$$\Delta p_{tr} = \lambda * \frac{L}{D} * \frac{\rho * w^2}{2} [Pa] \quad (79)$$

- lokalni pad tlaka:

$$\Delta p_{lok} = \xi * \frac{\rho * w^2}{2} [Pa] \quad (80)$$

Na temelju ovih formula napravljen je proračun pada tlaka u donjem krugu prema izvoru topline te u gornjem krugu prema potrošačima. U tablicama 18. i 19. prikazani su konačni rezultati pada tlaka. U nastavku navedena je formula za snagu pumpe, a na slikama 22. i 23. prikazane su odabrane pumpe za prvi, odnosno drugi slučaj.

Tablica 18. Proračun pada tlaka na donjem krugu-krugu koji ide do bušotinskih izmjenjivača

duljina kopanja ispod zemlje ,m	0,8	lokalni	
duljina vodoravnog voda do busotina ,m	12,5	koljeno s malim r, ξ	0,7
ukupno zbog polaza i povrata, m	26,6	broj kojena	6
reynoldsov broj	7054	VENTIL, ξ	5,9
lambda	0,034	BROJ VENTILA	2
Promjer, m	0,0326		
gustoća (kg/m ³)	999,8	GRANANJE, ξ	9 x2
brzina m/s	0,32	SABIRNIK, ξ	1,18 x2
očitano iz moodyjevog dijagrama:			
hrapavost materijala k-plastika	0,0000025	ukupno, ξ	20,28
pad tlaka linijski 1, Pa	1458	lokalni pad tlaka, Pa	1057
duljina dionice 2 (m)	4	lokalni	
ukupno zbog polaza i povrata, m	8	koljeno s malim r, ξ	0,7
reynoldsov broj	3527	broj kojena	2
lambda	0,042	VENTIL, ξ	5,9
promjer , m	0,0326	BROJ VENTILA	2
gustoća (kg/m ³)	999,8		
brzina (m/s)	0,16	GRANANJE, ξ	4,5
očitano iz moodyjevog dijagrama:			
hrapavost materijala k-plastika	0,0000025		
PAD TLAKA LINIJSKI 2, Pa	135	ukupno, ξ	17,7
		lokalni pad tlaka, Pa	230,69
dubina busotine ,m	136,24	koljeno s malim r, ξ	0,7
broj busotina	1	broj kojena	2
dodatak zbog zakrivljenja i koljena ,m	1	ukupno, ξ	1,4
ukupno zbog polaza i povrata, m	274,48	koljeno s velikim r, ξ	0,2
reynoldsov broj	79	broj kojena	2
lambda	0,277	ukupno, ξ	0,4
promjer , m	0,026	lokalni pad tlaka,Pa	32,86
gustoća kg/m ³	999,8		
brzina m/s	0,19	ukupni lokalni pad tlaka, Pa	1321
pad tlaka linijski 2,Pa	53468	pad tlaka u isparivaču, Pa	6000
		UKUPNO PAD TLAKA, Pa	62383
ukupni linijski pad tlaka, Pa	55062		

Snaga cirkulacijske pumpe u krugu BIT-a se računa slijedećim izrazom i iznosi:

$$P_p = \frac{Q * \Delta p_p}{\eta_p} = \frac{0,00041 * 62383}{0,55} = 46,5 \text{ W} \quad (81)$$

Pošto za donji krug dobijamo snagu pumpe 46,5 W, odabiremo cirkulacijsku pumpu *Grundfos Magna 1 25-80-180* raspona snage između 9 i 128 W



Slika 22. Pumpa Grundfos Magna 25-80 180

Tablica 19. Proračun pada tlaka gornjeg kruga-toplovodnog sustava koji ide prema ogrjevnim tijelima

TOPLINSKI VOD dionica 1			
PROTOK, l/s	0,0003	kondenzator	6000 Pa
PROTOK, l/h	1085,54	koljeno, ξ	1,4 x2
R (Pa/m)-tablica	400	ventil, ξ	11,8 x2
Duljina, m	4	sabirnik/razdjelnik, ξ	1,18 x2
Ukupno, m	8	grananje, ξ	9 x2
linijski pad tlaka, Pa	3200	ukupno zeta, ξ	23,38
DN 25 (27,2mm)		gustoća vode m3/kg	987
		brzina m/s	0,95
		LOKALNI PAD TLAKA, Pa	10413,07
TOPLINSKI VOD dionica 2			
PROTOK	0,00015	kondenzator, ξ	
LITARA PO SATU	542,77	koljeno, ξ	
R (Pa/m)-tablica	400	ventil, ξ	29,5 x5
duljina	5,45	sabirnik/razdjelnik, ξ	
ukupno	10,9	grananje, ξ	9 x2
linijski pad tlaka, Pa	4360	ukupno zeta, ξ	38,5
DN 20 (21,6mm)		gustoća vode m3/kg	987
		brzina m/s	0,8
		LOKALNI PAD TLAKA, Pa	12159,84
TOPLINSKI VOD dionica 3			
PROTOK	0,000075	kondenzator, ξ	
LITARA PO SATU	271,38	koljeno, ξ	
R (Pa/m)-tablica	450	ventil, ξ	
duljina	5	sabirnik/razdjelnik, ξ	
ukupno	10	grananje, ξ	9 x2
linijski pad tlaka, Pa	4500	ukupno zeta, ξ	9
DN 20 (21,6mm)		gustoća vode m3/kg	987
		brzina m/s	0,7
		LOKALNI PAD TLAKA, Pa	2176,34
TOPLINSKI VOD dionica 4			
PROTOK	0,000038	kondenzator, ξ	0
LITARA PO SATU	135,69	koljeno, ξ	2,8 x4
R (Pa/m)-tablica	130	ventil, ξ	11,8 x2
duljina	5	ogrijevno tijelo, ξ	
ukupno	10	grananje, ξ	
linijski pad tlaka, Pa	1300	ukupno zeta, ξ	14,6
DN 15 (16mm)		gustoća vode m3/kg	987
		brzina m/s	0,36
		LOKALNI PAD TLAKA	933,78
ukupni linijski pad tlaka, Pa	13360	ukupni lokalni pad tlaka, Pa	25683
		pad tlaka u KONDENZATORU, Pa	6000
		UKUPNO PAD TLAKA, Pa	45043

Snaga pumpe se računa sljedećim izrazom i iznosi:

$$P_p = \frac{Q * \Delta p_p}{\eta_p} = \frac{0,0003 * 45043}{0,55} = 24,57 \text{ W} \quad (82)$$

Pošto za gornji krug dobijamo snagu pumpe 24,57 W, odabiremo cirkulacijsku pumpu *Grundfos 32-60-180* raspona snage između 5 i 45 W.



Slika 23. Pumpa Grundfos 32-60-180

8. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA PRIMJENE DIZALICE TOPLINE ZA GRIJANJE I HLAĐENJE OBITELJSKE KUĆE

Prije nego što se krene u sam projekt, bitno je investitoru predočiti dodatne troškove 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 za promatranu nZEB kuću [13]. Promatrana obiteljska kuća nalazi se u gradu Splitu, koji spada u primorski dio Republike Hrvatske. Ukupna godišnja potrebna toplinska energija za grijanje zgrade iznosi 8500 [kWh]. Godišnja potrebna energija za hlađenje iznosi 11500 [kWh]. Iznos je uvećan zbog udjela za grijanje PTV-a.

Sama tehno-ekonomska analiza provest će se usporedbom dvaju scenarija: postojećim scenarijem dizalice topline s ventilokonvektorima kao ogrjevnim tijelima te scenarijem gdje se koristi uljni kotao za potrebe grijanja i klime za hlađenje u periodu ljetnih mjeseci. Pošto je kuća tek u izgradnji i napravljena je samo vanjska ovojnica te još nije instaliran niti jedan sustav grijanja, odnosno hlađenja, za oba slučaja trebat će uzeti u obzir trošak same investicije, koji će se odrediti naknadno.

8.1. Kratak opis pojedinih sustava grijanja i hlađenja

8.1.1. Dizalica topline tlo-voda

Dizalica topline tlo-voda, kako je već objašnjeno, sastoji se od: **kruga koji je povezan s tlom kao izvorom topline** (kroz koji u ovom slučaju teče čista voda), **izmjenjivača topline** (pomoću kojeg se izmjenjuje toplina s krugom izvora topline i krugom radne tvari koji na sebe prihvaća toplinu i prosljeđuje je dalje), **kruga radne tvari** (ljevakretni kompresijski proces) i **kruga ponora topline koji je povezan s potrošačima** (ogrjevna tijela, u ovom slučaju ventilokonvektori). Dizalica topline se koristi tokom cijele godine i za potrebe grijanja, i za potrebe hlađenja.

8.1.2. Sustav grijanja s uljnim kotlom

Sustav grijanja s uljnim kotlom sastoji se od samog kotla koji bi se smjestio na mjesto unutarnje jedinice dizalice topline. Umjesto donjeg kruga, kotao bi bio spojen na spremnik za lož-ulje. Razvod za gornji krug prema potrošačima može biti identičan samoj dizalici topline, ali bi se u tom slučaju stavljali radijatori kao ogrjevna tijela umjesto ventilokonvertera.

8.1.3. Sustav hlađenja pomoću klima uređaja

Klima uređaj nije ništa drugo nego dizalica topline zrak-zrak. Sastoji se od vanjske i unutarnje jedinice te princip rada čini dobava i modificiranje zraka vanjske jedinice, izmjene topline preko izmjenjivača centralnog kruga s radnom tvari, te cirkulacija unutarnjeg zraka pomoću unutarnje jedinice po željenim svojstvima potrošača. Sam sustav se koristi u ljetnim mjesecima za potrebe hlađenja u slučaju odabira načina grijanja pomoću uljnog kotla.

8.2. Troškovnik sa stavkama i ekonomska analiza pojedinog sustava

Kao što je to u uvodu naglašeno, potrebno je prije odabira samog sustava i izvođenja radova montaže samog sustava predočiti samu cijenu investicije koja se dobije kada se u troškovniku zbroje sve stavke koje ulaze u samu realizaciju projekta. Kasnije se sama stavka troška investicije ubacuje u tablicu ekonomske analize te se na temelju ostalih stvari (trošak energenta, godišnja cijena održavanja, trošak kapitala i pogona, namjena samog objekta) donosi odluka koji sustav nakon analize odabrati. U nastavku su prvo tablice troškovnika pojedinog sustava te ekonomska analiza pojedinog sustava za namjenu grijanja i za namjenu hlađenja. U slučaju odabira dizalice topline tlo-voda, ona se koristi i u periodu grijanja i u periodu hlađenja, dok u slučaju odabira uljnog kotla, uljni kotao se koristi samo u periodu grijanja, dok se u periodu hlađenja koriste klasični klima uređaji, ili drugim riječima, dizalice topline zrak-zrak.

Tablica 20. Troškovnik za sustav dizalice topline tlo-voda

Red br.	OPIS STAVKE	JEDINICA MJERE	KOLIČINA	JEDINIČNA CIJENA	IZNOS TROŠKA, KN
1.	BUŠOTINA S BIT-OM	m	140	400	56000
2.	DIZALICA TOPLINE TLO-VODA	kom	1	35000	35000
3.	SPREMNIK PTV-a 300 lit	kom	1	4000	4000
4.	CJEVOVODI I IZOLACIJA NA PRIMARNOJ STRANI DIZALICE TOPLINE (POLAGANJE HORIZONTALNE CIJEVI NA DUBINI 0,8m)	iznos	1	4000	4000
5.	VENTILOKONVEKTORI	kom	5	3500	17500
6.	CJEVOVOD I IZOLACIJA RAZVODA GRIJANJA I HLAĐENJA	m	60	180	10800
7.	INSTALACIJSKI RADOVI	iznos	1	12000	12000
8.	ELEKTRO ORMAR I OŽIČENJE	kom	1	4500	4500
				UKUPNO	143800

Tablica 21. Troškovnik za sustav uljnog kotla

Red br.	OPIS STAVKE	JEDINICA MJERE	KOLIČINA	JEDINIČNA CIJENA	IZNOS TROŠKA, KN
1.	ULJNI KOTAO	kom	1	15000	15000
2.	SPREMNIK ZA LOŽ-ULJE I SPAJANJE S KOTLOM	kom	1	4.500	4.500
3.	SPREMNIK PTV-a 300 lit	kom	1	4000	4000
4.	RADIJATORI SA SVOM POMOĆNOM OPREMOM	kom	12	900	10.800
5.	Termostatski ventili	kom	12	200	2400
5.	CJEVOVOD I IZOLACIJA RAZVODA GRIJANJA I HLAĐENJA	m	60	180	10800
6.	INSTALACIJSKI RADOVI	iznos	1	10.5000	10.500
7.	ELEKTRO ORMAR I OŽIČENJE	kom	1	4500	4500
				UKUPNO	62500

Tablica 22. Troškovnik za sustav klima uređaja

Red br.	OPIS STAVKE	JEDINICA MJERE	KOLIČINA	JEDINIČNA CIJENA	IZNOS TROŠKA, KN
1.	SPLIT KLIMA UREĐAJ S JEDNOM VANJSKOM I DVIJE UNUTARNJE JEDINICE	KOM	3	5000	15000
2.	INSTALACIJSKI RADOVI	IZNOS	1	7000	7000
				UKUPNO	22000

Kao što je već prije rečeno, troškovnici služe za izračun koliko je sredstava potrebno za inicijalne troškove ili trošak investicije. Investicija je bitna stavka u samoj tehno-ekonomskoj analizi i često puta ima prevagu oko toga koji se sustav na kraju odabire. Sljedeće dvije tablice prikazuju ekonomsku analizu sustava za grijanje te za hlađenje. U ekonomskoj analizi grijanja se uspoređuje sustav dizalice topline tlo-voda sa sustavom s uljnim kotlom, a u ekonomskoj analizi hlađenja se uspoređuje dizalica topline tlo-voda sa sustavom klima uređaja.

Tablica 23. Ekonomska analiza grijanja

	Dizalica topline tlo-voda	Uljni kotao
ENERGETSKA ANALIZA		
GODIŠNJA ENERGIJA ZA GRIJANJE, kWh	8500	8500
STUPANJ DJELOVANJA, FAKTOR GRIJANJA	4,04	0,75
EFEKTIVNA POTREBA ZA ENERGIJOM, kWh	2104	11333
EMISIJA CO ₂ (kg/kWh)	0,235	0,3
UTROŠAK ENERGENTA	2104	1117
EKONOMSKA ANALIZA		
INVESTICIJA, KN	143800	62500
FAKTOR ANUITETA	0,096	0,096
TROŠAK KAPITALA, KN/GOD	13804,8	6000
CIJENA ENERGENTA, KN/JED. MJERI	1,14/0,56	9,6(0,95kn/kWh)
POGONSKI TROŠKOVI , KN/GOD	1940,9	10721
ODRŽAVANJE, KN/GOD	1000	2000
TROŠKOVI KAPITALA I POGONA, KN/GOD	16746	18721

Tablica 24. Ekonomska analiza hlađenja

	Dizalica topline tlo-voda	Sustav klima uređaja
ENERGETSKA ANALIZA		
GODIŠNJA ENERGIJA ZA HLAĐENJE, kWh	11500	11500
STUPANJ DJELOVANJA, FAKTOR HLAĐENJA	4,5	3
EFEKTIVNA POTREBA ZA ENERGIJOM, kWh	2555,6	3833,3
EMISIJA CO ₂ (kg/kWh)	0,235	0,23
UTROŠAK ENERGENTA	2555,6	3833,3
EKONOMSKA ANALIZA		
INVESTICIJA, KN		22000
FAKTOR ANUITETA	0,096	0,096
TROŠAK KAPITALA, KN/GOD		2112
CIJENA ENERGENTA, KN/JED. MJERI	1,14/0,56	114/0,56
POGONSKI TROŠKOVI, KN/GOD	2357,5	3536,25
ODRŽAVANJE, KN/GOD		1000
TROŠKOVI KAPITALA I POGONA, KN/GOD	2357,5	6648,25

Sljedeće dvije tablice pokazuju analizu ukupnih troškova kapitala i pogona promatranih sustava. Sustav uljnog kotla i klima uređaja se predstavlja kao jedan sustav i analizira se za koliko će se vremena izjednačiti trošak tj. nastupiti povrat investicije za dizalicu topline uspoređujući za slučaj da je ugrađena umjesto sustava uljnog kotla i klima uređaja.

Tablica 25. Analiza troška investicije i godišnjih troškova kapitala i pogona

	DIZALICA TOPLINE	ULJNI KOTAO+KLIME
TROŠAK INVESTICIJE, kn	143800	84500
GODIŠNJI TROŠKOVI KAPITALA I POGONA ZA GRIJANJE, kn	16745,7	18721,32
GODIŠNJI TROŠKOVI KAPITALA I POGONA ZA HLAĐENJE, kn	2357,5	6648,25
UKUPNI GODIŠNJI TROŠKOVI KAPITALA I POGONA, kn	19103,2	25369,57

Tablica 26. Analiza razdoblja povrata investicije za sustav dizalice topline

RAZLIKA U INVESTICIJI DVAJU SISTEMA, kn	59300
GODIŠNJA UŠTEDA SA SUSTAVOM DIZALICE TOPLINE, kn/god	6266,37
RAZDOBLJE POVRATA INVESTICIJE ZA DIZALICU TOPLINE, god	9,46

Rezultati pokazuju da će se povrat investicije dizalice topline u usporedbi sa slučajem ugrađivanja kombinacije uljnog kotla i klima uređaja desiti u periodu od 9,46 godina.

9. ZAKLJUČAK

Konačan rezultat tehnoekonomske analize za promatrani objekt je pokazao da je dizalica topline dugoročno isplativija, nego sustav uljnog kotla za grijanje u kombinaciji s klima uređajima za hlađenje. Najveći nedostatak dizalice topline navedene u uvodu su investicijski troškovi koji često imaju prevagu kod izbora, pa se zbog nedostatka novca za izgradnju često odustaje od samog projekta dizalice topline. Globalni poremećaji (npr. trenutno stanje rata između Ukrajine i Rusije) su pokazali kako neizvjesna budućnost sama po sebi nosi i neizvjesnost u cijenama energenata, što daje dodatnu prednost za odabir dizalice topline. Radi se o energetske neovisnijoj opciji, naročito kad se na krov instalira solarna elektrana i na taj način se proizvedenom električnom energijom pogoni sama dizalica topline. Također, jedna od bitnih prednosti dizalice topline u budućnosti će biti i ekološka prihvatljivost. Ako se pogoni na solarnu elektranu, osim proizvodnje i montaže opreme, ostali segmenti su ekološki neutralni. Na ekološkoj neutralnosti i što čistoj energiji će se sve više inzistirati u budućnosti, te će poticaji i bespovratna sredstva za obnovljive izvore energije učiniti dizalice topline još cjenovno povoljnijima.

LITERATURA

- [1] <https://www.bosch-thermotechnology.com/hr/hr/stambeni/korisne-informacije/dizalice-topline-savjeti/dizalica-topline-funkcija-i-prednosti/>
- [2] https://www.daikin.hr/hr_hr/product-group/ground-source-heat-pump.html
- [3] <https://www.bosch-thermotechnology.com/hr/hr/stambeni/korisne-informacije/dizalice-topline-savjeti/dizalica-topline-zrak-voda/>
- [4] <https://zir.nsk.hr/islandora/object/fsb:3144>
- [5] <https://zir.nsk.hr/islandora/object/fsb%3A5431>
- [6] HRN EN 12831 norma
- [7] VDI 2078 norma
- [8] HRN EN 13790 norma
- [9] <https://www.energy.gov/energysaver/heat-pump-systems>
- [10] https://hr.wikipedia.org/wiki/Toplinske_pumpe
- [11] <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2014/08/heat-pumps-7-advantages-and-disadvantages>
- [12] <https://strojopromet.com/bakrene-cijevi/>
- [13] <https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb:4507>
- [14] <https://www.klimakoncept.hr/hr/klima-uredaji-34-kw-snage>
- [15] <https://www.ikoma.hr/hr/cijene/bakrene-cijevi-158/>
- [16] <https://www.ikoma.hr/hr/vodovodni-materijal/pehd-alkaten-cijevi-za-vodu-117/>
- [17] <https://asel.hr/webshop/proizvod/izmjenjivac-topline-plocasti/>
- [18] <https://www.ikoma.hr/hr/grijanje-na-drva/ekspanzijske-posude-i-sigurnosni-ventili-91/>
- [19] <https://www.fero-term.hr/katalog/pumpe/cirkulacijske-pumpe/cirkulacijske-pumpe-za-sustave-grijanja-hladjenja>
- [20] https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_09_102_1922.html
- [21] V. Soldo, Podloge za predavanja iz kolegija Dizalice topline, FSB, 2020.

PRILOZI

- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija