

Primjena dizalice topline zrak-voda u niskoenergetski koncipiranom stambenom objektu

Vugrač, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Polytechnic of Međimurje in Čakovec / Međimursko veleučilište u Čakovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:110:121950>

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

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



Repository / Repozitorij:

[Polytechnic of Međimurje in Čakovec Repository -
Polytechnic of Međimurje Undergraduate and
Graduate Theses Repository](#)



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU
ODRŽIVI RAZVOJ

LUKA VUGRAČ

PRIMJENA DIZALICE TOPLINE ZRAK-VODA U
NISKOENERGETSKI KONCIPIRANOM STAMBENOM OBJEKTU

ZAVRŠNI RAD

ČAKOVEC, 2020.

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU
ODRŽIVI RAZVOJ

LUKA VUGRAČ

PRIMJENA DIZALICE TOPLINE ZRAK-VODA U
NISKOENERGETSKI KONCIPIRANOM STAMBENOM OBJEKTU

THE APPLICATION OF AIR TO WATER HEAT PUMP IN A LOW
ENERGY CONCEPT RESIDENTIAL HOUSE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Marijan Horvat, dipl. ing. str., pred.

ČAKOVEC, 2020.

Izjava

Ja, Luka Vugrač, izjavljujem da sam ovaj rad samostalno izradio koristeći navedenu literaturu i znanje stečeno tijekom studija.

Zahvala

Zahvaljujem mentoru i predavaču Marijanu Horvatu na podršci i savjetima tijekom pisanja ovog rada. Također zahvaljujem tvrtki Domet d.o.o. iz Preloga i tvrtki KGV projekt d.o.o. iz Čakovca na svim projektnim materijalima koji su mi bili ustupljeni na korištenje u svrhu pisanja ovoga rada.

Zahvaljujem i svojoj obitelji koja mi je bila konstantna podrška tijekom svih godina studiranja i prilikom pisanja ovoga rada.

Luka Vugrač

Popis oznaka

| OZNAKA | JEDINICA | OPIS |
|-----------------|----------------------|---|
| Q_{GR} | W | Toplinski tok |
| Φ_T | W | Potrebni toplinski učin grijanja |
| Φ_V | W | Transmisijski toplinski gubitci |
| Φ_{V_1} | W | Ventilacijski toplinski gubitci |
| Q_n | W | Ukupna potrebna toplinska energija |
| Q_p | kWh | Toplinska energija plina potrebna za pripremu potrošne tople vode |
| Q_w | kWh | Toplinska energija potrebna za pripremu potrošne tople vode u promatranom periodu |
| H_T | W/K | Koeficijent transmisijskih toplinskih gubitaka |
| Φ_{V_i} | W/K | Koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka |
| U | W/(m ² K) | Koeficijent prolaza topline |
| ΔU_{WB} | W/(m ² K) | Dodatak za toplinske mostove |
| T_u | °C | Unutarnja projektirana temperatura prostora |
| t_{TW} | °C | Temperatura tople vode |
| t_{HW} | °C | Temperatura hladne vode |
| Θ_e | °C | Vanjska projektirana temperatura |
| T_S | °C | Temperatura tople vode u spremniku |
| ρ | Kg/m ³ | Gustoća vode |
| ρ_z | Kg/m ³ | Gustoća zraka |
| V_p | m ³ | Volumen prostora izračuna |
| A | m ² | Površina plohe prostorije |
| I_z | h ⁻¹ | Potrebni broj izmjena zraka |
| V_{Smin} | L | Minimalni volumen spremnika |
| V_P | L | Dnevna potrošnja tople vode |
| V | L | Volumen spremnika |
| V.T. | Kn | Viša tarifa |
| N.T. | Kn | Niža tarifa |
| fk | - | Temperaturni korekcijski faktor |

COP

-

Koeficient účinkovosti dizalice topline

Sažetak

U današnje vrijeme često se pojavljuju pitanja ekonomske isplativosti i ekološke prihvatljivosti, pa tako i kod gradnje kuća. Jedan od bitnih aspekata gradnje je učinkovitost objekta. Glavni cilj ovog rada bit će prikazati na koji način smanjiti troškove održavanja i režija bez ugrožavanja komfora korisnika.

Završni rad detaljno opisuje princip rada dizalice topline na sistemu zrak-voda koji obuhvaća vanjsku i unutarnju jedinicu te gdje vanjski zrak koristimo za grijanje, a usporedit ćemo ga s drugim oblicima dizalice toplina kao što su voda-voda i zemlja-voda. Na primjeru obiteljske kuće u nizu u Čehovcu gdje je ugrađena dizalica topline zrak-voda, analizirat ćemo i predstaviti postojeće primjere uštede, a analiza će se temeljiti na ekonomskoj i ekološkoj razini. Analiza će nadalje poslužiti kao temelj obrazloženju odabira koncepta izvedbe u sustavu dizalice topline te pojašnjenju zašto se koristi zrak-voda, a ne drugi oblik dizalice topline. Izvršit će se ukupna energetska analiza potrošnje energije temeljena na stvarnim vrijednostima potrošnje kroz period od jedne godine. Prethodni će se rezultati usporediti s onima iz analize te će se izvesti zaključak i popratna analiza zagrijavanja istog objekta sa zemnim plinom kako bi se dobila realna usporedba stvarnih troškova i prikazale moguće uštede.

Ključne riječi: *dizalica topline, pasivni kolektor zraka, energetska učinkovitost, ekološka prihvatljivost, niskoenergetske kuće, toplinski gubitci, ekonomska analiza, obnovljivi izvori energije*

Sadržaj

| | |
|--|----|
| 1. Uvod | 1 |
| 2. Koncept niskoenergetske kuće u Čehovcu – građevinski dio | 2 |
| 2.1. Koncept i tlocrt kuće..... | 2 |
| 2.2. Građevinski čimbenici i fizikalna svojstva kuće | 3 |
| 3. Proračun gubitaka topline..... | 10 |
| 3.1. Transmisijski toplinski gubitci | 10 |
| 3.2 Proračun transmisijskih gubitaka po prostorijama | 13 |
| 3.3. Proračun ventilacijskih toplinskih gubitaka | 14 |
| 4. Pasivni kolektor zraka i rekuperacija objekta..... | 17 |
| 4.1. Dimenzioniranje pasivnog kolektora zemlja-zrak | 17 |
| 4.2. Dimenzioniranje rekuperatora | 21 |
| 5. Dizalica topline zrak-voda..... | 24 |
| 5.1. Odabir dizalice topline prema toplinskim gubicima..... | 24 |
| 5.2. Odabir spremnika PTV-e..... | 26 |
| 5.3. Grijanje i hlađenje prostora | 27 |
| 5.4. Proračun podnog grijanja..... | 31 |
| 5.5. Automatska regulacija objekta | 34 |
| 6. Proračunska isplativost dizalice topline | 36 |
| 6.1. Proračun o toplinskom opterećenju kroz mjesece | 36 |
| 6.2. Potrošnja emitirane energije dizalice topline..... | 40 |
| 6.3. Analiza ekološke prihvatljivosti dizalice topline..... | 41 |
| 6.4. Proračun o potrošnji električne energije sa stvarnim podacima | 43 |
| 6.5. Dizalice topline u uredbi za štednju energije..... | 44 |
| 7. Zaključak | 46 |
| Literatura | 47 |

| | |
|---------------|----|
| Prilozi | 48 |
|---------------|----|

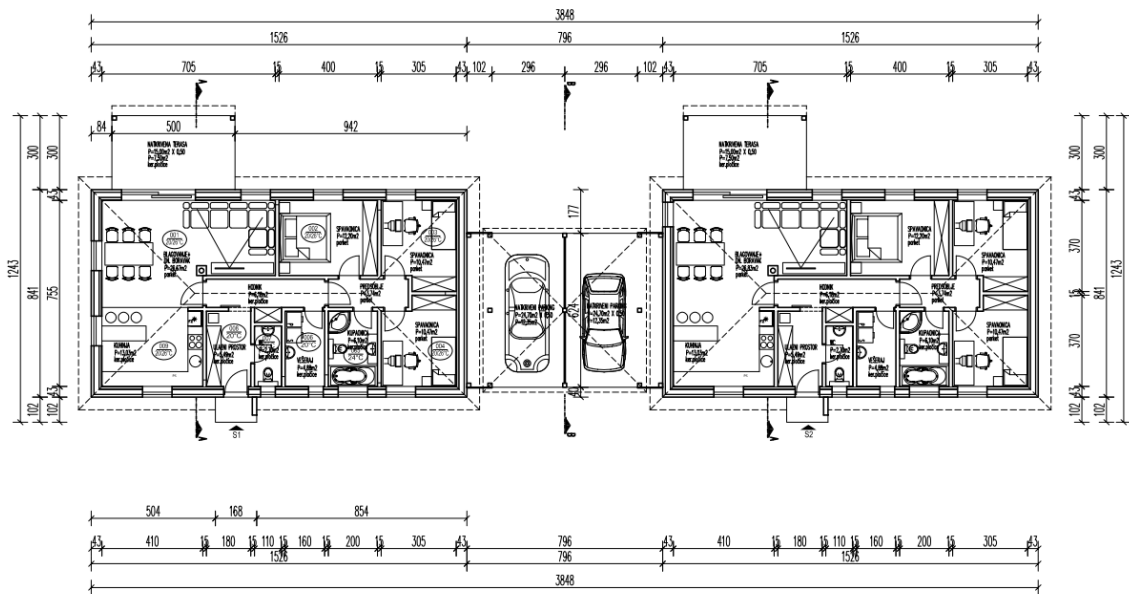
1. Uvod

Prvi koncept toplinske pumpe ili dizalice topline nastao je 1852. godine, ali je tek 90 godina kasnije američki izumitelj Roberta C. Webber usavršio koncept nakon što se opekao na izlazne cijevi rashladnog sustava zamrzivača [1]. Tako su 1940-ih godina dizalice topline postale vrlo popularne zbog svoje učinkovitosti, dok su vrhunac doživjele u sedamdesetim godinama kada se počela buditi svijest o očuvanju potrošivih izvora energije zbog naftne krize koja je uzrokovala veliku recesiju u industrijskim zemljama, pa se tako baš zbog te krize nafta zamijenila alternativnim gorivima kao što su biodizel i ostali alternativni izvori energije. To je dovelo i do bitne promjene u načinu razmišljanja ljudi kao korisnika energije jer su shvatili ograničenost resursa na zemlji [2]. Webber je također odlučio koristiti toplinu tla pomoću bakrenih cijevi napunjenih freonom koji je transportirao toplinu kroz cijevi, te je koristio ventilator kao generator zraka i na taj način je riješio problem grijanja u svome domu.

Danas dizalice topline koristimo za grijanje i hlađenje prostora tako da crpimo toplinsku energiju iz izvora topline i prenosimo je do potrošača. Dizalice topline su osmišljene da prenose toplinsku energiju suprotno od smjera spontanog toplinskog toka uzimajući toplinu iz hladnog okoliša i prenoseći ju u toplije okruženje koristeći energiju koja je potrebna za uspješno funkcioniranje ovoga procesa. Toplina se crpi iz zemlje, vode ili zraka koji su još uvijek besplatni resursi i spadaju pod obnovljive izvore energije, a prenosi se u sustave za centralno grijanje ili za pripremu potrošne tople vode. Teoretski princip rada dizalice topline zasniva se na lijevokretnom Carnotovom kružnom procesu koji se sastoji od dva izotermna i dva adijabatska procesa, a pomoću tog procesa toplinu u stroju pretvaramo u rad i pri tome se koristi rashladni medij (freon) [1].

Proces dizalice topline identičan je radu kućnog hladnjaka, samo što hladnjak oduzima toplinu namirnica i predaje je u okoliš, dok dizalica topline koristi obrnuti proces.

prizemlju, dok je tavanski prostor prazan te nudi mogućnost nadogradnje kata u budućnosti (slika 2.). Kuće su povezane natkrivenim parkingom, gdje svaka kuća ima dodijeljeno zasebno parkirno mjesto. Uz spomenute prostorije i parking, svaka kuća ima i svoju natkrivenu terasu te okućnicu od 350 metara kvadratnih oko kuće A i okućnicu od 500 metara kvadratnih oko kuće B.



Slika 2. Tlocrt prizemlja za dvojni kuću A i B [3]

Objekti su kuće konstruirane u pravokutnom obliku od 15x8,5 metara. Dvorišta obaju objekata smještena su na zapadnoj strani čestice, dok je ulaz smješten na istočnoj strani objekta s koje se privatnim putem dolazi do ulaza u oba objekta. Kuća A ima otvore za svjetlost na jugu, zapadu i istoku, dok kuća B ima otvore za svjetlost na sjeveru, zapadu i istoku.

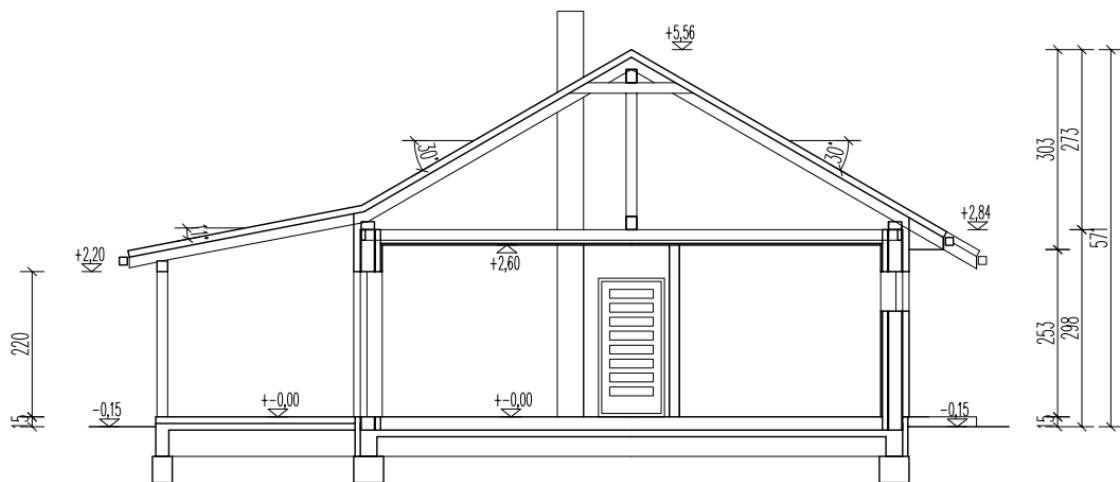
2.2. Građevinski čimbenici i fizikalna svojstva kuće

U početku gradnje kuće potrebno je definirati građevinsku fiziku objekta koja nam odgovara na važna pitanja kao što su zaštita klime, energetska učinkovitost, očuvanje resursa i održivost. Građevinska fizika obuhvaća izolaciju, toplinski proračun, analizu toplinskih mostova, troškove energije, klimatizacijsku tehniku, sustave za opskrbu električnom strujom, iskorištavanje sunčeve energije, korištenje toplina iz okoliša, zvučnu izolaciju, prostornu i psihoakustiku, tehničku akustiku, zaštitu od vlage, svjetlo i korištenje dnevnog svjetla, kao i zaštitu od požara [4].

U ovom projektu posebna se pažnja posvećuje obnovljivim izvorima energije kao i kod nas nekonvencionalnim načinima gradnje pomoću ploča od usmjerenih vlakana (OSB ploča) koje se koriste u gradnji vanjskih zidova i stropova.

Za pravilan uvid u toplinsku kvalitetu građevine moramo analizirati omotač zgrade koji čine različite obodne konstrukcije i elementi (slika 3.). Obodne konstrukcije se dijele na neprozirne i prozirne, a razlike su među njima velike jer su izvedene od drugačijih materijala. Sama kvaliteta omotača ovisi o klimatskim i tehničko-tehnološkim elementima kao i godini izgradnje objekta koja uvelike uvjetuje materijale korištene u izgradnji.

PRESJEK A-A



Slika 3. Presjek kuće s njegovim obodnim konstrukcijama [3]

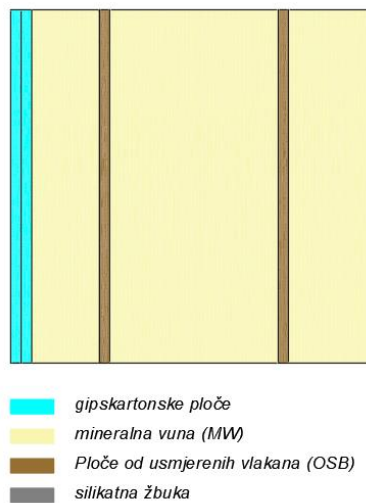
Na toplinsku kvalitetu prozirnih obodnih konstrukcija najviše utječe broj staklenih ploha, njihova debljina i broj slojeva između prozirnih materijala, materijal od kojeg je napravljen okvir, način spajanja elemenata okvira i prijanjanje pokretnih elemenata uz fiksne elemente ili dobro brtvljenje.

Koeficijent prolaza topline kod staklenih ploha ovisan je o kvaliteti prozora. Na primjer, jednoslojni prozori imaju prolaz topline $6,0\text{W}/\text{m}^2\text{K}$, dok noviji troslojni prozori imaju prolaz topline $0,7\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. Na taj način možemo smanjiti transmisijske gubitke topline, dok o kvaliteti materijala i spojevima okvira ovise ventilacijski gubitci koji mogu prouzročiti nepoželjne gubitke od 30% ukupnih gubitaka kroz omotač zgrade ukoliko su nekvalitetni [4].

Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama propisuje najveće dopuštene koeficijente prolaza topline „U“ za obodne konstrukcije prema njihovom položaju u zgradi [13]:

- Vanjski zidovi, zidovi prema garaži, tavanu,
- Zidovi prema negrijanom stubištu,
- Zidovi prema tlu,
- Podovi na tlu,
- Stropovi između stanova ili različitih grijanih funkcionalnih cjelina,
- Stropovi prema tavanu,
- Stropovi prema negrijanom podrumu,
- Ravni i kosi krovovi iznad grijanih prostora,
- Stropovi iznad vanjskog prostora i iznad garaža.

Debljina vanjskih zidova je ukupno 43,33cm (slika 4.), a zidovi se sastoje od dvostrukih gipskartonskih ploča, izolacije od mineralne vune, poluetilenskih folija te ploča od usmjerenih vlakana i žbuke (tablica 1.).



Slika 4. Presjek zida obiteljske kuće u Čehovcu [3]

Tablica 1. Slojevi vanjskoga zida

| Materijal | debljina d (cm) | spec. topl. cp (J/kgK) | gustoća ρ (kg/m ³) | topl. prov. λ (W/mK) | dif. otpor. Sd (m) |
|--------------------------------------|--------------------|---------------------------|---|---------------------------------|-----------------------|
| Gipskartonske ploče | 1,25 | 900 | 900 | 0,25 | 0,1 |
| Gipskartonske ploče | 1,25 | 900 | 900 | 0,25 | 0,1 |
| Mineralna vuna (MW) | 8 | 1030 | 30 | 0,04 | 0,1 |
| Polietilen 0,25 mm | 0,03 | 1250 | 1000 | 0,19 | 100 |
| Ploče od usmjerenih vlakana (OSB) | 1,2 | 1700 | 650 | 0,13 | 0,6 |
| Mineralna vuna (MW) | 20 | 1030 | 30 | 0,04 | 0,24 |
| Ploče od usmjerenih vlakana (OSB) | 1,2 | 1700 | 650 | 0,13 | 0,6 |
| Mineralna vuna (MW) | 10 | 1030 | 30 | 0,04 | 0,12 |
| Silikatna žbuka (1800) | 0,4 | 1000 | 1800 | 0,9 | 0,28 |
| Ukupno: | 43,33 | | | | 102,14 |

Izvor: [3]

Podovi su napravljeni na podlozi od armiranog betona koja leži na 30cm posteljice od pijeska, šljunka i tucanika, a iznad se nalazi 14cm EPS ploča, estrih i završne podne obloge koje su u ovom slučaju parket i keramika (tablica 2.).

Strop je napravljen od gipskartonskih ploča, polietilenske folije i mineralne vune debljine 29mm.

Koeficijent prolaska topline:

Toplinski otpor homogenih slojeva: $R_t = R_{si} + \sum d_i / \lambda_i + R_{se} = 10,000 \text{ m}^2\text{K/W}$

Koeficijent prolaska topline: $U = 1 / (R_t + R_u) = 0,100 \text{ W/m}^2\text{K}$

Dozvoljeni koeficijent prolaska topline za građevni dio: $U_{\max} = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tablica 2: Slojevi poda obiteljske kuće u Čehovcu

| Materijal | debljina d (cm) | spec. topl. cp (J/kgK) | gustoća ρ (kg/m ³) | topl. prov. λ (W/mK) | dif. otpor. Sd (m) |
|--|--------------------|------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Keramičke pločice | 1 | 840 | 2300 | 1,3 | 2 |
| Cementni estrih (2000) | 5 | 1100 | 2000 | 1,6 | 2,5 |
| Polietilen 0,25 mm | 0,03 | 1250 | 1000 | 0,19 | 100 |
| Ekspandirani polistiren | 14 | 1450 | 15 | 0,035 | 8,4 |
| Polimerna hidroizolacijska traka na bazi PVC-P | 1 | 1000 | 1200 | 0,14 | 1000 |
| Armirani beton (2500) | 10 | 1000 | 2500 | 2,6 | 13 |
| Pijesak, šljunak, tucanik (drobljenac) | 30 | 1000 | 1700 | 0,81 | 0,9 |
| Ukupno: | 61,03 | | | | 1.126,80 |

Izvor: [3]

Koeficijent prolaska topline:Toplinski otpor homogenih slojeva: $R_t = R_{si} + \sum d_i / \lambda_i + R_{se} = 4,651 \text{ m}^2\text{K/W}$ Koeficijent prolaska topline: $U = 1/(R_t + R_u) = 0,215 \text{ W/m}^2\text{K}$ Dozvoljeni koeficijent prolaska topline za građevni dio: $U_{\max} = 0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$

Koeficijent prolaska topline (U) je količina topline koju građevni element gubi u 1 sekundi po m² površine, kod razlike temperature od 1 K, izraženo u W/m²K. Koeficijent U je bitna karakteristika vanjskog elementa konstrukcije i igra veliku ulogu u analizi ukupnih toplinskih gubitaka (kWh/m²), a time i potrošnji energije za grijanje. Što je koeficijent prolaska topline manji, to je toplinska zaštita zgrade bolja [6]:

$$\Phi = A \cdot U \cdot (T_1 - T_2) \quad [1]$$

Gdje je:

Φ – toplinski tok (W),

U – koeficijent prolaska topline (W/m²K),T₁ – viša temperatura s jedne strane strukture (K),T₂ – niža temperatura s druge strane strukture (K),A – površina kroz koju toplina prolazi (m²).

Meteorološki parametri su zadani prema postaji Varaždin.

Tablica 3. Meteorološki podaci po gradovima

| Mjesec | Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka Θ_e (°C) | Srednja vanjska vlaga (%) |
|----------|---|---------------------------|
| siječanj | -1,3 | 83,9 |
| veljača | 1,3 | 79,6 |
| ožujak | 5,4 | 73,8 |
| travanj | 10,3 | 69,2 |
| svibanj | 15,1 | 70,1 |
| lipanj | 18,3 | 71,7 |
| srpanj | 19,8 | 72,3 |
| kolovoz | 18,9 | 76,2 |
| rujan | 15,4 | 79,4 |
| listopad | 10,1 | 81,3 |
| studeni | 4,9 | 83,4 |
| prosinac | 0,5 | 84,8 |

Izvor: Državni hidrometeorološki zavod [5]

Unutarnja projektna temperatura grijanja: Θ_{int} , set, H = 20°C

Broj izmjena zraka: $n = 0,5$ (h^{-1})

Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade:

$\Theta_{e,mj,min} = -1,3^\circ\text{C}$

Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najtoplijeg mjeseca na lokaciji zgrade

$\Theta_{e,mj,max} = 19,8^\circ\text{C}$

Vrsta i način korištenja obnovljivih izvora energije u slučaju spomenute kuće je toplina iz okoliša, a način grijanja je etažni.

Vanjski zidovi, zidovi prema garaži, tavanu, $U_{max} = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$

- VANJSKI ZID A, $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$

Građevni dio: 1 – vanjski zidovi, zidovi prema garaži, tavanu

Toplinski otpor homogenih slojeva: $R_t = R_{si} + \sum d_i / \lambda_i + R_{se} = 10,000 \text{ m}^2\text{K/W}$

Koeficijent prolaska topline: $U = 1 / (R_t + R_u) = 0,100 \text{ W/m}^2\text{K}$

Dozvoljeni koeficijent prolaska topline za građevni dio: $U_{max} = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$

- VANJSKI ZID B, $U = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$

Građevni dio: 1 – vanjski zidovi, zidovi prema garaži, tavanu

Toplinski otpor homogenih slojeva: $R_t = R_{si} + \sum d_i / \lambda_i + R_{se} = 6,289 \text{ m}^2\text{K/W}$

Koeficijent prolaska topline: $U = 1 / (R_t + R_u) = 0,159 \text{ W/m}^2\text{K}$

Ravni i kosi krov iznad grijanog prostora, stropovi prema tavanu, $U_{max} =$

0,30W/m²K

Toplinski otpor homogenih slojeva: $R_t = R_{si} + \sum d_i / \lambda_i + R_{se} = 7,463 \text{m}^2\text{K/W}$

Koeficijent prolaska topline: $U = 1 / (R_t + R_u) = 0,134 \text{W/m}^2\text{K}$

Zidovi prema tlu, podovi na tlu, $U_{\max} = 0,50 \text{W/m}^2\text{K}$

Toplinski otpor homogenih slojeva: $R_t = R_{si} + \sum d_i / \lambda_i + R_{se} = 4,651 \text{m}^2\text{K/W}$

Koeficijent prolaska topline: $U = 1 / (R_t + R_u) = 0,215 \text{W/m}^2\text{K}$

Prozori, balkonska vrata, krovni prozori, prozirni elementi pročelja, $U_{\max} = 1,80 \text{W/m}^2\text{K}$

Koeficijent prolaska topline okvira (uključujući toplinske mostove između okvira i stakla): $U_{okv} = 1,88 \text{W/m}^2\text{K}$

Koeficijent prolaska topline stakla: $U_{st} = 1,10 \text{W/m}^2\text{K}$

Udio površine okvira u površini otvora: $F_f = 0,80$

Ukupni koeficijent prolaska topline: $U = 1,25 \text{W/m}^2\text{K}$

Vanjska vrata, vrata prema negrijanom stubištu, s neprozirnim vratnim krilom, $U_{\max} = 2,90 \text{W/m}^2\text{K}$

Koeficijent prolaska topline: $U = 2,90 \text{W/m}^2\text{K}$

Dozvoljeni koeficijent prolaska topline za građevni dio: $U_{\max} = 2,90 \text{W/m}^2\text{K}$

3. Proračun gubitaka topline

Termodinamički proračun gubitaka topline, pojedinačno ili za sve prostorije unutar objekta ukupno, izvodi se pojednostavljenim postupkom prema europskoj normi EN 12831 (HRN EN 12831: 2004 Postupci za proračun normiranog toplinskog opterećenja, Hrvatski zavod za norme). Za izračun gubitaka topline moramo uzeti u obzir transmisivne toplinske gubitke (Φ_T) i ventilacijske toplinske gubitke (Φ_V). U transmisivne toplinske gubitke spadaju: prolaz topline, toplinski gubici kroz vanjske plohe prostorija prema okolini, tlu i okolnim prostorijama, dok ventilacijskim toplinskim gubicima smatramo gubitke koji nastaju prirodnom ventilacijom strujanja zraka kroz ovojnicu objekta i kroz njihove prostorije. Iz toga možemo izvesti formulu za ukupni potrebni toplinski učin grijanja promatranog prostora koji je označen kao Q_{GR} :

$$Q_{GR} = \Phi_T + \Phi_V [W] \quad [2]$$

Gdje je:

Q_{GR} - potrebni toplinski učin grijanja, W,

Φ_T - transmisivni toplinski gubici, W,

Φ_V - ventilacijski toplinski gubici, W.

Gubici topline grijanja i proračun gubitka topline dijele se na transmisivne toplinske gubitke, ventilacijske toplinske gubitke te na ukupne gubitke topline. Vezano uz to u nastavku je predstavljen svaki zasebni dio građevine i njegov izračun [14].

3.1. Transmisivni toplinski gubici

Transmisivnim toplinskim gubicima smatramo provođenje topline kroz okolne plohe prema okolici i tlu te okolnim prostorima s različitim opterećenjem.

Prema EN HRN ISO 12831 transmisivni gubici (Φ_T) iskazuju se formulom:

$$\Phi_T = H_T \cdot (Q_{int} - Q_e) [W] \quad [3]$$

Gdje je:

H_T - koeficijent transmisivnih toplinskih gubitaka, [W/K],

Q_{int} - unutarnja projektna temperatura u prostoriji, [°C],

Q_e - vanjska projektna (okolna) temperatura, [°C].

Za određivanje vanjske projektne (okolne) temperature koristimo se postojećim iskustvenim podacima koje možemo pročitati iz tablice u nastavku. Sami odabiremo vanjsku temperaturu (u ovom slučaju za zimski period) za područje Varaždina koji iznosi: $Q_e = -20^{\circ}\text{C}$ (tablica 4.)

Tablica 4. *Prosječna vanjska temperatura po gradovima u Hrvatskoj*

| Mjesto | Q_e [$^{\circ}\text{C}$] |
|----------------|------------------------------|
| Bjelovar | -18 |
| Delnice | -18 |
| Dubrovnik | -2 |
| Gospić | -24 |
| Hvar | -2 |
| Imotski | -6 |
| Karlovac | -18 |
| Knin | -9 |
| Makarska | -4 |
| Ogulin | -20 |
| Osijek | -18 |
| Pazin | -6 |
| Požega | -20 |
| Pula | -6 |
| Rijeka | -8 |
| Sisak | -18 |
| Slavonski Brod | -18 |
| Split | -4 |
| Šibenik | -6 |
| Varaždin | -21 |
| Vinkovci | -18 |
| Zadar | -9 |
| Zagreb | -15 (-18) |

Izvor: Državni hidrometeorološki zavod [5]

Dok unutarne projektne temperature određujemo prema tipu objekta i namjeni svake prostorije za sebe, projektirane temperature mogu se iščitati iz tablice 5. gdje možemo

pronaći temperature za sve prostorije unutar kuće koje su nam potrebne za nastavak proračuna [14].

Tablica 5. Projektirana temperatura po prostorijama

| Namjena i vrsta prostorije | $\theta_{int}[^{\circ}\text{C}]$ |
|----------------------------|----------------------------------|
| Predsooblje | 20 |
| Hodnik | 20 |
| Spavaće sobe | 20 |
| Kupaona | 24 |
| WC | 20 |
| Vešeraj | 20 |
| Dnevna soba + blagovanje | 20 |
| Kuhinja | 20 |

Izvor: Projektna dokumentacija KGV projekt [3]

H_T odnosno koeficijent transmisijskih toplinskih gubitaka određuje se prema formuli:

$$H_T = \sum A \cdot (U + \Delta U_{WB}) \cdot fk, [W/K] \quad [4]$$

Gdje je:

A - površina plohe prostorije, $[\text{m}^2]$,

U - koeficijent prolaza topline, $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$,

ΔU_{WB} - dodatak za toplinske mostove, $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$,

fk - temperaturni korekcijski faktor, [-].

U tablici je prikazan temperaturni korekcijski faktor (tablica 6.) f_k iz kojeg se mogu iščitati toplinski gubici prema različitim okolnim plohama ili područjima.

Tablica 6. *Temperaturni korekcijski faktor*

| Toplinski gubitci | | <i>fk</i> |
|--|----------------------------------|-----------|
| | | [-] |
| Izravno prema okolici (tj. na vanjski zrak) | Za izolirane toplinske mostove | 1,00 |
| | Za neizolirane toplinske mostove | 1,00 |
| | Za prozore i vrata | 1,00 |
| Prema negrijanim prostorijama | Za izolirane toplinske mostove | 0,80 |
| | Za neizolirane toplinske mostove | 1,12 |
| Prema tlu | Za izolirane toplinske mostove | 0,30 |
| | Za neizolirane toplinske mostove | 0,42 |
| Preko krova | Za izolirane toplinske mostove | 0,90 |
| | Za neizolirane toplinske mostove | 1,26 |
| Za ovješeni pod | Za izolirane toplinske mostove | 0,90 |
| | Za neizolirane toplinske mostove | 1,26 |
| Prema susjednoj zgradi | Za izolirane toplinske mostove | 0,50 |
| | Za neizolirane toplinske mostove | 0,70 |
| Prema susjednom stanu | Za izolirane toplinske mostove | 0,30 |
| | Za neizolirane toplinske mostove | 0,42 |

Izvor: projektna dokumentacija KGV projekt [3]

U nastavku će rada kroz tablice biti prikazani ukupni transmisijski toplinski gubitci. Za svaku prostoriju uzimamo posebne uvjete kao što su ukupna površina prostorije za koju računamo gubitke, visina prostora koja je jednaka u čitavom objektu, a u našem slučaju iznosi 2,60 m, a moramo uzeti u obzir i temperaturu iz tablice 5. Vrijednost koja nam je potrebna za izračun jest ona za grad Varaždin.

3.2 Proračun transmisijskih gubitaka po prostorijama

Proračun transmisijskih gubitaka prostorija računa se pomoću zadane površine prostorije (tablica 7.). Zadali smo opće uvjete: visina prostorije koja iznosi 2,6 m za cijelu kuću, vanjska temperatura zimi na području Varaždina koja iznosi $\Theta_e = -21^\circ\text{C}$ i unutarnja projektna temperatura koja iznosi 20°C za većinu prostorija, dok u kupaoni iznosi 24°C .

Tablica 7. Prikaz toplinskih gubitaka po prostorijama

| TOPLINSKA BILANCA | | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Prostorija | Tu (°C) | Qn (W) | PhiT (W) | PhiV (W) | Qost (W) |
| Blagovaonica i boravak | 20 | 1504 | 888 | 483 | 1504 |
| Soba 1 | 20 | 532 | 250 | 221 | 532 |
| Soba 2 | 20 | 545 | 303 | 190 | 545 |
| Soba 3 | 20 | 545 | 303 | 190 | 545 |
| Kupaonica | 24 | 465 | 314 | 121 | 465 |
| Vešeraj | 20 | 207 | 95 | 88 | 207 |
| WC | 20 | 131 | 69 | 49 | 131 |
| Ulazni prostor | 20 | 481 | 355 | 99 | 481 |
| Kuhinja | 20 | 708 | 407 | 236 | 708 |
| Ukupno: | | 5118 | 2984 | 1677 | 5118 |

Izvor: projektna dokumentacija KGV projekt [3]

Gdje je:

Tu (°C) - unutarnja projektirana temperatura prostora,

Qn (W) - ukupna potrebna toplinska energija.

3.3. Proračun ventilacijskih toplinskih gubitaka

Ventilacijski gubici su uzrokovani infiltracijom vanjskog zraka u prostor do kojih dolazi provjetranjem kroz otvorene prozore kao i mehaničkom ventilacijom. Infiltracija je posljedica strujanja zraka kroz otvore koji nisu zabrtvljeni iz smjera područja više temperature prema području niže temperature, a što je gradijent temperature veći to će izmjena temperature biti brža. Ventilacijski toplinski gubici bez uporabe rekuperacije otpadne topline iskazuju se izrazom:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) [W] \quad [5]$$

Gdje su:

$\Phi_{V,i}$ - koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka [W/K],

$\theta_{int,i}$ - unutarnja projektna temperatura grijanog prostora [°C],

θ_e - vanjska projektna temperatura [°C],

P_z - gustoća zraka [kg/m^3].

Potrebni volumni protok zraka (V_z) određuje se iz relacije:

$$V_z = V_p \cdot I_z \text{ [m}^3/\text{h]} \quad [6]$$

Gdje su:

V_p - volumen prostora izračuna, [m^3],

I_z - potrebni broj izmjena zraka, [h^{-1}].

Kuća u Čehovcu napravljena je kao pasivna kuća što znači da je vanjska stolarija skoro 100% zrakonepropusna i time dovodimo u pitanje kvalitetu zraka koja je bitna za zdravlje i ugodan boravak u prostoru. Kao što je gore napomenuto, do izmjene zraka može doći otvaranjem prozora ili vrata što je kontradiktorno pasivnoj kući jer bi time povećali troškove grijanja i hlađenja. Osoba koja se bavi nekom uobičajenom aktivnošću, tijekom jednog sata disanjem izbaci $0,5\text{m}^3$ zraka s koncentracijom CO_2 od 4 vol %. Izračun za kuću u Čehovcu izrađen je prema *Pipelife* katalogu o minimalnoj količini dovodnog zraka po prostorijama koji predlaže preporučljiv minimalni protok dovodnog zraka od $20\text{m}^3/\text{h}$ po osobi dok je za ugodnu ventiliranu prostoriju potrebno $25\text{m}^3/\text{h}$ (tablica 8.).

Tablica 8. Vrijednosti minimalnog protoka zraka u prostorijama prema *Pipelife* katalogu

| Soba | Minimalni protok zraka u m^3/h | |
|-------------------------------------|--|----------------|
| | Standard | Ugodni boravak |
| Dnevna soba (1-2 osobe u kućanstvu) | 30/ po osobi | 60 |
| Dnevna soba (>2 osobe u kućanstvu) | 15/ po osobi | 60 |
| Spavaća soba | 25/ po osobi | 50 |
| Dječja spavaća soba (2 djece) | 50/ po osobi | 50 |
| Dječja spavaća soba (1 dijete) | 25/ po osobi | 25 |
| Radna soba | 30/ po osobi | 25 |

Izvor: *Pipelife* katalog, https://www.pipelife.at/at-de/_media/pdf/verlegeanleitung-infoblatt/lueftung/verlege-lueftung.pdf?m=1526020010& (25.07.2020.)

Uz pretpostavku da se u svježem vanjskom zraku, koji ulazi u prostoriju, već nalazi CO_2 koncentracije 0,035 vol % i da zrak u prostoru ne sadrži više od maksimalne dopuštene koncentracije CO_2 od 0,1 vol % slijedi da je potreban dotok svježeg zraka oko $25\text{m}^3/\text{h}$ po osobi [16].

Tijekom spavanja ta količina može biti 1820m³/h po osobi. Kako bi se osigurao ugodan boravak u prostorijama potrebno je osigurati dovoljan unos svježeg zraka, odnosno minimalno 0,5 izmjena zraka u jednom satu. Ovisno o tipu prostorije, taj je broj podložan promjenama. U tablici 9. navedene su prostorije u koje vršimo dobavu i odsis zraka s minimalnim uvjetima, u stupcu 6 možemo vidjeti minimalnu potrebnu količinu zraka, dok u stupcu 7 vidimo višu projektiranu količinu, a u prostoru kupaone, vešeraja i WC-a imamo odsis iste količine zraka.

Tablica 9. Potrebna količina dobavne i odsisne ventilacije u prostoru

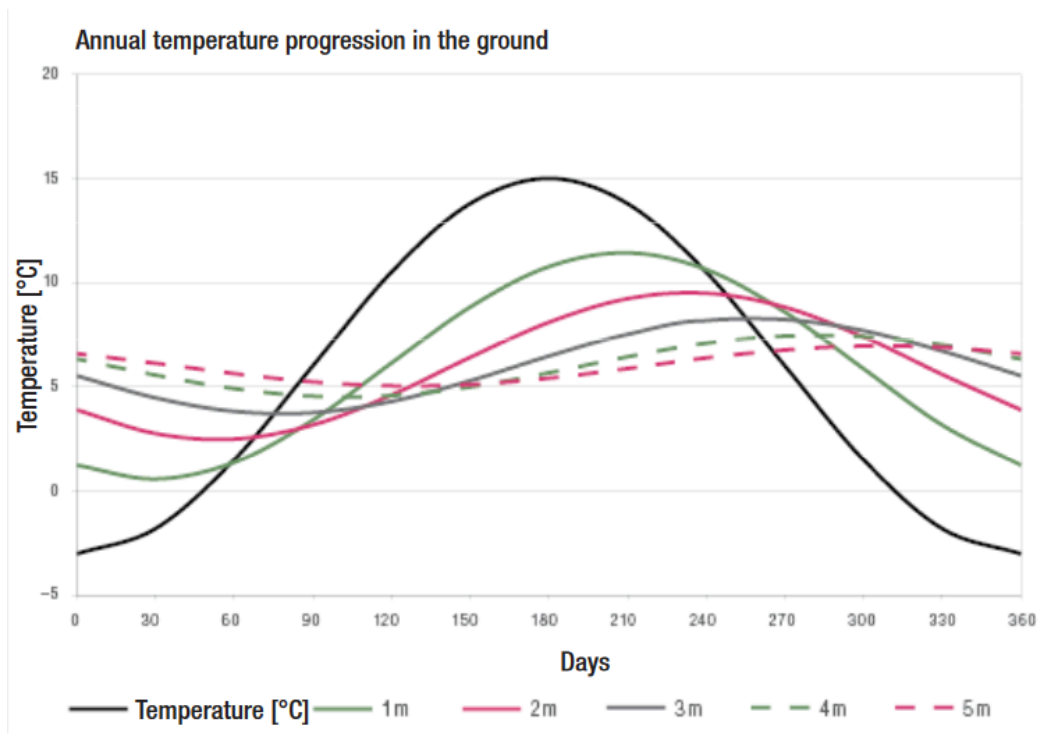
| Prostorija | t°C | A m ² | V m ³ | broj izmjena (i/h) | L = V x i (m ³ /h) | Dobava usvojen a vr. L (m ³ /h) | Odsis usvojen a vr. L (m ³ /h) |
|-------------------------------|-----|------------------|------------------|--------------------|-------------------------------|--|---|
| SUTEREN | | | | | | | |
| Ulazni prostor | 20 | 5,5 | 16,5 | 0 | 0 | 0 | |
| Hodnik | 20 | 6,2 | 18,6 | 0 | 0 | | |
| Kuhinja | 20 | 13,3 | 39,9 | 0 | 0 | | |
| Blagovaonica + dnevni boravak | 20 | 26,67 | 80,01 | 0,5 | 40,01 | 65 | |
| Spavaonica | 20 | 12,2 | 36,6 | 0,5 | 18,3 | 25 | |
| Dječja soba 1 | 20 | 10,47 | 31,41 | 0,5 | 15,71 | 25 | |
| Dječja soba 2 | 20 | 10,47 | 31,41 | 0,5 | 15,71 | 25 | |
| Kupaonica | 24 | 6,1 | 15,25 | 5 | 76,25 | | -85 |
| Vešeraj | 18 | 4,88 | 12,2 | 0,8 | 9,76 | | -15 |
| WC | 20 | 2,7 | 6,75 | 5 | 33,75 | | -40 |
| UKUPNO: | | 98,49 | 288,6 3 | | 209,48 | 140 | -140 |

Izvor: projektna dokumentacija KGV projekt [3]

Kako bi se postigla zadovoljavajuća izmjena zraka, u tablici 8. je prikazan potreban broj izmjene zraka u prostorijama, ovisno o njihovoj namjeni i načinu korištenja [15].

4. Pasivni kolektor zraka i rekuperacija objekta

Na spomenutom se objektu u Čehovcu koristi pasivni kolektor zemlja-zrak proizvođača Rehau tipa Awadukt Thermo. Taj sustav služi za kontrolirano prozračivanje stambenog prostora u niskoenergetskim i pasivnim kućama. Sustav se kao takav instalira u zemlji na dubinama od 1,5 do 2,5 metara i izvodi se sa ILI-ILI PP cijevima. Zimi se vanjski svježiji zrak zagrijava dok ljeti pomoću njega možemo rashlađivati prostorije na ugodnu temperaturu, a ovisno o dubini postavljanja kolektora rezultati su drugačiji (slika 5.) [18].



Slika 5. Godišnja razlika u temperaturi u zemlji po dubinama [5]

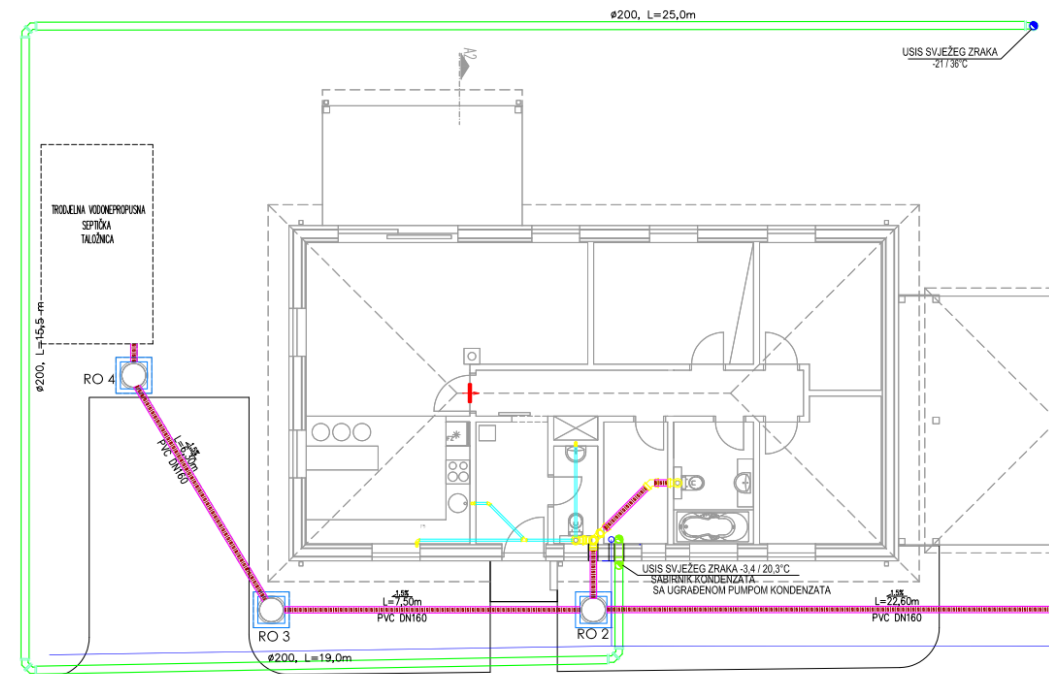
Predfiltriranjem svježeg zraka i izmjenjivačem topline zemlja-zrak sa antimikrobnim unutarnjim slojem cijevi omogućeno je higijensko opskrbljivanje svježim zrakom i postizanje optimalne klime u prostorijama. Ovaj način ubacivanja svježeg zraka ne samo da poboljšava ugodnost stanovanja već i smanjuje emisiju CO₂ plinova u prostoru [18].

4.1. Dimenzioniranje pasivnog kolektora zemlja-zrak

Projektiranje pasivnog kolektora zemlja-zrak ovisi o nekoliko parametara kao što su potreban protok zraka koji je definiran u tablici 9., dubina polaganja cijevi, duljina

cijevi kroz koju struji zrak, materijal cijevi koji se koristi, karakteristične vrijednosti tla objekta i lokalni klimatski uvjeti [17].

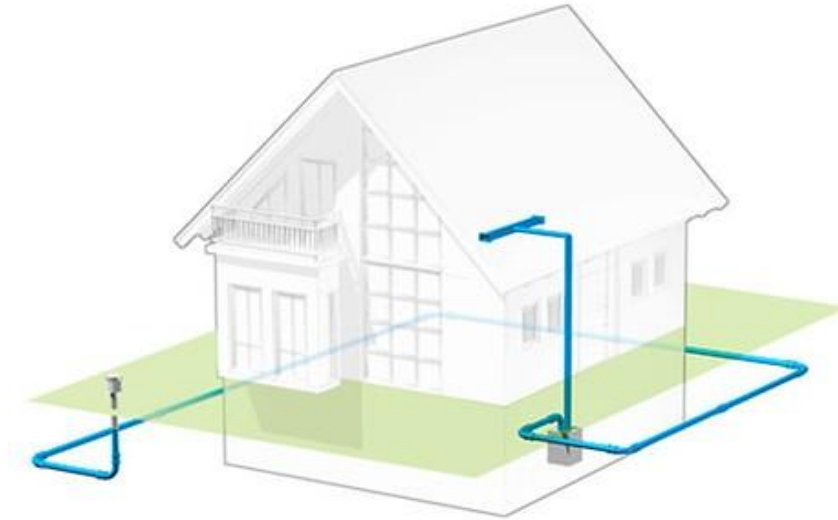
Kao što je zabilježeno u tablici 9., potrebna količina zraka za ubacivanje u prostor preko pasivnog kolektora iznosi $140\text{m}^3/\text{h}$. Svježiji se zrak vodi kroz usisni filter LFBR 200 G4 koji je smješten ispod protukišne rešetke u dvorištu objekta, dok je odlučeno da cijevi polažemo na dubinu od 2 metra oko cijelog objekta što ukupno iznosi 62 metara (slika 6.). Ono što je bitno kod određivanja duljine i dubine postavljanja cjevovoda jest da temperatura izlaza iz zračno-zemnog izmjenjivača topline nikada nije ispod -3°C kako bi se spriječilo zaleđivanje kondenzata u uređaju za ponovno dobivanje topline, jer bi proces topljenja značio gubitak energije.



Slika 6. Prikaz razvoda pasivnog kolektora u zemlji [3]

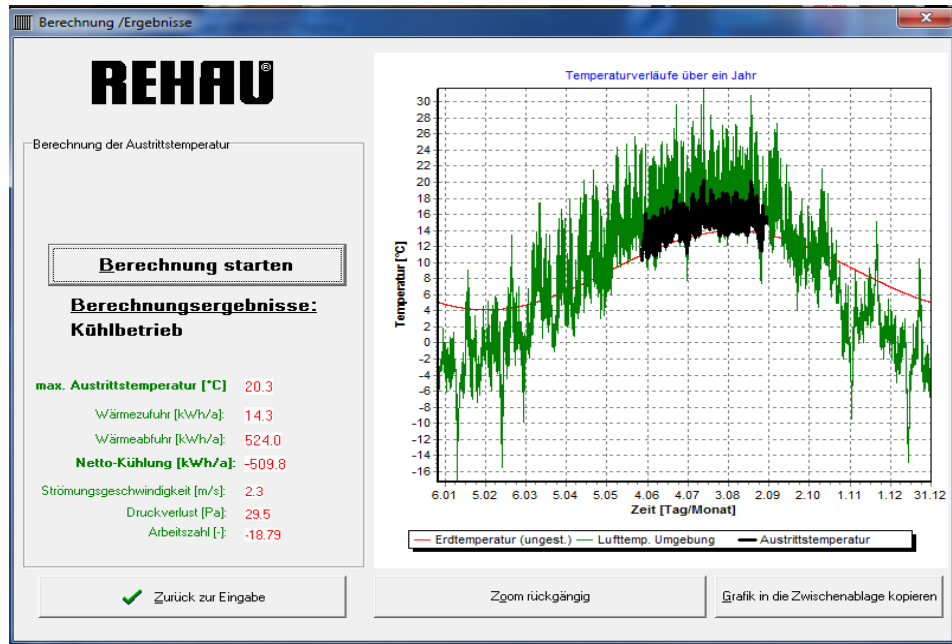
Iskustveni podaci nam pokazuju da se zrak u zračno-zemnom izmjenjivaču već nakon jedne trećine dužine cijevi zagrijava za polovicu temperaturne razlike između ulaza i izlaza, Temperatura zraka približava se asimptotski temperaturi zemlje. To pokazuje da se pretjerano dugačko dimenzionirani zračno-zemni izmjenjivači topline ne isplate, jer znatno poskupljuju investiciju, a osim toga pojavit će se i veći padovi tlaka u samom cjevovodu. Za dubinu od 2 metra u zemlji odlučilo se jer se na dubini između 2 i 3 metra pod zemljom temperatura izlaznog zraka povećava za otprilike. 1,5 K što nije opravdavalo investicijske troškove iskopa. U slučaju kuće u Čehovcu nismo imali

dovoljno podataka o karakterističnim vrijednostima tla, no s obzirom na to da je za rekuperaciju potrebno samo $140\text{m}^3/\text{h}$ iskustveni podaci su pokazali da je dovoljno približno projektiranje.



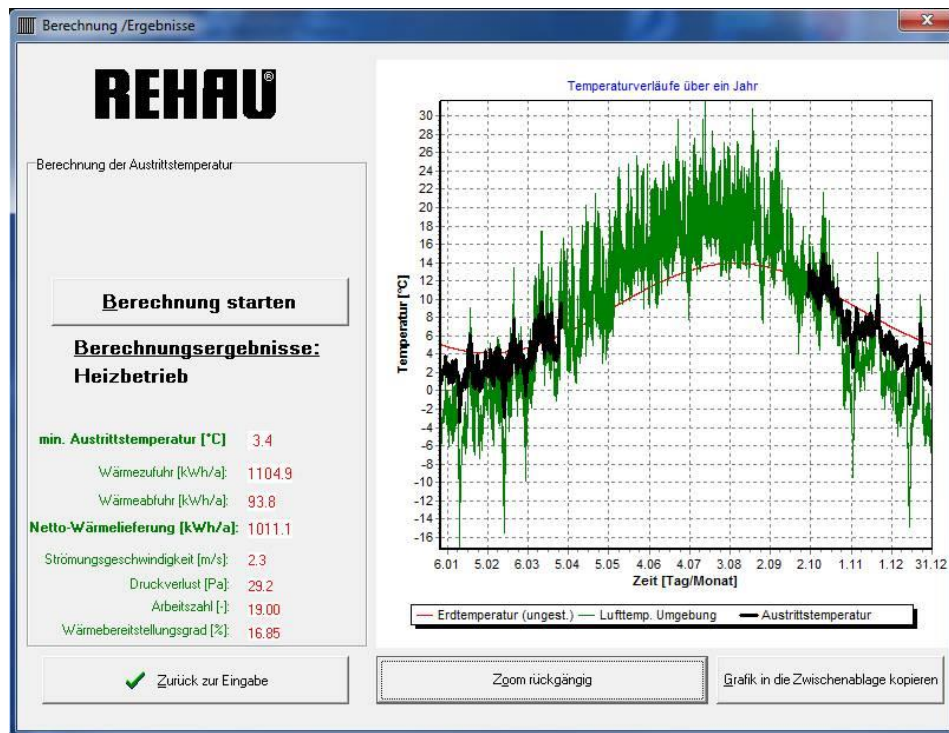
Slika 7. Ilustracija razvoda Rehau Awadukt pasivnog kolektora [18]

Cijev koja je bila provedena kroz zemlju jest PVC SN4 $\text{Ø}200$. Na ulazu zraka imamo zimi postavljeno -21°C , dok je ljeti 36°C , a unutra na usisu svježeg zraka u rekuperator imamo zimi postavljeno $3,4^\circ\text{C}$, dok je ljeti $20,3^\circ\text{C}$ radi korištenja zemlje kao vodiča zraka. Izračun je bio izveden korištenjem službenog Rehau Awadukt programa gdje se postavlja ljetni režim rada od 1. ožujka do 1. listopada te gdje možemo vidjeti da je minimalna ulazna temperatura u prostor $20,3^\circ\text{C}$, a protok zraka iznosi $2,3\text{m/s}$ uz pad tlaka od $29,2\text{Pa}$ (slika 8).



Slika 8. Ljetni režim rada pasivnog kolektora [3]

Zimski režim rada se postavlja od 1. listopada do 1. ožujka te možemo vidjeti da je minimalna ulazna temperatura u prostor $3,4^{\circ}\text{C}$, godišnja opskrba toplinom $1104,9\text{kWh/a}$, a protok zraka iznosi $2,3\text{m/s}$ uz pad tlaka od $29,2\text{Pa}$ (slika 9.) koji je prilagođen za točnu geografsku lokaciju na kojoj se pasivni kolektor ugrađuje.



Slika 9. Zimski režim rada pasivnog kolektora [3]

4.2. Dimenzioniranje rekuperatora

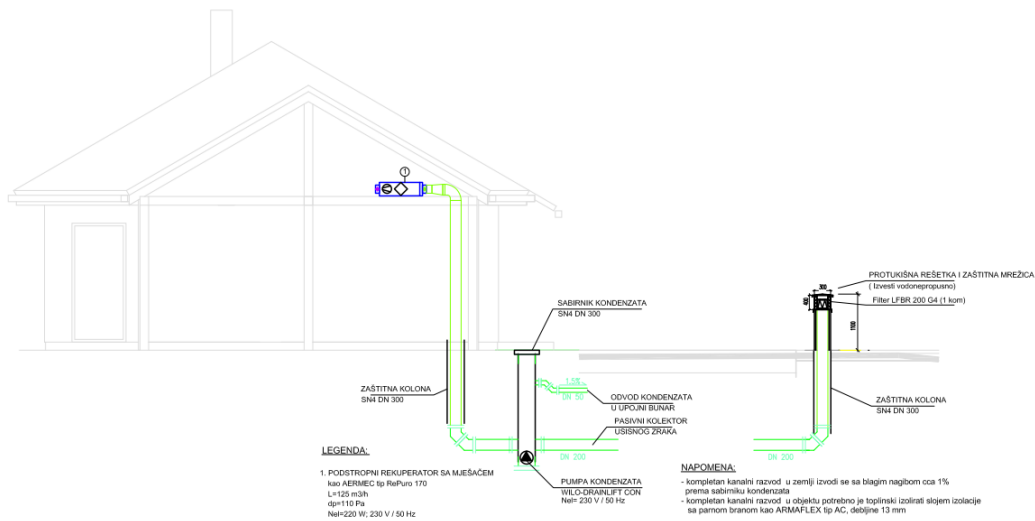
Na izlazu pasivnog kolektora, u ulazu u kuću, ugrađen je uređaj za rekuperaciju zraka u prostoru. Prema tablici 10. definirana je količina zraka koja je potrebna za spomenuti objekt te koja iznosi $140\text{m}^3/\text{h}$, a do istog se iznosa dolazi i ukoliko se stambenu površina objekta od 112m^2 neto pomnoži s visinom prostora od 2,5m što daje $247,5\text{m}^3$ prostornog volumena. Kada se taj iznos pomnoži s minimalnim udjelom izmjene zraka za standardne pasivne kuće koji iznosi 0,5 dolazimo do podatka od $140\text{m}^3/\text{h}$ potrebne količine strujanja zraka. Odabrana je rekuperacijska jedinica proizvođača Aermec tipa RePuro 170 (tablica 10.).

Tablica 10. Tehnički podaci za rekuperator RePuro 170

| Tehnički podaci za RePuro 170 | |
|--|------|
| Nominalni protok zraka (m^3/h) | 170 |
| Dostupan statički tlak (Pa) | 20 |
| Rekuperatorska iskoristivost - Zima (%) | 94,4 |
| Kapacitet grijanja rekuperatora (W) | 1573 |
| Rekuperatorska iskoristivost - Ljeto (%) | 85,3 |
| Kapacitet hlađenja rekuperatora (W) | 289 |

Izvor: Projektna dokumentacija KGV projekt [3]

Rekuperatorska je jedinica ugrađena u stropu kotlovnice zbog njene iznimno niske visine od 350mm te se iz nje vodi razvod kroz hodnik, a u boravišne se prostorije zrak ubacuje putem rešetki za dobavu zraka odgovarajućih dimenzija (slika 10.).



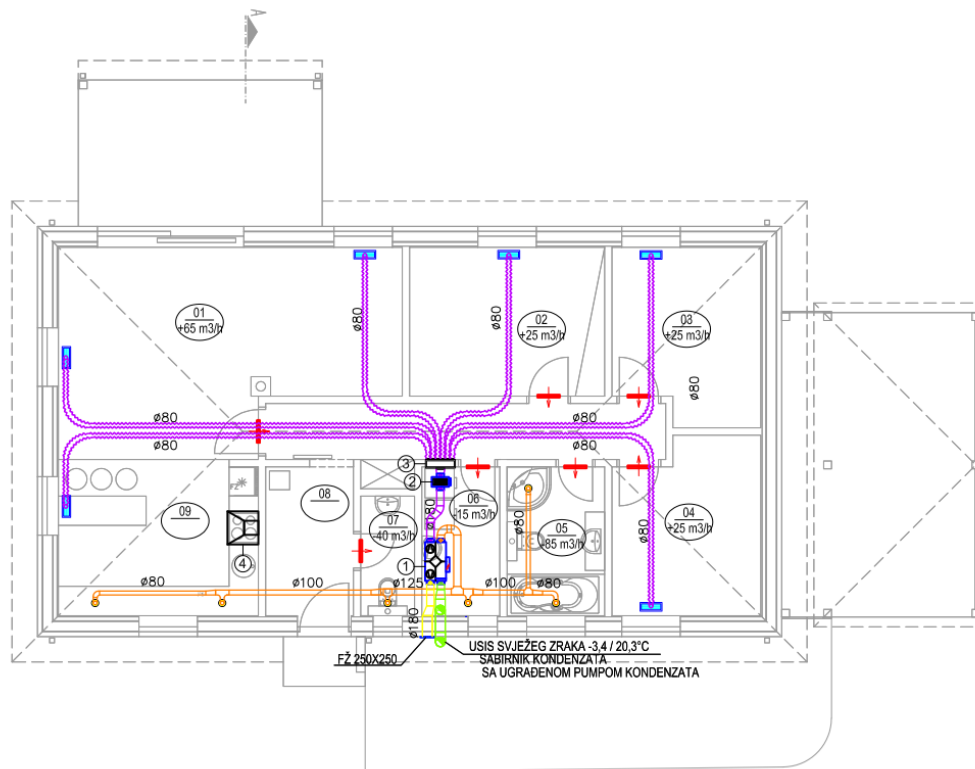
Slika 10. Detalj pasivnog kolektora zraka [3]

Odsis otpadnog zraka iz prostora vrši se putem odsisnih ventila smještenih u kupaonicama, kuhinji i ostavi, te se zrak nakon prolaska kroz rekuperatorsku jedinicu izbacuje u atmosferu. Takovim načinom postiže se potrebna izmjena zraka i značajna ušteda toplinske energije (od 70% i više) [3].

4.3. Razvod ventilacije po objektu

Razvod zračnih kanala izveden je pomoću okruglih “spiro” kanala i pravokutnih kanala koji se spajaju na istrujne plenuma Aermec PLS BDX6T-150 koji su izvedeni iz čeličnog pocinčanog lima, te do istrujnih rešetki vode iznad spuštenog stropa u sloju izolacije sa toplinski izoliranim fleksibilnim cijevima dimenzija 75mm.

Rekuperatorska se jedinica na kanale spaja predizoliranim (zvučno i toplinski) fleksibilnim cijevima odgovarajućih dimenzija DEC tip SONODEC 25. Na tlačnoj se strani spaja na kanalni grijač/hladnjak zraka, odnosno proizvod kao što je Aermec tip PLSM-W 170 koji služi kao grijač i hladnjak za termičku obradu zraka. Za odvođenje otpadnog zraka na fasadu se građevine ugrađuju protukišne istrujne rešetke sa zaštitnom mrežicom veličine oka 10x10mm (slika 11).



Slika 11. Prikaz rekuperatora i ventilacije unutar objekta [3]

Kompletan kanalni razvod je toplinski izoliran slojem toplinske izolacije s parnom branom ARMAFLEX AC debljine 13mm radi sprječavanja kondenzacije i smanjenja gubitaka topline. Na ulaznom i izlaznom dijelu rekuperatorske jedinice ugrađeni su filteri klase EUG3 koji na sebi zadržavaju eventualnu nečistoću. Uz rekuperatorsku jedinicu isporučen je i upravljački uređaj s tjednim programom sa svim potrebnim osjetnicima za regulaciju [3].

Na crtežu unutarnjeg razvoda vidimo ljubičastom bojom označen fleksibilni razvod izoliranih kanala sve do tlačnih dobavnih rešetka klimaoprema OAB 325x125, dok je narančastom bojom označen odvodni zrak kojega odsisujemo iz kuhinje, sanitarija i kotlovnice te koji također spajamo na rekuperator zraka.

5. Dizalica topline zrak-voda

5.1. Odabir dizalice topline prema toplinskim gubicima

Predmet projekta ove obiteljske kuće bila je izrada sustava koji omogućuje proizvodnju toplinske i rashladne energije za grijanje i hlađenje obiteljske kuće.

Za proizvodnju toplinske i rashladne energije u glavnom projektu predviđena je jedna dizalica topline snage prema proračunu koja koristi energiju zraka (sistem zrak-voda), a za kvalitetno dimenzioniranje dizalice topline moramo prvo izračunati toplinsko opterećenje, odnosno toplinske gubitke. Bilanca toplinskih gubitaka prikazana je u tablici 7. gdje možemo vidjeti da je ukupna potrebna snaga 5118W, odnosno 5,1kW. Pomoću tog smo podatka od proizvođača ugrađene dizalice topline Daikin dobili njihov odabir dizalice topline koristeći program Daikin Altherma Simulator V.4.7.0. – Database central 9.8.5. (tablica 11.).

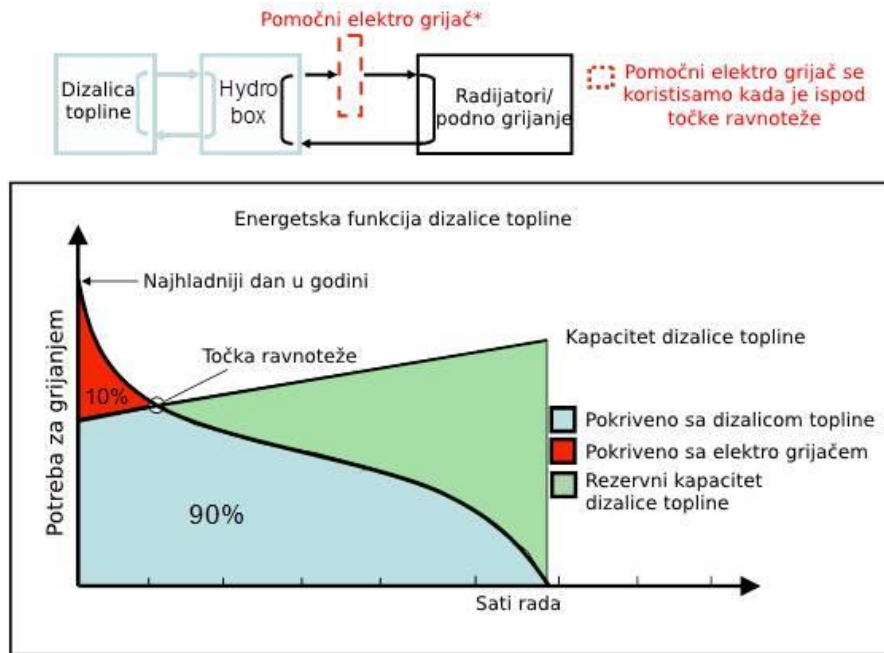
Tablica 11. Tehničke specifikacije odabrane dizalice topline

| Tip sistema | Unutarnja i vanjska jedinica |
|----------------------------------|------------------------------|
| Oznaka vanjske jedinice | ERLQ006CAV3 |
| Oznaka unutarnje jedinice | EHVX08S18C3V |
| Dodatni elektro grijač (kW) | 3 |
| Spremnik potrošne tople vode (l) | 180 |
| Potrebni kapacitet grijanja (kW) | 5,1 |
| COP | 3,7 |
| Potrebni kapacitet hlađenja (kW) | 2,9 |
| EER | 3,9 |

Izvor: Projektna dokumentacija KGV projekt [3]

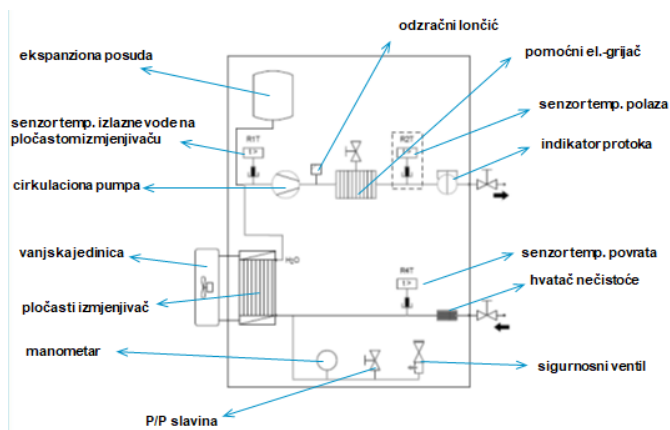
Odabrana se dizalica topline stoga sastoji od vanjske jedinice koja je smještena kod ulaza u građevinu, spremnika tople vode i Hydroboxa, odnosno unutarnje jedinice koji su smješteni unutar kotlovnice u objektu. Vanjska jedinica ima ugrađeni kompresor pomoću kojeg vanjsku temperaturu zraka diže na viši nivo pogodan za stambenu kuću, dok unutarnji Hydrobox predaje toplinu vodenom krugu spojenom na ogrjevna tijela. Postoje dva tipa ovakvog modela Hydroboxa, onaj samo za grijanje ili onaj za grijanje i hlađenje. Reverzibilni Hydrobox ima dodatnu izolaciju i tavicu za odvod kondenzata.

Zbog toga je nemoguće model koji je samo za grijanje nadograditi u reverzibilni model, a ugrađena dizalica topline sadrži i dodatni elektro grijač od 3kW koji pomaže dizalici topline u zimskim mjesecima da pri početku samog rada dođe do točke ravnoteže, dok je kasnije sva energija pokrivena direktno dizalicom topline ostavlja i rezervnog kapaciteta (slika 12.).



Slika 12. Područje rada odabrane dizalice topline [19]

Pomoćni se grijač nalazi u unutarnjoj jedinici dizalice topline, odnosno Hydroboxu, nakon cirkulacijske pumpe, a prije senzora temperature polaznog voda (slika 13.).



Slika 13. Primjer sheme Hydroboxa bez spremnika PTV-e [19]

5.2. Odabir spremnika PTV-e

Odabir spremnika potrošne tople vode vrši se prema algoritmu za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama, ali prije nego se krene u proračun potrebno je znati osnovne parametre, odnosno kolika je potrebna dnevna potrošnja tople vode. Na slici 14. očitujemo podatke bazirane na donjoj granici visoke potrošnje (55 litara) i množimo taj broj sa 4 što je broj osoba za koliko je kuća projektirana.

| Vrsta zgrade | Dnevna potrošnja PTV po osobi V_P |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Stambena zgrada - niska potrošnja | 10-30 l/(osoba dan) 60°C |
| - srednja potrošnja | 30-50 l/(osoba dan) |
| - visoka potrošnja | 50-90 l/(osoba dan) |
| Bolnica | 100-300 l/(ležaj dan) 60°C |
| Uredska zgrada | 10-40 l/(osoba dan) 45°C |
| Hotel/motel | 100-200 l/(osoba dan) 60°C |
| Škola – s tuševima | 30-50 l/(učenic dan) 45°C |
| – bez tuševa | 5-15 l/(učenic dan) |
| Sportski centar s tuševima | 50-70 l/(osoba dan) 45°C |
| Dom umirovljenika | 30-70 l/(osoba dan) 45°C |
| Vojarna | 30-50 l/(osoba dan) 45°C |

Slika 14. Preporučena potrošnja tople vode [15]

Proračun minimalne zapremnine spremnika potom se provodi pomoću sljedeće jednadžbe:

$$V_{Smin} = \frac{V_P \cdot (t_{TW} - t_{HW})}{T_S - t_{HW}} \quad [7]$$

$$V_{Smin} = \frac{220 \cdot (45 - 12.5)}{50 - 12.5}$$

$$V_{Smin} = 168 \text{ litara}$$

Gdje je:

V_{Smin} – minimalni volumen spremnika (L),

V_P – dnevna potrošnja tople vode,

t_{TW} – temperatura tople vode (45 °C),

t_{HW} – temperatura hladne vode (12.5 °C),

T_S – temperatura tople vode u spremniku.

Iz toga se dobiva spremnik PTV-e od 180 litara koji je integriran u unutarnju Hydrobox jedinicu (slika 15.), a maksimalna temperatura spremnika je 75,0°C. Također je potreban proračun topline potrebne za zagrijavanje PTV-e koji dobivamo:

$$Q_{PTV} = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot (t_{TW} - t_{HW}) \quad [8]$$

$$Q_{PTV} = 180 \cdot 991 \cdot 4187 \cdot (45 - 12.5)$$

$$Q_{PTV} = 180 \cdot 991 \cdot 4187 \cdot (45 - 12.5)$$

$$Q_{PTV} = 2.42 \text{ kWh/dan}$$

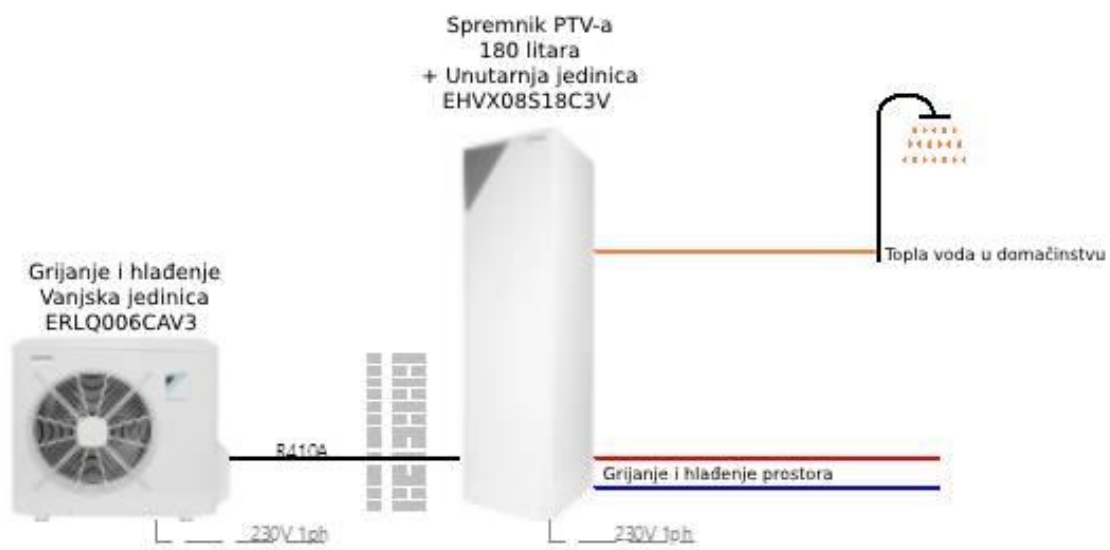
Gdje je:

V – volumen spremnika,

ρ – gustoća vode,

C_p – specifični toplinski kapacitet vode.

Iz toga se dobiva da je godišnja potrošnja termalne energije 883.3 kWh/a, odnosno ukupna godišnja potrošnja električne energije 415.14 kWh/a. Izračuni su izvedeni pomoću Daikin Altherma Simulatora i bazirani na FprEN16147.



Slika 15. Shema rada dizalice topline i integriranim spremnikom tople vode [19]

5.3. Grijanje i hlađenje prostora

Kao izvor toplinske energije ugrađena je dizalica topline zrak-voda srodna Daikin tipu ERLQ006CAV3+EHVX08S18C3V. Vanjska je jedinica s radnom tvari R410 smještena neposredno do vanjskog zida objekta. Ona je učvršćena na temelj ispred ulaza

te je podignuta od nivoa okolnog terena za cca 0,2m kako bi u slučaju nepovoljnih vremenskih prilika vanjska jedinica imala protok zraka. Instalacija radne tvari izvedena je iz bakrenih cijevi $\text{Ø}6,35/15,9\text{mm}$ izoliranih u izolaciji debljine 20mm. Instalacija radne tvari vođena je do gospodarstva gdje je ugrađena unutarnja jedinica dizalice topline koja se sastoji od Hydroboxa s cirkulacijskom crpkom, dodatnim električnim grijačem i spremnikom PTV-e (slika 16.) [3].



Slika 16. Prikaz unutrašnjosti ugrađene unutarnje jedinice dizalice topline [19]

Unutarnja jedinica predstavlja Hydrobox smješten u kućište istog dizajna kao i spremnik PTV-e u koji su uključeni višebrzinska pumpa, izmjenjivač topline voda-rashladni medij, dodatni elektrogrijač, sigurnosni ventil, odzračni lončić, električni ormarić, ekspanzijska posuda 10 l, manometar, hvatač nečistoće i upravljač. Dizalica topline ima mogućnost zajedničkog rada u sustavu grijanja i hlađenja, a ujedno služi i za pripremu PTSV-e.

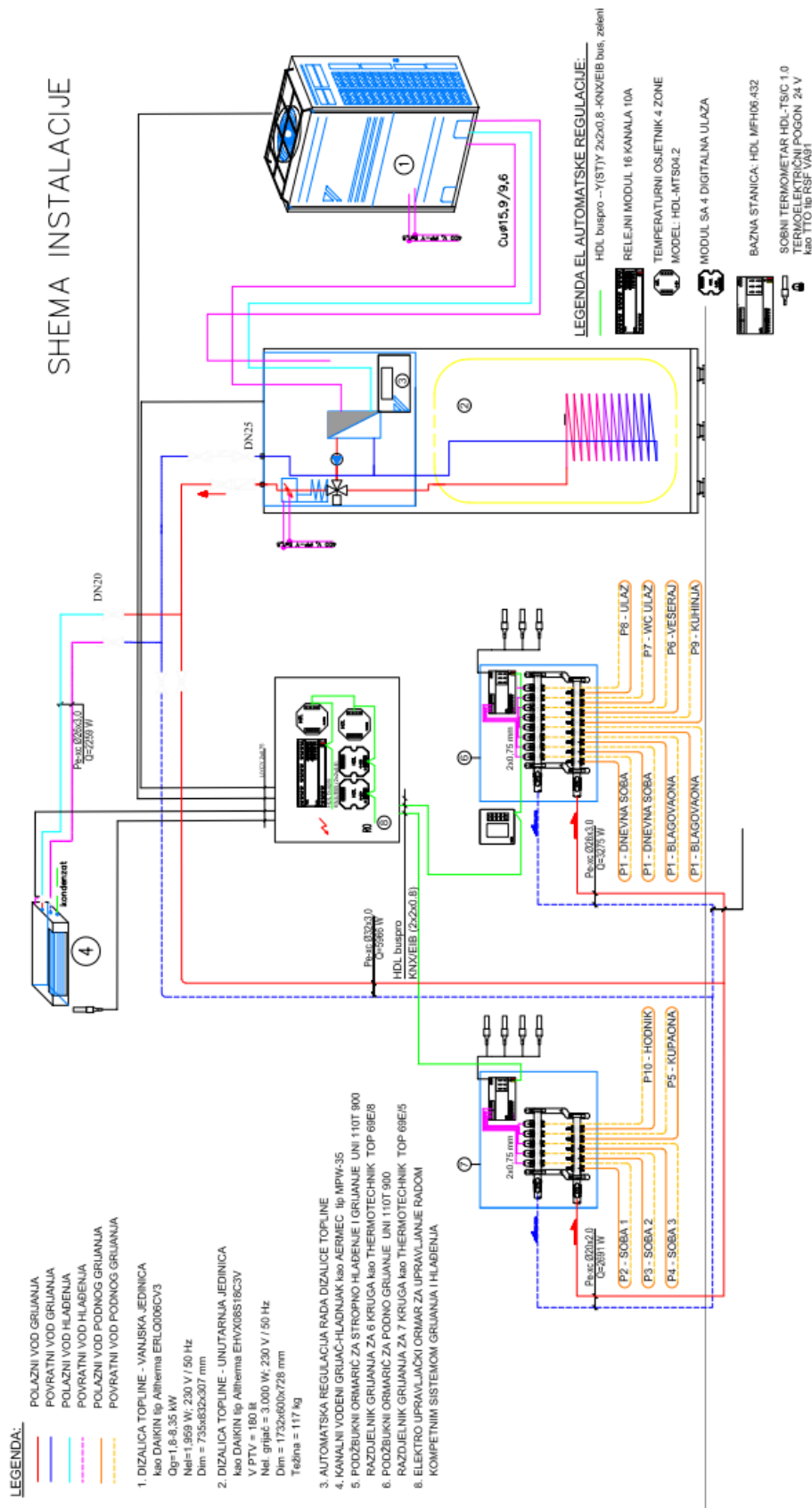
Na strani sanitarne vode (hladna voda i topla voda) akumulacijski je spremnik spojen na vodovodnu instalaciju. Na priključni vod za dovod hladne vode u spremnik ugrađen je set ulaza hladne vode sastavljen od zapornih ventila, filtra, regulatora tlaka, nepovratnog ventila, ventila za ispušt, manometra, sigurnosnog ventila s tlakom otvaranja 6 bara i protočne ekspanzijske posude, dok se na priključni vod za odvod

tople vode ugrađuje set izlaza tople vode sastavljen od zapornih ventila i termometra. Sistem toplovodnog grijanja je dvocijevni, a regulacija temperature u polaznom vodu grijanja izvedena je u ovisnosti o vanjskoj temperaturi. Krug grijanja je opremljen i graničnim (maksimalnim) termostatom koji ne dozvoljava porast temperature u polaznom vodu grijanja iznad 50°C.

Ogrjevna tijela se s dizalicom topline spajaju preko podžbuknih ormarića podnog grijanja. Kao osnovna ogrjevna tijela toplovodnog površinskog grijanja izveden je s krugovima podnog grijanja s ugrađenim PERT cijevima dimenzija $d=16 \times 2,0$ mm. Grijača površine odabrane su i dimenzionirane za radnu temperaturu 40/35°C u grijanju.

Cijevi su položene na izolacijske ploče od ekspaniranog polistirola debljine 30mm, koje na gornjoj strani imaju foliju iz sintetičkog tkanja s otisnutim rasterom za razmak cijevi. Polaganje cijevi obavljeno je na razmaku od 15cm, prema zadanim podacima iz projekta, a u slučaju potrebe razmak se smanjuje na 10cm. Pričvršćivanje cijevi za izolacijske ploče izvedeno je ubadanjem tzv. Tacker iglica na razmaku 3335cm.

Temeljni cijevni razvod ogrjevne vode od dizalice topline do razdjelnih ormarića vođen je unutar slojeva poda i u usjeku zida. Na prikladnim, pristupačnim mjestima ugrađeni su razdjelni ormarići s razdjeljivačem i sabirnikom na koje se spajaju pripadajući krugovi grijanja, a njihova je regulacija ovisna o temperaturi prostora. Cijevni razvod od razdjelnog ormarića do krugova podnog grijanja vođen je u sloju estriha podne konstrukcije, projektiran je iz toplinski izoliranih višeslojnih polietilenskih cijevi, a izveden je bez spajanja cijevi na trasi od razdjelnog ormarića do krugova grijanja (slika 17).



Slika 17. SCHEMA instalacije grijanja i PTV-e [3]

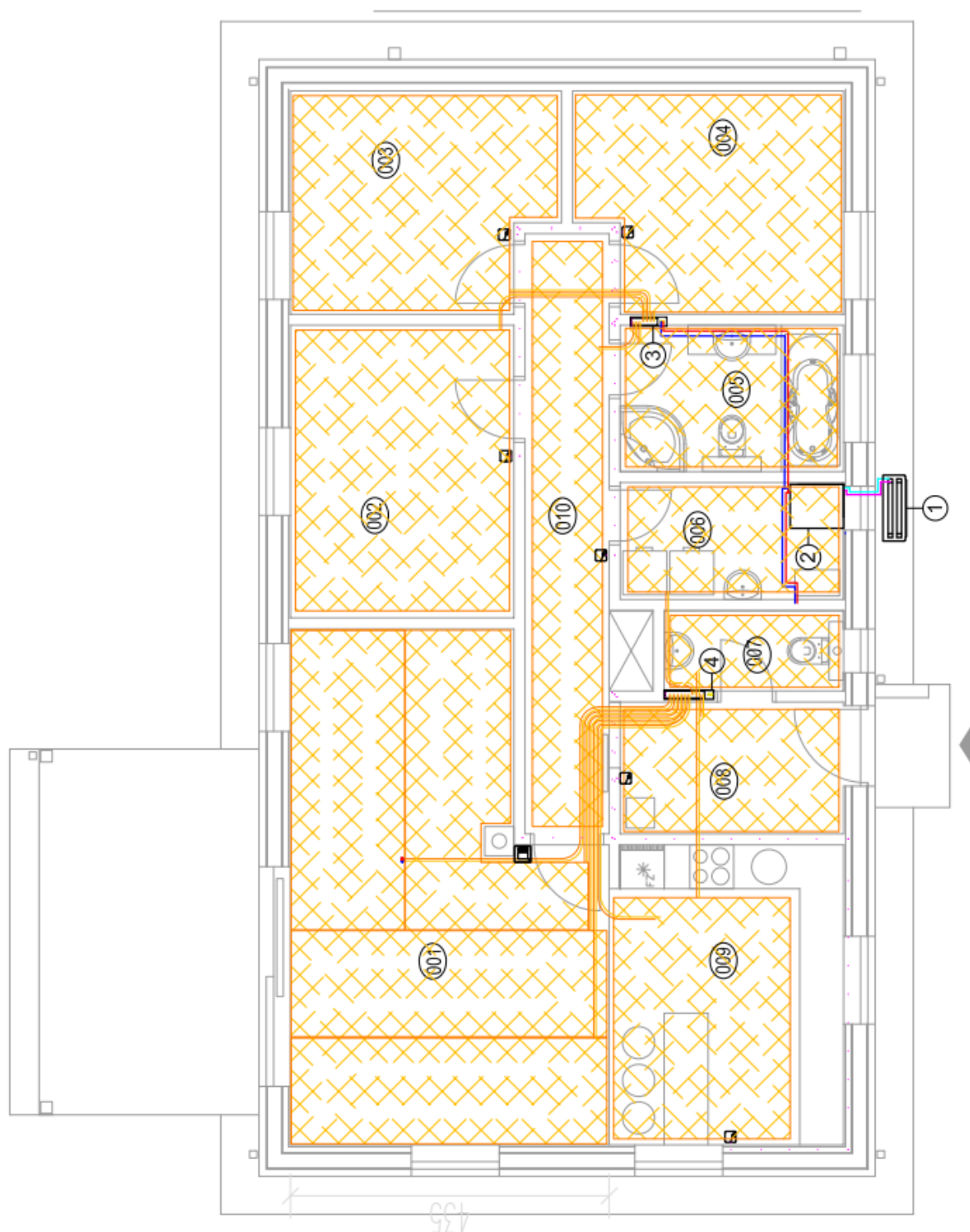
5.4. Proračun podnog grijanja

Odabir podnog grijanja izvršen je za temperaturni režim 40/30°C. Sustav podnog grijanja koji je odabran je proizvod srodan proizvodu Aquatherm te se izvodi PERT cijevima za podno grijanje Ø16x2,0mm. Odabir je izvršen računalnim programom, a rezultati su prikazani u tablici 12. Svaki priključak pojedinog kruga podnog grijanja na povratnom razdjelniku opremljen je topmetrom kojim je omogućena regulacija svakog kruga podnog grijanja podešavanjem protoka vode sustava podnog grijanja. Protok tople vode u pojedinom krugu podnog grijanja definiran je u proračunu. Svaki priključak pojedinog kruga na polaznom razdjelniku opremljen je termostatskim ventilom s ručnom regulacijskom kapom, koja će se zamijeniti s termo električnim pogonom. S termo električni je pogonom osigurana regulacija u skladu sa signalom sobnog termostata. Broj krugova razdjelnika ovisi o broju krugova podnog grijanja. Razdjelnik je smješten u ormariću za podžbuknu ugradnju. Odzračivanje cijevne mreže grijanja vrši se na razdjelnicima i na najvišim točkama instalacije. U grafičkom dijelu projekta prikazani su krugovi podnog grijanja (slika 18). Kao osnovna regulacija podnog grijanja predviđena je ugradnja sobnog regulatora odnosno temperaturnog osjetnika u prostoru ili u podu u svaku prostoriju, jer on upravlja pogonskom jedinicom na razdjelniku za pojedine krugove [3].

Tablica 12. Bilanca izračuna podnog grijanja

| | tu (°C) | Qn (W) | Površ. (m ²) | L= (m) | T (mm) |
|-------------------------|---------|--------|--------------------------|--------|--------|
| Razdjelnik br. 1 | | | | | |
| Dn. boravak | 20 | 437 | 6,5 | 61,8 | 100 |
| Kuhinja | 20 | 743 | 9 | 85,5 | 100 |
| Vešeraj | 20 | 212 | 4,8 | 45,6 | 100 |
| WC ulaz | 20 | 160 | 2,7 | 25,6 | 100 |
| Ulaz | 20 | 412 | 5 | 97,5 | 50 |
| Razdjelnik br. 2 | | | | | |
| Soba 1 | 20 | 650 | 12 | 114 | 100 |
| Soba 2 | 20 | 620 | 10 | 95 | 100 |
| Soba 3 | 20 | 620 | 10 | 95 | 100 |
| Kupaonica | 24 | 324 | 5 | 97,5 | 50 |
| Hodnik | 20 | 426 | 6 | 57 | 100 |

Izvor: Projektna dokumentacija KGV projekt [3]



Slika 18. Prikaz razvoda podnog grijanja u objektu i njegovih krugova grijanja [3]

5.5. Automatska regulacija objekta

Regulacija temperature grijanja po prostorijama izvedena je ugradnjom sobnih termostata sa LCD displejem (slika 19.). U svakoj je prostoriji postavljen jedan sobni termostat. Termostati su povezani s podesnim pogonom preko regulacijskog razdjeljivača. Podesni je pogon (elektrotermički pogon) smješten u razdjelnicima grijanja, i to na svakom krugu. Podesni je pogon spojen na regulacijski razdjeljivač koji je smješten u podžbuknom ormaru podnog grijanja. Ovisno o željenoj temperaturi prostora, sobni termostat daje signal regulacijskom razdjeljivaču dok on dalje upravlja podesnim pogonom (otvara ga ili zatvara).

Kao kontrolno-upravljačka jedinica odabran je tip HDL-MPL8.48 koji omogućuje centralno zonsko upravljanje jednom baznom stanicom HDL-MFH06.432 te upravljanje jednim modulom za kontrolu VK: HDL-MAC-01.331. S istim se panelom mogu kontrolirati rasvjeta, sigurnosni sustav u objektu, kao i definirati različiti scenariji i sl. Oprema je međusobno povezana bus vezom i to KNX/EIB certificiranim kablom, a veza pojedinačnih subneta ostvaruje se spajanjem putem UTP Cat5e kabla na ruter. Korištena bus veza je HDL buspro bazirana na RS485 protokolu i omogućuje međusobno povezivanje i komunikaciju do 65.025 uređaja.



Slika 19. Kontrolni regulacijski panel [3]

Povezivanje elemenata automatike napravljeno je po principu “hand-in-hand”. Sustavom podnog grijanja upravlja se pomoću kontrolno upravljačkog panela, model:

HDLMPL8.48 (montiran podžbukno na zid prostorije) te bazne stanice model: HDL-MFH06.432 (montirana u svaki OPG). Bazna stanica ima 6 zona. Na baznu stanicu se spajaju i sobni termometri HDLTS/C 1.0. Za svaku prostoriju gdje je potrebno regulirati temperaturu namijenjen je jedan termometar. Termometar je ugrađen u modularni element Vimar Eikon 20044 u visini ugradnje prekidača za rasvjetu. Jedan panel HDL-MPL8.48 može upravljati samo jednom baznom stanicom podnog grijanja [3].

6. Proračunska isplativost dizalice topline

Kad razmišljamo o ugradnji dizalice topline postoji mnogo faktora koje trebamo sagledati te koji ovise o lokaciji i podneblju u kojemu se nalazimo, o veličini i izoliranosti kuće i o geološkom sastavu tla na kojem se naša kuća nalazi. Trenutna postojeća analiza o troškovima ugradnje dizalice topline nam govori da još uvijek spomenuti trošak prelazi troškove konvencionalnog centralnog grijanja. Analiza je napravljena na količini od 40.000 tisuća ugrađenih dizalica topline, a ono što moramo znati jest da nam trošak ugradnje dizalice topline nije jednak ukoliko krećemo s izgradnjom nove kuće kao trošak koji se javlja dok idemo u adaptaciju kotlovnice. Kod dizalice topline prednost je to što nemamo dodatne troškove kao kod ostalih sistema (kao što su trošak plina, drva, lož ulja, i sl.). Kod dizalice topline koristimo samo struju za pogon kompresora i cirkulacijske pumpe, a u našem slučaju uz dizalicu topline imamo i spremnik tople vode (spremnik s izmjenjivačem i dodatnim električnim grijačem), a također moramo pribrojiti i ostale troškove cjevovoda, automatike i građevinsku pripremu za montažu same dizalice topline i pasivnog kolektora koji koristimo na ovoj kući. U nastavku rada prikazana su dva proračuna u kojima možemo vidjeti isplativost ugradnje: prvi je proračun ekonomske isplativosti same ugradnje uređaja, dok je drugi proračun ekonomske isplativosti potrošnje.

6.1. Proračun o toplinskom opterećenju kroz mjesece

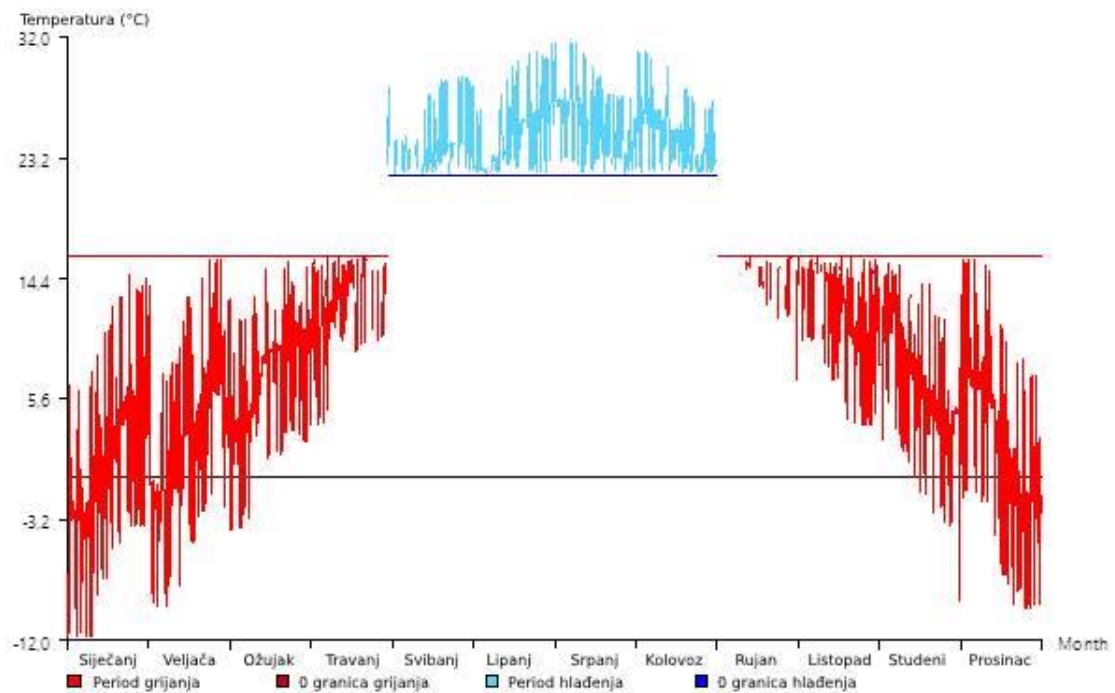
Pomoću programa za odabir dizalice topline Daikin Altherma Simulator V.4.7.0. – Database central 9.8.5. izveden je grafikon s prosječnim vrijednostima temperature za grad Prelog (tablica 13.).

Tablica 13. Definirani parametri prosječnih temperaturnih vrijednosti za Prelog

| Lokacija: Grad Prelog | | | |
|-----------------------|-----|----------------------------|-----------------------------|
| | | Minimalna temperatura (°C) | Maksimalna temperatura (°C) |
| Ljeto | Dan | 27,4 | 31,6 |
| | Noć | 19,1 | 23,3 |
| Zima | Dan | 5,9 | 14,7 |
| | Noć | -11,7 | -2,9 |

Izvor: Projektna dokumentacija KGV projekt [3]

Iz dobivenih podataka o prosječnim temperaturama u gradu Prelogu na grafikonu su prikazane simulirane varijacije vanjske temperature unutar definiranih mjeseci grijanja. Za dizalice topline, grafikon također prikazuje temperature u mjesecima kada je potrebno hlađenje (slika 20.).

**Slika 20.** Grafikon vanjskih temperatura u periodu grijanja i hlađenja [19]

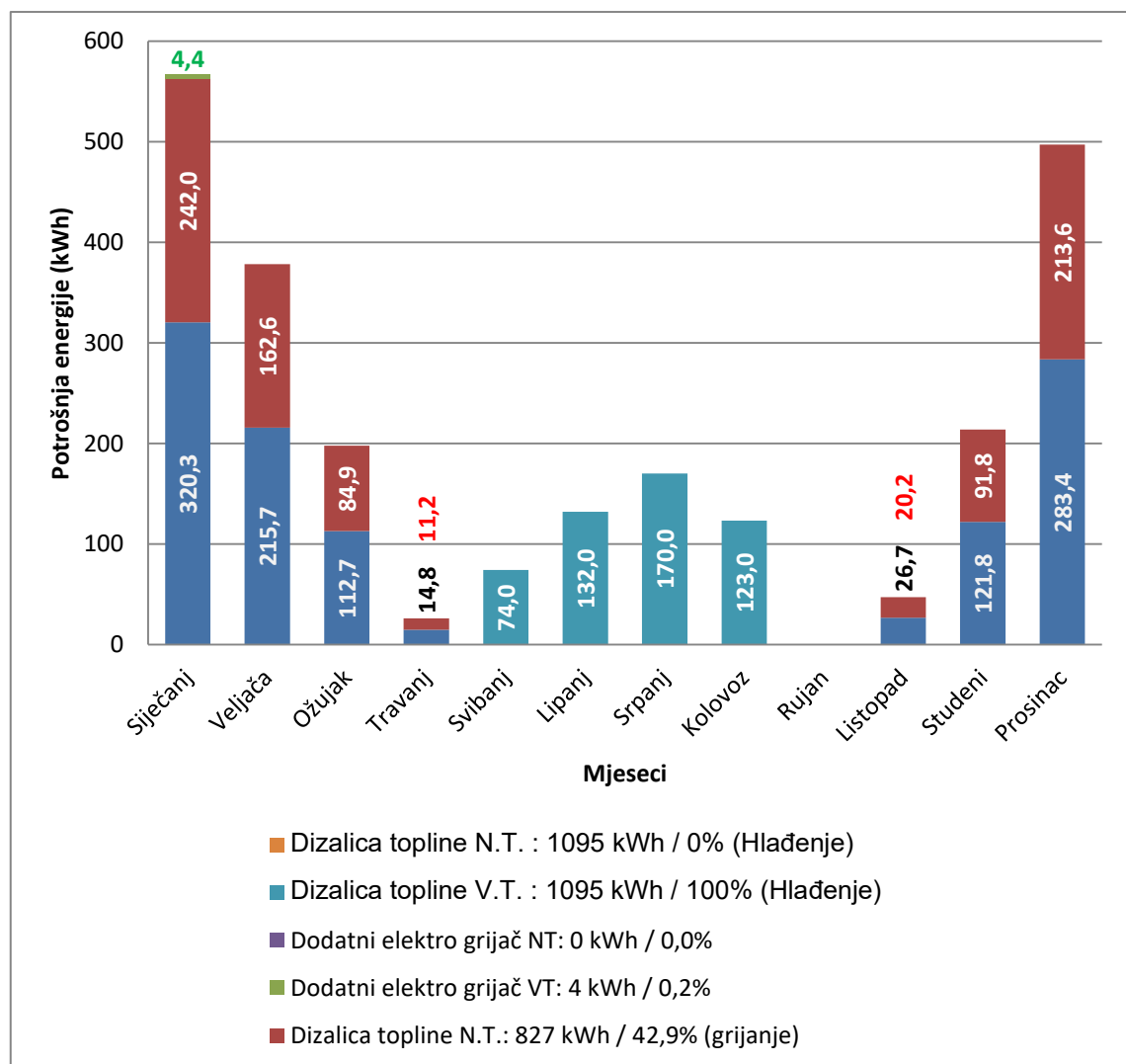
Pomoću podataka iz grafikona (slika 19.) se zatim uzima pretpostavljena potrošnja snage kroz period grijanja i hlađenja na način da se razdvoji potrošnja po višoj i nižoj tarifi struje. Parametri koji su postavljeni za grafikon su sljedeći:

Tablica 14. Definirani parametri za grijanje i hlađenje

| | |
|---|--------|
| Površina objekta (m ²) | 120 |
| Potrebna snaga grijanja na minimalnim temperaturama | 5,1 kW |
| Početa točka grijanja (vanjska temperatura) | 16,0°C |
| Potrebna snaga hlađenja na minimalnim temperaturama | 2,9 kW |
| Početa točka hlađenja (vanjska temperatura) | 22,0°C |

Izvor: Projektna dokumentacija KGV projekt [3]

Iz grafikona možemo iščitati sljedeće:

**Slika 21.** Grafikon potrošnje struje u VT i NT [19]

Kad se svi iznosi zbroje dobivamo da je potrošnja na godišnjoj razini:

Tablica 15. Godišnja pretpostavka potrošnje struje u kWh za grijanje i hlađenje

| | |
|--------------------------------------|-----------------|
| Godišnja potrošnja struje (grijanje) | 1925 kWh |
| Godišnja potrošnja struje (hlađenje) | 499 kWh |
| UKUPNO: | 2424 kWh |

Izvor: Projektna dokumentacija KGV projekt [3]

Kad imamo podatke o pretpostavljenoj potrošnji, možemo izvesti sljedeći grafikon – onaj o pretpostavljenoj cijeni potrošnje električne energije kroz godinu dana. Cijena energenta struje za višu i nižu tarifu struje, kao i cijene i vrijeme računanja više i niže tarife struje je određeno na službenim stranicama HEP-a:

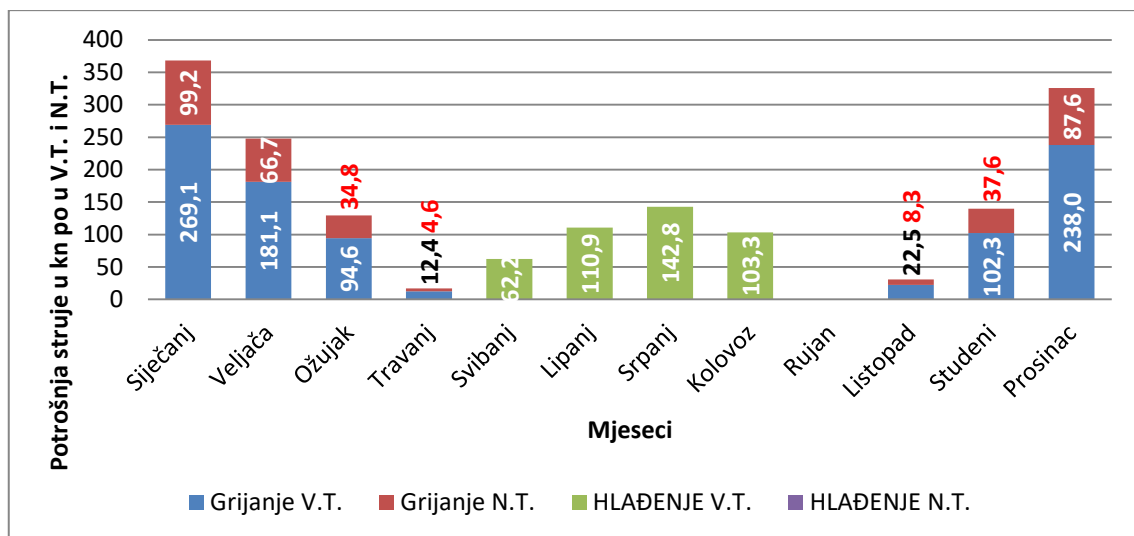
Raspored dnevnih tarifa jest:

- zimsko računanje vremena: VT od 7 do 21 sat, NT od 21 do 7 sati,
- ljetno računanje vremena: VT od 8 do 22 sata, NT od 22 do 8 sati.

Cijena energenta u vrijeme projektiranja kuće iznosila je:

- VT – 0,84kn/kWh
- NT – 0,41kn/kWh

Iz toga možemo zaključiti sljedeće:

**Slika 22.** Grafikon troška potrošene struje u VT i NT za grijanje i hlađenje[3]

Ukoliko dobivene podatke pomnožimo s cijenom struje u VT i NT dobivamo godišnji pretpostavljeni trošak u kunama (tablica 16):

Tablica 16. Godišnja pretpostavka troška struje u kunama za grijanje i hlađenje

| | kWh | kn |
|---|------------|----------------|
| Godišnja potrošnja struje (grijanje) V.T. | 1095 | 919,8 |
| Godišnja potrošnja struje (grijanje) N.T. | 826,3 | 338,783 |
| Godišnja potrošnja Hlađenje (grijanje) V.T. | 499 | 419,16 |
| UKUPNO: | | 1677,74 |

Izvor: Projektna dokumentacija KGV projekt [3]

U ovoj računici nije uzeta u obzir energija koja je utrošena na grijanje potrošne tople vode, a ukoliko se uzme potrošnja spremnika PTV-e koja je bila izračunata u poglavlju 4.2., preko algoritma za određivanje energetskehtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava koji je iznosio 415.14kWh/a, i ako se pomnoži s cijenom struje iz VT dobije se godišnji iznos od 348,71kn, odnosno ukupna potrošnja dizalice topline i spremnika PTV-e od 2026,45kn.

6.2. Potrošnja emitirane energije dizalice topline

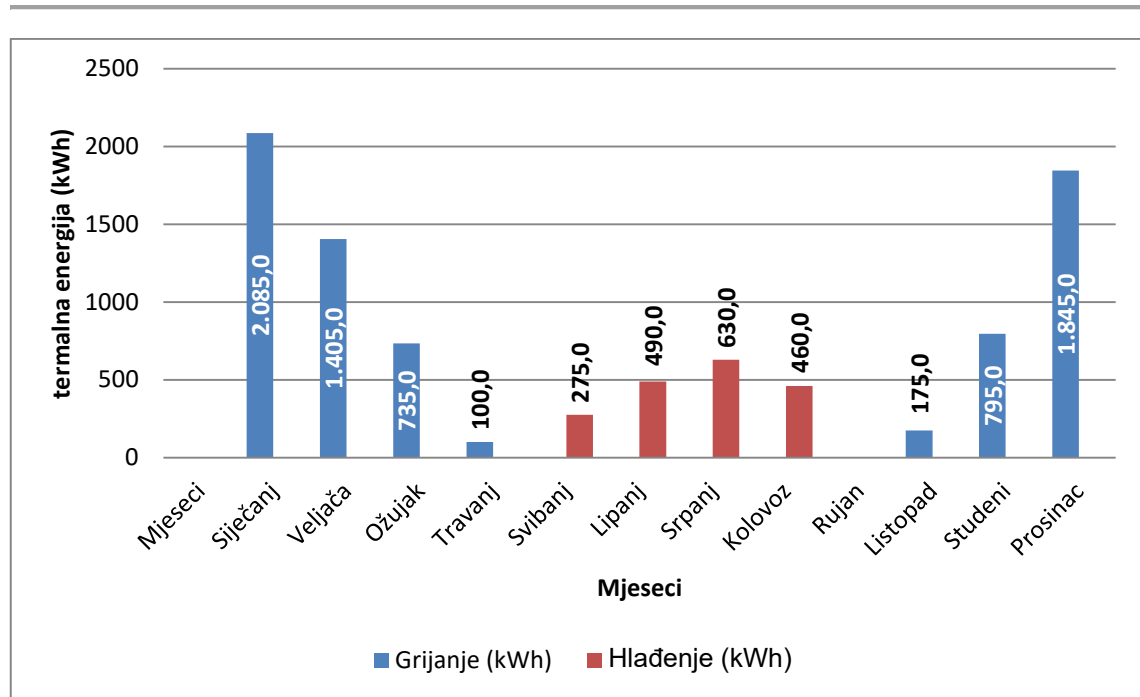
Uz podatak o mjesečnoj potrošnji struje i uz prosječni godišnji COP dolazi se do podatka o godišnjoj potrošnji termalne energije za navedeni objekt. Parametri koji su korišteni u grafikonu su prikazani u tablici 17.:

Tablica 17. Zadani parametri dizalice topline

| | |
|---|--------|
| Površina objekta (m ²) | 120 |
| Potrebna snaga grijanja na minimalnim temperaturama | 5,1 kW |
| Početa točka grijanja (vanjska temperatura) | 16,0°C |
| Potrebna snaga hlađenja na minimalnim temperaturama | 2,9 kW |
| Početa točka hlađenja (vanjska temperatura) | 22,0°C |

Izvor: Projektna dokumentacija KGV projekt [3]

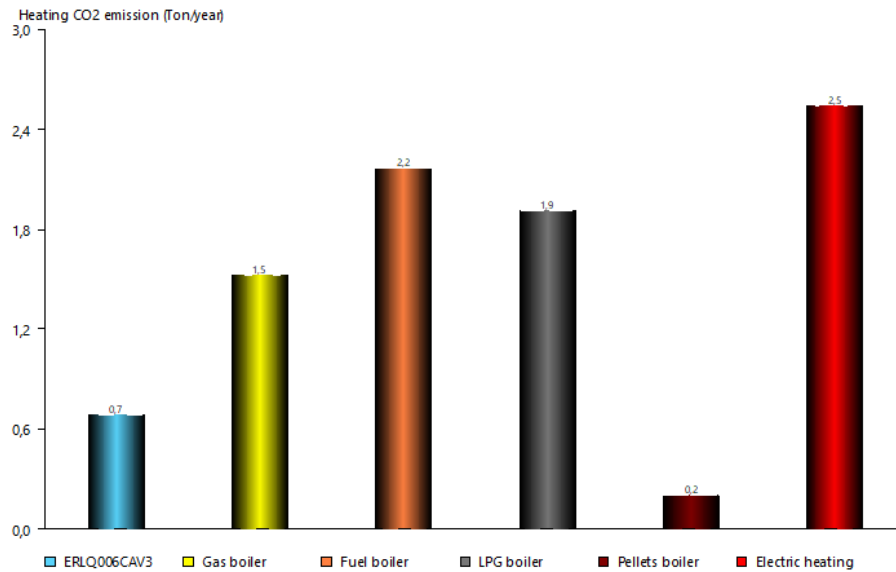
Bitan podatak koji treba napomenuti jest da godišnja potrošnja termalne energije dizalice topline ovisi o izolaciji objekta i vremenskim uvjetima na lokaciji, a ovaj je izračun napravljen isključivo s izolacijskim slojevima korištenima na kući u Čehovcu.



Slika 23. Grafikon pretpostavke utrošene termalne energije po mjesecima kroz jednu godinu [19]

6.3. Analiza ekološke prihvatljivosti dizalice topline

Na visinu emisije CO₂ plinova bitan utjecaj ima energent, a u Hrvatskoj još uvijek ne postoje zakonske regulative za ograničavanje emisija CO₂ u grijanju. Prema pravilniku o uštedi energije mora se izvršiti primarna energetska procjena potrebe za energijom grijanja, kod koje se u obzir uzimaju termozaštitna i tehnička kvaliteta omotača zgrade te učinkovitost uređaja za centralno grijanje, kao i energenti, zagrijavanje pitke vode i uređaji za provjetranje. Grafikon prikazuje usporedbu godišnjih emisija CO₂ za Daikin Altherma dizalicu topline, električni sustav grijanja, plinski bojler i uljni kotao veličine i snage koji je adekvatan za spomenutu kuću (slika 24.). Ni Daikin Altherma, ni električni grijač neće imati izravne emisije. Emisija iz ovih sustava temelji se na proračunima prema prosječnoj emisiji CO₂ iz proizvodnje električne energije u odabranoj zemlji (tablica 18).

Slika 24. Usporedba godišnjih emisija CO₂ [19]Tablica 18. Prosječna emisija CO₂ iz proizvodnje električne energije u Hrvatskoj

| Lokacija | | Hrvatska |
|----------|---|-------------------|
| Struja | CO ₂ emisija grijanja | 0,3540kg/kWh |
| | Izravna učinkovitost grijača | 100% |
| Plin | CO ₂ emisija grijanja | 0,2020kg/kWh |
| | Efikasnost | 95% |
| Gorivo | CO ₂ emisija grijanja | 0,2686kg/kWh |
| | Efikasnost | 89% |
| LPG | CO ₂ emisija grijanja | 0,2400kg/kWh |
| | Efikasnost | 90% |
| Pelete | CO ₂ emisija grijanja | 0,0250kg/kWh |
| | Efikasnost | 90% |
| Uvjeti | Površina objekta | 120m ² |
| | Potrebna snaga grijanja u zimskom režimu pri najnižim temperaturama | 5,1kW |
| | Nulta točka početka grijanja prema vanjskoj temperaturi | 16,0°C |

Izvor: Projektna dokumentacija KGV projekt [3]

6.4. Proračun o potrošnji električne energije sa stvarnim podacima

Kuća je u periodu od 19.02.2016. godine do 01.03.2017. godine bila u fazi testiranja za provjeru potrošnje električne energije. Proračunata potrošnja energije, kao što je prethodno spomenuto, bila je za sistem grijanja i hlađenja 2.026,00kn. Kuća je bila postavljena na režim grijanja i hlađenja 24/22°C i kroz godinu dana potrošnja električne energije bila je 1.839,69kn (tablica 19.).

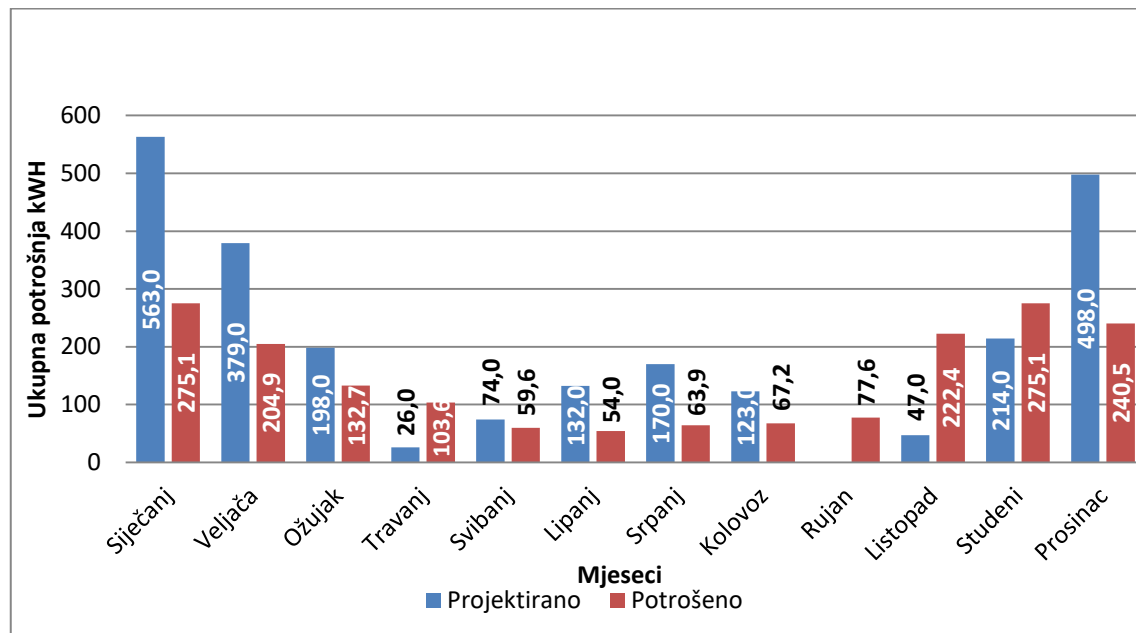
Tablica 19. Prikaz godišnje potrošnje električne energije kuće u probnom pogonu

| Rekapitulacija | Ukupno potrošnja kWh | Ukupno kn |
|----------------|----------------------|-----------|
| Siječanj 2017. | 198 | 157,97 |
| Prosinac 2016. | 255 | 240,53 |
| Studeni 2016. | 388 | 275,09 |
| Listopad 2016. | 330 | 222,41 |
| Rujan 2016. | 90 | 77,55 |
| Kolovoz 2016. | 83 | 67,24 |
| Srpanj 2016. | 76 | 63,87 |
| Lipanj 2016. | 61 | 54,01 |
| Svibanj 2016. | 73 | 59,6 |
| Travanj 2016. | 141 | 103,62 |
| Ožujak 2016. | 190 | 132,66 |
| Veljača 2016. | 282 | 204,92 |
| | | 1659,47 |

Izvor: Projektna dokumentacija KGV projekt [3]

Iz dostupnih podataka napravljena je analiza o projektiranoj potrošnji i stvarnoj potrošnji struje u obiteljskoj kući u Čehovcu. Također, mora se uzeti u obzir da je kuća bila testirana samo u režimu grijanja i hlađenja te ostali energetske potrošači kao na primjer PTV, rasvjeta, kućanski aparati i sl. nisu bili uključeni. Također, u usporednom je grafikonu (slika 25.) prikazana projektirana potrošnja struje s predviđenom potrošnjom PTV-e koju nemamo obračunatu u stvarnoj potrošnji struje. U poglavlju 4.2. godišnja izračunata snaga utrošena na PTV iznosi 415.14kWh/a što znači 34,6kWh

mjesečno, pa ukoliko to ubrojimo u našu stvarnu potrošnju dobivamo ukupnu godišnju potrošnju od 2.191,73kWh, što možemo usporediti s projektiranom predviđenom potrošnjom od 2.424,00kWh



Slika 25. Usporedba projektirane potrošnje energije i stvarne potrošene energije [3]

Naravno, treba uzeti u obzir da smo za naš godišnji trošak od 2.026,00 kn predvidjeli da dizalica topline radi na maksimalnom režimu rada, a zima 2016./2017. je bila relativno topla pa je stoga dizalica topline rijetko radila u maksimalnom režimu rada. Provjetravanja kuće nisu bila svakodnevna, već tjedna, a sam boravak osoba u kući bio je minimalan, stoga ne čudi ova velika razlika između projektirane potrošnje i stvarne potrošnje, ali je odličan primjer uštede energije ugradnjom dizalice topline.

6.5. Dizalice topline u uredbi za štednju energije

Uredba o štednji energije za novoizgrađene objekte ograničava maksimalnu dopuštenu potrošnju primarne energije. Kod toga se može optimizirati smanjenje potrebe za toplinom za grijanje i/ili instalacijska tehnika (smanjenje koeficijenta troška strojarske instalacije). Hrvatska kao članica Europske unije slijedi naputke o smanjenju potrošnje energije i emisije stakleničkih plinova. Građevinarstvo kao gospodarska grana sa značajnim utjecajem na globalno zagrijavanje podliježe direktivama o smanjenju utjecaja na okoliš. Zbog toga je donesen tehnički propis koji ograničava ukupnu godišnju potrošnju energije u objektima. Tim se novim tehničkim rješenjima

prilagođavaju svi vodeći svjetski proizvođači opreme za grijanje, hlađenje, ventilaciju i klimatizaciju. Prema Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 128/2015, 70/2018, 73/2018 i 86/2018) definirana je ukupna količina grijanja (Q''_{hnd}) i ukupna količina potrošene energije (E_{prim}) u kWh/m² godišnje za nove zgrade i građevine gotovo nulte potrošnje energije (Slika 26.) [13].

| ZAHTEJEVI ZA NOVE ZGRADE I G0EZ | Q''_{hnd} [kWh/(m ² ·a)] | | | | | | E_{prim} [kWh/(m ² ·a)] | | | |
|--|--|---|-----------------|-----------------|---|-----------------|---|---|---|--|
| | NOVA ZGRADA I G0EZ | | | | | | NOVA | | G0EZ | |
| | VRSTA ZGRADE | kontinent, $\theta_{\text{mm}} \leq 3 \text{ }^\circ\text{C}$ | | | primorje, $\theta_{\text{mm}} > 3 \text{ }^\circ\text{C}$ | | | kont $\theta_{\text{m}} \leq 3 \text{ }^\circ\text{C}$ | prim $\theta_{\text{mm}} > 3 \text{ }^\circ\text{C}$ | kont $\theta_{\text{mm}} \leq 3 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| $f_0 \leq 0,20$ | | $0,20 < f_0 < 1,05$ | $f_0 \geq 1,05$ | $f_0 \leq 0,20$ | $0,20 < f_0 < 1,05$ | $f_0 \geq 1,05$ | | | | |
| Višestambena | 40,50 | $32,39 + 40,58 \cdot f_0$ | 75,00 | 24,84 | $19,86 + 24,89 \cdot f_0$ | 45,99 | 120 | 90 | 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 | 115 | 70 | 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 | 70 | 70 | 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 | 65 | 60 | 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 | 300 | 300 | 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 | 130 | 80 | 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 | 400 | 170 | 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 | 450 | 280 | 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 | 150 | 100 | / | / |

Slika 26. Najveće dopuštene vrijednosti za nove zgrade i zgrade gotovo nulte energije, zgrade grijane i/ili hlađene na 18 °C ili višu temperaturu

Vlada RH 2020. godine uvodi program energetske obnove obiteljskih kuća kojim se želi povećati energetska učinkovitost i smanjiti potrošnja energije i emisija CO₂ u atmosferu. Kao dio programa moguća je stopa sufinanciranja od 60% za dizalice topline s maksimalnim iznosom opravdanog troška od 48.750,00kn.

7. Zaključak

Dizalica topline zrak-voda jedan je od najefikasnijih načina korištenja obnovljivih izvora energije, a u današnje se vrijeme njeno korištenje sve više potiče zbog ograničene raspoloživosti fosilnih goriva. Izvedene analize i proračuni dovode do zaključka da je u obiteljskoj kući u Čehovcu gdje je korištena dizalica topline Daikin tip ERLQ006CAV3+EHVX08S18C3V s dodatnim spremnikom potrošne tople vode, pasivnim kolektorom i dodatnim rekuperatorom zraka za izmjenu zraka najekonomičnija varijanta sustava grijanja i hlađenja.

U kombinaciji s podnim grijanjem, dobrom toplinskom izolacijom i kvalitetnom stolarijom razlike u održavanju i komunalnim nametima dolazimo do zaključka da je dizalica topline uz spomenute sisteme čak duplo jeftinija kad se govori o doprinosima. U navedenim je uvjetima vremenski povrat takve investicije je samo 6,2 godine. Naravno, sve ovisi o klimatskim, geološkim i tehnološkim uvjetima i nije za svaki objekt isplativost jednaka, ali uz pravilan razvoj strategije uredbi za štednju energije smatram da se ti troškovi mogu još više smanjiti. Nadalje, Hrvatska po uzoru na ostale države članice Europske unije potiče i sufinancira ovaj oblik obnovljivih izvora energije i za adaptaciju postojećih objekata, i za izgradnju novih, dok distributeri struje nude potpore u obliku povoljnijih tarifnih usluga.

Iz svega gore navedenog možemo zaključiti da ugradnjom dizalice topline i ostalih obnovljivih sustava energije radimo bitan i značajan pomak u očuvanju prirode i okoliša.

Literatura

- [1] Povijest toplinskih pumpi. <http://www.toplinskepumpe.com/2011/03/povijest-toplinskih-pumpi/> (13.07.2020.)
- [2] Naftna kriza. <https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=42767> (21.07.2020.)
- [3] Projektna dokumentacija KGV projekt d.o.o., 2016.
- [4] Priručnik za energetska certificiranje zgrada.
<http://www.enu.fzoeu.hr/data/prircert.pdf> (22.07.2020.)
- [5] Državni hidrometeorološki zavod. <http://www.meteo.hr> (27.07.2020.)
- [6] Koeficijent prolaska topline.
https://hr.wikipedia.org/wiki/Koeficijent_prolaska_topline (27.07.2020.)
- [7] Hrvatsko udruženje za dizalice topline. <http://www.hudit.hr> (22.07.2020.)
- [8] Horvat, M. Osnove termotehnike. Materijali s predavanja. Veleučilište u Čakovcu
- [9] Labudović, B. (2015). Priručnik za ventilaciju i klimatizaciju. 3. izd. Zagreb, Energetika marketing
- [10] Viessmann. (2016). Serija stručnih publikacija: Toplinske crpke
- [11] Viessmann. (2016). Serija stručnih publikacija: Tehnika grijanja za novogradnje (Suvremena tehnika grijanja za kuće sa malom potrošnjom toplinske energije)
- [12] Vaillant. (2019). Projektantske podloge za dizalice topline I. dio. Zagreb, Vaillant d.o.o.
- [13] Narodne novine. (2018). Ispravak Tehničkog propisa o izmjenama i dopunama Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama. Zagreb, Narodne novine, d.d.
- [14] Budin, R.; Mihelić-Bogdanić A. (2002). Osnove tehničke termodinamike. 2 izd., Zagreb, Školska knjiga.
- [15] Soldo, V.; Novak, S.; Horvat, I. (2017). Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790. Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje.
- [16] Rekuperacija zraka. <https://mcsolar.hr/rekuperacija-zraka/> (22.08.2020.)
- [17] Pasivna kuća. <https://korak.com.hr/korak-032-prosinac-2010-pasivna-kuca-8-dio-zracno-zemni-kolektor/> (23.08.2020.)
- [18] Rehau. (2009). Awadukt thermo antimikrobiell. Liefeprogramm. Rehau
- [19] Daikin. (2015). Projektna dokumentacija Daikin Altherma, Daikin

Prilozi

Popis slika:

| | |
|---|----|
| Slika 1. <i>Pozicija izgrađene dvojne kuće u Čehovcu, Izvor: http://www.katastar.hr</i> | 2 |
| Slika 2. <i>Tlocrt prizemlja za dvojni kuću A i B [3]</i> | 3 |
| Slika 3. <i>Presjek kuće s njegovim obodnim konstrukcijama [3].....</i> | 4 |
| Slika 4. <i>Presjek zida obiteljske kuće u Čehovcu [3]</i> | 5 |
| Slika 5. <i>Godišnja razlika u temperaturi u zemlji po dubinama [5].....</i> | 17 |
| Slika 6. <i>Prikaz razvoda pasivnog kolektora u zemlji [3]</i> | 18 |
| Slika 7. <i>Ilustracija razvoda Rehau Awadukt pasivnog kolektora [18]</i> | 19 |
| Slika 8. <i>Ljetni režim rada pasivnog kolektora [3]</i> | 20 |
| Slika 9. <i>Zimski režim rada pasivnog kolektora [3]</i> | 20 |
| Slika 10. <i>Detalj pasivnog kolektora zraka [3]</i> | 22 |
| Slika 11. <i>Prikaz rekuperatora i ventilacije unutar objekta [3]</i> | 23 |
| Slika 12. <i>Područje rada odabrane dizalice topline [19].....</i> | 25 |
| Slika 13. <i>Primjer sheme Hydroboxa bez spremnika PTV-e [19]</i> | 25 |
| Slika 14. <i>Preporučena potrošnja tople vode [15]</i> | 26 |
| Slika 15. <i>Shema rada dizalice topline i integriranim spremnikom tople vode [19].....</i> | 27 |
| Slika 16. <i>Prikaz unutrašnjosti ugrađene unutarnje jedinice dizalice topline [19]</i> | 28 |
| Slika 17. <i>SHEMA instalacije grijanja i PTV-e [3].....</i> | 30 |
| Slika 18. <i>Prikaz razvoda podnog grijanja u objektu i njegovih krugova grijanja [3] ...</i> | 33 |
| Slika 19. <i>Kontrolni regulacijski panel [3]</i> | 34 |
| Slika 20. <i>Grafikon vanjskih temperatura u periodu grijanja i hlađenja [19]</i> | 37 |
| Slika 21. <i>Grafikon potrošnje struje u VT i NT [19]</i> | 38 |
| Slika 22. <i>Grafikon troška potrošene struje u VT i NT za grijanje i hlađenje[3].....</i> | 39 |
| Slika 23. <i>Grafikon pretpostavke utrošene termalne energije po mjesecima kroz jednu godinu [19].....</i> | 41 |
| Slika 24. <i>Usporedba godišnjih emisija CO₂ [19]</i> | 42 |
| Slika 25. <i>Usporedba projektirane potrošnje energije i stvarne potrošene energije [3]</i> | 44 |
| Slika 26. <i>Najveće dopuštene vrijednosti za nove zgrade i zgrade gotovo nulte energije, zgrade grijane i/ili hlađene na 18 °C ili višu temperaturu.....</i> | 45 |

Popis tablica:

| | |
|--|----|
| Tablica 1. Slojevi vanjskoga zida | 6 |
| Tablica 2: Slojevi poda obiteljske kuće u Čehovcu..... | 7 |
| Tablica 3. Meteorološki podaci po gradovima | 8 |
| Tablica 4. Prosječna vanjska temperatura po gradovima u Hrvatskoj | 11 |
| Tablica 5. Projektirana temperatura po prostorijama | 12 |
| Tablica 6. Temperaturni korekcijski faktor | 13 |
| Tablica 7. Prikaz toplinskih gubitaka po prostorijama | 14 |
| Tablica 8. Vrijednosti minimalnog protoka zraka u prostorijama prema Pipelife katalogu | 15 |
| Tablica 9. Potrebna količina dobavne i odsisne ventilacije u prostoru | 16 |
| Tablica 10. Tehnički podaci za rekuperator RePuro 170..... | 21 |
| Tablica 11. Tehničke specifikacije odabrane dizalice topline | 24 |
| Tablica 12. Bilanca izračuna podnog grijanja | 32 |
| Tablica 13. Definirani parametri prosječnih temperaturnih vrijednosti za Prelog | 37 |
| Tablica 14. Definirani parametri za grijanje i hlađenje | 38 |
| Tablica 15. Godišnja pretpostavka potrošnje struje u kWh za grijanje i hlađenje | 39 |
| Tablica 16. Godišnja pretpostavka troška struje u kunama za grijanje i hlađenje | 40 |
| Tablica 17. Zadani parametri dizalice topline | 40 |
| Tablica 18. Prosječna emisija CO ₂ iz proizvodnje električne energije u Hrvatskoj | 42 |
| Tablica 19. Prikaz godišnje potrošnje električne energije kuće u probnom pogonu | 43 |