

# Rashladne vitrine za hlađenje pića i povrća

---

Glavica, Matej

Master's thesis / Diplomski rad

2015

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:876914>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-15**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Matej Glavica**

Zagreb, 2015 godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentor:

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

Student:

Matej Glavica

Zagreb, 2015 godina.

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

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Vladimiru Soldi koji je prihvatio stručno mentorstvo i vodio me kroz izradu diplomskog rada.

Matej Glavica



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

|  |        |
|--|--------|
| Sveučilište u Zagrebu<br>Fakultet strojarstva i brodogradnje |        |
| Datum  | Prilog |
| Klasa:   |        |
| Ur.broj:   |        |

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: MATEJ GLAVICA

Mat. br.: 0035168323

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Rashladne vitrine za hlađenje pića i povrća**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Display cases for cooling of beverage and vegetables**

Opis zadatka:

U radu je potrebno projektirati rashladne vitrine za hlađenje pića i povrća.

U vitrini za pića održava se projektna temperatura hlađenja od +4 do +8 °C. Kapacitet vitrine je šezdeset bočica ili limenki od 0,5 litara.

Projektna temperatura hlađenja vitrine za povrće iznosi od +2 do +6 °C. Širina standardne vitrine iznosi 3,75 m.

Svaka vitrina ima svoj rashladni uređaj. Kondenzator je hlađen zrakom. Radnu tvar je potrebno odabrati.

Rad treba sadržavati:

1. Toplinski proračun rashladnih vitrina.
2. Toplinski proračun komponenti rashladnog uređaja.
3. Shemu spajanja i automatske regulacije rashladnog sustava.
4. Dispozicijski crtež rashladne vitrine za piće.

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

Zadatak zadan:

7. svibnja 2015.

Rok predaje rada:

9. srpnja 2015.

Predviđeni datumi obrane:

15., 16. i 17. srpnja 2015.

Zadatak zadao:

  
Dr.sc. Vladimir Soldo, izv.prof.

Predsjednica Povjerenstva:

  
Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

## SADRŽAJ

|   |      |
|---|------|
| SADRŽAJ .....   | I    |
| POPIS SLIKA .....   | III  |
| POPIS TABLICA .....   | IV   |
| POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE .....  | V    |
| POPIS OZNAKA .....  | VI   |
| SAŽETAK .....   | VIII |
| SUMMARY .....   | IX   |
| 1. UVOD .....   | 1    |
| 2. Konstrukcijski zahtjevi vitrina .....  | 3    |
| 2.1. Konstrukcijski zahtjevi rashladne vitrine za piće .....                        | 3    |
| 2.2. Konstrukcijski zahtjevi rashladne vitrine za voće i povrće .....               | 3    |
| 3. TERMODINAMIČKI PRORAČUN RASHLADNE VITRINE ZA PIĆE .....                          | 4    |
| 3.1. Transmisijski dobitci .....  | 4    |
| 3.1.1. Transmisijski dobitci bočnih stranica vitrine .....                          | 4    |
| 3.1.2. Transmisijski dobitci zadnje stranice .....                                  | 4    |
| 3.1.3. Transmisijski dobitci stropa .....   | 5    |
| 3.1.4. Transmisijski dobitci prednjeg zatvorenog dijela vitrine .....               | 5    |
| 3.1.5. Transmisijski dobitci poda .....   | 5    |
| 3.1.6. Ukupni transmisijski dobitci .....   | 6    |
| 3.2. Toplina razvijena radom elektromotora .....                                    | 6    |
| 3.3. Toplina predana piću u rashladnoj vitrini .....                                | 6    |
| 3.4. Toplinski dobitak hlađenja vanjskog zraka koji ulazi kroz zračnu zavjesu ..... | 6    |
| 3.4.1. Toplinsko stanje zraka 1 .....   | 7    |
| 3.4.2. Toplinsko stanje zraka 2 .....   | 8    |
| 3.4.3. Toplinsko stanje zraka 3 .....   | 8    |
| 3.4.4. Toplinsko stanje zraka 4 .....   | 8    |
| 3.4.5. Toplinsko stanje zraka 5 .....   | 8    |
| 3.4.6. Ukupna snaga hlađenja vitrine za piće .....                                  | 9    |
| 4. TERMODINAMIČKI PRORAČUN RASHLADNE VITRINE ZA PIĆE .....                          | 10   |
| 4.1. Transmisijski dobitci .....  | 10   |
| 4.1.1. Transmisijski dobitci bočnih stranica vitrine .....                          | 10   |
| 4.1.2. Transmisijski dobitci zadnje stranice .....                                  | 10   |
| 4.1.3. Transmisijski dobitci stropa .....   | 10   |
| 4.1.4. Transmisijski dobitci prednjeg zatvorenog dijela vitrine .....               | 11   |
| 4.1.5. Transmisijski dobitci poda .....   | 11   |
| 4.1.6. Ukupni transmisijski dobitci .....   | 12   |
| 4.2. Toplina razvijena radom elektromotora .....                                    | 12   |
| 4.3. Toplina disanja robe .....   | 12   |
| 4.4. Toplinski dobitak hlađenja vanjskog zraka koji ulazi u vitrinu .....           | 12   |
| 4.4.1. Toplinsko stanje zraka 1 .....   | 13   |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 4.4.2. | Toplinsko stanje zraka 2.....                                  | 14 |
| 4.4.3. | Toplinsko stanje zraka 3.....                                  | 14 |
| 4.4.4. | Toplinsko stanje zraka 4.....                                  | 14 |
| 5.     | Proračun komponenata rashladnih vitrina .....                  | 16 |
| 5.1.   | Proračun isparivača rashladne vitrine za piće .....            | 16 |
| 5.2.   | Proračun isparivača rashladne vitrine za voće i povrće .....   | 24 |
| 5.3.   | Proračun kondenzatora rashladne vitrine za piće .....          | 32 |
| 5.4.   | Proračun kondenzatora rashladne vitrine za voće i povrće ..... | 39 |
| 6.     | Odabir komponenata rashladnih sustava otvorenih vitrina .....  | 46 |
| 6.1.   | Odabir komponenata rashladne vitrine za piće .....             | 46 |
| 6.1.1. | Odabir kompresora.....   | 46 |
| 6.1.2. | Odabir isparivača .....  | 46 |
| 6.1.3. | Odabir termostata.....   | 46 |
| 6.1.4. | Odabir kapilare .....  | 46 |
| 6.1.5. | Odabir ventilatora isparivača.....                             | 46 |
| 6.2.   | Odabir komponenata rashladne vitrine za voće i povrće .....    | 48 |
| 6.2.1. | Odabir kompresora.....   | 48 |
| 6.2.2. | Odabir isparivača .....  | 48 |
| 6.2.3. | Odabir termostata.....   | 48 |
| 6.2.4. | Odabir termoekspanzijskog ventila.....                         | 48 |
| 7.     | ZAKLJUČAK.....   | 50 |
|        | LITERATURA.....  | 51 |
|        | PRILOZI .....  | 52 |

**POPIS SLIKA**

|          |  |    |
|----------|--|----|
| Slika 1. | Otvorena rashladna vitrina za piće .....                             | 1  |
| Slika 2. | Otvorena rashladna vitrina za voće i povrće.....                     | 2  |
| Slika 3. | Skica presjeka toplinskih stanja zraka vitrine .....                 | 7  |
| Slika 4. | Skica presjeka toplinskih stanja zraka vitrine za voće i povrće..... | 13 |
| Slika 5. | Skica presjeka isparivača .....                                      | 16 |
| Slika 6. | Skica dimenzija isparivača vitrine za piće.....                      | 23 |
| Slika 7. | Skica dimenzija isparivača vitrine za voće i povrće .....            | 31 |
| Slika 8. | Skica dimenzija kondenzatora vitrine za piće.....                    | 38 |
| Slika 9. | Skica dimenzija kondenzatora vitrine za voće i povrće .....          | 45 |



## POPIS TABLICA

|  |    |
|--|----|
| Tablica 1. Ispitivanje ventilatora .....                       | 47 |
| Tablica 2. Komponente rashladne vitrine za piće .....          | 47 |
| Tablica 3. Komponente rashladne vitrine za voće i povrće ..... | 49 |

## **POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

1. Crtež 001 Dispozicijski crtež rashladne vitrine za piće
2. Crtež 002 Shema spajanja rashladne vitrine za piće
3. Crtež 003 Shema spajanja rashladne vitrine za povrće

## POPIS OZNAKA

| Oznaka      | Jedinica                | Opis  |
|-------------|-------------------------|---|
| $A_i$       | [m <sup>2</sup> ]       | površina izmjene topline                      |
| $A_e$       | [m <sup>2</sup> ]       | površina izmjenjivača topline                 |
| $A_f$       | [m <sup>2</sup> ]       | površina lamela                               |
| $A_{mt}$    | [m <sup>2</sup> /m]     | vanjska površina cijevi                       |
| $B$         | [m]                     | širina izmjenjivača topline                   |
| $C$         | [-]                     | koeficijent                                   |
| $C_k$       | [-]                     | koeficijent otpora kontakta cijevi i lamela   |
| $c_a$       | [kJ/kg]                 | specifični toplinski kapacitet zraka          |
| $c_p$       | [kJ/kg]                 | specifični toplinski kapacitet                |
| $d$         | [mm]                    | promjer cjevovoda                             |
| $d_e$       | [mm]                    | vanjski promjer cijevi                        |
| $d_i$       | [mm]                    | unutarnji promjer cijevi                      |
| $d_{eqv}$   | [mm]                    | ekvivalentni promjer cijevi                   |
| $d_m$       | [mm]                    | srednji promjer cijevi                        |
| $E$         | [-]                     | efikasnost lamela                             |
| $f_t$       | [mm]                    | debljina lamela                               |
| $G$         | [kg/(m <sup>2</sup> s)] | gustoća masenog toka                          |
| $H$         | [m]                     | visina izmjenjivača topline                   |
| $h_{(1+x)}$ | [kJ/kg]                 | entalpija vlažnog zraka                       |
| $i_{in}$    | [-]                     | broj ulaznih cijevi                           |
| $i_r$       | [-]                     | broj redova cijevi                            |
| $i_t$       | [-]                     | broj cijevi u jednom redu                     |
| $k$         | [W/(m <sup>2</sup> K)]  | ukupni koeficijent prolaza topline            |
| $k_i$       | [W/(m <sup>2</sup> K)]  | ukupni koeficijent prolaza topline isparivača |
| $L$         | [m]                     | dubina izmjenjivača topline                   |
| $L_{ov}$    | [m]                     | ukupna duljina cijevi                         |
| $L_l$       | [m]                     | duljina cijevi u jednom redu                  |
| $\dot{m}_a$ | [kg/s]                  | maseni protok zraka                           |
| $\dot{m}_R$ | [kg/s]                  | maseni protok radne tvari                     |
| $m_f$       | [-]                     | koeficijent                                   |
| $Nu$        | [-]                     | Nusseltova značajka                           |
| $P_{EM}$    | [W]                     | električna snaga ventilatora                  |
| $\Delta p$  | [Pa]                    | pad tlaka zraka                               |
| $Pr$        | [-]                     | Prandtllova značajka                          |
| $Re$        | [-]                     | Reynolsova značajka                           |

|           |                      |   |
|-----------|----------------------|---|
| $R_i$     | [m <sup>2</sup> K/W] | faktor onečišćenja na strani radne tvari    |
| $R_0$     | [m <sup>2</sup> K/W] | faktor onečišćenja                          |
| $R_t$     | [m <sup>2</sup> K/W] | toplinski otpor cijevi                      |
| $q_{mi}$  | [kg/s]               | maseni protok zraka                         |
| $s_1$     | [mm]                 | razmak između cijevi u vertikalnom smjeru   |
| $s_2$     | [mm]                 | razmak između cijevi u horizontalnom smjeru |
| $s_f$     | [mm]                 | razmak između lamela                        |
| $t$       | [s]                  | vrijeme                                     |
| $v_{l+x}$ | [m <sup>3</sup> /kg] | specifični volumen vlažnog zraka            |
| $w$       | [m/s]                | brzina zraka u najmanjem presjeku           |
| $w_f$     | [m/s]                | brzina struje zraka na ulazu u izmjenjivač  |
| $x$       | [kg/kg]              | sadržaj vlage u vlažnom zraku               |

**Grčke oznake**

|                     |                        |   |
|---------------------|------------------------|---|
| $\alpha_i$          | [W/(m <sup>2</sup> K)] | unutarnji koeficijent prijelaza topline                         |
| $\alpha_0$          | [W/(m <sup>2</sup> K)] | vanjski koeficijent prijelaza topline                           |
| $\alpha_R$          | [W/(m <sup>2</sup> K)] | koeficijent prijelaza topline                                   |
| $\alpha_{ai}$       | [W/(m <sup>2</sup> K)] | koeficijent prijelaza topline vezan na unutarnji promjer cijevi |
| $\delta_i$          | [m]                    | debljina izolacije  |
| $\beta$             | [-]                    | odnos između vanjske i unutarnje površine izmjene topline       |
| $\delta_t$          | [m]                    | debljina cijevi   |
| $\varphi$           | [mol/mol]              | relativna vlažnost vlažnog zraka                                |
| $\lambda_a$         | [W/(m K)]              | toplinska provodnost zraka                                      |
| $\lambda_f$         | [W/(m K)]              | toplinska provodnost aluminija                                  |
| $\lambda_t$         | [W/(m K)]              | toplinska provodnost bakra                                      |
| $\rho_a$            | [kg/m <sup>3</sup> ]   | gustoća zraka   |
| $\phi_D$            | [W]                    | toplina disanja robe  |
| $\phi_{HLZR}$       | [W]                    | toplinski tok predan sviježem zraku                             |
| $\phi_{EM}$         | [W]                    | toplinsko opterećenje elektromotora                             |
| $\phi_R$            | [W]                    | toplinski tok odveden od robe                                   |
| $\phi_{UK}$         | [W]                    | ukupno toplinsko opterećenje                                    |
| $\vartheta_l$       | [°C]                   | temperatura zraka   |
| $\vartheta_{a1}$    | [°C]                   | temperatura zraka na ulazu u isparivač                          |
| $\vartheta_{a2}$    | [°C]                   | temperatura zraka na izlazu iz isparivača                       |
| $\vartheta_{am}$    | [°C]                   | srednja vrijednost temperature zraka                            |
| $\vartheta_e$       | [°C]                   | temperatura isparavanja   |
| $\vartheta_c$       | [°C]                   | temperatura kondenzacije  |
| $\vartheta_s$       | [°C]                   | temperatura na vanjskoj strani isparivača                       |
| $\Delta\vartheta_m$ | [°C]                   | logaritamska razlika temperature                                |
| $\vartheta_w$       | [°C]                   | temperatura vode  |
| $\nu_a$             | [m <sup>2</sup> /s]    | kinematska viskoznost   |

## **SAŽETAK**

U diplomskom radu napravljen je termodinamički proračun dviju otvorenih rashladnih vitrina, prve za hlađenje pića u bočicama ili limenkama na benzinskim postajama, a druge vitrine za voće i povrće u trgovinama. Napravljen je i proračun izmjenjivača topline za oba rashladna sustava. Prema dobivenim proračunima i zadanim geometrijama izmjenjivača napravljen je odabir komponenata pojedinih rashladnih vitrina. Prikazane su sheme spajanja elemenata rashladnih jedinica za obje vitrine. Za vitrinu za piće napravljen je dispozicijski crtež.

Ključne riječi:

Otvorene rashladne vitrine, isparivač za hlađenje zraka, zrakom hlađeni kondenzator, rashladni sustav s direktnom ekspanzijom

## **SUMMARY**

In this graduate work has been made thermodynamic calculation of two open refrigerated open front cooler, the first is for cooling drinks in bottles or cans at gas stations, and the other is for fruit and vegetables in stores. The calculation was made for both heat exchangers of cooling system. According to calculation and given geometries of exchangers the selection of components was made for each cooler. Connection schemes are shown for both display cabinets. For open front cooler for drinks is a disposition drawing made.

Key words:

Open front coolers, air cooling evaporator, air-cooled condenser, cooling system with direct expansion

## 1. UVOD

Otvorene rashladne vitrine danas su u velikoj uporabi u svim vrstama samoposlužne prodaje, one se prvenstveno koriste radi marketinškog osjećaja kupca da je proizvod na dohvat ruke. Podpultne otvorene rashladne vitrine na benzinskim postajama postavljene su kako bi piće koje se nalazi u njima bilo dostupno kupcu na postaji iako nije prošao kroz cijeli dućan. Potrošnja energije otvorenih rashladnih vitrina znatno je veća od potrošnje energije zatvorenih vitrina, benzinske postaju tu razliku itekako nadoknađuju naplatom marketinške pozicije proizvoda. Toplinski tok transmisijskih dobitaka višestruko je manji od toplinskih tokova koji pokrivaju zagrijavanje svježeg vanjskog zraka i hlađenja proizvoda.



**Slika 1. Otvorena rashladna vitrina za piće**

Rashladne vitrine za voće i povrće služe prvenstveno kako bi osjetljiviji proizvodi sačuvali svoju kvalitetu čim dulje. Postavljaju se najčešće u trgovinama gdje se samo dio voća ili povrća najčešće drži u njima.



**Slika 2. Otvorena rashladna vitrina za voće i povrće**



## 2. Konstrukcijski zahtjevi vitrina

### 2.1. Konstrukcijski zahtjevi rashladne vitrine za piće

Rashladna vitrina za piće postavljena je kao dio prodajnog pulta te mora biti montažna sa samostojećom konstrukcijom koja se ugura u pult vitrine koji je obično duljina između 3 i 10 m. Sklop rashladnog sistema mora biti konstruiran kao ubodni rashlad koji se može izvaditi iz pulta bez ikakvih potreba za demontažom pulta, zbog zabrane zavarivanja i vrućih radova na benzinskim postajama. U slučaju kvara rashlad se zamjenjuje zamjenskim i popravak se može izvoditi u radioni. Radni režim rashladne vitrine  $+4^{\circ}\text{C}$  do  $+8^{\circ}\text{C}$ , mora sadržavati barem 60 bočica ili limenki od 0,5 L, što ograničava visinu isparivača na 105 mm. Isparavanje kondenzata koji nastaje na isparivaču vitrine mora biti samostalno jer u većini slučajeva nema dovedenog odvoda iz vitrine. Prostor unutar benzinske postaje je klimatiziran te temperatura ne bi smjela prelaziti  $25^{\circ}\text{C}$  te uz relativnu vlažnost od 50%. Za slučaj velike potrošnje pića u udarnim vremenima, rashladna vitrina bi se trebala nadopunjavati pićem koje je prethodno bilo u komori za hlađenje, dok u normalnim uvjetima potrošnje trebala bi imati kapacitet kao i ostali zatvoreni komercijalni hladnjaci.

### 2.2. Konstrukcijski zahtjevi rashladne vitrine za voće i povrće

Otvorena rashladna vitrina duljine 3,75 m postavlja se kao samostojeća unutar trgovina. Moguće ju je postaviti s kondenzacijskom jedinicom unutar nje ili dislociranom u vanjskom prostoru. Visina isparivača ne smije biti prevelika zbog kapaciteta vitrine. Kapacitet vitrine i veličina polica određeni su standardnim dimenzijama kašeta za voće i povrće koji iznose  $600 \times 400 \times 106$  mm te po jednom redu polica stane 6 kašeta, ako u vitrini imamo 4 police to nam daje kapacitet od 24 kašete po 10 kg mase voća ili povrća, te se dobiva kapacitet od 240 kg. Snaga rashladne vitrine iznosi 800 W/m, pri čemu se dobiva ukupna snaga rashladne vitrine od 3000 W.

### 3. TERMODINAMIČKI PRORAČUN RASHLADNE VITRINE ZA PIĆE

#### 3.1. Transmisijski dobitci

Transmisijski dobitci računati su za svaku stjenku rashladne vitrine posebno. Temperature susjednih prostora su iste za sve stjenke osim za stražnju stranu vitrine gdje ćemo uzeti veću temperaturu zbog smještaja kondenzacijske jedinice. Debljina izolacije je 20 mm, te je svugdje uzeta kao takva zbog konstrukcijskih zahtjeva vitrine.

$$\phi_{tr} = k * A * \Delta\vartheta [W]$$

|                        |   |
|------------------------|---|
| $\phi_{tr} [W]$        | - toplinski tok                               |
| $k [W/(m^2 K)]$        | - ukupni koeficijent prolaza topline          |
| $A [m^2]$              | - površina pojedine stijenke                  |
| $\delta [m]$           | - debljina stijenke pojedinog sloja izolacije |
| $\lambda [W/mK]$       | - koeficijent toplinske provodnosti           |
| $\alpha_i [W/(m^2 K)]$ | - unutarnji koeficijent prijelaza topline     |
| $\alpha_0 [W/(m^2 K)]$ | - vanjski koeficijent prijelaza topline       |

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_0}} [W/(m^2 K)]$$

##### 3.1.1. Transmisijski dobitci bočnih stranica vitrine

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| $\delta_1 = 0,02 m$           | - debljina izolacije bočne stranice   |
| $\vartheta_{ok} = 25^\circ C$ | - temperatura okoliša   |
| $\vartheta_1 = 0^\circ C$     | - temperatura unutar vitrine  |
| $\alpha_i = 20 W/m^2 K$       | - unutarnji koeficijent prijelaza topline, za dinamičko hlađenje unutar vitrine |
| $\alpha_0 = 11 W/m^2 K$       | - vanjski koeficijent prijelaza topline, za slabi intenzitet vjetra             |

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_0}} = 1,56 [W/(m^2 K)]$$

$$A_1 = 0,141 * 0,464 = 0,339 m^2$$

$$\Delta\vartheta = \vartheta_{ok} - \vartheta_1 = 25^\circ C$$

Transmisijske dobitke udvostručujemo jer imamo dvije identične strane vitrine

$$\phi_{tr1} = k_1 * A_1 * \Delta\vartheta_1 * 2 = 26,45 W$$

##### 3.1.2. Transmisijski dobitci zadnje stranice

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| $\delta_1 = 0,02 m$           | - debljina izolacije zadnje stranice   |
| $\vartheta_1 = 0^\circ C$     | - unutarnja temperatura zraka poslije isparivača   |
| $\vartheta_{ok} = 33^\circ C$ | - temperatura sa stražnje strane vitrine koja je veća zbog smještaja kondenzacijske jedinice iza zadnje stranice |

$\alpha_i = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$  - unutarnji koeficijent prijelaza topline, za dinamičko hlađenje unutar vitrine

$\alpha_0 = 33 \text{ W/m}^2\text{K}$  - vanjski koeficijent prijelaza topline, za jaki intenzitet vjetra zbog strujanja od strane kondenzatora

$$k_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \Sigma \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_0}} = 1,714 \text{ [W/(m}^2 \text{ K)]}$$

$$A_2 = 0,854 * 0,5 = 0,427 \text{ m}^2$$

$$\Delta\vartheta_2 = \vartheta_{ok} - \vartheta_1 = 33^\circ\text{C}$$

$$\phi_{tr2} = k_2 * A_2 * \Delta\vartheta_2 = 24,16 \text{ W}$$

### 3.1.3. Transmisijski dobitci stropa

$\delta_1 = 0,02 \text{ m}$  - debljina izolacije stropa

$\vartheta_{ok} = 25^\circ\text{C}$  - temperatura vanjske strane

$\vartheta_1 = 0^\circ\text{C}$  - temperatura unutar vitrine

$\alpha_i = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$  - unutarnji koeficijent prijelaza topline, za dinamičko hlađenje unutar vitrine

$\alpha_0 = 11 \text{ W/m}^2\text{K}$  - vanjski koeficijent prijelaza topline, za slabi intenzitet vjetra

$$k_3 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \Sigma \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_0}} = 1,56 \text{ [W/(m}^2 \text{ K)]}$$

$$A_3 = 0,243 * 0,5 = 0,121 \text{ m}^2$$

$$\Delta\vartheta_3 = \vartheta_{ok} - \vartheta_1 = 25^\circ\text{C}$$

$$\phi_{tr3} = k_3 * A_3 * \Delta\vartheta_3 = 4,7 \text{ W}$$

### 3.1.4. Transmisijski dobitci prednjeg zatvorenog dijela vitrine

$\delta_1 = 0,02 \text{ m}$  - debljina izolacije prednje strane

$\vartheta_{ok} = 25^\circ\text{C}$  - temperatura vanjske strane

$\vartheta_1 = 0^\circ\text{C}$  - temperatura unutar vitrine

$\alpha_i = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$  - unutarnji koeficijent prijelaza topline, za dinamičko hlađenje unutar vitrine

$\alpha_0 = 11 \text{ W/m}^2\text{K}$  - vanjski koeficijent prijelaza topline, za slabi intenzitet vjetra

$$k_4 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \Sigma \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_0}} = 1,56 \text{ [W/(m}^2 \text{ K)]}$$

$$A_4 = 0,101 * 0,5 = 0,0505 \text{ m}^2$$

$$\phi_{tr4} = k_4 * A_4 * \Delta\vartheta_4 = 1,97 \text{ W}$$

### 3.1.5. Transmisijski dobitci poda

Pod rashladne vitrine za piće nalazi se pod nagibom od 1, pa uzimamo srednju debljinu poda za izračun toplinskih dobitaka.

$\delta_5 = 0,045 \text{ m}$  - debljina izolacije prednje strane

$\vartheta_{ok} = 25^\circ\text{C}$  - temperatura vanjske strane

$\vartheta_1 = 0^\circ\text{C}$  - temperatura unutar vitrine

$\alpha_i = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$  - unutarnji koeficijent prijelaza topline, za dinamičko hlađenje unutar vitrine

$\alpha_0 = 11 \text{ W/m}^2\text{K}$  - vanjski koeficijent prijelaza topline, za slabi intenzitet vjetra

$$k_5 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \Sigma \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_0}} = 0,79 \text{ [W/(m}^2 \text{ K)]}$$

$$A_4 = 0,465 * 0,5 = 0,2325 \text{ m}^2$$

$$\phi_{tr5} = k_5 * A_5 * \Delta\vartheta_5 = 3,67 \text{ W}$$

### 3.1.6. Ukupni transmisijski dobitci

Ukupni transmisijski dobitci rashladne vitrine jednaki su sumi transmisijskih dobitaka svih strana vitrine.

$$\phi_{uk} = \sum \phi_i = 60,98 \text{ W}$$

### 3.2. Toplina razvijena radom elektromotora

Toplinu razvijenu radom elektromotora dobivamo od rada turbinskog ventilatora koji upuhuje zrak preko isparivača snage 28 W.

$$\phi_{EM} = 28 \text{ W}$$

### 3.3. Toplina predana piću u rashladnoj vitrini

Toplina predana piću dobivena je ispitivanjem rashladnog učina na vodi koju smo hladili u 53 bočice od 0,5 L, u prostorima tvrtke Gincops, temperaturu smo održavali konstantnom pomoću grijalice. Temperatura u prostoru za vrijeme ispitivanja bila je 23°C uz relativnu vlažnost od 50%. Voda se iz jedne kante ulijeva u sve bočice kako bi u svim bočicama bila ista temperatura vode na početku ispitivanja. Temperatura ohlađene vode dobivena je izlivanjem sve vode u što kraćem vremenskom periodu u jednu kantu vode kako bi se izmjerila temperatura na kraju ispitivanja.

$\vartheta_{1w} = 21,5^\circ\text{C}$  - početna temperatura vode prije ispitivanja

$c_p = 4,187 \text{ J/kgK}$  - toplinski kapacitet vode

$\vartheta_{2w} = 9,5^\circ\text{C}$  - temperatura vode na kraju ispitivanja

$t = 125 \text{ min} = 7500 \text{ s}$  - vrijeme trajanja ispitivanja

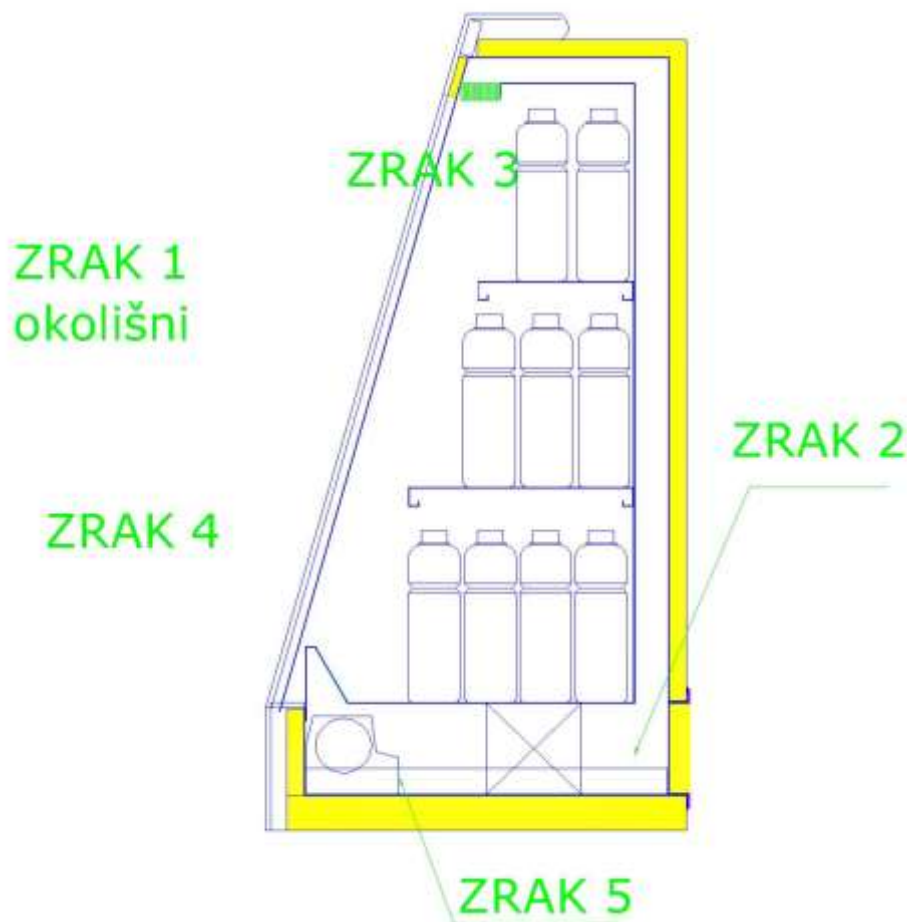
$$\phi_r = \frac{c_p * (\vartheta_{1w} - \vartheta_{2w})}{t} = 177,5 \text{ W} - \text{dobiveni rashladni učin za vrijeme ispitivanja}$$

### 3.4. Toplinski dobitak hlađenja vanjskog zraka koji ulazi kroz zračnu zavjesu

Da bi se izračunao toplinski dobitak, odnosno rashladni učin koji se troši potrebno je u ovom slučaju pretpostaviti udio svježeg zraka stanja okoliša koji ulazi u rashladnu vitrinu u ciklusu hlađenja. Udio vanjskog zraka pretpostavljen je da iznosi 15 % masenog protoka ukupnog zraka kroz vitrinu. Pretpostavka je da vanjski zrak nikada neće prijeći temperaturu od  $\vartheta_{ok}=25^{\circ}\text{C}$  i relativnu vlažnost  $\varphi=50\%$ , pošto se vitrina nalazi u klimatiziranom prostoru.

Također je potrebno i pretpostaviti stanje zraka nakon isparivača koje je pretpostavljeno kao zrak temperature  $0^{\circ}\text{C}$  i relativne vlažnosti 100%. Stanja zraka definirana su preko miješanja zraka i dodavanja pojedinih toplinskih dobitaka, kako bi se dobila ukupna snaga isparivača. Pozicije pojedinih stanja zraka prikazana su u sljedećoj slici. Volumni protok zraka kroz isparivač dobiven je iz karakteristika ventilatora.

$$q_{v1} = 150 \text{ m}^3/\text{h} = 0,41667 \text{ m}^3/\text{s}$$



Slika 3. Skica presjeka toplinskih stanja zraka vitrine

### 3.4.1. Toplinsko stanje zraka 1.

$\vartheta_1 = \vartheta_{OK} = 25^{\circ}\text{C}$  -temperatura okolišnog zraka

$\varphi_1 = 0,5$  - relativna vlažnost prostora u kojem se nalazi vitrina

Termodinamička svojstva okolišnog zraka izvedena od pretpostavki stanja zraka.

$$x_1 = 0,622 \frac{\varphi_1 p_s(\vartheta_1)}{p - \varphi_1 p_s(\vartheta_1)} = 0,0102 \text{ kg/kg}$$

$$h_{(1+x)_1} = c_{pz} \vartheta_1 + x_1 (r_0 + c_{pd} \vartheta_1) = 51,088 \text{ kJ/kg}$$

$$(v_{1+x})_1 = 461,5 \frac{T_1}{p} (0,622 + x_1) = 0,858 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\rho_1 = \frac{1}{v_{(1+x)_1}} = 1,165 \text{ kg/m}^3$$

$$q_{m1} = \rho_1 * q_{v1} = 0,0485 \text{ kg/s}$$

### 3.4.2. Toplinsko stanje zraka 2.

Pretpostavka je da zrak nakon isparivača ima temperaturu 0°C i relativnu vlažnost 100 %

$$\vartheta_2 = 0^\circ\text{C}$$

$$\varphi_2 = 1$$

$$x_2 = 0,622 \frac{\varphi_2 p_s(\vartheta_2)}{p - \varphi_2 p_s(\vartheta_2)} = 0,0038 \text{ kg/kg}$$

$$h_{(1+x)_2} = c_{pz} \vartheta_2 + x_2 (r_0 + c_{pd} \vartheta_2) = 9,431 \text{ kJ/kg}$$

$$(v_{1+x})_2 = 461,5 \frac{T_2}{p} (0,622 + x_2) = 0,779 \text{ m}^3/\text{kg}$$

### 3.4.3. Toplinsko stanje zraka 3.

Kako bi se definiralo toplinsko stanje zraka 3 potrebno je na toplinsko stanje zraka 2 dodati toplinske odbitke od transmisije pojedinih stranica vitrine i toplinu koju hladni zrak predaje bocama pića koje rashlađuje.

$$\Phi_3 = \Phi_{uk} + \Phi_r = 238,48 \text{ W}$$

Pri tome dobiva se entalpija zraka 3.

$$h(1+x)_3 = \frac{\Phi_3}{q_{m1}} + h(1+x)_2 = 13,89 \text{ kJ/kg}$$

$$x_3 = x_2 = 0,0038 \text{ kg/kg}$$

$$\vartheta_3 = \frac{h(1+x)_3 - r_0 * x_3}{c_{pz} + x_3 * c_{pd}} = 4,4^\circ\text{C}$$

### 3.4.4. Toplinsko stanje zraka 4.

Toplinsko stanje zraka određeno je pretpostavkom da se struja zraka 3 miješa sa strujom vanjskog zraka stanja 1, pri čemu je maseni udio struje zraka 1 = 15%. Pri tome dobiva se sljedeće stanje zraka.

$$h(1+x)_4 = \frac{q_{m2} * 0,85 * (h(1+x)_3) + q_{m2} * 0,15 * (h(1+x)_1)}{q_{m2}} = 19,47 \text{ kJ/kg}$$

$$x_4 = \frac{0,85 * q_{m2} * x_2 + 0,15 * q_{m2} * x_1}{q_{m2}} = 0,00473 \text{ kg/kg}$$

$$\vartheta_4 = \frac{h(1+x)_4 - r_0 * x_4}{c_{pz} + x_4 * c_{pd}} = 7,52^\circ\text{C}$$

### 3.4.5. Toplinsko stanje zraka 5.

Za dobivanje posljednjeg stanja zraka potrebno je još na struju zraka 4 dodati toplinski tok elektromotora i time dobivamo sljedeće rezultate

$$h(1+x)_5 = \frac{\Phi_{EM}}{q_{m2}} + h(1+x)_4 = 19,86 \text{ kJ/kg}$$

$$\vartheta_5 = \frac{h(1+x)_5 - r_0 * x_5}{c_{pz} + x_5 * c_{pd}} = 7,91^\circ\text{C}$$

**3.4.6. Ukupna snaga hlađenja vitrine za piće**

$$\Phi_{hl} = q_{muk} * (h_{(1+x)5} - (h_{(1+x)1})) = 565,14 \text{ W}$$

## 4. TERMODINAMIČKI PRORAČUN RASHLADNE VITRINE ZA PIĆE

### 4.1. Transmisijski dobitci

Transmisijski dobitci računati su za svaku stjenku zasebno. Odabrana debljina izolacije iznosi 40 mm.

#### 4.1.1. Transmisijski dobitci bočnih stranica vitrine

$\delta_1 = 0,04 \text{ m}$  - debljina izolacije bočne stranice  
 $\vartheta_{ok} = 24^\circ\text{C}$  - temperatura vanjske strane  
 $\vartheta_1 = 0^\circ\text{C}$  - temperatura unutar vitrine  
 $\alpha_i = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$  - unutarnji koeficijent prijelaza topline, za dinamičko hlađenje unutar vitrine

$\alpha_0 = 11 \text{ W/m}^2\text{K}$  - vanjski koeficijent prijelaza topline, za slabi intenzitet vjetra

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \Sigma \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_0}} = 0,88 \text{ [W/(m}^2 \text{ K)]}$$

$$A_1 = 1,802 * 0,7 = 1,2614 \text{ m}^2$$

$$\Delta\vartheta = \vartheta_{ok} - \vartheta_1 = 24^\circ\text{C}$$

Transmisijske dobitke udvostručujemo jer imamo dvije identične strane vitrine

$$\phi_{tr1} = k_1 * A_1 * \Delta\vartheta_1 * 2 = 53,07 \text{ W}$$

#### 4.1.2. Transmisijski dobitci zadnje stranice

$\delta_1 = 0,04 \text{ m}$  - debljina izolacije zadnje stranice

$\vartheta_1 = 0^\circ\text{C}$  - unutarnja temperatura zraka poslije isparivača  
 $\vartheta_{ok} = 24^\circ\text{C}$  - temperatura sa stražnje strane vitrine koja je veća zbog smještaja kondenzacijske jedinice iza zadnje stranice

$\alpha_i = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$  - unutarnji koeficijent prijelaza topline, za dinamičko hlađenje unutar vitrine

$\alpha_0 = 11 \text{ W/m}^2\text{K}$  - vanjski koeficijent prijelaza topline, za slabi intenzitet strujanja

$$k_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \Sigma \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_0}} = 0,88 \text{ [W/(m}^2 \text{ K)]}$$

$$A_2 = 1,802 * 3,667 = 6,61 \text{ m}^2$$

$$\Delta\vartheta_2 = \vartheta_{ok} - \vartheta_1 = 24^\circ\text{C}$$

$$\phi_{tr2} = k_2 * A_2 * \Delta\vartheta_2 = 139 \text{ W}$$

#### 4.1.3. Transmisijski dobitci stropa



$\delta_1 = 0,04 \text{ m}$  - debljina izolacije stropa

$\vartheta_{ok} = 24^\circ\text{C}$  - temperatura vanjske strane

$\vartheta_1 = 0^\circ\text{C}$  - temperatura unutar vitrine

$\alpha_i = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$  - unutarnji koeficijent prijelaza topline, za dinamičko hlađenje unutar vitrine

$\alpha_0 = 11 \text{ W/m}^2\text{K}$  - vanjski koeficijent prijelaza topline, za slabi intenzitet vjetra

$$k_3 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_0}} = 0,88 \text{ [W/(m}^2\text{ K)]}$$

$$A_3 = 0,7 * 3,667 = 2,57 \text{ m}^2$$

$$\Delta\vartheta_3 = \vartheta_{ok} - \vartheta_1 = 24^\circ\text{C}$$

$$\phi_{tr3} = k_3 * A_3 * \Delta\vartheta_3 = 54 \text{ W}$$

#### 4.1.4. Transmisijski dobitci prednjeg zatvorenog dijela vitrine

$\delta_1 = 0,04 \text{ m}$  - debljina izolacije prednje strane

$\vartheta_{ok} = 24^\circ\text{C}$  - temperatura vanjske strane

$\vartheta_1 = 0^\circ\text{C}$  - temperatura unutar vitrine

$\alpha_i = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$  - unutarnji koeficijent prijelaza topline, za dinamičko hlađenje unutar vitrine

$\alpha_0 = 11 \text{ W/m}^2\text{K}$  - vanjski koeficijent prijelaza topline, za slabi intenzitet vjetra

$$k_4 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_0}} = 0,88 \text{ [W/(m}^2\text{ K)]}$$

$$A_4 = 3,667 * (0,1624 + 0,08) = 0,889 \text{ m}^2$$

$$\phi_{tr4} = k_4 * A_4 * \Delta\vartheta_4 = 18,7 \text{ W}$$

#### 4.1.5. Transmisijski dobitci poda

$\delta_5 = 0,04 \text{ m}$  - debljina izolacije prednje strane

$\vartheta_{ok} = 24^\circ\text{C}$  - temperatura vanjske strane

$\vartheta_1 = 0^\circ\text{C}$  - temperatura unutar vitrine

$\alpha_i = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$  - unutarnji koeficijent prijelaza topline, za dinamičko hlađenje unutar vitrine

$\alpha_0 = 30 \text{ W/m}^2\text{K}$  - vanjski koeficijent prijelaza topline, za jaki intenzitet strujanja

$$k_5 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_0}} = 0,923 \text{ [W/(m}^2 \text{ K)]}$$

$$A_4 = 3,667 * 0,66 = 2,42 \text{ m}^2$$

$$\phi_{tr5} = k_5 * A_5 * \Delta\vartheta_5 = 73,72 \text{ W}$$

#### 4.1.6. Ukupni transmisijski dobitci

Ukupni transmisijski dobitci rashladne vitrine jednaki su sumi transmisijskih dobitaka svih strana vitrine.

$$\phi_{uk} = \sum \phi_i = 338,48 \text{ W}$$

#### 4.2. Toplina razvijena radom elektromotora

Toplinu razvijenu radom elektromotora dobivamo od rada ventilatora unutar vitrine. U vitrini se nalazi 8 ventilatora svaki snage 33 W.

$$\phi_{EM} = 264 \text{ W}$$

#### 4.3. Toplina disanja robe

Toplina disanja robe uzeta je za pretpostavku da je roba koja dolazi u vitrinu za voće i povrće prethodno bila skladištena u hladnom skladištu, pri tome uzimamo gornju granicu topline disanja za jagode koje imaju najveću toplinu disanja pri +10°C od 281 W/tona.

Ukupni kapacitet vitrine za voće i povrće određen je geometrijom polica i brojem polica unutar vitrine, moguće je slagati po 4 police, dubine 400 mm i ukupne duljine 3600 mm, pri čemu je za dobiveni kapacitet moguće smjestiti u vitrinu 24 kašete za voće ili povrće dimenzija 600x400x106 mm, nosivosti 10 kg. Pri tome dobiva se ukupna masa od 240 kg voća ili povrća unutar vitrine.

$$\phi_D = 281 * 0,24 = 67,44 \text{ W}$$

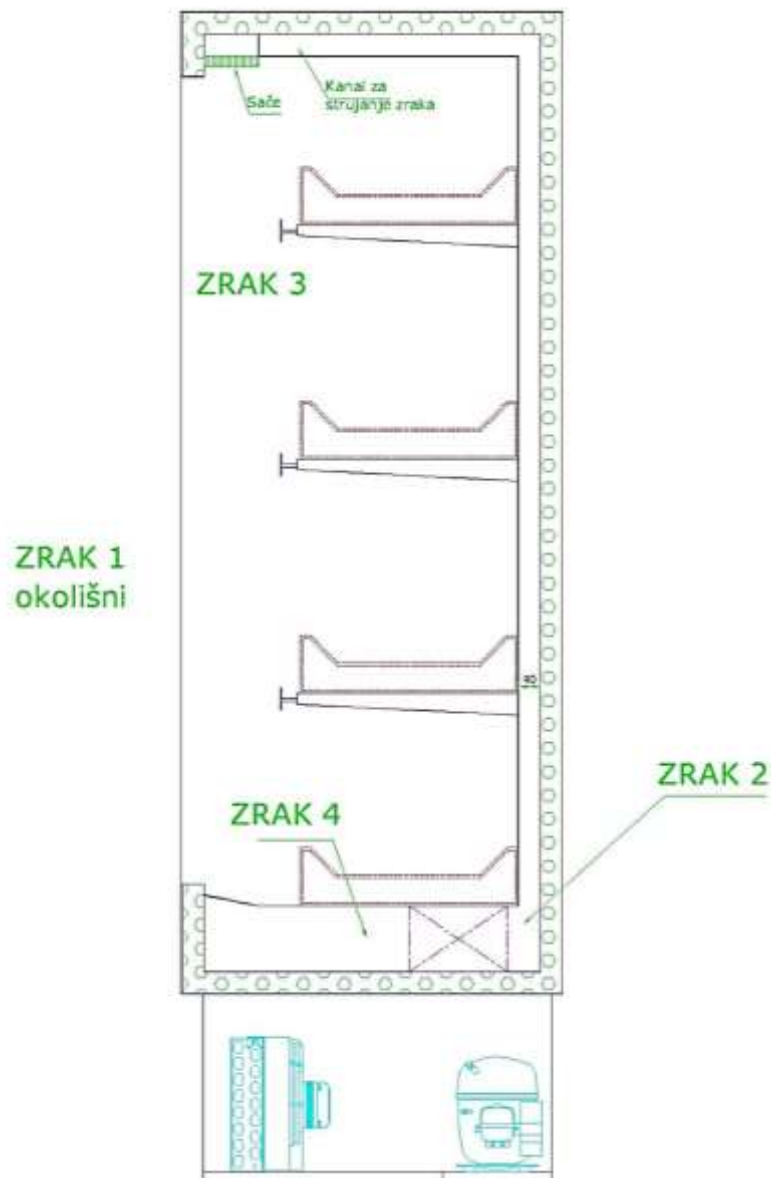
#### 4.4. Toplinski dobitak hlađenja vanjskog zraka koji ulazi u vitrinu

Za izračunavanje toplinskog gubitka koji otpada na hlađenje vanjskog zraka koji ulazi u vitrinu, na ukupni rashladni učin oduzimamo toplinske tokove disanja robe, transmisijske dobitke, te pretpostavljeni rashladni učin koji se predaje robi koja se hladi.

$$\phi_R = 1800 \text{ W}$$

$$\phi_{HLZR} = 3000 - 1800 - 67,44 - 264 = 530,08 \text{ W}$$

Pretpostavka je da vanjski zrak nikada neće prijeći temperaturu od  $\vartheta_{ok}=24^{\circ}\text{C}$  i relativnu vlažnost  $\varphi=50\%$ , budući da se vitrina nalazi u klimatiziranom prostoru.



Slika 4. Skica presjeka toplinskih stanja zraka vitrine za voće i povrće

#### 4.4.1. Toplinsko stanje zraka 1

Toplinsko stanje zraka unutar prostora samoposluživanja.

Maseni protok zraka određen je volumnim protokom za ventilatore koji iznosi za svih 8 ventilatora  $2020 \text{ m}^3/\text{h}$ .

$\vartheta_1 = \vartheta_{OK} = 24^{\circ}\text{C}$  -temperatura okolišnog zraka

$\varphi_1 = 0,5$  - relativna vlažnost prostora u kojem se nalazi vitrina  
Termodinamička svojstva okolišnog zraka izvedena od pretpostavki stanja zraka.

$$x_1 = 0,622 \frac{\varphi_1 p_s(\vartheta_1)}{p - \varphi_1 p_s(\vartheta_1)} = 0,0093 \text{ kg/kg}$$

$$h_{(1+x)_1} = c_{pz} \vartheta_1 + x_1 (r_0 + c_{pd} \vartheta_1) = 47,774 \text{ kJ/kg}$$

$$(v_{1+x})_1 = 461,5 \frac{T_1}{p} (0,622 + x_1) = 0,854 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\rho_1 = \frac{1}{v_{(1+x)_1}} = 1,17 \text{ kg/m}^3$$

$$q_{m1} = \rho_1 * q_{v1} = 0,657 \text{ kg/s}$$

#### 4.4.2. Toplinsko stanje zraka 2

Toplinsko stanje zraka 2, određeno je pretpostavkom da zrak nakon isparivača se ohladi na temperaturu 0°C i ima relativnu vlažnost 90%.

$$\vartheta_2 = 0^\circ \text{C}$$

$$\varphi_2 = 0,9$$

$$x_2 = 0,622 \frac{\varphi_2 p_s(\vartheta_2)}{p - \varphi_2 p_s(\vartheta_2)} = 0,0034 \text{ kg/kg}$$

$$h_{(1+x)_2} = c_{pz} \vartheta_2 + x_2 (r_0 + c_{pd} \vartheta_2) = 8,482 \text{ kJ/kg}$$

$$(v_{1+x})_2 = 461,5 \frac{T_2}{p} (0,622 + x_2) = 0,778 \text{ m}^3/\text{kg}$$

#### 4.4.3. Toplinsko stanje zraka 3

Toplinsko stanje zraka 3 je stanje kojem na toplinsko stanje zraka 2 dodajemo transmisivske dobitke kroz stjenke vitrine, toplinu disanja robe, toplinske tokove od rada elektromotora, te toplinu koja se preda robi za njezino hlađenje.

$$\dot{\Phi}_3 = \dot{\Phi}_{tr} + \dot{\Phi}_d + \dot{\Phi}_r + \dot{\Phi}_{EM} = 2469,92 \text{ W}$$

$$h(1+x)_3 = \frac{\dot{\Phi}_3}{q_{m2}} + h(1+x)_2 = 11,9 \text{ kJ/kg}$$

$$x_3 = x_2 = 0,0034 \text{ kg/kg}$$

$$\vartheta_3 = \frac{h(1+x)_3 - r_0 * x_3}{c_{pz} + x_3 * c_{pd}} = 3,39^\circ \text{C}$$

#### 4.4.4. Toplinsko stanje zraka 4

Toplinsko stanje zraka može se definirati preko entalpije zraka stanja 2 kojem dodajemo ukupni rashladni učin od 3000 W.

$$h_{(1+x)_4} = \frac{\Phi_{hl}}{q_{muk}} + h_{(1+x)_2} = 13,05 \text{ kJ/kg}$$

Ostaje nepoznat udio miješanja zraka koji je prošao kroz vitrinu i udio svježeg zraka koji se propušta kroz zračnu zavjesu vitrine. Maseni udio svježeg zraka izračunava se pomoću poznatih entalpija prijašnjeg stanja zraka.

$$h(1+x)_4 = \frac{q_{mz3} * (h1+x)_3 + q_{mz1} * (h1+x)_1}{q_{mz3} + q_{mz1}}$$

$$q_{mu} = q_{mz1} + q_{mz3}$$

$$q_{mz3} = \frac{q_{mu}(h_{(1+x)_4} - h_{(1+x)_1})}{h_{(1+x)_3} - h_{(1+x)_1}} = 0,635 \text{ kg/s}$$

$$q_{mz1} = 0,021 \text{ kg/s}$$

Maseni udio svježeg zraka iznosi 3%, iz te vrijednosti možemo izračunati preostala toplinska svojstva zraka prije isparivača.

$$x_4 = \frac{0,9625 * q_{muk} * x_3 + 0,0375 * q_{muk} * x_1}{q_{muk}} = 0,0036 \text{ kg/kg}$$

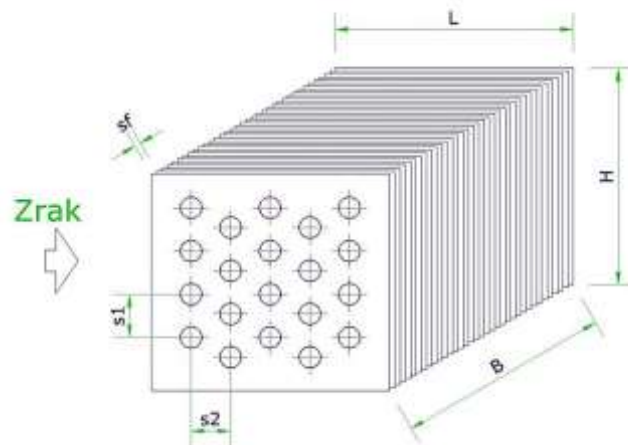
$$\vartheta_4 = \frac{h(1+x)_4 - r_0 * x_4}{c_{pz} + x_4 * cp_d} = 4,04 \text{ } ^\circ\text{C}$$

## 5. Proračun komponenata rashladnih vitrina

### 5.1. Proračun isparivača rashladne vitrine za piće

Proračun isparivača rashladne vitrine za piće s radnom tvari R134a.

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| $Q_e = 565,14 \text{ W}$              | - toplinsko opterećenje dobiveno proračunom    |
| $\vartheta_{a1} = 7,91^\circ\text{C}$ | - temperatura zraka na ulazu u isparivač       |
| $\vartheta_{a2} = 0^\circ\text{C}$    | - pretpostavljena temperatura nakon isparivača |
| $\vartheta_e = -7^\circ\text{C}$      | - temperatura isparavanja                      |
| $\vartheta_c = 43^\circ\text{C}$      | - izmjerena temperatura kondenzacije           |
| $d_e = 10,4 \text{ mm}$               | - vanjski promjer cijevi isparivača            |
| $d_i = 9,7 \text{ mm}$                | - unutarnji promjer cijevi isparivača          |
| $f_t = 0,12 \text{ mm}$               | - debljina lamela                              |
| $s_f = 2,8 \text{ mm}$                | - razmak između lamela                         |
| $i_r = 5$                             | - broj stupaca cijevi isparivača               |
| $i_t = 4$                             | - broj cijevi po stupcu                        |
| $i_{in} = 1$                          | - broj ulaznih cijevi                          |
| $s_1 = 25 \text{ mm}$                 | - vertikalni razmak cijevi                     |
| $s_2 = 22 \text{ mm}$                 | - horizontalni razmak cijevi                   |



Slika 5. Skica presjeka isparivača

Vanjska površina cijevi za duljinu cijevi od 1 m.

$$A_{mt} = \pi * d_e * \left(1 - \frac{f_t}{s_f}\right) = 0,03127 \text{ m}^2/\text{m}$$

Površina lamela za duljinu cijevi od 1m.

$$A_f = 2 * \frac{s_1 * s_2 - \pi * \frac{d_e^2}{4}}{s_f} = 0,3868 \text{ m}^2/\text{m}$$

Površina prolaza topline za 1m cijevi

$$A_{e1} = A_{mt} + A_f = 0,418 \text{ m}^2/\text{m}$$

Unutarnja površina prijelaza topline za 1 m cijevi.

$$A_{i1} = \pi * d_i = 0,03047 \text{ m}^2/\text{m}$$

Omjer unutarnje i vanjske površine prijelaza topline

$$\beta = \frac{A_{e1}}{A_{i1}} = 13,72$$

Visina izmjenjivača topline

$$H = i_t * s_1 = 0,1 \text{ m}$$

Širina izmjenjivača topline

$$L = i_r * s_2 = 0,11 \text{ m}$$

Srednja logaritamska temperaturna razlika

$$\Delta\vartheta_m = \frac{\vartheta_{a1} - \vartheta_{a2}}{\ln \frac{\vartheta_{a1} - \vartheta_e}{\vartheta_{a2} - \vartheta_e}} = 10,46 \text{ }^\circ\text{C}$$

Srednja temperatura zraka

$$\vartheta_{am} = \vartheta_e + \Delta\vartheta_m = 3,46 \text{ }^\circ\text{C}$$

Termodinamičke karakteristike suhog zraka pri  $\vartheta_{am}$

$$\rho_a = 1,246 \text{ kg/m}^3$$

$$c_a = 1005 \text{ J/kg}$$

$$\nu_a = 1,397 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

Stanje zraka na ulazu u isparivač

$$h_{(1+x)1} = 19,99 \text{ kJ/kg}$$

$$x_1 = 0,00473 \text{ kg/kg}$$

Prijelaz topline na strani radne tvari

$h'c = 190,665 \text{ kJ/kg}$  - specifična entalpija vrele kapljevine pri temperaturi isparavanja

$h''e = 394,465 \text{ kJ/kg}$  - specifična entalpija suhozasićene pare pri temperaturi isparavanja

Maseni protok radne tvari

$$\dot{m}_R = \frac{Q_e}{(h''_e - h'_c)} = 0,00274 \text{ [kg/s]}$$

Gustoća masenog toka

$$G = \frac{m_R}{i_{in} * \pi * \frac{d_i^2}{4}} = 37,074 \text{ kg/(m}^2\text{s)}$$

Koeficijent prijelaza topline na strani radne tvari je procijenjen prema jednadžbi

$$\alpha_R = C \frac{G^{0,1} * q_i^{0,7}}{d_i^{0,5}}$$

$q_i = 3125 \text{ W/m}^2$  - pretpostavka toplinskog toka

$C(7^\circ\text{C}) = 0,1576$  - prema tablici 7-1 Ciconkov

$$\alpha_R = 0,1576 \frac{37,074^{0,1} * 3150^{0,7}}{0,0097^{0,5}} = 641,89 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Faktor onečišćenja na strani zraka "fouling factor"

$$R_0 = 0,0005 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Faktor onečišćenja na strani radne tvari

$$R_i = 0 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Toplinski otpor stijenke cijevi

$\delta_t = 0,35 \text{ mm}$  - debljina stijenke cijevi

$\lambda_t = 370 \text{ W/(m K)}$  - toplinska vodljivost bakra

$$R_t = \frac{\delta_t}{\lambda_t} = 9,46 * 10^{-7} \text{ m}^2\text{K/W}$$

Specifični prijelaz topline povezan je sa unutarnjom površinom prijelaza topline

$$q_i = \alpha_r (\vartheta_{si} - \vartheta_e)$$

Potrebno je izračunati prosječnu temperaturu vanjske stijenke cijevi koja se određuje sljedećom jednadžbom



$$q_i = \frac{\vartheta_s - \vartheta_e}{\frac{1}{\alpha_R} + R_i + R_t \frac{d_i}{d_m} + R_0 \frac{1}{\beta}}$$

$$\vartheta_s = \vartheta_e + \left( \frac{1}{\alpha_R} + R_i + R_t \frac{d_i}{d_m} + R_0 \frac{1}{\beta} \right) q_i = -2,01 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Parametri zraka pri temperaturi  $\vartheta_s$  i 100% relativne vlažnosti

$$h_s = 6,3536 \text{ kJ/kg}$$

$$x_s = 3,2817 \text{ g/kg}$$

iz čega možemo dobiti izlazne parametre zraka

$$x_2 = x_1 - (x_1 - x_s) * (\vartheta_1 - \vartheta_2) / (\vartheta_1 - \vartheta_s)$$

Pri čemu je  $\vartheta_{a1} = \vartheta_1$ , a  $\vartheta_{a2} = \vartheta_2$

$$x_2 = 0,00358 \text{ kg/kg}$$

$$h_2 = 1,005 * \vartheta_2 + x_2 * (2501 + 1,863 * \vartheta_2) = 8,495 \text{ kJ/kg}$$

Površina prijelaza topline

$$A_i = \frac{Q_e}{q_i} = 0,179 \text{ m}^2$$

Ukupna duljina cijevi

$$L_{ov} = \frac{A_i}{A_{i1}} = 5,86 \text{ m}$$

Duljina cijevi u jednom redu

$$L_1 = \frac{L_{ov}}{i_r} = 1,173 \text{ m}$$

Širina izmjenjivača topline

$$B = \frac{L_1}{i_t} = 0,293 \text{ m}$$

Maseni protok zraka

$$\dot{m}_a = \frac{Q_e}{h_1 - h_2} = 0,05055 \text{ kg/s}$$

Volumni protok zraka

$$\dot{V}_a = \dot{m}_a * v_1 = 0,0411 \text{ m}^3/\text{s}$$

površina u prostoru između cijevi i lamela gdje zrak prolazi

$$A_z = L_1(s_1 - d_e) * \left(1 - \frac{f_t}{s_f}\right) = 0,0164 \text{ m}^2$$

Brzina zraka u najmanjem presjeku

$$w = \frac{\dot{V}_a}{A_z} = 2,51 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Nusseltov broj

$$Nu = C_1 * Re^n * (L/d_{ekv})^m$$

Ova jednadžba je važeća uz zadovoljene sljedeće uvijete:

$$Re = 500 \div 10000$$

$$d_e = (9 \div 16) \text{ mm}$$

$$\frac{s_f}{d_e} = 0,18 \div 0,35$$

$$\frac{s_1}{d_e} = 2 \div 5$$

$$L/d_{eqv} = 4 \div 50$$

$$d_{eqv} = \frac{2(s_1 - d_e)(s_f - f_t)}{s_1 - d_e + s_f - f_t} = 0,004529 \text{ m}$$

Reynoldsov broj (jedm. 6-92)

$$Re = w * \frac{d_{eqv}}{v_a} = 812,97$$

EkspONENTI "n" i "m"

$$n = 0,45 + 0,0066 * \left(\frac{L}{d_{eqv}}\right) = 0,6103$$

$$m = -0,28 + 0,08 * \left(\frac{Re}{1000}\right) = -0,215$$

Koeficijent  $C_{1A}$  ovisi od omjera  $L/d_{eqv}$

|              |       |       |       |       |      |        |
|--------------|-------|-------|-------|-------|------|--------|
| L/ $d_{eqv}$ | 5     | 10    | 20    | 30    | 40   | 50     |
| $C_{1A}$     | 0,412 | 0,326 | 0,201 | 0,125 | 0,08 | 0,0475 |

$$\frac{L}{d_{eqv}} = 24,29$$

$$C_{1A} = 0,1684$$

$$C_{1B} = 1,36 - 0,24 * \left(\frac{Re}{1000}\right) = 1,165$$

$$C_1 = C_{1A} * C_{1B} = 0,1962$$

$$Nu = 5,9$$

Koeficijent prijelaza topline na strani zraka

$$\alpha_a = Nu * \lambda_a / d_{eqv}$$

$$\vartheta_{am} = 3,46 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\lambda_a(\vartheta_{am}) = 0,02432 \frac{W}{mK}$$

$$\alpha_a = 31,69 \text{ W}/(m^2/K)$$

Vrijednost koeficijenta prijelaza topline uvećavamo za 10% zbog poredanosti cijevi u stupce.

$$\alpha_a = 34,86 \text{ W}/(m^2/K)$$

Budući da je veličina  $x_2 < x_1$ , vanjska površina izmjenjivača topline je mokra, pa je izmjena topline intenzivnija, te se izražava koeficijentom  $\xi_w$

$$\xi_w = 1 + 2500 * \frac{x_1 - x_s}{\vartheta_1 - \vartheta_s} = 1,366$$

$$\alpha_{aw} = \xi_w * \alpha_a = 47,62 \text{ W}/(m^2K)$$

Koeficijent prijelaza topline vezan na unutarnji promjer cijevi

$$\alpha_{ai} = \alpha_{aw} * (A_f * E * C_k + A_{mt}) / A_{i1}$$

Koeficijent  $C_k$  predstavlja koeficijent otpora spoja između cijevi i lamela. U idealno slučaju  $C_k = 1$ , u ovom primjeru ćemo također uzeti  $C_k = 1$

Efikasnost lamele

$$E = th(m_f * h_f) / (m_f * h_f)$$

$$m_f = \sqrt{\frac{2 * \alpha_{aw}}{f_t * \lambda_f}}$$

$$\lambda_f = 209 \text{ W/(m K)} \quad \text{-toplinska provodnost lamela}$$

$$m_f = 61,62 \text{ l/m}$$

Proračunska visina lamele

$$h_f = 0,5 * d_e * (\rho_f - 1)(1 + 0,35 \ln \rho_f)$$

Za lamele poredane u stupce i uvjet  $s_1/2 < s_2$

$$\rho_f = 1,27(B_f/d_e) * \sqrt{\frac{A_f}{B_f}} - 0,3$$

$$A_f = s_1 = 0,025 \text{ m}$$

$$B_f = \sqrt{(s_1/2)^2 + s_2^2} = 0,02795 \text{ m}$$

$$\rho_f = 2,6316$$

$$h_f = 0,01136 \text{ m}$$

$$E = 0,863$$

$$\alpha_{ai} = 570,72 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

ukupni koeficijent prolaza topline sveden na unutarnju stjenku cijevi

$$k_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ai}} + R_o \frac{1}{\beta} + R_t \frac{d_i}{d_m} + R_i + \frac{1}{\alpha_R}} = 298,74 \text{ W/(m}^2 \text{K)}$$

Specifični toplinski tok

$$q_i = k_i * \Delta \vartheta_m = 3125,17 \text{ W/m}^2 \text{ što odgovara prvotnoj pretpostavci od } 3125 \text{ W/m}^2$$

Konačna vrijednost unutarnje površine stjenke cijevi za izmjenu topline

$$A_i = \frac{Q_e}{q_i} = 0,179 \text{ m}^2$$

Konačni rezultati svedeni na vanjsku površinu cijevi

$$k_e = \frac{k_i}{\beta} = 21,78 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Vanjska površina izmjene topline

$$A_e = A_i * \beta = 2,45 \text{ m}^2$$

$$B = 0,293 \text{ m}^2$$

Ulazna brzina zraka

$$w_f = \dot{V}_a * \left(\frac{B}{H}\right) = 0,12 \text{ m/s}$$

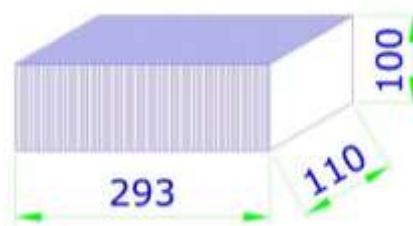
Pad tlaka zraka

Za izmjenjivač sa cijevima postavljenim u stupce

$$\Delta p = 0,233 * i_r * [s_2/(s_f - f_t)]^{0,42} * (w * \rho_a)^{1,8} = 21,92 \text{ Pa}$$

Ukupne dimenzije isparivača

**LxBxH=110x293x100 mm**



Slika 6. Skica dimenzija isparivača vitrine za piće

## 5.2. Proračun isparivača rashladne vitrine za voće i povrće

Proračun isparivača, rashladne vitrine za voće i povrće s radnom tvari R404a

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| $Q_e = 1500 \text{ W}$             | - toplinsko opterećenje dobiveno proračunom    |
| $\vartheta_{a1} = 4^\circ\text{C}$ | - temperatura zraka na ulazu u isparivač       |
| $\vartheta_{a2} = 0^\circ\text{C}$ | - pretpostavljena temperatura nakon isparivača |
| $\vartheta_e = -7^\circ\text{C}$   | - temperatura isparavanja                      |
| $\vartheta_c = 34^\circ\text{C}$   | - pretpostavljena temperatura kondenzacije     |
| $d_e = 12 \text{ mm}$              | - vanjski promjer cijevi isparivača            |
| $d_i = 11,3 \text{ mm}$            | - unutarnji promjer cijevi isparivača          |
| $f_t = 0,12 \text{ mm}$            | - debljina lamela                              |
| $s_f = 4,2 \text{ mm}$             | - razmak između lamela                         |
| $i_r = 10$                         | - broj stupaca cijevi isparivača               |
| $i_t = 4$                          | - broj cijevi po stupcu                        |
| $i_{in} = 1$                       | - broj ulaznih cijevi                          |
| $s_1 = 32 \text{ mm}$              | - vertikalni razmak cijevi                     |
| $s_2 = 28 \text{ mm}$              | - horizontalni razmak cijevi                   |

Vanjska površina cijevi za duljinu cijevi od 1 m.

$$A_{mt} = \pi * d_e * \left(1 - \frac{f_t}{s_f}\right) = 0,0366 \text{ m}^2/\text{m}$$

Površina lamela za duljinu cijevi od 1m.

$$A_f = 2 * \frac{s_1 * s_2 - \pi * \frac{d_e^2}{4}}{s_f} = 0,373 \text{ m}^2/\text{m}$$

Površina prolaza topline za 1m cijevi

$$A_{e1} = A_{mt} + A_f = 0,409 \text{ m}^2/\text{m}$$

Unutarnja površina prijelaza topline za 1m cijevi.

$$A_{i1} = \pi * d_i = 0,0355 \text{ m}^2/\text{m}$$

Omjer unutarnje i vanjske površine prijelaza topline

$$\beta = \frac{A_{e1}}{A_{i1}} = 11,53$$

Visina izmjenjivača topline

$$H = i_t * s_1 = 0,128 \text{ m}$$

Širina izmjenjivača topline

$$L = i_r * s_2 = 0,224 \text{ m}$$

Srednja logaritamska temperaturna razlika

$$\Delta\vartheta_m = \frac{\vartheta_{a1} - \vartheta_{a2}}{\ln \frac{\vartheta_{a1} - \vartheta_e}{\vartheta_{a2} - \vartheta_e}} = 8,85 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Srednja temperatura zraka

$$\vartheta_{am} = \vartheta_e + \Delta\vartheta_m = 1,85 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Termodinamičke karakteristike suhog zraka pri  $\vartheta_{am}$

$$\rho_a = 1,239 \text{ kg/m}^3$$

$$c_a = 1005 \text{ J/kg}$$

$$\nu_a = 1,399 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

Stanje zraka na ulazu u isparivač

$$h_{(1+x)1} = 13,05 \text{ kJ/kg}$$

$$x_1 = 0,00361 \text{ kg/kg}$$

Prijelaz topline na strani radne tvari

$$h'c = 190,366 \text{ kJ/kg} \quad - \text{ specifična entalpija vrele kapljevine pri temperaturi isparavanja}$$

$$h''e = 362,24 \text{ kJ/kg} \quad - \text{ specifična entalpija suhozasićene pare pri temperaturi isparavanja}$$

Maseni protok radne tvari

$$\dot{m}_R = \frac{Q_e}{(h''e - h'c)} = 0,00873 \text{ [kg/s]}$$

Gustoća masenog toka

$$G = \frac{\dot{m}_R}{i_{in} * \pi * \frac{d_i^2}{4}} = 87,02 \text{ kg(m}^2\text{s)}$$

Koeficijent prijelaza topline na strani radne tvari je procijenjen prema jednadžbi

$$\alpha_R = C \frac{G^{0,1} * q_i^{0,7}}{d_i^{0,5}}$$

$$q_i = 825 \text{ W/m}^2 \quad - \text{ pretpostavka toplinskog toka}$$

$C(7^{\circ}C) = 0,1773$  - prema tablici 7-1 Ciconkov

$$\alpha_R = 0,1576 \frac{37,074^{0,1} * 3150^{0,7}}{0,0097^{0,5}} = 286,85 \text{ W}/(m^2K)$$

Faktor onečišćenja na strani zraka "fouling factor"

$$R_0 = 0,0005 m^2K/W$$

Faktor onečišćenja na strani radne tvari

$$R_i = 0 \text{ m}^2K/W$$

Toplinski otpor stijenke cijevi

$$\delta_t = 0,35 \text{ mm} \quad - \text{ debljina stijenke cijevi}$$

$$\lambda_t = 370 \text{ W}/(m K) \quad - \text{ toplinska vodljivost bakra}$$

$$R_t = \frac{\delta_t}{\lambda_t} = 9,46 * 10^{-7} m^2K/W$$

Specifični prijelaz topline povezan je sa unutarnjom površinom prijelaza topline

$$q_i = \alpha_r (\vartheta_{si} - \vartheta_e)$$

Potrebno je izračunati prosječnu temperaturu vanjske stijenke cijevi koja se određuje sljedećom formulom

$$q_i = \frac{\vartheta_s - \vartheta_e}{\frac{1}{\alpha_R} + R_i + R_t \frac{d_i}{d_m} + R_0 \frac{1}{\beta}}$$

$$\vartheta_s = \vartheta_e + \left( \frac{1}{\alpha_R} + R_i + R_t \frac{d_i}{d_m} + R_0 \frac{1}{\beta} \right) q_i = -4,12 \text{ }^{\circ}C$$

Parametri zraka pri temperaturi  $\vartheta_s$  i 100% relativne vlažnosti

$$h_s = 2,59 \text{ kJ}/kg$$

$$x_s = 2,702 \text{ g}/kg$$

iz čega možemo dobiti izlazne parametre zraka

$$x_2 = x_1 - (x_1 - x_s) * (\vartheta_1 - \vartheta_2) / (\vartheta_1 - \vartheta_s)$$

Pri čemu je  $\vartheta_{a1} = \vartheta_1$ , a  $\vartheta_{a2} = \vartheta_2$

$$x_2 = 0,003165 \text{ kg}/kg$$



$$h_2 = 1,005 * \vartheta_2 + x_2 * (2501 + 1,863 * \vartheta_2) = 3,747 \text{ kJ/kg}$$

Površina prijelaza topline

$$A_i = \frac{Q_e}{q_i} = 1,82 \text{ m}^2$$

Ukupna duljina cijevi

$$L_{ov} = \frac{A_i}{A_{i1}} = 51,22 \text{ m}$$

Duljina cijevi u jednom redu

$$L_1 = \frac{L_{ov}}{i_r} = 6,4 \text{ m}$$

Širina izmjenjivača topline

$$B = \frac{L_1}{i_t} = 1,601 \text{ m}$$

Maseni protok zraka

$$\dot{m}_a = \frac{Q_e}{h_1 - h_2} = 0,161 \text{ kg/s}$$

Volumni protok zraka

$$\dot{V}_a = \dot{m}_a * v_1 = 0,129 \text{ m}^3/\text{s}$$

površina u prostoru između cijevi i lamela gdje zrak prolazi

$$A_z = L_1(s_1 - d_e) * \left(1 - \frac{f_t}{s_f}\right) = 0,1244 \text{ m}^2$$

Brzina zraka u najmanjem presjeku

$$w = \frac{\dot{V}_a}{A_z} = 1,04 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Nusseltov broj

$$Nu = C_1 * Re^n * (L/d_{ekv})^m$$

Ova jednadžba je važeća uz zadovoljene sljedeće uvijete:

$$Re = 500 \div 10000$$

$$d_e = (9 \div 16)mm$$

$$\frac{s_f}{d_e} = 0,18 \div 0,35$$

$$\frac{s_1}{d_e} = 2 \div 5$$

$$L/d_{eqv} = 4 \div 50$$

$$d_{eqv} = \frac{2(s_1 - d_e)(s_f - f_t)}{s_1 - d_e + s_f - f_t} = 0,00678 m$$

Reynoldsov broj (jedn. 6-92)

$$Re = w * \frac{d_{eqv}}{v_a} = 502,55$$

Eksponenti "n" i "m"

$$n = 0,45 + 0,0066 * \left( \frac{L}{d_{eqv}} \right) = 0,668$$

$$m = -0,28 + 0,08 * \left( \frac{Re}{1000} \right) = -0,24$$

Koeficijent  $C_{1A}$  ovisi od omjera  $L/deqv$

|          |       |       |       |       |      |        |
|----------|-------|-------|-------|-------|------|--------|
| L/deqv   | 5     | 10    | 20    | 30    | 40   | 50     |
| $C_{1A}$ | 0,412 | 0,326 | 0,201 | 0,125 | 0,08 | 0,0475 |

$$\frac{L}{d_{eqv}} = 33,05$$

$$C_{1A} = 0,0937$$

$$C_{1B} = 1,36 - 0,24 * \left( \frac{Re}{1000} \right) = 1,24$$

$$C_1 = C_{1A} * C_{1B} = 0,1162$$

$$Nu = 3,2$$

Koeficijent prijelaza topline na strani zraka

$$\alpha_a = Nu * \lambda_a / d_{eqv}$$

$$\vartheta_{am} = 1,85 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\lambda_a(\vartheta_{am}) = 0,0242 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$\alpha_a = 11,44 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{K})$$

Vrijednost koeficijenta prijelaza topline uvećavamo za 10% zbog poredanosti cijevi u stupce.

$$\alpha_a = 12,58 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{K})$$

Budući da je veličina  $x_2 < x_1$ , vanjska površina izmjenjivača topline je mokra, pa je izmjena topline intenzivnija, te se izražava koeficijentom  $\xi_w$

$$\xi_w = 1 + 2500 * \frac{x_1 - x_s}{\vartheta_1 - \vartheta_s} = 1,281$$

$$\alpha_{aw} = \xi_w * \alpha_a = 16,11 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Koeficijent prijelaza topline vezan na unutarnji promjer cijevi

$$\alpha_{ai} = \alpha_{aw} * (A_f * E * C_k + A_{mt}) / A_{i1}$$

Koeficijent  $C_k$  predstavlja koeficijent otpora spoja između cijevi i lamela. U idealnom slučaju  $C_k = 1$ , u ovom primjeru ćemo također uzeti  $C_k = 1$

Efikasnost lamele

$$E = th(m_f * h_f) / (m_f * h_f)$$

$$m_f = \sqrt{\frac{2 * \alpha_{aw}}{f_t * \lambda_f}}$$

$$\lambda_f = 209 \text{ W}/(\text{mK}) \quad \text{-toplinska provodnost lamela}$$

$$m_f = 35,85 \text{ l}/\text{m}$$

Proračunska visina lamele

$$h_f = 0,5 * d_e * (\rho_f - 1)(1 + 0,35 \ln \rho_f)$$

Za lamele poredane u stupce i uvjet  $s_1/2 < s_2$

$$\rho_f = 1,27(B_f/d_e) * \sqrt{\frac{A_f}{B_f}} - 0,3$$

$$A_f = s_1 = 0,025 \text{ m}$$

$$B_f = \sqrt{(s_1/2)^2 + s_2^2} = 0,03225 \text{ m}$$

$$\rho_f = 2,84$$

$$h_f = 0,01507 \text{ m}$$

$$E = 0,913$$

$$\alpha_{ai} = 171,1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

ukupni koeficijent prolaza topline sveden na unutarnju stjenku cijevi

$$k_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ai}} + R_o \frac{1}{\beta} + R_t \frac{d_i}{d_m} + R_i + \frac{1}{\alpha_R}} = 93,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Specifični toplinski tok

$$q_i = k_i * \Delta\vartheta_m = 825,14 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ što odgovara prvotnoj pretpostavci od } 825 \text{ W}/\text{m}^2$$

Konačna vrijednost unutarnje površine stjenke cijevi za izmjenu topline

$$A_i = \frac{Q_e}{q_i} = 1,82 \text{ m}^2$$

Konačni rezultati svedeni na vanjsku površinu cijevi

$$k_e = \frac{k_i}{\beta} = 8,08 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Vanjska površina izmjene topline

$$A_e = A_i * \beta = 20,97 \text{ m}^2$$

$$B = 1,6 \text{ m}^2$$

Ulazna brzina zraka

$$w_f = \dot{V}_a * \left(\frac{B}{H}\right) = 1,61 \text{ m}/\text{s}$$

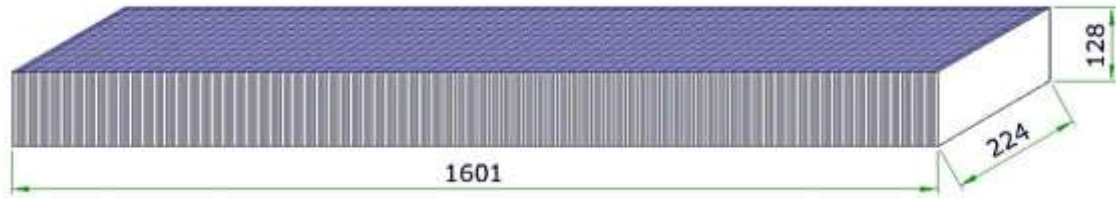
Pad tlaka zraka

Za izmjenjivač sa cijevima postavljenim u stupce

$$\Delta p = 0,233 * i_r * [s_2 / (s_f - f_t)]^{0,42} * (w * \rho_a)^{1,8} = 6,57 Pa$$

Ukupne dimenzije isparivača

**LxBxH=224x1601x128 mm**



**Slika 7. Skica dimenzija isparivača vitrine za voće i povrće**

### 5.3. Proračun kondenzatora rashladne vitrine za piće

Proračun zračnog kondenzatora vitrine za piće

|  |  |
|--|--|
| $Q_c = 1000 \text{ W}$                         | - toplinsko opterećenje                          |
| $\vartheta_1 = 25^\circ\text{C}$               | - temperatura zraka na ulazu u kondenzator       |
| $\vartheta_c = 43^\circ\text{C}$               | - temperatura kondenzacije dobivena ispitivanjem |
| $\vartheta_c - \vartheta_1 = 18^\circ\text{C}$ | - temperaturna razlika                           |
| $\vartheta_2 - \vartheta_1 = 7^\circ\text{C}$  | - temperaturna razlika na strani zraka           |
| $\vartheta_2 = 33^\circ\text{C}$               | - temperatura izlaznog zraka                     |
| $d_e = 9,52 \text{ mm}$                        | - vanjski promjer cijevi isparivača              |
| $d_i = 8,82 \text{ mm}$                        | - unutarnji promjer cijevi isparivača            |
| $f_t = 0,12 \text{ mm}$                        | - debljina lamela                                |
| $s_f = 3,6 \text{ mm}$                         | - razmak između lamela                           |
| $i_r = 10$                                     | - broj stupaca cijevi isparivača                 |
| $i_t = 3$                                      | - broj cijevi po stupcu                          |
| $i_{in} = 1$                                   | - broj ulaznih cijevi                            |
| $s_1 = 21,65 \text{ mm}$                       | - vertikalni razmak cijevi                       |
| $s_2 = 25 \text{ mm}$                          | - horizontalni razmak cijevi                     |

Srednja logaritamska temperaturna razlika

$$\Delta\vartheta_m = \frac{\vartheta_2 - \vartheta_1}{\ln \frac{\vartheta_c - \vartheta_1}{\vartheta_c - \vartheta_2}} = 14,21 \text{ }^\circ\text{C}$$

Srednja temperatura zraka

$$\vartheta_m = \vartheta_c - \Delta\vartheta_m = 28,79^\circ\text{C}$$

Termodinamičke karakteristike suhog zraka pri  $\vartheta_m$

$$\rho_a = 1,184 \text{ kg/m}^3$$

$$c_a = 1005 \text{ J/kg}$$

$$\nu_a = 1,492 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

Maseni protok zraka kroz kondenzator

$$\dot{m}_a = \frac{Q_c}{c_a(\vartheta_2 - \vartheta_1)} = 0,142 \text{ kg/s}$$

Volumni protok zraka kroz kondenzator

$$\dot{V}_a = \frac{\dot{m}_a}{\rho_a} = 0,12 \text{ m}^3/\text{s}$$

Vanjska površina cijevi za duljinu cijevi od 1 m.

$$A_{mt} = \pi * d_e * \left(1 - \frac{f_t}{s_f}\right) = 0,0289 \text{ m}^2/\text{m}$$

Površina lamela za duljinu cijevi od 1m.

$$A_f = 2 * \frac{s_1 * s_2 - \pi * \frac{d_e^2}{4}}{s_f} = 0,261 \text{ m}^2/\text{m}$$

Površina prolaza topline za 1m cijevi

$$A_{e1} = A_{mt} + A_f = 0,29 \text{ m}^2/\text{m}$$

Unutarnja površina prijelaza topline za 1m cijevi.

$$A_{i1} = \pi * d_i = 0,0277 \text{ m}^2/\text{m}$$

Omjer unutarnje i vanjske površine prijelaza topline

$$\beta = \frac{A_{e1}}{A_{i1}} = 10,47$$

Visina izmjenjivača topline

$$H = i_t * s_1 = 0,2165 \text{ m}$$

Širina izmjenjivača topline

$$L = i_r * s_2 = 0,075 \text{ m}$$

Toplinska svojstva suhozasićene pare pri  $\vartheta_c=43^\circ\text{C}$

$$\rho_l = 1133,85 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$c_l = 1516,5 \text{ J}/\text{kgK}$$

$$\lambda_l = 0,07345 \text{ W}/(\text{mK})$$

Toplinska svojstva vrele kapljevine pri  $\vartheta_c=43^\circ\text{C}$

$$\rho_v = 54,63 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$c_v = 1172,5 \text{ J}/\text{kgK}$$

$$\lambda_v = 0,0158 \text{ W}/(\text{m K})$$

$$h_l = 159,775 \text{ kJ}/\text{kg}$$

Maseni protok radne tvari povećava se za faktor 1,1 zbog pregrijanja radne tvari.

$$\dot{m}_R = \frac{Q_e}{(1,1 * h_l)} = 0,00569 \text{ kg/s}$$

Gustoća masenog toka

$$G = \frac{m_R}{i_{in} * \pi * \frac{d_i^2}{4}} = 93,13 \text{ kg/(m}^2\text{s)}$$

Kako bi se odredio koeficijent prolaza topline potrebno je znati brzine s obje strane stjenke, zbog toga se pretpostavlja koeficijent prolaza topline

$$k_e = 40,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Specifični toplinski tok sveden na vanjsku površinu prolaza topline

$$q_e = k_e * \Delta\vartheta_m = 574,24 \text{ W/m}^2$$

Specifični toplinski tok sveden na unutarnju površinu prolaza topline

$$q_i = q_e * \beta = 6011,22 \text{ W/m}^2$$

Površina prijelaza topline

$$A_i = \frac{Q_c}{q_i} = 0,1664 \text{ m}^2$$

Ukupna duljina cijevi

$$L_{ov} = \frac{A_i}{A_{i1}} = 6,004 \text{ m}$$

Duljina cijevi u jednom redu

$$L_1 = \frac{L_{ov}}{i_r} = 2 \text{ m}$$

Širina kondenzatora

$$B = \frac{L_1}{i_t} = 0,2 \text{ m}$$

Najmanja površina u prostoru između cijevi i lamela gdje zrak prolazi

$$A_z = L_1(s_1 - d_e) * \left(1 - \frac{f_t}{s_f}\right) = 0,0235 \text{ m}^2$$

Brzina kroz najmanji presjek



$$w = V_a / A_z = 5,12 \text{ m/s}$$

Koeficijent prijelaza topline na strani zraka

$$Nu = C_1 * Re^n * (L/d_{ekv})^m$$

Ova jednadžba je važeća uz zadovoljene sljedeće uvijete:

$$Re = 500 \div 10000$$

$$d_e = (9 \div 16) \text{ mm}$$

$$\frac{s_f}{d_e} = 0,18 \div 0,35$$

$$\frac{s_1}{d_e} = 2 \div 5$$

$$L/d_{eqv} = 4 \div 50$$

$$d_{eqv} = \frac{2(s_1 - d_e)(s_f - f_t)}{s_1 - d_e + s_f - f_t} = 0,00541 \text{ m}$$

Reynoldsov broj

$$Re = w * \frac{d_{eqv}}{v_a} = 1854,67$$

Eksponenti "n" i "m"

$$n = 0,45 + 0,0066 * \left( \frac{L}{d_{eqv}} \right) = 0,542$$

$$m = -0,28 + 0,08 * \left( \frac{Re}{1000} \right) = -0,1312$$

Koeficijent  $C_{1A}$  ovisi od omjera  $L/d_{eqv}$

|          |       |       |       |       |      |        |
|----------|-------|-------|-------|-------|------|--------|
| L/deqv   | 5     | 10    | 20    | 30    | 40   | 50     |
| $C_{1A}$ | 0,412 | 0,326 | 0,201 | 0,125 | 0,08 | 0,0475 |

$$\frac{L}{d_{eqv}} = 13,87$$

$$C_{1A} = 0,278$$

$$C_{1B} = 1,36 - 0,24 * \left( \frac{Re}{1000} \right) = 0,915$$

$$C_1 = C_{1A} * C_{1B} = 0,254$$

$$Nu = 10,58$$

Koeficijent prijelaza topline na strani zraka

$$\alpha_a = Nu * \lambda_a / d_{eqv}$$

$$\lambda_a = 0,0262 \frac{W}{mK}$$

$$\alpha_a = 51,26 W/(m^2/K)$$

Vrijednost koeficijenta prijelaza topline uvećavamo za 10% zbog poredanosti cijevi u stupce.

$$\alpha_a = 56,39 W/(m^2/K)$$

Koeficijent prijelaza topline vezan na unutarnji promjer cijevi

$$\alpha_{ai} = \alpha_{aw} * (A_f * E * C_k + A_{mt}) / A_{i1}$$

Koeficijent Ck predstavlja koeficijent otpora spoja između cijevi i lamela. U idealnom slučaju Ck= 1, u ovom primjeru ćemo također uzeti Ck=0,99

Efikasnost lamele

$$E = th(m_f * h_f) / (m_f * h_f)$$

$$m_f = \sqrt{\frac{2 * \alpha_{aw}}{f_t * \lambda_f}}$$

$$\lambda_f = 209 W/(m K) \quad \text{-toplinska provodnost lamela}$$

$$m_f = 67,06 l/m$$

Proračunska visina lamele

$$h_f = 0,5 * d_e * (\rho_f - 1)(1 + 0,35 \ln \rho_f)$$

Za lamele poredane u stupce i uvjet  $s_1/2 < s_2$

$$\rho_f = 1,27(B_f/d_e) * \sqrt{\frac{A_f}{B_f}} - 0,3$$

$$A_f = s_1 = 0,02165 m$$

$$B_f = \sqrt{(s_1/2)^2 + s_2^2} = 0,0272 \text{ m}$$

$$\rho_f = 2,56$$

$$h_f = 0,00984 \text{ m}$$

$$E = 0,876$$

$$\alpha_{ai} = 519,89 \frac{W}{m^2K}$$

Prijelaz topline na strani radne tvari pri kondenzaciji u cijevi  
Prandtllov broj za suhozasićenu paru

$$Pr_l = c_l * \eta_l / \lambda_l$$

$$\eta_l(43^\circ C) = 0,00157196$$

$$Pr_l = 32,446$$

Reynoldsov broj za suhozasićenu paru

$$Re_l = \frac{w_1 * d_1}{v_l} = \frac{G * d_i}{\eta_l} = 522,514$$

Za vrijednosti  $Re_l < 5000$  vrijede sljedeće jednadžbe

$$Re_l \left( \frac{\rho_l}{\rho_v} \right)^{0,5} = 2380,49$$

$$Nu = 13,8 * Pr_l^{\frac{1}{3}} \left( \frac{h_l}{c_1 * \Delta\vartheta} \right)^{\frac{1}{6}} [Re_l \left( \frac{\rho_l}{\rho_v} \right)^{0,5}]^{0,2} = 291,06$$

$$\alpha_R = Nu * \frac{\lambda_l}{d_i} = 2423,77 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Toplinski otpori od strane zraka prema radnoj tvari  
Toplinski otpor cijevi

$$R_t = \delta_1 / \lambda_1$$

$$\lambda_f = 370 \text{ W/(mK)}$$

$$R_t = \frac{\delta_t}{\lambda_t} = 9,46 * 10^{-7} \text{ m}^2\text{K/W}$$

Toplinski otpor od zaprljanja cijevi

$$R_0 = 0,0003 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Ukupni koeficijent prolaza topline vezan na unutarnju stjenku cijevi

$$k_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ai}} + R_0 \frac{1}{\beta} + R_t \frac{d_i}{d_m} + R_i + \frac{1}{\alpha_R}} = 422,72 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$$

Ukupni prijelaz topline vezan na vanjsku stjenku cijevi

$$k_e = \frac{k_i}{\beta} = 40,38 \text{ W/(m}^2 \text{ K)} - \text{rezultat odgovara početnoj pretpostavci } 40,4 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$$

Vanjska površina izmjene topline

$$A_e = A_i * \beta = 1,74 \text{ m}^2$$

Brzina nstrujavanja zraka

$$w_f = \dot{V}_a * \left(\frac{B}{H}\right) = 0,111 \text{ m/s}$$

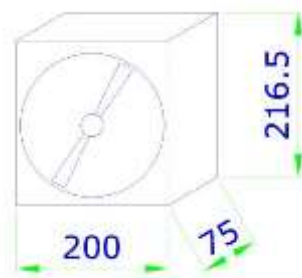
Pad tlaka zraka

Za izmjenjivač sa cijevima postavljenim u stupce

$$\Delta p = 0,233 * i_r * [s_2 / (s_f - f_t)]^{0,42} * (w * \rho_a)^{1,8} = 40,95 \text{ Pa}$$

Ukupne dimenzije kondenzatora

**LxBxH=75x200x216,5 mm**



**Slika 8. Skica dimenzija kondenzatora vitrine za piće**

#### 5.4. Proračun kondenzatora rashladne vitrine za voće i povrće

Proračun zračnog kondenzatora vitrine za voće i povrće

|  |  |
|--|--|
| $Q_c = 2400 \text{ W}$                         | - toplinsko opterećenje                          |
| $\vartheta_1 = 24^\circ\text{C}$               | - temperatura zraka na ulazu u kondenzator       |
| $\vartheta_c = 34^\circ\text{C}$               | - temperatura kondenzacije dobivena ispitivanjem |
| $\vartheta_c - \vartheta_1 = 10^\circ\text{C}$ | - temperaturna razlika                           |
| $\vartheta_2 - \vartheta_1 = 7^\circ\text{C}$  | - temperaturna razlika na strani zraka           |
| $\vartheta_2 = 31^\circ\text{C}$               | - temperatura izlaznog zraka                     |
| $d_e = 9,52 \text{ mm}$                        | - vanjski promjer cijevi isparivača              |
| $d_i = 8,82 \text{ mm}$                        | - unutarnji promjer cijevi isparivača            |
| $f_t = 0,12 \text{ mm}$                        | - debljina lamela                                |
| $s_f = 3,6 \text{ mm}$                         | - razmak između lamela                           |
| $i_r = 11$                                     | - broj stupaca cijevi isparivača                 |
| $i_t = 5$                                      | - broj cijevi po stupcu                          |
| $i_{in} = 1$                                   | - broj ulaznih cijevi                            |
| $s_1 = 21,65 \text{ mm}$                       | - vertikalni razmak cijevi                       |
| $s_2 = 25 \text{ mm}$                          | - horizontalni razmak cijevi                     |

Srednja logaritamska temperaturna razlika

$$\Delta\vartheta_m = \frac{\vartheta_2 - \vartheta_1}{\ln \frac{\vartheta_c - \vartheta_1}{\vartheta_c - \vartheta_2}} 5,81 \text{ }^\circ\text{C}$$

Srednja temperatura zraka

$$\vartheta_m = \vartheta_c - \Delta\vartheta_m = 28,19^\circ\text{C}$$

Termodinamičke karakteristike suhog zraka pri  $\vartheta_m$

$$\rho_a = 1,181 \text{ kg/m}^3$$

$$c_a = 1006,5 \text{ J/kg}$$

$$\nu_a = 1,548 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

Maseni protok zraka kroz kondenzator

$$\dot{m}_a = \frac{Q_c}{c_a(t_2 - t_1)} = 0,34 \text{ kg/s}$$

Volumni protok zraka kroz kondenzator

$$\dot{V}_a = \frac{\dot{m}_a}{\rho_a} = 0,288 \text{ m}^3/\text{s}$$

Vanjska površina cijevi za duljinu cijevi od 1 m.

$$A_{mt} = \pi * d_e * \left(1 - \frac{f_t}{s_f}\right) = 0,0289 \text{ m}^2/\text{m}$$

Površina lamela za duljinu cijevi od 1m.

$$A_f = 2 * \frac{s_1 * s_2 - \pi * \frac{d_e^2}{4}}{s_f} = 0,261 \text{ m}^2/\text{m}$$

Površina prolaza topline za 1m cijevi

$$A_{e1} = A_{mt} + A_f = 0,29 \text{ m}^2/\text{m}$$

Unutarnja površina prijelaza topline za 1m cijevi.

$$A_{i1} = \pi * d_i = 0,0277 \text{ m}^2/\text{m}$$

Omjer unutarnje i vanjske površine prijelaza topline

$$\beta = \frac{A_{e1}}{A_{i1}} = 10,47$$

Visina izmjenjivača topline

$$H = i_t * s_1 = 0,238 \text{ m}$$

Širina izmjenjivača topline

$$L = i_r * s_2 = 0,125 \text{ m}$$

Toplinska svojstva suhozasićene pare pri  $\vartheta_c=34^\circ\text{C}$

$$\rho_l = 1000,83 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$c_l = 1636,67 \text{ J}/\text{kgK}$$

$$\lambda_l = 0,0633 \text{ W}/(\text{mK})$$

Toplinska svojstva vrele kapljevine pri  $\vartheta_c=34^\circ\text{C}$

$$\rho_v = 86,02 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$c_v = 1360,09 \text{ J}/\text{kg K}$$

$$\lambda_v = 0,0176 \text{ W}/(\text{m K})$$

$$h_l = 128,83 \text{ kJ}/\text{kg}$$

Maseni protok radne tvari povećava se za faktor 1,1 zbog pregrijanja radne tvari.

$$\dot{m}_R = \frac{Q_e}{(1,1 * h_l)} = 0,0169 \text{ kg/s}$$

Gustoća masenog toka

$$G = \frac{m_R}{i_{in} * \pi * \frac{d_i^2}{4}} = 277,19 \text{ kg/(m}^2\text{s)}$$

Kako bi se odredio koeficijent prolaza topline potrebno je znati brzine s obje strane stijenke, zbog toga se pretpostavlja koeficijent prolaza topline

$$k_e = 18 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Specifični toplinski tok sveden na vanjsku površinu prolaza topline

$$q_e = k_e * \Delta\vartheta_m = 104,65 \text{ W/m}^2$$

Specifični toplinski tok sveden na unutarnju površinu prolaza topline

$$q_i = q_e * \beta = 1095,53 \text{ W/m}^2$$

Površina prijelaza topline

$$A_i = \frac{Q_c}{q_i} = 2,19 \text{ m}^2$$

Ukupna duljina cijevi

$$L_{ov} = \frac{A_i}{A_{i1}} = 79,06 \text{ m}$$

Duljina cijevi u jednom redu

$$L_1 = \frac{L_{ov}}{i_r} = 15,81 \text{ m}$$

Širina kondenzatora

$$B = \frac{L_1}{i_t} = 1,44 \text{ m}$$

Najmanja površina u prostoru između cijevi i lamela gdje zrak prolazi

$$A_z = L_1(s_1 - d_e) * \left(1 - \frac{f_t}{s_f}\right) = 0,185 \text{ m}^2$$

Brzina kroz najmanji presjek

$$w = V_a / A_z = 1,55 \text{ m/s}$$

Koeficijent prijelaza topline na strani zraka

$$Nu = C_1 * Re^n * (L/d_{ekv})^m$$

Ova jednadžba je važeća uz zadovoljene sljedeće uvijete:

$$Re = 500 \div 10000$$

$$d_e = (9 \div 16) \text{ mm}$$

$$\frac{s_f}{d_e} = 0,18 \div 0,35$$

$$\frac{s_1}{d_e} = 2 \div 5$$

$$L/d_{eqv} = 4 \div 50$$

$$d_{eqv} = \frac{2(s_1 - d_e)(s_f - f_t)}{s_1 - d_e + s_f - f_t} = 0,00541 \text{ m}$$

Reynoldsov broj

$$Re = w * \frac{d_{eqv}}{v_a} = 543,21$$

Eksponenti "n" i "m"

$$n = 0,45 + 0,0066 * \left( \frac{L}{d_{eqv}} \right) = 0,603$$

$$m = -0,28 + 0,08 * \left( \frac{Re}{1000} \right) = -0,237$$

Koeficijent  $C_{1A}$  ovisi od omjera  $L/d_{eqv}$

|          |       |       |       |       |      |        |
|----------|-------|-------|-------|-------|------|--------|
| L/deqv   | 5     | 10    | 20    | 30    | 40   | 50     |
| $C_{1A}$ | 0,412 | 0,326 | 0,201 | 0,125 | 0,08 | 0,0475 |

$$\frac{L}{d_{eqv}} = 23,11$$

$$C_{1A} = 0,177$$

$$C_{1B} = 1,36 - 0,24 * \left( \frac{Re}{1000} \right) = 1,23$$



$$C_1 = C_{1A} * C_{1B} = 0,218$$

$$Nu = 4,61$$

Koeficijent prijelaza topline na strani zraka

$$\alpha_a = Nu * \lambda_a / d_{eqv}$$

$$\lambda_a = 0,0262 \frac{W}{mK}$$

$$\alpha_a = 22,31 W/(m^2/K)$$

Vrijednost koeficijenta prijelaza topline uvećavamo za 10% zbog poredanosti cijevi u stupce.

$$\alpha_a = 24,55 W/(m^2/K)$$

Koeficijent prijelaza topline vezan na unutarnji promjer cijevi

$$\alpha_{ai} = \alpha_{aw} * (A_f * E * C_k + A_{mt}) / A_{i1}$$

Koeficijent  $C_k$  predstavlja koeficijent otpora spoja između cijevi i lamela. U idealnom slučaju  $C_k = 1$ , u ovom primjeru ćemo također uzeti  $C_k = 0,99$

Efikasnost lamele

$$E = th(m_f * h_f) / (m_f * h_f)$$

$$m_f = \sqrt{\frac{2 * \alpha_{aw}}{f_t * \lambda_f}}$$

$$\lambda_f = 209 W/(m K) \quad \text{-toplinska provodnost lamela}$$

$$m_f = 44,24 l/m$$

Proračunska visina lamele

$$h_f = 0,5 * d_e * (\rho_f - 1)(1 + 0,35 \ln \rho_f)$$

Za lamele poredane u stupce i uvjet  $s_1/2 < s_2$

$$\rho_f = 1,27(B_f/d_e) * \sqrt{\frac{A_f}{B_f}} - 0,3$$

$$A_f = s_1 = 0,02165 m$$

$$B_f = \sqrt{(s_1/2)^2 + s_2^2} = 0,0272 \text{ m}$$

$$\rho_f = 2,56$$

$$h_f = 0,00984 \text{ m}$$

$$E = 0,911$$

$$\alpha_{ai} = 241,17 \frac{W}{m^2 K}$$

Prijelaz topline na strani radne tvari pri kondenzaciji u cijevi  
Prandtllov broj za suhozasićenu paru

$$Pr_l = c_l * \eta_l / \lambda_l$$

$$\eta_l(34^\circ C) = 0,00112$$

$$Pr_l = 28,91$$

Reynoldsov broj za suhozasićenu paru

$$Re_l = \frac{w_1 * d_1}{v_l} = \frac{G * d_i}{\eta_l} = 2185,82$$

Za vrijednosti  $Re_l < 5000$  vrijede sljedeće jednadžbe

$$Re_l \left( \frac{\rho_l}{\rho_v} \right)^{0,5} = 7455,65$$

$$Nu = 13,8 * Pr_l^{\frac{1}{3}} \left( \frac{h_l}{c_1 * \Delta \vartheta} \right)^{\frac{1}{6}} [Re_l \left( \frac{\rho_l}{\rho_v} \right)^{0,5}]^{0,2} = 123,03$$

$$\alpha_R = Nu * \frac{\lambda_l}{d_i} = 883,18 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Toplinski otpori od strane zraka prema radnom mediju  
Toplinski otpor cijevi

$$R_t = \delta_1 / \lambda_1$$

$$\lambda_f = 370 \text{ W/(m K)}$$

$$R_t = \frac{\delta_t}{\lambda_t} = 9,46 * 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Toplinski otpor od zaprljanja cijevi

$$R_0 = 0,0003 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Ukupni koeficijent prolaz topline vezan na unutarnju stjenku cijevi

$$k_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ai}} + R_o \frac{1}{\beta} + R_t \frac{d_i}{d_m} + R_i + \frac{1}{\alpha_R}} = 188,39 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$$

Ukupni prolaz topline vezan na vanjsku stjenku cijevi

$$k_e = \frac{k_i}{\beta} = 17,99 \text{ W/(m}^2 \text{ K)} - \text{rezultat odgovara početnoj pretpostavci } 18 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$$

Vanjska površina izmjene topline

$$A_e = A_i * \beta = 22,93 \text{ m}^2$$

Brzina nastrojavanja zraka

$$w_f = \dot{V}_a * \left(\frac{B}{H}\right) = 1,74 \text{ m/s}$$

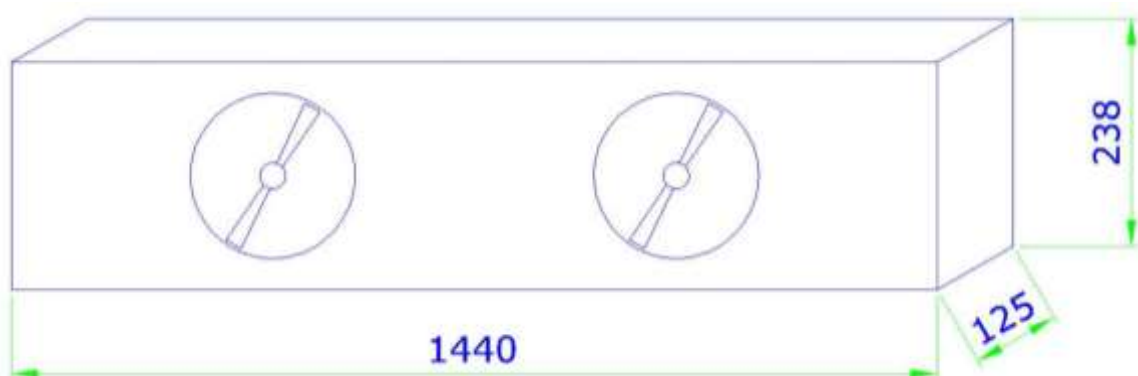
Pad tlaka zraka

Za izmjenjivač sa cijevima postavljenim u stupce

$$\Delta p = 0,233 * i_r * [s_2 / (s_f - f_t)]^{0,42} * (w * \rho_a)^{1,8} = 7,97 \text{ Pa}$$

Ukupne dimenzije kondenzatora

**LxBxH=125x1440x238 mm**



Slika 9. Skica dimenzija kondenzatora vitrine za voće i povrće

## **6. Odabir komponenata rashladnih sustava otvorenih vitrina**

### **6.1. Odabir komponenata rashladne vitrine za piće**

Odabrane komponente su za radnu tvar R134a koja je najčešća u uporabi kod kućanskih hladnjaka i manjih sustava komercijalnog hlađenja. Većina komponenti osim isparivača je lako dostupna na tržištu i može se nabaviti kao generički dio, također se mogu zamijeniti komponentama drugih proizvođača.

#### **6.1.1. Odabir kompresora**

Odabire se kompresor za radnu tvar R134a, pri čemu je potrebno zadovoljiti potrebnu rashladnu snagu za isparivač od 556,14 W za temperaturu isparavanja  $-7^{\circ}\text{C}$ .

#### **6.1.2. Odabir isparivača**

Standardni isparivač na tržištu koji bi zadovoljio geometrijske karakteristike i snagu nije moguće pronaći, pa se odabire isparivač jedne od specifičnih geometrija, te se daje izraditi po mjeri, sa zadanim geometrijskim rasporedom i zadanim razmakom između lamela.

#### **6.1.3. Odabir termostata**

Odabran je digitalni termostat na koji je priključena jedna temperaturna sonda smještena u prostor vitrine gdje se nalaze boce. Njegova funkcija je ukapčanje i iskapčanje rashladnog sistema. Kada se postigne temperatura od  $+8^{\circ}\text{C}$  termostat pali kompresor, a gasi na  $+4^{\circ}\text{C}$ . Termostat je postavljen na automatsko gašenje kompresora svakih 60 minuta, dok ventilator isparivača ostaje konstantno upaljen kako bi otopio led koji se nakupi na isparivač.

#### **6.1.4. Odabir kapilare**

Kapilara se odabire pomoću programskog paketa tvrtke Danfoss – Dancap, gdje se unosi toplinsko opterećenje sustava, temperatura kondenzacije, temperatura isparavanja i temperatura povrata radne tvari u kompresor, pri čemu se dobiva duljina i promjer kapilare za odabrane parametre.

#### **6.1.5. Odabir ventilatora isparivača**

Odabrani ventilator također je ispitan u usporedbi sa ventilatorima manjeg i većeg protoka. Dobiveni eksperimentalni podatci prikazani su u sljedećoj tablici. Proračunski dobiveni protok ventilatora od  $147,96\text{ m}^3/\text{h}$  odgovara protoku ventilatora deklariranom od proizvođača  $150\text{ m}^3/\text{h}$ .

Tablica 1. Ispitivanje ventilatora

| Proizvođač              | EBM Papst       | EMMEVI         | EMMEVI         | Jedinica          |
|-------------------------|-----------------|----------------|----------------|-------------------|
| Model                   | QLN65/3000/3038 | TG 60/1-180/20 | TG 60/1-270/10 |                   |
| Broj okretaja           | 1200            | 1850           | 1250           | min <sup>-1</sup> |
| Protok zraka            | 250             | 130            | 150            | m <sup>3</sup> /h |
| Pad tlaka               | 80              | 50             | 47             | Pa                |
| Priključna el. snaga    | 45              | 27             | 28             | W                 |
| Dobiveni rashladni učin | 146             | 95             | 177            | W                 |

Tablica 2. Komponente rashladne vitrine za piće

| Komponenta            | Karakteristike  | Kao proizvod               | Količina |
|-----------------------|---|----------------------------|----------|
| Kompresor             | $Q_i=556$ W, $P_{el}=343$ W, $\vartheta_i=-7^\circ\text{C}$ ,<br>$\vartheta_k=43^\circ\text{C}$ , hermetički, radna tvar<br>R134a | Danfoss FR-11G             | 1        |
| Isparivač             | $Q_i=556$ W, $\vartheta_i=-7^\circ\text{C}$ , $\vartheta_k=43^\circ\text{C}$ ,<br>lamerarni                                       | Soko-ipv 5R-4T-400A        | 1        |
| Kondenzator           | $Q_i=1000$ W, $\vartheta_i=-7^\circ\text{C}$ , $\vartheta_k=43^\circ\text{C}$ ,<br>lamerarni                                      | S.E.R. CCV1024/3           | 1        |
| Termostat             | digitalni   | Eliwell ID 971             | 1        |
| Ventilator isparivača | 150 m <sup>3</sup> /h   | Emmevi TGA-60/1-<br>270/20 | 1        |
| Kapilara              |   | ∅ 1,2 mm                   | 0,92 m   |
| Filter                |   | 30 grama                   | 1        |
| Grijač kadice         | 200 W   |                            | 1        |

## **6.2. Odabir komponenata rashladne vitrine za voće i povrće**

Odabrane su komponente za radnu tvar R404a, iako je u uporabi u komercijalnim hladnjacima manjih snaga moguće i odabir komponenata sa radnom tvari R134a. Radna tvar je odabrana iz ekonomskih razloga te povoljnije cijene kompresora. Cijeli rashladni sistem vitrine podijeljen je na dvije samostalne identične jedinice.

### **6.2.1. Odabir kompresora**

Odabire se kompresor za radnu tvar R404a, pri čemu je potrebno zadovoljiti potrebnu rashladnu snagu za isparivač od 1500 W, za temperaturu isparavanja  $-7^{\circ}\text{C}$ . Rashladna vitrina se sastoji od dva identična rashladna ciklusa zbog veličine isparivača te odabranih kompresora.

### **6.2.2. Odabir isparivača**

Isparivači ovih snaga, standardno dobavljivi na tržištu, uglavnom konstrukcijski ne odgovaraju smještaju unutar vitrine. Odabiru se isparivači sa zadanom standardnom geometrijom, tvrtke Soko-Ipv, te se zadaje razmak između lamela, te broj cijevi po stupcu i redu.

### **6.2.3. Odabir termostata**

Odabran je digitalni termostat a njega je priključena jedna temperaturna sonda smještenu u prostor, te sonda za led, koja se nalazi na isparivaču. Kada se postigne temperatura od  $+6^{\circ}\text{C}$  termostat pali kompresor, a gasi na  $+2^{\circ}\text{C}$ . Kada sonda za led registrira da se nakupilo leda oko isparivača, pali rashladni ciklus, te ventil struju vrućeg plina prebacuje direktno na isparivač kako bi otopio nastali led koji smanjuje učinak rashladne vitrine.

### **6.2.4. Odabir termoekspanzijskog ventila**

Termoekspanzijski ventil odabire se prema snazi hlađenja, te priključnog cjevovoda. Uz termoekspanzijski ventil odabire se i odgovarajuća dizna.

Tablica 3. Komponente rashladne vitrine za voće i povrće

| Komponenta                    | Karakteristike   | Kao proizvod         | Količina |
|-------------------------------|--|----------------------|----------|
| Kompresor                     | $Q_i=1500$ W, $P_{el}=984$ W, $\vartheta_i=-7^\circ\text{C}$ , $\vartheta_k=34^\circ\text{C}$ , hermetički, radna tvar R404a | Danfoss SC18<br>MLX  | 2        |
| Isparivač                     | $Q_i=1500$ W, $\vartheta_i=-7^\circ\text{C}$ , $\vartheta_k=34^\circ\text{C}$ , lamerarni                                    |                      | 2        |
| Kondenzator                   | $Q_i=2400$ W, $\vartheta_i=-7^\circ\text{C}$ , $\vartheta_k=34^\circ\text{C}$ , lamerarni                                    | S.E.R.<br>CCV1155/5  | 2        |
| Termostat                     | digitalni  | Eliwell ID 983<br>LX | 2        |
| Ventilator isparivača         | $250$ m <sup>3</sup> /h  |                      | 8        |
| Termoekspanzijski ventil      |  | Danfoss<br>T2/02     | 2        |
| Filter sa revizijskim staklom |  | Castel 4105/2        | 2        |
| Sakupljač tekućine            |  |                      | 2        |
| Grijač kadice                 |  |                      | 2        |

## **7. ZAKLJUČAK**

Temeljem zadanih konstrukcijskih parametara otvorenih vitrina napravljeni su proračuni izmjenjivača topline za svaku od vitrina, te u skladu s dobivenim proračunima odabrane su komponente svakog od rashladnih sustava. Za zadane elemente rashladne vitrine za piće isparivač i kondenzator stvarne vitrine odstupaju svega nekoliko milimetara od stvarnih vrijednosti što možemo smatrati zadovoljavajućim, budući da se radi o otvorenoj vitrini kod koje je teško odrediti stvarni udio svježeg zraka. Kod otvorene rashladne vitrine za voće i povrće stvarne dimenzije isparivača odgovaraju zadanim pretpostavkama proračuna. Pri razlici od 10 °C između temperature kondenzacije i okolišnog zraka dimenzije kondenzatora su relativno velike, stoga se smatra da se za dimenzioniranje kondenzatora treba uzeti razlika između temperature kondenzacije i temperature okoliša od 15 °C. Odabrani sustavi su u potpunosti automatizirani.



## LITERATURA

- [1] Kraut, B.: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb, 1970.
- [2] Althouse, A. Turnquist, C. Bracciano, A; Modern refrigeration and air conditioning, Illinois, 2000.
- [3] Ciconkov, R.: Refrigeration solved examples, Skopje 2001.
- [4] Ćurko, T. Soldo, V: Hlađenje i dizalice topline – Radni udžbenik Fakultet strojarstva i brodogradnje; Zagreb 2011
- [5] Halasz, B. Galović, A. Boras, I: Toplinske tablice; Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje; Zagreb 2007.
- [6] ASHRAE, 2005.

Ostala literarura, softwari, katalogi poduzeća; Danfoss, Secop, Eliwell, Castel, Soko-ipy, S.E.R.

## **PRILOZI**

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